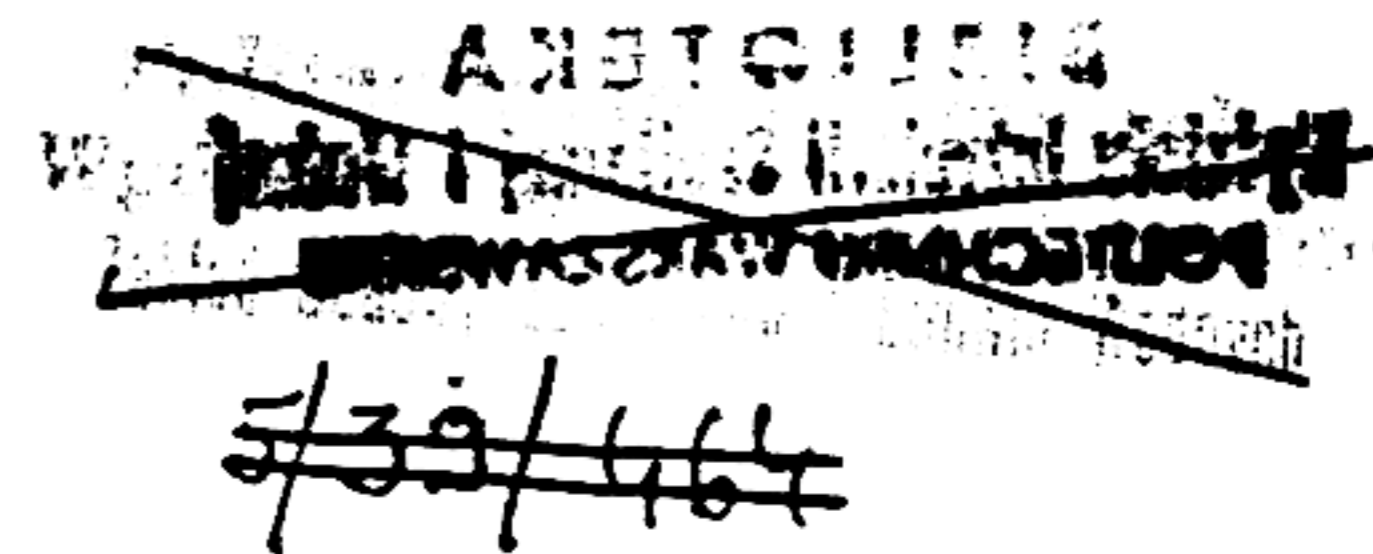


J. FITERMAN

621.24

MONTAŻ I REMONT TURBIN WODNYCH

PRZETŁUMACZYŁ
MIECZYŚLAW ARKUSZEWSKI



WARSZAWA 1956
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

Opiniodawca
mgr inż. K. Dachowski
Redaktor naukowy PWT
Mgr inż. H. Chmielewski

Redaktor techniczny S. Skotnicki

Korektor: J. Cygier

PWT Warszawa 1956. Wydanie 1. Nakład 2124 egz. Ark. wyd. 40,4 Ark. druk. 30,37
Format A5. Pap. ilustr. V kl., 70 g. 86x122./32, prod. Zakł. Cel.-Pap. im. J. Marchlew-
skiego we Włocławku. Rękopis oddano do składania 22.9.55. Podpisano do druku 10.2.56
Druk ukończono 18.2.56. Symbol 75261/Mo. Cena zł 43

Druk. im. Rewolucji Październikowej, Warszawa. Zam. 1237a/55. B-6-52895

Str

SPIS TREŚCI

	Str.	
Przedmowa do wydania radzieckiego	9	
Rozdział I. Wiadomości wstępne		
§ 1. Zasadnicze rodzaje elektrowni wodnych	11	
§ 2. Typy turbin wodnych oraz ich zasadnicze parametry	11	
§ 3. Zasadnicze zespoły turbin wodnych i ich przeznaczenie	15	
1. Części fundamentowe	25	
2. Mechanizmy robocze	31	
3. Układ regulacyjny	33	
4. Urządzenia pomocnicze	35	
§ 4. Szczególne cechy montażu turbin wodnych	35	
§ 5. Kierownictwo montażu	36	
	39	
Rozdział II. Organizacja montażu		
§ 6. Projekt wykonawczy robót montażowych	41	
§ 7. Drogi dojazdowe i gabaryty (obrysy) kolejowe	41	
§ 8. Mechanizmy dźwigowo-transportowe	43	3
1. Suwnice	45	1
2. Wciągniki w komorze turbiny	46	
§ 9. Składowiska i składy	48	3
§ 10. Kolejność dostaw i przechowywanie części instalacji turbi- nowej oraz ich znakowanie	50	33
1. Znakowanie części instalacji turbinowej	51	57
2. Malowanie części instalacji turbinowej	51	59
3. Konserwacja części instalacji turbinowej	53	59
4. Opakowanie części instalacji turbinowej	54	162
5. Przechowywanie części instalacji turbinowej	55	264
§ 11. Plac montażowy i stanowiska robocze	56	271
§ 12. Narzędzia, urządzenia i sprzęt montażowo-produkcyjny	57	275
§ 13. Materiały montażowe	59	275
	68	
Rozdział III. Operacje montażowo-produkcyjne o charakterze ogólnym		
§ 14. Usuwanie powłok ochronnych oraz kontrola elementów instalacji	73	276
§ 15. Sprzęt i roboty udźwigowe	73	279
1. Olinowywanie elementów o kształtach pierścieniowych	76	282
2. Operacje udźwigowe przy wirnikach turbin wodnych	89	285
3. Operacje udźwigowe przy wałach turbin wodnych	93	295
4. Operacje udźwigowe przy różnych częściach i mechani- zmach turbin wodnych	96	295
§ 16. Montaż dzielonych elementów pierścieniowych	97	295
§ 17. Montaż rurociągów	99	296
1. Montaż rurociągów spawanych	102	
2. Montaż rurociągów łączonych na śrubunki	103	
§ 18. Spawanie stalowych osłon spiralnych (spirali) oraz wykla- dzin sporządzonych z blachy stalowej	107	5

	Str.
1. Przygotowanie złącz do spawania	109
2. Pomocnicze materiały spawalnicze	110
3. Spawanie osłony spiralnej	112
4. Kontrola i badanie szwów osłony spiralnej	116
§ 19. Fundamenty turbin wodnych	117
1. Fundamenty turbin Francisa	118
2. Fundamenty turbin Kaplana	120
3. Jakość betonu stosowanego do zalewania śrub fundamentowych	121
Rozdział IV. Montaż turbin Francisa	123
§ 20. Części fundamentowe turbin Francisa ze spiralami spawanymi	123
1. Wykładzina rury ssawnej	124
2. Pierścień fundamentowy	128
3. Wykładzina części stożkowej rury ssawnej	129
4. Stojan turbiny	131
5. Spirala wlotowa	133
6. Wykładzina komory turbiny i obudowa komór serwomotorów (siłowników)	137
7. Rurociągi fundamentowe	138
§ 21. Mechanizmy robocze oraz urządzenia pomocnicze turbin Francisa ze spiralami spawanymi	140
1. Zespół wirujący turbiny	141
2. Kierownica	146
3. Zespół łożyska poprzecznego turbiny	158
4. Mechanizmy pomocnicze	160
§ 22. Części fundamentowe turbin Francisa ze spiralami lanymi	165
1. Wykładzina rury ssawnej	165
2. Pierścień fundamentowy i wykładzina części stożkowej rury ssawnej	166
3. Spirale i króciec wlotowy	167
4. Rurociągi fundamentowe	168
§ 23. Mechanizmy robocze oraz urządzenia pomocnicze turbin Francisa ze spiralami lanymi	169
1. Zespół wirujący	169
2. Kierownica	171
3. Uszczelnienia wału turbiny	173
4. Zespół łożyska poprzecznego turbiny	174
5. Mechanizmy pomocnicze i rurociągi turbiny	176
Rozdział V. Montaż turbin Kaplana	185
§ 24. Dolny zespół części fundamentowych	185
1. Zawór spustowy	185
2. Słupy spirali	188
3. Komora wirnika	191
4. Dolny pierścień kierownicy	194
5. Wykładzina stożkowej części rury ssawnej	196
6. Dolna wykładzina spirali	197
§ 25. Górny zespół części fundamentowych	199
1. Górny pierścień kierownicy	199
2. Górna wykładzina spirali	202
3. Wykładziny komory turbiny i obudowy serwomotorów	202
4. Rurociągi fundamentowe	204
§ 26. Wytaczanie kierownicy	205

§ 27. Mechanizmy robocze i urządzenia pomocnicze	210
1. Wirnik	210
A. Montaż oraz ustawienie wirnika nie zaopatrzonego w pierścienie ustalające	214
B. Montaż i ustawianie wirnika zaopatrzonego w pierścienie ustalające	226
C. Montaż wirnika posiadającego łopatki stanowiące jedną całość z czopami	227
2. Wał turbiny oraz drągi	229
3. Pokrywa turbiny	230
4. Wał pośredni	230
5. Kierownica	231
6. Zespół łożyska turbiny i urządzenia pomocnicze	235
Rozdział VI. Montaż turbin Peltona	236
§ 28. Części fundamentowe	236
1. Rurociąg dopływowy	236
2. Osłona turbiny	239
3. Wykładzina komory turbiny	240
§ 29. Mechanizmy robocze i urządzenia pomocnicze	240
1. Górne krzywaki dysz	240
2. Zawór wlotowy i złącze wyrównujące (kompensacyjne)	242
3. Serwomotor oraz urządzenie uruchamiające iglice i odchylniki	244
4. Wirnik i osłona turbiny	245
Rozdział VII. Centrowanie zespołów wirujących oraz sprzęganie wałów turbozespołu	248
§ 30. Centrowanie zespołu wirującego turbiny wodnej	248
1. Centrowanie zespołu wirującego turbiny za pomocą czterech pionów	248
2. Sprawdzenie pomiarów	251
3. Wyznaczenie odchylenia wału spowodowanego jego pochylem	253
4. Wyznaczenie odchylenia wału spowodowanego załamaniem wspólnej linii (osi)	253
§ 31. Centrowanie wału prądnicy z wałem turbiny	257
§ 32. Sprzęganie wałów turbozespołu	259
1. Podnoszenie zespołu wirującego turbiny	259
2. Dociąganie śrub	262
§ 33. Centrowanie wirującego zespołu turbozespołu	264
§ 34. Sprzęganie wałów w położeniu poziomym	271
Rozdział VIII. Montaż zespołu regulacyjnego	275
§ 35. Charakterystyka urządzenia regulacyjnego	275
1. Zasadnicze dane techniczne skrzynki sterowniczej typu YK	276
2. Główne dane olejowych zespołów ciśnieniowych	279
3. Instalacje sprężarkowe	282
4. Gwarancje dotyczące regulacji	283
§ 36. Montaż urządzenia regulacyjnego	285
Rozdział IX. Niektóre zagadnienia montażowe turbin wodnych	295
§ 37. Czas trwania oraz pracochłonność montażu turbin wodnych	295
1. Warunki montażu	295
2. Harmonogram prac montażowych	296

	3. Pracochłonność robót montażowych	Str. 300
§ 38.	Dopuszczalne odchyłki przy montażu turbin wodnych	301
§ 39.	Montaż turbin wodnych w przypadku, gdy budynek elektrowni wodnej jest pochylony	313
§ 40.	Szczególne cechy montażu turbin wodnych, których łożysko wzdłużne umieszczone jest na pokrywie turbiny	317
§ 41.	Potokowa metoda montażu	319
	1. Montaż potokowy odbywający się jednocześnie z robotami budowlanymi, z dodatkowym placem montażowym znajdującym się poza obrębem budynku elektrowni wodnej	320
	A. Części fundamentowe	320
	B. Kierownica	321
	C. Mechanizmy robocze	322
	2. Montaż potokowy odbywający się niezależnie od robót budowlanych, przy użyciu dodatkowego placu montażowego znajdującego się poza obrębem budynku elektrowni wodnej	330
	3. Montaż potokowy odbywający się niezależnie od robót budowlanych, przy użyciu dodatkowego placu montażowego znajdującego się wewnątrz budynku elektrowni wodnej	330
	4. Porównanie różnych metod montażu potokowego	332
Rozdział X. Wyregulowanie oraz próby rozruchowe turbin wodnych		335
§ 42.	Kolejność prób rozruchowych	335
§ 43.	Wyregulowanie turbiny wodnej przed jej uruchomieniem oraz próby poszczególnych zespołów turbiny	336
	1. Próby i sprawdzenie instalacji przed napełnieniem wodą urządzeń doprowadzających wodę do turbiny	336
	A. Wyregulowywanie i próby mechanizmów ciśnieniowego zespołu olejowego	337
	B. Wyregulowywanie i próby mechanizmów układu regulacyjnego	338
	C. Zdejmowanie charakterystyk organów regulacyjnych	339
	D. Wyregulowanie oraz próby mechanizmów roboczych i urządzeń pomocniczych turbiny	340
	E. Oględziny urządzeń doprowadzających wodę oraz przepływowej części turbiny	343
	2. Próby i sprawdzenie instalacji po napełnieniu urządzeń doprowadzających wodę do turbiny	343
	A. Wyciekanie wody na zewnątrz spirali	343
	B. Sprawdzenie działania poszczególnych urządzeń i mechanizmów	344
§ 44.	Próby i badanie turbin przy biegu luzem	344
	1. Regulacja oraz próby mechanizmów turbin przy biegu luzem	344
	2. Regulowanie i próby układu regulacyjnego przy biegu turbiny luzem	345
§ 45.	Regulowanie oraz próby turbin wodnych pod obciążeniem	347
	1. Kontrola i badania mechanizmów instalacji turbinowej pod obciążeniem	347
	2. Sprawdzenie danych dotyczących gwarancji regulacji	348
	3. Robocza charakterystyka turbiny	350

	4. Próby automatycznych urządzeń turbozespołu	Str. 350
	5. Przesławianie turbozespołu na pracę w charakterze kompensatora synchronicznego	351
	6. Długotrwała ciągła praca turbozespołu obciążonego	351
§ 46.	Drgania turbozespołu	351
§ 47.	Dynamiczne wyważanie turbozespołu	357
	1. Wyznaczanie wielkości podwójnych amplitud drgań przy przymocowanym ciężarze próbnym	359
	2. Wykreślne wyznaczanie wielkości oraz miejsca przymocowania ciężaru równoważącego	360
	3. Wyznaczanie za pomocą nomogramów wielkości oraz miejsca przymocowania ciężaru równoważącego	362
Rozdział XI. Ogólne zagadnienia organizacji i planowania remontów		365
§ 48.	Podział, okresowość oraz planowanie remontów	365
§ 49.	Organizacja i normowanie prac remontowych	367
	1. Organizacja prac remontowych	367
	2. Normowanie prac remontowych	369
§ 50.	Środki do remontu oraz personel remontowy	371
§ 51.	Plac montażowy oraz remontowe stanowiska robocze	372
§ 52.	Gospodarka olejowa turbozespołu	372
Rozdział XII. Zużycie instalacji turbinowej		377
§ 53.	Zużycie części poddanych fardciu	377
§ 54.	Zużycie części turbiny wskutek kawitacji oraz działania rumowiska zawartego w wodzie	381
§ 55.	Materiały odporne na zużycie	386
§ 56.	Części zapasowe	386
Rozdział XIII. Demontaż oraz montaż turbin wodnych w czasie napraw		390
§ 57.	Oględziny oraz ustalenie stanu instalacji turbinowej przed naprawą	390
§ 58.	Demontaż i montaż turbin w przypadku remontów głównych	392
§ 59.	Sprawdzenie linii wałów turbozespołu	394
Rozdział XIV. Metody napraw poszczególnych części turbin wodnych		397
§ 60.	Spawanie, napawanie i natapianie łukowe materiałów stosowanych w turbinach wodnych	397
§ 61.	Naprawa wirników	400
	1. Labiryntowe uszczelnienia wirników	403
	2. Naprawa wirników (przykłady z praktyki)	405
§ 62.	Naprawa komór wirników turbin Kaplana	409
§ 63.	Naprawa kierownic	412
	1. Łopatki kierownicze	412
	2. Łożyska łopatek kierowniczych	414
	3. Pokrywa turbiny	414
	4. Dolny pierścień kierownicy	415
	5. Tuleje łożyskowe czopów łopatek	416
	6. Kierownica turbiny Peltona	419
§ 64.	Naprawa łożysk oraz wałów turbin wodnych	420

	Str.
1. Przygotowanie złącz do spawania	109
2. Pomocnicze materiały spawalnicze	110
3. Spawanie osłony spiralnej	112
4. Kontrola i badanie szwów osłony spiralnej	116
§ 19. Fundamenty turbin wodnych	117
1. Fundamenty turbin Francisa	118
2. Fundamenty turbin Kaplana	120
3. Jakość betonu stosowanego do zalewania śrub fundamentowych	121
Rozdział IV. Montaż turbin Francisa	123
§ 20. Części fundamentowe turbin Francisa ze spiralami spawanymi	123
1. Wykładzina rury ssawnej	124
2. Pierścień fundamentowy	128
3. Wykładzina części stożkowej rury ssawnej	129
4. Stojan turbiny	131
5. Spirala wlotowa	133
6. Wykładzina komory turbiny i obudowa komór serwowatorów (siłowników)	137
7. Rurociągi fundamentowe	138
§ 21. Mechanizmy robocze oraz urządzenia pomocnicze turbin Francisa ze spiralami spawanymi	140
1. Zespół wirujący turbiny	141
2. Kierownica	146
3. Zespół łożyska poprzecznego turbiny	158
4. Mechanizmy pomocnicze	160
§ 22. Części fundamentowe turbin Francisa ze spiralami lanymi	165
1. Wykładzina rury ssawnej	165
2. Pierścień fundamentowy i wykładzina części stożkowej rury ssawnej	166
3. Spirale i króciec wlotowy	167
4. Rurociągi fundamentowe	168
§ 23. Mechanizmy robocze oraz urządzenia pomocnicze turbin Francisa ze spiralami lanymi	169
1. Zespół wirujący	169
2. Kierownica	171
3. Uszczelnienia wału turbiny	173
4. Zespół łożyska poprzecznego turbiny	174
5. Mechanizmy pomocnicze i rurociągi turbiny	176
Rozdział V. Montaż turbin Kaplana	185
§ 24. Dolny zespół części fundamentowych	185
1. Zawór spustowy	185
2. Słupy spirali	188
3. Komora wirnika	191
4. Dolny pierścień kierownicy	194
5. Wykładzina stożkowej części rury ssawnej	196
6. Dolna wykładzina spirali	197
§ 25. Górny zespół części fundamentowych	199
1. Górny pierścień kierownicy	202
2. Górna wykładzina spirali	202
3. Wykładziny komory turbiny i obudowy serwowatorów	204
4. Rurociągi fundamentowe	205
§ 26. Wytaczanie kierownicy	205

§ 27. Mechanizmy robocze i urządzenia pomocnicze	210
1. Wirnik	210
A. Montaż oraz ustawienie wirnika nie zaopatrzonego w pierścieniu ustalające	214
B. Montaż i ustawianie wirnika zaopatrzonego w pierścieniu ustalające	226
C. Montaż wirnika posiadającego łopatki stanowiące jedną całość z czopami	227
2. Wał turbiny oraz drągi	229
3. Pokrywa turbiny	230
4. Wał pośredni	230
5. Kierownica	231
6. Zespół łożyska turbiny i urządzenia pomocnicze	235
Rozdział VI. Montaż turbin Peltona	236
§ 28. Części fundamentowe	236
1. Rurociąg dopływowy	236
2. Osłona turbiny	239
3. Wykładzina komory turbiny	240
§ 29. Mechanizmy robocze i urządzenia pomocnicze	240
1. Górne krzywaki dysz	240
2. Zawór wlotowy i złącze wyrównujące (kompensacyjne)	242
3. Serwomotor oraz urządzenie uruchamiające iglice i odchylniki	244
4. Wirnik i osłona turbiny	245
Rozdział VII. Centrowanie zespołów wirujących oraz sprzęganie wałów turbozespołu	248
§ 30. Centrowanie zespołu wirującego turbiny wodnej	248
1. Centrowanie zespołu wirującego turbiny za pomocą czterech pionów	248
2. Sprawdzenie pomiarów	251
3. Wyznaczenie odchylenia wału spowodowanego jego pochylem	253
4. Wyznaczenie odchylenia wału spowodowanego załamaniem wspólnej linii (osi)	253
§ 31. Centrowanie wału prądnicy z wałem turbiny	257
§ 32. Sprzęganie wałów turbozespołu	259
1. Podnoszenie zespołu wirującego turbiny	259
2. Dociąganie śrub	262
§ 33. Centrowanie wirującego zespołu turbozespołu	264
§ 34. Sprzęganie wałów w położeniu poziomym	271
Rozdział VIII. Montaż zespołu regulacyjnego	275
§ 35. Charakterystyka urządzenia regulacyjnego	275
1. Zasadnicze dane techniczne skrzynki sterowniczej typu YK	276
2. Główne dane olejowych zespołów ciśnieniowych	279
3. Instalacje sprężarkowe	282
4. Gwarancje dotyczące regulacji	283
§ 36. Montaż urządzenia regulacyjnego	285
Rozdział IX. Niektóre zagadnienia montażowe turbin wodnych	295
§ 37. Czas trwania oraz pracochłonność montażu turbin wodnych	295
1. Warunki montażu	295
2. Harmonogram prac montażowych	296

	Str.
§ 65. Naprawa mechanizmów układu regulacyjnego	425
1. Zespół olejowy ciśnieniowy	425
2. Skrzynki sterownicze regulatora i kombinatora	430
§ 66. Naprawa mechanizmów pomocniczych	435
1. Upusty jałowe	435
2. Zawory tarczowe	436
3. Zawory rurowe	436
4. Pompy odwadniające samozasysające	437
§ 67. Statyczne wyważanie wirników	438
1. Dokładność wyważenia	439
2. Konstrukcja urządzenia do wyważania statycznego	441
3. Umocowanie ciężaru równoważącego	441
4. Technika wyważania statycznego	444
§ 68. Sprzęganie wału turbiny z wirnikiem turbiny Francisa	446
Rozdział XV. Regulowanie oraz próby turbin wodnych po re-	
moncie	449
§ 69. Ewentualne niedokładności oraz ich usuwanie	449
1. Drgania spowodowane ustawieniem łopatek wirnika pod kątem rozruchowym	449
2. Drgania spowodowane nieodpowiednim sprzężeniem łopatek wirnika z kierownicą	449
3. Drgania kawitacyjne	450
4. Drgania spowodowane zacieraniem się uszczelnień labiryntowych	451
5. Niestateczność regulacji automatycznej	452
6. Nieprawidłowości działania mechanizmów układu regulacyjnego spowodowane zanieczyszczeniem oleju	454
7. Nienormalna wysokość poziomu oleju oraz obniżenie się ciśnienia w zbiorniku ciśnieniowym	455
8. Hałaśliwe działanie pompy	455
§ 70. Regulowanie oraz próby turbin wodnych po naprawie	456
§ 71. Techniczna dokumentacja montażu i remontów	456
§ 72. Bezpieczeństwo pracy przy montażu i remoncie turbin wodnych	458
Literatura	461

PRZEDMOWA DO WYDANIA RADZIECKIEGO

Współczesna wielka elektrownia wodna oparta jest na nowoczesnej technice i stanowi rezultat twórczej pracy projektodawców, technologów, wykonawców oraz budowniczych, a wybudowanie jej wymaga wielkich nakładów pieniężnych.

Jednym z nader ważnych etapów całego kompleksu prac jest montaż urządzeń, w wyniku którego uruchomienie siłowni wodnej jest uwieńczeniem pracy wielu tysięcy ludzi.

Turbiny wodne, podobnie jak i prądnice tych turbin, nie są w całości składane i badane w produkujących je wytwórniach. Z tego powodu montowanie zespołów turbinowych jak również wyregulowanie ich i wypróbowanie jest szczególnie odpowiedzialnym zadaniem.

W nowych elektrowniach wodnych, a przede wszystkim na wielkich budowlach ZSRR instaluje się dużą ilość największych zautomatyzowanych zespołów turbinowych, których montaż wykonuje się w rekordowo krótkich terminach. W związku z tym przed monterami powstają problemy racjonalnej organizacji i technologii montażu, które wybitnie skracają jego cykl przy jednoczesnej wysokiej jakości wykonywanych prac.

W uruchomionych elektrowniach wodnych prawidłowe i ciągłe działanie wszystkich zespołów posiada doniosłe znaczenie. Działanie takie osiąga się przez prawidłową eksploatację, na co składają się również przeprowadzone w porę naprawy wysokiej jakości.

W niniejszej książce podjęto próbę upowszechnienia długoletniego doświadczenia czołowych przedsiębiorstw — głównie zespołu monterów Leningradzkich Zakładów Metalowych im. Stalina. Zakłady te przodują w dziedzinie projektowania, budowy, montażu i naprawy turbin wodnych oraz prowadzą pionierską pracę w wychowywaniu wartościowych kadr monterów.

Niemożliwością było omówienie w tej książce całego splotu zagadnień montażowych wielkiej ilości typów i odmian turbin wodnych. Z tego powodu autor ograniczył się głównie do wyłożenia zagadnień montażu i naprawy wielkich pionowych turbin Francisa, Kaplana i Peltona, instalowanych w okręgowych siłowniach wodnych.

W praktyce montażu i remontu turbin wodnych metody i sposoby wykonywania robót są bardzo różne i zależą od szczegółów konstrukcyjnych i miejscowych warunków. Z tego względu przytaczane w książce ogólne wskazówki technologiczne powinny być odpowiednio korygowane.

Należy spodziewać się, że upowszechnienie i opracowanie pewnych zagadnień będzie sprzyjało szerszej wymianie doświadczeń i jednocześnie dalszemu doskonaleniu technologii montażu i napraw turbin wodnych.

Książka przeznaczona jest dla inżynierów i techników przemysłu budowy turbin wodnych oraz dla monterów i personelu przeprowadzającego naprawy siłowni wodnych. W części dotyczącej zagadnień montażowych, ściśle związanych z zagadnieniami budowlanymi, może być jednak również pomocą dla projektantów tych siłowni. Poza tym może służyć jako podręcznik dla studentów wyższych uczelni technicznych i uczniów technikum, studiujących montaż lub naprawę turbin wodnych.

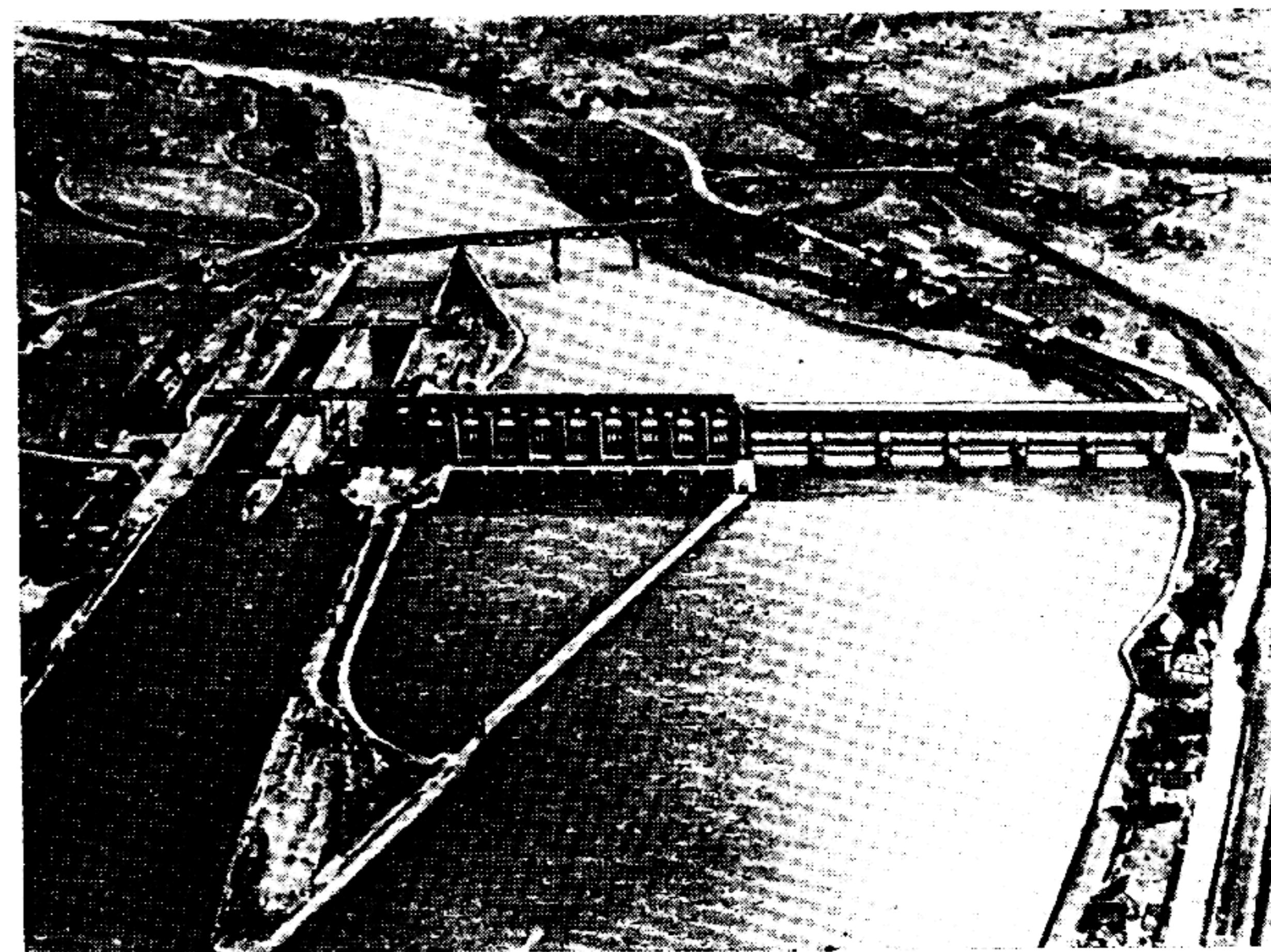
AUTOR

Rozdział I

WIADOMOŚCI WSTĘPNE

§ 1. ZASADNICZE RODZAJE ELEKTROWNI WODNYCH

Elektrownia wodna jest to zespół urządzeń i budowli, w skład których wchodzi budowle piętrzące wodę oraz urządzenia doprowadzające wodę do turbin. Turbiny instaluje się w maszynowni.

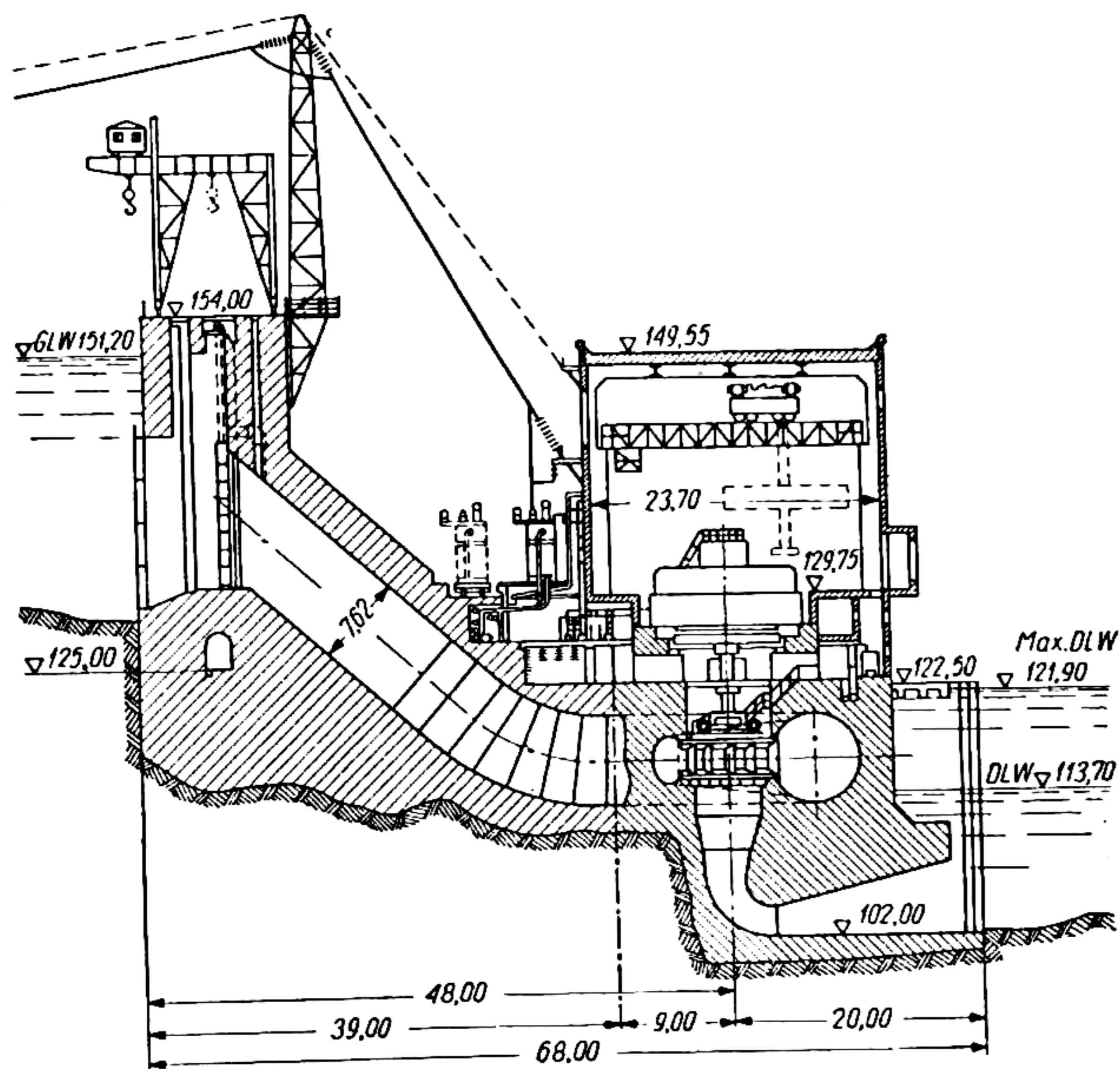


Rys. 1. Ogólny widok siłowni wodnej przepływowej (piętrzącej)

W zależności od sposobu wykorzystania energii wody rozróżniamy zasadniczo dwa typy siłowni wodnych: siłownie przepływowe (piętrzące) i siłownie upustowe (derywacyjne).

Wielkie siłownie przepływowe (piętrzące) można z kolei podzielić na siłownie o niskim spadzie i siłownie o średnim spadzie.

W siłowniach o niskim spadzie, spiętrzenie uzyskuje się przy pomocy budowli piętrzącej (spiętrzałej) — zapory lub jazu — oraz przy pomocy samego budynku siłowni, przylegającego bezpośrednio do tej budowli. W tym przypadku budowla piętrząca oraz budynek siłowni tworzą pod względem konstrukcyjnym budowlę piętrzącą, zespoloną. Siłownie takie budowane są zazwyczaj przy spadach w granicach od 25 do 30 m.

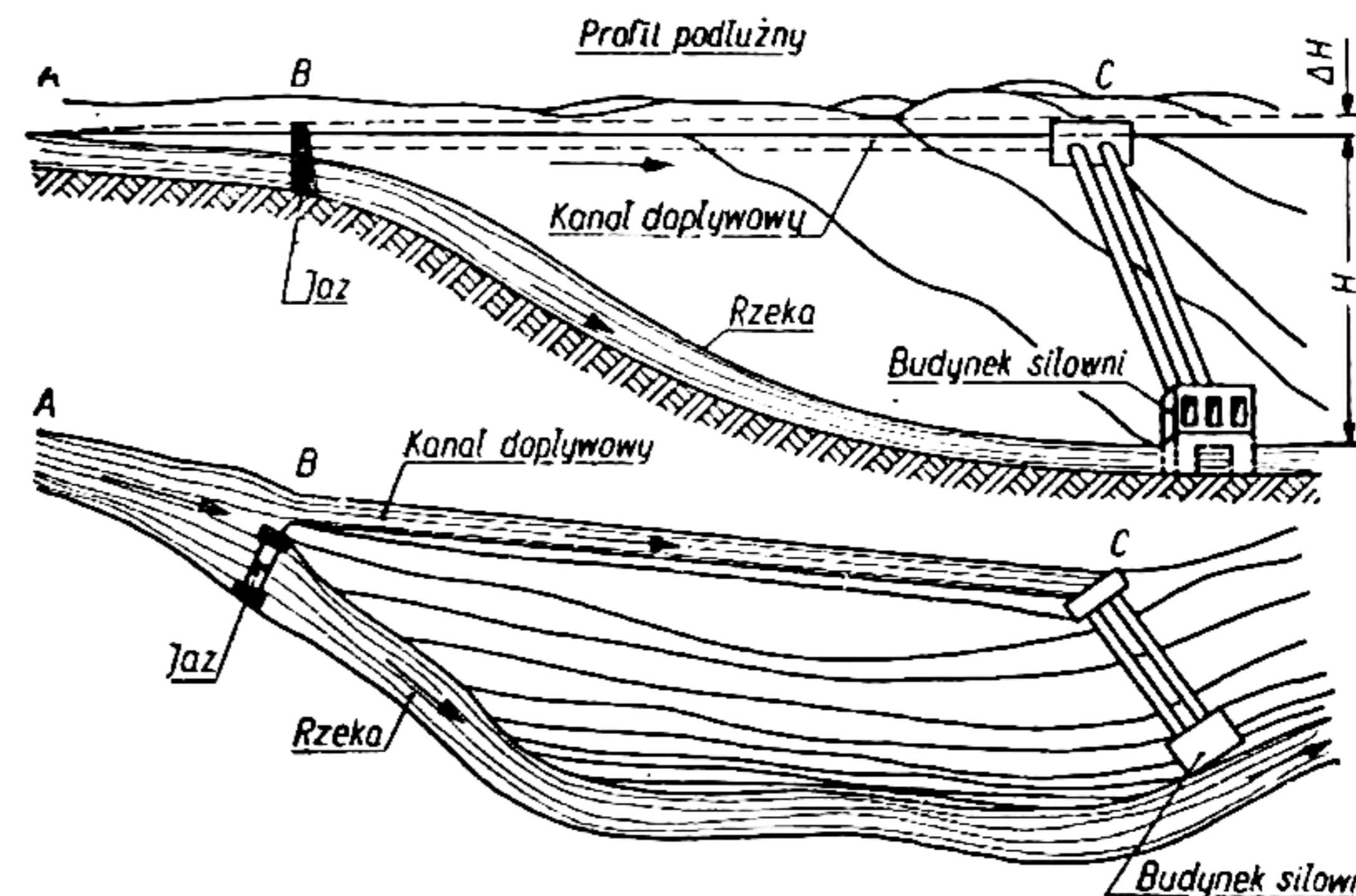


Rys. 2. Siłownia wodna

W siłowniach przepływowych o średnich spadach cały spadek uzyskuje się przy pomocy zapory, budynek zaś siłowni znajduje się w jej bezpośrednim sąsiedztwie. W tym przypadku woda doprowadzana jest do budynku przez krótki rurociąg. W Związku Radzieckim siłownie tego rodzaju budowane

są przy spadach do 50 m, lecz mogą pracować i pod większymi spadami, w zależności od wysokości zapory.

Charakterystycznym przykładem siłowni przepływowej, wykorzystującej wodę rzeki równinnej, może być siłownia pokazana na rys. 1. Prawa część koryta rzeki jest przegrodzona przez jaz, do którego przylega bezpośrednio budynek siłowni. Pomiędzy tym budynkiem i lewym brzegiem rzeki znajduje się śluza komorowa. Przed budynkiem siłowni umieszczony jest próg, który ma na celu niedopuszczenie lodu i innych części stałych do przedpola siłowni oraz do krat wlotowych znajdujących się w kanałach doprowadzających wodę do turbin.



Rys. 3. Schemat siłowni wodnej upustowej (derywacyjnej) z otwartym kanałem dopływowym

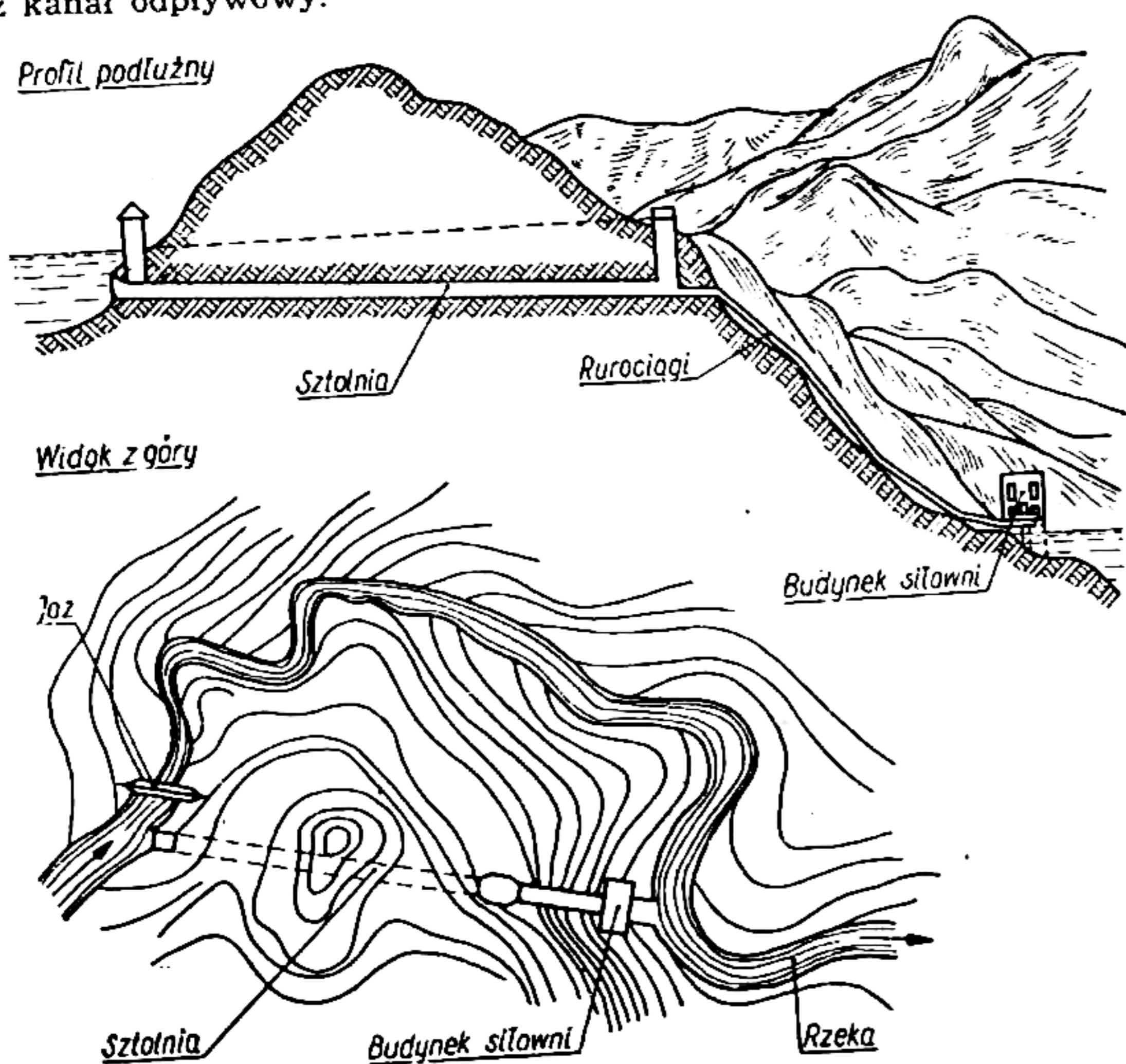
Na rys. 2 pokazano siłownię wodną, znajdującą się poza zapora. W tym przypadku spiętrzenie wytworzone jest przez zapora, zaś budynek siłowni znajduje się poza zapora. Woda doprowadzana jest do turbiny przez kanał wykonany w samej zapora.

Siłowniami upustowymi (derywacyjnymi) nazywają się siłownie, w których spadek uzyskuje się za pomocą kanału, sztolni lub rurociągu, przez nadanie tym przewodom mniejszego spadku w porównaniu z naturalnym spadkiem koryta rzeki. W takich siłowniach jaz znajduje się na początku przewodu upustowego.

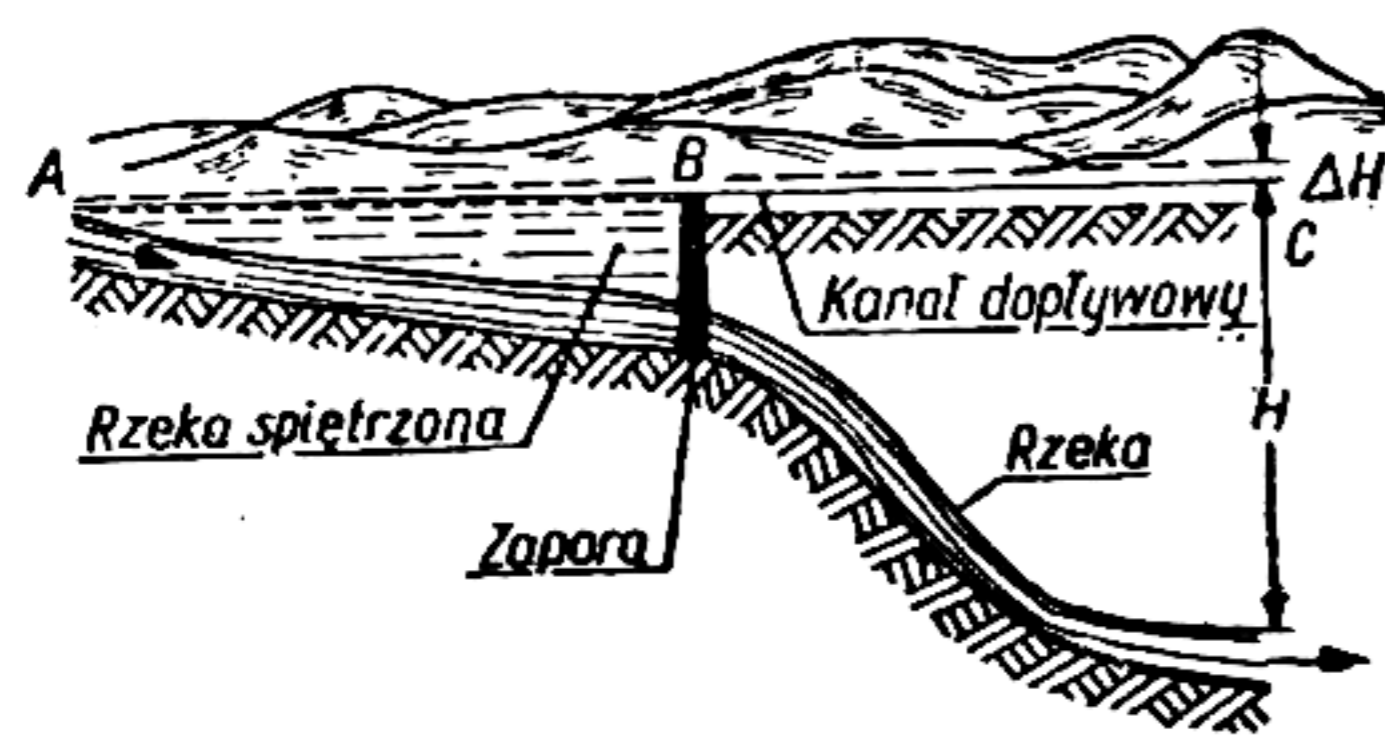
Rozróżniamy dwa rodzaje siłowni upustowych. Jeżeli doprowadzenie wody odbywa się przez kanał otwarty (bezcisnieniowy), to taką siłownię nazywamy siłownią upustową otwartą (bezcisnieniową) (rys. 3).

Jeżeli woda doprowadzana jest przez sztolnię lub rurociąg, to taką siłownię nazywamy siłownią upustową zamkniętą (cisnieniową). Na rys. 4 pokazano ogólny schemat siłowni wodnej ze sztolnią znajdującą się pod ciś-

nieniem. Woda ze sztolni dopływa przez rurociągi zasilające do turbin umieszczonych w budynku siłowni i odpływa następnie do koryta rzeki przez kanał odpływowy.



Rys. 4. Schemat siłowni wodnej ze sztolnią dopływową



Rys. 5. Schemat siłowni wodnej typu mieszanego piętrząco-derywacyjnego

Ponadto istnieją siłownie typu mieszane, w których spadek uzyskuje się za pomocą dwóch urządzeń: zapory oraz budowli derywacyjnej. Schemat takiej siłowni pokazano na rys. 5. Jak widać, na odcinku AB woda spiętrzona jest przy pomocy zapory, a następnie przez kanał dopływowy BC oraz ewentualnie przez sztolnię lub rurociąg dopływowy, zasila turbiny.

§ 2. TYPY TURBIN WODNYCH ORAZ ICH ZASADNICZE PARAMETRY

Turbiny wodne dzielimy na następujące zasadnicze typy: Francisca, Kaplana, śmigłowe o stałych łopatkach i Peltona. Każdy z tych typów pod względem konstrukcyjnym posiada wiele odmian. Tak np. turbiny Francisca mogą być o wale pionowym lub poziomym, bliźniacze itd.

Pod względem mocy turbiny wodne dzielą się na turbiny małe, o mocy około 500 do 700 kW — średnie, o mocy od 500 do 10000 kW i wielkie, o mocy powyżej 10000 kW. Podział turbin w zależności od ich gabarytów (obrysów) może być zupełnie przypadkowy, ponieważ moc nominalna turbiny o danych wymiarach może zmieniać się w szerokich granicach, w zależności od wielkości spadu.

W zależności od spadu danej instalacji każdy typ turbiny posiada swoje cechy konstrukcyjne.

W tabelicy 1 podano zależność pomiędzy typem turbiny i typem siłowni przy uwzględnieniu rozporządnego spadu.

Tabela 1

Zależność pomiędzy typem turbiny i rodzajem siłowni

Rodzaj siłowni wodnej	Spadek (m)	Typ turbiny	Typ spirali	Nr rys.
Siłownia piętrząca	3—30 (35)	Turbina Kaplana	betonowa	6
	30—50	Turbina Francisca	spawana	7
Siłownia derywacyjna	50—110	"	"	7
	90—300	"	łana	8
	300 i więcej	Turbina Peltona	—	9

Na rys. 6 pokazano przekrój budynku siłowni wraz z turbiną Kaplana w spirali betonowej, zaś na rys. 7 — przekrój budynku siłowni wraz z turbiną Francisca w spirali¹⁾ spawanej. Na rys. 8 widzimy przekrój budynku siłowni z turbiną Francisca w osłonie spiralnej łanej i wreszcie na rys. 9 — przekrój budynku siłowni z pionową turbiną Peltona.

Zasadniczymi parametrami turbiny charakteryzującymi jej przydatność w danych warunkach są: spadek H , moc N , wyróżnik szybkoobrotowości n_s , wysokość ssania H_s (w turbinach Kaplana jest to pionowa odległość osi łopatek wirnika od dolnego zwierciadła wody, zaś w turbinach Francisca — pionowa odległość od tego zwierciadła do środka kierownicy turbiny, tj. do poziomej osi spirali), prędkość obrotowa n w obrotach na minutę, typ wirnika oraz jego średnica D .

Posiłkując się znanymi charakterystycznymi wielkościami danej instalacji, a mianowicie: rozporządnym spadem H (m) oraz przeliskiem wody Q (m³/sek) każdej turbiny, możemy w pierwszym przybliżeniu obliczyć moc turbiny

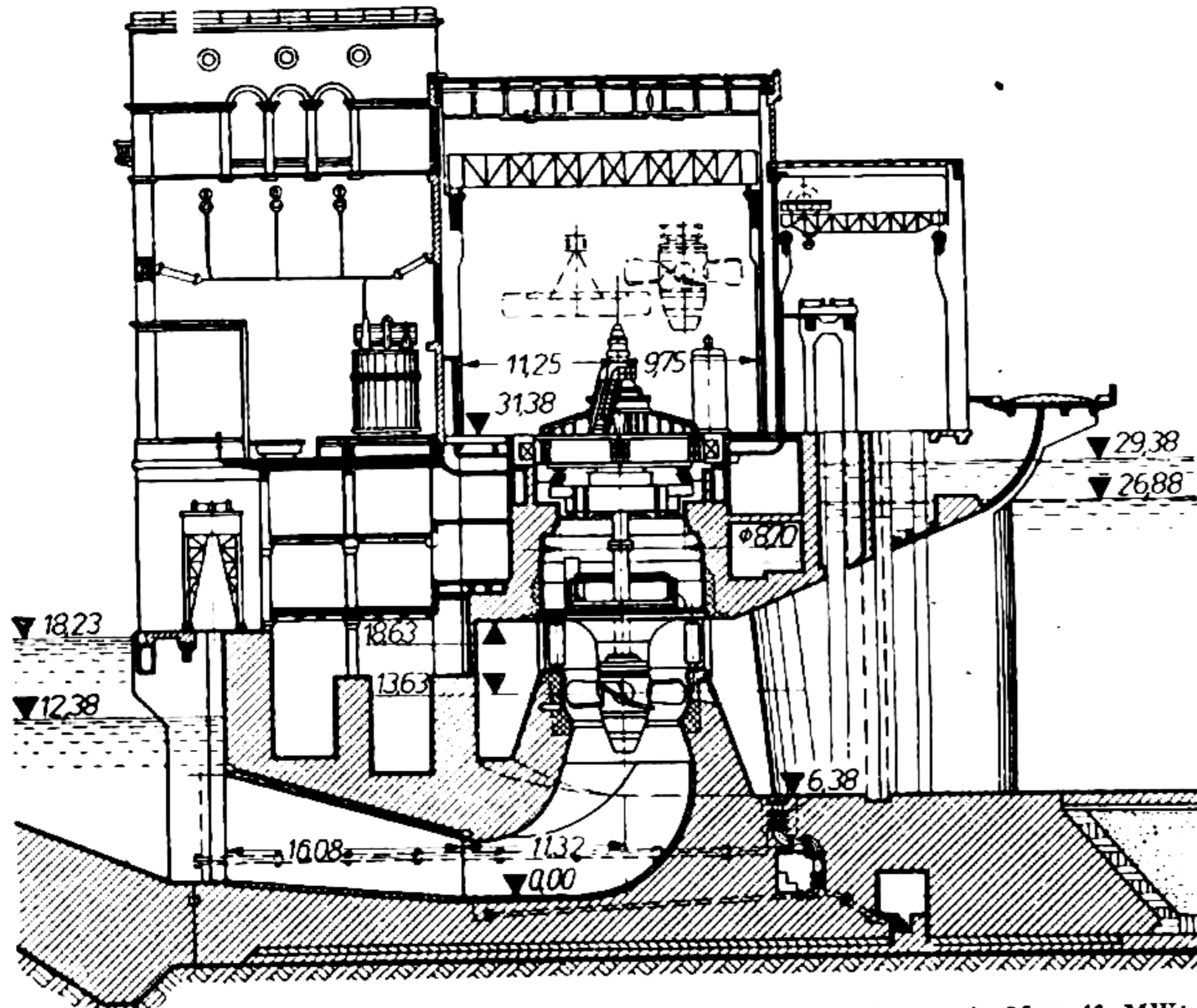
$$N = \eta \frac{1000 Q H}{75} \quad (\text{KM}) \quad [1]$$

Przez η oznaczono tutaj sprawność turbiny, która dla współczesnych wielkich turbin osiąga wartość od 0,88 do 0,93.

¹⁾ Spirala nazywa się również osłoną spiralną lub spiralą zasilającą (przyp. tłum.).

Wyróżnik szybkobieżności n_s charakteryzuje serię turbin danego typu i określony jest przez wzór

$$n_s = \frac{n}{\sqrt{H}} \sqrt{\frac{N}{H\sqrt{H}}} \quad [2]$$



Rys. 6. Przekrój siłowni z turbiną Kaplana w spirali betonowej. Moc 46 MW; spad 14 m; prędkość obrotowa 68,2 obr/min; średnica wirnika 8 m

w których moc turbiny N podana jest w KM.

Wyróżnik szybkobieżności danej serii turbin wyraża zależność pomiędzy spadem, mocą i prędkością obrotową turbiny.

W tabelicy 2 podano wartości wyróżnika szybkobieżności współczesnych turbin wodnych.

Wysokość ssania turbiny H_s ograniczona jest przez zjawisko kawitacji. Maksymalna wartość tej wysokości uwarunkowana jest żądaniem, aby turbina mogła pracować przez dłuższy okres czasu bez widocznych nadzarć kawitacyjnych. Wysokość tę obliczamy ze wzoru

$$H_s = H_b - \sigma H \quad [3]$$

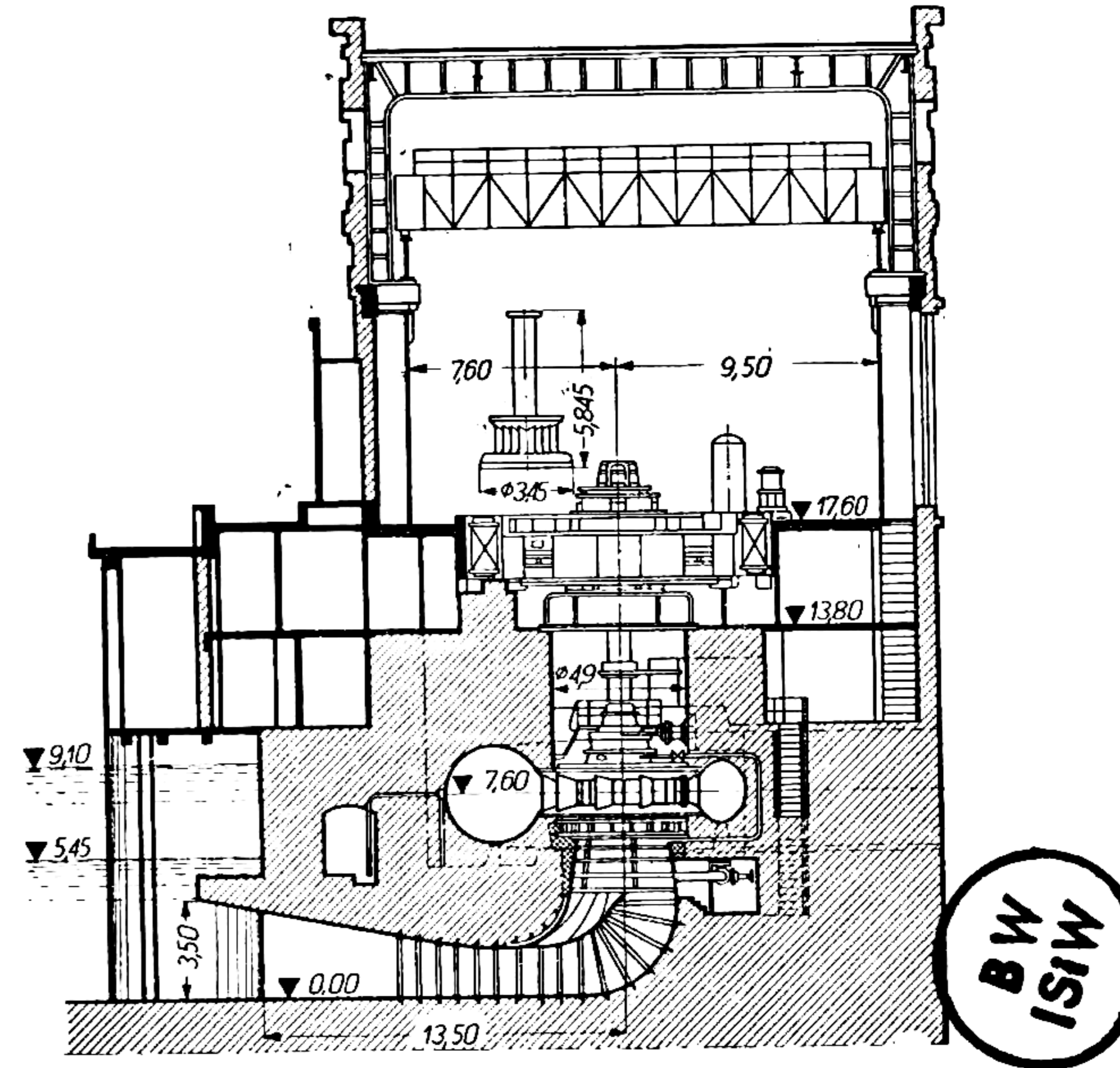
gdzie σ jest współczynnikiem kawitacji, H_b — ciśnieniem barometrycznym (atmosferycznym) na poziomie siłowni w m sł. wody.

Tablica 2

Wyróżniki szybkobieżności n_s współczesnych turbin wodnych

Typ turbiny	Spad H (m)	n_s
Peltona	≥ 300	2—25
Francisa:		
wolnobieżna	300—110	60—150
średnibieżna	110—50	150—250
szybkobieżna	50—30	250—350
Kaplana i śmigłowe	30*)—3	350—1000

*) Turbiny Kaplana używa się obecnie na spady do 50 m



Rys. 7. Przekrój siłowni z turbiną Francis w spirali spawanej. Moc 21 MW; spad 35,5 m; prędkość obrotowa 150 obr/min; średnica wirnika 3 m

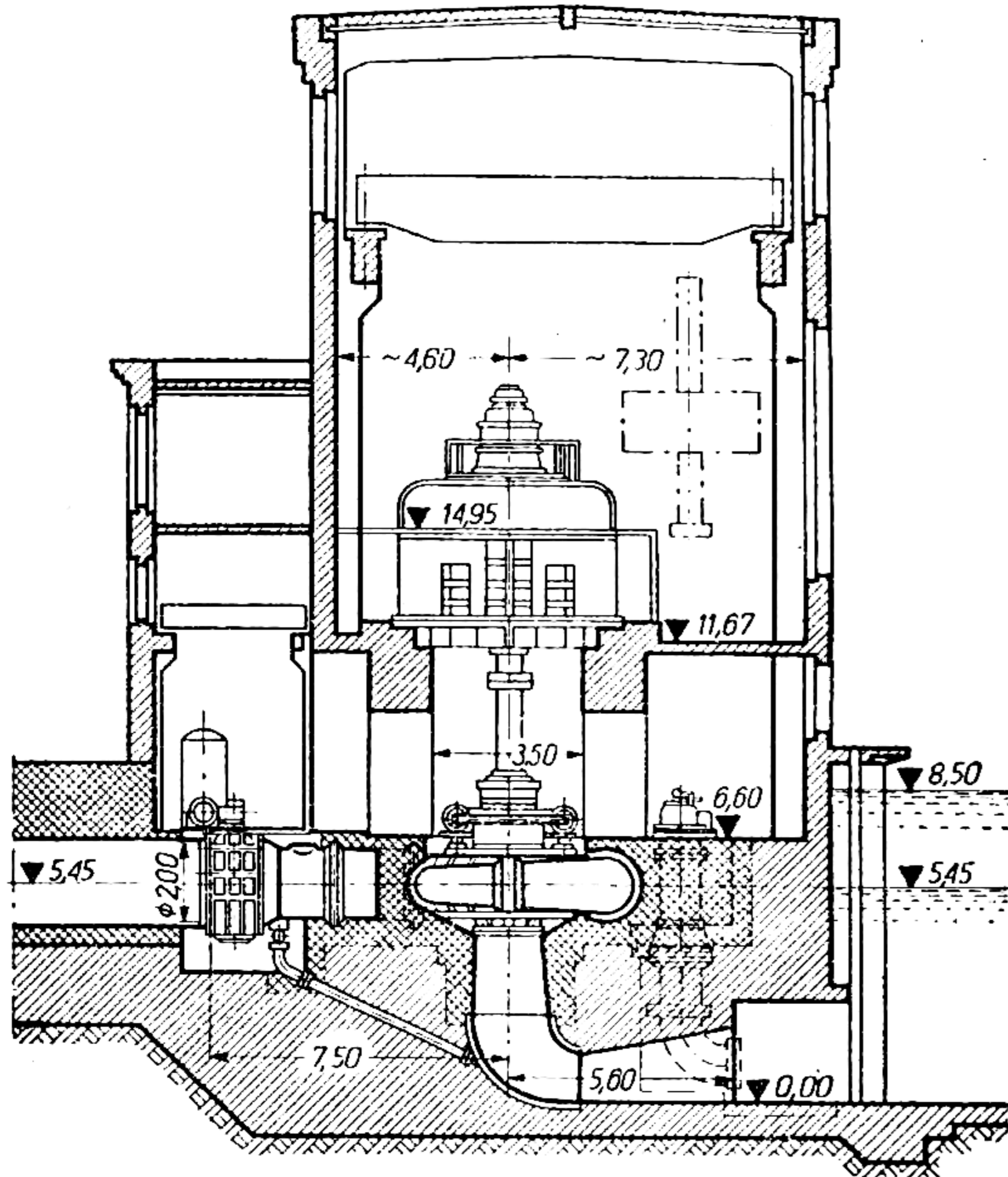


Ciśnienie barometryczne podane jest przez wzór

$$H_b = 10 - \frac{h}{900} \text{ m sł. wody} \quad [4]$$

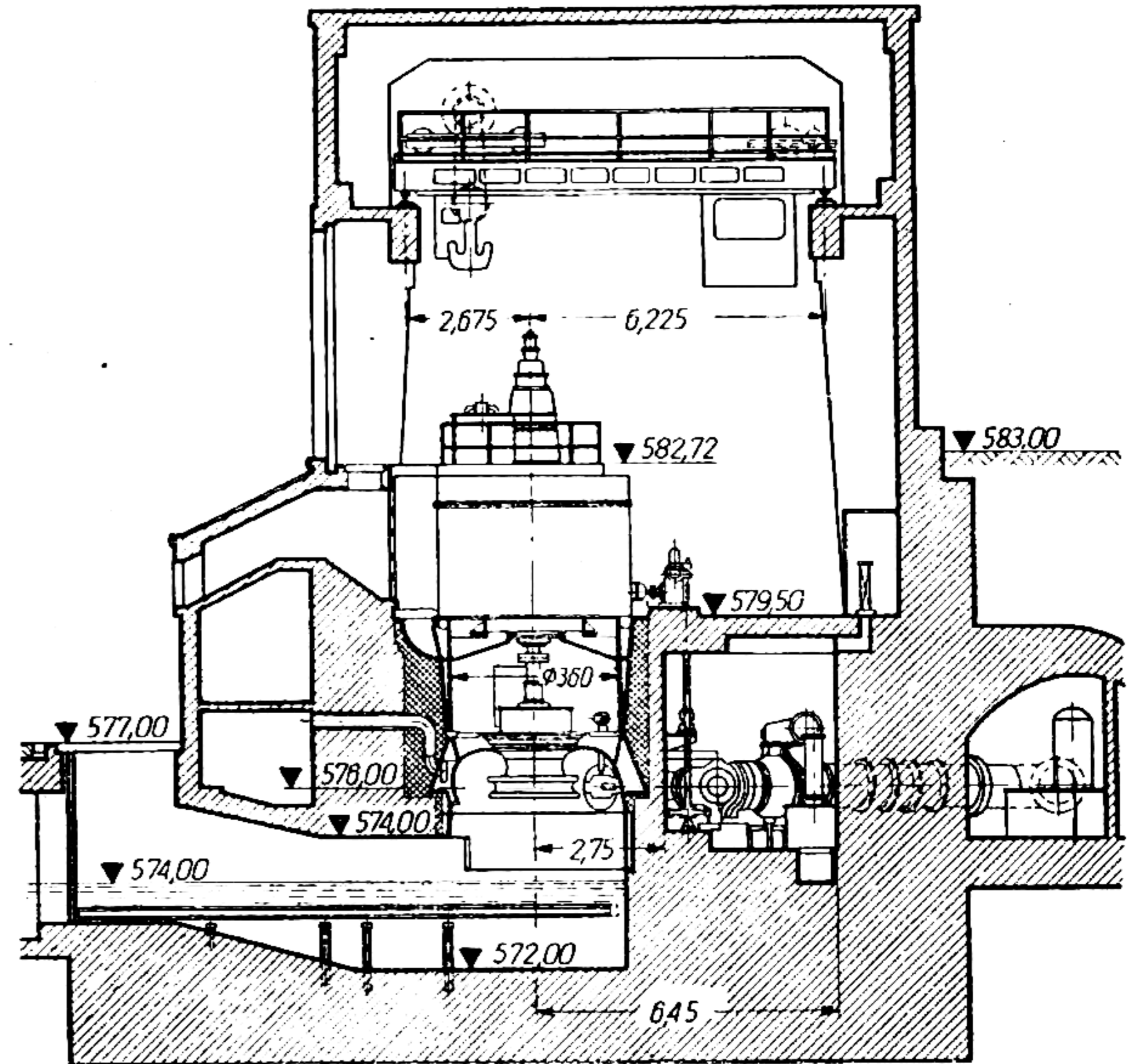
gdzie h — wysokość silowni nad poziomem morza w m.

Współczynnik kawitacji σ zależy od typu turbiny oraz od konstrukcyjnych elementów jej części przepływowej. Wartość jego wyznaczamy na pod-



Rys. 8. Przekrój silowni z turbiną Francis w spirali łanej: moc 25 MW; spad 169 m; prędkość obrotowa 375 obr/min; średnica wirnika 2,12 m

stawie laboratoryjnych badań modelu turbiny. Na rys. 10 podano wykres zależności $\sigma = f(n_s)$ dla turbin Francis sporządzony na podstawie danych doświadczalnych otrzymanych przy badaniach szeregu modeli tych turbin w Leningradzkich Zakładach Budowy Maszyn.



Rys. 9. Przekrój silowni z pionową turbiną Peltona. Moc 15,44 MW; spad 585 m; prędkość obrotowa 600 obr/min; średnica wirnika 1,58 m

Przekształcając równanie (2) znajdujemy prędkość obrotową turbiny n , tj. ilość jej obrotów na minutę

$$n = n_s H \sqrt{\frac{V}{N}} \quad [5]$$

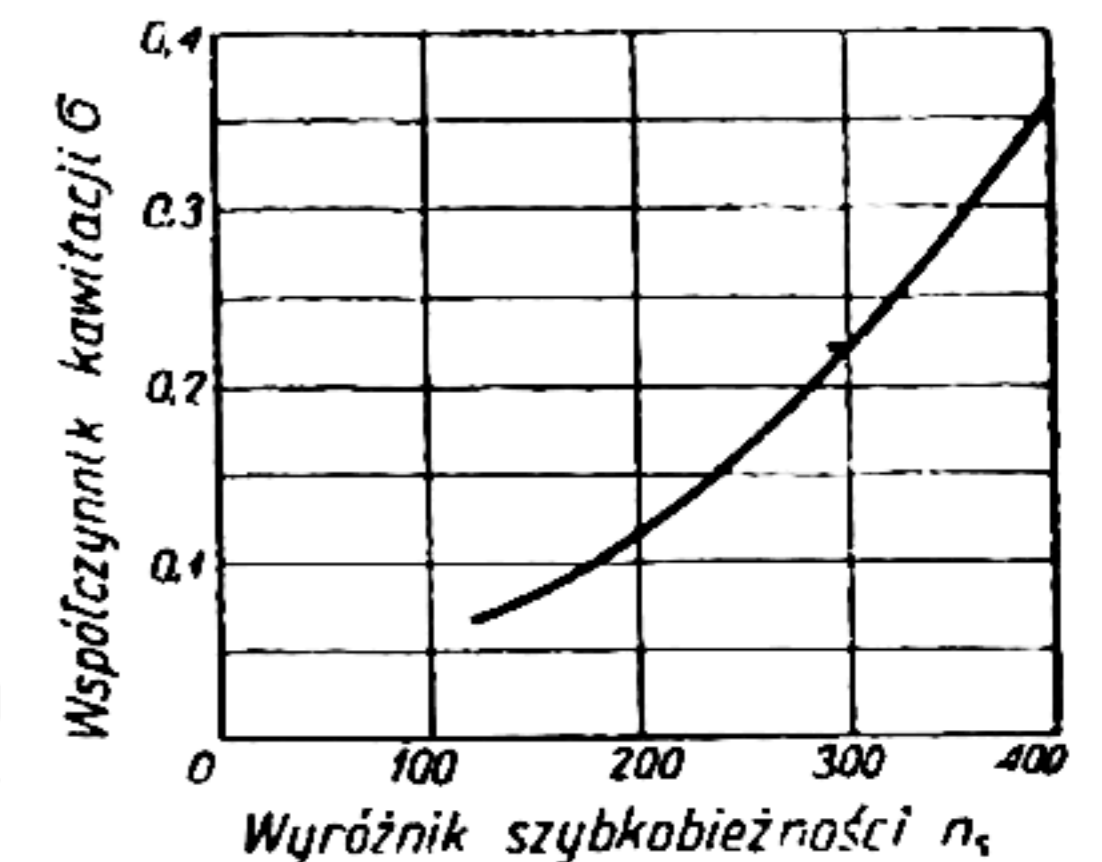
W pierwszym przybliżeniu wartość n_s możemy przyjąć według tabl. 2.

Prędkość obrotowa turbiny sprzężonej bezpośrednio z prądnicą powinna być synchroniczna, tj. powinna wynosić

$$n = 60 \frac{f}{p}$$

gdzie: p — liczba par biegunów prądnicy prądu zmiennego,

f — częstotliwość prądu prądnicy, która w ZSRR i Polsce jest znormalizowana i wynosi 50 okresów na sekundę.



Rys. 10. Krzywa zależności współczynnika kawitacji σ od wyróżnika szybkości n_s

Stąd

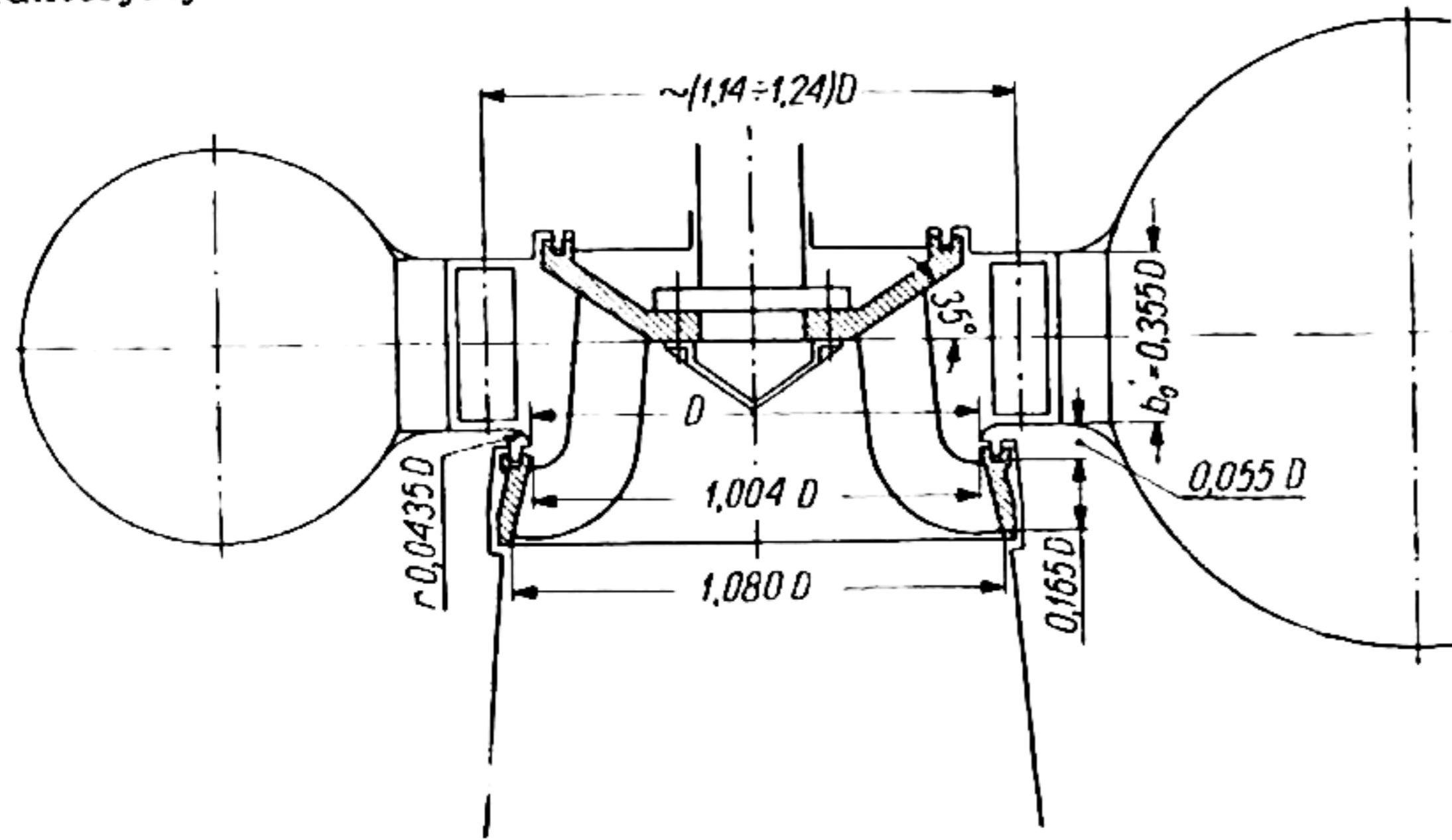
$$n = \frac{3000}{p} \text{ obr/min}$$

W tabelicy 3 podano synchroniczne prędkości obrotowe, stosowane najczęściej w wielkich turbinach wodnych.

Tabela 3

Synchroniczna prędkość obrotowa n					
n obr/min	Liczba par biegunów p	n obr/min	Liczba par biegunów p	n obr/min	Liczba par biegunów p
50	60	100	30	250	12
60	50	125	24	300	10
62,5	48	150	20	375	8
68,2	44	166,7	18	500	6
75	40	187,5	16	600	5
88,3	34	214	14	750	4

Zasadnicze wymiary hydraulicznych części turbiny określone są przez typ wirnika. Wytwórnice turbin mają zazwyczaj opracowane i zbadane laboratoryjnie serie wirników modelowych, pokrywających szeroki zakres spadów. Dane otrzymane przy badaniu wirników modelowych przedstawia się w postaci krzywych, które tworzą tzw. pagórki sprawności, czyli charakterystyki uniwersalne.



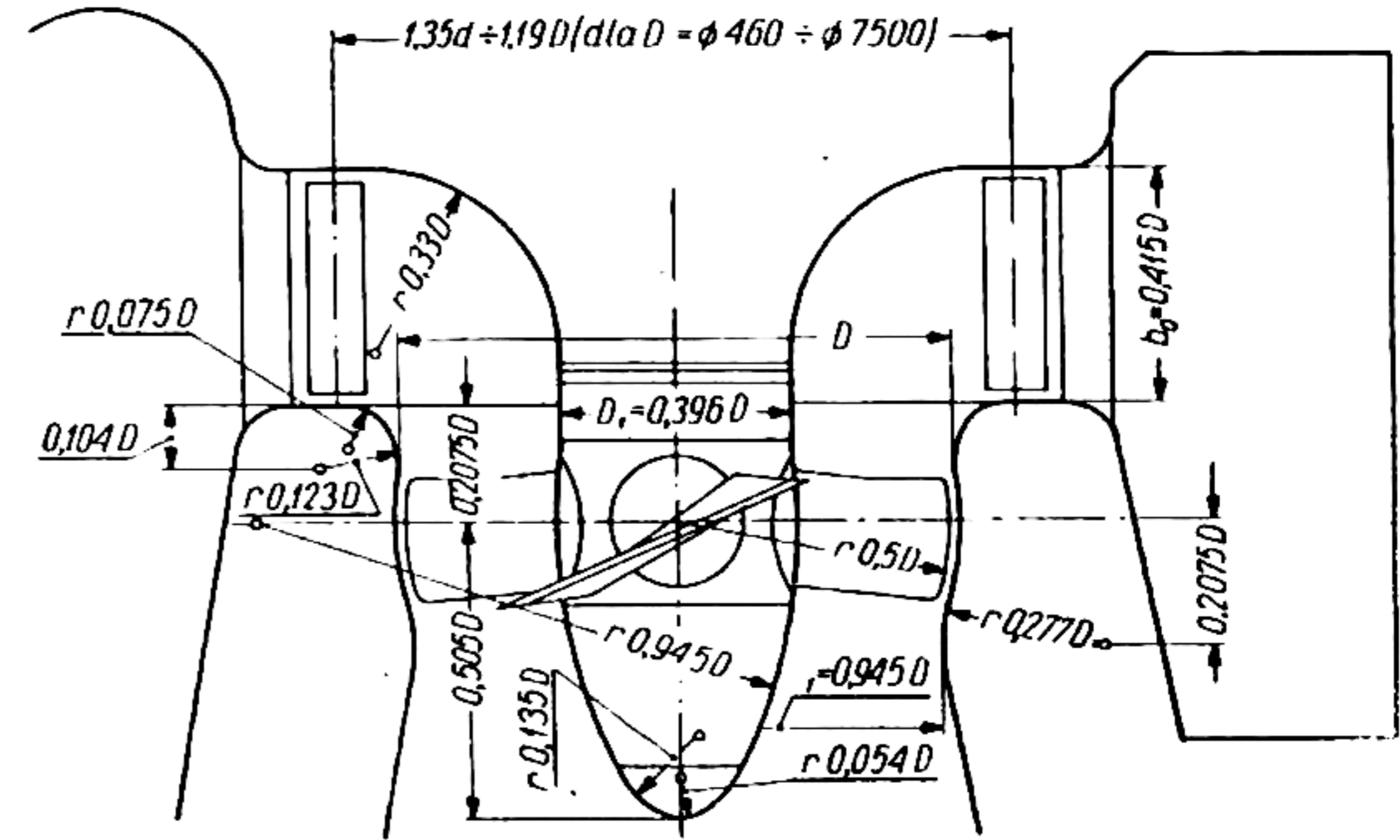
Rys. 11. Zasadnicze wymiary turbiny Francis Φ /PO/183

Typ wirnika charakteryzują wielkości n_s oraz σ . Na podstawie znanych wartości n_s i σ oraz dla znanego spadu H wybiera się z katalogu najodpowiedniejszy typ wirnika lub, jeżeli to jest nieodzowne, przeprowadza się prace obliczeniowo-badawcze w celu stworzenia nowego typu wirnika.

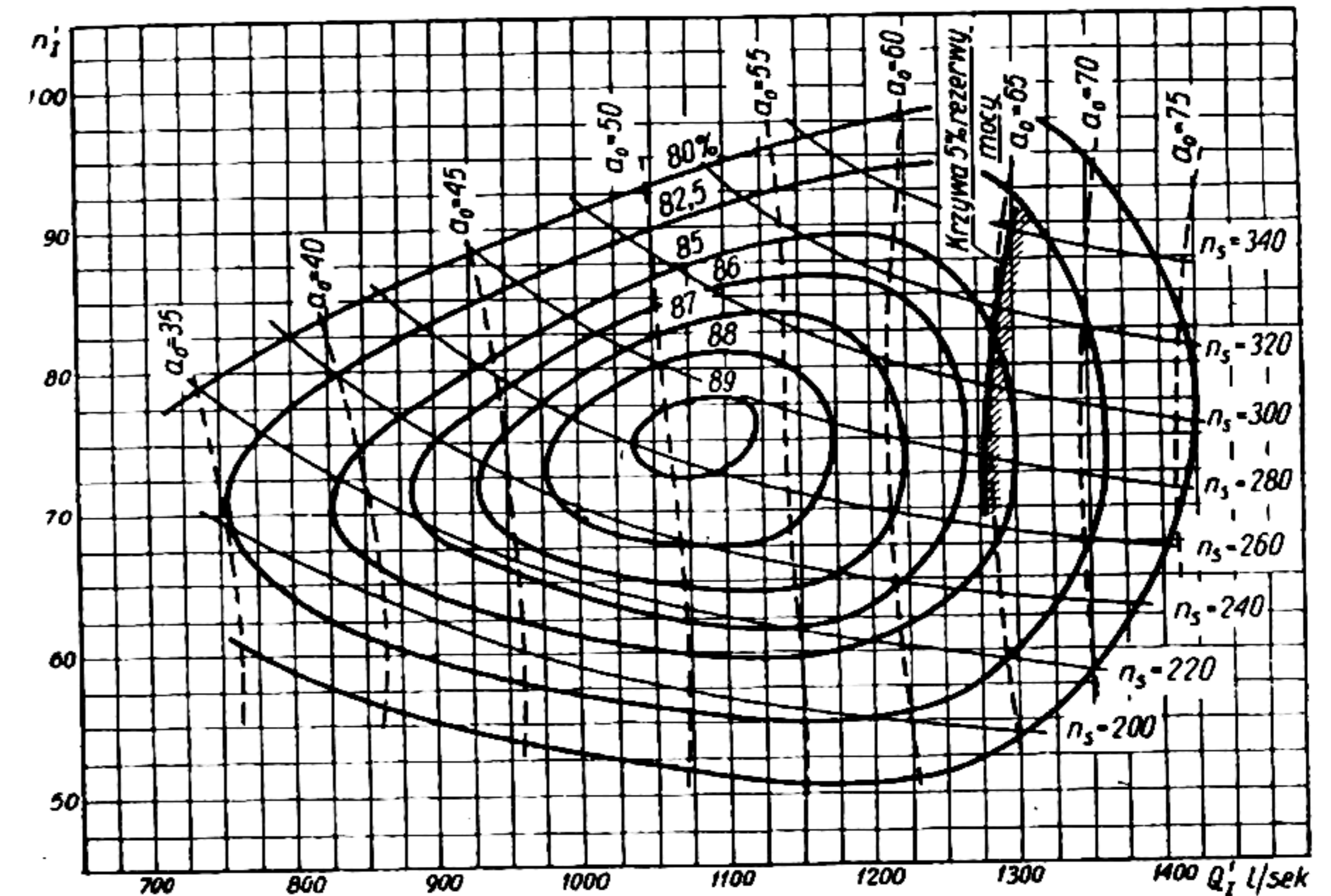
Na rys. 11 i 12 pokazano wirniki typu Φ (PO) 123 i K (PII) 91. Widzimy, że wszystkie zasadnicze wymiary wirników, kierownic oraz wlotowych

przekrojów rur ssawnych są funkcjami charakterystycznej średnicy D wirnika.

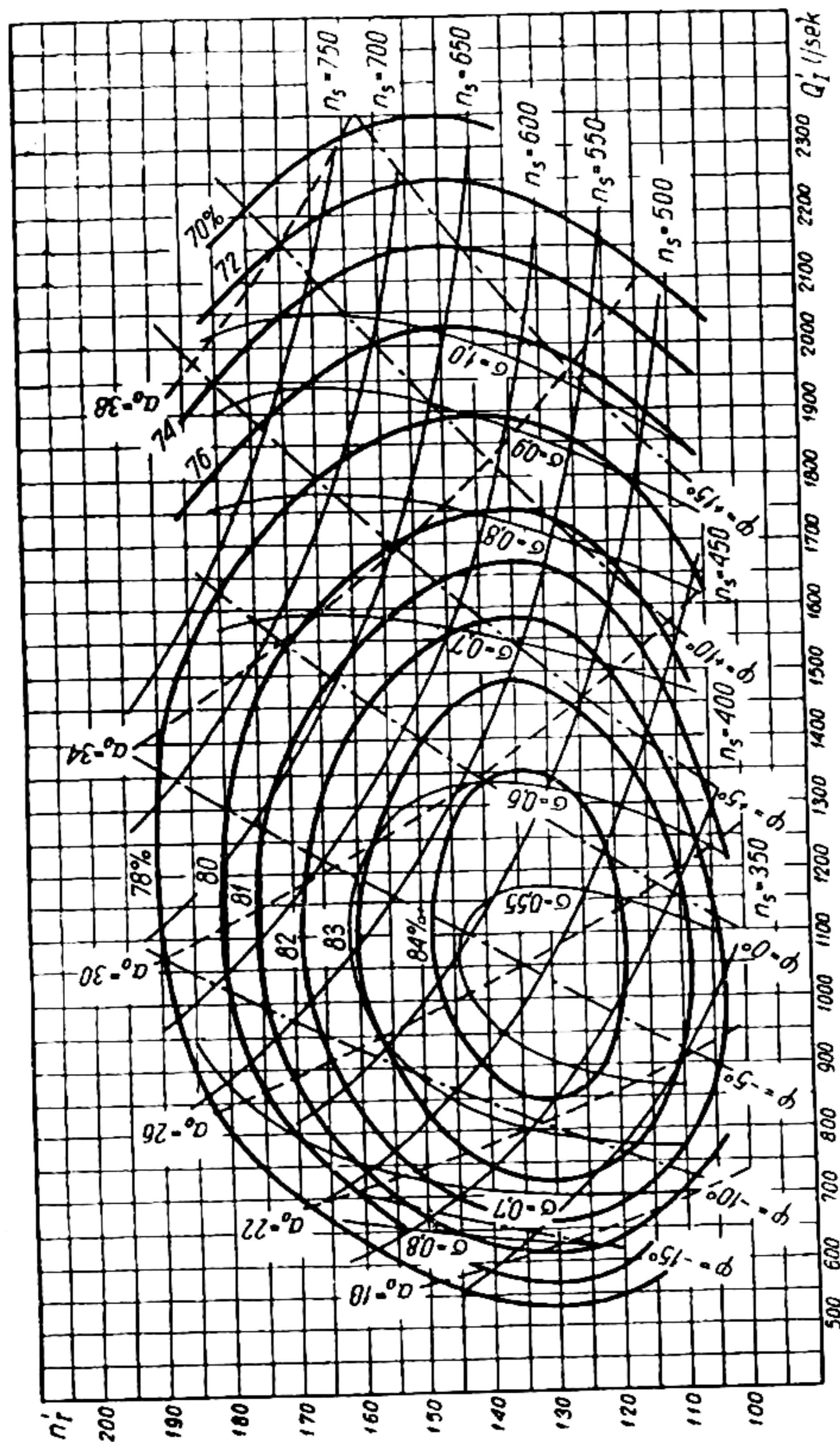
Na rys. 13 i 14 pokazano pagórki sprawności tych wirników we współrzędnych n'_1 i Q'_1 . Współrzędne te przedstawiają zredukowaną prędkość obrotową i zredukowany przepływ, tj. wartość tych wielkości przy średnicy



Rys. 12. Zasadnicze wymiary turbiny Kaplana K/PII/9V



Rys. 13. Pagórek sprawności turbiny Francis Φ /PO/123



Rys. 14. Pagórek sprawności turbiny Kaplana K/III 91 oraz krzywe jednakowych wartości współczynnika kawitacji

wirnika modelowego $D_1 = 1$ m i spadzie $H = 1$ m¹). Przy pomocy przeliczenia opartego na prawie podobieństwa hydromechanicznego turbiny modelowej i turbiny rzeczywistej, możemy łatwo znaleźć prędkość obrotową n oraz średnicę wirnika turbiny rzeczywistej D , a stąd wszystkie przytoczone wymiary zasadnicze. Przeliczenie to opiera się na następujących wzorach

$$D = \sqrt{\frac{Q}{Q_1' \sqrt{H}}} \quad [6]$$

$$n = n_1' \frac{\sqrt{H}}{D} \quad [7]$$

Otrzymane w ten sposób wartości N , D , n oraz H_s są wartościami wstępnymi. Ustalamy je przez konfrontację z pagórkiem sprawności danego wirnika, przy czym wymagamy, aby turbina pracowała w obszarze największych sprawności i była przystosowana do zmiennych obciążeń, do zmiennego przepływu wody w rzece, wahań spadu itp.

Dla przykładu przeprowadzimy wstępny dobór turbiny dla siłowni wodnej, położonej na wysokości $h = 10$ m nad poziomem morza. Nominalny spad $H = 36$ m, największy przełyk każdej turbiny $Q = 68$ m³/sek.

Na podstawie tablicy 1 ustalamy, że w tym przypadku należy zastosować turbinę Francis'a w spirali spawanej. Według wzoru [1] znajdujemy $N = 29400$ KM przy $\eta = 0,9$, zaś ze wzoru [4] $H_b = 9,99$. Według tablicy 2 $n_s = 320$, zaś według wykresu na rys. 10 $\sigma = 0,24$.

W katalogu wirników modelowych Leningradzkich Zakładów Metalowych, znalezionej tutaj wartości n_s odpowiada najbardziej wirnik typu Φ (ΠO) 123 (rys. 11). Przełyk tego wirnika wynosi $Q_1' = 1,29$ m³/sek przy 5% rezerwy mocy (rys. 13). Średnicę D wirnika turbiny rzeczywistej obliczamy ze wzoru [6]; średnica ta wynosi 3 m. Następnie, posługując się danymi dla turbiny modelowej, naniesionymi na jej pagórek sprawności, uściślamy zasadnicze parametry turbiny rzeczywistej.

Z pagórka sprawności (rys. 13) wynika, że maksymalna sprawność na szczycie optymalnego obszaru wynosi $\eta = 0,89$. Ponieważ optymalna zredukowana prędkość obrotowa $n_1' = 75$, więc punkt pracy na pagórku sprawności należy obrać na przecięciu współrzędnych $n_1' = 75$ i $Q_1' = 1290$. Punktowi temu odpowiadają wartości $n_s = 290$ oraz $\sigma = 0,22$.

Wysokość ssania obliczamy ze wzoru [3]: $H_s = +2$ m, zaś prędkość obrotową ze wzoru [7]: $n = 150$ obr/min.

Ponieważ wraz ze wzrostem wymiarów turbiny wzrasta sprawność, więc sprawność turbiny rzeczywistej będzie większa niż turbiny modelowej.

1) Wielkości n_1' i Q_1' są w rzeczywistości wielkościami podwójnie zredukowanymi, gdyż są zredukowane na średnicę $D_1 = 1$ m i na spad $H = 1$ m. Dla prostoty jednak będziemy je nazywać wielkościami zredukowanymi (przyp. tłum.).

W praktyce budownictwa turbin wodnych w ZSRR turbiny śmigłowe stosowane są bardzo rzadko z powodu oczywistej wyższości nad nimi turbin Kaplana.

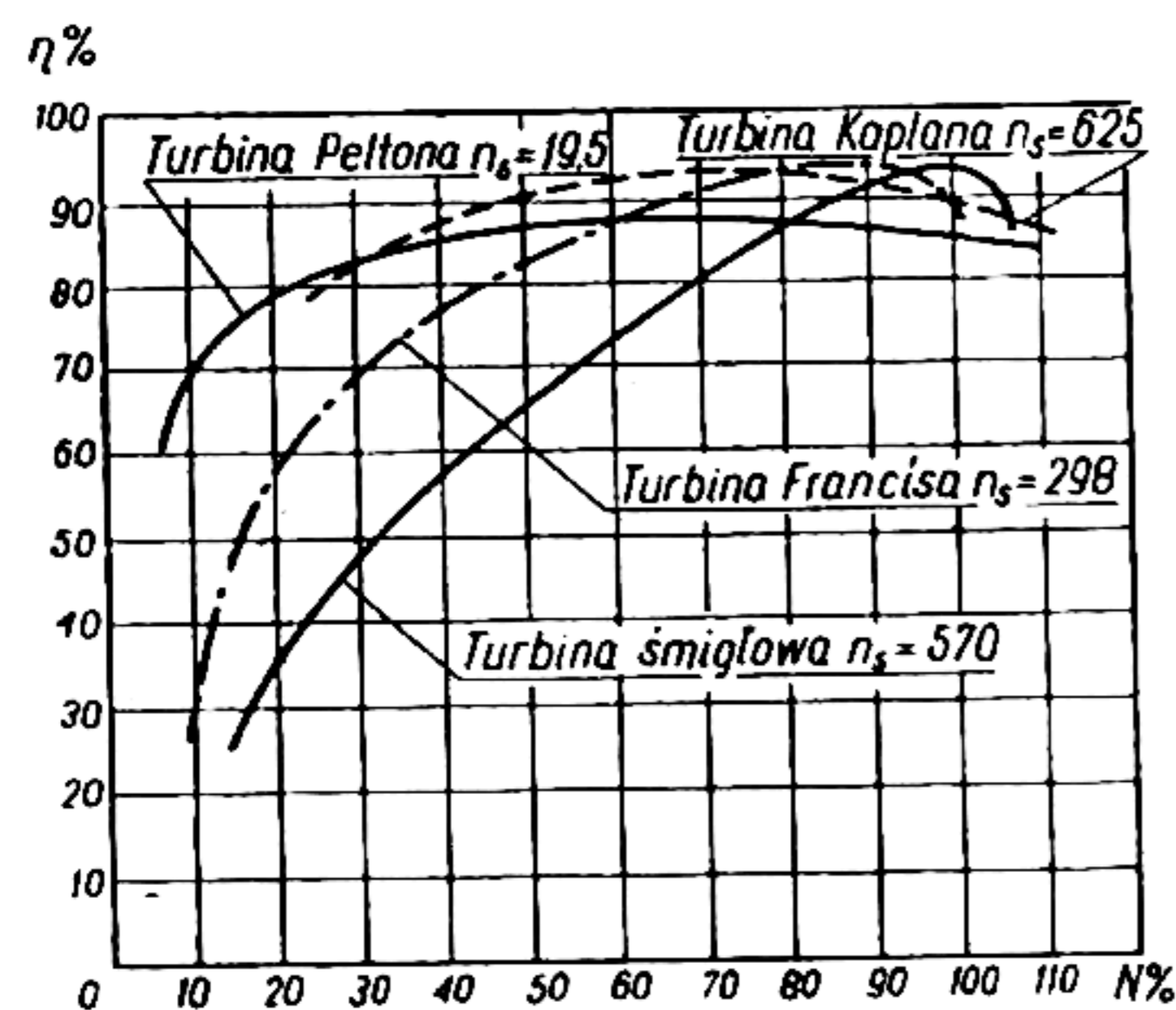
Wyższość turbin Kaplana — które w odróżnieniu od turbin śmigłowych posiadają nastawne łopatki wirnika — polega na tym, że turbiny te odznaczają się dobrą sprawnością w szerszych zakresach spadów i mocy, podczas gdy sprawność turbin śmigłowych ulega znacznemu zmniejszeniu zarówno przy zmianie mocy nominalnej jak i przy zmianie spadów. Zaletą tą jest szczególnie cenna jeśli weźmiemy pod uwagę, że turbiny Kaplana stosuje się w instalacjach na niskie spadki, w których procentowe zmiany spadów są stosunkowo duże.

W porównaniu z turbinami Francisa, turbiny Kaplana posiadają również tę zaletę, że przy tych samych średnicach wirników ich przelęg jest znacznie większy. Sprzyja to zmniejszeniu wymiarów gabarytowych zespołów, a zatem powoduje obniżenie kosztów inwestycyjnych siłowni.

Na rys. 15 pokazano charakterystyki turbin różnych typów. Widzimy, że charakterystyka turbiny Kaplana przebiega w znacznej swej części łagodniej niż charakterystyki turbiny Francisa oraz turbiny śmigłowej o stałych łopatkach.

Fakt ten wyraźnie uzmysławia wspomnianą wyżej zaletę turbin Kaplana.

W nowoczesnym budownictwie turbin wodnych dąży się w związku z tymi uwagami do podwyższenia dla turbin Kaplana stosowanego spadów przytoczonego w tablicy 1, a tym samym do możliwie jak najszerszego zastępowania przez te turbiny turbin Francisa. Analogiczną tendencję możemy zaobserwować w zakresie wysokich spadów (powyżej



Rys. 15. Charakterystyki różnych typów turbin wodnych o różnych wyróżnikach szybkoobrotowości

250 m), odnośnie stosowania turbin Francisa posiadających lepszą sprawność aniżeli turbiny Peltona.

W budownictwie turbin wodnych na terenie ZSRR przyjęto umowne oznaczenia charakteryzujące zasadnicze dane turbiny. Tak np. Φ (ΠO) 82 — BM — 370 oznacza: turbina Francisa (Φ) zaopatrzona w wirnik nr 82, pionowa (B) w osłonie spiralnej metalowej (M), o średnicy wirnika 370 cm; K(ΠI) 510—BE—800 — turbina Kaplana (K) zaopatrzona w wirnik nr 510,

pionowa (B) w osłonie spiralnej betonowej (E) o średnicy wirnika 800 cm; Πp 70—BO—100 turbina śmigłowa (Πp), zaopatrzona w wirnik nr 70, pionowa (B), odkryta (O), o średnicy wirnika 100 cm; Π(KB)5—Γ—82/6,5 — turbina Peltona (Π), zaopatrzona w wirnik nr 5, pozioma (Γ) o średnicy koła podziałowego wirnika 82 cm i o średnicy dyszy 6,5 cm.

§ 3. ZASADNICZE ZESPOŁY¹⁾ TURBIN WODNYCH I ICH PRZEZNACZENIE

Montaż wielkich turbin wodnych posiada nadzwyczaj różnorodny charakter ze względu na szeroki zakres mocy (od 10000 do 100000 kW i więcej), wielką ilość typów turbin i rozmaite ich techniczne wykonanie. Z tego powodu niemożliwe jest omówienie zagadnień montażowych tych wielu wariantów wykonania.

W celu jaknajpełniejszego naświetlenia zagadnień montażu rozpatrzmy najbardziej rozpowszechnione i typowe konstrukcyjne rozwiązania turbin, wykazujące istotne różnice w sposobach i metodach montażu, a mianowicie:

- 1) pionowe turbiny Francisa, zaopatrzone w spirale spawane;
- 2) pionowe turbiny Francisa, zaopatrzone w spirale lane;
- 3) pionowe turbiny Kaplana, zaopatrzone w spirale betonowe;
- 4) pionowe turbiny Peltona.

Stosownie do charakteru montażu całość konstrukcyjną wymienionych poszczególnych turbin wygodnie jest podzielić na cztery zasadnicze zespoły, a mianowicie:

- 1) części fundamentowe,
- 2) mechanizmy robocze,
- 3) układy regulacyjne,
- 4) instalacje pomocnicze.

Tablica 4 zawiera wykaz zasadniczych elementów wykonanych turbin oraz ciężary tych elementów.

W tablicy 5 podano dla przykładu niektóre wymiary podstawowe turbin przytoczonych w tabl. 4.

Należy zauważyć, że nawet gdy parametry turbin są jednakowe, to jednak ich ciężary i podstawowe wymiary, w zależności od konstrukcyjnego wykonania, mogą różnić się nieco od danych przytoczonych w tabl. 4 i 5.

¹⁾ Zespołami lub podzespołami turbin wodnych nazywamy zbiór części lub mechanizmów turbin stanowiący całość z punktu widzenia swego funkcjonowania lub montażu. Zespoły lub podzespoły zwane są również węzłami. Należy od nich odróżniać zespoły turbinowe lub turbozespoły, która to nazwa oznacza turbinę łącznie z napędzaną przez nią prądnicą (przyp. tłum.).

Tabela 4
Zasadnicze elementy wykonanych pionowych turbin wodnych i ich ciężary

Nazwy zespołów i ich elementów	Turbin Francisca			Turbin Kaplana				Turbin Peltona
	Średnica wirnika w metrach i rodzaj spirali							
	2,1 lana	2,95 spawana	5,5 spawana	3,6 betonowa	5,0 betonowa	8,0 betonowa	9,0 betonowa	1,95
	$\left(\frac{N}{H}\right)$ [Moc N (MW) i spad H (m)]							
	25,0 169	38,5 74	75,0 36,3	12,5 17,5	15,0 13,0	46,0 14,0	65,0 15,5	37,5 370
	Prędkość obrotowa n obr/min							
	375	187,5	83,3	150	100	58,2	62,5	375
Ciężar (w tonnach) w mianowniku ilość części								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Części fundamentowe								
Wykładzina rury ssawnej	2,6 4	15,0 8	12,8 12	19,1 8	10,0 10			
Wykładzina stożkowej części rury ssawnej	2,3 2	2,4 2	14,3 4	2,1 2	6,4 2	9,7 4	15,4 8	
Dolny pierścień fundamentowy	9,5 2	11,1 2	14,6 4			11,6 4		
Spirala wlotowa	49,1 4	40,0 12	150,0 104					
Stojan turbiny		32,0 2	60,0 4					
Wykładzina komory turbiny i komór serwowatorów (silowników)		6,8 2	10,6 4	7,8 2	7,0 4	23,8 8	39,2 19	
Słupy spirali				20,5 14	28,1 14	85,5 18	103,2 18	
Komora wirnika				10,8	23,9	41,1 6	106,3 16	
Górny (fundamentowy) pierścień kierownicy					33,5 6	68,8 8	95,8 8	
Dolny (fundamentowy) pierścień kierownicy				6,5 2	20,2 2	43,0 8	54,9 8	
Górny pierścień fundamentowy				80,4 4				

Tabela 4 (cd.)

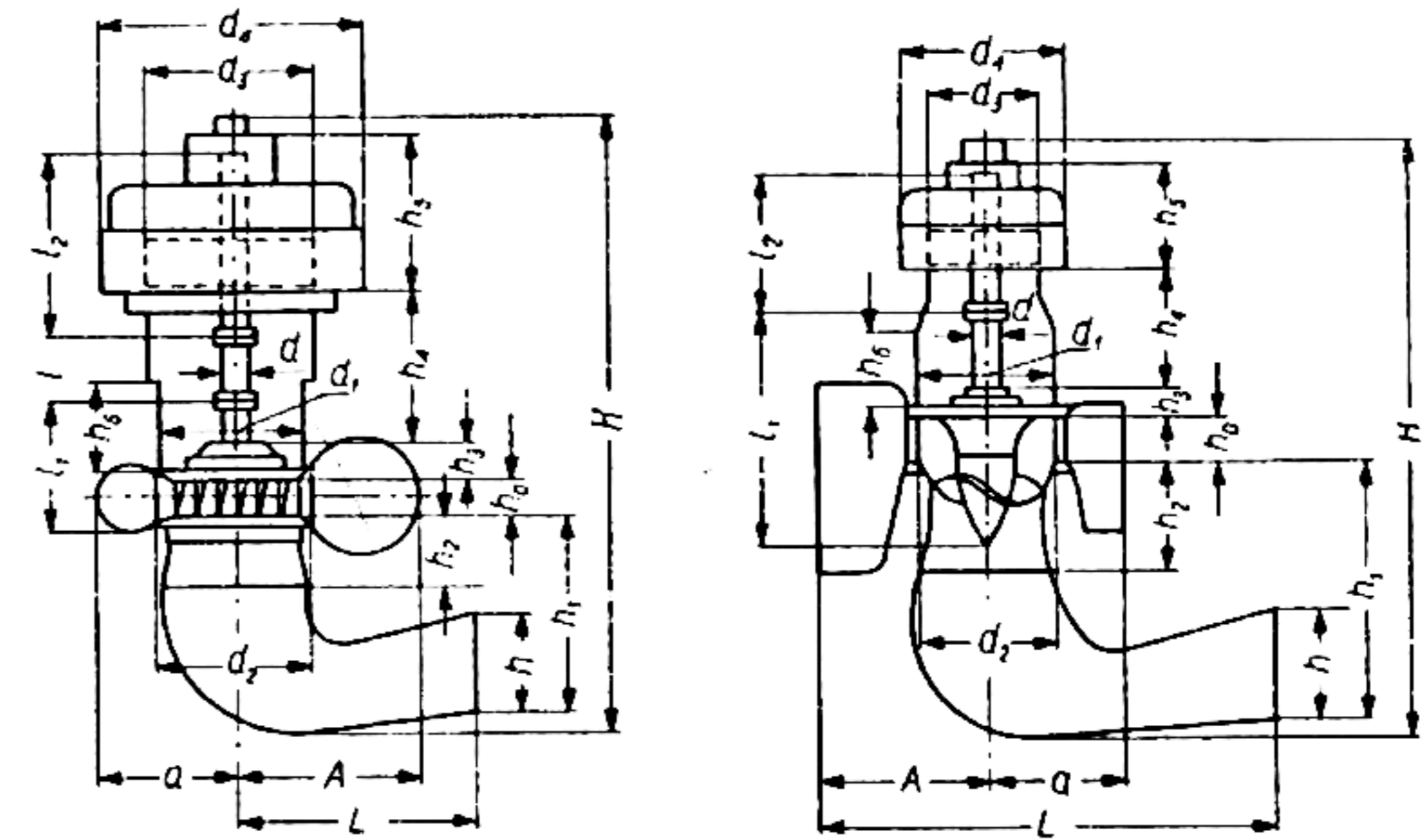
	1	2	3	4	5	6	7	8
Wykładzina spirali				3,4	4,9	9,3	11,7	
Kolektor (główny r. rociąg ciśnieniowy)								11,7
Ośłona turbiny								20,4 4
Rurociągi zasilające								15,9 7
2. Mechanizmy robocze								
Wirnik w stanie zmontowanym	6,8	19,0	95,5	19,5	70,0	227,8	304,0	8
Wał turbiny	12,0	16,3	35,1	12,3	22,1	55,0	44,1	
Wał pośredni			35,1				43,6	
Dolny pierścień kierownicy	3,0 2	3,5 2	7,5 2					
Pokrywa turbiny	13,6 2	17,7 2	50,5 4	13,0 2	23,5 4	39,5 6	61,7 6	4,8 4
Środkowa część stożkowa pokrywy turbiny					2,9 2	21,6 4	16,2 4	
Dolna część stożkowa pokrywy turbiny					1,8 2	5,0 4	6,2 4	
Łopatki kierownicze	4,0 20	9,0 20	52,8 24	10,4 28	28,7 28	110,5 32	138,9 32	
Łożyska łopatek kierowniczych	5,6 20	4,5 20	13,6 24	3,2 28	6,1 28	15,6 32	39,2 32	
Dźwignie łopatek kierowniczych	1,7 20	2,5 20	59,0 24	1,7 28	5,4 28	13,3 32	14,6 32	
Strzemiona łopatek kierowniczych	0,3 20	0,3 20	0,9 24	0,4 28	1,4 28	3,5 32	3,5 32	
Łoże pierścienia regulacyjnego		1,3	3,2 4	0,7		3,6 4	6,3 6	
Pierścień regulacyjny	4,2	4,7	5,8 2	2,8	3,4	13,7 2	28,2 4	
Dysze wraz z iglicami								10 4
Kadłub łożyska poprzecznego turbiny	4,0 2	3,5 2	6,1 2	3,0 2	4,4 2	5,5 4	11,8 4	
Panwie łożyska poprzecznego turbiny	2,3 2	1,6 2	3,8 2	0,8 2	1,9 2	3,4 4	3,5 4	
Górna miska łożyska poprzecznego	0,9 2	1,0 2	1,7 2	0,7 2	0,8 2	1,9 2	2,9 2	

Tablica 4 (cd.)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Serwomotory (silowniki) kierownicy	7,1 2	3,8 2	6,6 2	2,2 2	5,1 2	14,7 2	30,9 2	4,3
Odchylacze strumienia wody wraz z łożyskami								4,2 4
3. Części układu regulacyjnego								
Skrzynka regulatora	2,3	2,3	2,3	2,3	3,8	3,8	5,3	2,3
Cięśniowy zbiornik oleju	2,8	2,8	5,7	2,8	5,7	13,6	15,7	2,8
Zlewcy zbiornik oleju wraz z ramą i osprzętem	4,4	4,4	5,3	4,4	5,3	14,0	14,3	4,4
Skrzynka kombinatora	—	—	—	1,4	2,2	1,7	2,7	—
Zbiornik oleju do regulacji wirnika	—	—	—	5,4	8,5	9,6	11,3	—
4. Urządzenia pomocnicze								
Upust jałowy w stanie zmontowanym	19,7	—	—	—	—	—	—	—
Zawór wlotowy odcinający dopływ wody do turbiny	25,6	—	—	—	—	—	—	18,3
Serwomotor zaworu wlotowego	7,2	—	—	—	—	—	—	6,8
Cięśniowa instalacja olejowa zaworu wlotowego	5,6	—	—	—	—	—	—	—
Wszystkie pozostałe drobne części i mechanizmy turbiny	49,0	23,0	38,0	28,0	24,0	76,0	57,0	17,5
Ogólny ciężar turbiny	245,0	228,0	636,0	193,0	362,0	946,0	1288,0	134
Największy ciężar montażowy	49	35	130	32	92	228	304	20
Największy ciężar transportowy	18	20	97	17	30	58	67	12
5. Prądnica								
Ogólny ciężar prądnicy	215	334	983	191	350	835	1050	—
Największy ciężar montażowy	105	158	500	115	168	340	500	—
Największy ciężar transportowy	28	35	65	35	68	45	75	—

Tablica 5

Zasadnicze wymiary gabarytowe wykonanych pionowych turbin wodnych



Nazwa wymiaru	Oznaczenie	Turbiny Francisca		Turbiny Kaplana					
		Średnica wirnika (m) i rodzaj spirali							
		2,1 lana	2,95 spawana	5,5 spawana	3,6 betonowa	5,0 betonowa	8,0 betonowa	9,0 betonowa	
		$\left(\frac{N}{H}\right)$ Moc N (MW) i spad H (m)							
		25,0 159	38,5 74	75,0 36,3	12,5 17,5	15,0 13,0	46,0 14,0	65,0 15,5	
Wymiary (m)									
		1	2	3	4	5	6	7	8
Średnica wału turbiny	d	0,60	0,75	1,12	0,61	0,75	1,10	1,25	
Średnica komory turbiny	d ₁	—	4,9	7,3	5,0	6,8	10,9	12,3	
Średnica podziałowa słupów spirali	d ₂	3,5	5,78	8,23	6,0	8,2	12,4	14,3	
Średnica twornika prądnicy	d ₃	3,5	5,0	10,65	4,97	7,5	10,5	11,7	
Średnica stojana prądnicy	d ₄	5,32	7,0	12,65	6,26	9,2	12,7	14,1	
Wysokość rury ssawnej u wylotu	h	1,8	5,5	6,12	4,0	5,2	7,5	8,5	
Szerokość rury ssawnej u wylotu	—	0	6,5	19,2	8,84	11,7	18,5	20,0	

Tablica 5 (cd.)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Pionowa odległość spodu rury ssawnej od dolnego pierścienia kierownicy	h_1	5,2	8,2	13,75	7,4	10,0	15,3	17,2
Pionowa odległość dolnej krawędzi wykładziny stojkowej części rury ssawnej od dolnego pierścienia kierownicy	h_2	3,3	4,0	7,23	3,37	4,25	6,5	7,4
Wysokość kierownicy	b_0	0,25	0,60	1,99	1,4	2,0	3,3	3,7
Pionowa odległość górnej krawędzi miski łożyska poprzecznego od górnej krawędzi łopatek kierowniczych	h_3	2,67	1,95	1,83	0,52	1,2	0,24	0,50
Pionowa odległość podstawy stojana prądnicy od górnej krawędzi łożyska poprzecznego	h_4	4,34	4,43	7,56	5,48	3,9	10,4	11,1
Pionowa odległość wierzchołka turbozespołu od podstawy stojana prądnicy	h_5	5,74	4,8	10,18	7,73	3,38	4,9	4,4
Wysokość wykładziny komory turbiny	h_6		2,2	2,47	2,54	2,86	2,0	3,4
Łączna wysokość wirnika i wału turbiny	l_1	5,55	4,33	6,83	7,69	9,5	14,1	12,3
Długość wału pośredniego	l	—		3,048	—			4,8
Łączna wysokość twornika prądnicy	l_2	6,92	7,5	9,17	6,17	5,44	10,5	7,9
Odległość końca rury ssawnej od osi turbozespołu	L	5,6	20,0	17,67	16,5	22,6	27,0	30,4
Odległość ścianki przekroju wlotowego spirali od osi turbiny	A	3,75	6,4	11,44	6,17	8,95	11,9	14,0
Odległość ścianki przeciwnego przekroju spirali od osi turbiny	a	2,26	4,4	8,86	4,65	4,95	7,7	9,0
Łączna wysokość turbozespołu oraz rury ssawnej	H	17,22	19,98	35,30	19,54	20,48	37,2	40,2

1. Części fundamentowe

Do części fundamentowych turbiny zaliczamy te części, które umieszcza się w betonie. Części fundamentowe po ustawieniu są zalewane betonem i nie przewiduje się ich demontażu.

Częściami fundamentowymi turbin Francisa są: wykładzina rury ssawnej, spirala zasilająca (wlotowa), czyli osłona spiralna lub spirala, pierścień fundamentowy, stojan turbiny, wykładzina komory turbiny i obudowa komór siłowników czyli serwowatorów.

Rura ssawna i spirala wlotowa stanowią elementy przepływowej części turbiny.

a) Rura ssawna (§ 20) służy do odprowadzania wody z turbiny do kanału odpływowego.

Kształt oraz wymiary rury ssawnej powinny być tak dobrane, aby energia kinetyczna wody opuszczającej wirnik była możliwie najlepiej wykorzystana. Posiada to wielkie znaczenie dla podwyższenia sprawności turbiny.

Cel ten osiągamy stosując rurę ssawną w kształcie rozszerzającego się stożka. W takiej rurze prędkość wody zmniejsza się, wskutek czego u wylotu wirnika ciśnienie jest mniejsze od ciśnienia barometrycznego. Ponieważ wartość energii kinetycznej wody u wylotu wirnika waha się w granicach od 2% (w wolnobieżnych turbinach Francisa) do 40% (w szybkoobrotowych turbinach Kaplana) wysokości całego spadku, więc stąd jasno wynika, jak wielkie znaczenie posiada rura ssawna.

Poza tym rura ssawna umożliwia umieszczenie wirnika powyżej poziomu zwierciadła wody w kanale odpływowym, wskutek czego wirnik jest łatwiej dostępny przy oględzinach i remoncie.

Rury ssawne mogą być prostoosiowe (proste) lub krzywoosiowe (wygięte). W instalacjach z turbinami pionowymi stosowane są przeważnie rury krzywoosiowe, wskutek czego głębokość fundamentów budynków siłowni wodnych wypada mniejsza, a zatem koszt robót budowlanych jest również mniejszy.

W celu ochrony betonowej rury ssawnej przed wmywaniem jej przez wodę, ścianki rury, w tych miejscach w których prędkość wody jest większa, wyłożone są blachą o grubości 10 do 12 mm. Podczas betonowania blacha ta spełnia jednocześnie rolę odeskowania. W zależności od prędkości wody ścianki rury ssawnej mogą być wyłożone całkowicie albo częściowo, lub też pozostawione bez wykładziny.

b) Spirala zasilająca służy do równomiernego i kierunkowego doprowadzenia wody do turbiny na całym obwodzie kierownicy.

W turbinach na małe i średnie spady stosuje się zazwyczaj spirale zasilające o kołowym przekroju poprzecznym, spawane (rzadziej nitowane) z blachy stalowej, zaś w turbinach na wysokie spady — spirale lane: żeliwne lub stalowe.

c) Pierścień fundamentowy stanowi podczas montażu podstawę części fundamentowych turbiny i służy jako oparcie dla wirnika, zaś podczas pracy turbiny jest obudową zewnętrznego wieńca wirnika. Pierścień ten,

wykonany zazwyczaj z żeliwa, w pewnych przypadkach opancerzony jest stalową blachą nierdzewną, która ochrania go od nadżarć spowodowanych przez kawitację.

d) Stojan turbiny przejmuje obciążenie pochodzące od łącznego ciężaru takich elementów turbiny, jak wirnik, wał, prądnica itp. oraz od sił osiowych, wywołanych przez przepływ wody. W celu zmniejszenia oporu stawianego przepływającej wodzie przez słupy stojana nadaje się im kształty opływowe, a oprócz tego ustawia się je pod odpowiednimi kątami względem łopatek kierowniczych. Do górnego i dolnego pierścienia stojana przymocowuje się spiralę zasilającą. Kształt tych pierścieni powinien być taki, aby zapewnić bezuderzeniowy przepływ wody ze spirali do turbiny. Stojan turbiny z reguły wykonywany jest ze staliwa.

e) Wykładziny komór turbin i komór siłowników mają na celu zapobiec przedostawaniu się na pokrywę turbiny wody, która przesącza się przez nieszczelności. Wykładziny przy betonowaniu zastępują jednocześnie odeskowanie. Sporządza się je z blachy stalowej o grubości 6 do 8 mm.

Częściami fundamentowymi turbiny Kaplana są: wykładzina rury ssawnej, wykładzina spirali zasilającej, słupy tej spirali lub stojan turbiny, komora wirnika, dolny pierścień kierownicy, górny pierścień kierownicy (w niektórych rodzajach turbin), wykładziny komory turbiny i komór serwowatorów (siłowników).

a) Wykładzina rury ssawnej (§ 24) spełnia te same zadania, jak w turbinach Francisa.

b) Spirala zasilająca odgrywa również tę samą rolę, jak w turbinach Francisa, lecz wykonana jest zazwyczaj z betonu i posiada przekrój prostokątny. W celu zabezpieczenia betonu przed erozyjnym działaniem przepływającej wody stosuje się wykładzinę metalową w tych miejscach, w których spirala przechodzi w kierownicę.

c) Słupy spirali spełniają rolę stojana turbiny. Przy większych spadach i w pewnych konstrukcjach zamiast słupów stosuje się stojan, tak jak w turbinach Francisa.

d) Komora wirnika stanowi jego osłonę. Poniżej osi obrotu łopatek wirnika kształt komory jest kulisty. Zapewnia to jednakową szerokość szczeliny pomiędzy ścianką komory i tymi łopatkami, niezależnie od ich ustawienia. W wielkich turbinach komory buduje się z oddzielnych członów, z których jeden jest wymienny. Taka konstrukcja daje możliwość wymiany łopatek lub ich uszczelnień bez konieczności demontowania całego zespołu. W ostatnich czasach komory wykonywane są przeważnie ze staliwa. Dzięki temu naprawy nadżerów wywołanych przez kawitację można wykonywać przy pomocy elektrycznego napawania.

e) Dolny pierścień kierownicy stanowi podstawę łożysk dolnych czopów łopatek kierowniczych. Łącznie ze swą wykładziną (dolna wykładzina spirali) posiada formę opływową; wykonany jest zazwyczaj z żeliwa i składa się z oddzielnych członów.

f) Górny pierścień kierownicy stosowany jest w turbinach o średnicy

wirnika powyżej 5 m. Stanowi on podparcie pokrywy turbiny oraz podstawę łożysk górnych czopów łopatek kierowniczych. W mniejszych turbinach zamiast górnego pierścienia kierownicy stosuje się górny pierścień fundamentowy, który zalewa się w betonie, zaś podstawę łożysk łopatek stanowi pokrywa turbiny. W turbinach, których zawieszenie (łożysko wzdlużne) znajduje się na pokrywie, nie umieszcza się w betonie górnego pierścienia kierownicy, a czasami również i pierścienia dolnego. W tym przypadku pierścienie te zalicza się do mechanizmów roboczych.

g) Wykładziny komory turbiny i obudowy komór serwowatorów (siłowników) spełniają to samo zadanie jak w turbinach Francisa.

2. Mechanizmy robocze

Do mechanizmów roboczych zaliczamy następujące zespoły turbiny: kierownicę, zespół wirujący (rotor) i zespół łożyska poprzecznego.

a) Kierownica służy do nadania odpowiedniego kierunku wodzie dopływającej do wirnika i do regulowania przepływu turbiny, w zależności od obciążenia. Kierownica stanowi również organ zamykający turbinę, tj. odcinający od niej dopływ wody. W celu wypełnienia tych zadań, zaopatrzona jest w pokrętne kierownicze łopatki (§ 21), poruszane przez serwowatory (siłowniki), które sprzężone są z łopatkami przy pomocy pierścienia regulacyjnego, strzemion i dźwigni.

O ile średnica wirnika turbiny Kaplana jest większa od 5 m, to łopatki kierownicze obracają się w łożyskach, które umocowane są w zabetonowanych (w zwykłym wykonaniu konstrukcyjnym) pierścieniach kierownicy: górnym i dolnym. Przy średnicy wirnika do 5 m dolne łożyska łopatek umocowuje się w zabetonowanym dolnym pierścieniu kierownicy, zaś łożyska górne — w pokrywie turbiny. Łopatki kierownicze turbin Francisa obracają się w łożyskach umocowanych w dolnym pierścieniu kierownicy i w pokrywie turbiny. Pierścienie ten oraz pokrywa są niezabetonowane.

Górne czopy łopatek uszczelnione są przy pomocy pierścieni gumowych lub skórzanych i smaruje się je towotem lub wodą. W ostatnim przypadku tuleje łożysk łopatek wykonane są ze specjalnie preparowanego drewna (nazwa fabryczna Lignofoil). Ponieważ pomiędzy łopatkami kierowniczymi mogą niekiedy zatrzymać się obce twarde ciała, więc elementy kierownicy są narażone na uszkodzenia. W celu uniknięcia tych uszkodzeń stosuje się wymienne sworznie lub kołki zabezpieczające, które pracują na rozzerwaniu, względnie na ścinanie.

b) Zespół wirujący turbiny, tj. wirnik turbiny oraz wał służy do zamiany energii wody na energię mechaniczną i do przekazania momentu obrotowego twornikowi prądnicy.

Wirniki wielkich turbin Francisa wykonywane są jako jeden odlew stalilny, zaś w rzadkich przypadkach, w razie przekroczenia gabarytów (obrysów) kolejowych, składają się z kilku części, zamocowanych przy pomocy obręczy.

W celu zmniejszenia przecieków wody pomiędzy obracającym się wirnikiem i nieruchomymi częściami turbiny stosowane są uszczelnienia labiryntowe. Dla uniknięcia przedostawania się wody na pokrywę turbiny wał jej uszczelnia się przy pomocy dławnicy lub przy pomocy uszczelnień labiryntowych.

Wirnik turbiny Kaplana zaopatrzony jest w mechanizm do pokręcania łopatek wirnika i stanowi skomplikowany zespół mechaniczny. Ilość łopatek wynosi od czterech do siedmiu, a nawet więcej. Pokręcanie łopatek odbywa się przy pomocy serwowatora (siłownika) wirnika, którego tłoczysko uruchamia odpowiednie urządzenie pokrętne. Łopatki zazwyczaj są odlane ze staliwa nierdzewnego, zaś pozostałe części wirnika wykonuje się z różnego rodzaju odlewów i odkuwek ze stali węglowych i niskostopowych.

Wał turbiny sporządzony jest z wysokogatunkowej kutej stali węglowej i niekiedy składa się z dwóch części. Spowodowane to jest technologicznymi trudnościami związanymi z wykonaniem wału w całości, tj. wału jednolitego (trudność wykonania wielkiej odkuwki oraz jej obrobienia) lub warunkami montażu (zbyt mała wysokość podnoszenia suwnicy w budynku siłowni).

c) Zespół łożyska poprzecznego turbiny składa się z kadłuba łożyska, panwi oraz z elementów służących do doprowadzania smaru (zbiorniki, pokrywy, dławnica i inne). W turbinach pionowych łożysko poprzeczne służy do ustalenia położenia wału i z tego powodu nazywa się łożyskiem ustalającym.

W turbinach budowanych w ZSRR na niskie i średnie spady, stosowane są przeważnie łożyska smarowane wodą (gumowe lub z drewna preparowanego). W turbinach na wysokie spady stosuje się łożyska ze stopu łożyskowego, przy czym jako smaru używa się oleju lub (rzadko) smaru stałego. Istnieje jednak tendencja stosowania również w tych turbinach łożysk smarowanych wodą.

Łożysko takie posiada dławnice, dzięki czemu nie ma potrzeby stosowania labiryntowego uszczelnienia wału, które jest nieodzowne w przypadku łożyska smarowanego olejem.

Zaletą łożysk gumowych, w porównaniu z łożyskami z preparowanego drewna polega na tym, że ostatnie wymagają dla smarowania czystszej wody. Wodę tę doprowadza się zazwyczaj ze spirali zasilającej.

Schemat smarowania łożysk z panwiami ze stopu łożyskowego jest stosunkowo skomplikowany. Wymaga on stosowania pomp lub rurek tłocznych, przy pomocy których podczas pracy turbiny przepompowuje się olej z dolnego, obracającego się zbiornika, do zbiornika górnego. W ostatnim przypadku stosuje się pompę rozruchową, której zadaniem jest napełnienie olejem układu olejowego przed uruchomieniem turbiny.

Czasami w łożyskach zaopatrzonych w panwie ze stopu łożyskowego stosuje się chłodnice węzłownicowe w celu chłodzenia oleju.

3. Układ regulacyjny

Układ regulacyjny turbiny służy do utrzymania stałej prędkości obrotowej turbozespołu (w granicach żądanej nierównomierności tej prędkości) przy różnych obciążeniach. Układ ten jest zespołem powiązanych ze sobą mechanizmów oraz urządzeń, które reagują na zmianę prędkości obrotowej turbozespołu i automatycznie zmieniają nastawienie kierownicy (w turbinach Kaplana również nastawienie łopatek wirnika).

W skład układu regulacyjnego turbiny Francisa wchodzi regulator odśrodkowy oraz ciśnieniowy układ olejowy z odpowiednimi przewodami i rurociągami. W turbinach Kaplana dochodzą do tego jeszcze mechanizmy kombinatora oraz zbiornik oleju (patrz rys. 130).

4. Urządzenia pomocnicze

Urządzenia te spełniają czynności pomocnicze podczas pracy turbiny.

Do urządzeń pomocniczych zaliczamy:

a) zawory napowietrzające, których zadaniem jest wpuszczanie powietrza do komory wirnikowej (napowietrzanie), o ile w komorze tej zmniejsza się ciśnienie na skutek gwałtownego zamykania się kierownicy;

b) pompę odwodniającą, samozasysającą, oraz ejektor (pompę strumieniową); służą one do automatycznego odpompowywania wody przeciekającej na pokrywę turbiny;

c) filtry do wody, które oczyszczają wodę przeznaczoną do smarowania łożyska turbiny;

d) wyłącznik (przełącznik) odśrodkowy, który samoczynnie nadaje szereg impulsów, w tej liczbie impulsy powodujące zamknięcie turbiny przy jej rozbiegu oraz impulsy powodujące hamowanie turbozespołu itp;

e) zespół pompy przeciekowej, który służy do automatycznego odpompowywania oleju przeciekającego przez uszczelnienia mechanizmów układu regulacyjnego;

f) upust jałowy, zwany też regulatorem ciśnienia, który podczas szybkiego przemykania kierownicy samoczynnie odprowadza wodę ze spirali zasilającej do kanału odpływowego, wskutek czego zmniejsza się uderzenie hydrauliczne w rurociągu. Upust ten stosuje się w turbinach na wysokie spady;

g) zawór, który umieszczony jest przed turbiną i stanowi organ odcinający dopływ do niej wody. Zawór uruchamia się przy pomocy serwowatorów (siłowników) zasilanych olejem pod ciśnieniem z układu olejowego zaworu lub turbiny, lub ze specjalnego zespołu pompowego. Istnieją różne konstrukcje zaworów. Stosuje się przeważnie zawory typu tarczowego (klapy).

§ 4. SZCZEGÓLNE CECHY MONTAŻU TURBIN WODNYCH

Wielkie turbiny wodne są maszynami, których nie wyrabia się w większej ilości lecz na specjalne zamówienie, indywidualnie dla danej siłowni wodnej, biorąc pod uwagę dane charakterystyczne wodocięku, konstrukcję budynku siłowni, wymagania odbiorcy energii elektrycznej itp. Z tego względu identyczne turbiny po większej części wykonywane są w seriach nie większych od ilości turbozespołów wodnych danej siłowni. W związku z tym pooperacyjną technologię montażu turbin wodnych ustala się indywidualnie dla każdej siłowni.

Turbin wodnych, w odróżnieniu od innych zespołów silnikowych, nie montuje się całkowicie w produkujących je wytwórniach, ponieważ montaż zespołów, których wielkość dochodzi do 30 m, zaś średnica do 20 m jest technicznie niemożliwy do przeprowadzenia w halach produkcyjnych tych wytwórni.

O ile chodzi o badania turbin w wytwórniach, to w tym celu w każdym poszczególnym przypadku dana wytwórnia musiałaby rozporządzać prawie analogicznymi warunkami, jakie są na terenie budowanej siłowni wodnej. Oczywiście również i to jest technicznie niewykonalne.

W omawianych wytwórniach przeprowadza się więc jedynie najniezbędniejsze prace dotyczące montażu poszczególnych zespołów turbiny wodnej, jej mechanizmów oraz bada się te zespoły i mechanizmy w granicach technicznych możliwości. Całkowity montaż, wyregulowanie poszczególnych mechanizmów oraz pełne zbadanie turbiny odbywa się w miejscu jej zainstalowania, łącznie z montażem.

W tabelicy 6 podano wykaz operacji o charakterze produkcyjnym, które wykonywane są zazwyczaj podczas montażu.

Montaż turbiny rozpoczyna się z chwilą wykonania fundamentów pod jej części fundamentowe. Części te montuje się przeważnie na wolnym powietrzu (w każdej porze roku) przy pomocy prowizorycznych urządzeń dźwignicowych i transportowych.

Montaż odbywa się jednocześnie z robotami budowlanymi lub po ich wykonaniu, tj. po wzniesieniu budynku siłowni. Dopiero po ukończeniu montażu części fundamentowych turbiny mamy technologiczną możliwość wykończenia w stanie surowym montowanego odcinka¹⁾ siłowni, urządzenia placu montażowego, zainstalowania dźwignicy i ułożenia dojazdowych torów kolejowych.

W celu skrócenia terminów uruchomienia turbozespołów, roboty budowlane przy budynku siłowni wodnej mogą być wykonywane jednocześnie z montażem wszystkich turbozespołów. W związku z tym szczególnego znaczenia nabierają zagadnienia dotyczące prawidłowego zorganizowania równoległego prowadzenia prac budowlanych i montażowych, ponieważ od tego w znacznym stopniu zależy jakość montażu.

¹⁾ Odcinkiem siłowni (blokiem) nazywamy część budynku obejmującą jeden turbozespół wraz z tym turbozespołem (przyp. tłum.).

Operacje produkcyjne wykonywane w czasie montażu

Nazwa części instalacji turbinowej	Zakres montażu w wytwórni	Operacje produkcyjne wykonywane w czasie montażu
1	2	3
Wykładzina rury ssawnej	Montaż częściowy: spawanie członów rury w większe zespoły, mieszczące się jednak w gabarytach kolejowych	Montaż ostateczny i spawanie
Część stożkowa rury ssawnej
Wykładzina komory turbiny i komór siłowni-ków
Spirala spawana całkowicie
Spirala spawana, przymocowana do stojana turbiny przy pomocy nitów	..	Montaż ostateczny, spawanie i nitowanie z wywierceniem otworów w członach spirali dla połączenia spirali ze stojanem turbiny
Wykładzina połączeń górnego i dolnego pierścienia kierownicy ze spiralą betonową	Wstępne dopasowanie wykładziny do górnego i dolnego pierścienia kierownicy	Ostateczne dopasowanie i spawanie, wykonanie w wykładzinie wycięć na słupy spirali, wywiercenie i nagwintowanie otworów na śruby do przymocowania do górnego i dolnego pierścienia kierownicy
Kierownica turbin Francisza i Kaplana	Montaż na stojanie turbiny lub na prowizorycznych podporach (bez siłowni-ków)	Dopasowanie łopatek nieposiadających uszczelnień gumowych. Przyłączenie siłowni-ków do pierścienia regulacyjnego i wyregulowanie kierownicy
..	Jak wyżej, lecz na pierwszej turbinie danej siłowni wodnej	Całkowity montaż kierownicy na następnych turbinach danej siłowni wodnej
..	W razie gdy operacja wytaczania kierownicy odbywa się w siłowni wodnej, to nie przeprowadza się montażu kierownicy w wytwórni (patrz § 26)	Wytoczenie i pełny montaż kierownicy

Tablica 6 (cd.)

1	2	3
Wirnik turbiny Kaptana	Pełny montaż oraz wypróbowanie uszczelnień łopatek. Kontrola ustawienia łopatek. Kontrolę tę przeprowadza się w sposób „mechaniczny”, bez wprowadzenia oleju pod ciśnieniem	Kontrola ustawienia łopatek pod ciśnieniem oleju zawartego w układzie regulacyjnym. Kontrolę tę przeprowadza się po ukończeniu montażu turbozespołu
Wał turbiny i prądnicy	O ile operacja zcentrowywania wałów odbywa się podczas montażu, otwory w kołnierzach na śruby pasowane wierci się o mniejszej średnicy niż ostateczna, śruby wykonuje się natomiast o średnicy nieco większej	Rozwiercenie otworów, szlifowanie śrub pasowanych, zcentrowanie wałów, oraz kontrola ich współosiowości
Rurociągi układu regulacyjnego turbiny oraz instalacji pomocniczych (wodne, olejowe i powietrzne)	Rurociągów nie montuje się w wytwórni, lecz wysyła jako półwyrób z odpowiednimi wygięciami i nadatkami długości na końcach poszczególnych odcinków	Dopasowanie, przypawanie kołnierzy, ich obróbka oraz skrobienie; hydrauliczna próba szczelności. Rury łączone przy pomocy łączników lub śrubunków wygina się, gwintuje i przypawa
Ostony, schody i poręcze	Montaż częściowy poszczególnych części	Całkowity montaż z dopasowaniem na miejscu, wywiercenie i nagwintowanie otworów oraz spawanie
Wirnik turbiny Francisa (dzielony)	Montaż częściowy, bez obręczy i uszczelnień labiryntowych. Całkowita obróbka mechaniczna	Całkowity montaż z nasadzeniem obręczy i uszczelnień labiryntowych. Wytoczenie części otworów służących do zcentrowania wirnika z wałem
Zespoły i mechanizmy turbin, regulatorów oraz instalacji pomocniczych (pokrywa turbiny, dolny pierścień kierownicy, zespół łożyska poprzecznego, serwomotory (siłowniki), upusty olejowe, zawory, pompy olejowe układu olejowego, napędy układu regulacyjnego i t.p.		Wiercenie otworów, rozwiercanie i zakładanie kołków ustalających w częściach łączonych, zespołach i mechanizmach (po ostatecznym ustawieniu ich na miejscu)

Do osobliwości montażu turbin wodnych zaliczyć wypada zagadnienie dopasowywania (łączenia) wałów. W wielkich turbozespołach wały turbiny i prądnicy połączone są z sobą w sposób sztywny, przy pomocy śrub. Ze względu na zawłość i odpowiedzialność operacji łączenia wałów, czynność tę przeprowadza się przeważnie w wytwórni wykonującej turbozespół, przeważnie w fabryce turbin. W pewnych przypadkach łączenie to odbywa się podczas montażu przy pomocy urządzeń dostarczonych przez wytwórnię turbozespołów. Wały łączone są wówczas na placu montażowym, w położeniu poziomym (patrz § 34) lub podczas samego montażu, po scentrowaniu wału prądnicy z wałem turbiny (§ 68).

W pewnych konstrukcjach turbozespół wodny posiada tylko jeden wał, do którego przymocowany jest wirnik turbiny oraz wirnik prądnicy. Są to mianowicie turbozespoły z poziomymi turbinami Peltona, niektóre turbozespoły z turbinami Kaplana (których łożysko wzdlużne umieszczone jest na pokrywie turbiny) oraz inne turbozespoły.

§ 5. KIEROWNICTWO MONTAŻU

Proces powstawania turbiny wodnej składa się z trzech zasadniczych etapów: projektowania, wykonania i montażu. W końcowym etapie, tj. w czasie montażu, wyregulowania i badania, turbinę wodną po raz pierwszy montuje się całkowicie i po raz pierwszy przeprowadza się kontrolę współdziałania poszczególnych elementów, zgodnie z warunkami technicznymi i z gwarancjami fabryki — dostawcy.

Jednocześnie z montażem, jak to wynika z tablicy 6, przeprowadza się na miejscu budowy czynności produkcyjne, a oprócz tego, w granicach technicznych możliwości, usuwa się ujawnione niedociągnięcia o charakterze konstrukcyjnym i wykonawczym. W ten sposób jakość konstrukcji turbiny oraz jakość jej wykonania w fabryce ujawnia się w pełni dopiero w ostatnim etapie prac, a stąd zrozumiałe jest znaczenie prawidłowego oraz dokładnego przeprowadzenia montażu i wyregulowania turbiny.

W celu wypełnienia tych zadań zakłady produkujące turbozespoły delegują na miejsce montażu swój personel, który stanowi kierownictwo montażu, tj. pod względem technicznym kieruje montażem, wyregulowaniem i wypróbowaniem turbozespołu wodnego oraz przeprowadza zawile i odpowiedzialne operacje montażowe. Oprócz tego zadaniem personelu kierownictwa montażu jest zbadanie i ujawnienie poszczególnych niedociągnięć konstrukcji, wykonawstwa oraz całości dostawy. O wszystkich tych sprawach powinni być zawiadomieni konstruktorzy, technolodzy oraz bezpośredni wykonawcy. Ma to na celu udoskonalenie wytwórczości turbin wodnych.

Wzajemne stosunki pomiędzy przedsiębiorstwem budowlanym i kierownictwem montażu siłowni wodnej reguluje się przy pomocy umów, stosownie do których wszystkie techniczne polecenia przedstawiciela kierow-

nictwa montażu powinny być bezwzględnie wykonywane. W wypadku przeciwnym wytwórnia nie odpowiada za ewentualne niedokładności w działaniu turbiny.

Personel kierownictwa montażu obowiązany jest: zapewnić techniczne kierowanie wszystkimi operacjami montażowymi, niezależnie od rodzaju wykonywanych robót, przeprowadzać odpowiedzialne operacje montażowe, przyczyniać się usilnie do skrócenia czasu montażu, wykonywać prace w ustalonych terminach, wprowadzać metody pracy udoskonalone organizacyjnie i technicznie oraz mechanizację robót pracochlonych.

Liczebność personelu kierownictwa montażu zależy od skomplikowania konstrukcji turbiny oraz od jej wymiarów. Zazwyczaj personel ten składa się z 4 do 5 osób, a mianowicie z odpowiedzialnego kierownika oraz ze specjalistów (po jednym) od montażu turbiny, od układu regulacyjnego i od prac przy rurociągach.

Należy podkreślić, że przyjęta w Związku Radzieckim forma organizacyjna kierownictwa montażu odznacza się wielkimi zaletami. Dzięki niej doświadczenia montażowe gromadzone na miejscu budowy systematyzowane są w wytwórniach turbin i dają możliwość opracowywania coraz nowszych udoskonalonych urządzeń montażowych oraz specjalnych narzędzi i instrukcji. Oprócz tego udział robotników budowlanych w pracach montażowych, pozostający pod kierownictwem personelu wytwórni, a więc ludzi posiadających doświadczenie montażowe nabyte podczas montowania wielu obiektów, stanowi szkołę, która wychowuje techniczne kadry monterów i maszynistów ruchowych, częstokroć po raz pierwszy rozpoczynających pracę w dziedzinie hydroenergetyki.

Rozdział II

ORGANIZACJA MONTAŻU

§ 6. PROJEKT WYKONAWCZY ROBÓT MONTAŻOWYCH

Montaż urządzeń siłowni wykonywany jest z reguły przez wyspecjalizowane przedsiębiorstwa montażowe, które w zależności od wielkości robót organizują w miejscach budów odpowiednie jednostki montażowe, samodzielne pod względem gospodarczym, albo przez własne siły przedsiębiorstwa budowlanego, posiadającego własny oddział montażowy lub samodzielne pod względem gospodarczym, biuro montażowe. W pewnych przypadkach przedsiębiorstwo montażowe przeprowadza tzw. montaż kompleksowy, tj. montaż całego urządzenia wodno-siłowego i elektrotechnicznego, a więc turbiny wodnej, prądnicy, części elektrycznej, zaworów i zasuw oraz urządzeń pomocniczych elektrowni. Niekiedy urządzenie siłowni montowane jest przez różne przedsiębiorstwa, a mianowicie jedno przedsiębiorstwo powołane jest do montażu turbozespołu (turbiny i prądnicy), zaś montaż urządzeń pomocniczych siłowni przeprowadza oddział montażowy przedsiębiorstwa budowlanego.

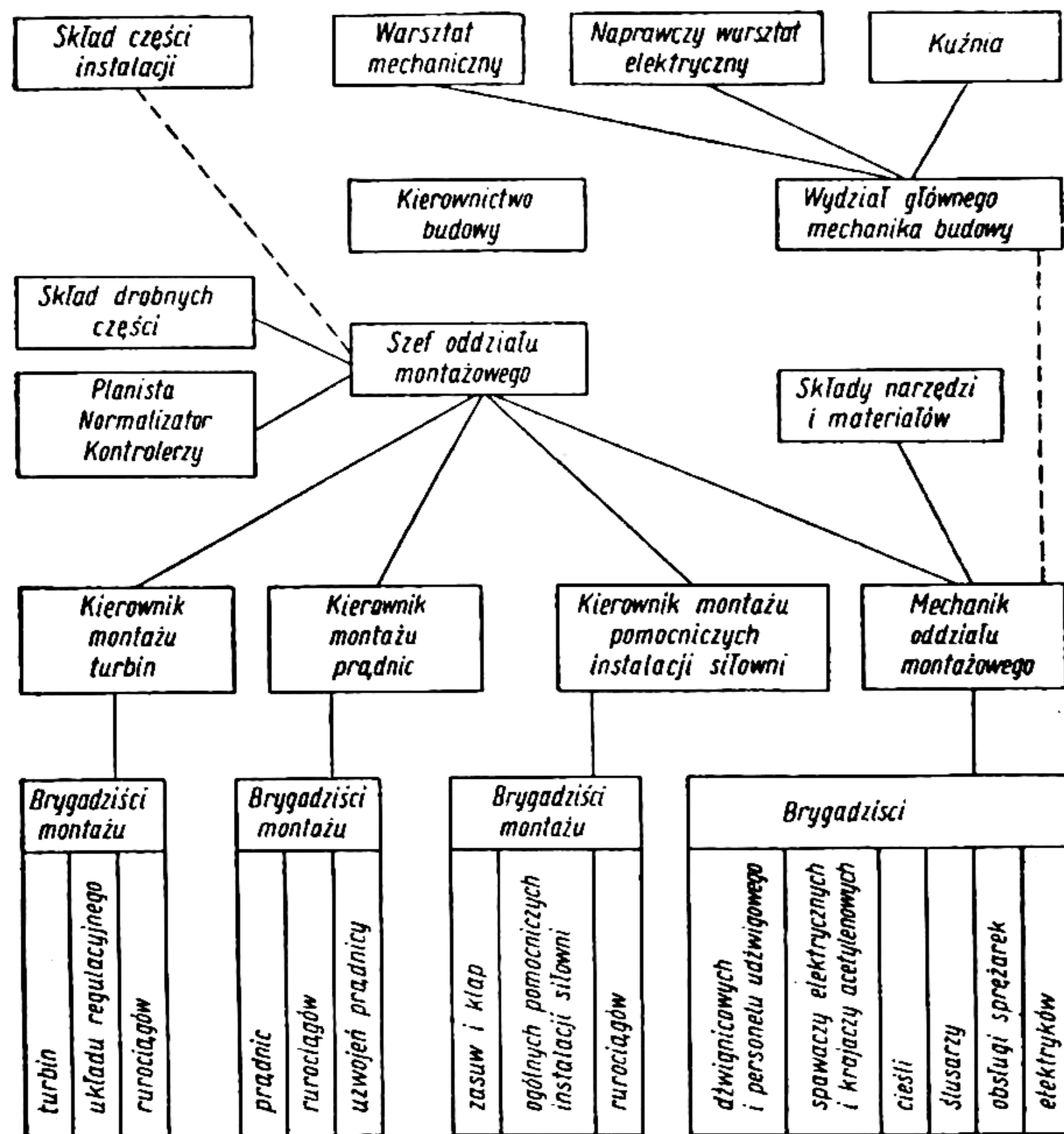
Jak wiadomo, od starannego przygotowania zależy terminowe wykonanie robót oraz ich jakość, szczególnie przy montażu urządzeń wielkich siłowni wodnych, przy którym ściśle przeplatają się z sobą roboty różnego rodzaju. Powodzenie prac budowlanych zależy zatem od opracowania we właściwym czasie wszystkich zagadnień montażowych, związanych z całym przebiegiem budowy. Zagadnienia te powinny być zawarte w „Projekcie wykonania robót montażowych“, który zazwyczaj opracowuje przedsiębiorstwo przeprowadzające montaż.

Projekt taki powinien wyjaśniać następujące sprawy: plan prac montażowych, strukturę organizacyjną oddziału montażowego, wyposażenie montażu w środki dźwigowo-transportowe oraz w dogodne drogi dojazdowe i pomieszczenia składowe, wyposażenie placu montażowego i stanowisk roboczych, materiałowe przygotowanie montażu, tj. rodzaj oraz ilość materiałów, narzędzi, wyposażenia montażowo-produkcyjnego oraz wyposażenia tacielażowego.

Plan przygotowania i wykonania robót montażowych sporządza się zgodnie z przewidzianymi terminami przekazywania turbozespołów do eksploatacji. W celu określenia czasu trwania montażu opracowuje się jego przebieg technologiczny oraz harmonogram ze wskazaniem ilości robotników

oraz pracochłonności. Metodę opracowywania omawianych wyżej spraw podano w § 37.

W zależności od planu robót budowlanych i dostaw urządzeń przyjmuje się odpowiedni schemat montażu, a mianowicie: montaż kolejny, tj. montaż osobno każdego z turbozespołów, montaż równoległy kilku turbozespołów, montaż równoległy części fundamentowych połączony z kolejnym montażem turbozespołu lub wreszcie inne schematy.



Rys. 16. Schemat organizacji oddziału montażowego urządzeń energetycznych i mechanicznych elektrowni wodnej

Organizacyjny schemat montażu przybiera różnorodne formy. Na rys. 16 pokazano przykład schematu organizacyjnego oddziału montażowego. Według tego schematu oddział ten przeprowadza kompletny montaż całego urządzenia energetycznego i hydromechanicznego siłowni, w której ma być

zainstalowanych co najmniej trzy do czterech turbozespołów. Schemat organizacyjny zwiększa operatywność prac oraz sprzyja lepszemu powiązaniu zagadnień technicznych zarówno wewnątrz ogniw oddziału, jak również z oddziałami robót budowlanych, elektromontażowych, remontowych, transportowych i innych.

Według przytoczonego schematu przewidziany jest dodatkowo mechanik oddziału, w którego rozporządzeniu znajdują się brygady obsługujące wszystkie ogniwa oddziałowe. W ten sposób mechanik oddziału, planując ogólne roboty pomocnicze odpowiednio do potrzeb poszczególnych ogniw, zabezpiecza bardziej pełne zatrudnienie swoich brygad i przyczynia się do wypełnienia ogólnego harmonogramu montażu całego urządzenia.

Specjalizacja robotników, przytoczona w schemacie organizacyjnym na rys. 16, podyktowana została trudnością przygotowania uniwersalnych monterów dla montażu bardzo różnorodnych urządzeń siłowni. Doświadczenie wykazało, że specjalizacja tego rodzaju gwarantuje wysoką jakość robót i stosunkowo równomierne zatrudnienie brygad roboczych.

§ 7. DROGI DOJAZDOWE I GABARYTY (OBRYSY) KOLEJOWE

Przy planowaniu montażu należy przewidzieć drogi dojazdowe od najbliższej linii kolejowej do składów oraz do placu montażowego.

Zazwyczaj buduje się kolejowe drogi dojazdowe, tj. bocznice i jedynie przy skomplikowanych warunkach terenowych — szosy.

Według norm obowiązujących w ZSRR dla prowizorycznych kolei żelaznych szerokotorowych (1524 mm szerokości toru), dopuszczone są następujące największe spadki: w terenie równinnym 0,015, w terenie pagórkowatym 0,025, w terenie górskim 0,040. Łuki o promieniach mniejszych od 300 m są dopuszczalne jedynie w granicach placu montażowego, a poza tym stosowanie ich uwarunkowane jest rozstawieniem skrajnych nieprzesuwanych osi taboru kolejowego¹⁾.

Najmniejszy promień łuku r obliczamy ze wzoru

$$r = \frac{\delta^2}{8(\Delta l + s)} \quad [8]$$

gdzie: δ — rozstawienie skrajnych nieprzesuwanych osi parowozu lub wagonu,

Δl — odchyłka szerokości toru (największa wartość tej wielkości wynosi 20 mm),

s — najmniejszą grubość szczeliny pomiędzy obrzeżem koła i główką szyny; grubość ta wynosi 15 mm.

Największy przewozowy ciężar elementów urządzeń turbinowych wielkich elektrowni wodnych waha się w granicach od 18 do 100 T. Ciężary tego rodzaju przewozi się na wagonach — platformach oraz na wagonach głębokiego ładowania. W tabl. 7 podano rozstawienie skrajnych nieprzesuwanych osi platform oraz, zależne od niego, najmniejsze promienie łuków, obliczone ze wzoru [8].

Dane techniczne platform kolejowych i platform głębokiego ładowania podano w tabl. 8 i 9.

Jeżeli place montażowe są za ciasne, tak że nie można zmieścić na nich łuków o wymaganym promieniu, to używamy wówczas tarcz obrotowych. W miarę możliwości należy jednak unikać stosowania tych tarcz, ponieważ utrudniają one mane-

¹⁾ Przepisy PKP w tym względzie są nieco odmiennie.

wrowanie, podlegają nierównomiernemu osiadaniu, zwłaszcza w początkowym stadium montażu a poza tym w warunkach zimowych wymagają specjalnej pielęgnacji.

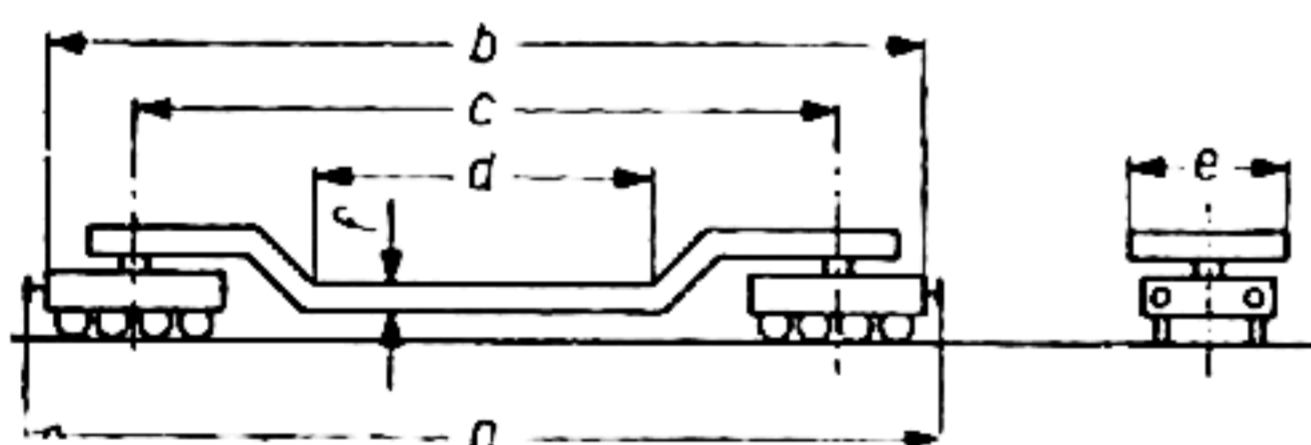
Tablica 7
Promienie łuków w zależności od rozstawienia skrajnych osi nieprzesuwnych

Rozstawienie skrajnych osi nieprzesuwnych (w metrach)	4,5	5,5	7,5	9,32
Promienie łuków r (w metrach)	72	108	200	310

Dane techniczne platform kolejowych

Typ platformy	Nośność	Ciężar własny	Całkowita długość platformy wraz ze zderzakami m	Rozstawienie skrajnych nieprzesuwnych osi platformy m	Ilość osi
	T	T			
O wysokich burtach	20	9	10,39	5,5	2
Normalne	16,5	7,8	10,39	5,5	2
Dla wielkich ciężarów, bez burt	60	22	14,19	9,32	4
"	50	18,4	13,39	9,1	4
Dla wielkich ciężarów, z burtami	50	17,5	14,19	9,32	4

Gabaryty wagonów niskiego ładowania



Typ wagonu	Nośność	Wymiary m						Ciężar własny T
		T	a	b	c	d	e	
Do jazdy na głównych liniach kolejowych	50	21,0	14,5	14,0	5,0	2,9	—	—
"	70	21,56	15,11	14,5	5,5	2,9	—	—
"	100	23,32	14,3	—	7,0	3,0	0,775	60
"	150	30,38	20,83	20,27	9,58	2,73	1,208	96
Do jazdy na wewnętrznych liniach kolejowych	80	8,99	—	4,99	—	2,2	—	—

Tablica 8

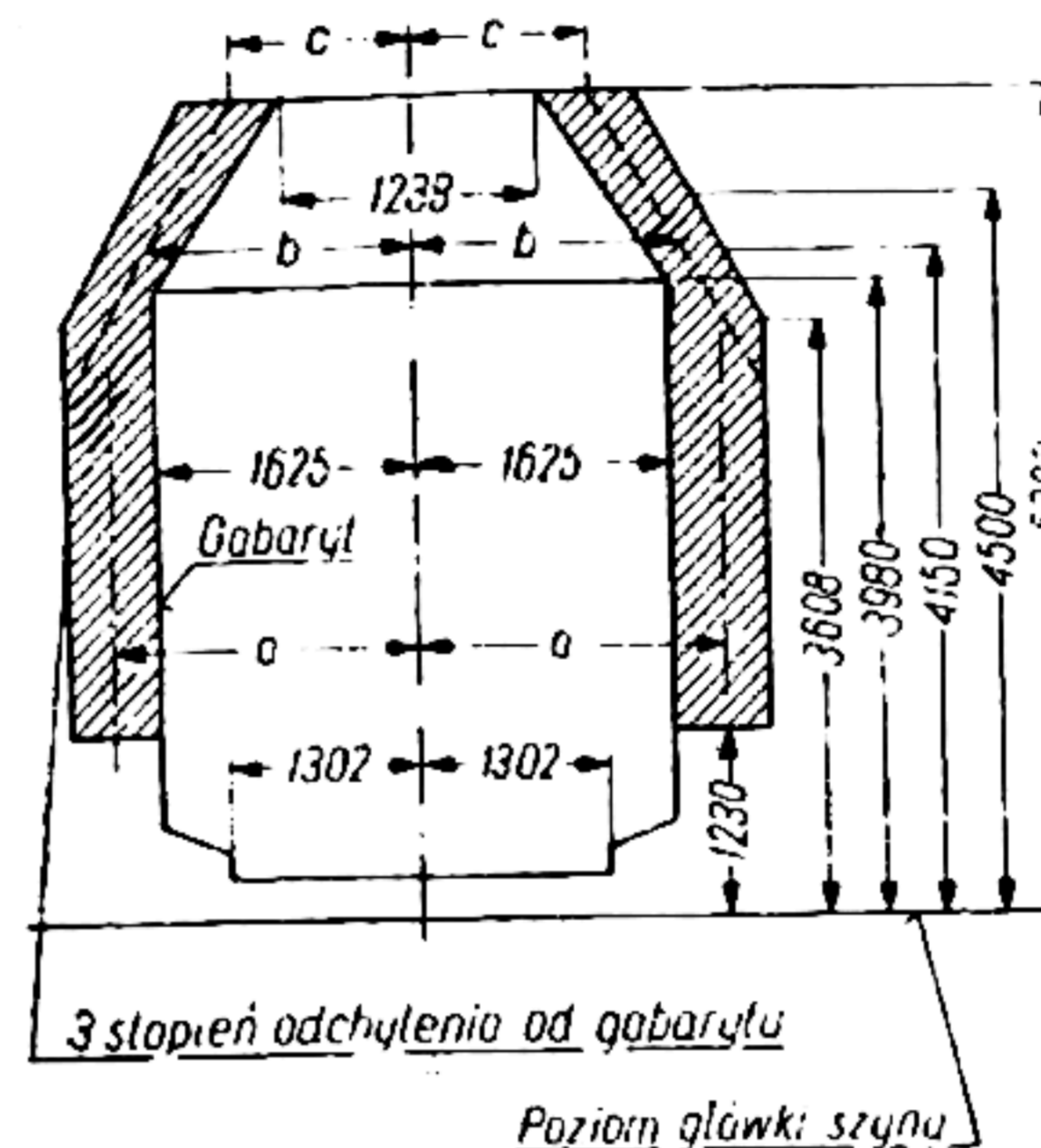
Tablica 9

Bocznice kolejową wprowadza się do budynku siłowni wodnej od strony placu montażowego w granicach obszaru obsługiwanego przez suwnicę.

Wymiary bramy placu montażowego zależą od gabarytu taboru kolejowego oraz od przewidywanych ładunków niegabarytowych. Ładunek jest wówczas niegabarytowy, gdy po załadowaniu go na platformę lub na wagon głębokiego ładowania

nie mieści się w granicach gabarytu 1 — B^{OCT}_{BKC} 6435 (rys. 17) lub na łukach o promieniu 320 m wystaje poza linię tego gabarytu więcej niż o 100 mm. W wielkości 100 mm uwzględniono wychylenie ładunku poza gabaryt, w zależności od krzywizny toru oraz rozstawu kół wagonu. Boczne odchylenie od gabarytu (niegabarytowość) dopuszczalne jest w granicach wysokości od 1230 do 3980 mm, zaś odchylenie górne — w granicach od 3980 do 5300 mm.

Tablica do rys. 17



Rys. 17. Gabaryt taboru ruchomego kolei szerokotorowej i dopuszczalne odchylenia od gabarytu

Stopień odchylenia od gabarytu	Rodzaj odchylenia od gabarytu	Największa szerokość odchylenia od osi toru mm	Na wysokości od główki szyny mm
Zerowy	boczne (a)	1707	1230—3880
	górne (b)	1636	3980
	górne (c)	700	5300
1	boczne (a)	1750	1230—3820
	górne (b)	1636	3980
	górne (c)	700	5300
2	boczne (a)	1800	1230—3900
	górne (b)	1747	3980
	górne (c)	880	5300
3	boczne (a)	2000	1230—3608
	górne (b)	1800	4150
	górne (c)	1625	4500
	górne (a)	1000	5300

Pewne części instalacji turbinowych mogą posiadać trzeci stopień odchylenia od gabarytu i z tego względu szerokość bram nie powinna być mniejsza od 4100 mm (z wyjątkiem szczególnych przypadków).

O ile ładunki mają być dostarczane na plac montażowy również przy pomocy samochodów, to należy doprowadzić szosę dojazdową.

W razie wyjątkowo trudnych warunków terenowych największy spadek szosy może wynosić 0,08, zaś najmniejszy promień krzywizny — 30 m. W tym przypadku najmniejsza szerokość bramy placu montażowego może wynosić 3,2 m.

§ 8. MECHANIZMY DŹWIGOWO-TRANSPORTOWE

Montaż wielkich turbin wodnych przeprowadza się przy pomocy suwnic elektrycznych ustawionych w maszynowni, lub przy pomocy dźwigów bramowych czyli portalowych, znajdujących się ponad budynkiem siłowni wodnej. Suwnice lub dźwigi bramowe mogą być zmontowane i uruchomione dopiero po przygotowaniu konstrukcji torów podsuwnicowych. Z tego powodu wykładziny rur ssawnych, słupy spiral oraz, w pewnych

przypadkach, wszystkie części fundamentowe, montuje się przy pomocy budowlanych mechanizmów dźwigowo-transportowych, a mianowicie: żurawi masztowych (Derricka), masztów zaopatrzonych w wielokrążki, żurawi wieżowych lub gąsienicowych, żurawi linowych, wciągarek itp.

Niekiedy z powodu opóźniania się robót budowlanych lub w braku żurawia, montaż roboczych mechanizmów turbin przeprowadza się również przy pomocy budowlanych urządzeń dźwigowych. Należy nadmienić, że przeprowadzanie montażu bez pomocy specjalnych dźwignic (montaż bezdźwignicowy), komplikuje i przedłuża cykl robót, ponieważ zarówno udźwigi jak i ograniczone promienie działania budowlanych mechanizmów dźwignicowych nie pozwalają na stosowanie wieloblokowego montażu zespołów na placu montażowym i na transport ich do miejsc ustawienia.

1. Suwnice

Udźwig suwnic uwarunkowany jest ciężarem przenoszonej podczas montażu lub demontażu najcięższej części turbiny lub prądnicy, tj. tzw. największym montażowym ciężarem zespołu¹⁾. Zazwyczaj najcięższy jest twornik prądnicy. Montaż twornika przeprowadza się na placu montażowym i przy pomocy suwnicy transportuje się całość na miejsce ustawienia turbozespołu.

Niekiedy, o ile chcemy wykorzystać suwnicę o mniejszym udźwigu, ostateczny montaż twornika prądnicy przeprowadzamy na miejscu ustawienia turbozespołu. W tym przypadku przy doborze suwnicy musimy się liczyć tylko z największym montażowym ciężarem turbiny, a mianowicie z ciężarem jej wirnika.

W siłowniach wodnych posiadających co najmniej cztery turbozespoły o wielkich ciężarach montażowych, wygodniej jest stosować zamiast jednej suwnicy dwie suwnice, z których każda ma udźwig równy połowie potrzebnego udźwigu. Zwiększa to operatywność i skraca cykl robót, zwłaszcza przy równoległym montażu dwóch lub więcej turbozespołów. Oprócz tego przy stosowaniu dwóch suwnic ulega zmniejszeniu nacisk na tory podsuwnicowe oraz zużycie energii elektrycznej, gdyż zmniejsza się ilość licznych nieproduktywnych jazd suwnicy przenoszącej małe ciężary.

Podnoszenie największych części przy użyciu dwóch sprzężonych suwnic o jednakowych udźwigach wykonuje się przy pomocy specjalnego urządzenia (poprzeczki), na którym zawieszają się daną część. Jednak w tym przypadku podnoszony ciężar jest większy od ciężaru podnoszonej części o ciężar poprzeczki. Ostatni wynosi około 10% łącznego udźwigu obu suwnic.

Suwnice o wielkim udźwigu (powyżej 100 T), oprócz głównego haka, zaopatrzone są w pomocniczy hak o większych prędkościach podnoszenia. Hakiem tym posługujemy się przy manipulowaniu przedmiotami o ciężarze do 30 i 40 T.

¹⁾ W tablicy 4 podano dane dotyczące ciężarów turbin i prądnic oraz ich ciężarów montażowych.

Doświadczenie wykazuje, że dla transportowania części przy montażu turbozespołów wodnych stosowane są suwnice o charakterystycznych prędkościach zawartych w następujących granicach:

Prędkość podnoszenia na głównym haku	0,4 ÷ 0,9 m/min
„ „ „ haku pomocniczym	3 ÷ 6 m/min
„ „ jazdy wózka	4 ÷ 8 m/min
„ „ suwnicy	12 ÷ 20 m/min

Największa wysokość wzniosu głównego haka suwnicy zależy od największej wysokości montowanych i demontowanych elementów turbozespołu oraz od metody montażu. Najwyższy jest zazwyczaj wał twornika prądnicy albo wirnik turbiny połączony z jej wałem, ewentualnie sam wirnik, bez wału. Wysokość podnoszenia suwnicy powinna pozwalać na przeniesienie twornika prądnicy oraz wirnika turbiny obok sąsiednich turbozespołów lub ponad nimi (patrz rys. 6, 7 i 8).

Przy montażu twornika lub demontażu wirnika turbiny bierzemy pod uwagę ich wysokości, wysokość urządzenia podnoszącego (chwytne), „wysokość“ zawiesia¹⁾ (w granicach od 1 do 1,5 m) oraz zapas (0,4 do 0,5 m) na niedokładności montażowe i możliwe wyciągnięcie się lin zawiesia. Oprócz tego należy liczyć się z tym, że najmniejsza odległość pomiędzy przedmiotem transportowanym i przedmiotami nieruchomymi powinna wynosić przynajmniej 0,5 m. Najmniejszy wznios głównego haka suwnicy powinien dozwalać na opuszczanie wirnika turbiny (z wałem lub bez wału) do komory turbinowej. Spełnienie tego warunku zależy od długości liny głównego haka, tj. od odległości pomiędzy jego skrajnymi położeniami.

Przed oddaniem suwnicy do eksploatacji poddaje się ją próbie statycznej oraz próbie dynamicznej, zgodnie z przepisami Inspekcji Urzędu Dozoru Kociołów.

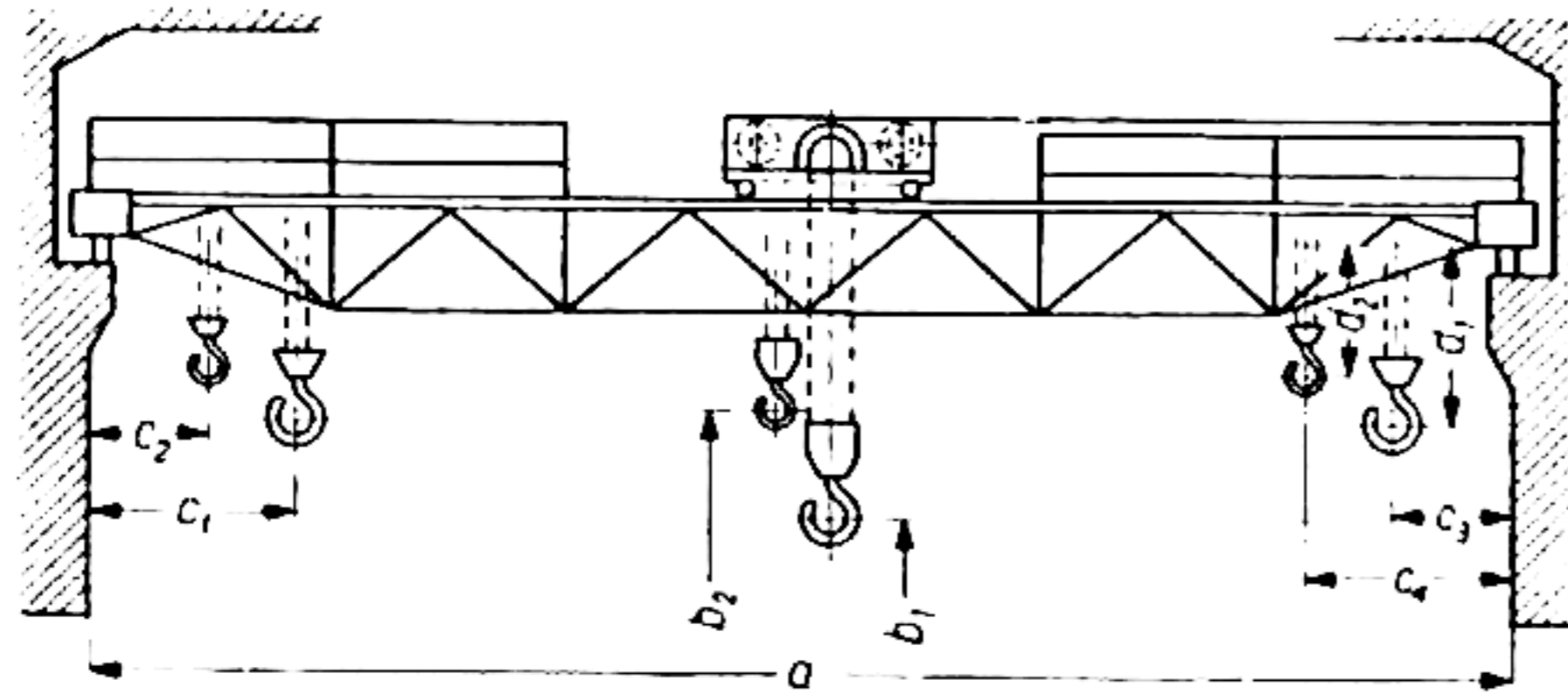
Przy próbie statycznej zawieszają się na haku suwnicy przedmiot o największym dopuszczalnym (roboczym) ciężarze i podnosi się go na wysokość mniej więcej 100 mm utrzymując stan zawieszenia przez 10 minut. W tym położeniu mierzymy ugięcie mostu suwnicy, które przy jego rozpiętości poniżej 20 m nie powinno przekraczać 1/800 tej rozpiętości lub 1/1000 — przy rozpiętości powyżej 20 m. Podczas tego pomiaru suwnica musi znajdować się na słupach toru podsuwnicowego, a wózek — w miejscu najmniej korzystnym dla danego przypadku. Trwałe odkształcenia są przy tym niedopuszczalne. Następnie podnosimy przedmiot o ciężarze większym o 25% od największego ciężaru dopuszczalnego (roboczego) i sprawdzamy przy tym stan poszczególnych elementów całej suwnicy.

Próby dynamiczne polegają na kolejnym podnoszeniu i opuszczaniu ciężaru większego od największego ciężaru roboczego o 10%. Przy takim obciążeniu sprawdza się wszystkie mechanizmy ruchowe oraz automatyczne ograniczniki ruchów suwnicy.

Tablica 10 zawiera dane techniczne stosowanych suwnic.

¹⁾ Zawiesiem nazywamy olinowanie lub „ołańcuchowanie“ podnoszonego przedmiotu (przyp. tłum.).

Tablica 10
Dane techniczne elektrycznych suwnic typu lekkiego o dwóch hakach



Udźwig T	Rozpię- tość suwnicy m — do	Wysokość podnosze- nia ha- ków m		Skrajne położenie haków m						Prędkości m/min			
		a	b ₁	b ₂	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	d ₁	d ₂	Haka głównego	Haka pomocni- czego	Wózka
50/10	10,5—22,5	12	12,6	1,8	0,8	1,4	2,4	0,9	0,4	1,6	6,3	20	40
60/10	10,5—22,5	12	12,6	1,8	0,8	1,4	2,4	1,0	0,4	1,6	6,3	20	40
75/15	10,5—22,5	24	26	4,1	2,8	1,9	3,2	0,8	0,1	1,25	5,0	12,5	31,5
100/20	13—19	32	34	2,8	4,1	3,1	1,8	0,9	0,2	1,0	4,0	12,5	31,5
125/30	25—31	32	34	2,8	4,1	3,2	1,9	1,0	0	0,8	4,0	12,5	25
150/30	13—31	24	26	2,8	4,1	3,2	1,9	1,2	0	0,8	4,0	12,5	25
150/30	13—31	32	34	2,8	—	3,2	—	1,3	0,2	0,8	4,0	12,5	25
200/30	13—31	16	18	2,8	4,3	3,2	1,7	1,3	0,1	0,8	4,0	12,5	20
200/30	22—31	32	34	2,8	—	3,2	—	1,3	0,2	0,8	4,0	12,5	20
250/30	16—31	16	18	2,8	4,7	3,3	1,4	1,9	0,3	0,8	4,0	12,5	20
250/30	16—31	32	32	3,1	—	3,2	—	1,9	0,3	0,8	4,0	12,5	20
300/40	16—31	32	34	3,5	—	3,6	—	1,9	0,3	0,8	3,15	10	20
350/40	16—31	32	34	3,5	—	3,6	—	1,9	0,3	0,63	3,15	10	16

2. Wciągniki w komorze turbiny

W przypadku wielkich turbin o średnicy wirnika 5 m lub większej, celowe jest stosowanie wciągnika przy montażu i demontażu elementów kierownicy.

Wciągnik instaluje się wówczas w komorze turbiny, nad kierownicą i to w ten sposób, że można go przesuwając po pierścieniowej szynie jezdnej. Szyna ta jest przymocowana do belki wpuszczonej w beton.

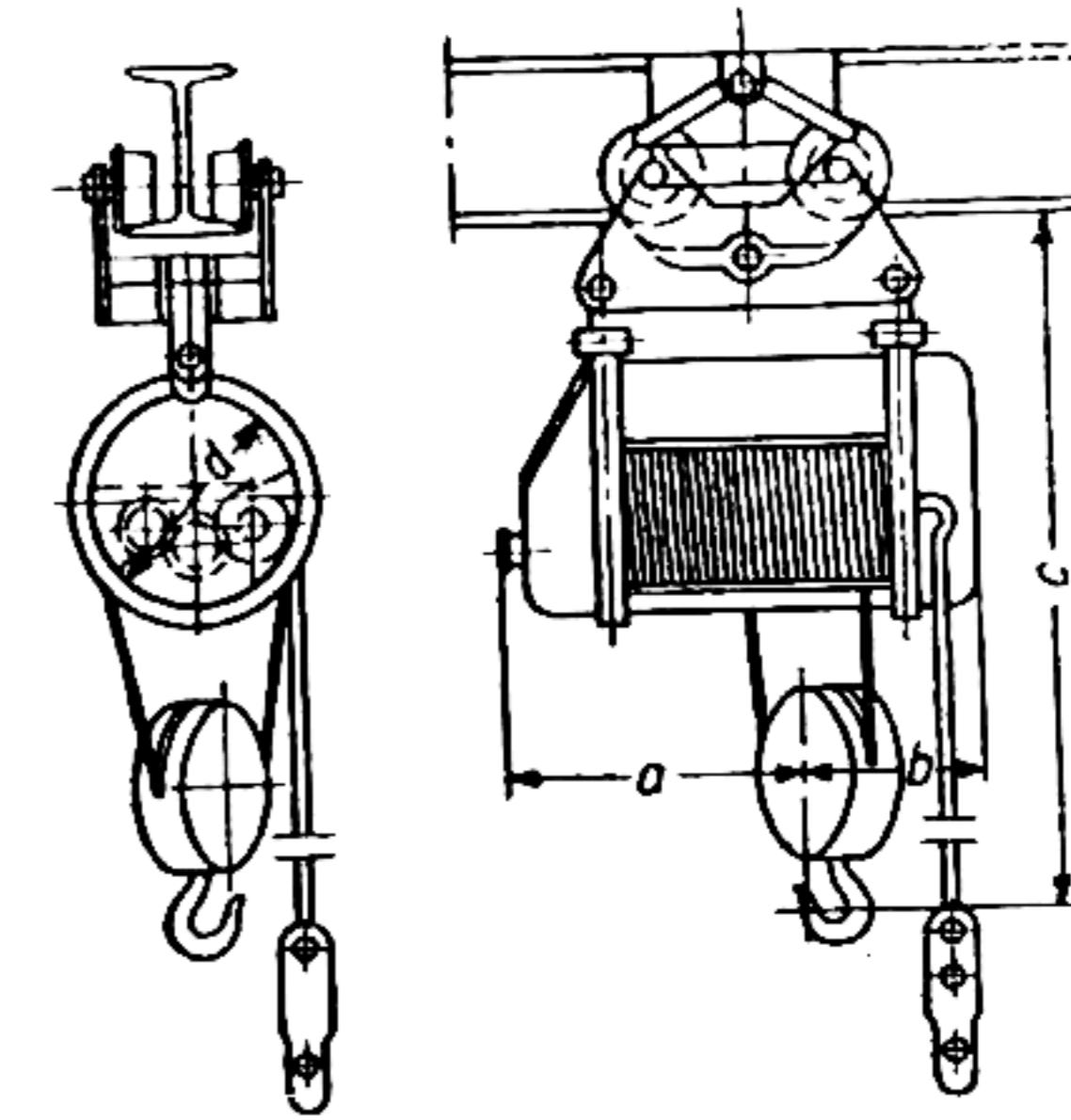
O ile wciągnik jest zainstalowany w komorze turbiny, to zazwyczaj daje on nam możliwość wcześniejszego rozpoczęcia montażu wirnika prądnicy, przy czym części kierownicy opuszcza się zawczasu do komory turbiny. Przy pomocy wciągnika montujemy łopatki, łożyska, dźwignie, strzemię i pokrywy łopatek kierowniczych. Przy wytaczaniu kierownicy używamy wciągnika do ustawienia wrzeciona tokarskiego. Wciągnik ułatwia

poza tym ustawianie silowników, obracanie pierścienia regulacyjnego oraz wymianę sworzni bezpieczeństwa, zaś podczas naprawy turbiny służy do wykonywania analogicznych prac.

W turbinach nie zaopatrzonych we wciągniki, prace te wykonuje się przy pomocy wielokrążków, wciągarek oraz — w pewnych przypadkach — ręcznie. Wciągnik elektryczny skraca więc cykl montażowy całego turbozespołu a oprócz tego w wyniku zmniejszenia zakresu robót pracochłonnych, powoduje potanie montażu.

Udźwig wciągnika (tabl. 11) określamy na podstawie ciężaru najcięższego przedmiotu, który ma być podnoszony, tj. łopatki kierowniczej lub jej łożyska.

Tablica 11
Wciągniki o napędzie elektrycznym sterowane z poziomu podłogi



Udź- wig T	Wysokość podnosze- nia haka m	Prędkość m/min		Moc silni- ka kW	Nr profilu belki dwuteo- wej	Wymiary mm				Ciężar całkowity T
		Pod- nosze- nia	Jazdy			a	b	c	d	
0,5	15,0	12,0	—	1,3	20—28	400	200	850	350	0,16
1,0	10,0	6,0	—	1,3	20—28	400	200	850	350	0,175
2,0	10,0	7,5	30	1,3	24—28	580	520	1200	475	0,46
2,0	20,0	7,5	30	1,3	24—28	690	625	1200	475	0,52
3,0	10,0	7,5	30	2,5	28—32	771	719	1300	475	0,60
3,0	20,0	7,5	30	2,5	28—32	841	782	1300	475	0,63
5,0	12,0	6,0	30	2,5	28—32	800	820	1700	580	0,85
5,0	20,0	6,0	25	2,5	28—32	971	912	1700	580	0,88

W przypadku turbin, których średnica wirnika wynosi 8 m lub więcej, pożądane jest zainstalowanie na okres montażu dwóch wciągników, przesuwalnych po jednej szynie jezdnej.

§ 9. SKŁADOWISKA I SKŁADY

Do przechowywania części instalacji turbinowej, narzędzi, materiałów oraz drobnych części urządzenia, należy zaplanować odpowiednie składy.

W początkowym okresie montażu, gdy budowa nie osiągnęła jeszcze poziomu (rzędnej)¹⁾ podłogi maszynowni, całe nadchodzące urządzenia wyładowuje się wprost na wolnym powietrzu, tj. na placu składowym. Przedmioty opakowane, przysyłane na platformach kolejowych, są w większości przypadków nader ciężkie, tak że przy ich wyładowywaniu niezbędne są urządzenia dźwigowe. Zazwyczaj korzysta się tutaj z dźwigów kolejowych. Z tego względu place składowe należy urządzać wzdłuż torów kolejowych. Układanie skrzyń w dwóch warstwach dozwolone jest tylko wówczas, gdy istnieje pewność, że górne skrzynie wskutek swego ciężaru nie wywołają zniszczenia skrzyń dolnych. Pomiedzy skrzyniami należy ułożyć przekładki z belek lub desek.

Powierzchnia składowisk zależy od ilości skrzyń, które mają być jednocześnie przechowywane oraz od ich wymiarów. Ilość tę określamy na podstawie planu dostaw elementów instalacji przez ich wytwórnice oraz na podstawie harmonogramu przekazywania tych części na plac montażowy. Jeżeli stosownie do miejscowych warunków budowy miejsce na składowisko wzdłuż drogi jest ograniczone, to powierzchnia składowiska może być powiększona przez powiększenie jego szerokości. Jednak w tym przypadku wymagane są dodatkowe urządzenia dźwignicowe (żurawie samochodowe lub wciągarki), przy pomocy których przenosi się skrzynie o ciężarze 4 do 5 T.

Tablica 12 zawiera przybliżone powierzchnie składowisk do przechowywania pełnego kompletu części instalacji turbiny wodnej.

Oprócz placu składowego, znajdującego się na zewnątrz siłowni wodnej, należy przewidzieć budynek składowy nieogrzewany oraz ogrzewany. Składy te przeznaczone są na części instalacji wymagających specjalnego przechowywania (§ 10). Orientacyjne powierzchnie tych składowisk podano również w tabl. 12. W razie konieczności jednoczesnego przechowywania więcej niż jednego kompletu części, powierzchnie składowisk powinny być odpowiednio większe. W tejże tablicy podano orientacyjne powierzchnie składowisk znajdujących się w strefie montażu, przeznaczonych do przechowywania narzędzi i materiałów. Wzięto przy tym pod uwagę przechowywanie w szafach zaopatrzonych w trzy lub cztery półki oraz powierzchnię składowisk przeznaczoną do przechowywania drobnych części instalacji. Materiały pędne i łatwopalne (nafta, terpentyna, benzyna, spirytus itd.) przechowuje się w osobnym składzie, wyposażonym zgodnie z przepisami przeciwpożarowymi.

Powierzchnie wszystkich składowisk, tj. placu składowego, składowisk zamkniętego i składowisk ogrzewanych, służących do przechowywania części in-

¹⁾ Rzędną nazywamy wysokość danego punktu ponad przyjętym poziomem odniesienia (przyp. tłum.).

stalacji turbin wodnych o średnicy wirnika od 2 m i większej, możemy obliczyć orientacyjnie z następującego wzoru empirycznego

$$F = 260(D - 1)$$

F — oznacza tutaj powierzchnię wszystkich składowisk w m^2 ,
 D — średnicę wirnika w m.

Tablica 12
 Powierzchnie składowisk do przechowywania jednego pełnego kompletu części turbiny wodnej oraz narzędzi i materiałów potrzebnych w ciągu całego czasu trwania montażu

(Typy turbin odpowiadają typom podanym w tabl. 4)

Nazwa składowiska	Turbiny Francisa			Turbiny Kap'ana			
	Średnica wirnika (w metrach)						
	2,1	2,55	5,5	3,6	5,0	8,0	9,0
	Powierzchnia składowiska (w metrach kwadratowych)						
Plac składowy części instalacji turbinowej	260	350	1000	450	750	1500	1700
Skład drobnych części instalacji turbinowej poza obrębem siłowni	70	110	200	180	200	300	350
Skład ogrzewany	30	40	50	40	50	80	100
Skład drobnych części instalacji turbinowej w granicach strefy montażu	30	30	40	30	30	40	50
Skład narzędzi w granicach strefy montażu	25	25	35	25	35	40	60
Skład materiałów montażowych w granicach strefy montażu	15	15	25	15	25	35	35

§ 10. KOLEJNOŚĆ DOSTAW I PRZECHOWYWANIE CZĘŚCI INSTALACJI TURBINOWEJ ORAZ ICH ZNAKOWANIE

Części instalacji turbiny wodnej wysyła się uwzględniając technologię montażu i wyładowuje się je w następującej kolejności: wykładzina rury ssawnej, słupy spirali, pozostałe części fundamentowe, mechanizmy robocze i pomocnicze turbiny, części układu regulacyjnego.

Przed wysyłką części powinny być odpowiednio pozakowane, pomalowane, poddane konserwacji oraz zapakowane.

1. Znakowanie części instalacji turbinowej

W celu przyspieszenia montażu zespołów i części instalacji turbinowej oraz w celu prawidłowego ich złożenia, znakuje się ostatecznie według określonego systemu, który powinien uwzględniać jednoznaczność znakowania oraz sposoby umieszczenia znaków. Znakowanie przeprowadza się w wy-

twórni. Dla łatwiejszego odnajdywania znaków wytwórnia zaopatruje personel montażowy w instrukcję omawiającą system znakowania.

Poniżej podajemy system znakowania przyjęty w Leningradzkich Zakładach Metalowych im. Stalina.

Według tego systemu znaki umieszczane są w widocznych miejscach na powierzchniach niepracujących lub w miejscach specjalnie na ten cel wskazanych i przy tym w ten sposób, aby podczas montażu nie mogły być zakryte przez inne sąsiednie części. Części, które z powodu swych zbyt małych wymiarów nie mogą być oznakowane, zaopatruje się w karteczki z podanym numerem turbiny, zespołu i części. Na powierzchniach nieobrabianych, znakowanie ujęte jest w białą malowaną obwódkę, zaś w pewnych przypadkach sporządza się dodatkową obwódkę przy pomocy przecinaka. Pojedyncze części cechuje się liczbami oznaczającymi numer turbiny. Części, które podczas montażu powinny być dokładnie usytuowane względem podłużnych i poprzecznych osi fundamentów, posiadają rysy oznaczone X (oś podłużna) i Y (oś poprzeczna).

Części elementów dzielonych (pierścień fundamentowy, stojan, komora wirnika, górny i dolny pierścień kierownicy, pokrywa turbiny, łożysko ustalające i łożysko wzdłużne turbiny i in.) oprócz numeru turbiny oznacza się porządkowym numerem członu, zaś w pobliżu miejsc styku każdego członu umieszcza się numer członu sąsiedniego.

Części kierownicy (łopatki, dźwignie, strzemiona itd.), oprócz numeru turbiny zaopatrzone są w kolejny numer części. Numeracja tych części zaczyna się od osi +X i idzie w kierunku obrotu wskazówek zegara. Łożyska łopatek, otwory na te łożyska znajdujące się w pokrywie turbiny (lub w górnym pierścieniu kierownicy) oraz odpowiadające im otwory w dolnym pierścieniu kierownicy, oznaczone są porządkowymi numerami łopatek. Na łopatkach o większych wymiarach, oprócz oznaczeń na górnej czołowej powierzchni czopa, pożądane jest umieszczenie numeru porządkowego również na dolnym końcu pióra łopatki. O ile czopy łopatek zaopatrzone są w dwa rowki na wpusty, to rowki oznacza się liczbami 1 i 2, zaś wpusty, oprócz numeru turbiny i numeru łopatki, oznaczone są jeszcze numerem rowka.

Siłowniki kierownicy zaopatrzone są w numer turbiny oraz we własny numer porządkowy, przy czym siłownik z zatraskiem oznaczony jest numerem 1. Odpowiednio do tego znakowane są przynależne części (ciągną, ściągi, kołki, ucha pierścienia regulacyjnego itd.).

Otwory na śruby w kołnierзовych połączeniach wału turbiny, wału pośredniego, wału prądnic oraz w wirniku znakowane są kolejno począwszy od kołnierza znajdującego się najniżej, aż do kołnierza znajdującego się najwyżej. Na przykład, gdy kołnierze zaopatrzone są każdy w 16 otworów, to otwory znajdujące się w kołnierzu wału turbiny sprzężonym z wirnikiem posiadają numerację od 1 do 16 w kierunku obrotu wskazówki zegara; w połączeniu kołnierзовym wału turbiny z wałem pośrednim numeracja ta biegnie od 17 do 32, zaś w połączeniu kołnierзовym wału pośred-

niego z wałem prądnic — od 33 do 48. Oprócz tego na kołnierzach umieszcza się ryski uzgadniające wzajemne położenie wałów podczas montażu. Śruby pasowane oraz nakrętki, oprócz numeru turbiny, otrzymują odpowiednie numery otworów.

Poszczególne człony spirali nie są znakowane numerami, lecz posiadają oznaczenia wykonane farbą w obwódce (białą cynkową, ołowianą lub mianą) ze wskazaniem numeru turbiny, numeru zespołu i — według szczegółowego opisu turbiny — pozycji członu oraz jego numeru porządkowego. Na wszystkich członach umieszcza się strzałki wskazujące kierunek przepływu wody. O ile człony dzielone są w płaszczyźnie poziomej, to górną część członu oznacza się literą G, dolną zaś — literą D.

Przykłady znakowania:

- 1) Cyfra 3, umieszczona na pojedynczej części, oznacza, że dana część przynależy do turbiny numer 3.
- 2) Znak 3 — 2, umieszczony na części dzielonej, oznacza, że ta część przynależy do turbiny numer 3 i jest drugim członem danej części. Znaki 1 i 3, znajdujące się w pobliżu miejsc styku tego członu wskazują, że z jednej strony przylega on do członu 1 zaś z drugiej strony — do członu 3.
- 3) Znak 3 — 18 znajdujący się na łopatkce kierowniczej (na powierzchni czołowej czopa) oznacza: turbina numer 3, łopatkca numer 18.
- 4) Znakowanie wpustu łopatkce kierowniczej 3 — 18 — 2 oznacza: turbina numer 3, łopatkca numer 18, rowek wpustowy numer 2.
- 5) Znak 3 — 24, umieszczony na śrubie pasowanej, oznacza: turbina numer 3, śruba numer 24.
- 6) Znak 3 — 32 — 31, umieszczony na części napędu wyłącznika (oraz również na części rurociągów), oznacza: turbina numer 3, zespół 32, szczegółowy opis umieszczony jest pod pozycją 31.

2. Malowanie części instalacji turbinowej

Malowanie części instalacji turbinowej ma na celu: 1) zewnętrzne wykończenie powierzchni nieobrobionych, 2) zabezpieczenie przed korozją, 3) ochronę powierzchni metalowych układu regulacyjnego przed działaniem kwasów i ługów.

W celu zewnętrznego wykończenia części maluje się ich zewnętrzne nieobrobione powierzchnie. Powierzchnie części turbiny znajdujące się w komorze turbiny (pokrywa, pierścień regulacyjny, łożysko poprzeczne, miska łożyska itp.) maluje się według II klasy malowania norm radzieckich: odtłuszczenie powierzchni, jej zagruntowanie, dwuwarstwowe szpachlowanie, gruntowanie po szpachlowaniu i wykańczające pokrycie farbą olejną w kolorze szaro-stalowym. Człony, stopnie, schody itp. maluje się stosownie do III klasy: odtłuszczenie powierzchni i pokrycie jej czarnym lakierem bitumicznym. Wykładzinę komory turbinowej oraz rury maluje się stosownie do III klasy, lecz kolorem szaro-stalowym.

Regulator, układ olejowy ciśnieniowy, kombinatory oraz inne części instalacji znajdujące się w maszynowni, maluje się według I klasy: odtłuszczenie powierzchni, gruntowanie, szpachlowanie trójwarstwowe, gruntowa-

nie po szpachlowaniu i wykańczające malowanie emalią lub lakierem bitumicznym w kolorze szaro-stalowym.

Wszystkie powierzchnie stykające się z przepływającą wodą (wewnętrzne powierzchnie spirali metalowych, wykładziny rury ssawnej; zewnętrzne, omywane przez wodę, powierzchnie łopatek kierowniczych; słupy, wirnik, nieobrobione powierzchnie pokrywy turbiny, dolny pierścień kierownicy i in.), maluje się według III klasy powlekając je wodoodporną farbą olejną.

Powierzchnie części zalewane betonem nie powinny być malowane ponieważ warstwa farby nie dozwalałaby na przywarcie do nich betonu.

Wewnętrzne powierzchnie części stykających się z olejem (zbiornik zlewczy oleju, zbiornik instalacji olejno ciśnieniowej, regulator, kombinator, zbiornik oleju do regulacji wirnika, miska łożyska wzdłużnego, łożysko poprzeczne itp.) maluje się według III klasy, ale farbą tłuszczoodporną (zazwyczaj koloru srebrnego, sporządzoną ze sproszkowanego aluminium). Powierzchnie, które mają być powleczone farbą tłuszczoodporną, oczyszcza się uprzednio bardzo dokładnie, odtłuszcza i wyciera do sucha czystymi szmatami bawełnianymi, nie posiadającymi włosków.

Po ukończeniu montażu należy poprawić malowanie wszystkich zewnętrznych powierzchni, względnie pomalować je na nowo. W ostatnim przypadku zaleca się stosowanie lakieru nitrocelulozowego, który szybciej schnie i jest bardziej odporny na działanie mineralnych olejów oraz ługów. Lakier nitrocelulozowy nanosi się metodą natryskiwania.

3. Konserwacja części instalacji turbinowej

Konserwację przeprowadza wytwórnia. Celem konserwacji jest ochrona powierzchni obrobionych przed korozją. Trwałość konserwacji powinna być taka, aby części znajdujące się w różnych warunkach klimatycznych były zabezpieczone przez okres 3 do 4 miesięcy. O ile wymagany termin zabezpieczenia jest dłuższy, to należy postępować stosownie do „Instrukcji ochrony i konserwacji urządzeń energetycznych w bazach MES” (Gosenergoizdat, 1951).

Przy wyborze materiałów stosowanych dla konserwacji należy mieć na względzie ich trwałość i łatwą zmywalność przy montażu.

Do konserwacji wewnętrznych, trudno dostępnych, powierzchni tych mechanizmów, które wysyłane są z wytwórni w stanie zmontowanym (regulator, osprzęt i pompy układu olejowego ciśnieniowego, kombinator, serwowotory, (siłowniki), wirnik turbiny Kaplana itp.) stosuje się powłokę nietwardniejącą, składającą się z 50 części wazeliny, 6 części parafiny i z 3 części wosku.

Tłuszcz armatni (smar armatni z dodatkiem 10 do 15% parafiny) daje również powłokę nietwardniejącą. Stosuje się go przeważnie do konserwowania części przesyłanych w opakowaniach zamkniętych, ponieważ w przypadku opakowań otwartych, przy przewożeniu części oraz przy prze-

chowywaniu w składzie otwartym, może on ulec starciu lub stopieniu. Tłuszcz armatni zmywa się przy pomocy nafty.

Łatwo dostępne i dokładnie obrobione powierzchnie części turbiny (wał turbiny, czopy łopatek kierowniczych, gwinty elementów łączących i in.) pokrywane są powłoką ochronną twardniejącą, a mianowicie przeciwkorozyjnym lakierem asfaltowym Nr 67. Lakier ten daje się łatwo zmywać benzyną, acetonem lub terpentyną oraz — nieco trudniej — naftą.

Gumową tuleję łożyska poprzecznego turbiny pokrywa się olejem rybnym w celu zabezpieczenia jej od wpływów atmosferycznych, zaś tuleję sporządzoną z drewna preparowanego (lignofoilu) — towotem.

4. Opakowanie części instalacji turbinowej

Opakowanie części instalacji turbinowej powinno odpowiadać warunkom transportu; części zapakowane w skrzynie lub umieszczone na saniach należy odpowiednio umocować w celu uniknięcia ich przesuwania się. O ile możliwości należy pakować razem kompletne zespoły łącznie z drobnymi częściami danego zespołu (elementy łączące, kołnierze i in.). Opakowanie (sanie, podstawy skrzyń) powinny być odpowiednio mocne tak, aby przy ładowaniu oraz wyładowywaniu można było stosować odpowiednie olinowanie.

Wielkie części, nie wymagające specjalnej ochrony (części fundamentowe, pokrywa turbiny, łopatki kierownicze itp.), wysyła się luzem, lecz wówczas powierzchnie obrobione należy natłuścić, pokryć nieprzemakalnym papierem oraz obić dyktą lub deskami. Niekiedy części te ustawia się na specjalnych saniach w celu łatwiejszego zakładania lin.

Części średniej wielkości, części drobne (łożysko turbiny, regulator, kombinator, osprzęt układu olejowego, części łączące itp.) oraz części wielkie, wymagające specjalnej ochrony (wał turbiny, drągi kombinatora itp.), pakuje się w skrzynie, które w celu uniknięcia przedostawania się do ich wnętrza wilgoci, obija się dwiema warstwami papy asfaltowanej (ruberoidu).

Części drobne natłuszcza się a następnie owija papierem parafinowym i pakuje w osobne skrzynki, które umieszcza się w większej skrzyni.

Wraz z częściami instalacji należy zapakować do skrzyń wykazy zawierające numerację wysyłanych części. Numeracja ta powinna zgadzać się ściśle z numeracją podaną w szczegółowym opisie. Wykazy należy zabezpieczyć przed zniszczeniem i w tym celu powinny być owinięte w papier pergaminowy. Oprócz tego klientowi przesyła się ogólny wykaz wysyłkowy ze spisem i nazwami ładunków (skrzyń lub opakowań), wyszczególnieniem ich wymiarów gabarytowych oraz ciężarów.

Skrzynie znakuje się w widocznych miejscach przy pomocy farby. Znaki powinny wskazywać: stację przeznaczenia, nazwę budowy lub siłowni

wodnej, numer ładunku, numer obstalunku, miejsca, w których należy zakładać liny przy podnoszeniu.

Na tych skrzyniach, które ze względu na swoją zawartość nie mogą być przewracane, umieszcza się napis: „nie przewracać“ lub „góra“.

5. Przechowywanie części instalacji turbinowej

Nadchodzące części instalacji, jak to już poprzednio mówiliśmy, wyładowuje się w składzie lub — po uprzednim podciągnięciu podłogi maszynowni do odpowiedniej rzędnej — bezpośrednio wewnątrz siłowni.

W miarę nadchodzenia ładunków należy je rozpakowywać oraz sprawdzać ilość części według wykazów wysyłkowych oraz ich stan. Przy rozmieszczaniu ciężarów wewnątrz siłowni, należy brać pod uwagę dopuszczalne obciążenie stropu. Ciężkie części wyładowuje się na placu montażowym.

Części instalacji należy przechowywać w ten sposób, aby były one zabezpieczone przed rdzewieniem, działaniem promieni słonecznych i zniszczeniem.

Na placu składowym przechowuje się części fundamentowe, ciężkie elementy mechanizmów roboczych, których nie można umieścić w składzie zamkniętym (wirniki, wały, górne i dolne pierścienie kierownicy, pokrywy turbin, pierścienie regulacyjne, słupy, kadłuby łożysk i zaworów, człony lanych spiral, zbiorniki ciśnieniowe i inne zbiorniki układu olejowego, wielkie łopatki kierownicze itp.) oraz części drobne, nie posiadające dokładnie obrobionych powierzchni (schody, osłony, rurociągi).

Niektóre części ciężkie przechowywane na placu składowym, jak np. wały turbin, wirniki itp., oprócz normalnego opakowania, powinny posiadać lokalne daszki zabezpieczające.

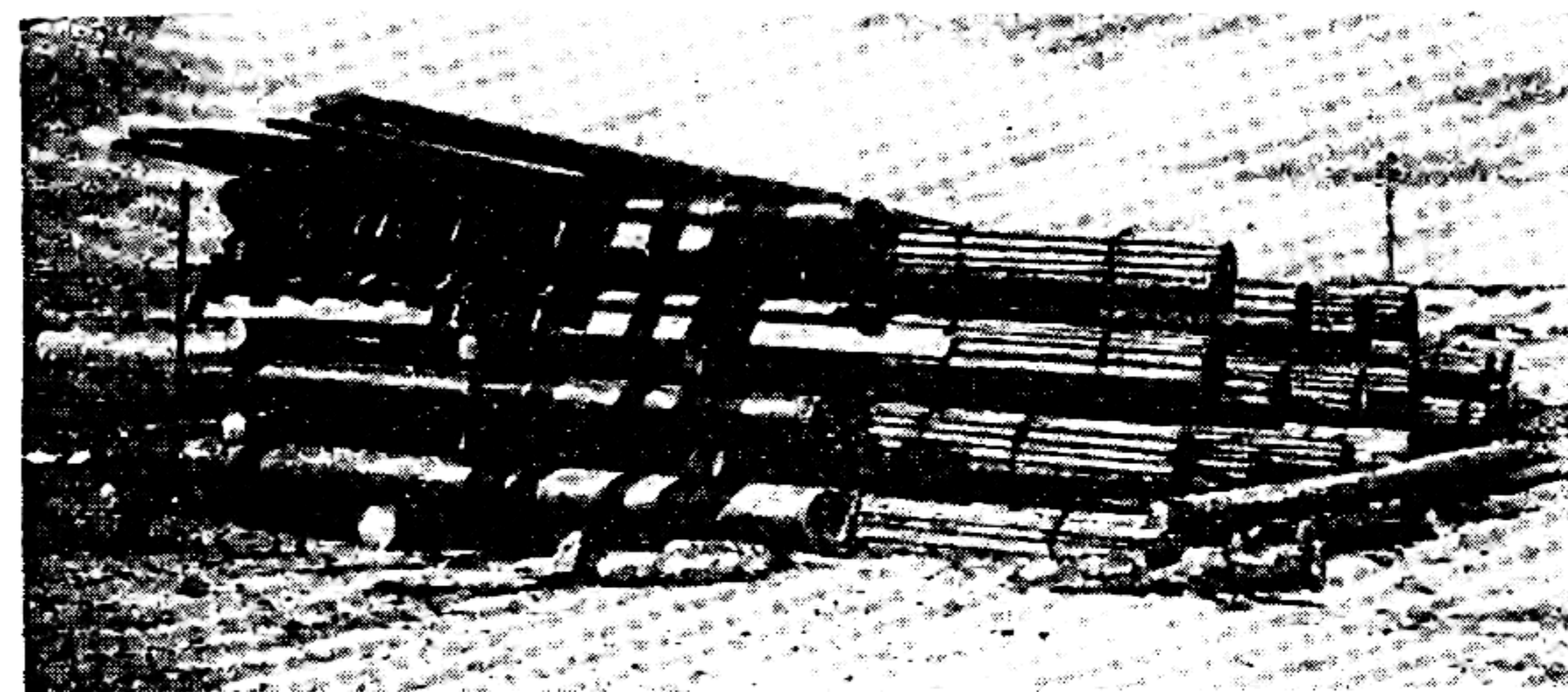
Części oraz zespoły o niewielkich wymiarach gabarytowych i ciężarach, posiadające powierzchnie gładko obrobione lub pokryte farbą tłuszczoodporną, przechowuje się w zamkniętym nieogrzewanym składzie. Do części tych, względnie zespołów, zaliczamy: części mechanizmu pokrętnego łopatek wirników turbin Kaplana (czopy, dźwignie, strzemiona, tłoczysko), drągi, części mocujące wirnika i połączeń kołnierzowych wałów, siłowniki, zbiorniki oleju, napędy układu regulacyjnego itp.

Skrzynie zawierające bardzo dokładnie obrobione mechanizmy lub części, powinny być przechowywane w zamkniętym i ogrzewanym składzie, ponieważ nagłe zmiany temperatury wywołują osadzanie się wilgoci i rdzewienie. Do takich mechanizmów zaliczamy: mechanizmy układu olejowego; tuleje łożysk wykonane z gumy lub z drewna preparowanego (lignofoilu), uszczelki skórzane, uszczelki gumowe i inne, precyzyjne mechanizmy pomocnicze, silniki elektryczne, prądnicę regulatora odśrodkowego, aparaturę automatyki, przyrządy miernicze itp.

Części instalacji przechowywane na placu składowym lub w składzie zamkniętym układa się na pokładach z belek. Składy powinny być zabez-

pieczone przed przedostawaniem się do nich wody pochodzącej z opadów atmosferycznych.

Na rys. 18 pokazano sposób ułożenia łopatek kierownicy na placu składowym.



Rys. 18. Składowanie łopatek kierowniczych na placu

Opakowanie nie nadające się do użytku lub zniszczone powinno być niezwłocznie wymienione lub naprawione, przy czym powierzchnie obrobione należy ponownie poddać konserwacji. Skrzynie oraz części pozbawione opakowania należy w odpowiednim czasie oczyszczać ze śniegu.

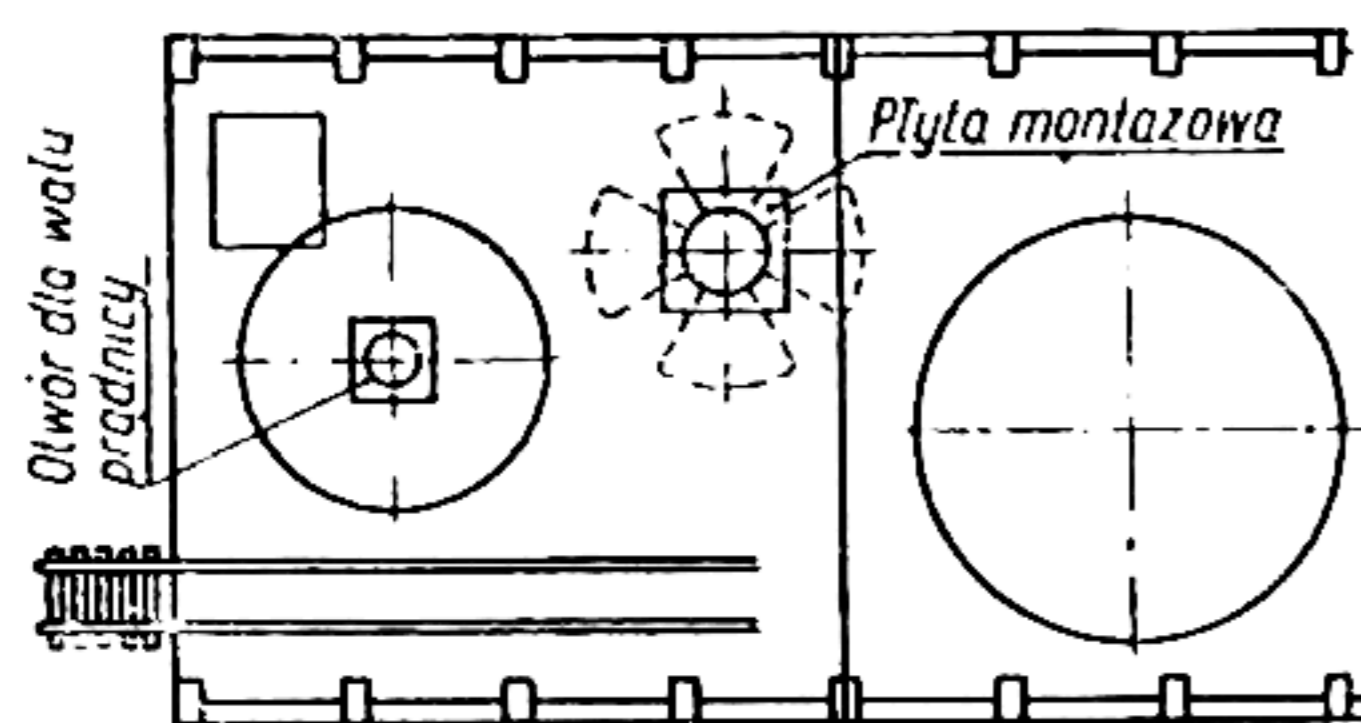
Po dłuższym przechowywaniu (ponad pół roku) należy opakowania otworzyć i sprawdzić, czy na zewnętrznych powierzchniach mechanizmów oraz na częściach dokładnie obrobionych nie wytworzyła się rdza. Jeżeli zewnętrzne oznaki świadczą o tym, że zachodzi proces rdzewienia, to należy części rozebrać, oczyścić, zakonserwować i ponownie złożyć oraz zapakować.

§ 11. PLAC MONTAŻOWY I STANOWISKA ROBOCZE

Plac montażowy przeznaczony jest do przeprowadzania montażu i demontażu zasadniczych i pomocniczych zespołów instalacji siłowni wodnej przed ich ostatecznym zmontowaniem na miejscu. Plac ten z reguły od strony drogi dojazdowej znajduje się na wysokości podłogi maszynowni, gdyż wówczas mamy możliwość wykorzystania części maszynowni do montażu drobnych zespołów. W niektórych siłowniach wodnych poziom powierzchni placu montażowego nie jest ten sam co poziom podłogi maszynowni.

Najmniejsze wymiary placu montażowego powinny być takie, aby można było na nim montować największe zespoły instalacji, tj. twornik prądnic lub wirnik turbiny Kaplana oraz wprowadzać wagon kolejowy o największej długości lub też samochód przeznaczony do przewożenia wielkich części instalacji. Szerokość placu montażowego przyjmuje się zazwyczaj równą szerokości maszynowni.

Jeżeli elektrownia wodna posiadać ma cztery, pięć lub więcej turbozespołów, to powiększamy długość placu montażowego w zależności od projektowanego schematu równoległego montażu zespołów. Wielkość placu określa się zazwyczaj z warunku, że wirnik turbiny oraz twornik prądnicy mają być równocześnie montowane, tak jak to pokazano na rys. 19.



Rys. 19. Widok placu montażowego

W elektrowniach wodnych, w których montuje się jednocześnie kilka turbozespołów, należy przewidzieć zewnętrzne dodatkowe place montażowe (na otwartym powietrzu) lub - dla montażu wielkich zespołów — wydzielić kilka komór turbinowych. Montaż turbin w tych komorach przeprowadza się w tym przypadku w ostatniej kolejności. Wydzielone komory

należy wyposażyć w specjalne stalowe konstrukcje, przeznaczone do montażu odpowiednich zespołów turbozespołu.

Powierzchnia placu montażowego może odkształcać się pod wpływem szybko zmieniających się obciążeń. Aby odkształcenia te nie wywierały wpływu na budynek siłowni wodnej, oddziela się go zazwyczaj od tego placu przez wytworzenie szczeliny.

W celu usprawnienia montażu wykonujemy na placu montażowym dół, względnie otwór w podłodze dla pomieszczenia w pozycji pionowej wału twornika prądnicy, a oprócz tego umieszczamy na nim płytę przeznaczoną do montażu wirnika turbiny Francisca oraz klamry do robót udźwigowych. Szerokość oraz długość płyty montażowej powinny być większe o 0,5 do 0,8 m od średnicy piasty wirnika. Na placu tym należy poza tym wykonać specjalny zakrywany dół, w którym przechowuje się ciężary kontrolne do prób obciążenia suwnic.

Plac montażowy należy dobrze oświetlić oraz doprowadzić do niego sieć elektryczną niskiego napięcia, sieć siłową, rurociąg ze sprężonym powietrzem oraz wodę.

Robocze stanowiska brygad znajdują się w rejonach, w których rozmieszczone są montowane części turbozespołu i ulegają odpowiednim przesunięciom w miarę postępującego montażu poszczególnych elementów oraz w miarę wznoszenia wiązań dachowych budynku siłowni. Do stanowisk roboczych należy doprowadzić: sieć oświetleniową normalnego napięcia, sieć niskiego napięcia, elektryczną sieć siłową dla zasilania spawarek i elektrycznych narzędzi, rurociąg sprężonego powietrza o ciśnieniu 5 do 6 at oraz rurociąg do wody.

Stanowiska robocze powinny być wyposażone w dostateczną ilość lamp elektrycznych normalnego napięcia, w komplet przenośnych lamp elektrycz-

nych niskiego napięcia oraz — w celu zasilania narzędzi pneumatycznych — w odpowiednią ilość odgałęzień od rurociągu ze sprężonym powietrzem

W bezpośrednim sąsiedztwie stanowisk umieszcza się stoły z imadłami, toczaki mokre i ostrzałki do narzędzi oraz — poza obrębem siłowni — paleniska do podgrzewania rur i urządzenie do ich wygnania. W celu usprawnienia prac montażowych oraz zapewnienia bezpieczeństwa przy ich wykonywaniu, stanowiska robocze zaopatruje się w miarę potrzeby w rusztowania, podłogi, drabiny, balustrady oraz w inne urządzenia wymagane przez przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy (§ 72).

§ 12. NARZĘDZIA, URZĄDZENIA I SPRZĘT MONTAŻOWO-PRODUKCYJNY

Przy montowaniu wielkich turbin wodnych wykonuje się dużą ilość rozmaitych operacji montażowych oraz operacji produkcyjnych. Z tego względu rodzaje oraz wielkości używanych przy tym narzędzi są bardzo rozmaite.

Stosowane są narzędzia znormalizowane, tj. wykonane według norm, oraz narzędzia specjalne, dostarczane łącznie z instalacją turbinową. Rodzaj oraz ilość narzędzi zależy od procesów technologicznych oraz od wymagań praktyki.

Przy układaniu zestawów narzędzi należy brać pod uwagę (o ile to jest tylko praktycznie możliwe) największą ilość robotników przypadającą na jedną zmianę, ich specjalności, kwalifikacje, zakres prac oraz szybkość zużywania się każdego rodzaju narzędzi.

Na podstawie analizy procesów technologicznych oraz doświadczeń poczynionych przy przeprowadzaniu montażu, zaleca się stosowanie zestawów narzędzi oraz zestawów sprzętu montażowo-produkcyjnego podanych w tabl. 13, 14, 15 i 16.

Przy sporządzaniu tych zestawów uwzględniono dane przeciętne, wynikające z przytoczonych wyżej czynników, przy czym założono, że narzędzia oraz sprzęt montażowo-produkcyjny przechowywane są prawidłowo oraz naprawiane w odpowiednim czasie. W wymienionych tablicach zestawiono zasadnicze, powszechnie stosowane, narzędzia znormalizowane, niezbędne do zmontowania jednej kompletnej turbiny wodnej. O ile montuje się więcej turbin, to ilość narzędzi należy określać biorąc pod uwagę, zgodnie z przyjętymi normami, ich naprawy oraz szybkość zużywania się.

Ilość narzędzi oraz sprzętu dla warsztatów: mechanicznego, elektrycznego naprawczego, kuźni oraz warsztatu ciesielskiego i in., uwarunkowana jest zazwyczaj potrzebami wszystkich prac montażowych i nie jest umieszczona w tablicach. Oprócz tego nie podano w tych tablicach narzędzi najprostszyc, które w miarę potrzeby mogą być sporządzone na miejscu, jak np. przecinaki, skrobaki, przebijaki, punktaki, łomy itp.

Tablica 13
Zestaw zwykłych zasadniczych narzędzi używanych przy montażu jednej kompletnej turbiny wodnej (dane orientacyjne)

Lp.	Nazwa narzędzia	Turbiny Francisca			Turbiny Kapłana			
		Średnica wirnika w metrach oraz rodzaj spirali						
		2,1 lana	3 spawa- na	5,5 spawa- na	3,6 beto- nowa	5 beto- nowa	8 beto- nowa	9 beto- nowa
Ilość sztuk								
		1	2	3	4	5	6	7
1	Młotki ślusarskie: 0,4; 0,6 i 1 kg	6	7	10	6	8	10	12
2	Młoty kowalskie 3,5 i 10 kg	2	3	4	2	3	4	4
3	Młoty lekkie (miedziane) 2 i 4 kg	1	1	2	1	1	2	3
4	Młoty miękkie (otowiane) 5 i 8 kg	3	3	5	3	4	5	6
5	Oprawki piłek do metali 350 mm	4	5	7	4	2	8	8
6	Płótno ścierne	150	150	200	150	200	250	300
7	Szczypce płaskie 150 i 200 mm	2	2	2	2	2	2	2
8	Obcążki 150 mm	2	2	2	2	2	2	2
9	Lampy lutownicze 12 l	1	1	2	1	1	2	2
10	Lutownice kab. by, miedziane: 0,4; 0,6 i 1 kg	1	1	2	1	1	2	2
11	Nożyce blacharskie ręczne	1	2	2	1	2	2	2
12	Grzechotki	1	2	2	1	2	2	2
13	Obcinaki do rur do Ø 25 mm)	2	2	2	2	2	2	2
14	Klucze łańcuchowe do rur	1	1	2	1	1	2	2
15	Szczypce uniwersalne	1	1	2	1	1	2	2
16	Klucze do nakrętek rozsuwalne (francuskie)	1	1	2	1	1	2	2
17	Klucze do nakrętek dwustronne 6×8; 9×11; 10×12; 11×14; 17×22; 19×21 mm	3	3	4	3	4	5	5
18	Klucze do nakrętek dwustronne 17×19; 22×27; 27×32; 32×36; 36×41 mm	4	4	6	4	5	7	6
19	Klucze do nakrętek dwustronne 50×55; 60×65; 65×70; 70×75; 75×80 mm	1	1	2	1	1	2	2
20	Klucze do nakrętek jednostronne 50, 55, 65, 70, 75, 80 mm	1	1	2	1	1	3	3
21	Klucze udarowe 46, 60, 75, 80, 85, 95, 105 mm	1	1	2	1	1	3	3
22	Klucze nasadowe 22, 32, 36, 46, 50 mm	1	1	2	1	1	2	2
23	Gwintownice do rur z narzynkami od 1/2" do 2"	1	1	1	1	1	1	1
24	Gwintownice do rur z narzynkami od 2" do 3"	1	1	1	1	1	1	1
25	Narzynki okrągłe z gwintem rurowym 1/4", 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2"	1	1	2	1	1	2	2
26	Narzynki okrągłe z gwintem metrycznym M 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48	2	2	3	2	2	3	3
27	Narzynki okrągłe z gwintem metrycznym M 56 i 64	—	—	1	—	1	1	1
28	Gwintownice do powyższych narzynek	1	1	2	1	1	2	2
29	Gwintowniki ręczne z gwintem rurowym 1/4", 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2"	1	1	2	1	1	2	2

	1	2	3	4	5	6	7
30	Gwintowniki ręczne z gwintem metrycznym M 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24	2	2	3	2	2	3
31	Gwintowniki ręczne z gwintem metrycznym M 30, 36, 42, 48, 56, 64	1	1	2	1	1	2
32	Wiertła z chwytami stożkowym Ø 8; 9; 10; 11; 11,7; 13; 13,7; 15,1; 17,1; 19,1	4	5	6	5	6	7
33	Wiertła z chwytami stożkowym Ø 20,6; 22; 23,5; 25 i 26; 31,4; 36,8	2	2	3	2	3	4
34	Wiertła z chwytami stożkowym Ø 18,9; 24,3; 30,5; 39,2; 45,1; 46,2	1	1	2	1	2	3
35	Wiertła z chwytami stożkowym Ø 50, 58, 60	—	—	1	—	1	1
36	Wiertła z chwytami cylindrycznym Ø 4,1; 4,9; 5,5; 6,5; 6,7; 7,5; 7,6; 7,9; 8,3; 8,8; Rozwiertaki cylindryczne Ø 5, 6, 8, 10, 12, 16, 18	3	3	5	3	4	5
37	Rozwiertaki cylindryczne Ø 5, 6, 8, 10, 12, 16, 18	2	2	4	2	3	4
38	Rozwiertaki cylindryczne Ø 20, 30	1	1	2	1	1	2
39	Rozwiertaki stożkowe (1:50) Ø 5, 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25	2	3	3	3	3	4
40	Rozwiertaki stożkowe Ø 30, 40	1	1	3	1	2	3
41	Pilniki zdzieraki: płaskie, kwadratowe i trójkątne 150, 200, 250, 300, 400, 450 mm	6	8	10	6	8	12
42	Pilniki gładziki: płaskie, kwadratowe i trójkątne 150, 200, 300, 350 mm	3	3	4	3	3	4
43	Pilniki zdzieraki okrągłe i półokrągłe 150, 200, 300, 400 mm	3	3	5	3	4	5
44	Pilniki gładziki: okrągłe i półokrągłe 150, 200, 300, 350, 400 mm	2	2	3	2	2	3
45	Pilniki wykańczaki: płaskie, trójkątne i półokrągłe 150, 200, 250 mm	2	3	4	2	3	4
46	Pilniki iglaki okrągłe i półokrągłe 120 mm	5	5	8	5	5	8
47	Pokrętki uniwersalne do gwintowników i rozwiertaków	5	5	10	5	8	10
48	Imadła ręczne	2	2	3	2	3	3
49	" zawasowe	2	3	4	2	3	4
50	" równoległe	4	5	6	4	5	6
51	" do rur do 1/2" do 2" i od 2" do 4"	1	1	1	1	1	1
52	Stożki Morse'a nr 2/1, 3/2, 4/3	1	1	2	1	2	2
53	Wiertarki ręczne do 12 mm	1	1	2	1	1	2
54	Uchwyty do wiertel Nr. 1 i 2	1	2	2	1	1	2
55	Litery stalowe 8 mm	1	1	2	1	1	2
56	Cyfry stalowe 8 mm	1	1	2	1	1	2
57	Cyrcle ślusarskie 100, 200, 300 mm	1	1	2	1	1	2
58	Szczotki stalowe do oczyszczania rur o średnicy 18, 25, 32, 38, 50, 63, 76, 101, 150, 209 mm	2	2	3	2	2	3
59	Szczotki stalowe do oczyszczania rur o średnicy 350 i 400 mm	—	—	1	—	—	1
60	Szczotki stalowe do oczyszczania pilników	3	3	5	3	4	5

Tablica 13 (cd.)

		1	2	3	4	5	6	7
61	Szczotki inne	8	10	15	8	10	15	15
62	Cyrkiel nożowy do wycinania uszczeltek	1	1	2	1	2	2	2
63	Wkrętaki od 150 do 300 mm	2	3	4	3	4	5	5

Tablica 14

Narzędzia elektryczne i pneumatyczne (dane orientacyjne)

Lp.	Nazwa narzędzia	Turbiny Francisca		Turbiny Kaplana				
		Średnica wirnika m oraz rodzaj spirali						
		2,1 lana	3 spa- wana	5,5 spa- wana	3,6 beto- nowa	5 beto- nowa	8 beto- nowa	9 beto- nowa
Ilość sztuk								
		1	2	3	4	5	6	7
1	Szlifierki elektryczne z giętkim wałkiem	1	1	2	1	1	2	2
2	Wiertarki elektryczne ręczne o średnicy wiercenia do 30 mm	1	1	2	1	1	2	2
3	Wiertarki elektryczne ręczne z uchwytem pistoletowym o średnicy wiercenia do 12 mm	1	1	2	1	2	2	2
4	Szlifierki pneumatyczne ręczne	2	3	4	2	2	4	5
5	Wiertarki pneumatyczne ręczne CM-22, CM-32 i CM-50	1	2	2	1	1	2	2
6	Wiertarki pneumatyczne ręczne kątowe	1	1	1	1	1	1	1
7	Młotki pneumatyczne PK-42 i PK-43	2	3	5	2	3	4	5
8	Pistolety pneumatyczne CA-8 i CM-58	1	1	2	1	1	2	2
9	Uchwyty do wiertarek	3	4	6	3	3	5	6
10	Dłuta pneumatyczne	60	110	200	60	80	150	150
11	Wycinaki pneumatyczne	20	30	60	20	30	40	50
12	Sciernice tarczowe szmerglowe (do 3500 obr/min)	8	12	20	8	10	15	20
13	Sciernice tarczowe kaiborundowe 150x20x32	15	30	50	15	20	35	50
14	Klucze pneumatyczne do M 48	1	2	3	1	2	3	3

Tablica 15

Narzędzia pomiarowe i przyrządy (dane orientacyjne)

Lp.	Nazwa narzędzia lub przyrządu	Turbiny Francisca		Turbiny Kaplana				
		Średnica wirnika w metrach oraz rodzaj spirali						
		2,1 lana	3 spa- wana	5,5 spa- wana	3,6 beto- nowa	5 beto- nowa	8 beto- nowa	9 beto- nowa
Ilość sztuk								
1	Mikrometry od 0 do 300 mm	1	1	1	1	1	1	1
2	Głębokościomierze do 300 i do 500 mm	1	1	1	1	1	1	1
3	Cyrkle drążkowe 125, 200, 600 mm	1	1	2	1	1	2	2
4	M kromierze średnicówki do 500 mm	1	1	1	1	1	1	1
5	Sprawdziany grubości płytkowe 400 mm z kompletem płytek od 0,1 do 1 mm	1	1	1	1	1	1	1
6	Sprawdziany 100 mm z kompletem płytek od 0,05 do 1 mm	2	2	3	2	2	3	4
7	Poziomnice do wałków	1	1	2	1	1	2	2
8	Poziomnice ramkowe	1	1	2	1	1	2	2
9	Poziomnice precyzyjne	1	1	1	1	1	1	1
10	Przymiary do gwintu metrycznego	1	1	1	1	1	1	1
11	Wibromierze małej częstotliwości	1	1	2	1	1	2	2
12	Stopery (sekundomierze)	2	2	3	2	3	3	3
13	Znaczniki drążkowe 300 mm	2	2	2	2	2	2	2
14	Macki zewnętrzne 100 i 500 mm	1	1	2	1	1	2	2
15	Macki wewnętrzne (przymiar wewnętrzny 150 i 300 mm)	1	1	2	1	1	2	2
16	Obrotomierze ręczne do 3000 obr/min	1	1	1	1	1	1	1
17	Miarki stałe (stalowe sztywne)	4	4	6	4	4	6	6
18	Miarki taśmowe (stalowe zwijane) 10 m	1	1	1	1	1	1	1
19	Kątownik wzorcowy 160x250	1	1	2	1	1	2	2
20	Liniaty z podziałkami 0,5 i 1 m	1	1	2	1	1	2	2
21	Liniaty wzorcowe 125 i 225 mm	1	1	2	1	1	2	2
22	Czujniki z podstawami	6	6	6	6	8	8	8
23	Termometry rtęciowe	2	2	4	2	3	4	5
24	Milivoltomierze	1	1	1	1	1	1	1
25	Oscylografiy pętlicowe	1	1	1	1	1	1	1
26	Krawędzie miernicze 1 i 2 m	1	1	2	1	1	2	2

Sprzęt montażowo-produkcyjny (dane orientacyjne)

Lp.	Nazwa sprzętu	Turbiny Francisa			Turbiny Kaplana			
		Średnica wirnika m oraz rodzaj spirali						
		2,1 lana	3 spa- wana	5,5 spa- wana	3,6 beto- nowa	5 beto- nowa	8 beto- nowa	9 beto- nowa
Ilość sztuk								
1	Szlifierki	1	1	2	1	1	2	2
2	Wytwornice acetyleny	1	1	2	1	1	2	2
3	Palniki benzynowe	1	1	2	1	1	2	2
4	Spawarki elektryczne prądu stałego	1	2	3	1	1	2	2
5	Spawarki elektryczne transformatorowe	1	3	4	2	2	3	4
6	Manometry 30 i 130 at	1	1	2	1	1	2	2
7	Pompy do prób ciśnieniowych na 130 at	1	1	1	1	1	1	1
8	Węże gumowe do powietrza sprężonego 6 at, Ø 22 mm m	250	300	600	250	400	500	700
9	Węże spawalnicze Ø 9,5 m	40	60	100	60	80	100	120
10	Maski ochronne spawalnicze	3	6	8	4	4	6	6
11	Transformatory 12 V (na wyjściu)	2	2	3	2	2	3	3
12	Lampy elektryczne przenośne ze sznurami	6	8	10	6	8	10	12
13	Lampy elektryczne przenośne akumulatorowe	4	4	6	4	4	6	8
14	Wiadra do nafty i do wody	8	10	15	8	10	12	15
15	Komplety palników spawalniczych	1	2	3	2	2	3	3
16	Palniki do cięcia acetylenem (z kompletami dysz)	1	2	3	2	2	3	3
17	Zawory redukcyjne do tlenu	1	2	2	1	1	2	2
18	" " " acetyleny	1	1	1	1	1	1	1
19	Rękawice gumowe	2	3	4	2	2	4	4
20	Uchwyty do elektrod	4	8	12	6	6	10	10
21	Przewody do spawania elektrycznego m	100	200	300	200	200	250	300
22	Pudełko do przechowywania narzędzi pneumatycznych	1	1	2	1	1	2	2
23	Płyty miernicze 300×300 i 450×600	1	1	1	1	1	1	1
24	Płyty miernicze 1000×1000	—	—	—	1	—	1	1
25	Giętarek do rur	1	1	1	1	1	1	1
26	Plaskownicy	1	1	1	1	1	1	1
27	Sprężarki do powietrza od 6 do 10 at	1	1	2	2	1	1	2

W turbinach wodnych stosowane są gwinty metryczne i gwinty rurowe. W tabl. 17 podano średnice wiertel używanych do wiercenia otworów pod te gwinty, otworów na śruby i sworznie oraz otworów podlegających następnie rozwiercaniu.

Tablica 17

Średnice wiertel (mm) do wiercenia otworów przy gwintowaniu, rozwiercaniu oraz otworów na sworznie, śruby i kołki

Średnica nominalna otworu cale ang. lub mm	Średnica wiertel pod gwinty					Średnice wiertel do otworów na sworznie śruby i kołki	Średnice wiertel do otworów rozwiercanych
	metryczny	metryczny drobny 1	metryczny drobny 2	rurowy	calowy		
4	3,3	3,5	—	—	—	5	3,9
1/16"	—	—	—	—	3,7	5,8	—
5	4,1	4,5	—	—	—	6	4,9
6	4,9	5,2	5,5	—	—	7	5,8
3/8"	—	—	—	8,8	—	—	—
1/4"	—	—	—	11,7	5,1	7,6	—
5/16"	—	—	—	—	6,4	9	—
8	6,6	6,8	7,1	—	—	9	7,7
3/8"	—	—	—	15,2	7,8	11	—
10	8,3	8,8	9,1	—	—	11	9,7
7/16"	—	—	—	—	9,2	12,5	—
12	10	10,6	10,8	—	—	13	11,7
1/2"	—	—	—	18,9	10,4	14	—
14	11,7	12,3	12,8	—	—	15	13,7
5/8"	—	—	—	20,8	13,3	17	—
16	13,7	14,3	14,8	—	—	17	15,6
18	15,1	16,3	16,8	—	—	20	17,6
3/4"	—	—	—	24,3	16,3	22	—
20	17,1	18,3	18,8	—	—	22	19,6
22	19,1	20,3	20,8	—	—	24	21,6
7/8"	—	—	—	28,1	19,1	25	—
24	20,6	21,7	22,3	—	—	26	23,6
1"	—	—	—	30,5	21,9	28	—
27	23,5	24,7	25,3	—	—	29	26,6
1 1/8"	—	—	—	35,2	24,6	39	—
30	26	27,7	28,3	—	—	32	29,6
1 1/4"	—	—	—	39,2	27,8	35	—
1 3/8"	—	—	—	41,6	—	38	—
36	31,4	32,6	33,7	—	—	40	35,5
1 3/4"	—	—	—	45,1	33,4	42	—
1 1/2"	—	—	—	—	35,7	46	—
42	36,8	38,6	39,7	—	—	46	41,5
1 3/4"	—	—	—	51	38,9	50	—
48	42,2	44,6	45,7	—	—	54	47,5
2"	—	—	—	—	44,6	58	—
52	4,2	48,6	49,7	—	—	60	—

Użytkowanie zwykłych narzędzi oraz sprzętu produkcyjnego jest dostatecznie obszernie omówione w odpowiedniej literaturze, tak że na tym miejscu wskażemy tylko na pewne szczegóły dotyczące napraw oraz prze-

chowywania narzędzi podczas montażu. Na gospodarkę narzędziową należy zwrócić szczególną uwagę, gdyż od niej w znacznym stopniu zależy jakość montażu i wydajność pracy.

Narzędzia powinny być bezwzględnie przechowywane w składzie narzędzi zaopatrzone w stalugi, półki i szafy. Daje to możliwość rozmieszczenia narzędzi w należytych porządku oraz zabezpieczenia ich przed obijaniem się i uszkodzeniami. Przegródki w stalugach i półkach nie powinny być głębokie, tak aby narzędzia można było przechowywać w jednym rzędzie lub, w pewnych przypadkach, w dwóch rzędach.

Precyzyjne przyrządy pomiarowe przechowuje się w specjalnej szafie znajdującej się w suchym pomieszczeniu. Przed rozpoczęciem montażu należy je poddać ewentualnej naprawie oraz sprawdzeniu w specjalnych punktach kontrolnych.

Narzędzia pneumatyczne przechowuje się w specjalnym pudle, napełnionym naftą. Dla umożliwienia przeprowadzania ich naprawy jakościowej, powinien się znajdować na składzie odpowiedni komplet części zapasowych.

W celu ścisłego przestrzegania przepisów dotyczących bezpieczeństwa pracy oraz w celu powiększenia jej wydajności, utrzymanie narzędzi w stanie zdającym do użytku należy powierzyć wykwalifikowanym ślusarzom narzędziowym. Zużyte części robocze narzędzi udarowych (młotków, młotów, przecinaków, punktaków itp.) należy zawczasu doprowadzić do porządku. Klucze do nakrętek, w miarę ich zużywania się i powiększania rozwarości szczęk, powinny być naprawione lub wycofane z użycia. Ponieważ klucze rozsuwalne, tzw. francuskie, szwedzkie itp., powodują uszkodzenia krawędzi nakrętek oraz są mniej bezpieczne i wydajne w pracy, więc należy ich używać tylko w przypadkach koniecznej potrzeby.

W turbinach wodnych spotyka się połączenia śrubowe, niedostępne dla zwykłych kluczy, a oprócz tego wymiary szeregu nakrętek są większe od rozwarości szczęk kluczy znormalizowanych. W podobnych przypadkach wytwórnia turbin sporządza i dostarcza klucze specjalne.

W praktyce, przy montażu turbin wodnych, połączenia śrubowe są bardzo rozpowszechnione. Przykręcanie jednak średnich, a zwłaszcza wielkich śrub jest czynnością bardzo pracochłonną. W celu zmechanizowania tych prac należy przy gwintach średnich wymiarów możliwie najszerszej stosować klucze pneumatyczne (tabl. 14). Klucze hydrauliczne, wprowadzane przez Leningradzkie Zakłady Mechaniczne imienia Stalina, zapewnią zmechanizowanie przykręcania wielkich śrub, w tej liczbie śrub połączeń kołnierzowych wałów.

Większość specjalnych urządzeń montażowych oraz narzędzi projektowanych i wykonywanych przez wytwórnie dostarczające turbiny wodne nadaje się tylko do turbiny danej konstrukcji. Urządzenia te zapewniają należyłą jakość robót montażowych, zmniejszają ich pracochłonność i skracają całość cyklu montażowego.

Tablica 18 zawiera wykaz urządzeń specjalnych, dostarczanych zazwyczaj przez wytwórnie turbin oraz urządzeń, w miarę potrzeby, wykonywanych na miejscu montażu.

Tablica 18

Urządzenia i przyrządy montażowe oraz narzędzia specjalne

Lp.	N a z w a	Numer rysunku	Oznaczenie na rysunku
1	Urządzenie do montażu konstrukcji stalowych spirali (spirali, wykładzin i in.)	47	4,5
		51	8,9
2	Urządzenie do montażu i poziomowania części fundamentowych	82	—
		78	25, 31, 49
		87	5
3	Deska z kluczami do prac remontowych i komplet kluczy (bez deski) do prac montażowych	34 i 35	—
4	Przyrząd do obciążania kołnierzy rurociągów spawanych	38	—
5	Przyrząd do ustawiania części pierścieniowych	36	—
6	Piaskownica	39	—
7	Przyrząd do rozłaczania kierownicy	87	13, 39, 37
8	„ „ centrowania kierownicy	87	—
9	„ „ nasadzania i zdejmowania dźwigni łopatek kierownicy	59	—
10	Urządzenie do wyciągania klinów łopatek kierowniczych	60	—
11	Klucz do obracania łopatek kierowniczych	58	—
12	Urządzenie do składania i montowania wirników	94	1, 6, 7
		96	5
		56	7
		95	54, 55
13	Urządzenie do naciągania półpierścieniowych uszczelnień labiryntowych wirnika	163	—
14	Urządzenie do centrowania wału turbiny	110 i 159	—
15	Urządzenie do podnoszenia zespołu wirującego turbiny przy zcentrowywaniu wałów i do pomiaru naprężeń śrub łączących	115 i 116	—
16	Urządzenie do obracania części wirujących turbozespołu przy sprawdzaniu wspólnej osi wałów	160	—
17	Urządzenie do hydraulicznych prób wirnika	95	58, 24, 25
18	Urządzenie do obracania kierownicy	61	—
19	Przyrząd do sprawdzania współśrodkowości wirników	95	59
20	Tłocznice do smaru (śrubowe) do napełniania towołnic	164	—
		151	—
21	Zespół tłocznicy do napełniania towołnic CPT—12E	—	patrz § 52
22	Reduktor do sprawdzania układu regulacyjnego i wyłącznika bezpiecznika odśrodkowego turbiny	146	—
23	Urządzenie do docierania zaworów	183	—
24	Cyrkiel nożowy do wycinania uszczeltek	184	—

Tablica 18 (cd.)

Lp.	N a z w a	Numer rysunku	Oznaczenie na rysunku
25	Urządzenie do ściągania sprzęgieł pomp	178	—
26	Wycinaki do wycinania otworów w uszczelkach	185	—
27	Rozwierlaki cylindryczne o średnicach powyżej 50 mm z łącznikami redukcyjnymi	—	—
28	Rozwierlaki stożkowe o średnicach powyżej 20 mm	—	—
29	Szczypce do zakładania gumowych uszczelek na łopatkę kierownicze	104	—
30	Srednicówki do sprawdzania walcowego kształtu części fundamentowych	84	—
31	Gwintowniki i narzynki do gwintów większych od M 52	—	—
32	Wytaczarka przenośna do rozszczepiania komory wirnika	169	—
33	Płytki wiertnicze do otworów na kliny łączące łopatkę kierownicze z dźwigniami	170	—
34	Urządzenie do montowania i obróbki tulei z drewna preparowanego (lignofoilu)	171, 172 i 173	—
35	Urządzenie do spłowywania odcinających krawędzi suwaków	180	—
36	Wyważarka do statycznego wyważania wirnika	191 i 192	—
37	Przenośna wytaczarka do wytaczania podczas montażu otworów w wieńcu wirnika i w kołnierzu wału turbiny	193	—
38	Klucze hydrauliczne do dużych śrub (do M170)	—	—
39	Urządzenie do mechanicznego oczyszczania części instalacji z powłok ochronnych	—	—

Ponieważ większość urządzeń jest nieodzownie potrzebna przy naprawach turbin, więc z tego powodu sprawa użytkowania i przechowywania tych urządzeń powinna być tak postawiona, aby po zakończeniu montażu można je było przekazać obsłudze eksploatacyjnej w stanie nadającym się do użytku.

Sposoby posługiwania się wyszczególnionymi urządzeniami i specjalnymi narzędziami podane będą dalej, w miarę objaśnienia montażu i naprawy. W tabl. 18 przytoczono numery rysunków objaśniających zastosowanie odnośnych urządzeń i narzędzi.

Ilość zestawów urządzeń zależy od typu, od ilości turbin oraz zakresu operacji produkcyjnych przeprowadzanych jednocześnie z montażem i określa się indywidualnie dla każdej instalacji turbiny.

Tablica 22 zawiera zestawienie potrzebnych specjalnych urządzeń dźwignicowo-transportowych.

§ 13. MATERIAŁY MONTAŻOWE

Materiały montażowe powinny być przechowywane w składzie materiałów i uzupełniane w miarę ich rozchodowania. Nazwy oraz ilości zasadniczych materiałów montażowych podano w tabl. 19.

Tablica 19

Wykaz zasadniczych i pomocniczych materiałów montażowych dla jednej turbiny

Lp.	N a z w a	Jednoski	Turbiny Francisca			Turbiny Kaplana				
			Średnica wirnika m oraz rodzaj spirali							
			2,1 lana	3,0 spa- wara	5,5 spa- wana	3,6 beto- nowa	5 beto- nowa	8 beto- nowa	9 beto- nowa	
I l o ś ć										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Szczeliwa i materiały na uszczelki i podkładki										
1	Blacha	kG	80	100	200	100	150	250	300	
2	Blacha miedziana 0,5 mm	"	8	10	14	10	12	15	15	
3	Guma w arkuszach 1,2 i 3 mm	"	10	10	15	10	15	20	20	
4	Azbest w arkuszach 3 i 5 mm	"	3	4	8	5	6	10	10	
5	Preszpan 0,5; 1 i 1,5 mm	"	10	15	30	15	20	40	50	
6	Tektura 1, 2 i 3 mm	"	5	8	15	8	15	20	25	
7	Papier rysunkowy	"	5	5	10	5	10	15	20	
8	Kalka techniczna	"	3	4	5	4	5	6	6	
9	Płótno żaglowe	m	50	75	150	80	100	200	250	
10	Skóra 5 x 100 mm	"	1	1	3	2	3	4	4	
11	Folia miedziana i stalowa 0,1 i 0,2 mm	kG	1	1	1,5	1	1,5	2	2	
12	Minia ołowiowa	"	50	60	70	50	60	70	80	
13	Biel cynkowa	"	20	30	40	30	40	60	70	
14	Olej	"	70	70	100	70	90	100	120	
15	Szelak	"	1,0	1,5	2	1,5	2	2,5	2,5	
16	Lakier bakelitowy	"	10	15	25	15	20	25	30	
17	Len czesany	"	2	3	5	3	4	6	6	
Materiały do zmywania i wycierania										
18	Nafta	l	400	600	1200	400	800	1300	1500	
19	Terpentyna	"	50	50	100	50	100	120	150	
20	Benzyna	"	30	40	70	30	50	80	80	
21	Spirytus denaturowany	"	5	5	8	5	7	10	10	
22	Surówka (płótno surowe)	m	25	30	50	30	40	60	60	
23	Gaza	"	25	25	40	25	40	60	70	
24	Szmaty czyste	kG	150	200	350	200	250	350	400	
25	Odpadki włókiennicze	"	350	450	900	400	600	1000	1000	
26	Płótno ścierne nr 0, 1, 2 i 3	mb	20	20	30	20	20	30	30	
Materiały do spawania elektrycznego i acytele-nowego										
27	Elektrody 3 - 34	kG	100	300	1000	200	300	500	500	
28	Elektrody 3 - 32	"	400	1900	5800	900	1300	2900	3300	
29	K a b d	"	100	250	400	150	200	250	300	
30	Tlen	but.	40	90	150	50	70	90	100	
S m a r y										
31	Olej maszynowy	kG	120	150	250	150	200	300	300	
32	Smar Tovotte'a	"	200	400	700	400	500	600	700	

Tablica 19 (cd.)

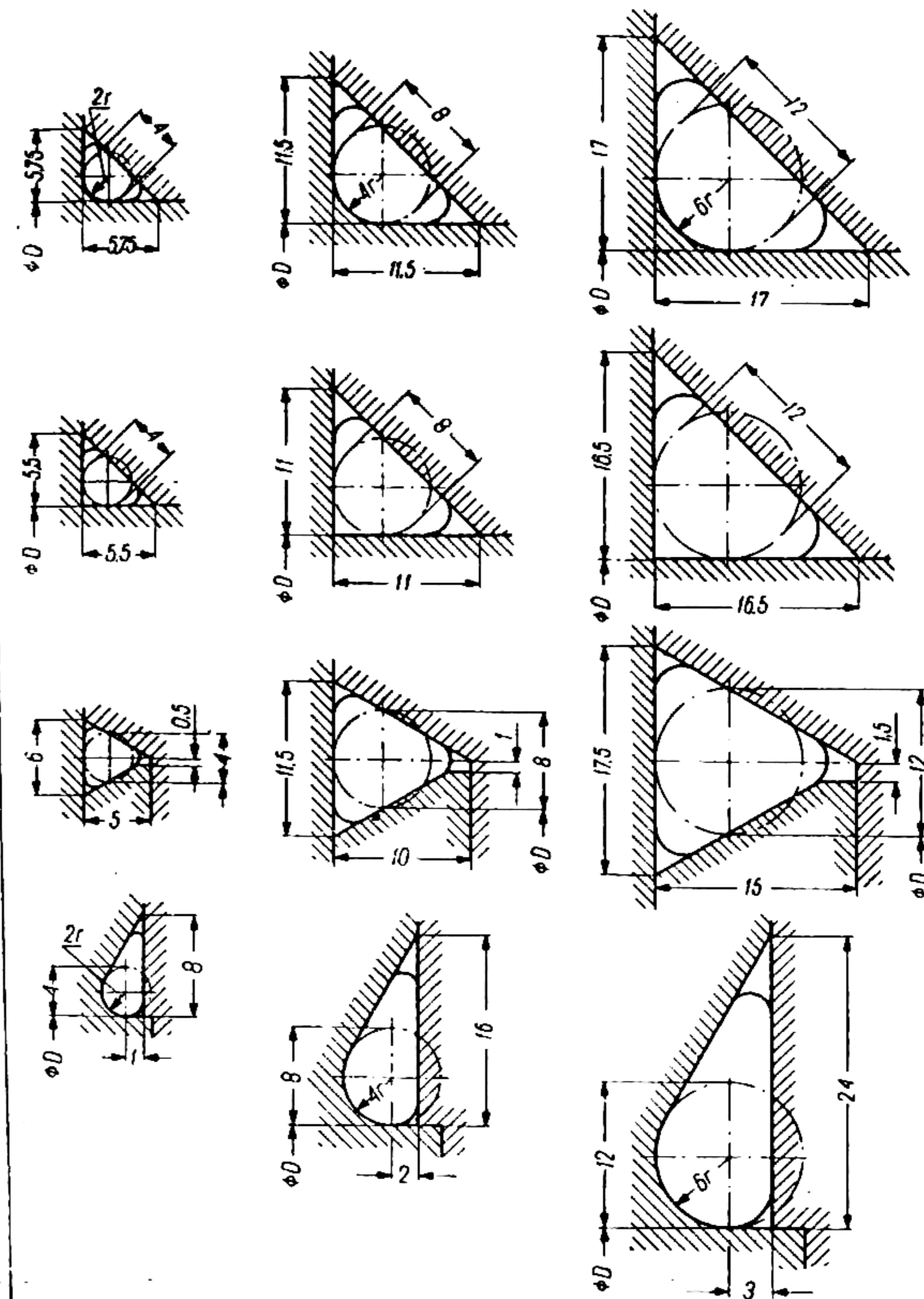
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
33	Wazelina techniczna	kG	20	25	30	25	30	40	50
34	Maść ręciana	"	0,5	1	2	1	1	2	2
35	Łój wołowy (nie solony)	"	6	10	15	6	10	15	20
Materiały różne									
36	Drut stalowy ϕ 0,3 mm	kG	1,5	2	3	2	2	3	4
37	Lut miedziany	"	0,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,8	1,0
38	Cyna	"	2	3	4	3	4	5	5
39	Boraks	"	1	2	3	2	3	4	5
40	Sa'miak w kawałkach	"	1	1	2	1	1	2	2
41	Ołów w blokach	"	50	60	80	60	70	100	100
42	Klej gumowy	"	1	1	2	1	2	3	3
43	Szmergiel w proszku	"	1,5	2	3	2	2	3	4
44	Szkło w proszku	"	0,5	1	2	1	2	2,5	3
45	File techniczny	"	20	30	50	30	50	60	70
46	Dykta 3 i 5 mm	ark.	20	40	50	30	40	50	50
47	Kcaks	T	1	1	2	1	2	3	3
48	Zarówki elektryczne 12 V	szt.	50	75	90	60	70	80	90
49	Oprawki przenośne do żarówek	"	8	12	15	10	12	15	15

Oprócz materiałów tam wymienionych należy się zaopatrzyć w materiały do budowy tymczasowych rusztowań, pomostów, podłóg itp. Materiały te oraz różne gatunki stali potrzebnej na podkładki oraz do drobnych robót nie zostały włączone do tablicy, ponieważ używane są w budownictwie i ich udział w montażu jest stosunkowo niewielki.

Szczeliwa. Szczeliwa wymienione w tablicy 19 pokrywają zapotrzebowanie wszystkich rodzajów połączeń, stosowanych w budowie turbin wodnych a wymagających uszczelnienia względem wody, oleju lub powietrza.

Do uszczelnienia połączeń pracujących w wodzie stosuje się przy niskim ciśnieniu (do 5 kG/cm²) uszczelki gumowe, tekturowe, preszpanowe, zaś przy ciśnieniu wysokim — preszpanowe, klingerytowe oraz — w poszczególnych przypadkach — z płótna żaglowego (pod pokrywą turbiny i pod kadłubem łożyska gumowego oraz pod kadłubem z drewna preparowanego: lignofoilu). W przypadku oleju znajdującego się pod małym ciśnieniem stosowany jest preszpan, zaś przy ciśnieniu wysokim — oprócz preszpanu — papier rysunkowy oraz kalka techniczna (ostatnia na skrobanych powierzchniach połączeń).

W przypadku powietrza o niskim ciśnieniu stosuje się gumę, preszpan, zaś przy ciśnieniu wysokim — preszpan i blachę miedzianą. Uszczelki wykonane z preszpanu, tektury, klingerytu oraz z płótna żaglowego, nasycane, w zależności od ich przeznaczenia, minią, bielą cynkową, bielą ołowiową, lakierem bakelitowym, szlakiem, zaś papier rysunkowy oraz kalkę techniczną — olejem lub olejem mineralnym.



Rys. 20. Uszczelki gumowe o przekroju okrągłym i wymiary odpowiednich rowków. Stosunek powierzchni przekroju uszczelki do powierzchni przekroju rowków = 1 : 1,2. Wydłużenie uszczelki = 1% jej wewnętrznej średnicy D

W tablicy 30 wymieniono szczeliwa stosowane w połączeniach rur.

W budownictwie turbin wodnych oprócz wyszczególnionych tutaj szczeliw stosowane są szeroko sznury gumowe. Sznurowy te przy dowolnych ciśnieniach służą do sporządzania uszczelnień dla wody lub oleju. W ostatnim przypadku należy jednak używać gumy olejoodpornej. Sznurowy gumowe układa się w rowkach o odpowiednich wymiarach i kształtach, wytoczonych w uszczelnianych częściach. Średnica sznura gumowego powinna ściśle odpowiadać wymiarom rowka, gdyż w przeciwnym przypadku uszczelnienie będzie złej jakości. Na rys. 20 pokazano rowki o różnych wymiarach oraz odpowiednie średnice sznura gumowego. O ile średnica sznura jest większa od przepisanej, to sznur nie może zmieścić się w rowku i nie dozwala na szczelne przyleganie kołnierzy, zaś przy mniejszej średnicy — nie można osiągnąć oczekiwanej szczelności połączenia.

Rozdział III

OPERACJE MONTAŻOWO-PRODUKCYJNE O CHARAKTERZE OGÓLNYM

§ 14. USUWANIE POWŁOK OCHRONNYCH ORAZ KONTROLA ELEMENTÓW INSTALACJI

Elementy instalacji przed ich ustawieniem na miejscu, tj. przed ostatecznym zmontowaniem, oczyszcza się z powłok ochronnych, którymi zostały pokryte w celu ich konserwacji. Zazwyczaj powłoki zmywa się naftą.

W celu usunięcia powłoki ochronnej z drobnych części pokrytych lakierem asfaltowym, układa się je w korytkach wykonanych z blachy żelaznej i zalewa naftą, po czym przy pomocy szmat ściera się powłokę ochronną i wreszcie wyciera do sucha. Duże części pokryte lakierem asfaltowym oczyszcza się przy pomocy szmat zwilżonych naftą, acetonem, lub terpentyną; oczyszczanie naftą wymaga więcej czasu.

Do zdejmowania powłok ochronnych z dokładnie obrobionych powierzchni nie wolno używać papieru szmerglowego lub skrobaków, ponieważ powierzchnie te mogą przy tym ulec uszkodzeniu. Powłoki, które trudno jest zmyć naftą, można usunąć przy pomocy wiórków miedzianych lub aluminiowych, gdyż wiórki te nie pozostawiają zadraśnień i rys. W celu zmechanizowania oczyszczania możemy stosować polerki zaopatrzone w tarcze wykonane z materiału, który nie rysuje powierzchni oczyszczanych części.

Po usunięciu powłok ochronnych z powierzchni dokładnie obrobionych (czopów, pasowanych śrub, otworów itp.) należy bezwzględnie usunąć ujawnione uszkodzenia.

Części zakonserwowane smarem armatnim oczyszcza się z powłok przy pomocy nafty lub terpentyny.

Pożądane jest również oczyszczenie wewnętrznych części mechanizmów układu regulacyjnego z pokrywającej je warstwy specjalnej wazeliny, ponieważ smar ten może zatkać otwory w iglicach suwaków lub tłoki katarakty, a tym samym zakłócić pracę układu.

Części pełne (np. iglice, suwaki, grzybki zaworów) oczyszcza się w nafcie lub benzynie, a następnie wyciera suchymi, nie włóchatymi szmatkami.

Części wewnątrz puste (np. kadłuby suwaków, zaworów, zasuw itp.) ze względu na bezpieczeństwo myje się tylko w nafcie, ponieważ benzyna pozostająca wewnątrz tych części, w miejscach niedostępnych, może w czasie pracy gromadzić się w zbiorniku ciśnieniowym układu olejowego w postaci par, których temperatura zapłonu jest znacznie niższa od temperatury zapłonu par nafty.

Mechanizmy przechowywane w składzie, przed oddaniem ich do montażu, rozbiera się i kontroluje. W tablicy 20 wyszczególniono części i mechanizmy oraz zakres prac kontrolnych.

Tablica 20

Kontrola części turbozespołu przed ich zmontowaniem, a po przechowywaniu w składach

Nazwa zespołu lub części	Zakres prac kontrolnych
1. Części fundamentowe: komora wirnika, dolny pierścień kierownicy, górny pierścień kierownicy, pierścień fundamentowy, stojan	Usunięcie powłoki ochronnej. Oględziny zewnętrzne. Zarównanie skaz na powierzchniach styku i na powierzchniach ciernych. Sprawdzenie za pomocą gwintowników i narzynek otworów gwintowanych oraz śrub i nakrętek. Kontrola znakowania
2. Kierownica: łopatki kierownicze, łożyska, dźwignie, strzemiona, pierścień regulacyjny oraz jego łożo, pokrywa turbiny	Jak wyżej
3. Wirnik turbiny Francisa	Sprawdzenie, zarównanie skaz, rys oraz usunięcie nadmiaru materiału wyciśniętego z formy podczas odlewania. Sprawdzenie kołnierza wieńca górnego i otworów na śruby pasowane. Oględziny łopatek wirnika oraz uszczelnień górnego i dolnego wieńca
4. Wirnik turbiny Peltona	Sprawdzenie otworu w płaszczyźnie wirnika, rowka na klin, klina, zarównanie skaz oględziny czarek
5. Wirnik turbiny Kaplana	Usunięcie powłoki ochronnej. Oględziny zewnętrzne części oraz - na powierzchniach obrobionych - usunięcie skaz, rys i nadmiaru materiału wyciśniętego podczas odlewania. Staranny przegląd uszczelnień. Sprawdzenie gwintów przy pomocy śrub i nakrętek lub gwintowników i narzynek
6. Wały turbiny	Usunięcie powłoki ochronnej. Oględziny zewnętrzne, sprawdzenie kołnierzy, czopa szynowego, otworów na śruby, zarównanie skaz i rys
7. Śruby połączeń kołnierzo- wych wałów	Usunięcie powłoki ochronnej. Usunięcie skaz, wgnieceń i rys. Sprawdzenie gwintów przy pomocy nakrętek. Sprawdzenie znakowania
8. Łożyska poprzeczne (ustalające) turbiny: łożysko z panwiami gumowymi, łożysko z panwiami z drewna preparowanego (lignofoil'u) oraz łożysko	Usunięcie powłoki ochronnej. Sprawdzenie złączy, pasowań kadłuba i tulei. Usunięcie skaz i rys na powierzchniach styku i na powierzchniach ciernych. Sprawdzenie otworów gwintowanych oraz gwintów, śrub i nakrętek przy pomocy gwintowników oraz nakrętek lub narzynek. Nasmarowanie panwi gumowych gliceryną

Tablica 20 (cd.)

Nazwa zespołu lub części	Zakres prac kontrolnych
z panwiami wylanymi stopem łożyskowym	albo olejem rycynowym, panwi z drewna preparowanego - smarem Tovoite'a oraz panwi wylanych stopem łożyskowym - olejem tu binowym
9. Serwomotory (siłowniki) kierownicy	Demontaż, oględziny tłoka, cylindra, kanałów olejowych, pierścieni uszczelniających, tłoka zatrzaśku, blokującego suwaka zatrzaśku, blokującego suwaka serwomotoru (siłownika). Sprawdzenie gwintów przy pomocy gwintowników i narzynek, nasmarowanie wszystkich części olejem turbinowym. Złożenie siłowników z powrotem oraz, w miarę potrzeby, wymiana uszczeltek
10. Zespół pompowy odwadniająco samozasysający i zespół pompowy olejowy przeciekowy	Demontaż, oględziny i oczyszczenie części, sprawdzenie gwintów, nasmarowanie olejem, złożenie, sprawdzenie czy wałki pomp przy dołączonym silniku dają się łatwo obracać Sprawdzenie szczelności piywaków i działania wyłączników
11. Wyłącznik ciśnieniowy	Demontaż. Oględziny iglicy, tłoka i kadłuba. Sprawdzenie stanu siatki filtra. Sprawdzenie szczelności przylegania śruby zamykającej. Nasmarowanie olejem i złożenie
12. Pompy olejowe śrubowe wraz z osprzętem (zaworami: przelotowymi, bezpieczeństwa i zwrotnymi)	Demontaż, oględziny poszczególnych części, sprawdzenie szczelności zaworów, oczyszczenie zaworów. Sprawdzenie gwintów, nasmarowanie olejem i złożenie z powrotem, w miarę potrzeby wymiana uszczeltek
13. Pompa olejowo - powietrzna	Demontaż, oględziny tłoczka iglicy (suwaka), kadłuba i sprawdzenie szczelności zaworów. Nasmarowanie olejem i zmontowanie z powrotem
14. Filtry podwójne, krany probiercze, zawory	Demontaż, oględziny poszczególnych części. Sprawdzenie czy siatki filtrów są całe oraz czy zawory są szczelne. Nasmarowanie olejem i zmontowanie z powrotem; w miarę potrzeby wymiana uszczeltek
15. Ciśnieniowy zbiornik oleju układu olejowego	Usunięcie powłoki ochronnej. Sprawdzenie skaz i wgnieceń. Staranne oczyszczenie powierzchni wewnętrznej. Sprawdzenie gwintów. Próba hydrauliczna na ciśnienie
16. Bezciśnieniowy zlewcy zbiornik oleju	Usunięcie powłoki ochronnej. Sprawdzenie kołnierzy. Staranne oczyszczenie powierzchni wewnętrznej. Sprawdzenie gwintów
17. Skrzynka regulatora	Usunięcie powłoki ochronnej, z powierzchni wszystkich mechanizmów znajdujących się wewnątrz skrzynki. Demontaż, oczyszczenie kanałów, sprawdzenie stanu części, nasmarowanie, montaż i ustawienie na miejscu następujących mechanizmów: siłownika pomocniczego, suwaków sterowania ręcznego i automatycznego, suwaka blokującego, suwaka awaryjnego, suwaka sterowania zdalnego; katarakt

Nazwa zespołu lub części	Zakres prac kontrolnych
18. Skrzynka kombinatora	Usunięcie powłoki ochronnej z powierzchni wszystkich mechanizmów znajdujących się wewnątrz skrzynki. Demontaż, oczyszczenie kanałów, sprawdzenie stanu części, nasmarowanie, montaż i ustawienie na miejscu pomocniczego siłownika oraz główek suwaka
19. Zbiornik oleju do regulacji wirnika	Usunięcie powłoki ochronnej, oględziny wewnętrzne, oczyszczenie kanałów, sprawdzenie ruchu drąga kombinatora w tulejkach odbieralnika

§ 15. SPRZĘT I ROBOTY UDŹWIGOWE

Sprzęt udźwigowy (takielazowy). Czynności podnoszenia i transportu przedmiotów stanowią jedno z głównych zadań w całokształcie robót montażowych. Nadzwyczajna różnorodność kształtów, gabarytów oraz ciężarów montowanych części wymaga stosowania rozmaitego sprzętu udźwigowego: lin konopnych, lin stalowych, krążków, wielokrążków, dźwigników, wciągników, wciągarek oraz normalnych i specjalnych urządzeń chwytanych (zawiesi).

W tablicy 21 podano nazwy oraz ilości poszczególnych elementów sprzętu udźwigowego, używanych do montażu różnych typów turbin. Przy operacjach podnoszenia i transportu oprócz tego sprzętu niezbędne są urządzenia specjalne, które zazwyczaj projektuje i wykonuje wytwórnia dostarczająca turbiny. W tabl. 22 wyszczególniono te urządzenia, podano ich przeznaczenie oraz wskazano odpowiednie rysunki objaśniające.

Liny przesyłane są na miejscu montażu w zwojach. Tnie się je na odpowiednie odcinki i zakańcza różnego rodzaju pętlami lub węzłami.

Przy montażu używa się najczęściej lin zawiązanych na obu końcach w wielkie pętle lub lin z pętlą splecioną w miejscu połączenia końca liny z liną. W celu usprawnienia pracy należy zaopatrzyć się co najmniej w dwie liny o jednakowej średnicy i długości. Liny powinny być w ten sposób wykonane, aby można je było łatwo nakładać na hak oraz zdejmować z niego i dźwiganego przedmiotu (nosiwa).

Bardzo ważną sprawą jest prawidłowe umocowanie liny na przedmiocie, gdyż od tego w znacznym stopniu zależy powodzenie i bezpieczeństwo robót udźwigowych. W tabl. 23, 24 i 25 podano węzły i pętle używane najczęściej w praktyce montażowej oraz sposoby zawieszenia lin na hakach.

Główne zasady, których należy przestrzegać przy umocowywaniu lin do podnoszonych przedmiotów, są następujące:

1) Przed użyciem lina powinna być poddana starannym oględzinom. Nie wolno posługiwać się linami, które w jakimkolwiek przekroju mają więcej

Sprzęt udźwigowy do montażu turbin wodnych (dane orientacyjne)

Lp.	Nazwa	Jednostki	Turbiny Fran-cisa			Turbiny Kaplana			
			Średnica wirnika (w metrach)						
			2,1	2,95	5,5	3,6	5	8	9
			Największy ciężar montażowy (w Ton-nach)						
			49	35	130	32	92	304	328
			Ilość						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liny konopne z pętlami splecionymi:									
1	Ø 12,7 mm, długość 6 m	szt.	4	4	6	4	6	6	6
2	„ 15,9 „ „ 8 „	„	4	4	6	4	5	6	6
3	„ 19,1 „ „ 10 „	„	2	2	4	2	4	4	4
4	„ 23,9 „ „ 12 „	„	2	2	4	2	4	4	4
5	Liny konopne w zwojach: Ø 19,1; 23,9 mm	m	80	100	150	80	120	180	200
6	Liny konopne w zwojach: Ø 28,7mm Liny stalowe z dwoma pętlami (długość lin sprawdzona):	„	—	—	150	—	—	200	200
7	Ø 8,8 mm, długość 5 m	szt.	—	3	5	3	5	6	6
8	„ 11 „ „ 5 „	„	4	4	6	4	6	8	8
9	„ 13 „ „ 16 „	„	2	2	4	2	2	4	4
10	„ 15,5 „ „ 12 „	„	4	4	6	4	6	8	8
11	„ 15,5 „ „ 20 „	„	—	—	4	—	2	4	6
12	„ 19,5 „ „ 16 „	„	4	4	6	4	6	8	8
13	„ 19,5 „ „ 24 „	„	—	—	4	—	—	4	4
14	„ 24 „ „ 16 „	„	4	4	6	4	4	4	6
15	„ 24 „ „ 30 „	„	—	—	4	—	4	4	4
16	„ 28 „ „ 20 „	„	2	2	4	2	4	6	6
17	„ 32,5 „ „ 20 „	„	—	—	4	—	4	6	6
18	„ 43,5 „ „ 30 „	„	—	—	4	—	—	4	4
19	„ 47,5 „ „ 40 „	„	—	—	4	—	—	4	4
20	„ 52 „ „ 20 „	„	—	—	4	—	—	4	4
21	Liny stalowe: Ø 19,5; 24 ; 37 mm	m	80	100	150	100	130	180	200
22	„ 45,5 mm	„	—	70	100	—	80	130	150
23	Zaciski jednostronne do lin Ø 19,5; 24 i 28	szt.	4	4	6	4	4	6	6
24	Zaciski dwustronne do lin Ø 15,5; 19,5; 24; 28 i 32,5 mm	„	4	4	8	4	6	8	10
25	Maty konopne na podkładki pod liny	„	10	10	15	10	15	20	20
26	Sruby z uchem: od M8 do M100, w zależności od konstrukcji turbiny	szt.	8	8	8	8	8	8	8
27	Zwory (do podnoszenia przedmiotów)	„	zależnie od potrzeby						
28	Haki dwurożne	„	„ „ „						
29	Wełniane ślimakowe: o udźwigu 1,2 i 3 T	„	2	2	2	2	2	2	2

Udostepniono dzięki www.mew.pl - Male Elektrownie Wodne

Tablica 21 (cd.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	O udźwigu 5 T	nt	—	—	2	—	—	2	2
31	Dźwigniki zębalkowe: o udźwigu 1 i 3 T	..	2	2	2	2	2	2	2
32	O udźwigu 5 i 7 T	..	—	—	2	—	2	2	2
33	Dźwigniki śrubowe proste: o udźwigu 2 i 5 T	..	4	4	6	4	4	6	6
34	„ „ 10 i 15 T	..	—	—	4	—	4	4	4
35	Dźwigniki śrubowe zespolone: o udźwigu 0,5; 2 i 3 T	..	4	4	6	4	4	6	6
36	„ „ 7 T	..	—	—	4	—	4	4	4
37	Wciągarki elektryczne: o udźwigu 2 i 5 T	..	2	2	2	2	2	2	2
38	„ „ 10 T	..	—	—	2	—	—	2	2
39	Krażki	..	zależnie od potrzeby						

Tablica 22

Specjalne urządzenie podnoszące — transportowe do montażu turbin wodnych

Lp.	Nazwa	Zastosowanie	Rysunek	Pozycja na rysunku
1	2	3	4	5
1	Chomąta spawane	a. Do szybkiego umocowania liny do członów wykładziny komory turbinowej, członów spirali zasilających metalowych i dźwigni łopatek kierowniczych b. Do umocowywania krążków i wielokrążków c. Do ściągania lin d. Do zmiany kierunku lin	—	—
2	Zwory	Do przenoszenia członów dolnego pierścienia kierownicy	24	—
3	Ucha zawiasowe	a. Do umocowywania liny do poszczególnych członów części fundamentowych b. Do umocowywania liny do łopatek wirników turbin Kaplana	24	—
4	Zwornice (chwytaki z uchem) lub z pierścieniem	a. Do umocowywania liny do łopatek wirników turbin Kaplana b. Do umocowywania liny do materiałów w arkuszach	96	1
5	Przeciwcieżary	a. Do montowania czopów łopatek wirników turbin Kaplana b. Do zakładania sworzni do dźwigni wirników turbin Kaplana	94	3

Tablica 22 (cd.)

1	2	3	4	5
6	Urządzenia do podnoszenia wirnika	a. Do transportowania wirników w stanie zmontowanym z placu montażowego do komory wirnika	57 96	— 4
7	Urządzenia do podnoszenia tłoczyska i drąga wirnika turbiny Kaplana	Do transportowania i odwracania tłoczyska i drąga	96	3
8	Ucha	a. Do podnoszenia łopatek wirnika turbin Kaplana b. Do podnoszenia i odwracania piast wirników turbin Kaplana c. Do podnoszenia i odwracania wałów turbin d. Do transportowania i ustawiania na miejscu siłowników kierownicy	96 29 31 32	2 — — —
9	Sruby z uchem z centralnym otworem do przepuszczania powie rza i smaru Tovotte'a	Do ustawiania łopatek kierowniczych	—	—
10	Sruby z uchem, wygięte	Do umocowywania lin na złączach	—	—
11	Krażki specjalne	a. Do ustawiania łopatek kierowniczych b. Do ustawienia i wyjmowania panwi łożyska, miski łożyska i in.	33	—

niż 10% zerwanych drutów lub splotek. Dopuszczalne obciążenie (tablica 26 i 27) lin używanych należy zmniejszyć o 20 do 40%, zależnie od ich stanu.


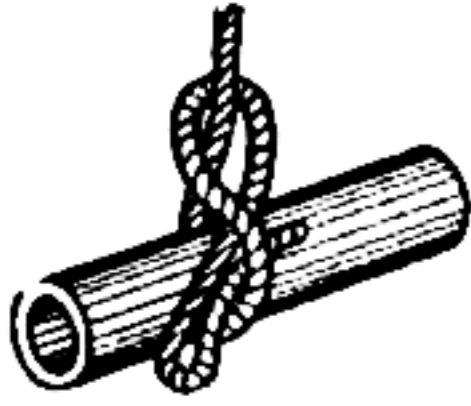
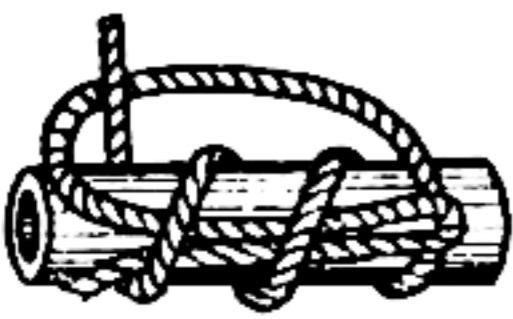
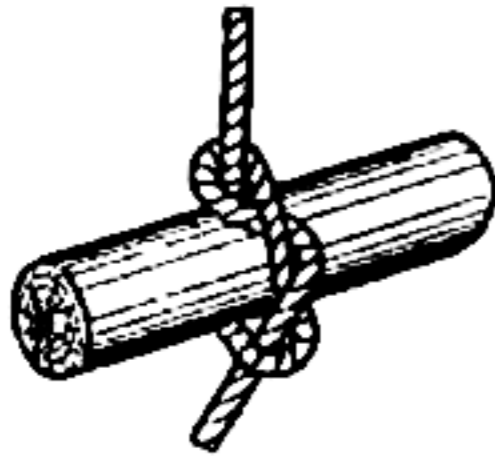

2) Lina powinna być umocowana do zupełnie pewnych pod względem wytrzymałości części podnoszonego przedmiotu. O ile stosuje się więcej lin, to punkt przyłożenia wypadkowej sił naprężających każdą linę powinien znajdować się na prostej pionowej, przechodzącej przez środek ciężkości przedmiotu, przy czym siły te powinny być jednakowe w każdej gałęzi liny. W praktyce sprawdzamy to naciskając ręką środek każdej gałęzi.

3) Przy olinowywaniu przedmiotu należy bezwzględnie uważać, aby lina nie stykała się z ostrymi krawędziami, gdyż w przeciwnym przypadku niszczy się i może ulec przecięciu. Aby temu zapobiec, umieszczamy podkładki pomiędzy linami i tymi ostrymi krawędziami przedmiotu.

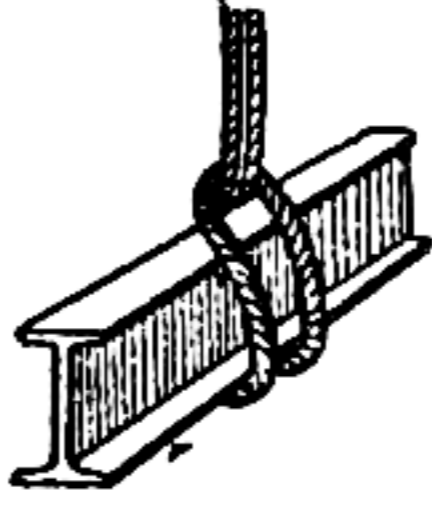
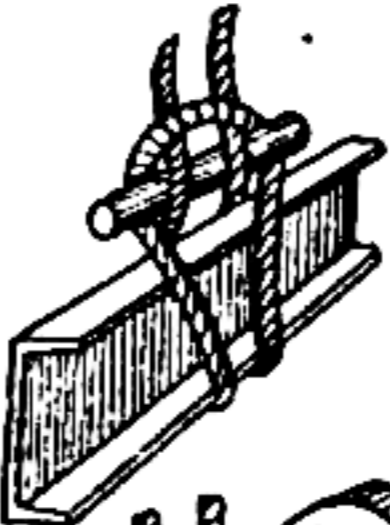
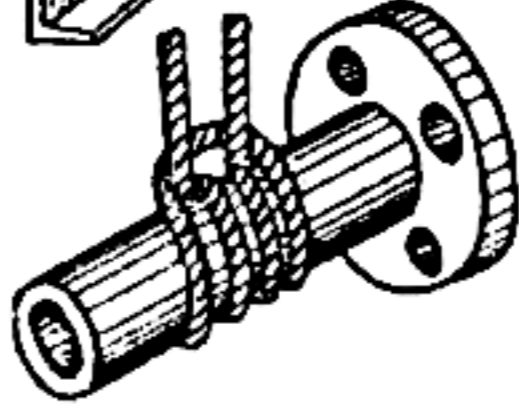

4) Należy zwrócić uwagę, aby liny obejmowały ciężar swobodnie, tj. aby poszczególne ich gałęzie nie były skrócone i nie posiadały węzłów.

5) Jeżeli liny podwieszane są na hakach dwurożnych, to oba rogi haka powinny być jednakowo obciążone. W celu sprawdzenia tego postępujemy




Węzły stosowane przy montażu

Lp.	Nazwa	Rysunek	Zastosowanie przy montażu	Wymagania, zalety i wady
1	Węzeł tkacki		Ogólnie stosowany przy robotach montażowych	Dobrze trzyma i łatwo można go rozwiązać
2	Węzeł zwykły z podłożonym końcem		Do owijania długich rur, kłocy, okrągłych prętów	1. Dobrze trzyma o ile jest silnie zaciągnięty. 2. Dzięki temu, że koniec liny jest podłożony daje się łatwo rozwiązać.
3	Węzeł morski z podłożonym końcem		Do przywiązywania liny do podnoszonych przedmiotów	1. Mocno się zaciąga. 2. Łatwo daje się rozwiązać. 3. Nadaje się do podnoszenia wielkich ciężarów.
4	Zwykły węzeł ciesielski		Do przywiązywania liny do budulca drewnianego	1. Dobrze trzyma. 2. Nadaje się szczególnie do ciężarów o przekrojach okrągłych.
5	Węzeł ciesielski z końcem półpodłożonym		Do przywiązywania liny do drewna budulcowego	1. Dobrze trzyma 2. Nadaje się do podnoszenia i opuszczania długich przedmiotów w pozycji pionowej.

Pętle stosowane przy montażu


Lp.	Nazwa	Rysunek	Zastosowanie przy montażu	Wymagania, zalety i wady
1	2	3	4	5
1	Martwa pętla		1. Do opasywania podnoszonych przedmiotów 2. Przy pomocy dwóch pętli można podnosić materiał prętowy	1. Nadaje się w zupełności do opasywania przedmiotów 2. Nie należy go stosować do zawieszania liny na haku
2	Martwa pętla z kołkiem			1. Jak wyżej 2. Jak wyżej 3. Opasywanie przedmiotu jest łatwiejsze niż przy stosowaniu martwej pętli 4. Trzyma tylko o ile lina jest naprężona
3	Podwójna martwa pętla		1. Do opasywania podnoszonych ciężarów 2. Przy pomocy dwóch pętli można podnosić materiał prętowy	1. Jak wyżej 2. Jak wyżej 3. Pewniejsza przy podnoszeniu przedmiotów o przekroju okrągłym
4	Węzeł cumowy		Stosuje się do zaciągania liny przy podnoszeniu i opuszczaniu ciężarów na płaszczyźnie nachylonej (równi pochytej)	1. Dobrze trzyma 2. Zaciąga się sam 3. Łatwo daje się rozwiązać 4. Przy zaciąganiu tego węzła należy jak najwięcej wypuścić koniec liny i przy jej naciąganiu przytrzymać go, gdyż w przeciwnym przypadku węzeł się rozwiąże

Tablica 24 (cd.)






1	2	3	4	5
5	Pętla morska (węzeł tarczanski skrajny)		1. Jak wyżej 2. Jak wyżej	1. Jak wyżej 2. Jak wyżej 3. Jak wyżej
6	Pętla zwykła (spliciona)		Stosowana szeroko przy montażu. Pętlę tę sporządza się na jednym lub na obu końcach liny	1. Koniec liny wplata się 3 do 4 razy pod główny skręt liny 2. Dobrze trzyma
7	Połączenie liny z pętlą zwykłą		Do związywania lin ze sobą	1. Dobrze trzyma 2. Łatwo można ją zawiązać 3. Łatwo daje się rozwiązać

Tablica 25

Sposoby zawieszania lin na hakach i uchach

Lp.	Nazwa	Rysunek	Zastosowanie przy montażu	Wymagania, zalety i wady
1	2	3	4	5
1	Pętla zwykła do haka jednorożnego		Do zawieszania liny (zaopatrzonej w pętlę zwykłą) na haku jednorożnym	1. Skraca do minimum czas potrzebny do zawieszania liny 2. Wymaga zwrócenia uwagi na początku podnoszenia ciężaru, gdyż może się ześliznąć

Tablica 25 (cd.)

1	2	3	4	5
2	Pętla do haka jednorożnego I		Powszechnie stosowana do zawieszania liny (nie zaopatrzonej w pętlę zwykłą) na haku jednorożnym	1. Bardzo prosta; daje się szybko wykonać 2. Wymaga zwrócenia uwagi na początku podnoszenia ciężaru, gdyż może się ześliznąć
3	Pętla do haka jednorożnego II		Jak wyżej	1. Jak wyżej 2. Jak wyżej
4	Pętla do haka dwurożnego I		Do zawieszania liny (zaopatrzonej w pętlę zwykłą) na haku dwurożnym	Można używać o ile pętla jest duża
5	Pętla do haka dwurożnego II		Do zawiązania liny (nie zaopatrzonej w pętlę zwykłą) na haku dwurożnym	1. Można ją łatwo i szybko założyć 2. Dobrze trzyma
6	Pętla do ucha		Do umocowania do ucha jednego końca liny	1. Sporządzenie tej pętli jest trochę bardziej skomplikowane, gdyż koniec liny należy obwiązać 2. Dobrze trzyma

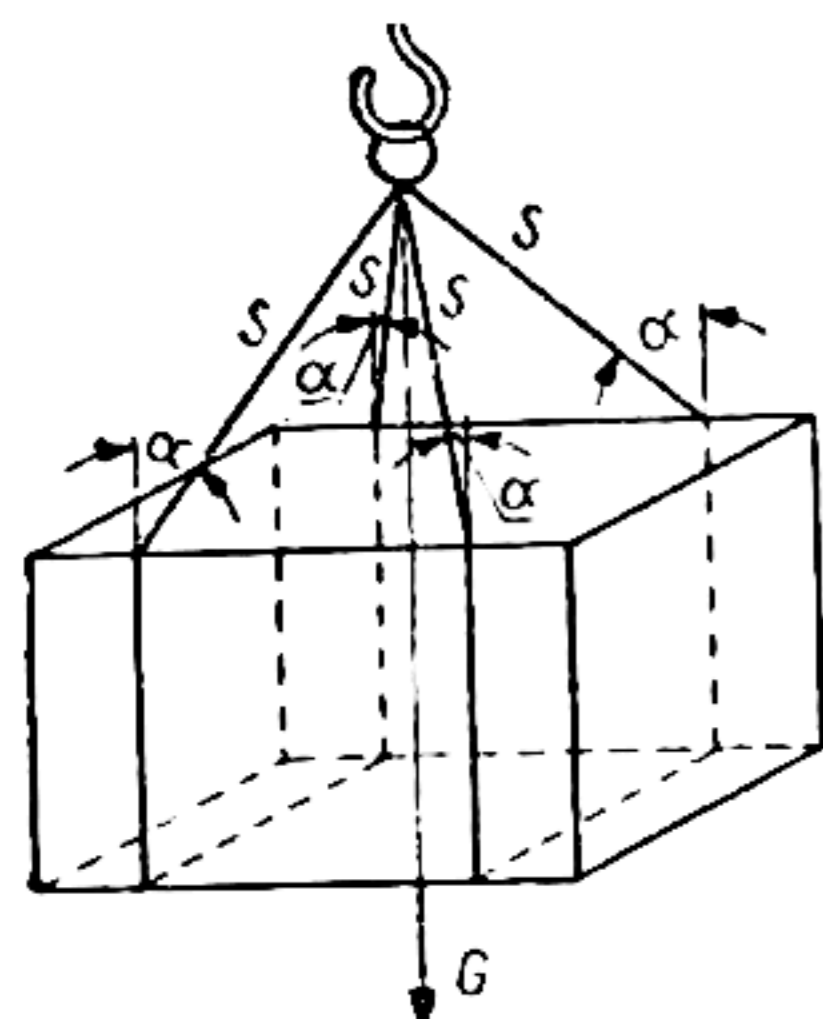
Tablica 26

Udźwig lin konopnych skręcanych (GOST 483-41)
przy współczynniku bezpieczeństwa = 10

Średnica liny mm	Udźwig kG								
	Przy ciężarze zawieszonym na jednym końcu liny	Przy ciężarze zawieszonym na dwóch końcach liny				Przy ciężarze zawieszonym na czterech końcach dwóch lin (rys. 21)			
		Kąt nachylenia liny względem pionu α							
		0°	30°	45°	60°	0°	30°	45°	60°
9,6	50	100	87	70	50	200	175	140	100
11,1	60	120	105	85	60	240	210	170	120
12,7	77	155	135	110	77	310	270	220	155
14,3	94	190	165	134	94	380	330	270	190
15,9	112	225	195	160	112	450	390	320	225
19,1	157	315	275	220	157	630	550	440	315
20,7	175	350	305	245	175	700	610	490	350
23,9	240	480	415	340	240	960	830	680	480
28,7	345	690	600	485	345	1370	1200	970	690
31,8	400	800	700	565	400	1600	1400	1130	800
36,6	510	1020	890	720	510	2050	1780	1440	1020
39,8	580	1160	1010	820	580	2330	2020	1640	1160
47,8	840	1680	1460	1180	840	3330	2920	2360	1680
55,7	1075	2150	1870	1510	1075	4300	3740	3020	2150
63,7	1380	2760	2400	1940	1380	5520	4800	3880	2760

zazwyczaj w ten sposób, że ciężar, spoczywający początkowo na podłodze montażowej, zostaje nieco uniesiony i w razie jego złego podwieszenia, opuszcza się go w celu dokonania odpowiedniej poprawki.

Jeżeli ciężar G podwieszony jest na haku przy pomocy n gałęzi (końców) lin, z których każda pochylona jest pod kątem α względem pionu (rys. 21), to siłę S, naprężającą każdą linę (naprężenie liny), możemy obliczyć ze wzoru:



Rys. 21. Szkic wyjaśniający obliczanie naprężenia S w cięgnie

$$S = \frac{1}{\cos \alpha} \frac{G}{n} = k \frac{G}{n}$$

przy czym dla α = 0°; 15°; 30°; 45°; 60°, współczynnik k wynosi odpowiednio 1,0; 1,03; 1,15; 1,42; 2,0. Stąd wynika, że przy powiększaniu kąta α rośnie naprężenie lin. Jeżeli naprężenie liny, odpowiednio do jej grubości, ma nie przekraczać danej wartości S_{max}, to największy ciężar, który może być podniesiony, obliczamy ze wzoru

$$G_{max} \leq n \frac{S_{max}}{k}$$

Tablica 27

Udźwig lin stalowych (GOST 3071-46) przy wytrzymałości doraźnej drutów na rozwanie K_r = 160 kG/mm² i współczynniku bezpieczeństwa = 10 1)

Średnica liny mm	Udźwig kG									
	Przy ciężarze zawieszonym na jednym końcu liny	Przy ciężarze zawieszonym na dwóch końcach liny				Przy ciężarze zawieszonym na czterech końcach dwóch lin (rys. 21)				
		Kąt nachylenia liny względem pionu α								
		0°	30°	45°	60°	0°	30°	45°	60°	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
8,8	370	740	540	520	370	1480	1250	1050	740	
11	580	1150	1000	820	580	2300	2000	1650	1150	
13	820	1650	1400	1150	800	3300	2800	2300	1600	
15,5	1110	2200	1950	1600	1100	4500	3900	3200	2200	
17,5	1450	2900	2500	2000	1400	5800	5000	4000	2900	
19,5	1850	3700	3200	2600	1800	7400	6400	5200	3700	
21,5	2300	4600	3900	3300	2300	9200	7800	6600	4600	
24	2800	5600	4900	4000	2800	11200	9800	8000	5600	
26	3300	6600	5700	4700	3300	13200	11400	9400	6600	
28	3900	7800	6800	5500	3900	15600	13600	11000	7800	
30	4500	9000	7800	6400	4500	17000	15600	12800	9000	
32,5	5150	10300	8900	7300	5200	20600	17800	14600	10300	
34,5	5850	11700	10100	8300	5800	23400	20200	16600	11700	
37	6600	13200	11400	9400	6600	26400	22800	18800	13200	
39	7400	14800	12800	10500	7400	29600	25600	21000	14800	
43,5	9300	18600	16000	13200	9300	37200	32000	26400	18600	
47,5	11100	22200	19200	15700	11100	44400	38400	31400	22200	
52	13300	26500	22900	18800	13300	53000	45800	37600	26500	
55	15500	31000	26800	21900	15500	62000	53600	43800	31000	

1) Udźwig podano przy uwzględnieniu zagięć liny na ciężarze oraz na haku.

W tablicach 26 oraz 27 podano nośność lin konopnych skręcanych oraz lin stalowych w zależności od kąta pochylenia liny α, zaś w tablicy 28 — nośność i wymiary śrub z uchem dla różnych wartości tegoż kąta i różnych położań liny względem ucha śruby.

Tablica 29 zawiera wymiary zacisków dla lin o różnych średnicach. Połączenie lin wykonane za pomocą zacisków powinno być równie wytrzymałe jak liny. Można to osiągnąć wykonując połączenie za pomocą kilku zacisków (co najmniej dwu).

Ilość zacisków z obliczamy ze wzoru

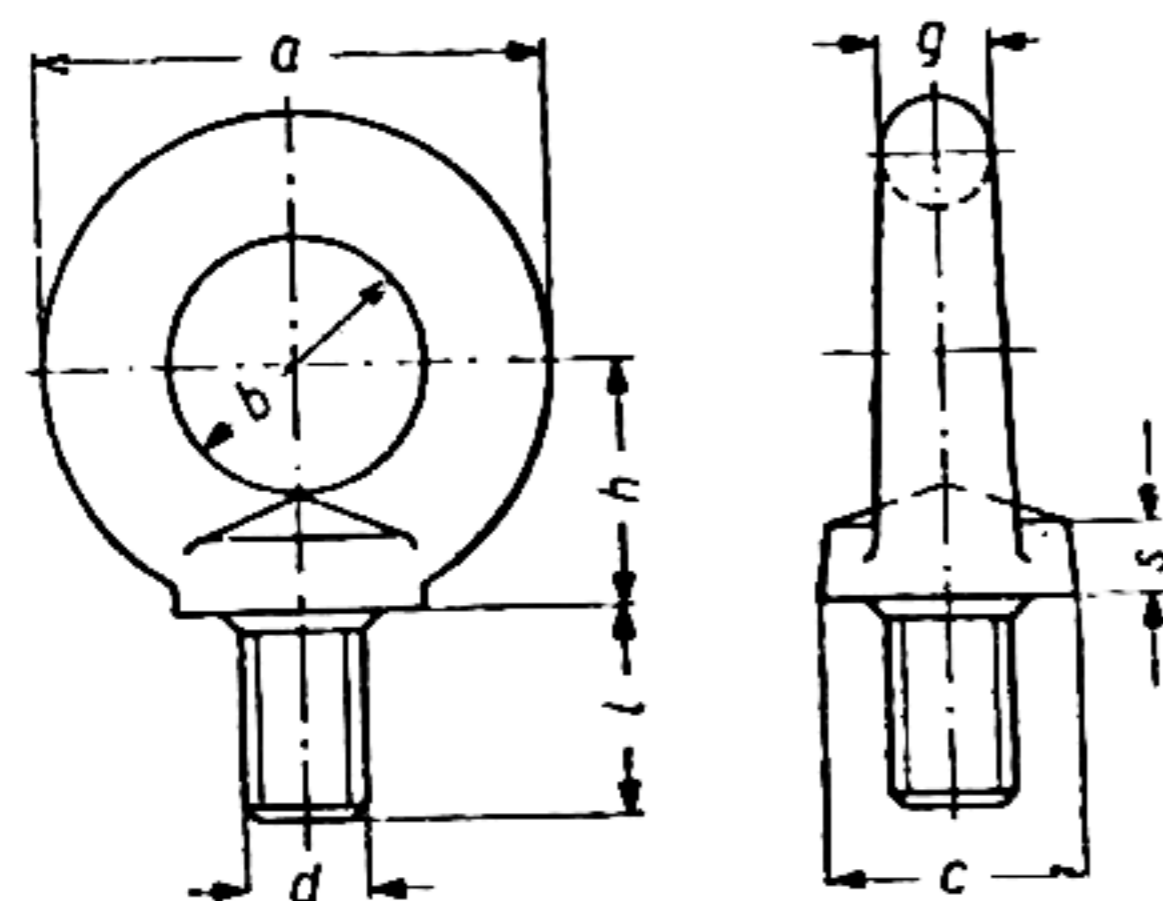
$$z = \frac{P}{2 d_0^2 k_r}$$

gdzie: d₀ — średnica chomąta zacisku w cm,

P — siła teoretyczna zrywająca linę w kG,

k_r — dopuszczalne naprężenie na rozwanie w kG/cm².

Wymiary i nośność śrub z uchem według GOST 4751-49

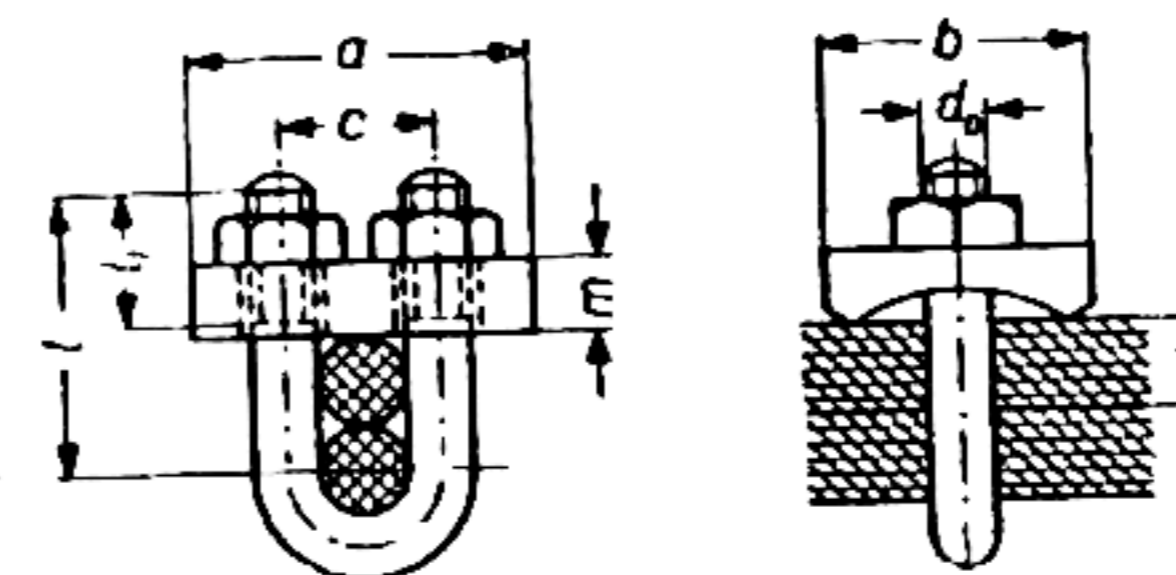


Wymiary mm								Udźwig kG		
d	a	b	g	c	h	l	s	Jednej śruby	Dwóch śrub	
M 8	20	36	8	20	18	18	6	120	160	80
M 10	25	45	10	25	22	21	8	200	250	125
M 12	30	54	12	30	26	25	10	300	350	175
M 16	35	63	14	35	30	32	12	550	500	250
M 20	40	72	16	40	35	38	14	850	650	300
M 24	50	90	20	50	45	45	16	1250	1000	500
M 30	60	108	24	65	55	54	18	2000	1400	700
M 36	70	126	28	75	65	64	22	3000	2000	1000
M 42	80	144	32	85	75	72	25	4000	2600	1300
M 48	90	162	36	95	82	82	30	5000	3300	1600
M 56	100	180	40	105	90	95	35	6200	4000	2000
M 64	110	198	44	115	100	108	40	7500	5000	2500
M 72	130	234	52	135	115	115	45	10000	7000	3500
M 80	150	270	60	160	135	125	50	14000	9000	4500
M 100	180	324	72	190	160	150	60	20000	13000	6500

U w a g i:

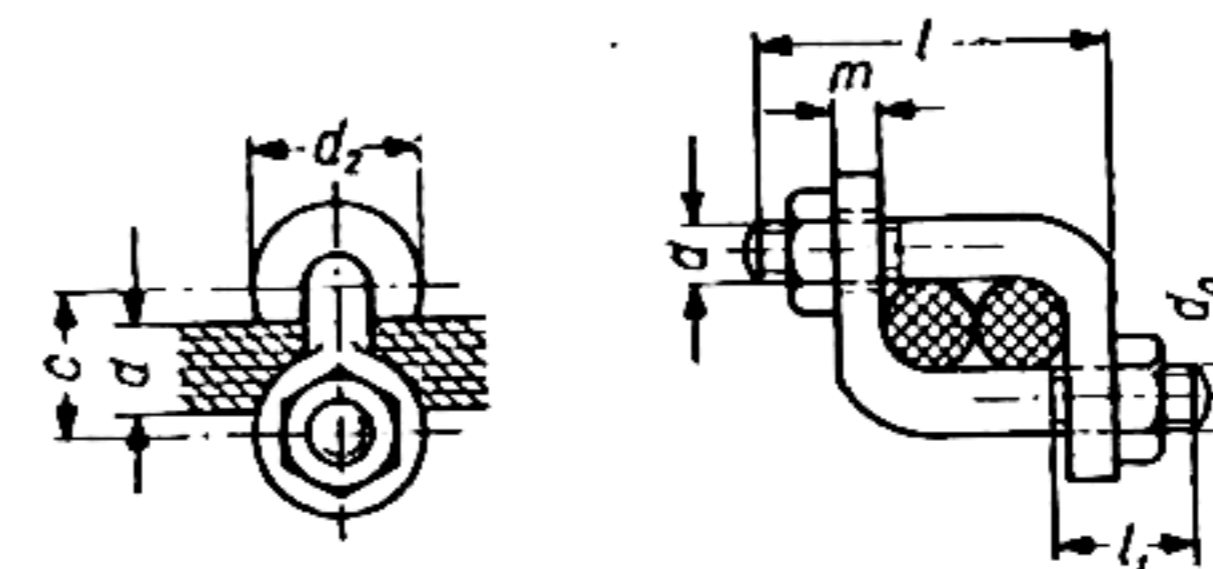
- Podane w tabelicy udźwigi dwóch śrub z uchem odnoszą się tylko do sposobów zawieszenia wskazanych na szkicach.
- Przy posługiwaniu się śrubami z uchem należy zwrócić uwagę, aby ich gwinty i gwinty w otworach nie były zerwane lub osłabione oraz aby powierzchnie kółnierzy śrub ściśle dolegały do powierzchni podnoszonych przedmiotów.

Wymiary zacisków do lin stalowych mm



Typ A: Zacisk jednostronny
Materiał: chomałto stal Cr 3 lub Cr 4, nakładka stal Cr 4 lub Cr 5. Gwint metryczny

Srednica liny d	a	b	c	m	d	d ₀	l	l ₁	Długość drutu
8,7 — 9,2	45	30	21	12	10	14	45	25	135
10 — 12,5	55	30	26	12	12	14	45	28	135
13 — 15,5	70	40	33	14	16	18	55	32	165
17 — 18,5	90	50	40	16	20	22	75	40	215
19,5 — 22	95	50	44	16	20	22	75	40	215
23 — 26	110	60	50	18	22	24	90	45	260
28 — 31	120	60	58	18	24	26	90	45	275
31,5 — 33,5	135	80	65	20	28	30	110	55	320



Typ B: Zacisk dwustronny.
Chomałto: stal Cr 3 lub Cr 4, nakrętka: stal Cr 3. Gwint metryczny

Srednica liny d	d	d ₁	d ₂	c	l	l ₁	Długość drutu
8,7 — 9,2	12	14	26	23	65	35	125
11 — 12,5	12	14	26	27	75	35	135
13 — 15,5	14	16	32	32	80	40	155
17 — 18,5	20	22	45	42	110	55	220
19,5 — 22	20	22	45	45	110	55	220
23 — 26	22	24	50	51	130	55	250
28 — 31	24	26	55	58	150	65	280
31,5 — 33,5	28	30	70	65	170	80	360

Zaciski powinny być założone w ten sposób, aby ich chomąta przyciskały krótszy koniec liny, zaś odstępy pomiędzy zaciskami wynosiły od 5 do 7 średnic liny. Nie wolno aby zacisk rozplaszczal linę.

Wszystkie części sprzętu udźwigowego powinny posiadać metryki zawierające wyniki badań oraz szyldziki, na których podaje się udźwig, długości i średnicę.

Należyty stan sprzętu udźwigowego osiąga się: przez przestrzeganie jego prawidłowego używania; przez wystarczające i w odpowiednim czasie przeprowadzone smarowanie wszystkich części podlegających tarcia; przez pilnowanie, aby pod linami były umieszczane odpowiednie podkładki; przez ostrożne obchodzenie się z tym sprzętem, które wyłączyło by tworzenie się karbów, gwałtownych wygięć, załamania i rozplotów końców oraz przez przechowywanie lin na specjalnych poprzeczkach, w stanie rozwieszonym.

Okresową kontrolę sprzętu udźwigowego przeprowadza mistrz. Sprzęt nie nadający się do użytku (liny konopne i stalowe z zerwanymi drutami lub splotami powyżej dopuszczalnej ilości lub posiadające ostre zagięcia albo załamania, wciągniki i dźwigniki z zatartymi mechanizmami) należy natychmiast usunąć.

Wykonawstwo robót udźwigowych (takielażowych). Przy montowaniu turbin wodnych roboty udźwigowe wykonywane są przez brygadę udźwigową pod kierownictwem brygadzysty lub majstra udźwigowego.

Brygada udźwigowa, a w szczególności brygadzysta, odpowiadają w pełni za przechowywanie i odpowiedni stan całego sprzętu, oraz za prawidłowe jego stosowanie, odpowiednio do udźwigu i do zasad podwieszania.

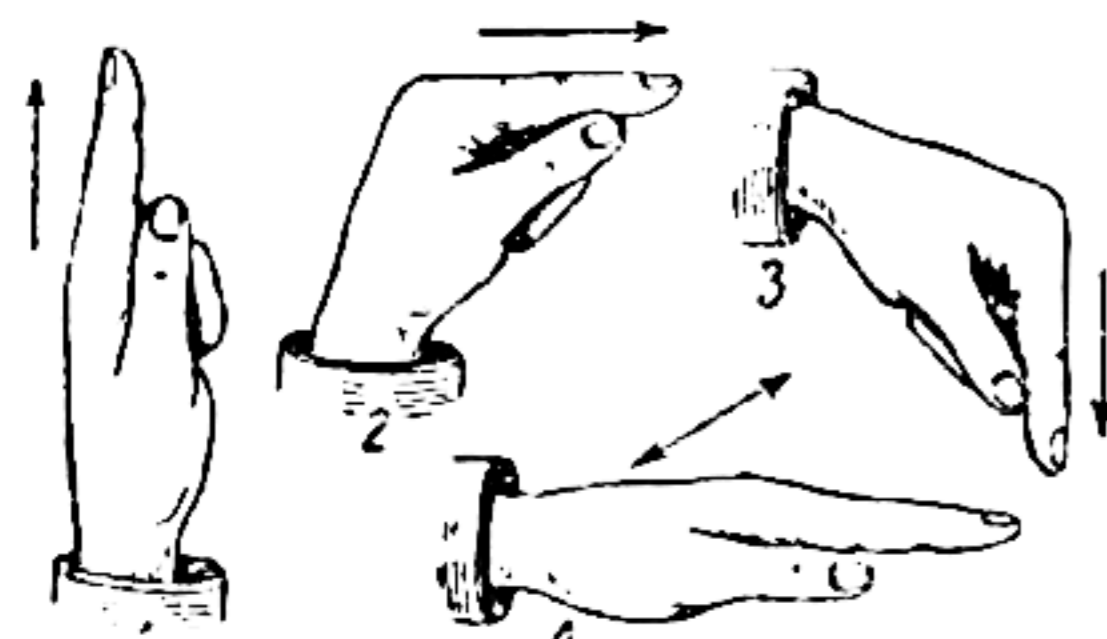
Ogólnych wskazówek dotyczących przenoszenia i odwracania (przekantowywania) odpowiedzialnych części udziela zazwyczaj kierownik prac montażowych. Samo podnoszenie, odwracanie i przenoszenie ciężarów, wykonuje brygada udźwigowa pod kierunkiem brygadzysty.

Podczas wykonywania tych operacji, polecenia wydaje tylko jedna osoba. Podlegają jej bezapelacyjnie wszyscy robotnicy, sygnaliści oraz dźwigiwi.

Jedynie taka organizacja robót udźwigowych wyklucza zamęt oraz brak odpowiedzialności osobistej i zapobiega wypadkom.

Nie wyłącza to jednak konieczności operatywnego uzgodnienia pomiędzy kierownikiem brygady udźwigowej i głównym monterem lub kierownikiem robót montażowych tych wszystkich kwestii, które wyłaniają się w toku pracy. Przy robotach odpowiedzialnych obecność głównego montera lub kierownika robót jest obowiązkowa.

Polecenia dla dźwigowego nie powinny być wydawane ustnie, lecz za pomocą umownych znaków — ręką (rys. 22). Jeżeli skutek miejscowych



Rys. 22. Wydawanie poleceń za pomocą ręki: 1 — do góry! 2 — na bok!; 3 — w dół!; 4 — stój!

warunków dźwigowy nie widzi kierownika, to ostatni telefonicznie podaje polecenia sygnaliście, który bezzwłocznie powtarza je dźwigowemu przy użyciu odpowiednich znaków i bez jakichkolwiek zmian.

1. Olinowywanie elementów o kształtach pierścieniowych

Większość elementów turbin Francisa oraz turbin Kaplana posiada kształt pierścieni o różnych przekrojach i składa się z poszczególnych członów. Takimi elementami są: komory wirników turbin Kaplana, stojany turbin, pierścienie fundamentowe, dolne i górne pierścienie kierownic, pokrywy turbin, pierścienie regulacyjne, kadłuby łożysk itp. Pomimo różnorodnego ukształtowania tych elementów, możemy je zaliczyć do jednej grupy, a mianowicie do grupy elementów pierścieniowych, gdyż sposoby i metody ich olinowywania, odwracania oraz transportu przy pomocy dźwigów odznaczają się wspólnymi cechami.

Przy tego rodzaju elementach wykonywane są następujące operacje udźwigowe:

1) olinowywanie poszczególnych członów oraz odwracanie ich (nadawanie różnych położeń) w celu oczyszczenia przed montażem miejsc złączy oraz powierzchni;

2) olinowywanie członów przy łączeniu ich ze sobą;

3) transport zmontowanego elementu pierścieniowego na miejsce jego ustawienia oraz odwrócenie danego elementu, o ile montaż jego odbywa się w innym położeniu niż położenie robocze, tj. takie, w którym element ten ma pracować.

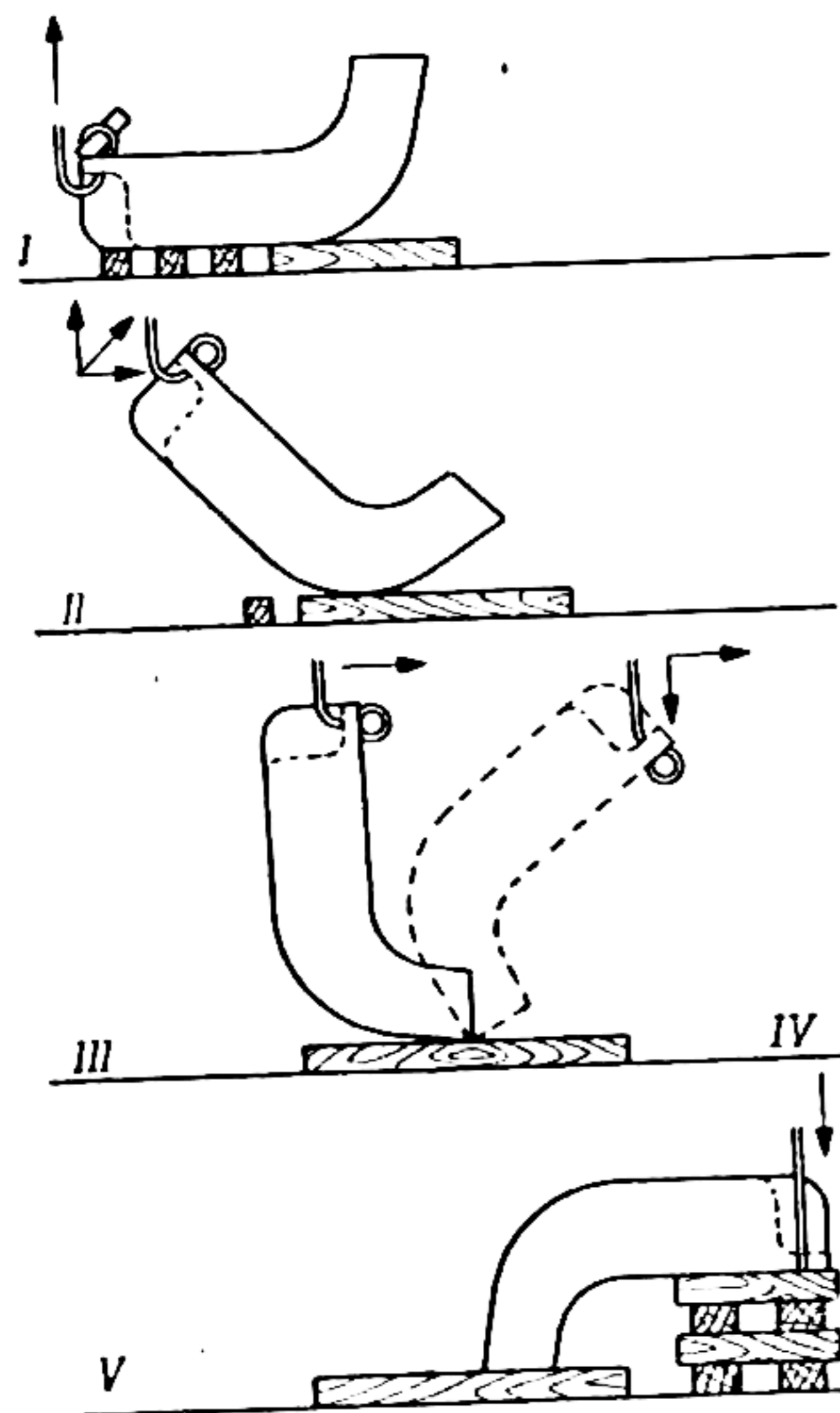
Przy olinowywaniu oraz przy odwracaniu poszczególnych członów w celu ich oczyszczenia, liny mogą być umocowane do otworów znajdujących się w złączach lub w kołnierzach. W tym celu przewleka się je przez te otwory i w pętle zakłada się trzpienie lub liny umocowuje się do śrub z uchami. Pod linami, na ostrych krawędziach i żebrach podnoszonego przedmiotu, należy umieścić podkładki (szmaty, maty konopne, blachę żelazną, deski lub bale).

Odwracanie członu wykonuje się zazwyczaj przy pomocy jednego haka: mianowicie człon podnosi się z jednej strony i przewraca na drugą stronę przy odpowiednim manipulowaniu hakiem, wózkiem oraz mostem suwnicy. Przy odwracaniu należy baczyć, aby na krawędziach przedmiotu lina nie zginała się gwałtownie oraz, aby przy ruchu wózka lub mostu suwnicy nie przesunęła się na przedmiocie z jednego położenia w inne położenie.

Pod tę krawędź członu, naokoło której człon jest odwracany, należy podłożyć mocne belki. Układa się je ich długością w kierunku odwracania, tak aby w przypadku ześlizgnięcia się ze swego początkowego położenia, człon przesunął się wzdłuż i nie mógł uderzyć o betonową powierzchnię placu montażowego.

Przy odwracaniu jakiegokolwiek elementu liny muszą być pewnie umocowane, tak aby uniknąć zerwania ich łączności z elementem w chwili jego obrotu wokół krawędzi. Obrót ten należy wykonywać możliwie jak najwolniej w celu zmniejszenia szarpnięcia przejmowanego przez liny.

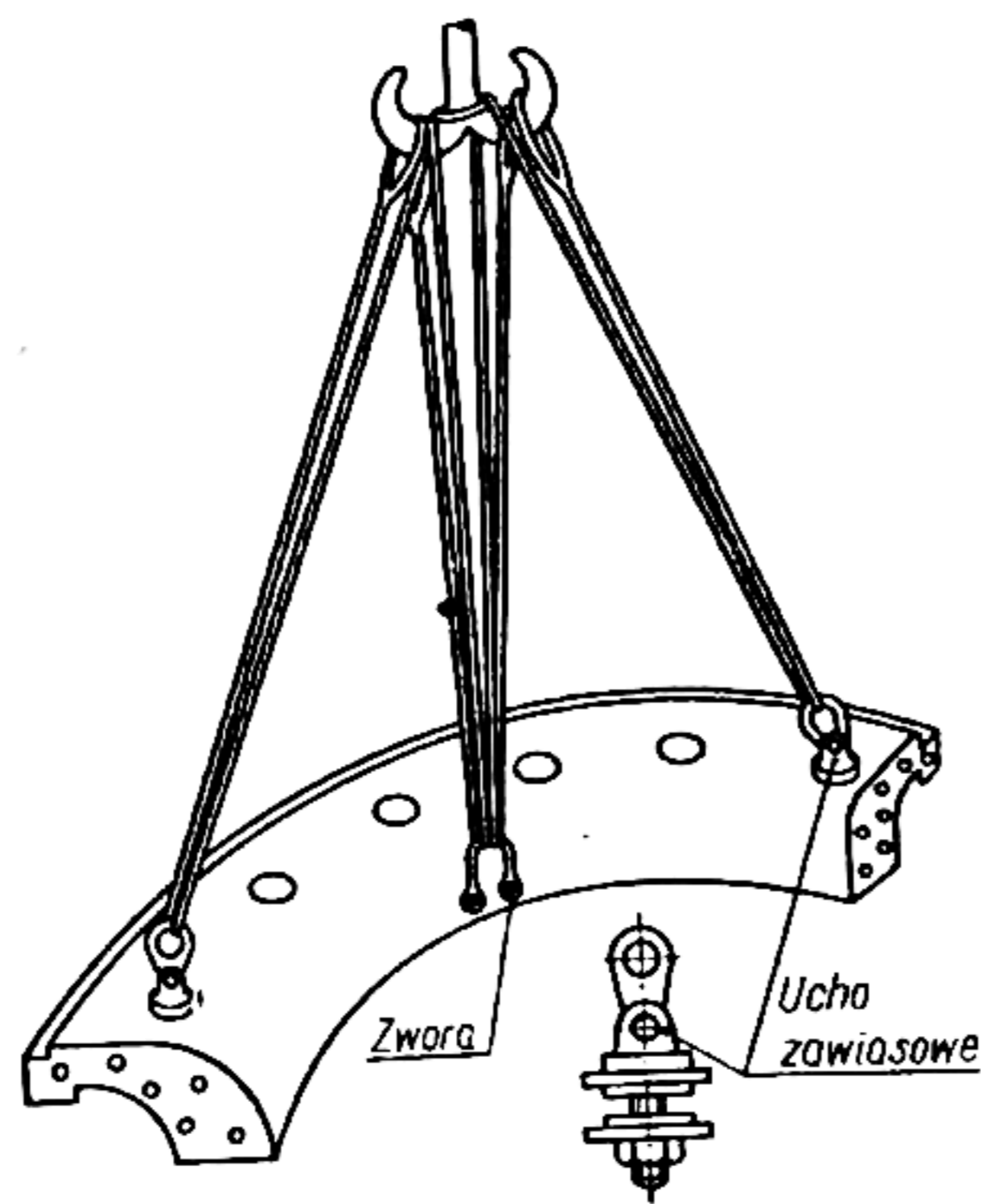
Sposób wykonywania takich operacji objaśniono na rys. 23, na którym zaznaczonych jest schematycznie pięć pozycji (I, II, ... V) członu dolnego pierścienia kierownicy podczas odwracania go w położenie robocze. Człon



Rys. 23. Sposób odwracania członu dolnego pierścienia kierownicy

olinowany jest jedną liną, zaopatrzoną w dwie pętle i umocowaną w otworach członu za pomocą zwór zamykanych na śruby.

Olinowywanie poszczególnych członów przy łączeniu ich z sobą wymaga urządzeń specjalnych, od-



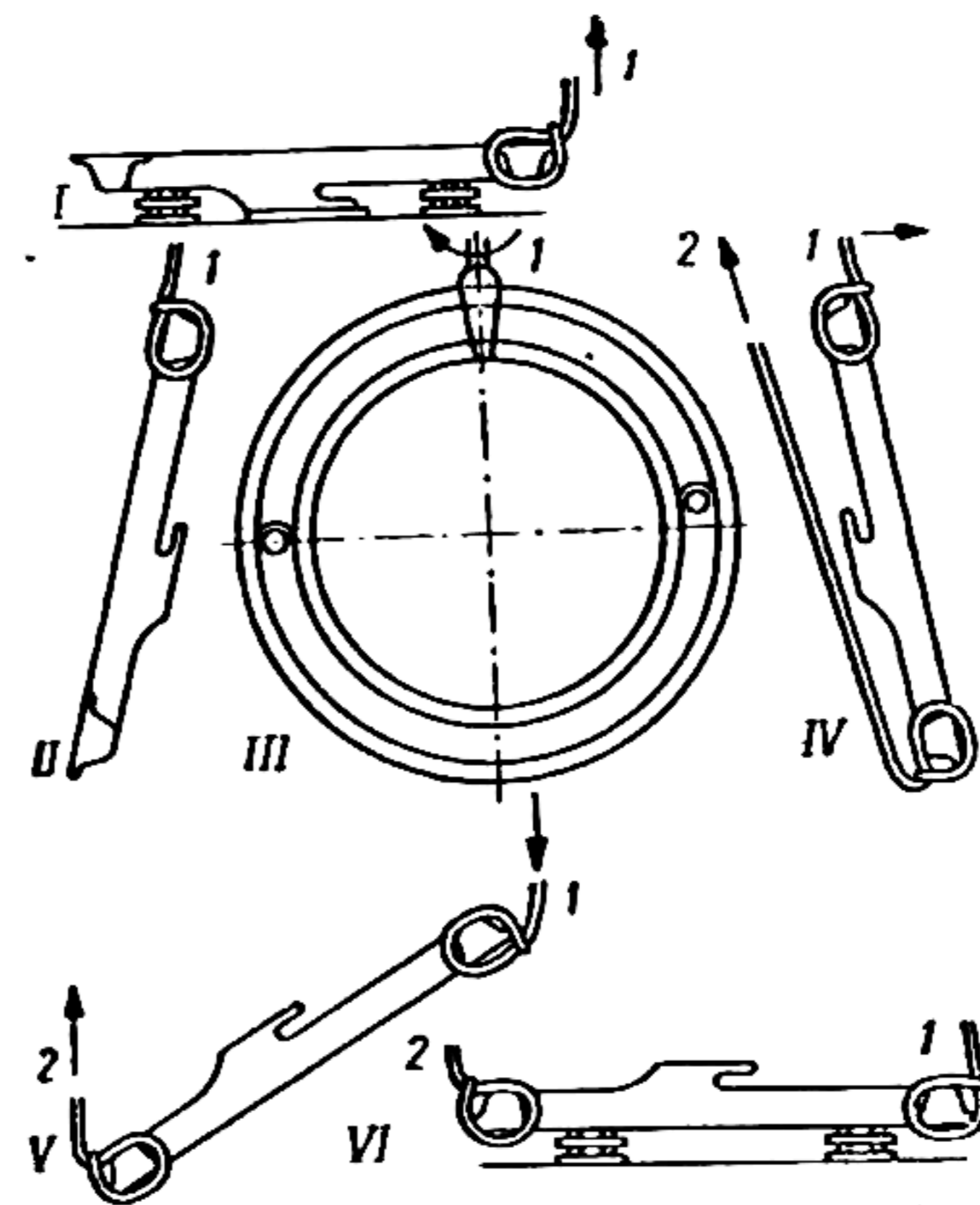
Rys. 24. Sposób olinowania członu dolnego pierścienia kierownicy

miennych od wyżej opisanych, gdyż na obu powierzchniach złącza oraz na dolnym kołnierzu nie można umieszczać lin, ponieważ w celu założenia śrub łączących i kołków ustalających (§ 16), musi być zapewniona możliwość wystarczającego zbliżenia części łączonych.

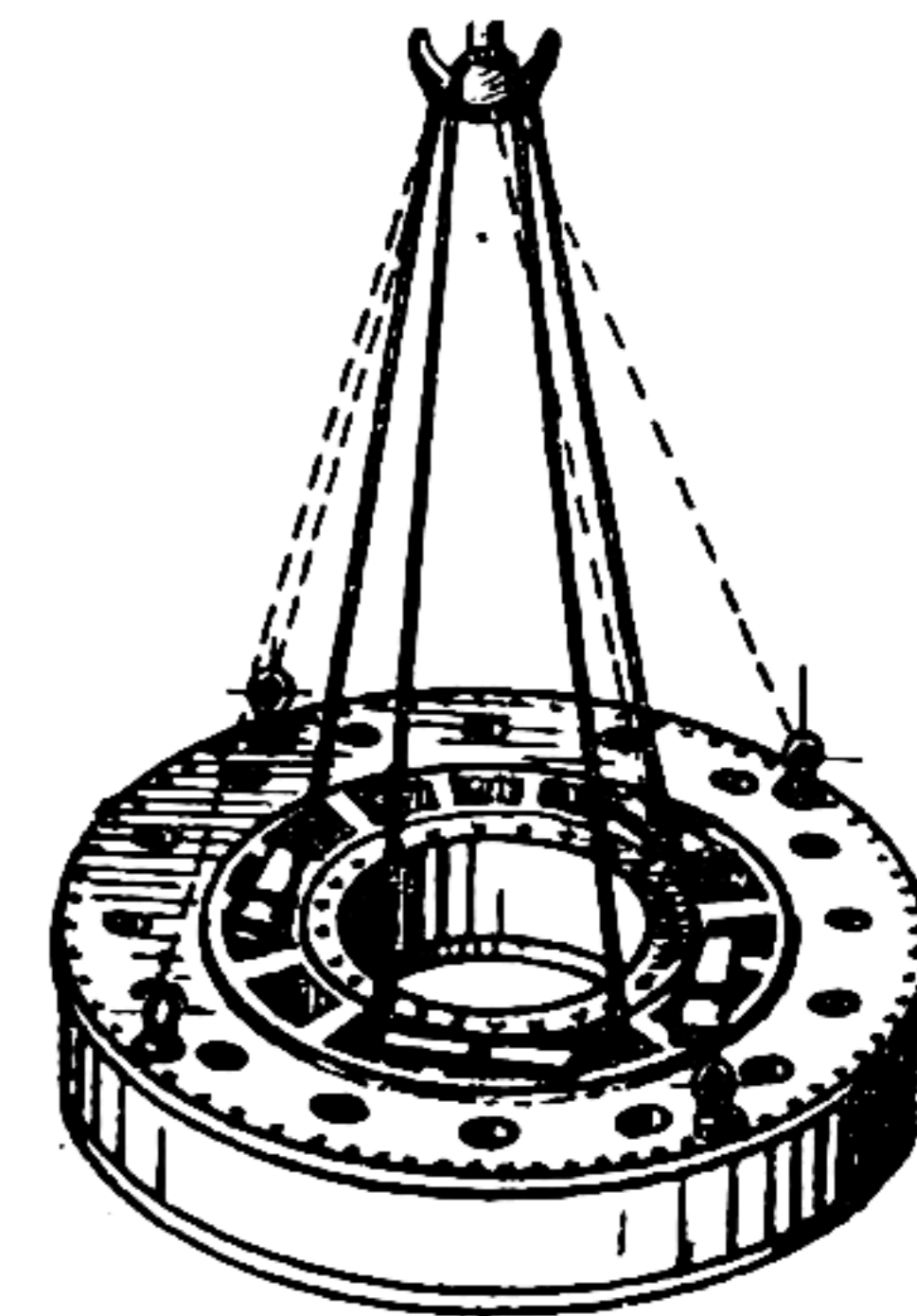
Należy przy tym zwracać uwagę, aby położenie podwieszono elementu było prawidłowe, powierzchnie złącza — prostopadłe, kołnierze — poziome. Przy zbliżaniu elementu do elementu należy ostrożnie manipulować, aby uniknąć uszkodzenia ostrych naroży lub krawędzi. Wreszcie należy przewidzieć możliwość założenia śrub mocujących oraz prowizorycznych podkładek, potrzebnych przy usuwaniu lin po ustawieniu elementu na miejscu.

Na rys. 24 pokazano sposób olinowania spełniający powyższe warunki. Jak widzimy, stosuje się w tym przypadku specjalną zworę oraz ucha zawieszowe.

Przy odwracaniu zmontowanego elementu pierścieniowego należy zachować te same środki ostrożności, jak przy odwracaniu poszczególnych członów. Ze względu na większy ciężar odwracanie takiego elementu przeprowadza się przy pomocy dwóch haków. Zazwyczaj liny obejmują wówczas dany element, przy czym opuszcza się go przejściowo na podkłady, które pozwalają na usunięcie lin i ponowne jego olinowanie, tj. tzw. przelino-



Rys. 25. Odwracanie pierścienia regulacyjnego (zmontowanego) za pomocą dwóch haków

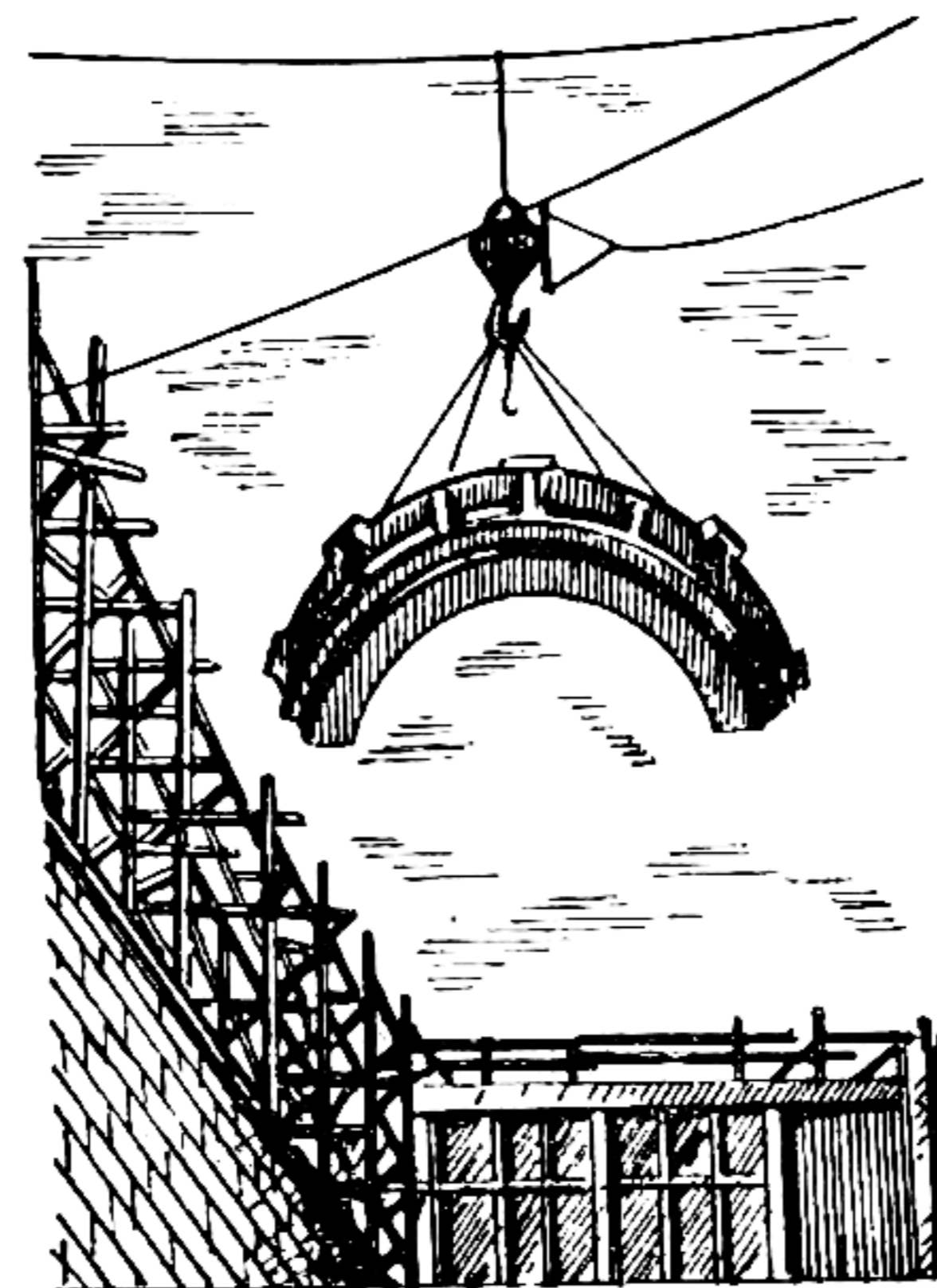
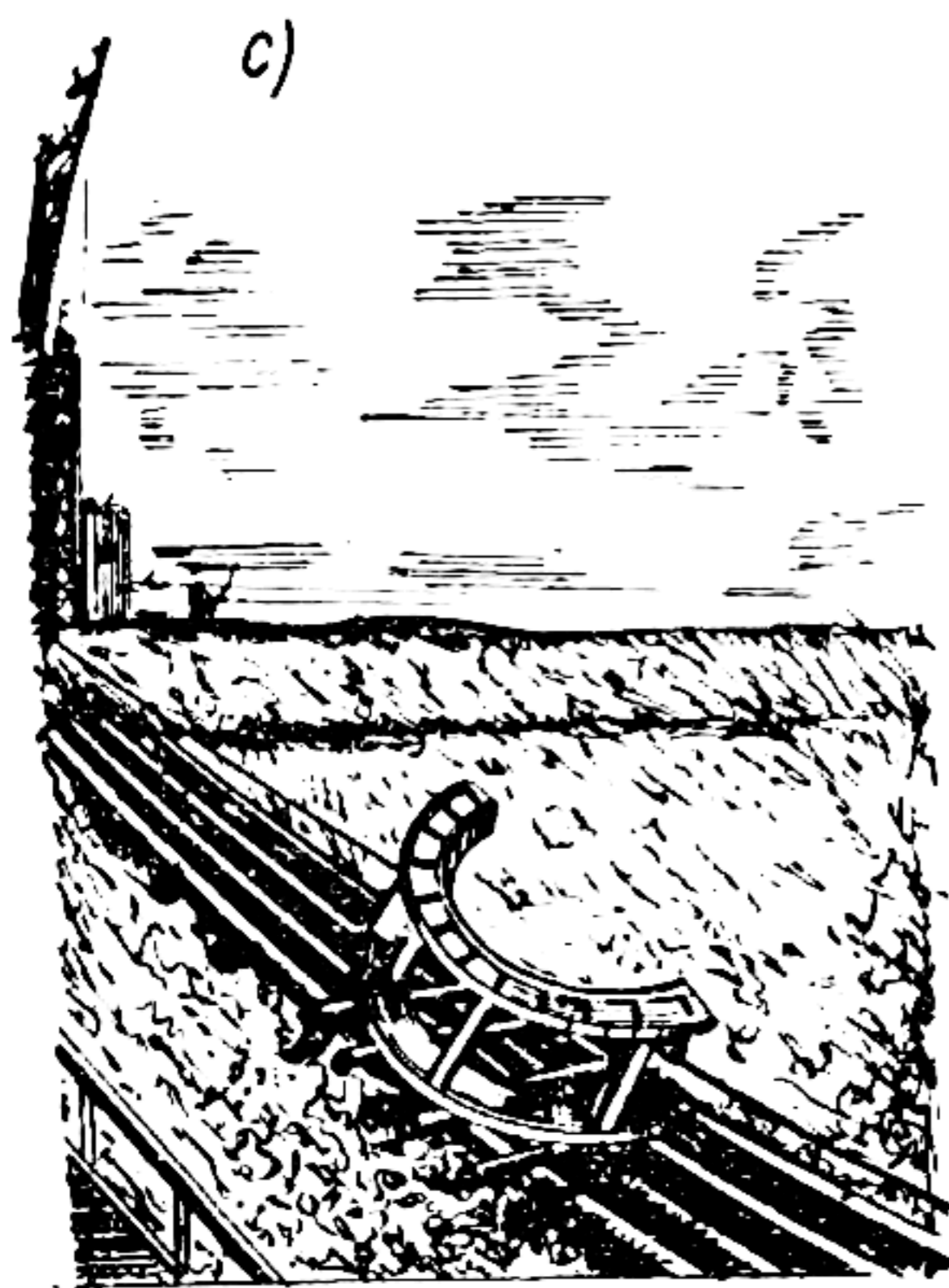
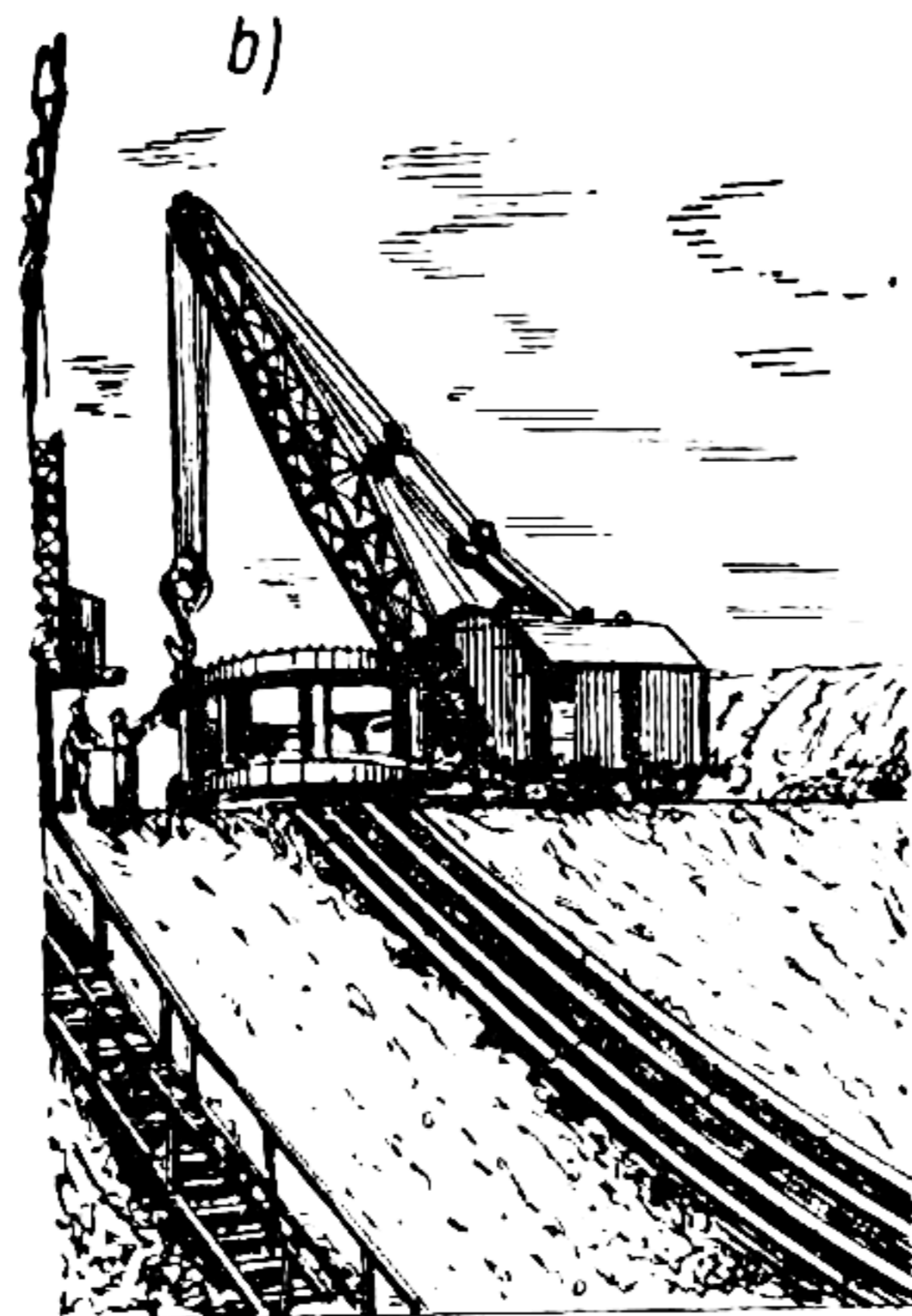
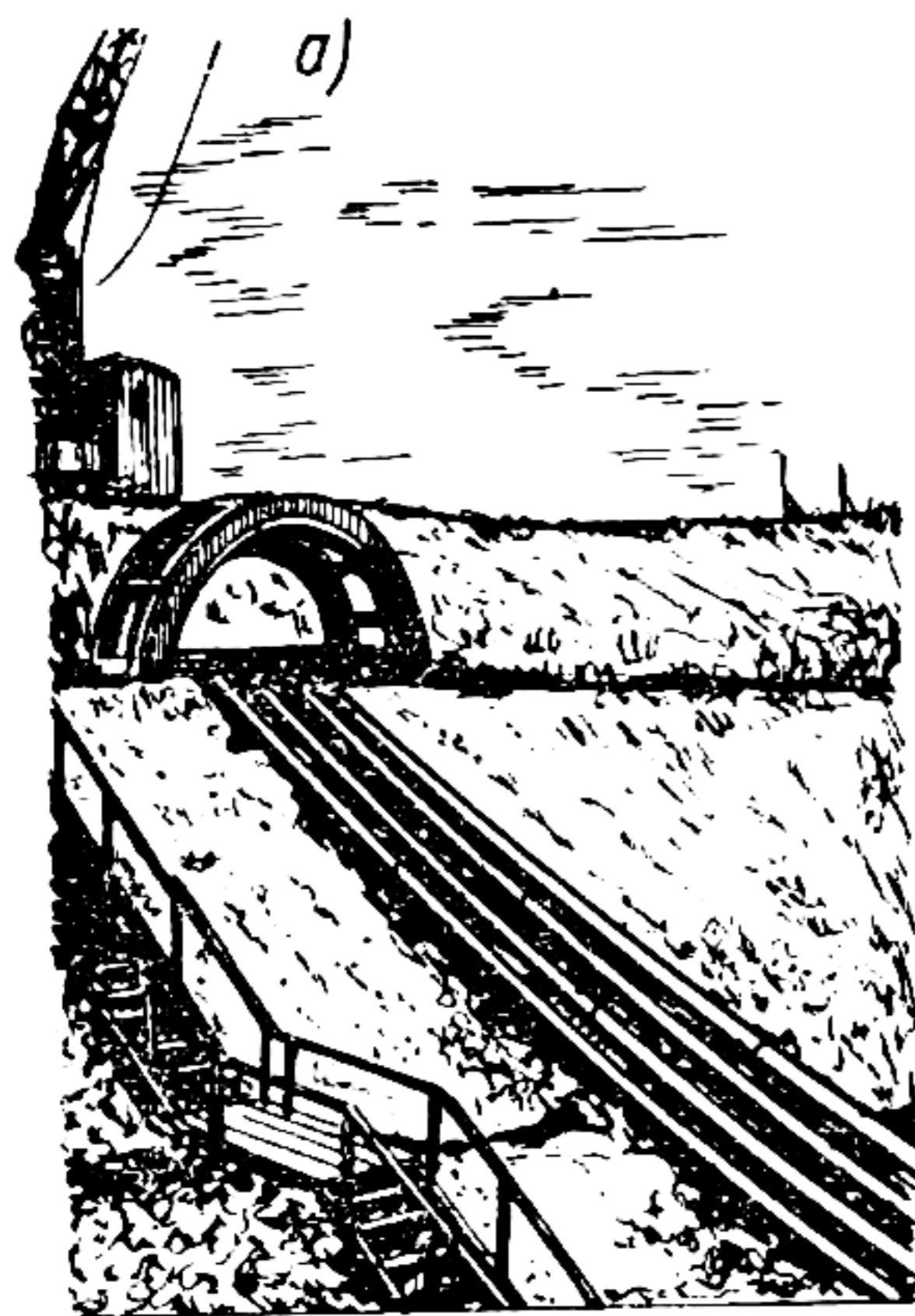


Rys. 26. Podwieszenie pokrywy turbiny za pomocą lin podwiniętych pod żebrami

wanie. Na rys. 25 pokazano schematycznie sześć pozycji (I, II, ... VI) pierścienia regulacyjnego wielkiej turbiny wodnej podczas odwracania go przy pomocy dwóch haków (1 i 2).

Element pierścieniowy w stanie zmontowanym przenosi się z reguły przy pomocy jednego haka oraz kilku lin o jednakowej długości (rys. 26). Niekiedy w tym celu używa się jednej długiej liny przewleczonej przez otwory pomiędzy żebrami elementu, przy czym końce lin umocowuje się za pomocą zacisków. W szczególności w ten sposób olinowuje się pokrywę turbiny Kaplana, zmontowaną łącznie z jej częścią stożkową i pierścieniem regulacyjnym.

Przy olinowywaniu należy wziąć pod uwagę długość lin podwieszenia. Powinna ona być taka, aby element można było przenieść na określone miejsce ponad innymi elementami i ponad zmontowanymi uprzednio zespo-



Rys. 27. Transport dwudzielnego stojana turbiny wodnej za pomocą lin: a — wyładunek połowy stojana na zaporze ziemnej; b — odwracanie za pomocą żurawia kolejowego; c — opuszczanie do budynku siłowni

Rys. 28. Transport dwudzielnego pierścienia fundamentowego (na miejsce jego zmontowania) za pomocą urządzenia linowego; ciężar jednej połowy wynosi 6 T

łami, bez niebezpieczeństwa zawadzenia o wystające części montowanej turbiny (wał, drągi itp.). Olinowanie powinno być wykonane w ten sposób, aby element znajdował się w pozycji ściśle poziomej, podkładki oraz bale wyrównujące długość lin nie wystawały poza gabaryt pierścienia, zaś całość olinowania nie przeszkadzała w łączeniu elementów w miejscu ich ustawienia.

Wspominaliśmy uprzednio, że na początku montażu części fundamentowych, a przynajmniej części fundamentowych pierwszej turbiny, siłownia wodna zazwyczaj nie posiada jeszcze dźwigów. W tym przypadku transport elementów do miejsca ich ustawienia odbywa się przy pomocy metod udźwigowych wskazanych na rys. 27 lub przy pomocy budowlanego sprzętu dźwigowo-transportowego (rys. 28).

2. Operacje udźwigowe przy wirnikach turbin wodnych

W większości operacji udźwigowych przeprowadzanych przy wirnikach turbin oraz przy wałach stosuje się specjalne urządzenia. Urządzenia te są projektowane i dostarczane łącznie z turbinami.

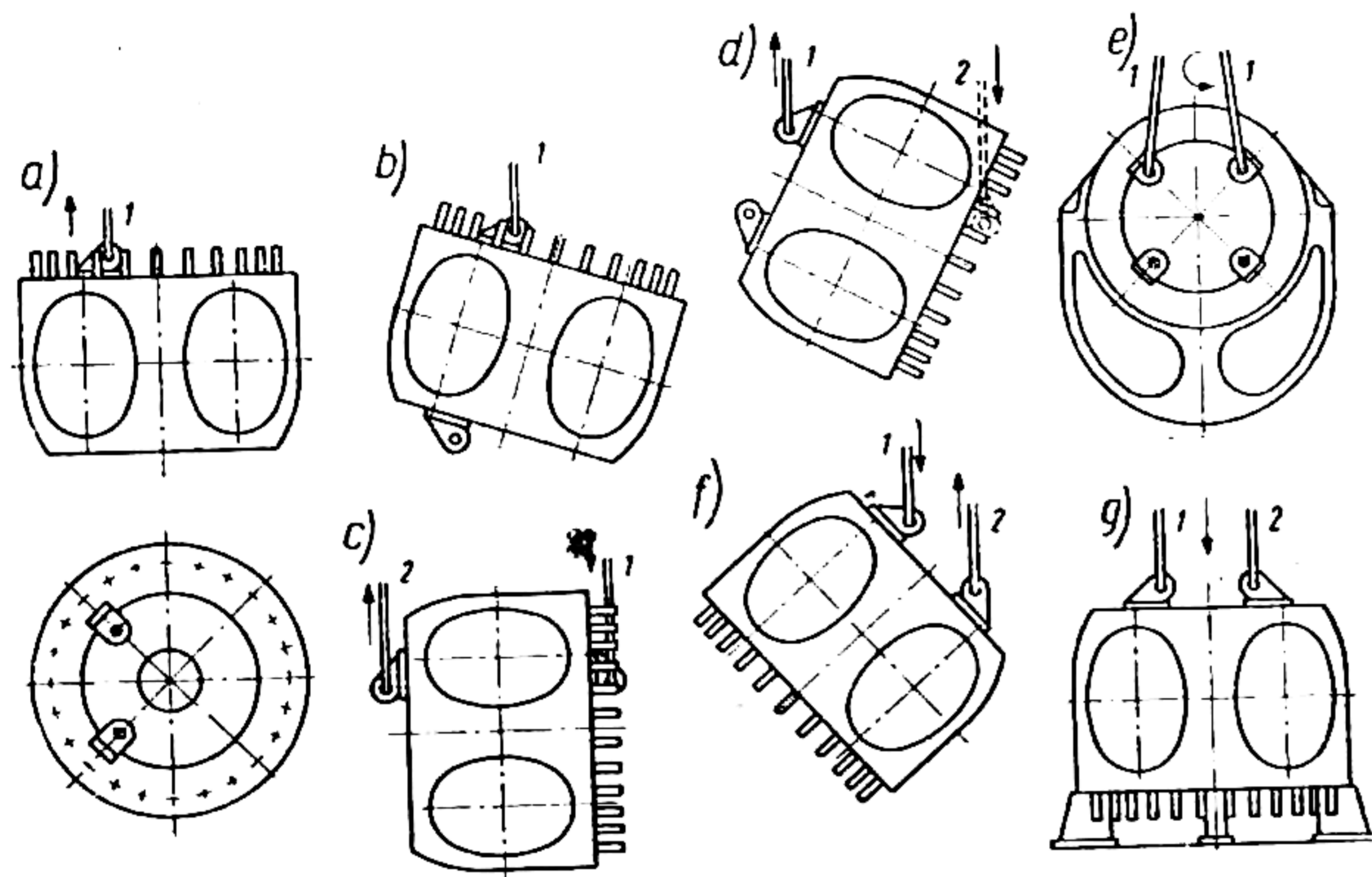
Kadłub piasty wirnika turbiny Kaplana podnosi się przy pomocy czterech lub dwóch specjalnych uch. O ile mamy do rozporządzenia dwa haki o dostatecznych udźwigach (udźwig haka pomocniczego nie powinien być mniejszy od 60% ciężaru piasty), to pożądane jest aby odwracanie odbywało się wzdłuż suwnicy, przy pomocy dwóch haków zawieszonych na jednym wózku, a to w celu uniknięcia jego samoczynnego przesuwania się. Olinowanie zakłada się przy tym na dwóch uchach przymocowanych do górnego i dolnego kołnierza piasty (rys. 29).

Przy odwracaniu „na krawędź” należy przedsięwziąć szczególne środki ostrożności, przeciwdziałające zgniataniu i wyslizgiwaniu się podkładek oraz przechylaniu się piasty na bok. W tym celu, przy odwracaniu, ucha powinny być umieszczone pod kątem 45° względem pionu. Pożądane jest wykręcenie śrub szpilkowych od strony krawędzi, naokoło której przeprowadza się odwracanie, a to dla uniknięcia ich uszkodzenia.

Jeżeli piastę znajdującą się w położeniu poziomym musimy przy jej montowaniu obrócić wokół jej własnej osi, to wykonujemy to w ten sposób, że linę przymocujemy do uch przymocowanych z kolei do obu czołowych powierzchni piasty. Na początku odwracania, ucha przymocowuje się u dołu, zaś liny kierowane są przez śruby szpilkowe z nakręconymi nakrętkami oraz przez specjalny trzpień wkręcony pod kątem 45 do 60° w stosunku do ucha (rys. 30). W celu łatwiejszego wykonania obrotu należy pod kadłub piasty podłożyć arkusz blachy o grubości 3 do 6 mm, posmarowany towotem. Arkusz sam przyjmuje kształt piasty pod wpływem jej ciężaru. Obrót o 90° wymaga zazwyczaj ponownego założenia lin (przelinowania).

Przy montażu wirnika (§ 27) używa się zazwyczaj specjalnych wydłużonych śrub z uchami, które służą do założenia dźwigni, przeciwcieżarów do

wprowadzenia czopów oraz analogicznych przeciwcieżarów do ustawiania sworzni chomąt. Przy ustawianiu łopatek stosuje się ucha zawiasowe oraz ucha zwykłe. Poza tym należy przewidzieć specjalne urządzenia do podnoszenia tłoczyska i drągów.

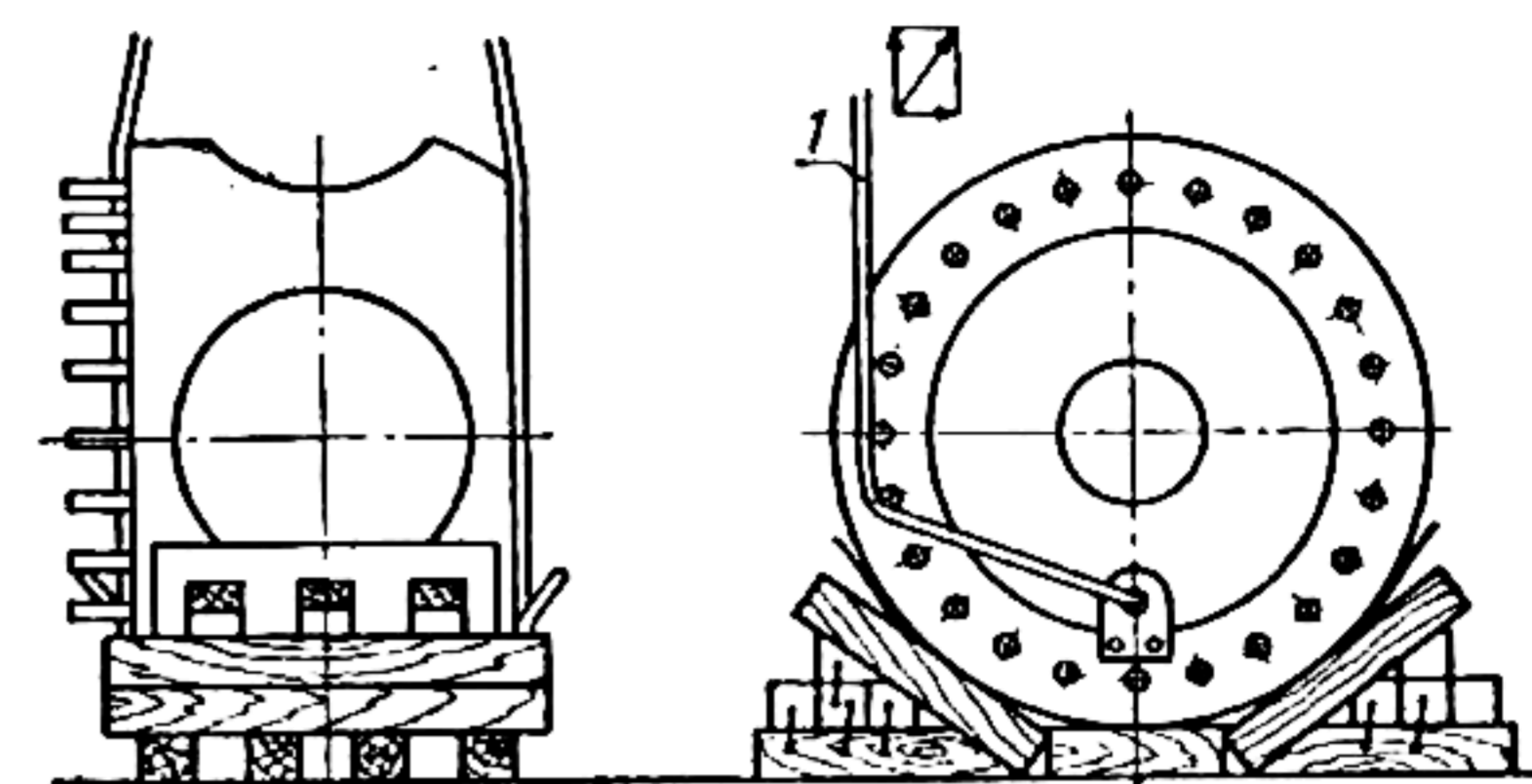


Rys. 29. Sposób odwrócenia piasty wirnika turbiny Kaplana a) mimośrodowe podnoszenie piasty przy użyciu dwóch uch; lina zaczepiona jest przy tym na głównym haku dźwigni (1); b) przymocowanie dwóch uch do dolnego kołnierza piasty; c) podnoszenie piasty za pomocą haka pomocniczego (2) oraz opuszczanie jej na podkłady w celu zawieszenia liny lewej na haku pomocniczym (2), zaś liny prawej — na haku głównym (1); d) zdjęcie ucha z górnego kołnierza piasty i umocowanie ich na kołnierzu dolnym; e) obrócenie tulei wiszącej na haku głównym (1); f) umocowanie liny zawieszanej na haku pomocniczym (2) do ucha znajdujących się na dolnym kołnierzu piasty oraz odwrócenie piasty przez jednoczesne podnoszenie haka pomocniczego (2) i opuszczanie haka głównego (1); g) ustawianie piasty na słupach za pomocą opuszczenia dwóch haków; górny kołnierz tulei znajduje się teraz na dole

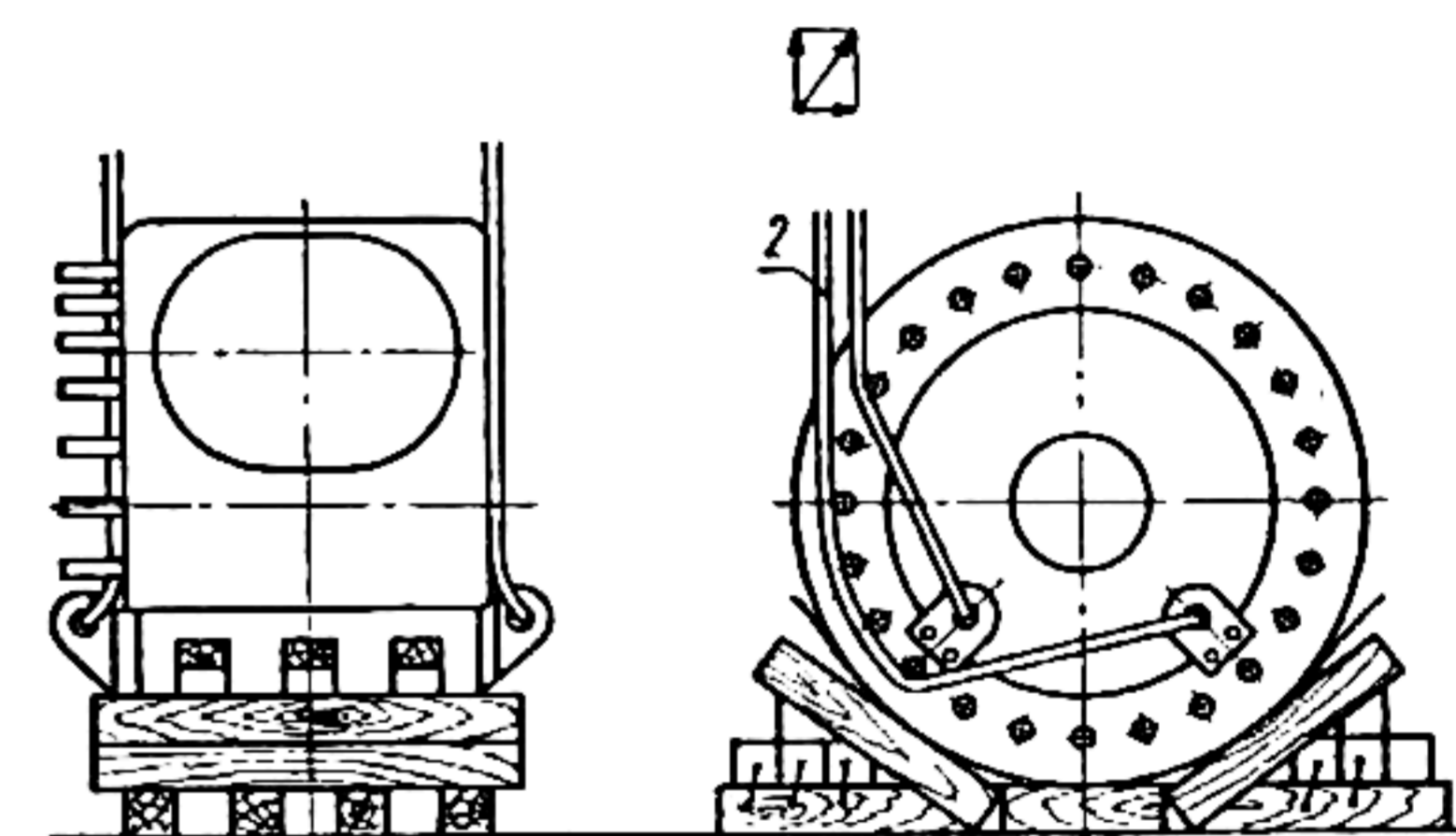
Transportowanie wirników turbin Kaplana oraz opuszczanie ich na miejsce przeprowadza się zazwyczaj za pomocą specjalnego urządzenia, przymocowanego bezpośrednio do zawieszania haka. W komorze wirnika wirniki podwieszane są do wsporników na specjalnie w tym celu przewidzianych uchach zawiasowych lub też opiera się je na specjalnych belkach.

Wirniki turbin Francisa z reguły nie wymagają odwracania, jednak w razie konieczności można je odwracać w ten sposób, że wirnik obejmuje się pętlą naokoło łopatek przy zewnętrznym (górnym) wieńcu lub w razie odwracania za pomocą dwóch haków — zakłada się linę na wieńiec zewnętrzny i wewnętrzny (górnny i dolny). Operację podnoszenia wirników Francisa (bez ich odwracania) należy wykonywać przy użyciu ucha służących do

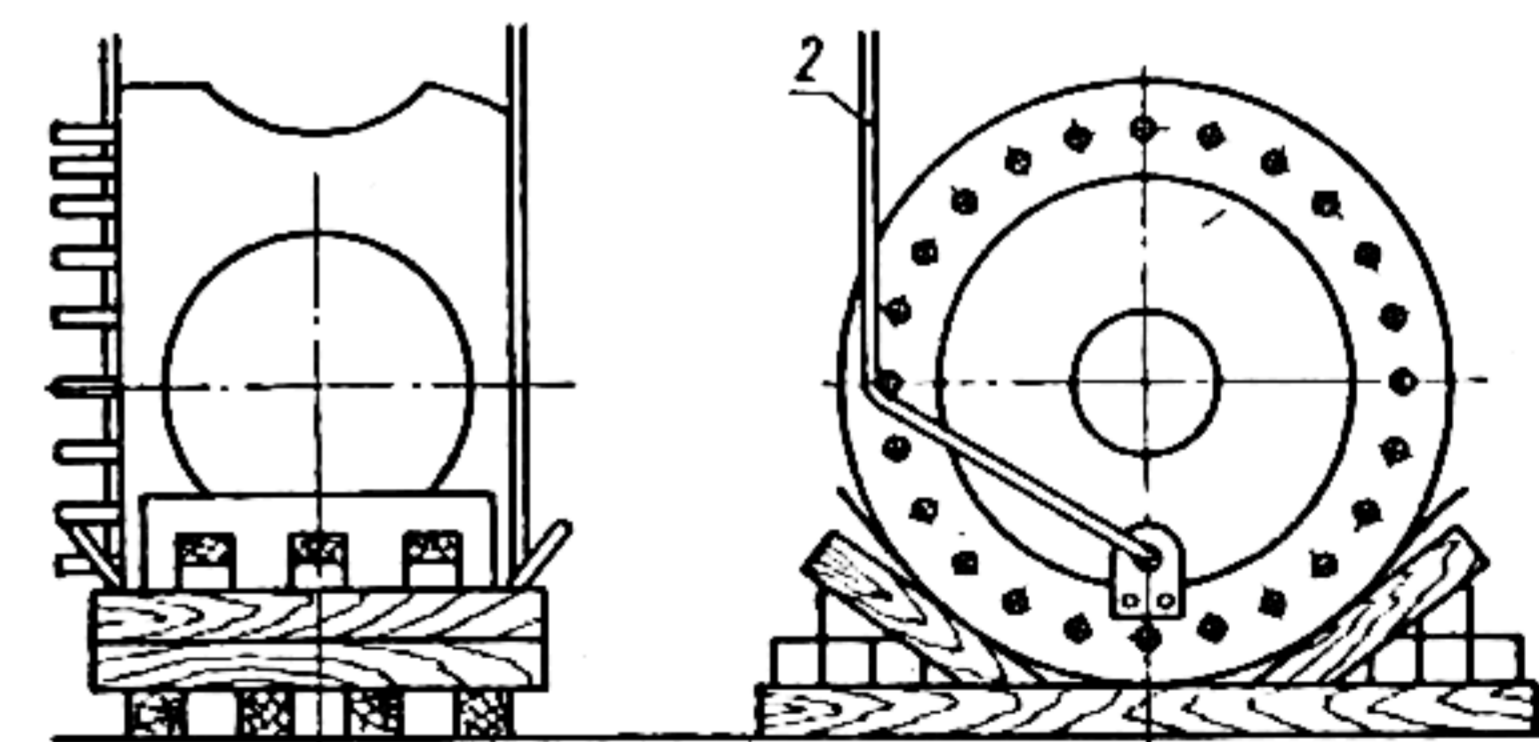
podnoszenia wałów lub też w ten sposób, że liny przewleka się przez otwory przeznaczone na śruby łączące piastę wirnika z kołnierzem wału. W otwory te trzeba uprzednio założyć tulejki ochronne.



A Początkowe olinowanie piasty



B Obrót o 45° i powtórne założenie lin (przelinowanie)



C Położenie piasty po obrocie o 90°

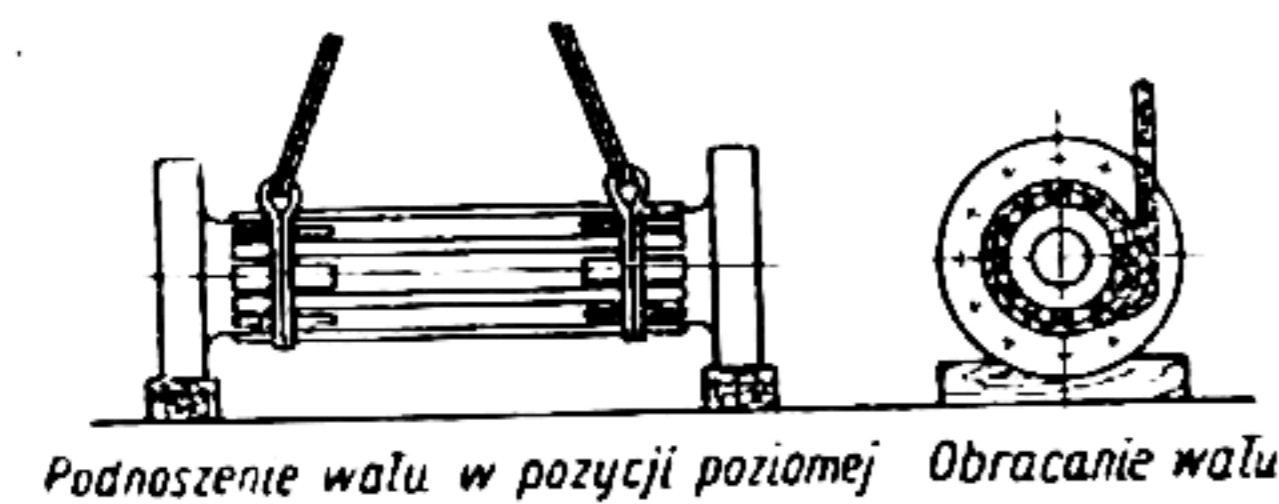
Rys. 30. Sposób obrócenia piasty wirnika turbiny Kaplana wokół jej osi

Wirniki turbin Francisa transportuje się oraz opuszcza do komory wirnikowej łącznie z wałem stosując specjalne ucha służące do podnoszenia i odwracania ostatniego (rys. 57). Wirnik ustawia się na podkładkach, na kołnierzu stojana lub pierścienia fundamentowego.

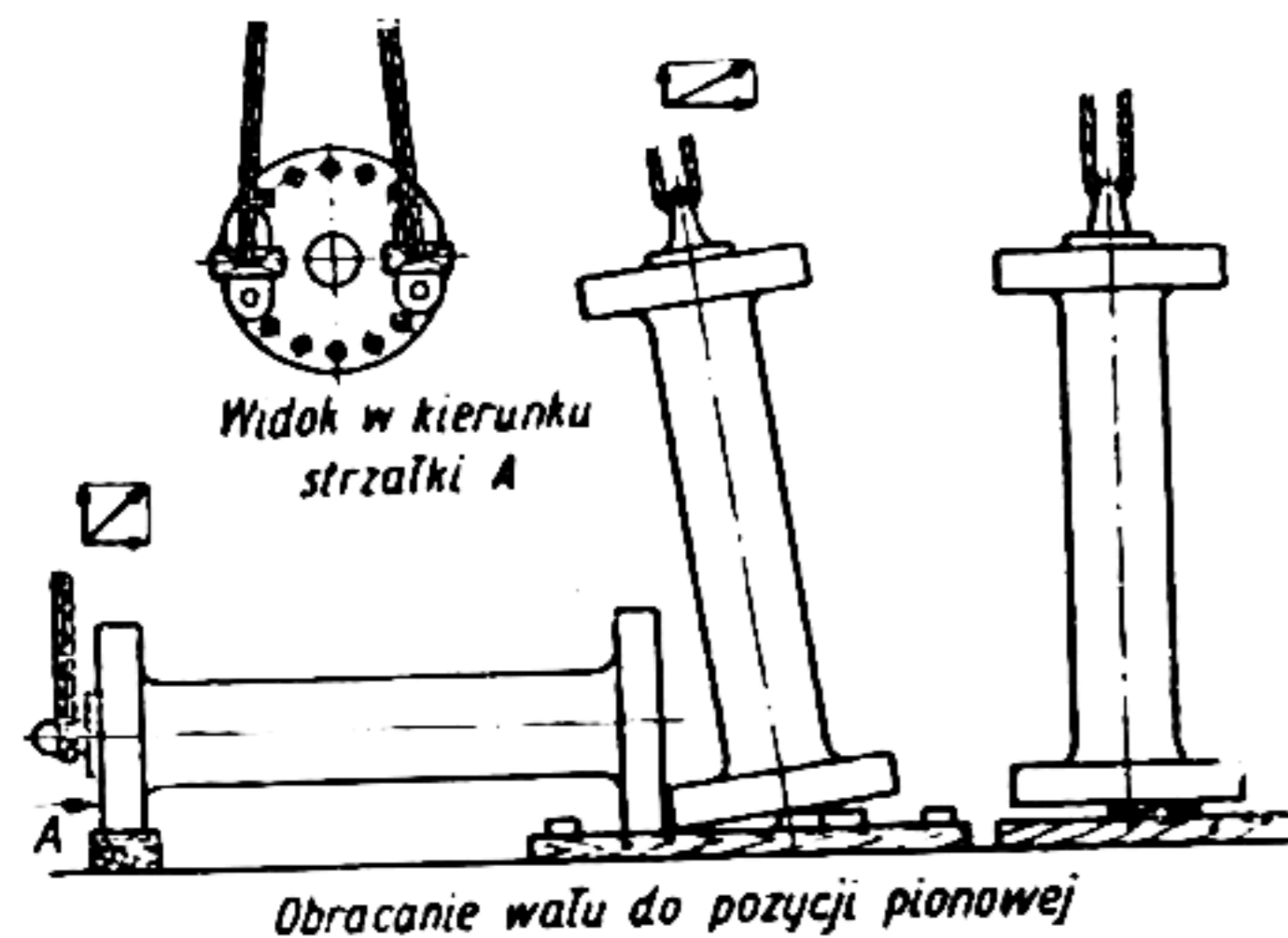
3. Operacje udźwigowe przy wałach turbin wodnych

Przy przenoszeniu wału w pozycji pionowej olinowuje się go za pomocą dwóch martwych pętli, jak to pokazano na rys. 31. W celu ochrony przed uszkodzeniem powierzchnię wału należy posmarować towotem, zaś wał owinąć tekturą i obłożyć deskami, na które dopiero nakłada się pętle lin.

Jeżeli wał mamy obrócić naokoło jego osi w pozycji poziomej (np. w celu oczyszczenia), to pętle powinny znajdować się z boku. Pod kołnierzami wału



Podnoszenie wału w pozycji poziomej Obracanie wału



Widok w kierunku strzałki A

Obracanie wału do pozycji pionowej

Rys. 31. Podnoszenie, obracanie i odwracanie wału turbiny wodnej

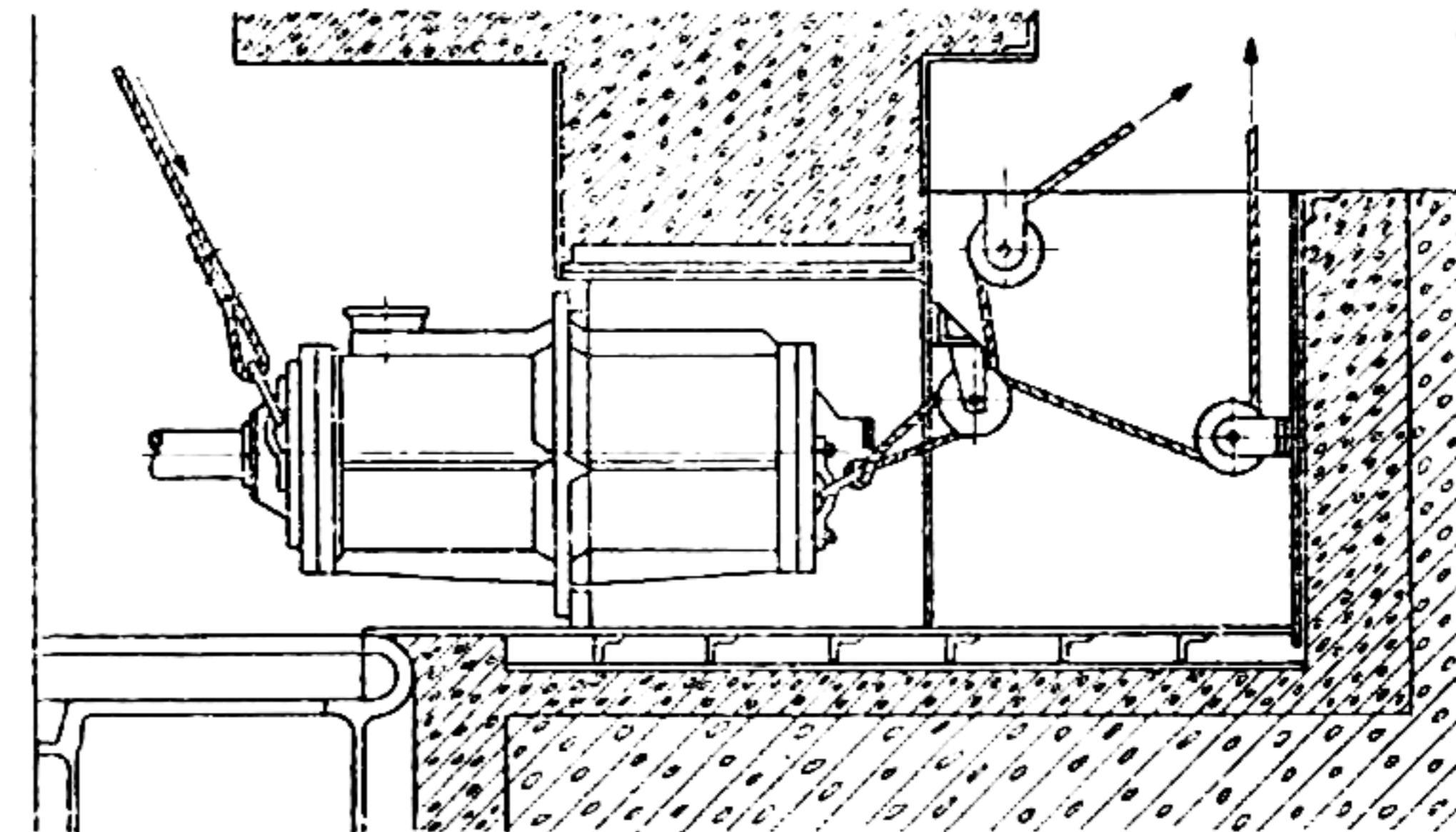
pionowej, powinna znajdować się pod dolnym kołnierzem dodatkowa poprzeczna drewniana podkładka, tak aby wał miał dodatkowe oparcie (rys. 31). Podkładka ta wyklucza możliwość nagłego ruchu wału i ochrania przed uszkodzeniem jego występ centrujący. Po przyjęciu przez wał pozycji pionowej opuszcza się go na równo ułożone podkładki.

Przy olinowywaniu wału turbiny Kaplana w celu opuszczenia go na miejsce zamontowania należy sprawdzić, czy znajduje się on w pozycji pionowej (za pomocą poziomicy lub pionu). Ma to na celu uniknięcie uszkodzenia krawędzi wału lub tłoczyska. Do górnego kołnierza wału, przed transportem, należy przywiązać drabinę, która służy do wchodzenia w celu zluźnienia lin oraz zdjęcia urządzenia transportowego (uch). Ustawienie drabiny w komorze turbinowej bez pomocy dźwigu jest uciążliwe.

4. Operacje udźwigowe przy różnych częściach i mechanizmach turbin wodnych

Konstrukcje stalowe. Przy olinowywaniu i transportowaniu stalowych konstrukcji turbin wodnych, stosowane są szeroko różnego rodzaju uchwyty, kleszcze, chomąta, haki i pętle w połączeniu z haczykami i pętlami (wykonanymi ze stali zbrojonej i prowizorycznie przyspawanymi do podnoszonych części) oraz z poprzeczkami, sporządzonymi z kątowników lub ze stali korytkowej. Do podnoszenia i transportu blachy w arkuszach stosuje się olinowanie specjalne, składające się z trzech odcinków liny o równej długości, których końce zaopatruje się w uchwyty.

Jeżeli komora siłownika stanowi odrębną część konstrukcyjną, to olinowuje się ją przy pomocy dwóch lin, które obejmują komorę od dołu. Po opuszczeniu komory na miejsce przymocowujemy do niej liny przewlekając je przez otwory na śruby fundamentowe znajdujące się w tylnej ścianie komory, a następnie, przy pomocy ciągarki lub wielokrążków, przesuwamy komorę do przeznaczonej dla niej wnęki (rys. 89).



Rys. 32. Wprowadzanie siłownika do jego komory

Ustawienie serwowatorów (siłowników) kierownicy. Serwowator (siłownik) kierownicy w stanie zmontowanym, lecz bez głowicy tłoczyska, tj. dźwigni regulacyjnej, olinowuje się przez nałożenie martwej pętli na jego kadłub. W celu możliwie najlepszego zrównoważenia ciężaru siłownika zawieszono go na linie oraz uniknięcia samorzutnego przemieszczenia się tłoka, przesuwamy ostatni w jego skrajne położenie przy przedniej pokrywie kadłuba siłownika i położenie to ustalamy przez nałożenie na tłoczysko bali, które opierają się z jednej strony o przeciwnakrętkę tłoczyska, z drugiej zaś — o pokrywę kadłuba. W miarę możliwości wprowadzamy siłownik do jego wnęki, a następnie przesuwamy go przy pomocy specjalnych długich śrub szpilkowych, wciągarki lub wielokrążków. Liny wciągarki lub

wielokrążków przewlekamy przy tym przez śruby z uchami znajdujące się na tylnej ścianie kadłuba siłownika (rys. 32).

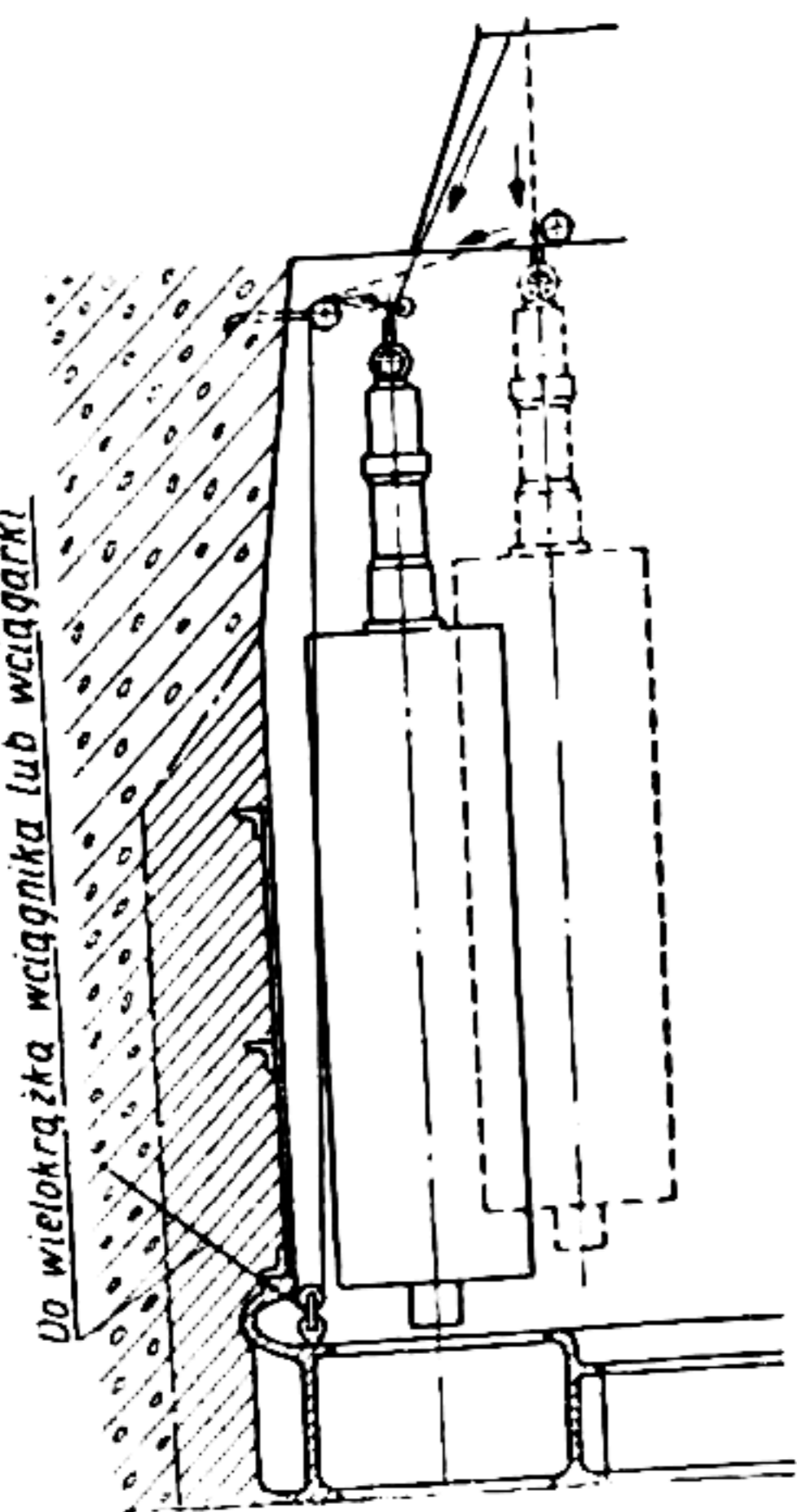
Lopatki kierownicze. Lopatki kierownicze opuszczamy na możliwie najdłuższej linii, którą przewlekamy przez śrubę z uchem, wkręconą w powierzchnię czołową górnego czopa łopatki. Ponieważ fundament prądnicy zazwyczaj nie pozwala na bezpośrednie ustawienie łopatek za pomocą suwnicy, przeto odciągamy je w bok, używając w tym celu wielokrążków lub wciągnika (o ile nim rozporządzamy) oraz krążków i chomat.

W konstrukcjach, w których łopatki ustawia się w pokrywie turbiny od dołu, ustawienie to wykonujemy przez przelinowanie łopatki zawieszanej, przy czym druga lina przechodzi przez gniazdo łożyska w pokrywie turbiny. Następnie górny czop łopatki wprowadza się do pokrywy (części nałożone na czop są przy tym zdjęte), zaś czop dolny ustawia się na jego właściwym miejscu.

Pozostałe części kierownicy montujemy przy pomocy wielokrążków lub wciągnika, używając przy tym krótkich lin oraz haków i śrub z uchwyłami.

Skrzynka regulatora oraz układ olejowy ciśnieniowy. Zbiorniki układu olejowego ciśnieniowego olinowujemy zaczepiając linę o wystające zakończenie płyt fundamentowych, zaś zbiorniki ciśnieniowe tego układu — przewlekając ją przez górną śrubę z uchem lub przez ucha przeznaczone specjalnie do tego celu.

Skrzynki regulatorów i kombinatorów przysyłane są zazwyczaj na miejsce budowy w stanie zmontowanym razem z płytami fundamentowymi, tak że liny zaczepia się zwykle o występy ostatnich. Jeżeli płyty fundamentowe nie są zmontowane ze skrzynkami, to górny wjazd



Rys. 33. Ustawianie łopatek kierowniczych

skrzynek otwieramy i do wnętrza kadłuba zakładamy odcinki stali zbrojeniowej o większych przekrojach lub bale, do których za pomocą martwych pętli (w celu uniknięcia samorzutnego przesuwania się) przymocowujemy liny.

Rurociągi i przekładnie. W robotach udźwigowych przy montowaniu poszczególnych odcinków rurociągu oraz cięgien przekładni stosowane są szeroko, w zależności o ukształtowania rur, rozmaite węzły oraz pętle (patrz tablice 23 i 24).

Przy montowaniu rurociągów w przestrzeni pomiędzy kondygnacjami podciągamy rury na właściwe miejsca przy pomocy wielokrążków lub wciągników i umocowujemy je w przeznaczonych do tego celu uchwytach na

stropach oraz na ścianach budynku lub w otworach służących do przepuszczania rur lub napędów.

§ 16. MONTAŻ DZIELONYCH ELEMENTÓW PIERŚCIENIOWYCH

Do dzielonych elementów pierścieniowych zaliczamy: pierścienie fundamentowe, stojany, dolne i górne pierścienie kierownicy, komory wirników, pokrywy turbin, pierścienie regulacyjne itp.

Ilość członów elementów pierścieniowych uwarunkowana jest względami odlewniczymi, transportowymi, konstrukcyjnymi oraz montażowymi i zazwyczaj przyjmuje się ją równą 2, 4, 6 lub 8.

Dzielone elementy pierścieniowe, zależnie od ich gabarytów oraz sztywności, montuje się albo bezpośrednio na miejscu zainstalowania, albo na placu montażowym, z którego za pomocą suwnicy przenoszone są następnie w całości na to miejsce. Elementy pierścieniowe o średnicy około 5 do 6 m, o ile są dostatecznie sztywne, najlepiej jest montować na placu montażowym, gdyż dogodne warunki pracy na placu pozwalają na znacznie szybsze i lepsze przeprowadzenie tej operacji. Większe elementy pierścieniowe montuje się zazwyczaj na miejscu ich ostatecznego ustawienia, ponieważ w przypadku montażu na placu montażowym olinowanie ich oraz transport za pomocą dźwigów jest bardziej skomplikowany.

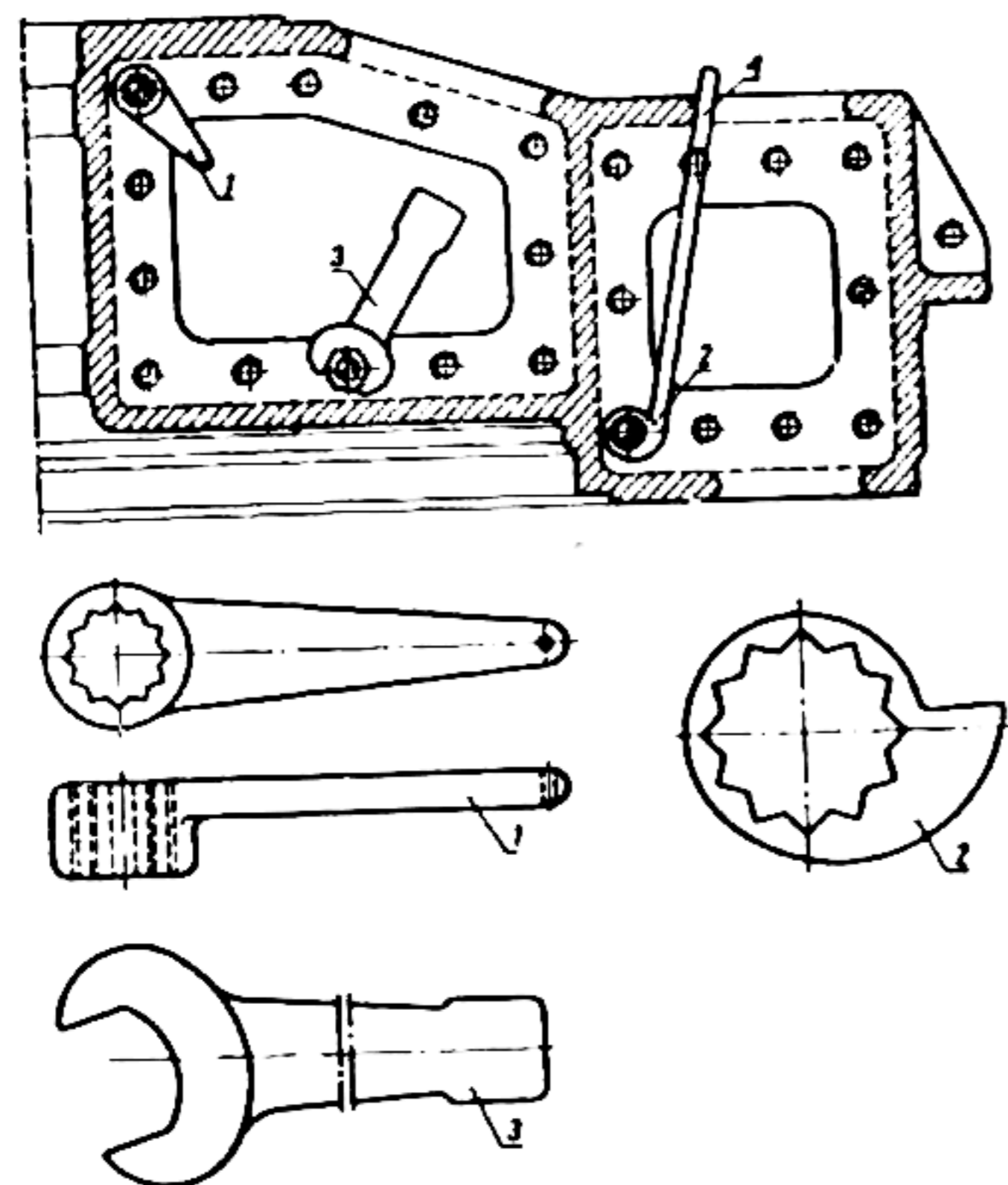
Rozpatrzmy tutaj operacje montażu pierścieni wykonywane na placu montażowym; montaż ostateczny na miejscu ustawienia, opiszemy w rozdziale czwartym i piątym.

Człony pierścieni, zgodnie z ich oznakowaniem, rozkłada się na postumentach, dźwignikach lub na podkładach sporządzonych z drewnianych bali. Pomiędzy członami należy przy tym zachować takie odległości, aby z powierzchni złączy można było usunąć brud oraz zarównać ewentualnie ich zadraśnięcia. Połączenia stykowe i kołnierzone, które mają przylegać do betonu i w których nie przewidziane są specjalne uszczelnienia, tj. uszczelki lub sznury gumowe, powleka się przed montażem pierścieni warstwą minii żelaznej lub ołowiowej. Dotyczy to pierścienia fundamentowego, stojana, komory wirnika, dolnego pierścienia kierownicy turbin Kaplana itp.

Złącza i kołnierze części omywanych przez wodę i nie stykających się z betonem (pokrywa turbiny, kadłub łożyska, górny pierścień kierownicy itp.) powleka się bielą cynkową lub ołowiową.

Człony kierowane za pomocą śrub pasowanych lub kołków ustalających doprowadza się do zetknięcia z sobą przy użyciu suwnicy lub dźwigników i ostatecznie z mocowuje śrubami zwykłymi lub szpilkowymi. Kolejność montowania członów jest następująca: najprzód montuje się osobno człony każdego półpierścienia, a następnie oba półpierścienie z sobą. W zwykłych konstrukcjach nie stosuje się przy tym podkładek pomiędzy poszczególnymi członami. Jeżeli jednak pomiędzy członami pierścieni zaprojektowano podkładki, to przy montażu należy założyć podkładki nowe, o ściśle tej samej grubości co poprzednio.

W pewnych przypadkach śruby znajdujące się na złączach (średnice tych śrub wynoszą od 30 do 70 mm) są trudno dostępne, tak że nie możemy przykręcać ich za pomocą normalnych kluczy. Wówczas do z mocowywania członów elementów pierścieniowych używa się różnych kluczy specjalnych (rys. 34), a mianowicie: klucza dwunastokątnego 1, klucza dwunastokątnego ślimakowego 2 oraz klucza udarowego 3. Przykręcanie śruby za pomocą klucza dwunastokątnego ślimakowego 2 wykonuje się w ten sposób, że uderzamy w pręt 4, który przenosi uderzenie na klucz 2. Podobnie, w celu przykręcenia śruby za pomocą klucza udarowego 3, uderzamy ten klucz po jego rękojeści.



Rys. 34. Zmocowanie członów pokrywy turbiny:
1 — klucz dwunastokątny; 2 — klucz dwunastokątny ślimakowy; 3 — klucz udarowy; 4 — pręt

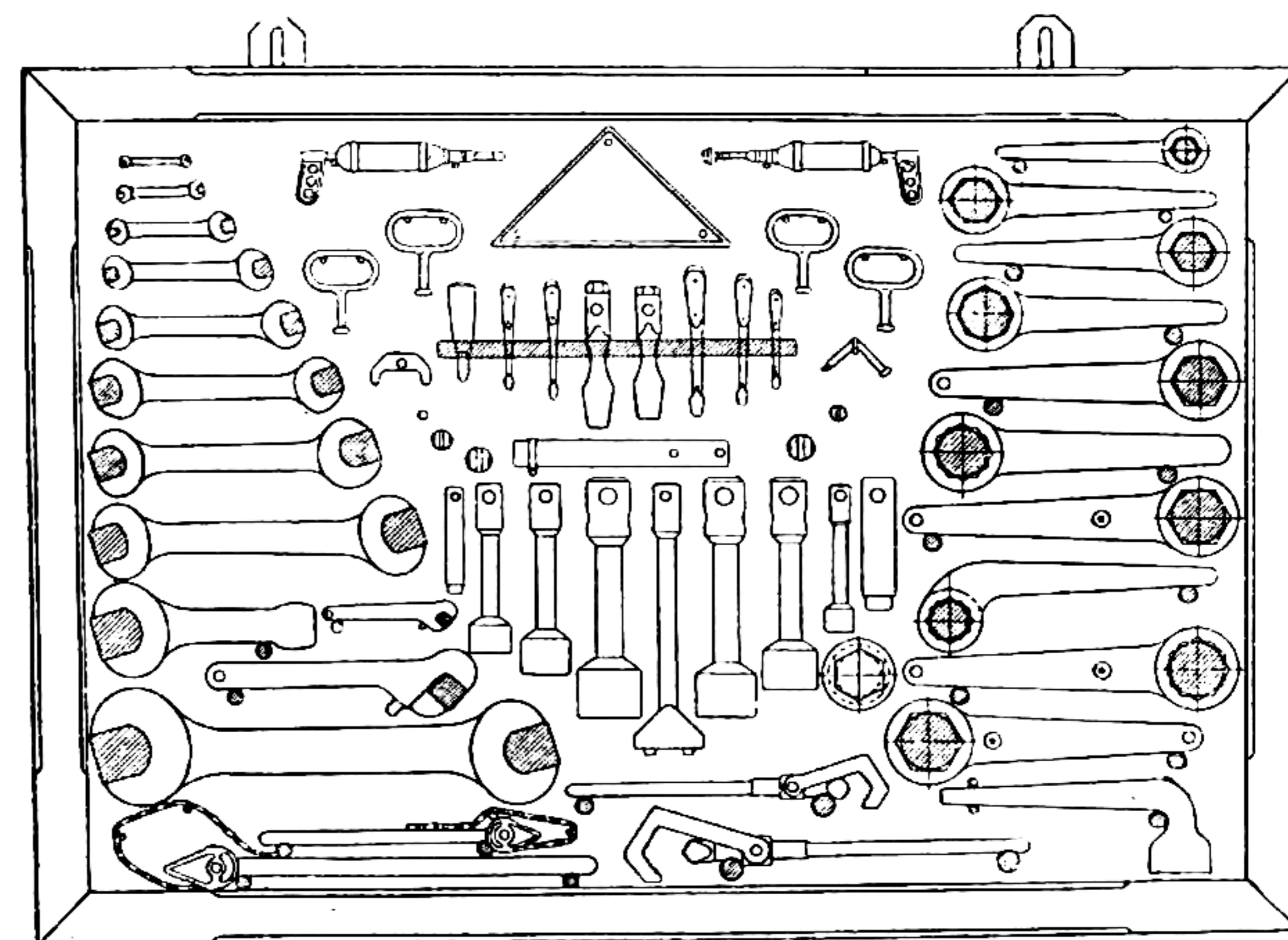
Wszystkie potrzebne klucze umieszczone są na specjalnej desce i dostarcza się je razem z turbiną.

Przy łączeniu członów może się okazać, że odpowiednie otwory nie zgaszają się z sobą, powierzchnie obrobione wystają jedna nad drugą tworząc tzw. uskoki, lub złącza przylegają do siebie tylko w poszczególnych miejscach, co dowodzi że człony uległy odkształceniu. W takich przypadkach półpierścienie rozpiiera się za pomocą belek i dźwigników lub klinów, aż do uzgodnienia otworów pasowanych i w tym stanie półpierścienie te skręca się śrubami.

Pierścień w stanie zmontowanym powinien odpowiadać następującym warunkom:

a) powierzchnie obrobione nie powinny na złączach wystawać jedna nad drugą;

b) powierzchnie złączy powinny ściśle do siebie przylegać;
c) powierzchnie obtoczone powinny posiadać kształt cylindryczny. Odchyłki nie powinny przekraczać wartości podanych w tabl. 46 i 47 (§ 38). Cylindryczność pierścieni sprawdzamy za pomocą średnicówki lub — o ile dopuszczalne odchyłki są większe od 2 mm — za pomocą miarki taśmowej. Cylindryczność można również sprawdzać przeprowadzając kontrolny montaż łączących się ze sobą części pierścieniowych (stojanu z pierścieniem fundamentowym oraz z pokrywą turbiny, komory wirnika z pierścieniem fundamentowym oraz z dolnym pierścieniem kierownicy itp.). W tym przypadku o niecylindryczności świadczy różna szerokość szczelin pomiędzy powierzchniami centrujących zatoczeń i wytoczeń oraz przesunięcie otworów wywierconych w wytwórni na kołki ustalające. Montaż kontrolny przeprowadza się wówczas, gdy mamy wystarczającą ilość miejsca na placu montażowym.

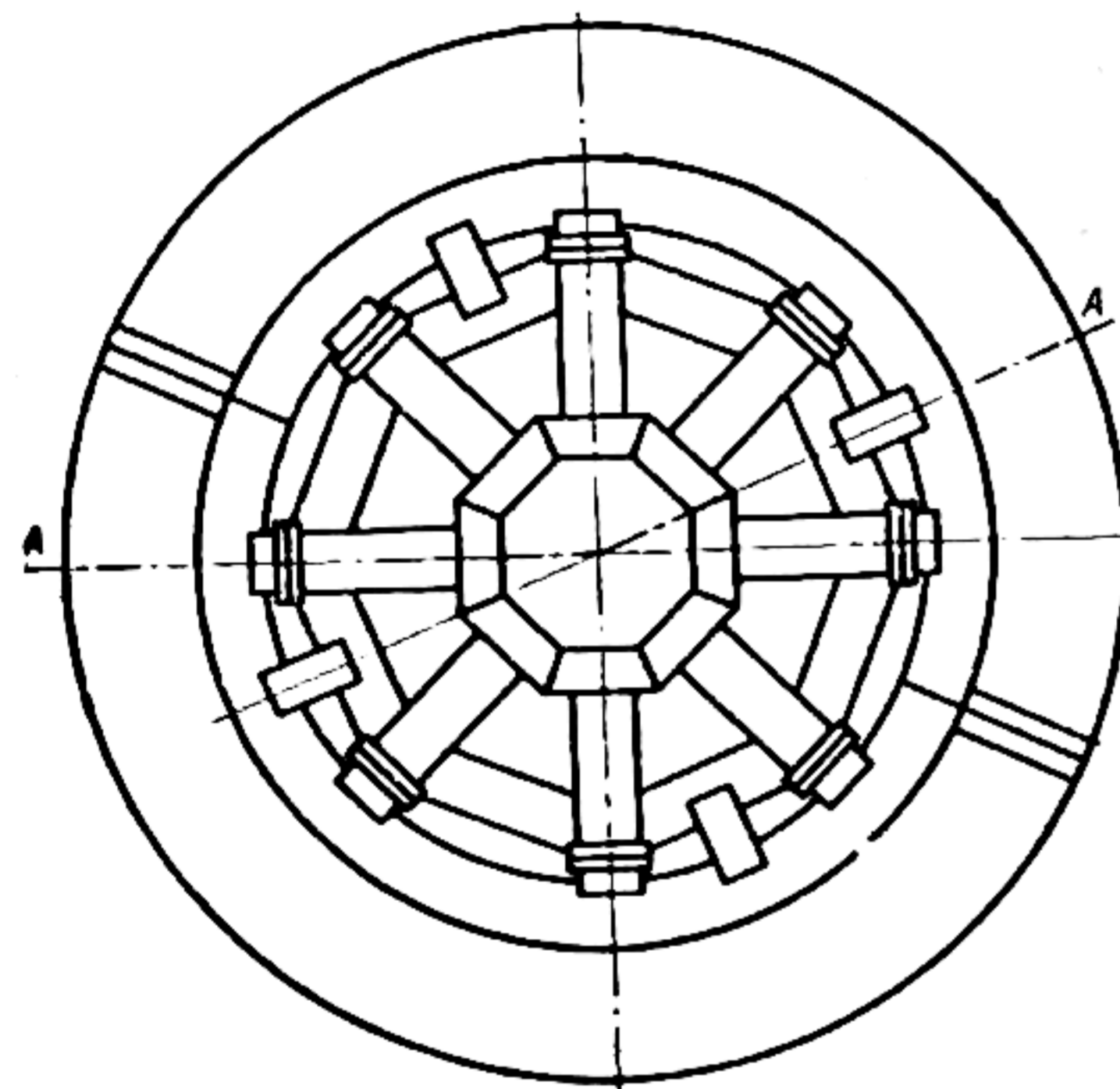
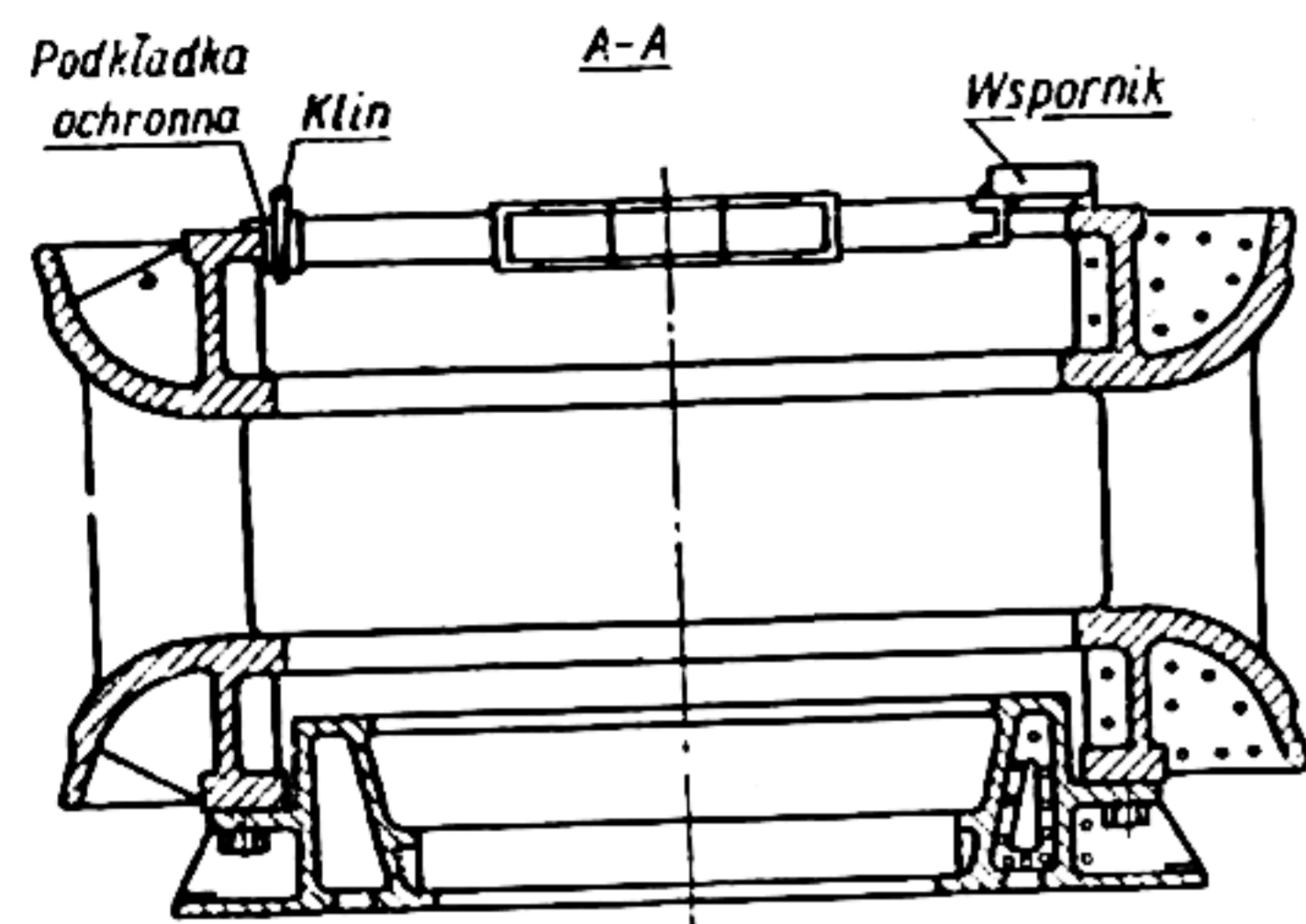


Rys. 35. Deska do kluczy

O ile zmontowane elementy pierścieniowe wykazują większe od dopuszczalnych odchylenia od kształtu cylindrycznego, spowodowane odkształceniami, to kształt tych elementów należy poprawić. Elementy niedostatecznie sztywne (komory wirników, górne pierścienie fundamentowe itp.) poprawia się na miejscu ich ostatecznego ustawienia za pomocą dźwigników oraz ściągów.

Elementy niecylindryczne, sztywne, korygujemy, jak o tym mówiliśmy, za pomocą wewnętrznych rozpór. Jednak o ile sztywność pierścieni jest

znaczna, to rozpieranie przy użyciu belek i dźwigników może okazać się niewystarczające i wówczas używamy specjalnego urządzenia składającego się z belek dwuteowych, zespawanych z sobą w kształcie gwiazdy. „Gwiazdę“ taką sporządza się na miejscu montażu i umieszcza ją wewnątrz pierścienia (np. na rys. 36) wewnątrz stojana), a następnie pierścień koryguje się za pomocą klinów, rozpierając go aż do osiągnięcia zupełnie cylindrycznego kształtu. W takim stanie pierścień zalewa się betonem i dopiero po stwardnieniu ostatniego usuwa się opisane urządzenie. Operacje te przeprowadzamy na miejscu ostatecznego ustawienia pierścienia.



Rys. 36. Korygowanie kształtu stojana za pomocą klinów i rozpory w kształcie gwiazdy

W budowie turbin wodnych rurociągi o średnicach od 40 do 350 mm wykonuje się z reguły spawane, tzn. złącza stykowe rur oraz połączenia kołnierzy z rurami spawa się elektrycznie. Rury dostarczane są przy tym w postaci półfabrykatu odpowiednio wygięte oraz z nadładkiem na długości, zaś całe ułożenie rurociągu i spawanie wykonuje się w miejscu montażu.

Rury stalowe i miedziane, o średnicach mniejszych od 40 mm, znajdujące się na zewnątrz mechanizmów i łączone za pomocą łączników i śrubunków, dostarczane są w postaci półfabrykatów z nadładkami na długości, lecz w odcinkach prostych. Wyginanie tych rur, ich połączenia na gwinty oraz spawanie wykonuje się podczas montażu.

zespawanych z sobą w kształcie gwiazdy. „Gwiazdę“ taką sporządza się na miejscu montażu i umieszcza ją wewnątrz pierścienia (np. na rys. 36) wewnątrz stojana), a następnie pierścień koryguje się za pomocą klinów, rozpierając go aż do osiągnięcia zupełnie cylindrycznego kształtu. W takim stanie pierścień zalewa się betonem i dopiero po stwardnieniu ostatniego usuwa się opisane urządzenie. Operacje te przeprowadzamy na miejscu ostatecznego ustawienia pierścienia.

§ 17. MONTAŻ RUROCIĄGÓW

Rurociągi wchodzące w skład instalacji turbiny wodnej, z punktu widzenia metod oraz kolejności ich montażu, możemy podzielić na następujące grupy: rurociągi fundamentowe, rurociągi znajdujące się w komorze turbiny i rurociągi układu regulacyjnego.

1. Montaż rurociągów spawanych

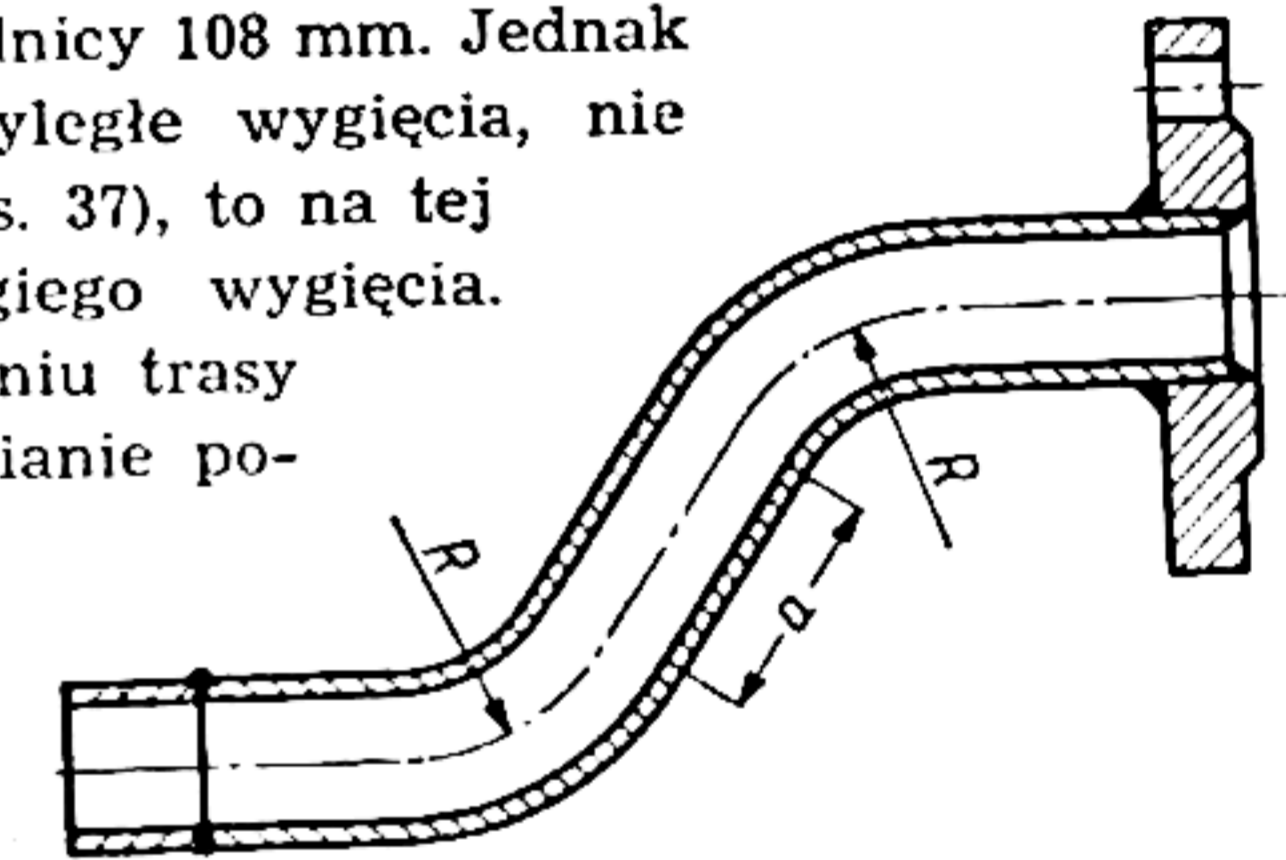
Poszczególne odcinki rurociągu montuje się i dopasowuje w miarę montowania turbiny.

Montaż rurociągu składa się z następujących operacji: przygotowanie rur według szablonów, montaż i spawanie poszczególnych odcinków rurociągu, obróbka kołnierzy, próby hydrauliczne, oczyszczenie rur, ostateczny montaż rurociągu.

Przygotowanie rur według wzorników (szablonów). W celu przygotowania odcinka rurociągu o niewielkiej długości (do 2 lub 3 m) sporządza się na miejscu wzorniki (szablony) z drutu o średnicy 5 do 8 mm, zaś w przypadku odcinków dłuższych (powyżej 3 do 4 m) używa się w tym celu rurek o średnicy 15 do 20 mm, gdyż długie wzorniki druciane nie są dostatecznie sztywne. Według tych wzorników rury wygina się wstępnie lub ostatecznie, zaś nadładki na końcach rur, stosownie do wytrasowania, obcina się za pomocą palnika acetylenowo-tlenowego lub obcinaka.

Rury napelniamy piaskiem i ogrzewamy w palenisku lub za pomocą palników, a następnie ręcznie lub przy użyciu dźwignika wyginamy je na płycie zaopatrzonej w odpowiednie kierownice.

Rury średnich wymiarów najlepiej jest giąć w specjalnej giętarcie. Giętarka do rur konstrukcji przedsiębiorstwa „Centroenergmontaż“ pozwala na gięcie rur na zimno do średnicy 108 mm. Jednak jeżeli rura ma posiadać dwa przyległe wygięcia, nie przedzielone prostym odcinkiem (rys. 37), to na tej giętarcie nie można wykonać drugiego wygięcia. W związku z tym przy projektowaniu trasy rurociągów pożądane jest pozostawianie pomiędzy omawianymi przyległymi wygięciami tego odcinka a , o długości nie mniejszej od 150 mm. Po przygotowaniu rur, montuje się je prowizorycznie.



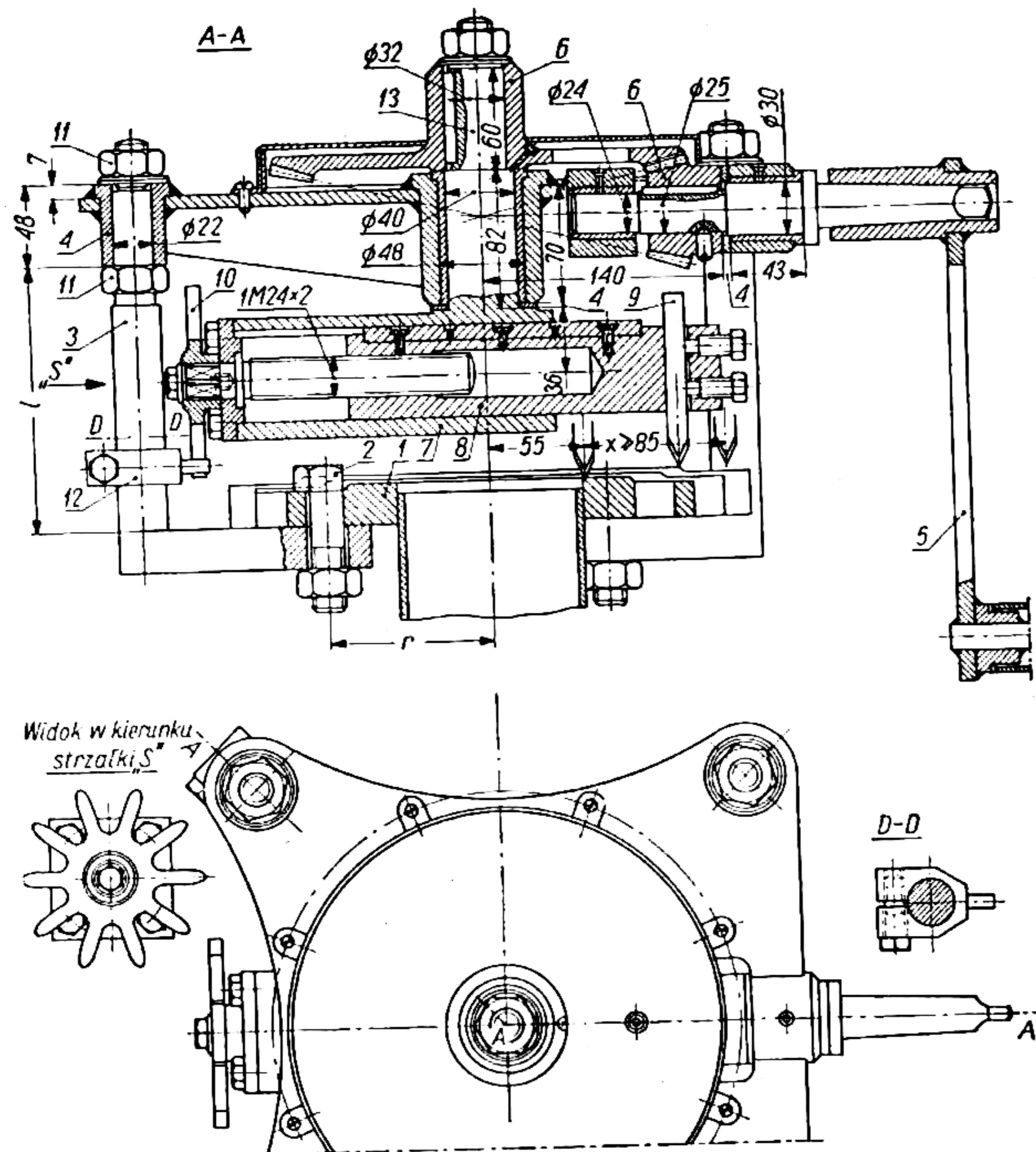
Rys. 37. Właściwe usytuowanie dwóch kolejnych zagięć rury

Montaż oraz spawanie poszczególnych odcinków rurociągu.

Kołnierze znajdujące się na końcach odcinka rury przymocowuje się do miejsc podprowadzenia rurociągu, po czym szepia się je z rurą od strony zewnętrznej i wewnętrznej. Poza tym w taki sam sposób należy szepić kołnierze oraz złącza stykowe znajdujące się w innym miejscu odcinka rury. Następnie odcinek ten zdejmujemy i spawa się ostatecznie kołnierze oraz złącza stykowe rur. Do spawania używa się elektrod typu Э-42, których dane techniczne, przygotowanie złącz do spawania oraz technologię spawania podano w § 18.

Przy dopasowywaniu krótkich i prostych rurociągów długość ich wyrównuje się przez umieszczenie pomiędzy kołnierzami uszczelki o odpowiedniej grubości.

Obróbka kołnierzy. Kołnierze rur odkształcają się zazwyczaj pod wpływem nagrzewania podczas spawania i z tego powodu ich czołowe powierzchnie powinny być po spawaniu obrobione. Obróbka ręczna kołnierzy rur o średnicach powyżej 100 mm jest bardzo pracochłonna i z tego powodu lepiej jest przetaczać te kołnierze za pomocą specjalnego przyrządu, który znacznie zmniejsza tę pracochłonność oraz czas obróbki, szczególnie przy przetaczaniu szeregu jednakowych kołnierzy.



Rys. 38. Przyrząd do obtaczania kołnierzy rur o średnicach od 100 do 200 mm

Ponieważ uniwersalny przyrząd do przetaczania kołnierzy dla rur o średnicach od 100 do 350 mm byłby niewygodny w użyciu, więc produkowane są przyrządy do przetaczania kołnierzy dla rur o średnicach od 100 do 200

mm i od 200 do 350 mm. Na rys. 38 pokazano taki przyrząd dla kołnierzy rur od 100 do 200 mm.

Przetaczanie odbywa się w następujący sposób. Za pomocą czterech śrub 2 mocujących cztery łapy 3 z kołnierzem 1, przymocowuje się przyrząd do kołnierza. Każdą łapę można obracać w tulei 4, wskutek czego uzyskuje się możliwość zmiany promienia r koła podziałowego otworów w kołnierzu. Za pośrednictwem stożkowej przekładni zębatej 6, obracając korbę 5, wprawia się w ruch obrotowy suport 7 wraz z wrzecionem 8, do którego przymocowany jest nóż 9. Nóż otrzymuje posuw od zębatego kółka palcowego 10, które przy każdym obrocie suportu obraca się o jeden ząb wskutek zahaczania o zderzak 12. Zderzak ten przymocowany jest do jednej z łap. Kołnierz ustawiamy prostopadle do osi obrotu suportu zmieniając długość 1 łap 3 przez pokręcanie nakrętek 11. Prostopadłość tę sprawdzamy przy tym za pomocą noża 9.

Opisany tutaj przyrząd można uprościć w ten sposób, że nie stosuje się przekładni zębatej i wówczas suport obraca się za pomocą koła zamachowego, umocowanego wprost na wałku 13. W tym przypadku do obracania tego koła potrzeba dwóch ludzi. Obracać możemy również za pomocą wiertarki pneumatycznej (zamiast korby 5), lecz wówczas przekładnia przyrządu musi być inaczej skonstruowana.

Kołnierze rurociągów niskiego ciśnienia nie wymagają po przetoczeniu dodatkowej obróbki, natomiast kołnierze rurociągów wysokiego ciśnienia, zwłaszcza kołnierze olejowe rurociągu ciśnieniowego, należy sprawdzić na płycie mierniczej i w razie potrzeby odpowiednio dopiłować je i przyskrobać.

Próba hydrauliczna. Rurociąg, po odpowiednim przygotowaniu kołnierzy, powinien być poddany próbie hydraulicznej (wodnej). W tym celu poszczególne jego odcinki o jednakowej średnicy, mające pracować przy jednakowym ciśnieniu, łączymy ze sobą, końce zamykamy prowizorycznie za pomocą zaślepek i przez jedną z nich doprowadzamy wodę pod ciśnieniem z pompy ręcznej. Próbę hydrauliczną wykonuje się z reguły pod ciśnieniem 1,6 razy większym od ciśnienia roboczego. Ciśnienie próbne powinno działać przez 10 minut, z wyjątkiem przypadków specjalnie omówionych. Podczas próby rury pobija się lekkim młotkiem w odległościach 100 do 150 mm od szwów wykonanych za pomocą elektrycznego spawania.

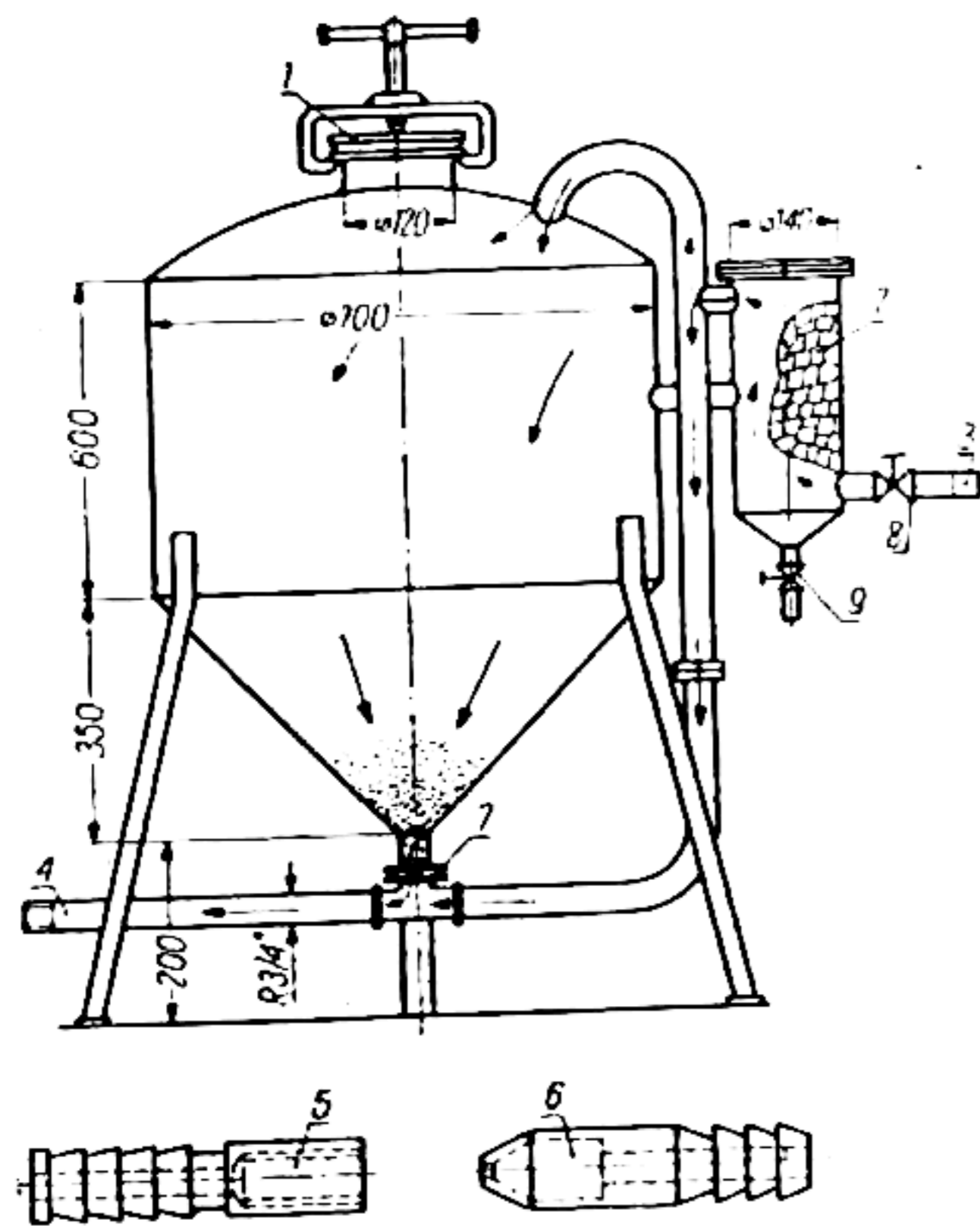
W razie stwierdzenia przecieków wycina się miejsca nieszczelne i spawanie należy wykonać na nowo.

Oczyszczanie rur. Po próbie hydraulicznej wewnętrzne powierzchnie rur powinny być oczyszczone z brudu i zendry. Szczególnie starannie należy oczyścić rury układu regulacyjnego, ponieważ brud, piasek, zendra itp. mogą spowodować uszkodzenia suwaków, tulei oraz popsucie w czasie eksploatacji całego układu.

Rury oczyszczamy przecierając je szczotką i lekko przy tym uderzając w nie młotkiem, a następnie wycieramy do sucha czystymi, niewłochatymi szmatkami, po czym smarujemy olejem.

Opukiwanie oraz przecieranie rur za pomocą szczotek jest czynnością bardzo pracochłonną i nie zawsze zapewnia odpowiedni stopień czystości. Znacznie lepsze wyniki osiąga się oczyszczając rury za pomocą piaskownicy (rys. 39), którą stosunkowo łatwo można sporządzić na miejscu montażu.

Piaskownicę tę napełniamy suchym piaskiem a następnie wsypamy zamykamy pokrywą 1. Do filtru 2 nasypujemy koksu. Zadaniem filtru jest pochłanianie wilgoci zawartej w sprężonym powietrzu, które doprowadzane jest przez króciec 3. Ciśnienie sprężonego powietrza wynosi 5 do 6 kG/cm². Rura wylotowa 4 zaopatrzona jest w nasadkę 5, na którą nasunięty jest wąż gumowy. Na końcu tego węża znajduje się dysza 6, wykonana ze stali odpornej na ścieranie (§ 55). Średnica otworu wylotowego dyszy powinna wynosić 5 do 7 mm. Ilość piasku wydmuchiwanego z piaskownicy w jednostce czasu regulowana jest za pomocą przegrody dławiącej 7, zaopatrzonej w otwór o średnicy 8 do 10 mm. Uruchomienie, zatrzymanie oraz regulowanie piaskownicy dokonuje się za pomocą zaworu 8. Podczas pracy należy co pewien czas



Rys. 39. Piaskownica przenośna

spuszczać wodę z filtru 2 otwierając w tym celu zawór 9.

Przy oczyszczaniu rur o większych średnicach (150 mm i więcej) lepszą wydajność otrzymujemy stosując jednocześnie kilka dysz (2 do 4), wkręconych w specjalną końcówkę.

Po opiaskowaniu przecieramy rury czystymi, suchymi szmatami, przesmarowujemy je olejem i zatykamy prowizorycznie korkami drewnianymi. W pewnych przypadkach opiaskowywanie rur za pomocą piaskownicy lepiej jest wykonać od razu po ich gięciu, ponieważ rury duże, które są spawane i wypróbowane na miejscu w komorze turbiny, trudno jest wyciągać stamtąd i transportować do piaskownicy znajdującej się na zewnątrz budynku siłowni.

Ostateczny montaż rurociągu. W celu uniknięcia drgań rurociągi powinny być pewnie umocowane za pomocą odpowiednich uchwytów. Przy podłączeniu rur do części turbinowych i do mechanizmów oraz przy łączeniu rur między sobą stosujemy uszczelki. Uszczelki te powinny być przygotowane uprzednio. Szczeliwa z których sporządza się uszczelki oraz substancje do

ich smarowania zależą od przeznaczenia rurociągu; podano je w tabl. 30. Uszczelki wycina się za pomocą noża cyrklowego i wycinaków (patrz rys. 184 i 185).

Tablica 30

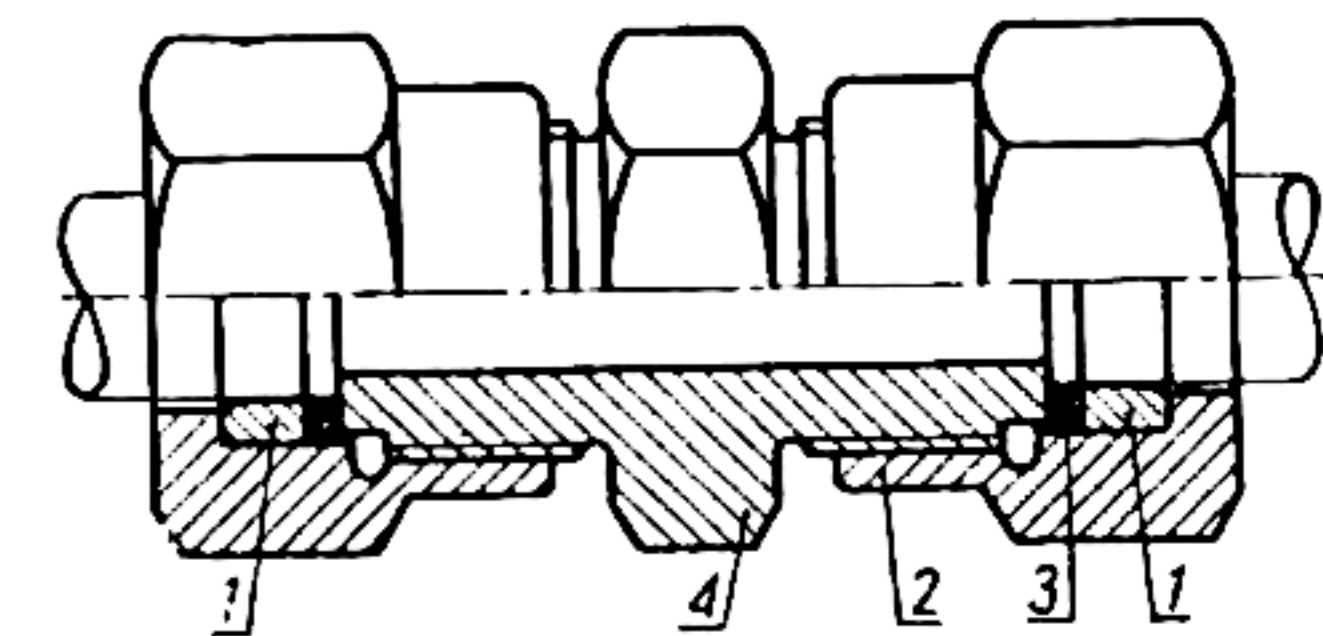
Szczeliwa stosowane w złączach rurociągów

Rodzaj rurociągu	Ciśnienie kG/cm ²	Materiał uszczelki	Grubość uszczelki	Substancje używane do smarowania lub nasywania uszczelki
Rurociąg olejowy ciśnieniowy (kołnierze doskrobane)	30	preszpan	0,5 ÷ 0,6	lakier bakelitowy, szelak
Rurociąg olejowy zlewczy (kołnierze tylko dopasowane)	—	„	1 ÷ 1,5	lakier bakelitowy
Rurociąg powietrzny (kołnierze doskrobane)	30	„	0,8 ÷ 1,0	„
Rurociąg powietrzny (kołnierze tylko dopasowane)	6	guma	3 ÷ 4	—
		preszpan tektura	2 ÷ 3 2 ÷ 3	minia ołowiowa biel cynkowa i ołowiowa
Rurociąg wodny wysokiego ciśnienia (kołnierze powinny być tylko obrobione)	20	preszpan	1,5 ÷ 2	„
Rurociąg wodny niskiego ciśnienia	5	guma	3 ÷ 4	—
		preszpan tektura	2 ÷ 3 2 ÷ 3	minia, oliwa —
Rurociągi olejowe i powietrzne (miedziane) łączone na śrubunki	30	miedź wyzarzana	1,5 ÷ 2	—
Rurociągi wodne łączone na gwint	5	len czesany (nawinięty na gwint)	—	minia ołowiowa biel cynkowa i ołowiowa

2. Montaż rurociągów łączonych na śrubunki

W układzie regulacyjnym, przy średnicach rur mniej więcej do 30 mm, stosuje się przeważnie rury miedziane łączone za pomocą śrubunków. Rury te wygina się ręcznie na zimno według przymiarów (szablonów). Miejsca zagięć należy uprzednio wyzarzyć.

Pierścienie 1 (rys. 40) przylutowuje się do rur miedzianych za pomocą lutu miedziano-cynkowego ПМЦ 48 (48% miedzi). Do rur tłocznych o mniejszych średnicach stosuje się niekiedy lut srebrny ПСр 45 (45% srebra). Do lutowania rur stalowych używa się lutu ПМЦ 54 (54% miedzi).



Rys. 40. Złącze śrubowe

Lutowanie wykonuje się w następujący sposób: miejsce lutowania oczyszcza się i na rurę nawleka nakrętkę 2 oraz pierścień 1, który umocowuje się rozszerzając rurę za pomocą trzpienia. Miejsce lutowania pokrywa się następnie lutem oraz boraksem i nagrzewa je palnikiem acetyleno-tlenowym, lampą lutowniczą lub na ognisku. Po osiągnięciu temperatury topnienia lutu, nagrzewanie należy przerwać. Po ochłodzeniu miejsce lutowania oczyszcza się i opiłowuje, tak aby powierzchnia styku pierścienia 1 z nakrętką oraz powierzchnie miedzianego pierścienia uszczelniającego 3 oraz łącznika 4 ściśle do siebie dolegały. Przed montażem należy rury przedmuchać sprężonym powietrzem oraz przepłukać olejem.

§ 18. SPAWANIE STALOWYCH OSŁON SPIRALNYCH (SPIRALI) ORAZ WYKLADZIN SPORZĄDZONYCH Z BLACHY STALOWEJ

Oslony spiralne (spirale) stalowe spawane dostarczane są nie w całości, lecz w poszczególnych częściach, które ostatecznie montuje się i spawa na miejscu montażu. W § 20 rozpatrzemy metody i sposoby tego montażu.

Zasadniczą metodą spawania jest spawanie elektryczne łukowe przy użyciu elektrod zwykłych lub gatunkowych. Wymagania stawiane przy spawaniu spiral są następujące:

- połączenia spawane powinny być szczelne, aby uniknąć możliwości wymywania betonu wokół spirali oraz naruszenia tym samym wytrzymałości instalacji;
- wytrzymałość połączeń spawanych powinna być taka sama jak metalu, z którego spirala jest wykonana;
- odkształcenia spirali powstałe w wyniku jej spawania powinny być jak najmniejsze;
- połączenia spawane powinny być dostatecznie sprężyste i nie powinny ulegać zniszczeniu wskutek stałego sprężystego odkształcenia spirali w czasie eksploatacji turbiny.

W celu spełnienia tych wymagań, osłony spiralne sporządza się zazwyczaj z blachy ze stali węglowej CT. 3 (GOST 380-50), zawierającej 0,13 do 0,2% węgla. Stal ta, oprócz wymaganych cech wytrzymałościowych, daje się bardzo łatwo spawać dzięki małej zawartości węgla oraz nieznacznej zawartości pierwiastków (łącznie poniżej 1%) tworzących stopy.

Przy większej zawartości węgla, rzędu 0,3%, szybkości ochładzania występujące przy spawaniu wystarczają do częściowego lub zupełnego zahartowania blachy, co znacznie zmniejsza jej podatność na odkształcenia i oprócz tego może wywołać pęknięcia w połączeniach spawanych, szczególnie przy spawaniu grubych blach (o grubości powyżej 25 mm) przy temperaturze poniżej 0°.

Doświadczenie poucza, że spawanie osłon spiralnych (sporządzonych ze stali CT. 3) przy temperaturze poniżej -20° doprowadza do tworzenia się pęknięć w szwie i w metalu spawanym. Aby tego uniknąć, spawanie spirali przy niskich temperaturach należy przeprowadzać tylko pod warunkiem

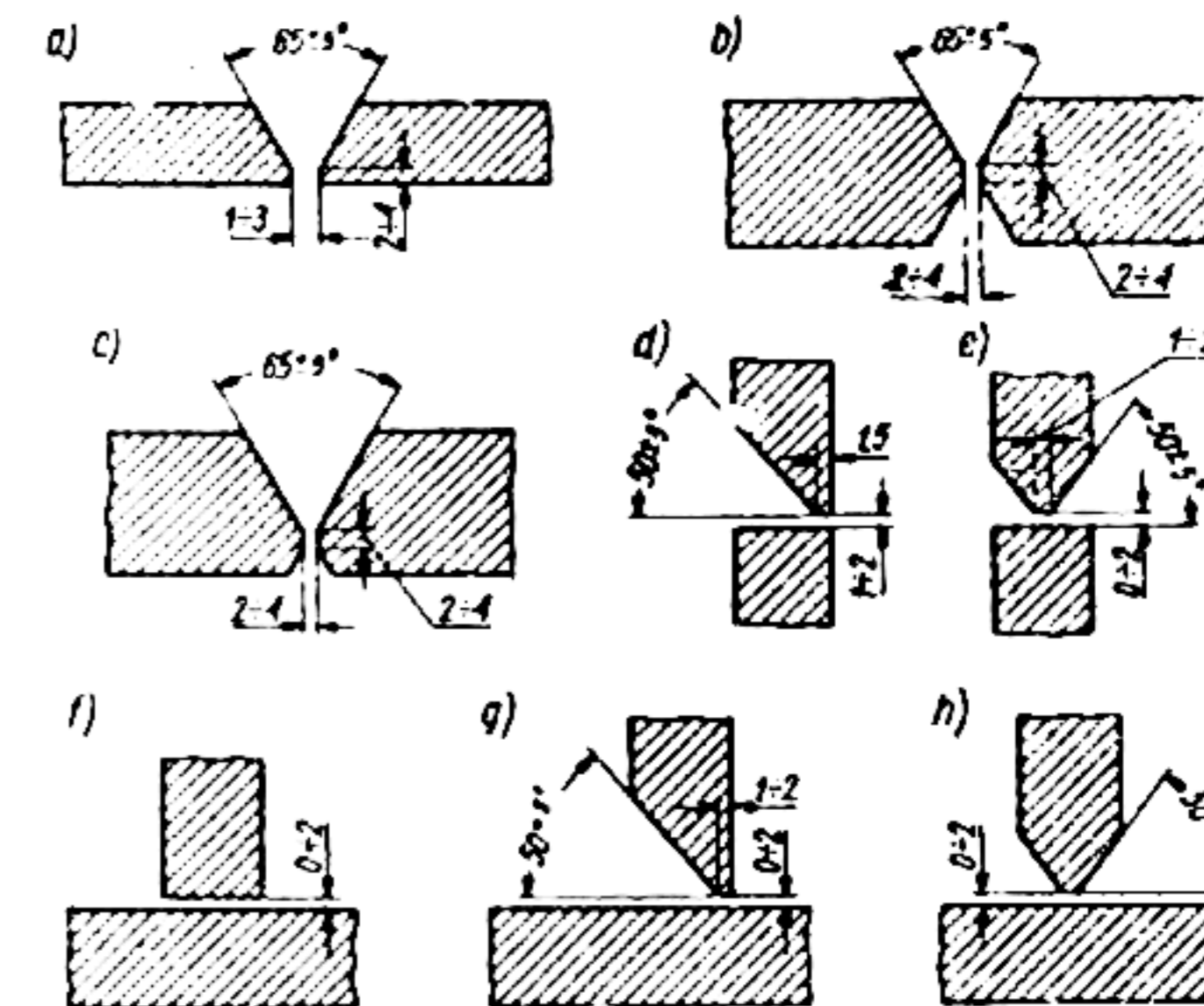
lekkiego podgrzania jej członów do temperatury powyżej zera, przy czym temperatura ta powinna być utrzymana zarówno podczas spawania, jak i podczas ostygnięcia szwu.

1. Przygotowanie złącz do spawania

Jakość połączenia spawanego w znacznym stopniu zależy od starannego przygotowania złącza (brzegów) przed spawaniem.

Konstrukcyjny kształt szwu wskazany jest na rysunkach sporządzonych w wytwórni turbin. W przypadku braku takich wskazań, kształt brzegów obiera się zależnie od typu spawanego połączenia oraz od usytuowania szwu podczas spawania.

Przy połączeniach doczołowych i teowych, spawanych w położeniu podłogowym, naściennym i pułapowym, zaleca się następujące kształty brzegów złącza (rys. 41); przy spawaniu materiału o grubości do 20 mm — złącze w kształcie litery V (rys. 41a), zaś dla grubości powyżej 20 mm — w kształcie litery X (rys. 41b). W celu polepszenia warunków przy spawaniu pułapowym oraz uzyskania jakościowo dobrych połączeń spawanych przy grubościach materiału powyżej 20 mm, złącze winno mieć kształt niesymetrycznej litery X (rys. 41c), z większym rozwarciem brzegów u góry. Taki kształt złącza powiększa nieco zakres robót spawalniczych w porównaniu ze złączem w kształcie symetrycznej litery X, lecz sprowadza do minimum spawanie w położeniu pułapowym.

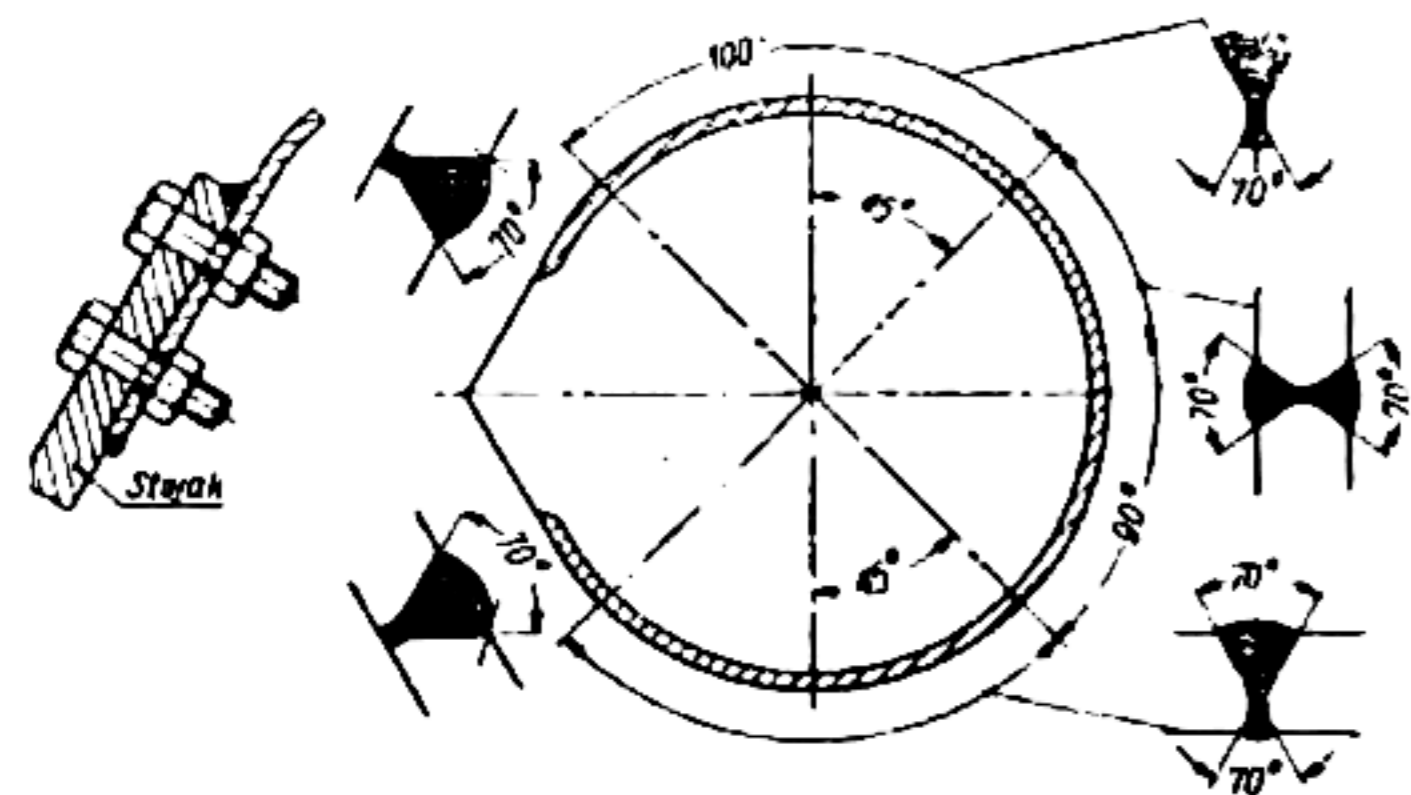


Rys. 41. Złącza przygotowane do spawania

Przy złączach doczołowych, spawanych w położeniu naściennym, zaleca się zaopatrzyć brzegi złącza w jeden skos (rys. 41d) lub w dwa skosy, tworzące literę K (rys. 41e). W obu przypadkach zukosowane powinny być tylko brzegi górnego arkusza blachy, gdyż w ten sposób unikamy ściekania roztopionego metalu. W celu otrzymania całkowitego przetopu arkusza w przypadku wskazanym na rys. 41d, należy szew z odwrotnej strony podciąć (wyciąć tzw. grań) i następnie podpawać.

Przy połączeniach teowych kształt złącza przygotowanego do spawania zależy od charakteru obciążenia. W przypadku, gdy połączenie teowe ma pracować na ścinanie w płaszczyźnie styku, to stosuje się złącze według rys. 41f. Złącza pokazane na rys. 41g i 41h stosuje się w tych przypadkach, w których połączenie ma pracować w warunkach zmiennego obciążenia: rozciągającego i ściskającego.

Na rys. 42 pokazano kształty złącz najbardziej rozpowszechnione przy spawaniu spiral. Kształty te zabezpieczają wymaganą jakość szwu oraz wy-



Rys. 42. Sposób rozmieszczenia szwów członów spirali oraz kształty złącz przygotowanych do spawania

kluczają spawanie w położeniu pułapowym. Z rysunku tego widzimy, że dla uniknięcia spawania w położeniu pułapowym stosuje się na obwodzie kombinowane kształty doczołowych złączy członów spirali.

Brzegi przygotowuje się do spawania za pomocą palnika acetylenowo-tlenowego lub narzędzia pneumatycznego. Przy

ręcznym przygotowaniu brzegów za pomocą tego palnika — w odróżnieniu od sposobu automatycznego — stają się one szorstkie, jednak przy starannym postępowaniu nadają się do spawania. Po obcięciu brzegu palnikiem, należy usunąć występujące zazwyczaj na tym brzegu: szlakę, zendrę i stopiony metal.

2. Pomocnicze materiały spawalnicze

Do spawania osłon spiralnych, wykładzin rur ssawnych, komór turbin, komór silowników itp. używa się elektrod typu 3-42 (GOST 2523-44).

Do tego typu elektrod należą elektrody OMM-2 (TK), OMM-5, IIM-7, YOHHH. Elektrody te pozwalają na otrzymanie następujących mechanicznych cech natopionego metalu, tj. tzw. stopiwa:

Wytrzymałość doraźna na rozerwanie	42 kG/mm ²
Wydłużenie	18%
Udarność	8 kGm/cm ²

Zasadnicze dane tych elektrod podano w tablicy 31. Elektrody OMM-2 oraz IIM-7 dają stopiwa wysokiej jakości, bardzo odporne za starzenie się i o wysokich własnościach plastycznych. Elektrody OMM-5 wykazują jeszcze większe technologiczne wskaźniki spawalnicze, wskutek czego są coraz powszechniej stosowane.

Elektrody YOHHH odznaczają się wysokimi technologicznymi wskaźnikami spawalniczymi i bardzo wysokimi mechanicznymi własnościami stopiwa. Wadą ich jest

Tablica 31

Elektrody typu 3-42 (GOST 2523-44)

Rodzaj elektrod	Średnica elektrody nieotulonej (drułu) mm				Temperatura wyżarzania °C	Ciężar otuliny w % ciężaru drutu
	3	4	5	6		
Średnica elektrody łącznie z otuliną mm						
OMM-5	4,2 ÷ 4,6	5,7 ÷ 6,2	7,1 ÷ 7,7	8,2 ÷ 8,8	150	25 — 28
IIM-7	4,9 ÷ 5,5	6,0 ÷ 6,6	7,2 ÷ 7,9	8,4 ÷ 9,1	180	28 — 32
OMM-2	4,0 ÷ 4,4	5,3 ÷ 5,8	6,8 ÷ 7,4	7,9 ÷ 8,5	150	25 — 28
YOHHH	4,7 ÷ 5,1	5,9 ÷ 6,4	7,1 ÷ 7,6	8,1 ÷ 8,7	300 — 350	25 — 30

natomiast, to że przy spawaniu wymagają wyłącznie prądu stałego. W razie zastosowania prądu zmiennego, otulina elektrod YOHHH nie zapewnia stabilizacji napięcia, wskutek czego łuk często gaśnie.

Większość elektrod zaopatrzonych w otulinę (OMM-2, OMM-5 oraz IIM-7) jest higroskopijna, tj. bardzo energicznie pochłaniają one wilgoć z otaczającego powietrza. Elektrody zawilgocone powyżej normy wykazują gorsze własności technologiczne i dają złe, porowate, szwy, o gorszych wskaźnikach mechanicznych. Aby zapobiec zawilgacaniu elektrod, należy trzymać się ściśle następujących podstawowych prawideł:

a) Elektrody powinny być przy przewożeniu starannie opakowane; elektrody wiążą się w pęczki 5-kilogramowe, które owijają się w papier nieprzemakalny i wkładają do skrzyń drewnianych (ciężar skrzyni łącznie z elektrodami powinien wynosić od 25 do 30 kG).

b) Elektrody należy przechowywać w suchym pomieszczeniu, na półkach lub stalugach.

Elektrody zawilgocone należy przed ich użyciem wygrzać w piecu przy temperaturze 120 do 125° w ciągu dwóch do trzech godzin.

Wszystkie elektrody przesyłane na miejsce montażu powinny być zaopatrzone w zaświadczenia, w których podaje się: średnicę oraz rodzaj elektrod, warunki spawania (rodzaj prądu, biegunowość, natężenie prądu), rodzaj otuliny oraz datę jej sporządzenia.

Elektrody OMM-2, IIM-7 oraz OMM-5 mogą być przechowywane nie dłużej niż przez sześć miesięcy. Często należy przeprowadzać badania kontrolne własności mechanicznych stopiwa elektrody. W pewnych przypadkach badania mechaniczne stopiwa można zastąpić przez technologiczne wypróbowanie elektrod.

Wypróbowanie to przeprowadza się pod nadzorem doświadczonego inżyniera spawalnika lub mistrza spawalniczego. Polega ona na napawaniu szwu na płaskowniku, na spawaniu dwóch płaskowników na zakładkę, lub też na spawaniu złącza w kształcie litery V oraz na spawaniu doczołowym dwóch płaskowników o grubości 10 do 12 mm. Podczas napawania i spawania płaskowników obserwuje się proces topnienia elektrod. Elektrody powinny spełniać następujące warunki:

a) łuk elektryczny powinien się łatwo zapalać i powinien palić się równomiernie, bez nadmiernego rozbryzgiwania metalu i szlaku;

b) otulina elektrod powinna topić się równomiernie i jednocześnie ze stalowym rdzeniem elektrod, przy czym podczas topnienia nie powinna odpadać kawałkami;

c) napawany metal (stopiwo) powinien równomiernie pokrywać się szlaką; po ochłodzeniu szlaka powinna dać się łatwo usunąć;

d) spoina nie powinna posiadać pęknięć i por;

e) płaskowniki na zakładkę lub połączenia w kształcie litery V powinny być spawane dwuwarstwowym szwem z jednej strony.

Po zniszczeniu połączenia należy zbadać spoinę. Powinna ona posiadać budowę drobnoziarnistą, bez por i wtrąceń szlaku. Z płaskowników spawanych do czoła wycina się próbki o szerokości 13 do 18 mm, które bada się na zginanie. Kąt zgięcia nie powinien być mniejszy od 120°.

W szeregu przypadków trzeba sporządzać elektrody na miejscu montażu. Proces otulania elektrod składa się z: przygotowania drutu, przygotowania składników otuliny (suszenie, rozdrabnianie), przygotowania mieszanki otulinowej, naniesienia otuliny, suszenia i wyżarzania.

Elektrody OMM-5, IIM-7, OMM-2 i YOHHH sporządza się z drutu elektrodowego spełniającego wymagania normy GOST 2246-43 (druć I, IA i II). W tabl. 32 podano skład chemiczny drutów tego rodzaju.

Powierzchnia drutu powinna być czysta, nie pokryta rdzą, brudem i olejem.

Drut oczyszcza się a następnie tnie się go na pręty o długości 450 mm, które prostuje się.

Przygotowanie składników otuliny polega na ich rozdrobnieniu na kawałki o objętości 1 do 3 cm³, zmieleniu w młynach kulowych, przesianiu produktów

przemiału przez drobne sito i na tzw. pasywacji, tj. na powierzchniowym utlenieniu stopów żelaza (żelazomangan wyżarza się jedną godzinę w temperaturze 300 do 350°C, zaś żelazokrzem — jedną godzinę w temperaturze 700 do 800°C). Składniki, po ich zmieleniu i przesianiu, odważa się odpowiednio do składu otuliny (tabl. 33), następnie starannie miesza z sobą i zarabia ze szkłem wodnym.

Po naniesieniu otuliny suszy się elektrody przez jedną dobę w temperaturze pokojowej, a następnie wyżarza w temperaturze podanej w tabl. 31.

Tablica 32

Skład chemiczny drutu na elektrody

Rodzaj drutu	Skład %						S	P
	C	Mn	Si	Cr	Ni	nie więcej niż		
I	< 0,10	0,35—0,60	< 0,03	< 0,20	< 0,30	0,04	0,04	
IA	< 0,10	0,35—0,60	< 0,03	< 0,15	< 0,25	0,03	0,03	
II	0,11—0,18	0,35—0,60	< 0,03	< 0,20	< 0,30	0,04	0,04	

Tablica 33

Skład masy do otulania elektrod

Nazwa składników	Rodzaj elektrod			
	OMM-5	ЦМ-7	OMM-2	УОНИИ
Zawartość składników %				
Ruda tytanowa	37	—	20,8	—
Ruda manganowa	24	—	29,1	—
Żelazomangan	17	30	16,8	2
Szpat polny	13	—	—	—
Mączka ziemniaczana	9	5	12,5	—
Hematyt	—	33	—	—
Granit	—	32	—	—
Bentonit	—	0,1—1	—	0,3—1
Kaolin	—	—	20,8	—
Marmur	—	—	—	53
Fluoryt	—	—	—	18
Żelazotytan	—	—	—	15
Żelazokrzem	—	—	—	3
Kwarc	—	—	—	9
Szkło wodne (w % wagowych suchej masy otuliny)	25—30	25—30	28—32	30

3. Spawanie osłony spiralnej

W przebiegu montażu bardzo ważne jest przestrzeganie prawidłowej kolejności składania i spawania poszczególnych członów osłony. Każdy następny człon należy składać i przygotowywać do spawania dopiero po ukończeniu przypawania poprzedniego członu na długości co najmniej 50% długości szwu. Taka kolejność pozwala uniknąć spawania członów

sztywno z sobą zmocowanych a tym samym zapobiega pękaniu szwów i powstawaniu nadmiernych naprężeń.

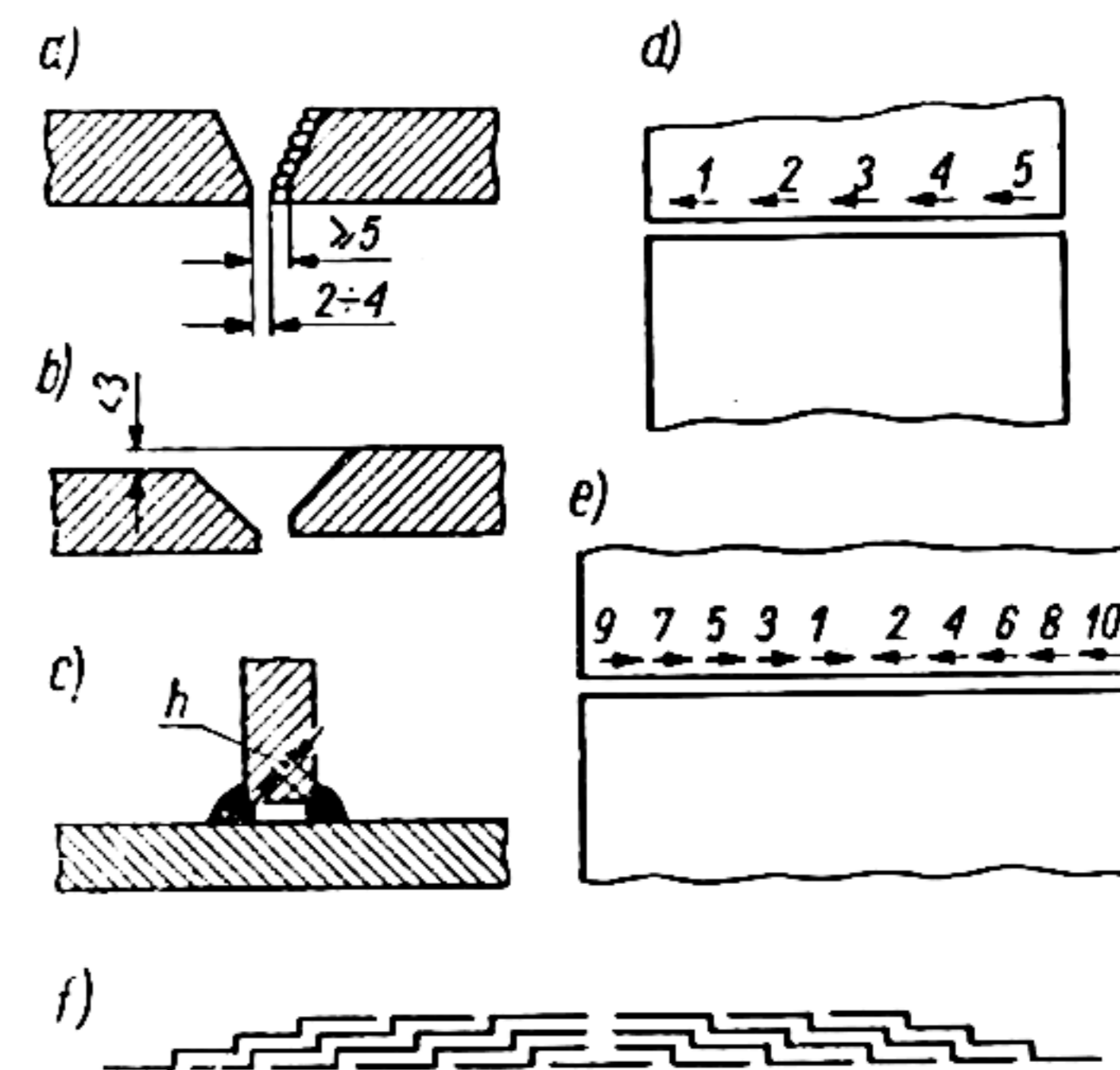
Przy składaniu członów ze sobą, szepia się je miejscami oraz przypawa nakładki montażowe, śruby i kątowniki (§ 20). Szepianie powinno być starannie wykonane, gdyż przy dalszym spawaniu nie wydłutowuje się miejsc szepień, lecz pozostawia je jako części szwu. Miejsca te nie powinny wykazywać pęknięć, nieprzetopów oraz porów. Nie zaleca się szepiania w pobliżu szwów czołowych. Do szepiania używamy tych samych elektrod jak do spawania właściwego.

Należy wziąć pod uwagę, że bezpośrednie stykanie się brzegów blach, czyli brak szczeliny pomiędzy nimi, podobnie jak i zbyt szerokie szczeliny, wpływają szkodliwie na jakość spawanego szwu, ponieważ kurczeniu się napawanego metalu (stopiwa) w tych miejscach, w których szczelina jest zbyt szeroka, przeciwdziałają brzegi stykające się w innych miejscach. Wskutek tego powstają w szwie duże naprężenia, które mogą doprowadzić do pojawienia się pęknięć. Również należy zwrócić uwagę na to, aby tępe ścięcia (granie) posiadały jednakową szerokość na całej długości złącza (normalnie szerokość ta wynosi 2 do 4 mm), gdyż w przeciwnym przypadku doprowadza to niekiedy do niestopienia się metalu w głębi spoiny.

W razie, gdy w pewnych miejscach, grubość szczeliny jest większa od 5 mm, należy uprzednio nadspawać jeden brzeg (rys. 43a) w celu uzyskania normalnej szerokości szczeliny. Przesunięcie brzegów, pokazane na rys. 43b, w przypadku blach o jednakowej grubości, nie powinno przekraczać 10% grubości blachy i nie powinno być większe od 3 mm.

Przy spawaniu złączy czołowych występuje skurcz poprzeczny, którego wielkość zależy od grubości spawanych części, jakości montażu (szerokości szczeliny) oraz od sposobu i kolejności spawania. Tabl. 34 podaje orientacyjne dane dotyczące skurczu poprzecznego przy elektrycznym spawaniu łukowym.

W celu wyrównania łącznego skurczu wszystkich spoin ostatni człon „zamykający“ spiralę dostarczany jest z odpowiednim naddatkiem, który odpowiednio do potrzeby obcina się na miejscu montażu.



Rys. 43. Szczegóły złączy i sposoby nakładania szwów przy spawaniu spirali

Tablica 34

Poprzeczny skurcz szwów czołowych wykonanych za pomocą łuku elektrycznego (dane orientacyjne)

Grubość złącza (blachy) mm	Rodzaj złącza	Skurcz poprzeczny mm	
		Przy spawaniu za pomocą elektrod $\Xi-34$	Przy spawaniu za pomocą elektrod $\Xi-42$
4-8	W kształcie litery V	1,0	1,2
8-12	" " V	1,5	1,7
12-20	" " V	2,0	2,3
15-20	" " X	1,5 ÷ 1,8	1,7 ÷ 2,0
20-30	" " X	1,7 ÷ 2,0	2,0 ÷ 2,5

Natężenie oraz rodzaj prądu elektrycznego stosowanego przy spawaniu zależą od rodzaju oraz grubości elektrod. Odpowiednie dane umieszczono w tabl. 35.

Tablica 35

Rodzaj prądu elektrycznego stosowanego przy spawaniu elektrycznym łukowym

Rodzaj elektrod	Rodzaj prądu	Średnica elektrody nieotulonej mm			
		3	4	5	6
		Natężenie prądu A			
OMM-5	Zmienny lub stały	100 ÷ 120	150 ÷ 200	200 ÷ 280	250 ÷ 320
ЦМ-7	" "	100 ÷ 120	150 ÷ 200	200 ÷ 280	—
OMM-2	" "	100 ÷ 120	160 ÷ 220	240 ÷ 280	260 ÷ 320
YOHIII	Stały, odwrotna biegunowość	90 ÷ 120	150 ÷ 200	200 ÷ 280	240 ÷ 320

Przy przygotowywaniu do spawania złącz teowych należy zwrócić uwagę, aby szczeliny nie były szersze od 1 do 2 mm. O ile szerokość ta jest większa, zaś wymiar przyprostokątnej szwu (rys. 43c) pozostaje ten sam, to zmniejsza się pracująca wysokość szwu h , a zatem jego wytrzymałość. W związku z tym, że w gotowej spirali na podstawie zewnętrznych oględzin nie można określić rzeczywistego pracującego wymiaru tej przyprostokątnej, zaleca się przed spawaniem przeprowadzić staranne sprawdzenie odpowiedzialnych złącz teowych.

Przy spawaniu członów oraz przy przypawaniu części wymiary wszystkich złącz powinny odpowiadać przekrojom pokazanym na rysunkach. Przed spawaniem należy sprawdzić: kształt złącza, szerokość szczeliny i szerokość grani, wielkość ewentualnego przesunięcia blach względem siebie (rys. 43b) i jakość szczytów, które nie powinny wykazywać pęknięć. O ile szczyty są źle wykonane, należy je usunąć. Złącza powinny być dobrze oczyszczone z brudu, rdzy i oleju, przy czym powierzchnię blach na odległości 10 do 15 mm od krawędzi szczeliny należy oczyścić aż do metalicznego połysku.

W celu zmniejszenia naprężeń w osłonie spiralnej spawanej należy poszczególne człony spawać w ściśle ustalonej kolejności. Przede wszystkim spawa się wszystkie podłużne szwy członu, a następnie szwy pierścieniowe. Pożądane jest, aby szwy podłużne każdego poszczególnego członu były spawane przed ostatecznym zmontowaniem członów z członami. W tym przypadku bowiem, przy skurczu szwów, blachy mają możliwość pewnego przemieszczania się.

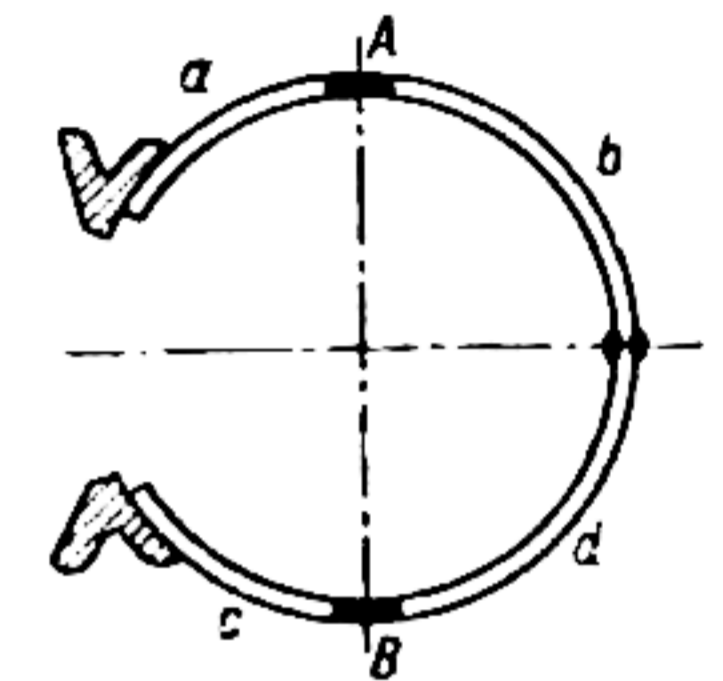
Blachy o grubości do 15 mm spawa się ścięciem przerywanym krokowym (rys. 43d) (kolejne odcinki wykonuje się w kierunku przeciwnym do kierunku narastania spoiny), zaś przy długości szwu powyżej 1 m — ścięciem przerywanym krokowym odwrotnym (rys. 43e), w kierunku od środka szczeliny do jej końców. Przy grubościach powyżej 15 mm zaleca się stosować szew krokowy odwrotny, wielowarstwowy (rys. 43f).

Człony powinny być spawane jednocześnie przez kilku spawaczy (2 do 4). W ten sposób osiągamy wzdłuż linii styku równomierny skurcz poprzeczny (rys. 43f).

Blachę o grubości powyżej 25 mm zaleca się spawać szwem wielowarstwowym, a to w celu uniknięcia powstawania pęknięć. O ile pracuje dwóch spawaczy, to cały szew pierścieniowy dzieli się na cztery części (rys. 44). Spawanie rozpoczynamy spawając cały przekrój złącza w miejscu połączenia odcinków a i b oraz c i d . Długość spojonego odcinka (A lub B) powinna wynosić nie mniej niż 300 mm. Następnie spawa się cały okrągły szew. Jeden spawacz spawa odcinek b , drugi zaś — odcinek c . Po spawaniu tych odcinków, spawacze przechodzą na odcinki a i d , które spawają tą samą metodą. O ile pracuje czterech spawaczy, to również z początku spawa się całkowicie odcinki A i B , a następnie każdy spawacz spawa swój odcinek.

W celu zmniejszenia skurczu szwów wywołującego znaczne naprężenia poprzeczne, spawanie należy przeprowadzać przy normalnym natężeniu prądu, a w pewnych przypadkach nawet przy natężeniu obniżonym mniejszym od normalnego. Normalne natężenie prądu spawania powinno równać się średnicy elektrody, tj. średnicy drutu, wyrażonej w milimetrach, pomnożonej przez 50 do 55, zaś natężenie obniżone — tejże średnicy pomnożonej przez 40 do 45. Przy natężeniach mniejszych od normalnego nie należy zbyt silnie lokalnie nagrzewać przedmiotu spawanego. Z tego względu spawanie powinno być przeprowadzone etapami umożliwiającymi ochładzanie się tego przedmiotu.

W celu zapewnienia przewidzianej wytrzymałości złącza czołowego należy przetopić metal całkowicie, tj. w całej jego grubości. Osłabienie złącza spawanego, spowodowane jego częściowym tylko przetopieniem, jest wynikiem nie tylko mniejszego w tym przypadku przekroju szwu, lecz głównie przyczyną tego osłabienia jest spiętrzenie naprężeń w miejscu, w którym



Rys. 44. Sposób nakładania szwu na złączo o kształcie pierścieniowym

metal nie został przetopiony. Nieprzetopienie występuje najczęściej na końcu szwu.

W celu uniknięcia tego zjawiska należy złącze podciąć z przeciwnej strony, aż do czystego metalu. Nie wolno dopuszczać do podpawania złącza bez uprzedniego starannego jego podcięcia.

O ile w spawanym szwie pojawi się pęknięcie, to należy wywiercić otwory na końcach tego pęknięcia. Ma to na celu ujawnienie granic pęknięcia oraz uniknięcie dalszego pęknięcia. Po wywierceniu otworów pęknięcie całkowicie wycinamy i przygotowujemy je do spawania.

W celu zniesienia naprężeń wewnętrznych zaleca się, aby przy spawaniu pęknięcia przekuwać każdą warstwę szwu, przy czym nie należy przekuwać ostatniej warstwy, gdyż takie kucie metalu na zimno powoduje powiększenie się kruchości szwu. Kruchość metalu spowodowana przekuwaniem dolnych warstw szwu znika wskutek napawania następnej warstwy. Przekuwać należy dopiero po ostygnięciu stopiwa.

Należy mieć na uwadze, że nadmiar stopiwa pogarsza jakość spawanego złącza, ponieważ w przypadku nagłego przejścia stopiwa w metal spawany, naprężenia spiętrzają się. Z tego powodu w zależności od grubości spawanych blach, nadlew na spoinie nie powinien wystawać ponad powierzchnię metalu więcej niż o 2 do 4 mm, i nie powinien być szerszy od szczeliny więcej niż o 2 do 3 mm.

4. Kontrola i badanie szwów osłony spiralnej

Podczas spawania i po jego zakończeniu należy sprawdzać jakość spawanej osłony spiralnej.

Szczelność szwów sprawdzamy używając do tego celu nafty lub przeprowadzamy próbę wodną.

Przy sprawdzaniu za pomocą nafty, szew powlekamy od spodu roztworem mydła w wodzie i po wyschnięciu nakładamy na jego odwrotną stronę tj. górną, szmaty obficie przesiąknięte naftą. Nafta dobrze przenika przez wszystkie nieszczelności i o ile metal nie został przetopiony na wskroś, występuje na odwrotną stronę szwu, tworząc na warstewce mydła tłuste plamy. Wykryte w ten sposób nieszczelności usuwa się w następującej kolejności; wycina się miejsca nieszczelne, usuwa się naftę przez przemycie ługiem lub wypalenie za pomocą palnika gazowego, spawa się miejsca wydłutowane.

Wady wewnętrzne, a więc: brak przetopu, wewnętrzne pęknięcia, porowatość nie przechodzącą na wskroś, ujawniamy przez nawiercenie stożkowych zagłębień. Zagłębienia te następnie wytrawiamy i spawamy. Nawiercać należy za pomocą wiertła o średnicy większej o 2 do 3 mm od szerokości wykrytego wadliwego miejsca.

Kontrola za pomocą nawiercania nie może jednak dać charakterystyki jakości całego szwu i dlatego w celu stwierdzenia rozmiarów wykrytej wady należy nawiercić szew w obie strony od pierwszego nawiercenia. O ile

szew posiada wady na długości 0,5 m, to należy go całkowicie usunąć i ponownie spawać.

Próbie wodną spirali spawanej przeprowadzamy tylko w wyjątkowych przypadkach. Postępujemy przy tym w następujący sposób. Po zabetonowaniu spirali dołączamy pompę (wirową lub zębatą) do rury kanału odwadniającego spiralę i za pomocą tej pompy włączamy pod pewnym ciśnieniem wodę na spiralę. Na podstawie ewentualnych przecieków występujących na wewnętrznych ścianach spirali, wyznaczamy miejsca nieszczelne. Wysokość stosowanego ciśnienia określamy zależnie od grubości blachy i od średnicy spirali.

Jakość spawania elektrycznego można sprawdzić przez wypróbowanie spirali pod normalnym ciśnieniem roboczym. Sposób ten zastosowano w pewnej siłowni wodnej przy montażu spiral średnich wielkości. W celu zamknięcia spirali, a zatem w celu umożliwienia napełnienia jej wodą z górnego poziomu, korzysta się w tym przypadku z łopatek kierowniczych. Mianowicie po zespawaniu wszystkich szwów spirali, przed jej zabetonowaniem, montuje się górny oraz dolny pierścień wraz z łopatkami kierowniczymi i łopatki te umocowuje się w ich położeniu zamkniętym za pomocą liny opasującej je od wewnątrz spirali. Oprócz tego przez zmocowanie dźwigni łopatek dodatkowo zmocowuje się łopatki pomiędzy sobą. W celu zmniejszenia przecieków szczeliny międzyłopatkowe uszczelnia się przy tym sznurem zakładając go od wewnątrz spirali. O ile łopatki zaopatrzone są w uszczelki gumowe, to szczeliny te uszczelniają się same. Nieszczelne miejsca szwów ustalamy na podstawie ewentualnych przecieków występujących na zewnętrznej powierzchni spirali. Po zlikwidowaniu nieszczelności należy spiralę zabetonować w zwykły sposób.

Opisana metoda pociąga za sobą znaczne powiększenie kosztu robót oraz przedłuża cykl montażowy. Z tego względu można ją polecić tylko w szczególnych przypadkach, gdy inne metody kontroli szwów spawanych są niewystarczające.

Ze względu na odpowiedzialność operacji spawania spirali oraz jej skomplikowane sposoby kontroli, wszystkie roboty spawalnicze, a w tej liczbie i szwy szepne powinny być wykonywane wyłącznie przez wykwalifikowanych spawaczy, pod bezpośrednim nadzorem kierownika robót spawalniczych.

§ 19. FUNDAMENTY TURBIN WODNYCH

Fundamenty turbin wodnych spoczywają na płytach żelazobetonowych, które stanowią właściwy fundament budynku siłowni.

Obliczenia oraz budowę fundamentów turbin wodnych wykonuje przedsiębiorstwo budowlane. Rodzaj betonu, sposób jego uzbrojenia, wymiary oraz inne dane fundamentów dobiera się na podstawie obliczeń, zgodnie z następującymi wymaganiami:

a) wytrzymałość fundamentu powinna być wystarczająca dla przejścia obciążenia statycznego, składającego się z ciężaru części turbozespołu, z sił pochodzących z reakcji strumienia wody oraz z obciążeń dynamicznych, powstających podczas pracy turbozespołu;

b) częstość własnych drgań fundamentu powinna różnić się od prędkości obrotowej (ilości obrotów na minutę) turbozespołu i nie powinna być wielokrotnością tej prędkości; ma to na celu uniknięcie rezonansu¹⁾,

c) wymiary, ukształtowanie oraz rzędne fundamentów powinny odpowiadać rysunkom dostarczonym przez wytwórnice urządzeń, przy czym rysunki te powinny być uzgodnione z planami budowlanymi;

d) fundament turbozespołu powinien stanowić jedną całość, gdyż wyklucza to możliwość wzajemnych przemieszczeń poszczególnych jego części;

e) podstawa fundamentu powinna być stateczna, tj. nie powinna przechylać się lub przemieszczać pod wpływem sił pochodzących od prądu wody lub od wód gruntowych;

f) beton użyty na fundamenty powinien być dostatecznie wodoszczelny i odporny na rozmywające działanie prądów wodnych (erozję).

W fundamentach należy przewidzieć różnego rodzaju gniazda (wyjęcia) dla ustawienia fundamentowych części turbiny. Wymiary gniazd powinny być takie, aby zapewniały dogodny wykonywanie robót przy montażu tych części.

W celu wyznaczenia rzędnych (poziomu) poszczególnych części fundamentu, należy zabetonować kontrolne punkty stałe (repery). Ich umieszczenie ustala się z kolei względem punktu kontrolnego, znajdującego się na zewnątrz budynku. Rzędne punktów stałych wyznacza się za pomocą niwelatora.

1. Fundamenty turbin Francisza

Na początku montażu części fundamentowych, fundament turbiny wznosi się do poziomu umożliwiającego wygodne zmontowanie pierścienia fundamentowego wraz ze stożkową częścią wykładziny rury ssawnej oraz spiralą. W celu zmontowania tych części wykonuje się betonowe słupy (rys. 45). Rozmieszczenie słupów oraz rzędne ich wierzchołków powinny być wskazane na rysunkach dostarczonych przez wytwórnice turbin.

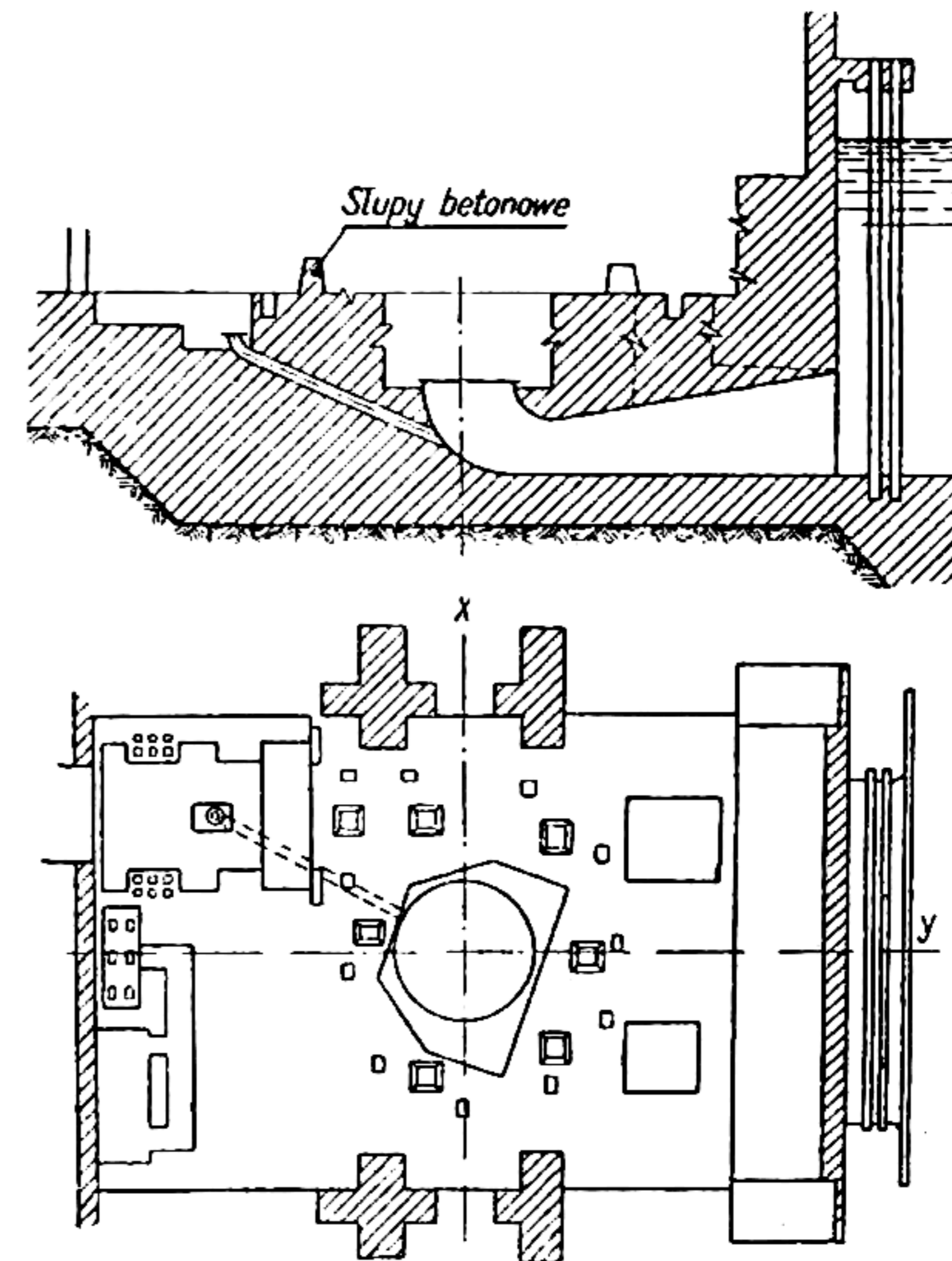
Podczas betonowania fundamentu umieszcza się w nim — przewidziane w projekcie — różne rury oraz metalowe płyty fundamentowe.

W instalacjach, w których rury ssawne zabezpieczone są za pomocą metalowej wykładziny, ostatnią montuje się na miejscu (rys. 47), jak to wskazano w § 20, lub wykonuje się poszczególne jej człony, a następnie człony te spawa się z sobą. Wykładziny średnich wymiarów można mon-

¹⁾ Ścisłej, częstość własnych drgań fundamentu powinna się różnić od tzw. częstości kołowej turbozespołu, tj. od $2\pi n$ lub od jej wielokrotności. Prędkość kątową n należy przy tym wyrazić w obrotach na minutę, o ile częstość własnych drgań bierzemy także na minutę (przyp. tłum.).

tować w całości i — przy dostatecznie sztywnym jej rozparciu — może być ona przewożona i ustawiana na miejscu za pomocą dźwigów.

W celu umożliwienia sprawdzenia osi fundamentu należy zabetonować haki, na których napina się struny wyznaczające osie (X oraz Y).



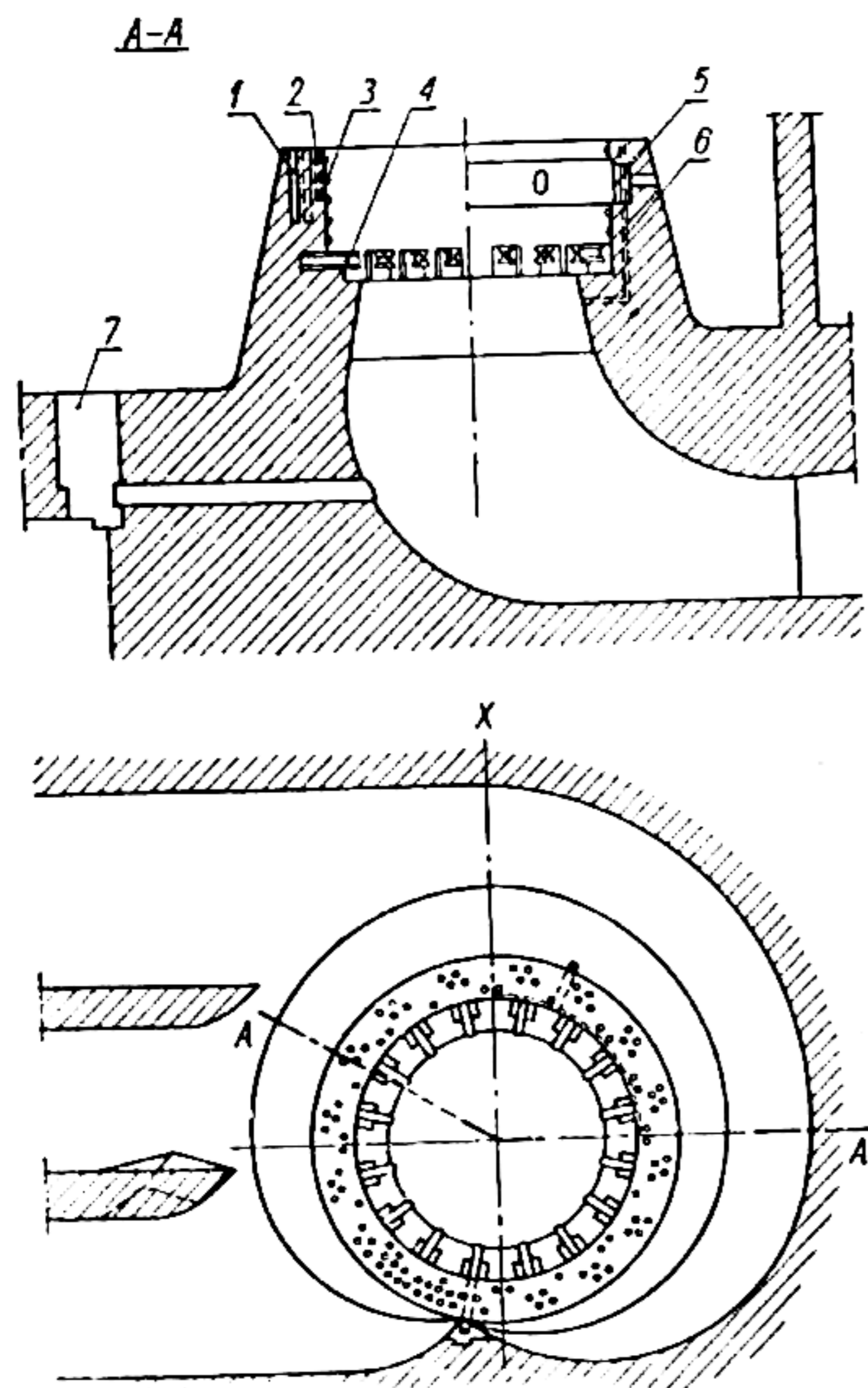
Rys. 45. Fundament turbiny Francisza zaopatrzonej w spiralę metalową oraz zawór dopływowy i upust jałowy

W fundamencie należy przewidzieć odpowiednie gniazda (otwory) na stożkowe części rur ssawnych, jałowe upusty, zawory, śruby fundamentowe itp.

Uzbrojenie żelbetu powinno wysławać z fundamentu, a to w celu umożliwienia przypawania do tego uzbrojenia różnych rozpór, wzmocnień itp., używanych podczas montażu.

Przed naniesieniem świeżego betonu należy starannie oczyścić z brudu, a zwłaszcza ze smarów, stary beton fundamentu siłowni oraz ścianki części fundamentowych turbiny. Oprócz tego powierzchnię fundamentu siłowni, tj. płyty żelbetowej, należy naciąć w ten sposób, aby powierzchnia ta stała się dostatecznie szorstka.

Należy mieć na uwadze, że fundamentowe części turbiny stanowią podstawę całej turbiny i że przy ich zabetonowaniu niedopuszczalne jest naruszenie dokładności ich ustawienia. W związku z tym przy betonowaniu należy zachować odpowiednie środki ostrożności. Beton powinien być



Rys. 46. Fundament turbiny Francis z spiralą betonową: 1 — gniazdo dla śrub fundamentowych słupów spirali; 2 — gniazda dla śrub fundamentowych dolnego pierścienia kierownicy; 3 — kłamry do umocowywania ściągów wykładziny komory wirnika; 4 — wsporniki wykładziny komory wirnika; 5 — gniazdo odejmowalnego człona wykładziny komory; 6 — rurociągi fundamentowe; 7 — gniazdo dla zaworu spustowego spirali

stożku ustawia się metalowe słupy spirali (§ 24), które stanowią składową część fundamentu.

W dolnej części fundamentu (rys. 46) należy przewidzieć gniazda 1, służące do umocowania śrub słupów, gniazda 2 na śruby mocujące dolny pierścień kierownicy, gniazda do ustawienia wykładziny części stożkowej rury ssawnej, wykładziny komory wirnika, dolnego pierścienia kierownicy,

wreszcie miejsce na wymontowanie odejmowalnej części komory wirnika (o ile taka istnieje).
W celu zmontowania komory wirnika zabetonowuje się belki dwuteowe 4. Na wysokości rzędnej podłogi spirali pozostawia się w fundamencie gniazdo 7, przeznaczone do umieszczenia zaworu spustowego i rury spustowej. Poza tym zakłada się rurociągi fundamentowe 6 oraz kłamry 3, służące do umocowania ściągów komory wirnika. Górna część fundamentu posiada gniazda na górny pierścień kierownicy, na komory serwowatorów (siłowników), komorę turbiny oraz na górną część wykładziny spirali.

Należy zauważyć, że betonowanie gniazda służącego do umieszczenia dolnego zespołu części fundamentowych jest niedogodne i wywołuje szereg trudności, a w pewnych przypadkach prowadzi do złej jakości betonu. W związku z tym zaleca się pozostawienie na obwodzie stożka betonowego kilku bocznych otworów, przeznaczonych do napełniania gniazd betonem i do jego obróbki. Pożądane jest, aby otwory te znajdowały się poniżej gniazd na śruby fundamentowe słupów spirali i poniżej gniazd na śruby dolnego pierścienia kierownicy oraz aby przechodziły przez stożek na wylot, gdyż wówczas łatwiej jest usunąć z nich odeskowanie, śmieci i brud, zaś w porze zimowej — lód. Poza tym można wówczas stosować śruby fundamentowe zaopatrzone na końcu w poprzeczki lub w płyty kotwowe, co pozwala na umocowanie części fundamentowych przed zalaniem śrub betonem i w rezultacie przyspiesza montaż.

2. Fundamenty turbin Kaplana

Przed stwardnieniem betonu nie wolno prowadzić dalszych prac montażowych. Zazwyczaj należy odczekać 5 do 10 dni, zależnie od temperatury otaczającego powietrza oraz od gatunku betonu.

Najpierw podciąga się niższą, środkową część fundamentu, tak zwaną stożkową część spirali (rys. 46). Na tym

Wszystkie fundamenty instalacji turbinowej stanowią zazwyczaj jeden blok betonowy. Niekiedy część fundamentów instalacji danej turbiny umieszcza się jednak na sąsiednim bloku (fundamenty skrzynek regulatora, kombinatora, układu olejowego ciśnieniowego, zespołu suwakowego i in.). Tego rodzaju układ instalacji powoduje, że montaż oraz oddanie do eksploatacji danego turbozespołu zależy od wykończenia sąsiedniego bloku betonowego.

3. Jakość betonu stosowanego do zalewania śrub fundamentowych

Należy zwrócić szczególną uwagę na jakość betonu stosowanego do zalewania śrub fundamentowych oraz innych elementów fundamentowych, gdyż znane są przypadki, w których zniszczenie tego betonu podczas pracy turbiny doprowadzało do ciężkich uszkodzeń (awarii).

Beton zawiera dwa zasadnicze składniki: kruszywo oraz zaprawę cementową będącą mieszaniną piasku, cementu i wody. Zaprawa wiąże kruszywo w jedną całość.

Beton powinien stanowić zwartą masę, nie ulegającą niszczeniu pod wpływem przesączającej się wody i powinien ściśle przylegać do ścianek części fundamentowych. Ostatni warunek osiągamy przez obróbkę świeżego betonu za pomocą wibratorów (wibrowanie betonu). Naniesiony beton staje się przy tym bardziej szczelny, gdyż wydzielają się wówczas z niego

pęcherzyki powietrza oraz nadmiar wody. Szybkości nanoszenia oraz wibrowania betonu powinny być takie, aby przed naniesieniem nowej jego porcji nie rozpoczął się proces wiązania starej porcji. Normalny odstęp czasu pomiędzy nanoszeniem kolejnych porcji betonu przy betonowaniu fundamentu turbiny, w średnich warunkach, tj. dla normalnego cementu i przy temperaturze betonu $+ 20^{\circ}\text{C}$ wynosi 2,5 godziny.

Jak wiadomo, w świeżo naniesionym, zwykłym betonie podczas wiązania cementu wydziela się ciepło, które znacznie podnosi temperaturę betonu. Orientacyjnie przyjmuje się, że w przypadku zwykłego cementu każdy kilogram cementu zawarty w 1 m^3 betonu podwyższa temperaturę ostatniego o $0,15^{\circ}\text{C}$. Podczas procesu ostygnięcia, po związaniu beton kurczy się, co powoduje jego odstawanie od ścianek gniazd i również od metalowych powierzchni części fundamentowych. W celu zwalczania tego zjawiska pożądane jest stosowanie do zalewania śrub itd. cementu niskotermicznego, który wydziela mniej ciepła niż cement zwyczajny.

Jeżeli jednak pomimo to nie osiągnięto przylegania betonu do metalowych ścianek części fundamentowych, co poznać można po dźwięku przy opukiwaniu tych części, to przestrzenie puste należy zacementować. W tym celu w miejscach, w których ujawniono te przestrzenie wywiercamy otwory, przez które pod ciśnieniem 1 do 3 atm wtlacza się płynną zaprawę, złożoną z cementu i wody. Po związaniu zaprawy cementowej należy otwory zaspawać lub zamknąć za pomocą nagwintowanych korków.

Proces twardnienia betonu w znacznym stopniu zależy od temperatury otoczenia. Obniżenie temperatury betonu do $+ 4^{\circ}\text{C}$ powoduje, że beton twardnieje dwa razy dłużej niż przy temperaturze 20°C , zaś przy temperaturze poniżej zera twardnienie zachodzi nadzwyczaj powolnie, przy tym wytrzymałość betonu zmniejsza się w znacznym stopniu oraz ostro obniża się jego przyczepność do uzbrojenia. Z tych względów pożądane jest, aby zabetonowywanie śrub oraz innych części instalacji odbywało się w ciepłej porze roku.

W razie zabetonowywania części fundamentowych przy niskich temperaturach należy beton podgrzewać w czasie wiązania. W tym celu miejsce, w którym wykonywane są roboty betoniarskie osłania się za pomocą specjalnego odeskowania lub osłon i wewnątrz utrzymujemy podwyższoną temperaturę stosując piece elektryczne, ogniska koksowe lub ogrzewanie parą. Urządzenia grzejne nie mogą znajdować się w bezpośrednim sąsiedztwie części zabetonowanych.

Rozdział IV

MONTAŻ TURBIN FRANCISA

§ 20. CZĘŚCI FUNDAMENTOWE TURBIN FRANCISA ZE SPIRALAMI SPAWANYMI

Turbiny Francisa pracujące pod spadem od 20 do mniej więcej 80 m zaopatruje się w spirale metalowe spawane lub nitowane. W ostatnich czasach, w związku z rozpowszechnieniem się konstrukcji spawanych, w budowie turbin w ZSRR stosowane są przeważnie spirale spawane. Spirale te odróżniają się korzystnie od spiral nitowanych prostotą wykonania i montażu. W pewnych przypadkach stosowano spirale kombinowane. Poszczególne człony spirali były spawane, zaś cała spirala była przynitowywana do stojana turbiny. Jednak i te spirale zastępuje się obecnie spiralami całkowicie spawanymi. W związku z powyższym rozpatrzmy szczegółowo montaż części fundamentowych najbardziej rozpowszechnionych pionowych turbin Francisa ze spiralami spawanymi.

Jak już wskazywaliśmy, części fundamentowe składają się z następujących zasadniczych elementów: 1) wykładziny rury ssawnej, 2) pierścienia fundamentowego, 3) wykładziny stożkowej części rury ssawnej, 4) stojana, 5) spirali wraz z zaworem spustowym, 6) wykładzin komory turbiny i komór siłowników, 7) rurociągów fundamentowych.

Wymagania techniczne stawiane montażowi elementów części fundamentowych podane są przy omawianiu montażu tych elementów. Na tym miejscu podamy jedynie ogólne wymagania techniczne przy ustawianiu zmontowanych już części fundamentowych. Wymagania te są następujące:

a) Przy ustawianiu wykładziny stożkowej części rury ssawnej, pierścienia fundamentowego, stojana oraz wykładziny komory turbiny, ich osie pionowe powinny pokryć się z sobą oraz z pionową osią fundamentu turbozespołu. Rzędne stojana oraz wykładziny rury ssawnej powinny być przy tym uzgodnione z odpowiednimi rzędnymi przewidzianymi w projekcie, zaś znaczki naniesione na nich w wytwórni, wskazujące osie poziome, powinny być uzgodnione z osią podłużną (X) oraz z osią poprzeczną (Y) fundamentu turbozespołu.

b) Płaszczyzna symetrii spirali (średnia linia) powinna leżeć w płaszczyźnie symetrii stojana, zaś przekrój wejściowy spirali powinien znajdować się na jednej osi z króćcem głównego rurociągu zasilającego. Wymiary każ-

dego przekroju spirali powinny zgadzać się z wymiarami podanymi na rysunku i każdy przekrój powinien być usytuowany symetrycznie względem płaszczyzny symetrii spirali (linii średniej).

c) Komory serwomotorów (siłowników) powinny być tak ustawione, aby osie ich kołnierzy służących do umocowania siłowników były poziome oraz znajdowały się na żądanej rzędnej.

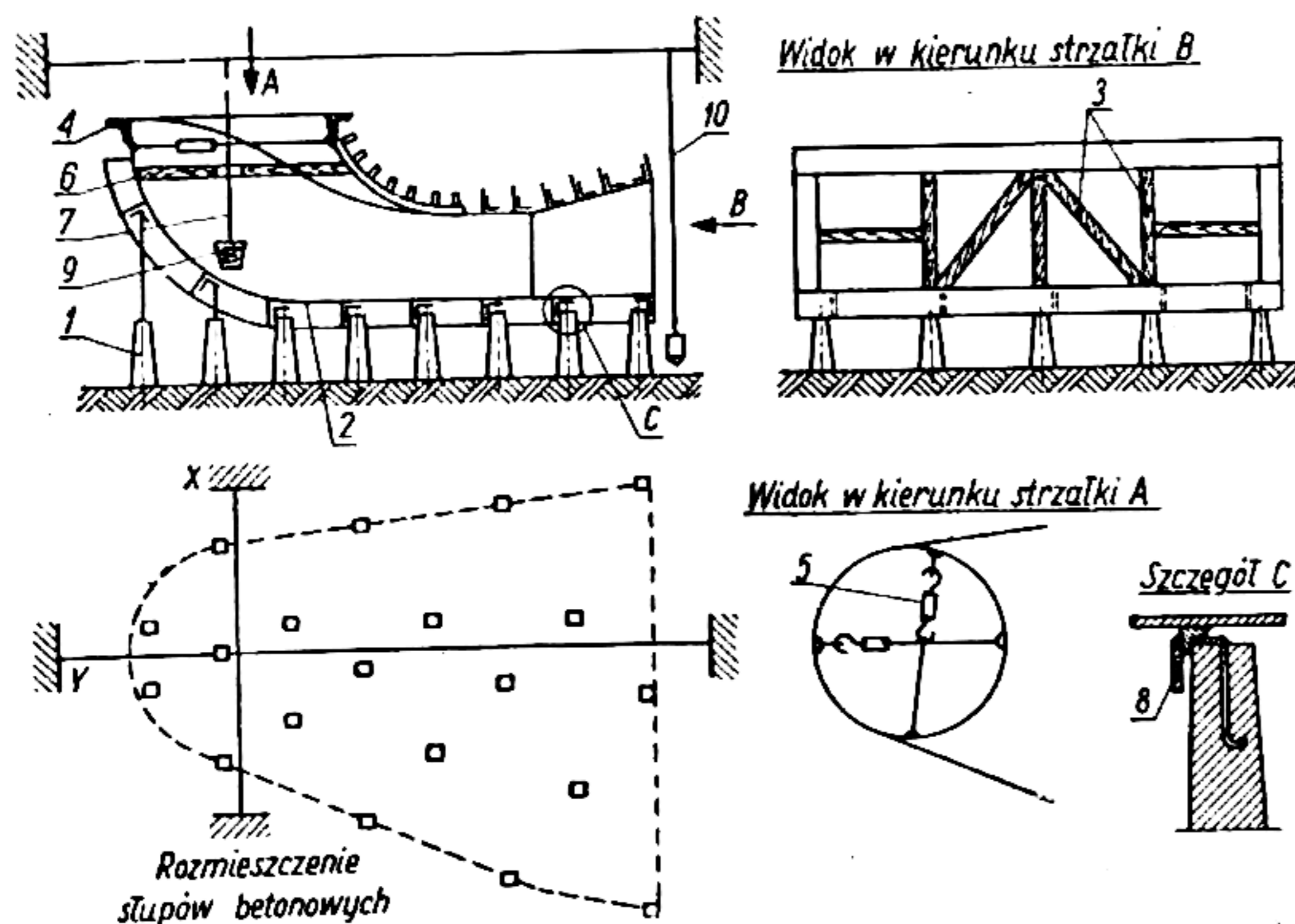
d) Powierzchnie obtoczone lub wytoczone nie powinny wykazywać owalizacji; centrujące wytoczenia lub zatoczenia nie powinny być porowate oraz nie powinny wystawać jedna nad drugą, tj. nie powinny tworzyć uskoków.

e) Spawane szwy spirali, rury ssawnej, wykładziny stożkowej części rury ssawnej, wykładziny komory turbiny oraz szwy rur fundamentowych powinny być szczelne i dostatecznie wytrzymałe.

f) Elementy części fundamentowych powinny być silnie z sobą złączone i beton powinien do nich dobrze przywierać.

1. Wykładzina rury ssawnej

Wykładzina rury ssawnej (rys. 47) dostarczana jest na plac montażowy w postaci kompletu poszczególnych części lub w postaci blach — półfa-



Rys. 47. Montaż wykładziny rury ssawnej

brykatów. Wykładzinę montuje się na miejscu jej ustawienia za pomocą żurawia masztowego, wciągarki lub innych urządzeń dźwigowo-transportowych.

Przed ostatecznym montażem wykładziny rury ssawnej, części jej lub poszczególne blachy montuje się na placu montażowym lub na placu specjalnie do tego celu przeznaczonym, obsługiwanym przez urządzenie dźwigowo-transportowe o odpowiednim udźwigu. Ten wstępny montaż przeprowadza się w celu skrócenia czasu potrzebnego do ostatecznego zmontowania wykładziny na miejscu jej ustawienia. Podczas wstępnego montażu dopasowuje się do siebie części oraz obcina, poprawia i spawa poszczególne blachy.

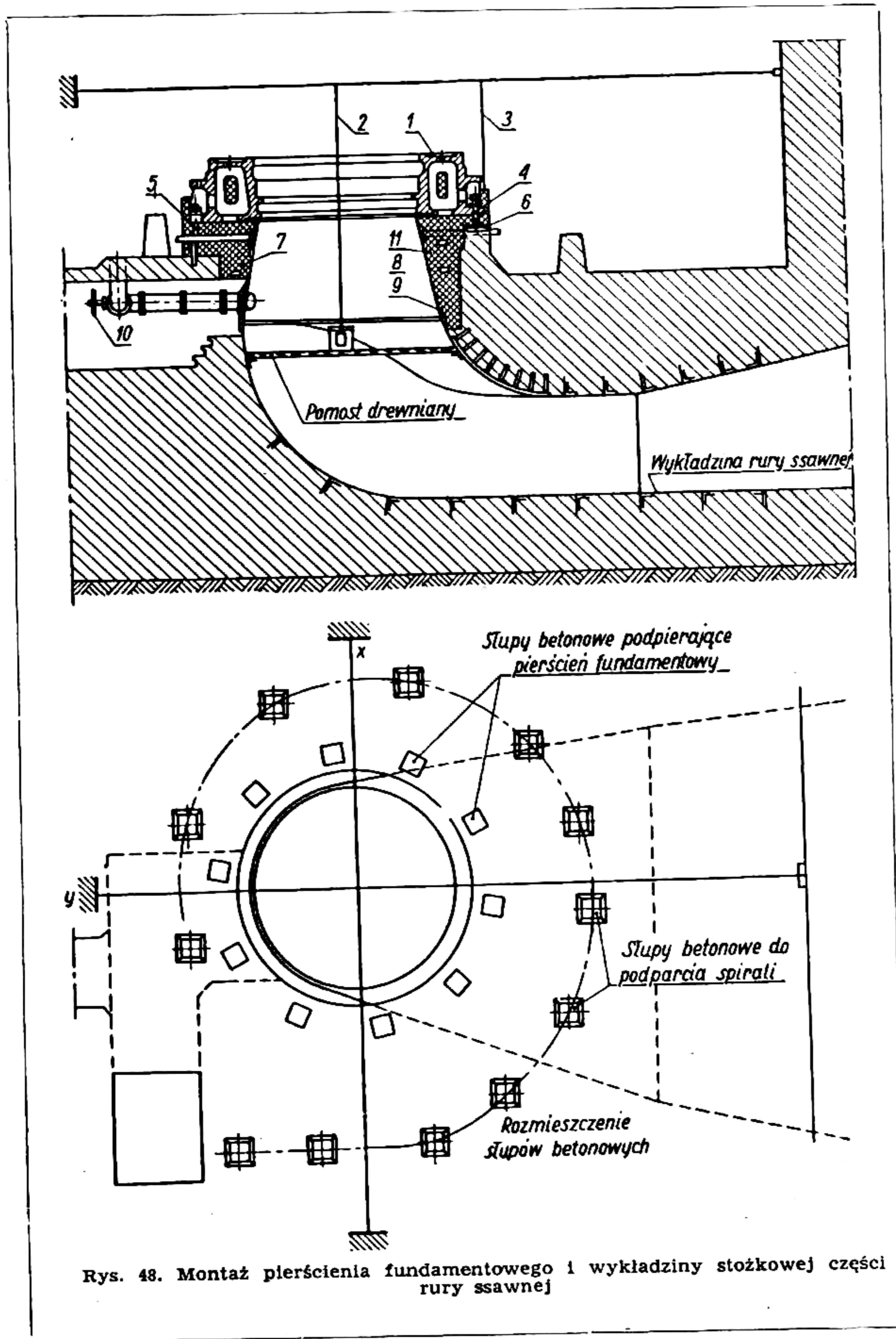
Na rys. 47 pokazano wykładzinę rury ssawnej składającą się z oddzielnych części w trakcie jej montażu na miejscu ustawienia. Montaż przeprowadza się na specjalnych słupach betonowych 1. Najprzód montuje się dno 2. Blachy dna, zaopatrzone w przyspawane kątowniki, układa się na słupach żelbetonowych i spawa z sobą. Dno ustawia się w płaszczyźnie poziomej, na wysokości żądanej rzędnej i zgodnie z osią podłużną X oraz z osią poprzeczną Y. Przy ustawianiu posiłkujemy się metalowymi klinami oraz podkładkami, które następnie za pomocą elektryczności przypawa się do uzbrojenia słupów żelbetonowych i do kątowników dna (szczegół C).

W dnie okładziny rury ssawnej wycina się szereg otworów o średnicy 100 do 150 mm, które następnie zostają przykryte za pomocą przyspawanych zaślepek. Otwory te służą do wprowadzenia betonu pod dno okładziny rury oraz do „obróbki“ tego betonu. Boczne ściany oraz pułap okładziny montuje się przy użyciu drewnianych lub stalowych rozpór 3, których wytrzymałość powinna być obliczona na przejęcie obciążenia betonu podczas betonowania. W celu ułatwienia montażu wykładziny gardzeli rury wykonuje się na miejscu montażu pierścień 4, który służy jako szablon przy montowaniu blach wykładziny gardzeli. Pierścień sporządzony jest z kątowników i usuwa się go przy montażu wykładziny stożkowej części rury ssawnej. Po elektrycznym napawaniu szwów szepnych, cylindryczny kształt wykładziny gardzeli rury ssawnej ustala się za pomocą przyspawanych rozpór wykonanych z kątowników lub za pomocą lin zaopatrzonych w ściąg 5. Do spawania blach wykładziny używa się jakościowych elektrod typu Э-42 (§ 18).

W gardzeli zakłada się drewniany pomost 6, który opiera się na kątownikach przyspawanych prowizorycznie do wykładziny. Pomost ten służy do ułatwienia montażu oraz do centrowania.

W celu pewnego z mocowania wykładziny z betonem instaluje się i przypawa kotwy 8 sporządzone z blachy lub z płaskowników, przy tym kotwy denne przypawa się przed ustawieniem dna, zaś pozostałe po zmontowaniu wykładziny.

Gardziel wykładziny centruje się za pomocą pionu 7, który jest zawieszony w punkcie przecięcia strun osiowych X i Y, a zatem wyznacza pionową oś fundamentu turbozespołu. W celu zmniejszenia podczas pomiarów wahań pionu, ciężar jego 9 zanurza się do lepkiej cieczy (oleju). Położenie części wylotowej wykładziny ustala się w rzucie pionowym za pomocą pionu 10, który jest zawieszony na strunie wyznaczającej oś Y. Odchyłki przy-



ustawieniu wykładziny nie powinny być większe od wartości zamieszczonych w tabl. 46. Tablica ta, w zależności od wymiarów gardzieli, podaje tolerancje: owalizacji wykładziny gardzieli, przesunięcia jej osi względem osi turbozespołu, wysokości umieszczenia krawędzi wejściowej wykładziny gardzieli względem zaprojektowanej rzędnej oraz przesunięcia tej wykładziny w rzucie poziomym. Zalecane wartości tolerancji biorą w rachubę otrzymanie równomiernego przepływu wody, prawidłowe połączenie wykładziny gardzieli rury ssawnej z wykładziną jej stożkowej części, a jednocześnie nie powodują zbędnego wzrostu kosztu robót montażowych.

Stawia wodna:		Protokół kontroli ustawienia wykładziny rury ssawnej		Nr protokołu																																														
Pomiary przeprowadzone dn																																																		
Sprawdził:	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bi lub płasz- Wymiary czyżna pe- rzączywiste mm</th> <th>+x</th> <th>+x-y</th> <th>-y</th> <th>-x-y</th> <th>-x</th> <th>-x+y</th> <th>+y</th> <th>+x+y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▽</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>▽</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>a</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Bi lub płasz- Wymiary czyżna pe- rzączywiste mm	+x	+x-y	-y	-x-y	-x	-x+y	+y	+x+y	▽									▽		-		-		-		-	d									a								
Bi lub płasz- Wymiary czyżna pe- rzączywiste mm	+x	+x-y	-y	-x-y	-x	-x+y	+y	+x+y																																										
▽																																																		
▽		-		-		-		-																																										
d																																																		
a																																																		
Zmierzył:																																																		

Rys. 49. Formularz protokołu kontroli ustawienia wykładziny rury ssawnej

Wykładzinę należy bezpośrednio przyspawać do uzbrojenia słupów betonowych, a oprócz tego — za pośrednictwem stalowych rozpór — do uzbrojenia właściwego fundamentu, tj. do uzbrojenia płyty żelbetonowej. Postępuje się tak dla uniknięcia przesunięcia i wypłynięcia wykładziny podczas jej zabetonowywania.

W celu osiągnięcia dostatecznie pewnego związania się betonu z wykładziną należy przed zabetonowaniem oczyścić z brudu i rdzy jej zewnętrzną powierzchnię. Również przed zabetonowaniem odeskowuje się gniazdo wykładziny części stożkowej rury ssawnej oraz gniazda śrub fundamentowych (rys. 48). Następnie przeprowadza się betonowanie do żądanej rzędnej.

Jednocześnie w celu ułatwienia montażu pierścienia fundamentowego oraz spirali wznosi się stopniowo słupy betonowe w taki sposób, aby nie stanowiły one przeszkody przy pracach montażowych. W pewnych przypadkach zamiast słupów stosuje się dźwigniki uproszczonej konstrukcji.

Po stwardnieniu betonu należy sprawdzić, czy przylega on szczelnie do wykładziny. W tym celu opukuje się ją za pomocą młotka. W miejscach, w których stwierdzono puste przestrzenie należy wywiercić otwory, przez które wtlacza się płynny beton.

Następnie ustawia się i zabetonowuje płyty oporowe 6 oraz pałaki dla śrub fundamentowych 5 i przystępuje się z kolei do montażu pierścienia fundamentowego (rys. 48).

Rzeczywiste wymiary charakteryzujące ustawienie rury ssawnej umieszcza się w protokole, którego formularz podano na rys. 49.

2. Pierścień fundamentowy

Pierścień fundamentowy (rys. 48), zależnie od jego wielkości, składa się z 2, 4 lub 6 członów. Montaż pierścienia przeprowadza się na placu montażowym. W stanie zmontowanym, w miejscach połączeń członów, nie powinno być „uskoków”. Połączenia powinny być szczelne, aby uniknąć przeciekania wody i wypłukiwania betonu. W tabl. 46 podano dopuszczalny stopień nieszczelności oraz wszystkie dopuszczalne odchyłki przy montażu pierścienia fundamentowego i wszystkich pozostałych elementów części fundamentowych.

W pewnych przypadkach wskutek odkształceń członów pod działaniem wewnętrznych naprężeń przy transporcie lub wskutek niedbałego przechowywania zostaje naruszony walcowy kształt pierścienia fundamentowego. Jeżeli stopień owalizacji jest większy od dopuszczalnego, to kształt pierścienia należy poprawić za pomocą dźwigników. Po przeprowadzeniu wszystkich czynności kontrolnych ustawia się pierścień fundamentowy na betonowych słupach, na miejscu jego zamontowania. Uprzednio jednak należy opuścić do gniazda na nią przeznaczonego wykładzinę części stożkowej rury ssawnej 7, gdyż połówki tej części nie przechodzą przez pierścień fundamentowy.

Uważa się że pierścień fundamentowy jest wówczas prawidłowo ustawiony, jeżeli oś jego wytoczenia pokrywa się z pionową osią fundamentu turbozespołu, rysy umieszczone na pierścieniu — wskazujące osie X oraz Y — pokrywają się z odpowiednimi osiami fundamentu turbozespołu, górna płaska powierzchnia pierścienia jest pozioma i wysokość jej ustawienia równa się rzędnej projektowanej. Pokrywanie się osi wytoczenia pier-

cienia z pionową osią fundamentu turbozespołu sprawdza się drogą pomiaru odległości tego wytoczenia od pionu 2. Natomiast pokrywanie się rys umieszczonych na pierścieniu i wskazujących kierunki osi — z osiami turbozespołu, sprawdza się za pomocą pionów 3, które opuszcza się z poziomych strun X oraz Y.

Do ustawienia pierścienia na odpowiedniej wysokości używa się śrub regulacyjnych 4, klinów oraz podkładek; przy tym jego położenie poziome sprawdza się za pomocą niwelatora, poziomnicy lub specjalnego urządzenia opartego na zasadzie naczyń połączonych (rys. 82).

Aby uniknąć nierównomiernego osadzania się pierścienia fundamentowego pod wpływem ciężaru stojana i spirali, należy po jego spoziomowaniu zwolnić śruby regulacyjne, tak aby opierał się on mocno tylko na podkładkach, a następnie trzeba zmocować śruby fundamentowe 5. Po przekonaniu się, że ustawienie pierścienia nie uległo przy tym zmianie, za pomocą spawalnicy elektrycznej zakłada się szwy szcpe pomiędzy podkładkami oraz pomiędzy podkładkami i płytami fundamentowymi 6.

3. Wykładzina części stożkowej rury ssawnej

Wykładzina części stożkowej rury ssawnej 7 (rys. 48), zależnie od jej wielkości, dostarczana jest w stanie zmontowanym lub w poszczególnych częściach. Na rys. 48 pokazano wykładzinę części stożkowej rury, złożoną z dwóch połówek, tj. dwudzielną.

Wspominaliśmy, że przed ustawieniem pierścienia fundamentowego obie połówki wykładziny części stożkowej opuszcza się do gniazda na nią przeznaczonego. Połówki te zmocowuje się ze sobą za pomocą śrub i całą wykładzinę części stożkowej podwiesza się za jej górny kołnierż do pierścienia fundamentowego orientując ją zgodnie z osiami X oraz Y. Następnie część tę centruje się względem pionu 2.

O ile jest dosyć miejsca oraz rozporządzamy urządzeniami dźwigowymi, to obie połówki wykładziny części stożkowej lepiej jest zmocować z sobą nie w gnieździe przeznaczonym na tę wykładzinę, lecz na osobnym miejscu, na którym można ją odwracać w celu spawania złączy pionowych w położeniu poziomym. Montaż taki gwarantuje wysoką jakość szwów. Następnie wykładzinę opuszcza się na jej miejsce.

Ponieważ wkładzina części stożkowej rury ssawnej jest niezbyt sztywna, więc z reguły ulega odkształceniu. Prawdziwy kształt przywracamy jej za pomocą ściągów 8, których haki zaczepione są o zabetonowane w tym celu klamry oraz o kątowniki samej części. Kątowniki te zaopatrzone są w specjalne otwory. Przesunięcia krawędzi wykładziny części stożkowej rury ssawnej względem krawędzi pozostałej wykładziny rury nie powinny przekraczać dopuszczalnych wartości. Osiągamy to naciągając wykładzinę części stożkowej za pomocą prowizorycznie przyspawanych śrub.

Wykładzinę części stożkowej po jej wycentrowaniu i naciągnięciu przymocowuje się ostatecznie do pierścienia fundamentowego. Pozostałe prze-

sunięcie likwiduje się ścinając je aż do osiągnięcia łagodnego przejścia powierzchni wykładziny w powierzchnię pierścienia.

Przy łączeniu wykładziny części stożkowej rury ssawnej z pozostałą częścią wykładziny tej rury, stosuje się nakładkę 9, którą po dopasowaniu przypawa się do wykładziny części stożkowej i do pozostałej wykładziny, tak z wewnętrznej, jak i z zewnętrznej strony.

Siłownia wodna		Protokół kontroli ustawienia pierścienia fundamentowego oraz wykładziny stożkowej części rury ssawnej		Nr protokołu																																																																								
Pomiary przeprowadzono dn.																																																																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Os lub płaszczyzna pomiarów</th> <th>x</th> <th>x-y</th> <th>-y</th> <th>-x-y</th> <th>x</th> <th>x-y</th> <th>-y</th> <th>-x-y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Wymiary rzeczywiste mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>▽</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>d</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>a</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>g₁</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>g₂</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Os lub płaszczyzna pomiarów	x	x-y	-y	-x-y	x	x-y	-y	-x-y	Wymiary rzeczywiste mm									▽									d									a									b									g ₁									g ₂							
Os lub płaszczyzna pomiarów	x	x-y	-y	-x-y	x	x-y	-y	-x-y																																																																				
Wymiary rzeczywiste mm																																																																												
▽																																																																												
d																																																																												
a																																																																												
b																																																																												
g ₁																																																																												
g ₂																																																																												
Sprawdził																																																																												
Zmierzył																																																																												

Rys. 50. Formularz protokołu kontroli ustawienia pierścienia fundamentowego oraz wykładziny stożkowej części rury ssawnej

Gdy już nakładka jest dopasowana oraz scepiona za pomocą łuku elektrycznego, spawa się wykładzinę części stożkowej, używając do tego celu elektrod jakościowych. Kolejność nakładania szwów jest następująca: szwy pionowe w płaszczyźnie podziału wykładziny części stożkowej, wewnętrzne i zewnętrzne szwy nakładki, kotwy. Wykładzinę części stożkowej — w celu uniknięcia podczas spawania nadmiernego jej odkształcenia — należy spawać odcinkami, na przemian ściegiem krokowo-skokowym. Następnie do

wykładziny tej umocowuje się i przypawa rurociągi fundamentowe, a mianowicie: rurociąg odciążający wirnik, rurociąg spustowy od zaworu spirali wlotowej 10, rurociąg odciążający stojan, rurociąg tłoczny pompy odwadniającej samozasysającej, rurociąg tłoczny ejektora, rurociąg manowakuometru oraz rurociągi inne, przewidziane w projekcie instalacji. Końce rurociągów należy wyprowadzić poza gniazdo przeznaczone do umieszczenia wykładziny części stożkowej. Dopasowywanie i łączenie rur przeprowadza się według wskazówek podanych w § 17. W celu uniknięcia zabrudzenia rurociągów końce ich należy prowizorycznie zakorkować.

Po zakończeniu tych robót sporządza się zazwyczaj odpowiednie odeskowanie i oczyszcza te powierzchnie wykładziny części stożkowej oraz pierścienia fundamentowego, które mają stykać się z betonem. Następnie betonuje się gniazdo 11. Po stwardnieniu betonu należy wykryć ewentualne puste przestrzenie i wypełnić je w sposób uprzednio opisany.

Rzeczywiste wymiary określające usytuowanie pierścienia fundamentowego oraz wykładziny części stożkowej rury ssawnej zapisuje się w protokole, którego formularz podano na rys. 50.

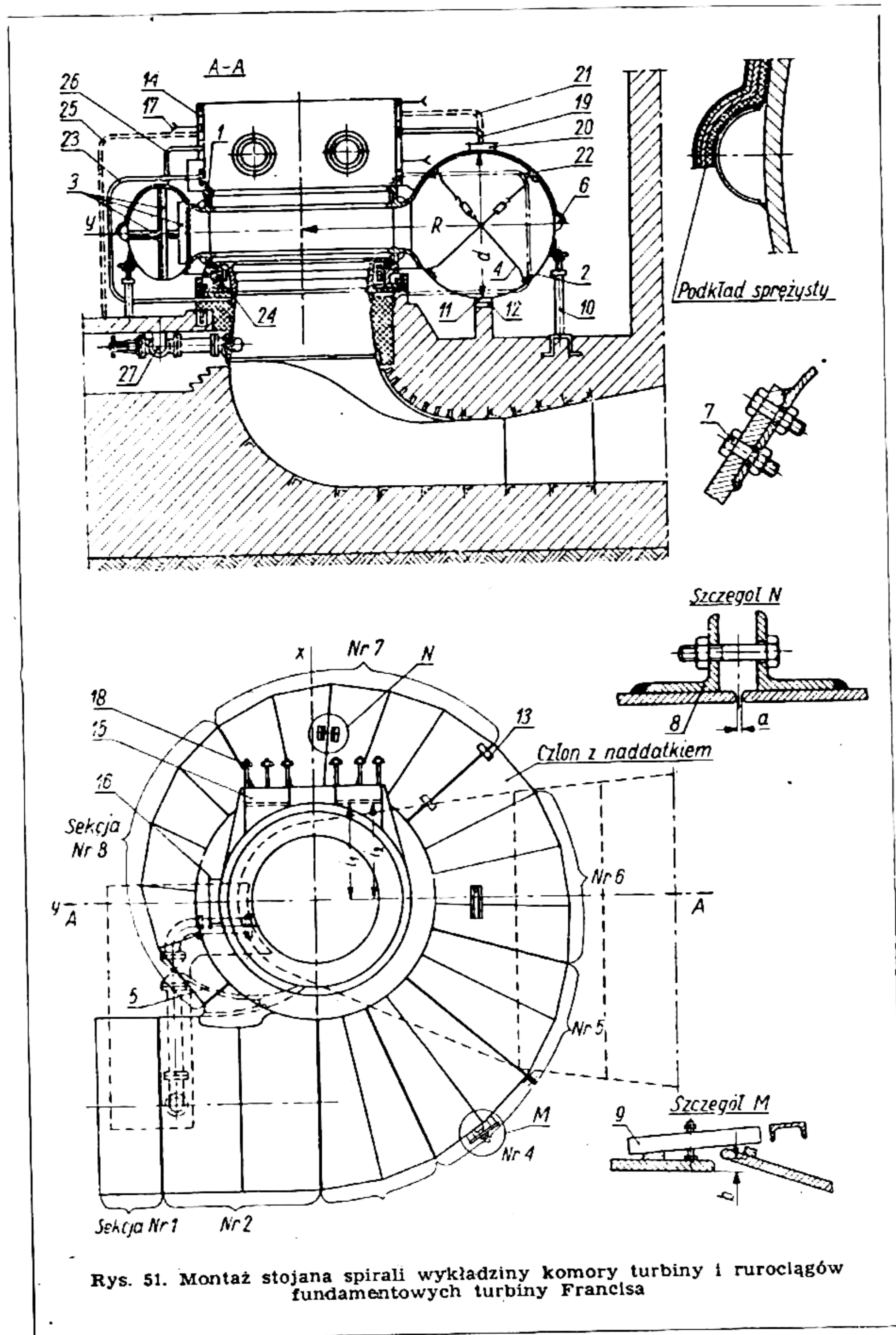
4. Stojan turbiny

Stojan turbiny 1 (rys. 51) składa się z dwóch lub czterech członów, zależnie od wielkości (gabarytu) turbiny. Montuje się go na placu montażowym, na drewnianych podkładkach a następnie za pomocą suwnicy osadza w całości na pierścieniu fundamentowym.

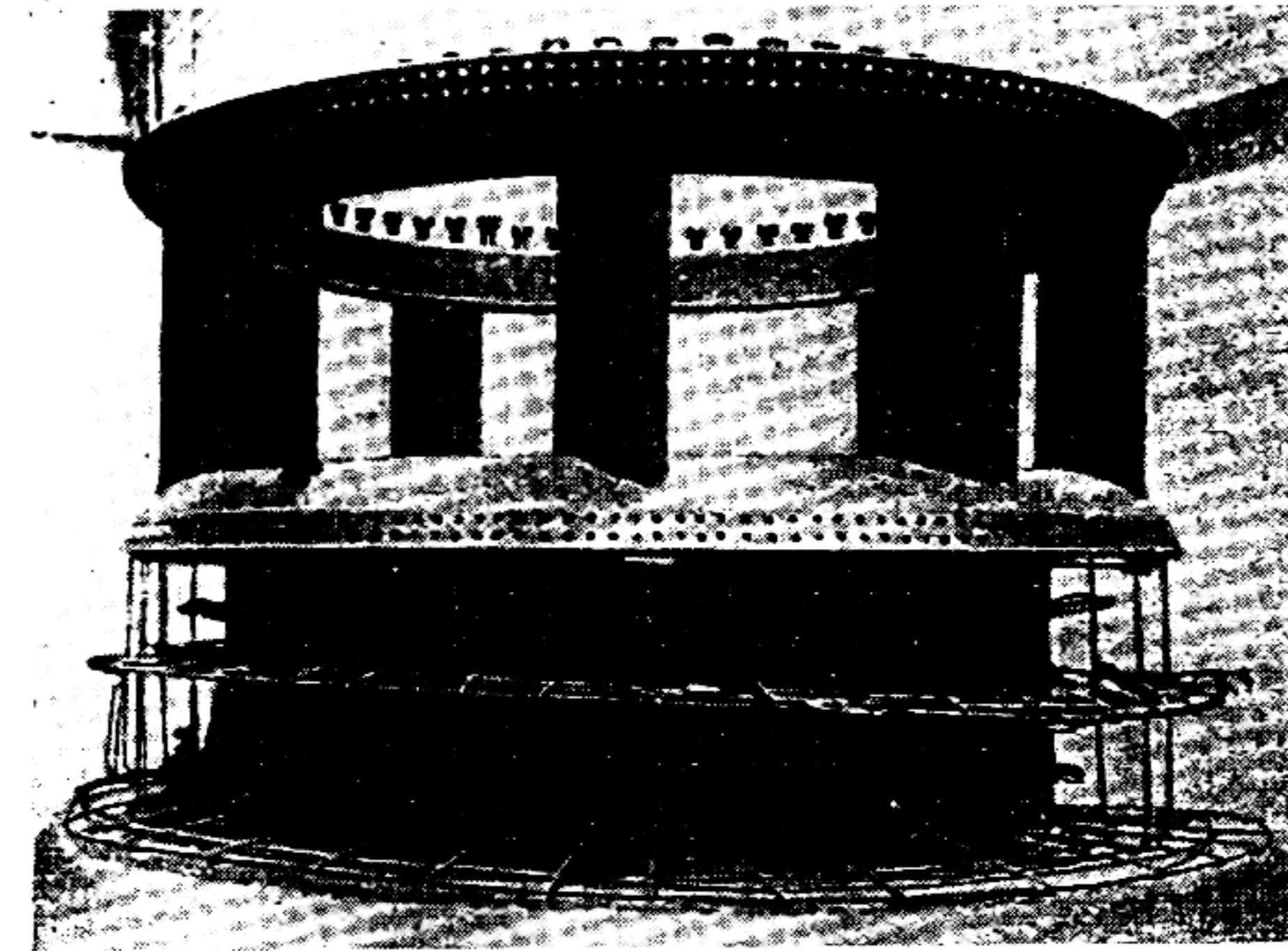
Kołnierzowe połączenie stojana z pierścieniem fundamentowym uszczelnia się za pomocą sznura gumowego.

Po założeniu kołków ustalających i z mocowaniu członów stojana, należy sprawdzić jego powierzchnie obrobione, a więc powierzchnię czołową dolnego kołnierza, która ma dolegać do pierścienia fundamentowego, powierzchnię górnego kołnierza oraz powierzchnie wewnętrznych wytoczeń. W miejscach połączeń powierzchnie poszczególnych części stojana nie powinny być przesunięte względem siebie. Jeżeli odchyłki od kształtu walcowo-kołowego spowodowane odkształceniem, są większe od dopuszczalnych (tabl. 46), to należy skorygować kształt stojana. W tym celu na miejscu montażu wykonuje się przyrząd w kształcie gwiazdy, złożony z pospawanych z sobą dwuteowników (rys. 36). Przyrząd ten zakłada się wewnątrz stojana, po ustawieniu ostatniego na pierścieniu fundamentowym i za pomocą klinów stalowych rozpiera się stojan aż do pełnego osiągnięcia kształtu walcowo-kołowego. Kształt ten sprawdzamy albo odmierzając odległości obwodu stojana od pionu, albo za pomocą średnicówki.

W celu opuszczenia stojana na miejsce jego zamontowania należy go olinować. Używa się w tym celu specjalnych śrub z uchami lub opasuje jego górną część.



Uważa się, że stojan jest prawidłowo ustawiony, jeżeli oś jego wytoczenia pokrywa się z pionową osią pierścienia fundamentowego, rysy X oraz Y pokrywają się z rysami na pierścieniu fundamentowym, rzędna kołnierza stojana, na którym ma spocząć pokrywa turbiny zgadza się z rzędną projektowaną oraz powierzchnia tego kołnierza jest pozioma. Kontrolę ustawienia stojana przeprowadza się po jego z mocowaniu z pierścieniem fundamentowym.



Rys. 52. Stojan turbiny Francis'a w stanie zmontowanym

Na rys. 52 pokazano stojan ustawiony na pierścieniu fundamentowym. Pierścień ten jest przygotowany do zabetonowania.

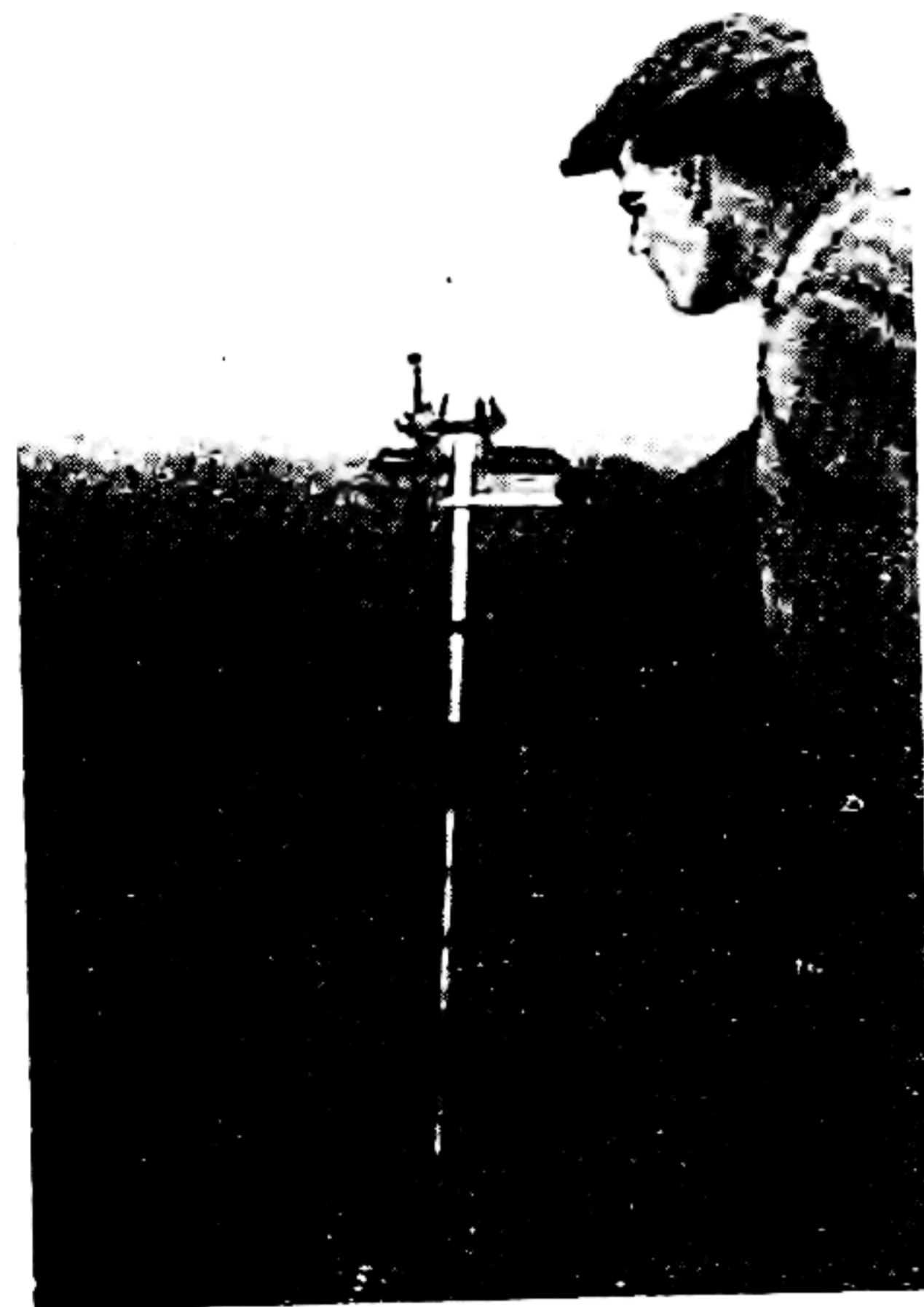
5. Spirala wlotowa

Spiralę spawaną, pokazaną na rys. 51, przypawa się do stojana prądem elektrycznym. Spirala składa się z poszczególnych członów (w danym przypadku z 24), które w wytwórni turbin przypasowuje się do stojana, a następnie spawa z sobą po kilka członów razem, tworząc w ten sposób poszczególne sekcje. Wymiary sekcji uwarunkowane są gabarytami kolejowymi oraz względami na ich dogodny montaż na miejscu ustawienia spirali.

Sekcje wysyłane są z wytwórni z odpowiednimi przypawanymi ciągnami 3 i ściągami 4, których celem jest zabezpieczenie sekcji przed odkształceniami.

Kolejność montażu sekcji. Najbardziej skomplikowanym miejscem połączenia spirali ze stojanem jest okolica, tzw. języka spirali. Z tego względu montaż należy rozpoczynać od dopasowania do stojana sekcji 8 oraz 2, które łączy się z sobą, dopasowując przy tym część języka 5. Następnie spiralę

można montować jednocześnie w trzech kierunkach, a mianowicie do sekcji 8 dopasowuje się sekcję 7, do sekcji 2 dopasowuje się z jednej strony sekcję 1, którą dołącza się do głównego rurociągu lub do wydłużalnika (wyrównika)¹⁾, (o ile taki jest przewidziany), zaś z drugiej strony — sekcje 3, 4, 5 oraz 6. Po takim dopasowaniu, pomiędzy sekcje 6 i 7 wstawia się człon zamykający, który wykonany jest z naddatkami na długości. Po wytrasowaniu naddatki te obcina się na miejscu za pomocą palnika acetylenowo-tlenowego. W każdą stronę naddatek wynosi od 100 do 150-mm. Zadaniem naddatków jest skompensowanie skurczu występującego przy spawaniu oraz ewentualnego zbiegnięcia się (zmniejszenia) wymiarów liniowych. Człon zamykający w celu ułatwienia jego dopasowania powinien



Rys. 53. Szczelina pomiędzy członami spirali. Szerokość szczeliny jest niejednakowa i dochodzi do 60 mm

być dostarczony do siłowni jako człon dwudzielny, dzielony w płaszczyźnie poziomej.

W miarę montowania sekcji na stojanie, wokół spirali, na wysokości rzędnej nieco niższej od kanału odwadniającego 6, buduje się drewniany pomost, którego zadaniem jest ułatwienie przeprowadzania prac montażowych oraz spawalniczych.

Dopasowywanie sekcji. Sekcje olinowuje się za ucha specjalnie w tym celu przypawane i przy użyciu dźwigu ustawia się je na stojanie a następnie przytwierdza do jego kołnierzy za pomocą prowizorycznych śrub 7. Szczelność przylegania do stojana sprawdza się szczelinomierzem.

Wzajemne położenie złączy sąsiednich sekcji ustala się za pomocą urządzeń 8 i 9 (szczegóły M i N). Szerokości szczeliny a

¹⁾ Zadaniem wyrównika czyli kompensatora jest wyrównywanie wymiarów liniowych rurociągu oraz spirali, występujących wskutek rozszerzalności cieplnej ostatnich.

Sekcje powinny posiadać kształt kołowo-walcowy a ich osie powinny leżeć w płaszczyźnie (poziomej) symetrii stojana. Kształt ten osiąga się za pomocą ciągów 3 i ściągów 4 (rys. 51), zaś odpowiednie, wyżej wskazane, położenie geometrycznych osi sekcji — za pomocą dźwigników 10 i podkładek 11, które umieszcza się na słupach betonowych. W celu ułatwienia ustawienia osi poszczególnych sekcji w omawianej płaszczyźnie należy płyty fundamentowe 12, umieszczone na słupach betonowych, ustawić uprzednio na żądanej wysokości. Posługujemy się przy tym niwelatorem. Kształt poprzecznych przekrojów sekcji sprawdza się mierząc ich średnice d w kierunku pionowym oraz promienie r od pionowej osi stojana do ścianki danej sekcji.

Sekcje, po ich ustawieniu i sprawdzeniu, łączy się ze sobą za pomocą szwów szepnych oraz prowizorycznych nakładek montażowych 13. W razie potrzeby ustawia się wewnątrz spirali dodatkowe rozpórki, które powinny być obliczone na przejście podczas betonowania obciążenia od betonu. Po zakończeniu spawania spirali usuwa się prowizoryczne śruby 7, a na ich miejsce ustawia zaślepki, które się zapawa.

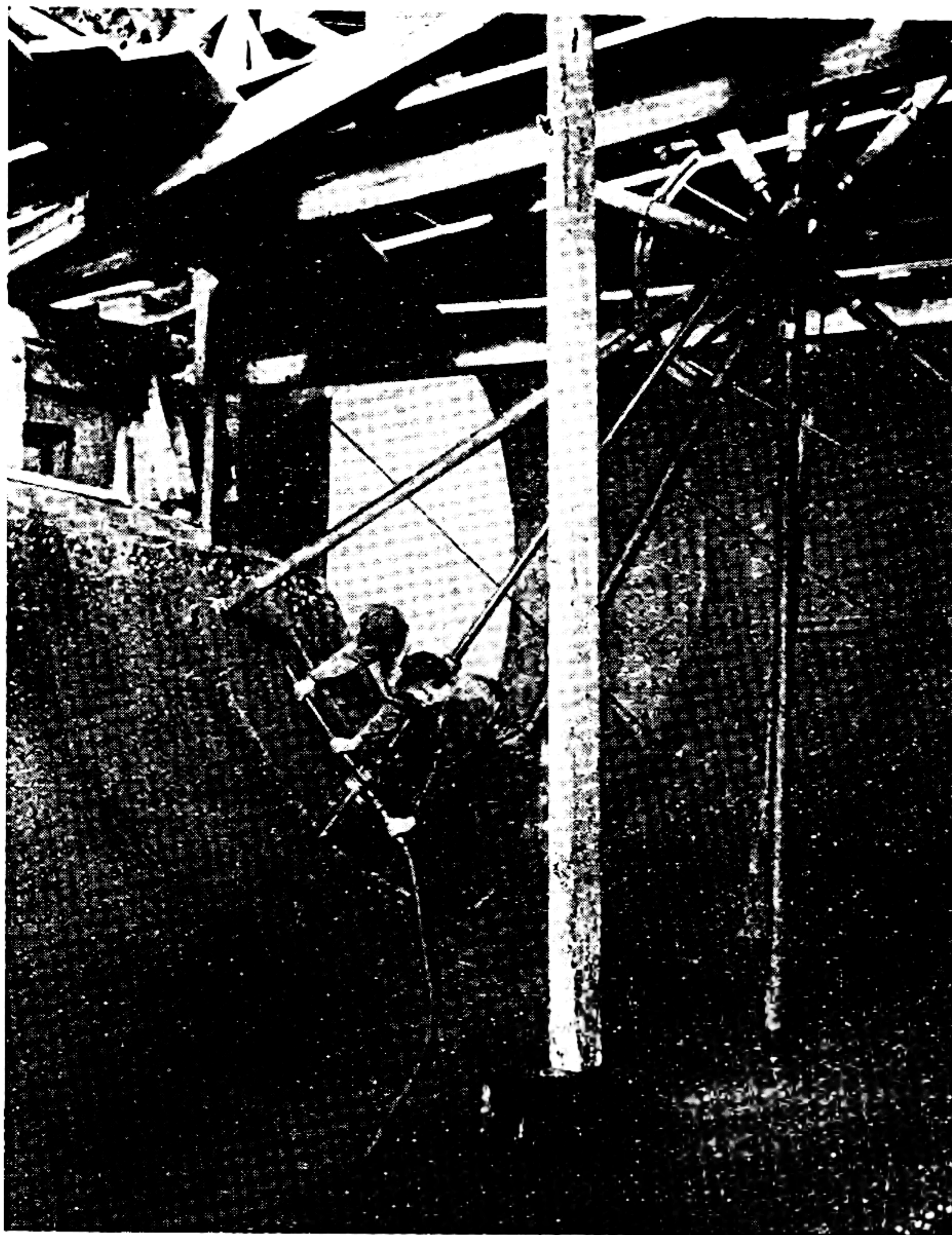
Spawanie spirali jest operacją odpowiedzialną i wymagania stawiane przy tym są analogiczne do wymagań stawianych przy spawaniu naczyń ciśnieniowych. W § 18 omówiono obróbkę brzegów sekcji, elektrody używane do spawania, kolejność spawania, kontrolę szwów oraz wypróbowanie spirali.

Kanał odwadniający 6 przypawa się od dołu szwem ciągłym, zaś od góry — przerywanym. Ma to na celu zapewnienie przedostawania się do kanału wody przeciekającej przez spiralę.

Podkładki 11 oraz dźwigniki 10 w celu uniknięcia ich przesuwania się podczas betonowania przypawa się do spirali i do uzbrojenia fundamentu. Przed zabetonowaniem należy sprawdzić ustawienie spirali, po czym na jej górną część nakładamy sprężysty podkład. Podkład ten ma zapobiec oddziaływaniu na spiralę sił spowodowanych skurczem betonu po jego związaniu się oraz umożliwić sprężyste odkształcenia ścianek spirali podczas pracy. Podkład składa się z warstwy asfaltu naniesionego na spiralę, warstwy filcu, dwóch warstw papy oraz z jeszcze jednej powierzchniowej warstwy asfaltu.

Wszystkie prowizoryczne urządzenia, które uprzednio zostały umocowane do spirali, a mianowicie ucha służące do jej transportu, nakładki, kątowniki do ściągania sekcji itp. powinny być usunięte (ścięte). W celu pewniejszego połączenia się betonu z dolną częścią spirali, przymocowuje się niekiedy do tej części kotwy, sporządzone z płaskowników lub z blachy.

Montaż spirali nitowanej jest bardziej pracochłonny i wymaga skomplikowanych urządzeń. Na rys. 54 pokazano montowanie takiej spirali przy użyciu specjalnego urządzenia, za pomocą którego poszczególne arkusze blachy dopasowuje się ściśle do siebie osiągając w ten sposób walcowo-kołowy kształt wszystkich przekrojów spirali.



Rys. 54. Urządzenie do montowania spirali nitowanej

6. Wykładzina komory turbiny i obudowa komór serwomotorów (siłowników)

Wykładzina komory turbiny 14 (rys. 51), zależnie od swej wielkości, wykonywana jest jako dwudzielna, dzielona w płaszczyźnie pionowej, z przypawaną obudową siłowników — przy czym obie połówki łączone są na kolnierze — albo też składa się z poszczególnych części, dzielonych pionowo i poziomo oraz z oddzielnych segmentów obudowy siłowników, które na miejscu ustawienia spawa się z wykładziną komory turbiny.

Wykładzina ochrania komorę turbiny przed przeciekaniem do niej wody przesączającej się przez beton i jednocześnie stanowi „odeskowanie“ przy betonowaniu.

Wykładzinę dwudzielną montuje się na placu montażowym, następnie za pomocą dźwigu ustawia się ją na kolnierzu stojana zgodnie z osiami X i Y i wreszcie przykręca się ją do niego za pomocą śrub. Wykładzina składająca się z części, które mają być spawane podczas montażu, montowana jest na miejscu swego ustawienia. Przy montażu sprawdza się wysokość rzędnych osi komór siłowników, poziome położenie i prawidłowość kierunku tych osi oraz kształt walcowy wykładziny w płaszczyźnie poziomej.

Walcowo-kołowy kształt wykładziny osiąga się za pomocą drewnianych lub metalowych rozpórek, które umieszcza się wewnątrz niej.

Metoda pomiarów oraz dokładność ustawienia obudowy serwomotorów są następujące: wysokość osi komór siłowników względem górnego kolnierza stojana mierzy się za pomocą niwelatora, zaś równoległość ustawienia osi tych komór sprawdza się mierząc odległości kolnierzy komór (i_1 oraz i_2) od odpowiednich komór.

Po ustawieniu wykładziny spawa się ją w miejscach podziału, przypawia się komorę zespołu pompowego przeciekowego olejowego i odwadniającego 16 (rys. 51) oraz — na obwodzie okładziny — kotwy 17 a następnie zakłada się i zamocowuje śruby fundamentowe 18. W celu uniknięcia przenikania wody do komory turbiny poprzez połączenie kolnierzowe wykładziny ze stojanem, kolnierz wykładziny (kątownik) należy przyspawać do stojana za pomocą szwu ciągłego.

Aby do wykładziny móc przymocować rurociągi, które mają być ułożone w betonie, należy przewidzieć szereg otworów, zaopatrzonych w przypawane kolnierze.

Rzeczywiste wymiary zmontowanego stojana, spirali i wykładziny komory umieszcza się w protokole, którego formularz pokazano na rys. 55.

Wskazywaliśmy, że wykładzinę części stożkowej rury ssawnej, pierścień fundamentowy, stojan oraz wykładzinę komory turbiny można montować na placu montażowym lub na dowolnym wolnym placu położonym w zasięgu suwnicy, a następnie części te przenosić na miejsce ich ustawienia. Jednak na początku montażu fundamentowych części pierwszej turbiny,

z reguły nie rozporządzamy suwnicą. W tym przypadku montaż tych części przeprowadzamy na miejscu ich ustawienia, posługując się budowlanymi urządzeniami dźwigowo-transportowymi.

Słowo wzrost		Protokół kontroli ustawienia stojana, spirali i wykładziny komory turbiny		Nr protokołu																																																																							
Pomiar przeprowadzony dn.																																																																											
Sprawdził:	Stator i spirala		<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Wykres płaszczyzny symetrii</td> <td>+y</td> <td>+y-x</td> <td>x</td> <td>-x-y</td> <td>-y</td> <td>-y-x</td> <td>x</td> <td>+x-y</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Stojan</td> <td>Średnica</td> <td>a</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grubość</td> <td>b</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Szerokość</td> <td>c</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Spirala</td> <td>Średnica</td> <td>d</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grubość</td> <td>e</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Wykres płaszczyzny symetrii		+y	+y-x	x	-x-y	-y	-y-x	x	+x-y	Stojan	Średnica	a								Grubość	b								Szerokość	c								Spirala	Średnica	d								Grubość	e										g										
	Wykres płaszczyzny symetrii		+y	+y-x	x	-x-y	-y	-y-x	x	+x-y																																																																	
Stojan	Średnica	a																																																																									
	Grubość	b																																																																									
	Szerokość	c																																																																									
Spirala	Średnica	d																																																																									
	Grubość	e																																																																									
		g																																																																									
Zmierzł:	Komory słowników		<table border="1"> <tr> <td colspan="4">Komora lewa</td> <td colspan="4">Komora prawa</td> </tr> <tr> <td>l_1</td> <td>l_2</td> <td>l_3</td> <td>h_1</td> <td>l_2</td> <td>l_3</td> <td>h_2</td> <td>h_3</td> </tr> <tr> <td colspan="8">Wymiary rzeczywiste</td> </tr> </table>			Komora lewa				Komora prawa				l_1	l_2	l_3	h_1	l_2	l_3	h_2	h_3	Wymiary rzeczywiste																																																					
	Komora lewa				Komora prawa																																																																						
l_1	l_2	l_3	h_1	l_2	l_3	h_2	h_3																																																																				
Wymiary rzeczywiste																																																																											

Rys. 55. Formularz protokołu kontroli ustawienia stojana, spirali i wykładziny komory turbiny

Na rys. 28 pokazano transport połowy pierścienia fundamentowego na miejsce jego ustawienia przy użyciu dźwigowego urządzenia linowego.

7. Rurociągi fundamentowe

Po zmontowaniu spirali oraz wykładziny komory turbiny przedłuża się zainstalowane uprzednio rurociągi fundamentowe i doprowadza je do tej komory. Oprócz tego instaluje się fundamentowy rurociąg zasilający, tj. odcinek tego rurociągu przebiegający w fundamencie.

Przygotowanie rur, ich spawanie, składanie oraz montaż przeprowadza się tak, jak to omówiliśmy w § 17.

Zazwyczaj instaluje się następujące rurociągi fundamentowe:

a) rurociąg 19 (rys. 51), którym doprowadza się wodę do smarowania tulei łożyska poprzecznego wykonanej z drewna preparowanego (lignofoilu) albo z gumy; woda dopływa przez komorę 20, która na wlocie zaopatrzona jest w filtr sporządzony z okrągłego kawałka blachy żelaznej z wywierconymi w nim otworami; filtr ten zatrzymuje zanieczyszczenia znajdujące się ewentualnie w wodzie;

b) rurociąg 21, podobny do poprzedniego, zaopatrzony w komorę doprowadzającą; rurociąg ten służy do zasilania ejektora, który odpompowuje wodę przeciekową, gromadzącą się na pokrywie turbiny;

c) rurociąg spustowy 22, który służy do odprowadzania wody z pokrywy turbiny do rury ssawnej;

d) rurociąg 23, przeznaczony do odciążania wirnika; rurociąg ten odprowadza wodę z przestrzeni znajdującej się nad wirnikiem (przestrzeni nadwirnikowej) do rury ssawnej;

e) rurociąg 24 służący do odciążania stojana; rurociąg ten odprowadza wodę przeciekową z przestrzeni zawartej pomiędzy stojanem i pierścieniem fundamentowym;

f) rurociąg 25 łączący rurę ssawną z manowakuometrem;

g) rurociąg 26 łączący spiralę z manometrem;

h) rurociąg 27 prowadzący od spustowego zaworu spirali do rury ssawnej.

Oprócz tego instaluje się: rurki piezometryczne, które służą do pomiarów ciśnienia w spirali przy badaniu sprawności turbiny; rurkę łączącą rurę ssawną z przekaźnikiem sterującym automatycznie napowietrzanie komory wirnika w przypadku gdy prądnica pracuje jako silnik synchroniczny¹⁾ — wreszcie inne rurki.

W celu uniknięcia przecieków w miejscach spójń, co może doprowadzić do wymywania betonu i przesączenia się wody, wszystkie rurociągi fundamentowe powinny być szczelnie zespawane przy użyciu elektrod jakościowych, zaś przed zabetonowaniem powinny być w sposób pewny zmocone oraz zabezpieczone przed możliwością przesuwania się oraz płamania przy nanoszeniu betonu. W praktyce zdarzały się wypadki, że małe rurki ulegały zniszczeniu przy zabetonowaniu, co było przyczyną rozmywania betonu podczas eksploatacji turbiny.

Po całkowitym ukończeniu montażu części fundamentowych oraz po nałożeniu podkładu sprężystego na spiralę sporządza się odpowiednie odeskowanie i układa się beton do wysokości rzędnej wierzchu wykładziny komory turbiny, po czym przystępuje się do wykonania betonowego bloku podprądnicowego.

Zabetonowywanie części fundamentowych. Elementy części fundamentowych zabetonowuje się w następującej kolejności: a) dolny zespół (pierś-

¹⁾ Tego rodzaju praca prądnicy ma na celu wyrównanie przesunięcia fazowego tzw. $\cos \varphi$ w sieci elektrycznej (przyp. tłum.).

cień fundamentowy oraz wykładzina części stożkowej rury ssawnej), b) górny zespół (spirala oraz wykładzina komory turbiny).

Pożądane jest, aby po ukończeniu montażu górnego zespołu jednocześnie zabetonowywać dolny zespół oraz zespół górny, gdyż skraca to czas montażu części fundamentowych o czas potrzebny do zabetonowania i związania betonu dolnego zespołu. W tym przypadku wykładzinę części stożkowej rury ssawnej montuje się po ustawieniu stojana, zaś rurociągi fundamentowe zespołu górnego oraz dolnego — jednocześnie, bez przerwy, po ustawieniu wykładziny komory turbiny.

Ustawienie całości części fundamentowych w przypadku betonowania jednoczesnego może ulec naruszeniu pod wpływem ciężaru górnego zespołu tych części oraz nierównomiernego nacisku wywieranego na nie przez nanoszony beton. W celu uniknięcia tego należy pierścień fundamentowy oraz spiralę zmocować z fundamentem za pomocą dodatkowych podpór i rozpór.

§ 21. MECHANIZMY ROBOCZE ORAZ URZĄDZENIA POMOCNICZE TURBIN FRANCISA ZE SPIRALAMI SPAWANYMI

Do mechanizmów roboczych i urządzeń pomocniczych tych turbin zaliczamy następujące zespoły: 1) zespół części wirujących turbiny, 2) kierownicę, 3) zespół łożyska poprzecznego turbiny, 4) mechanizmy pomocnicze.

Montaż mechanizmów roboczych turbin dowolnego typu i konstrukcji powinien spełniać następujące ogólne wymagania techniczne:

a) Zespół części wirujących turbiny powinien być ustawiony ściśle pionowo i dokładnie wycelowany i znajdować się na wysokości rzędnej podanej w projekcie. Po połączeniu tego zespołu z wirnikiem prądnicy, wspólna oś wału powinna być pionowa i nie powinna wykazywać zgięć, zaś wał powinien obracać się w łożyskach bez zakleszczenia. Śruby wszystkich połączeń kołnierzowych wałów powinny być równomierne i mocno skręcone oraz zabezpieczone przeciw odkręcaniu się.

b) Łopatkki kierownicze powinny: łatwo obracać się, bez martwych ruchów oraz szkodliwych oporów tarcia, otwierać się do żadanego w projekcie rozwarcia, szczelnie zamykać się, przecieki przez łopatkki powinny być możliwie jak najmniejsze.

c) Woda oraz olej nie powinny wyciekać na zewnątrz z różnych złączy części turbiny i ze złączy rurociągów. Dopuszczalne są nieznaczne przecieki wody poprzez uszczelnienia łopatek kierowniczych oraz wału turbiny. Przecieająca woda powinna zbierać się na pokrywie turbiny, tak aby można ją było łatwo usunąć za pomocą głównych urządzeń odwadniających.

d) Turbina wodna powinna rozwijać moc przy dowolnym określonym spadzie zgodnie z charakterystyką projektu, przy czym nie powinny występować nadmierne drgania, hałas i stukanie.

e) Przy nieprzerwanym działaniu turbozespołu pod obciążeniem, stany termiczne części podlegających tarcia (łożysk poprzecznych, łożyska wzdłużnego) powinny odpowiadać stanom przepisany przez wytwórnie turbozespołu.

1. Zespół wirujący turbiny

Zespół ten stanowią: wirnik 1 (rys. 56) wraz z pierścieniami uszczelnienia labiryntowego 2; wał turbiny 3, który w pewnych przypadkach składa się z dwóch sztywno połączonych z sobą wałów a mianowicie wału turbiny oraz wału pośredniego; opływka (osłona stożkowa piasty wirnika) 4.

Wirniki są zazwyczaj niedzielone i wykonane ze staliwa, zaś w rzadkich przypadkach, w których wymiary ich są większe od gabarytów kolejowych — składa się je z poszczególnych części. Wirniki niedzielone dostarczane są do siłowni wodnej z nasadzoną już i zamocowanymi pierścieniami uszczelnień labiryntowych. O ile chodzi o wielkie wirniki dzielone, a w pewnych przypadkach niedzielone, to ich pierścienie labiryntowe dostarczane są oddzielnie i należy je montować na miejscu.

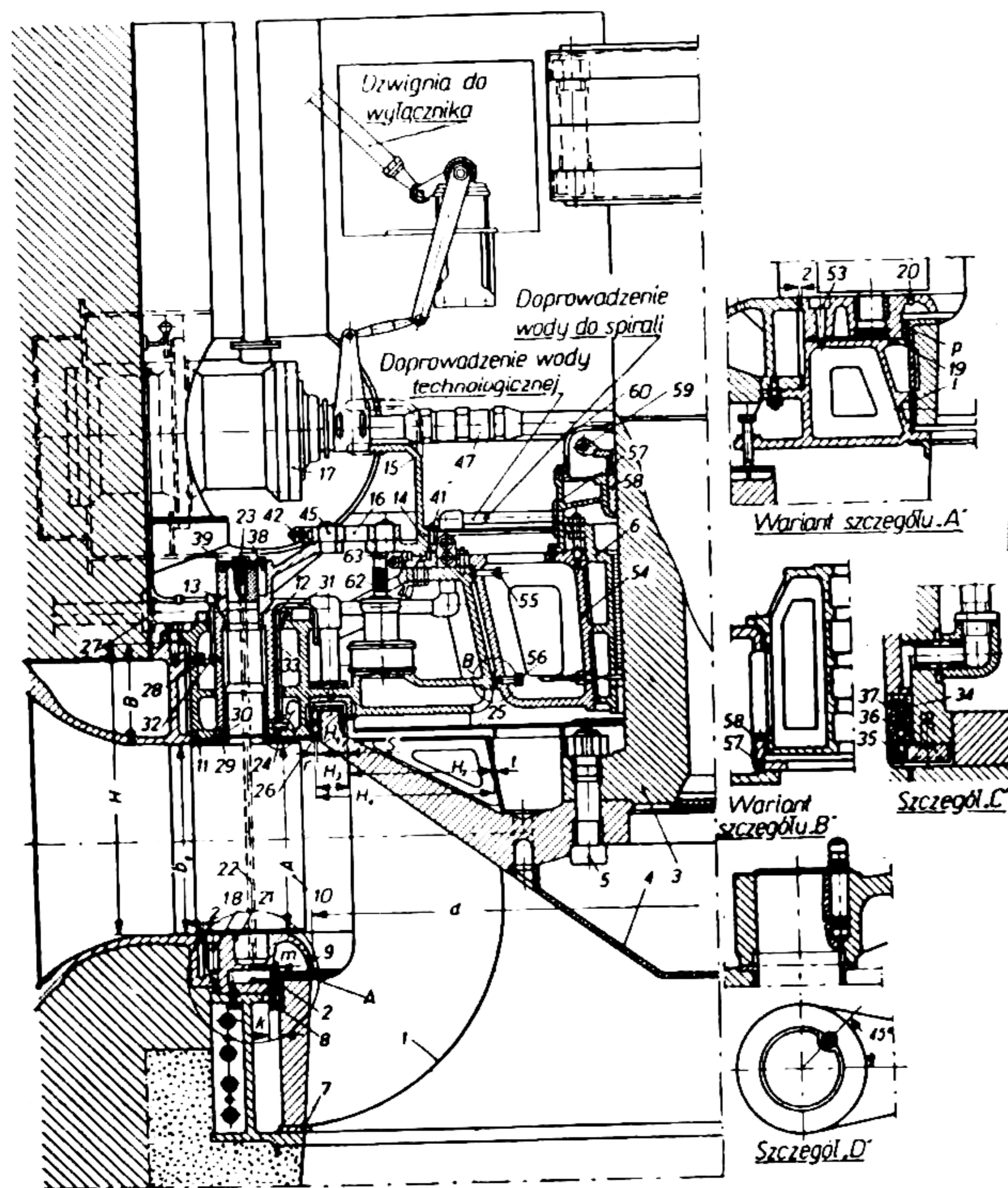
Wyrównoważenie statyczne wirników niedzielonych przeprowadza się w zasadzie w wytwórniach, zaś wirników dzielonych — podczas montażu siłowni wodnej. W § 67 opisana została metoda wyrównowywania statycznego.

Zespół wirujący turbiny, przed ostatecznym jego zamontowaniem, montuje się całkowicie na placu montażowym, przy czym wszystkie elementy należy starannie oczyścić z brudu. Wirnik (niedzielony) ustawia się do poziomu na specjalnych kozłach żeliwnych o wysokości 600 do 800 mm, co daje możliwość wykonywania robót pod wirnikiem (założenia śrub służących do zmocowania wirnika z wałem, założenia opływki i przymocowanie jej do wirnika, przeprowadzenie oględzin wirnika). O ile nie rozporządzamy kozłami, to wirnik można ustawić na uprzednio przygotowanym rusztowaniu, sporządzonym ze zmocowanych z sobą belek drewnianych. Następnie wirnik zmocowuje się z wałem turbiny.

Wał ten olinowuje się za pomocą specjalnego urządzenia (patrz rys. 31), odwraca go i przy użyciu dźwigu ustawia na właściwym miejscu. Uprzednio należy bardzo starannie sprawdzić stan powierzchni połączenia kołnierzowego, występu centrującego oraz otworów na śruby. Posługujemy się w tym celu liniałem wzorcowym, którym sprawdzamy „na prześwit”. Należy przy tym usunąć lokalne wypukłości, niekiedy ledwo dostrzegalne gołym okiem, a wywołane przez wgniecenia, uderzenia i zadrażnienia. W ten sposób należy sprawdzić wszystkie kołnierze wałów, gdyż zadrażnienie lub wgniecenie, które spowodowało powstanie wypukłości rzędu nawet setnych części milimetra, może być przyczyną niedopuszczalnego „rzucania się” wału.

Wał ustawia się na wirniku tak, aby montażowy znak fabryczny na nim umieszczony pokrywał się z odpowiednim znakiem na wirniku oraz, aby otwory na śruby pasowane nie były przesunięte względem siebie. Wykonuje

się to w ten sposób, że w otwory w wirniku zakłada się dwie lub trzy śruby pasowane 5 (rys. 56) w celu kierowania wałem. Następnie, zgodnie z oznaczeniami, zakłada się wszystkie śruby pasowane. Wykonuje się to



Rys. 56. Mechanizmy robocze turbiny Francisza zaopatrzonej w spiralę spawaną (przekrój)

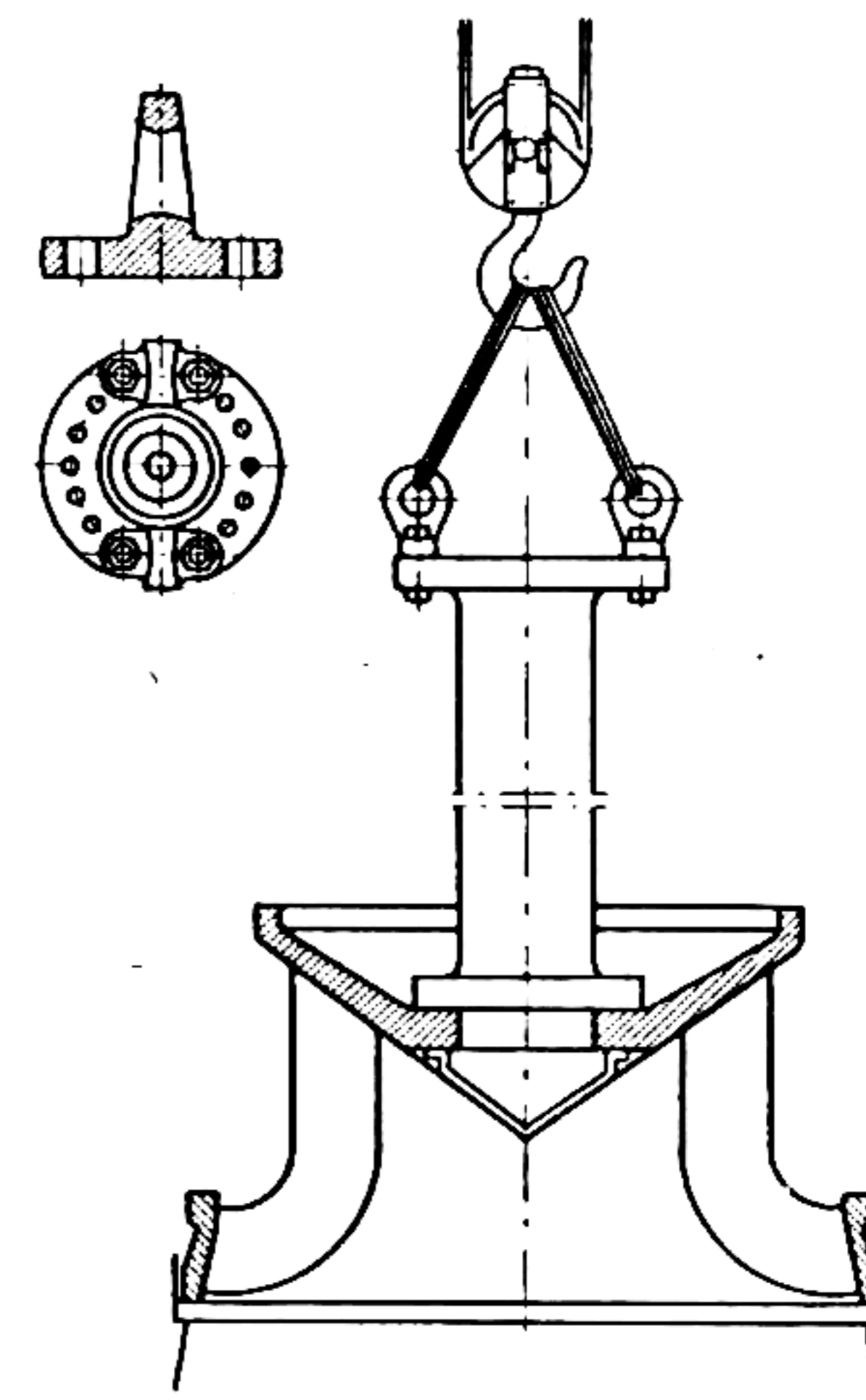
za pomocą dźwignika od dołu lub dźwigu (wielokrążków) z góry, w ostatnim przypadku chwytając za śruby z uchami, które wkręca się w powierzchnie czołowe śrub pasowanych. Śruby pasowane powinny być uprzednio nasma-

rowane maścią rtęciową, gdyż ułatwia ona ich demontaż w przypadku naprawy. Śruby dociąga się mocno dociągając stopniowo śruby leżące naprzeciwko siebie. Połączenie kołnierzy sprawdza się na prześwit oraz za pomocą szczelinomierza. Obecność szczelin jest niedopuszczalna.

Czynność dociągania jest bardzo pracochłonna. Oprócz tego wykonane pomiary napięcia śrub wykazały, że opisana tutaj metoda nie zabezpiecza równomiernego dociągnięcia wszystkich śrub z wymaganą siłą, nawet wówczas, jeżeli dociąganie zostało przeprowadzone przez doświadczonych monterów. Z tego powodu należy dociągać za pomocą specjalnych kluczy pneumatycznych, zaś w tych konstrukcjach, w których śruby są przewiercone na wylot, napięcie wywołane dociąganiem należy sprawdzić przez pomiar ich wydłużenia za pomocą czujnika. Opis tego sprawdzania podano w § 32. Po umocowaniu śrub, zabezpiecza się nakrętki przeciw odkręcaniu; w tym celu szepia się je szwem punktowym z kołnierzem wału.

Oplwyk, poprzez otwory odciążające, podciąga się do wirnika za pomocą dźwigu. Jeżeli konstrukcja na to nie pozwala, to używa się w tym celu specjalnych długich śrub szpilkowych lub dźwigników. Po przymocowaniu oplwyki, zabezpiecza się nakrętki śrub szepiając je jak wyżej. W ten sam sposób szepia się nakrętki mocujące pierścienie uszczelnień labiryntowych. W razie konieczności współśrodkowość tych pierścieni sprawdzamy w sposób podany w § 61.

Po zmontowaniu zespołu wirującego turbiny, olinowuje się go i zawieszają na haku dźwigni w ten sposób, aby zachował on swe pionowe położenie (rys. 57). Następnie opuszcza się go do komory turbinowej i ustawia na specjalnych miarowych podkładkach lub na podwójnych klinach 7 (rys. 56), które układa się uprzednio na pierścieniu fundamentowym i poziomuje. Zależnie od ciężaru zespołu wirującego, stosuje się 4 do 8 par klinów. Wysokość klinów powinna być taka, aby wirnik można było ustawić poniżej projektowanej rzędnej o grubość występu górnego kołnierza wału turbiny i z zapasem 3 do 4 mm. W ten sposób zabezpieczamy sobie możliwość przycentrowania wału prądnicy.



Rys. 57. Transport zespołu wirującego turbiny przy zastosowaniu specjalnych uch

O ile turbozespół posiada wał pośredni, to ostatni sprzęga się z wałem turbiny w jej komorze, nie zaś na placu montażowym, gdyż wysokość dźwigu ponad stojanem prądnicy obiera się możliwie najmniejszą, to znaczy taką, aby można było przenosić za pomocą dźwigu wirnik zmontowany z jednym wałem. Kolejność sprawdzania i oczyszczania kołnierzy wałów oraz ich zmocowywania jest analogiczna do wyżej opisanej. W celu łatwiejszego sprzęgania wałów buduje się pomost drewniany na poziomie połączenia kołnierzewego.

W chwili opuszczania zespołu wirującego należy założyć w kołową szczelinę *a*, utworzoną przez dolny wieniec wirnika i krawędź stojana, kilka listew kierowniczych, których grubość powinna być nieco mniejsza od szerokości szczeliny (rys. 56); listwy te ułatwiają współśrodkowe ustawienie zespołu. Następnie sprawdza się względem stojana ustawienie zespołu wirującego, mierząc w tym celu za pomocą szczelinomierza szerokość szczelin pomiędzy górnym i dolnym wieńcem wirnika a stojanem. Jednocześnie za pomocą poziomnicy ustawionej na górnym kołnierzu, przeprowadza się wstępną kontrolę pionowego ustawienia wału. Posługując się klinami staramy się ustawić wał w pozycji pionowej. W konstrukcjach, w których dolna część dolnego wieńca posiada dodatkowe uszczelnienie (szczegół A na rys. 56), wirnik turbiny centruje się podług górnego wytoczenia stojana oraz dodatkowo według szczeliny. b.

Dla ułatwienia wykonywania robót, buduje się pod wirnikiem pomost, który opiera się na kątownikach prowizorycznie przyspawanych do wykładziny części stożkowej rury ssawnej lub zawieszonych na wirniku. Pomost umieszczony jest o 1 do 1,2 m poniżej wirnika.

Dolny nieruchomy pierścień labiryntowy 8 (rys. 56) opuszcza się na miejsce zamontowania, centruje się go względem wirnika, tak aby szczelina *m* była współśrodkowa a następnie umocowuje do stojana i ustala jego położenie za pomocą kołków ustalających.

Opisane tutaj centrowanie zespołu wirującego jest to centrowanie wstępne. Centrowanie ostateczne przeprowadza się dopiero po zmontowaniu kierownicy. Omówimy je dalej.

Montaż dzielonego wirnika turbiny Francisa. Wirniki, których wymiary są większe od gabarytów kolejowych, wykonuje się, jak o tym uprzednio wspominaliśmy, jako wirniki dzielone, składające się z dwóch lub trzech części. Wirniki takie montuje się w miejscu montażu za pomocą nałożonych na nie obręczy. Wytwórnice turbin wodnych w ZSRR budują wirniki dwudzielne, dzielone w płaszczyźnie południkowej, tj. przechodzącej przez oś wirnika.

Wirnik montuje się na placu montażowym (patrz rys. 193b). W tym celu połówki wirnika ustawia się na kozłach o jednakowej wysokości, po czym za pomocą śrub umieszczonych w nadlewach 4 oraz 6 na górnym oraz dolnym wieńcu, zmocowuje się je razem. Dokładność ustawienia obu połówek względem siebie osiąga się przez założenie fabrycznych kołków ustalających 3 oraz 8. Powierzchnie podziału wirnika powinny ściśle przylegać do

siebie. Dopuszczalne są lokalne szczeliny o grubości nie przewyższającej 0,1 mm.

Obręcze 2 i 7 nakłada się ze znacznym skurczem (4 do 6 mm), który wywołuje wielkie naprężenia w metalu (do 1700 kG/cm²). Z tego powodu nasadzanie obręczy jest czynnością bardzo odpowiedzialną i powinno być wykonywane bardzo starannie. Obręcze nagrzewa się jednocześnie za pomocą kilku wielkich palników, równomiernie na całym obwodzie lub też za pomocą prądu elektrycznego. Temperaturę nagrzania kontroluje się za pomocą termometrów. Po osiągnięciu przepisanej temperatury sprawdza się średnicówką rozszerzenie obręczy, po czym nasadza się ostatnią na wieniec wirnika. Nagrzanie obręczy powinno być takie, aby jej wewnętrzna średnica powiększyła się (rozszerzyła) o wielkość

$$\Delta d = n + c + 2\delta$$

gdzie: *n* — wielkość skurczu,

c — współczynnik rezerwy rozszerzenia obręczy, którego wartość powinna zapewnić dostateczną szerokość szczeliny przy nasadzeniu obręczy i wyrównać możliwe odkształcenia, niedokładności pomiaru oraz ostygnięcie obręczy podczas przenoszenia jej za pomocą dźwigu,

δ — grubość wystającego kołnierza na wewnętrznej osadce powierzchni obręczy.

Wartość *c* zaleca się obierać w granicach od 0,6 do 0,8 wartości skurczu. Temperaturę nagrzania obręczy oblicza się ze wzoru

$$t = \frac{\Delta d}{\alpha} + t_0$$

gdzie: *d* — wewnętrzna średnica obręczy mm,

α — średni współczynnik rozszerzalności liniowej; dla staliwa $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6}$

*t*₀ — początkowa temperatura obręczy przed rozpoczęciem jej ogrzewania.

Przykład: Wewnętrzna średnica górnej obręczy *d* = 4746 mm; żądany skurcz *n* = 4 mm; kołnierz wystaje na *δ* = 1 mm; temperatura początkowa obręczy *t*₀ = 25°; współczynnik rezerwy *c* obieramy równy 0,6 *n*. Wówczas:

$$\Delta d = 4 + 0,6 \cdot 4 + 2 = 8,4 \text{ mm}$$

Zatem obręcz należy nagrzać do temperatury

$$t = \frac{8,4}{4746 \cdot 11,5 \cdot 10^{-6}} + 25 = 180^\circ$$

Podobnie dla obręczy dolnej, nie zaopatrzonej w wystający kołnierz, przy *d* = 6050 mm i *n* = 6 mm, będzie

$$d = 6 + 0,6 \cdot 6 = 9,6 \text{ mm}$$

zaś temperatura nagrzania

$$t = \frac{9,6}{6050 \cdot 11,5 \cdot 10^{-6}} + 25 = 163^\circ$$

Po nasadzeniu obręczy usuwa się mechanicznie nadlewy na wewnętrznej powierzchni dolnego wieńca i miejsca po nich pozostałe szlifuje się; krawędzie wystającej części łopatki przy płaszczyźnie podziału przypawa się do wieńców wirnika a następnie na wieńcu górnym i dolnym umocowuje się dwudzielne pierścienie uszczelniające. Części tych pierścieni ściąga się za pomocą specjalnego urządzenia (patrz rys. 163), po czym przypawa je i z mocowuje z wirnikiem za pomocą śrub. Współśrodkowość uszczelnień labiryntowych można sprawdzić za pomocą urządzenia pokazanego na rys. 164.

Ponieważ w wytwórni nie przeprowadza się kompletnego montażu wirnika, więc dopiero na miejscu montażu podlega on statycznemu wyważeniu. W § 67 podano metody tego wyważania.

Po wykonaniu wyliczonych tutaj prac z mocowuje się wirnik z wałem turbiny za pomocą śrub pasowanych.

Wirnik, pod działaniem sił skurcznych obręczy może się odkształcić i wskutek tego niektóre jego otwory na śruby pasowane mogą stracić swą współosiowość z odpowiednimi otworami w kołnierzu wału. W takich przypadkach otwory te roztacza się za pomocą specjalnego przyrządu i dopasowuje się nowe śruby (§ 68). W tym celu wytwórnia dostarcza śruby zapasowe z odpowiednim naddatkiem, które przetacza się i szlifuje według nowych wymiarów roztoczonych otworów.

Poza tym zespół wirujący składa się i montuje stosując zwykle metody, które opisane zostały w pierwszej części tego paragrafu.

2. Kierownica

Kierownica (patrz rys. 56) składa się z następujących zasadniczych części: dolnego pierścienia 9, łopatek 10, pokrywy turbiny 11 z łożyskami łopatek 12, dźwigni łopatek 13, pierścienia regulacyjnego 15 i jego łoża 14, strzemiion 16 oraz z serwomotorów (siłowników) 17.

Wymiary części kierownicy oraz jej elementy kinematyczne zależą od wymiarów gabarytowych wirnika, nie zaś od jego typu.

Łopatki kierownicze obracane są zazwyczaj za pomocą dwóch serwomotorów i tylko w rzadkich przypadkach stosuje się jeden siłownik.

Dolny pierścień kierownicy składa się z dwóch lub czterech członów. Montuje się go na placu montażowym i następnie za pomocą dźwigu ustawia na stojanie. Podczas montażu należy się przekonać czy powierzchnie styku ściśle do siebie dolegają i czy powierzchnie obrobione nie są względem siebie przesunięte. Powierzchnie wzajemnego styku stojana i pierścienia powinny być starannie oczyszczone przed ustawieniem pierścienia na stojanie. Pierścień dolny z mocowuje się za pomocą śrub 18 dopiero po pokryciu się jego osi X oraz Y z odpowiednimi osiami stojana i po wycentrowaniu pierścienia według szczeliny n.

W pewnych konstrukcjach pierścień labiryntowy nie jest przymocowany do stojana, lecz do dolnego pierścienia kierownicy, jak to pokazano na

rys. 56 (szczegół A). W tym przypadku na placu montażowym, przed opuszczeniem dolnego pierścienia kierownicy, przymocowuje się do niego pierścień labiryntowy 19, centruje się ten pierścień i ostatecznie przymocowuje się za pomocą wkrętek, które zabezpiecza się przez elektryczne szczepienie.

W celu ułatwienia wycentrowania dolnego pierścienia kierownicy względem wirnika, przewidziane są otwory 20 (patrz szczegół A), przez które za pomocą szczelinomierza można zmierzyć szerokości szczeliny p. Szczelina ta powinna być współśrodkowa.

W tablicy 46 podano dopuszczalne odchyłki przy montażu tego pierścienia oraz wszystkich pozostałych części kierownicy.

Po umocowaniu dolnego pierścienia mierzymy wysokość H, która powinna równać się

$$H = A + B + A_2 + B_2,$$

gdzie: A — wysokość najwyższej łopatki,

B — wysokość pokrywy,

A₂ i B₂ — szerokości czołowych szczelin łopatek.

Jeżeli równość ta nie jest spełniona i odchyłki są większe od dopuszczalnych, to pod kołnierz pokrywy należy podłożyć odpowiedniej grubości podkładkę z płótna żaglowego, nasyczonego minią ołowianą lub pod dolny pierścień — podkładkę z blachy stalowej.

Łopatki w większości przypadków wykonuje się ze stali. Ilość łopatek z zależy od średnicy wirnika D. Zazwyczaj przyjmuje się

przy D = 1200 do 2000 mm	z = 16
„ D = 2500 do 6600 mm	z = 24
„ D = 7200	z = 32

Przed ustawieniem łopatek należy napelnić smarem Tovotte'a brązowe tuleje 21 i sprawdzić czy kanały smarowe 22, które przechodzą na wylot przez łopatkę nie są zabrudzone. Przy ustawianiu łopatek na miejscu posługujemy się śrubami z uchami, które wkręca się w otwory 23, przeznaczone na śruby regulacyjne.

W ostatnich czasach w turbinach na niskie i średnie spady dolne tuleje 31 wykonywane są z drewna preparowanego (lignofoilu).

Role smarowienia spełnia wówczas woda przedostająca się do tych tulei (szczegół A na rys. 56).

Pokrywa turbiny oraz łożyska łopatek (rys. 56). Pokrywa turbiny 11 składa się zazwyczaj z dwóch lub czterech członów i na miejsce budowy siłowni dostarczane są poszczególne człony z przymocowanymi do nich blachami ochronnymi 24 oraz przegrodami przestrzeni nadwirnikowej 25. Pokrywę montuje się na placu montażowym. Miejsca połączeń powinny być gładkie (nie powinno być uskoków) i nie powinny posiadać szpar o szerokościach większych od dopuszczalnych. W miejscach trudno dostępnych śruby łączy się za pomocą specjalnych kluczy pokazanych na rys. 34. W pokrywie umieszcza się pierścień uszczelniający 26, który centruje się i przymocowuje do pokrywy za pomocą śrub. Pierścień ten wygodniej jest zakła-

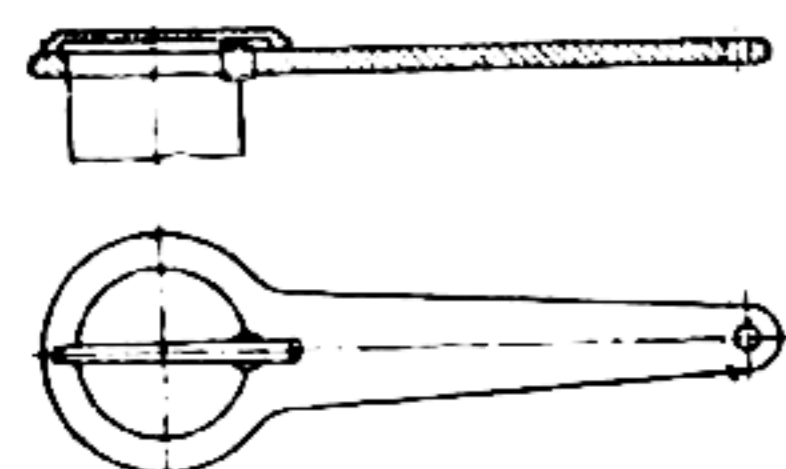
dać z góry, a więc wówczas gdy pokrywa jest odwrócona. Przy większych wymiarach zakłada się go jednak z dołu i podciąga do jego gniazda za pomocą specjalnych długich śrub.

Pokrywę olinowuje się używając w tym celu śrub z uchami, które wkręca się w otwory śrub odciskających lub liny podkłada się pod zebra pokrywy. Niekiedy pokrywę uszczelnia się za pomocą okrągłego sznura gumowego 27, który zakłada się w specjalny rowek wytoczony w stojanie.

Pokrywę ustawia się na stojanie zgodnie z osiami X oraz Y, centruje się ją według wirnika, a więc tak aby szerokość szczeliny r była jednakowa na całym obwodzie. Następnie pokrywę przymocowuje się prowizorycznie śrubami, po czym zakłada się łożyska łopatek 12, na razie bez uszczelnień 29. W celu obliczenia szerokości szczelin s i t , należy uprzednio na placu montażowym zdjąć rzeczywiste wymiary wirnika H_1 i H_2 oraz pokrywy turbiny H_3 i H_4 . Po zmierzeniu szerokości szczeliny r , można obliczyć szerokości szczelin s i t :

$$s = H_3 - H_1 - r \quad \text{oraz} \quad t = H_4 - H_2 - H_1 - r.$$

Przy zakładaniu łożysk pokręca się łopatki za pomocą specjalnego klucza (rys. 58).



Rys. 58. Klucz do pokręcania łopatek kierowniczych

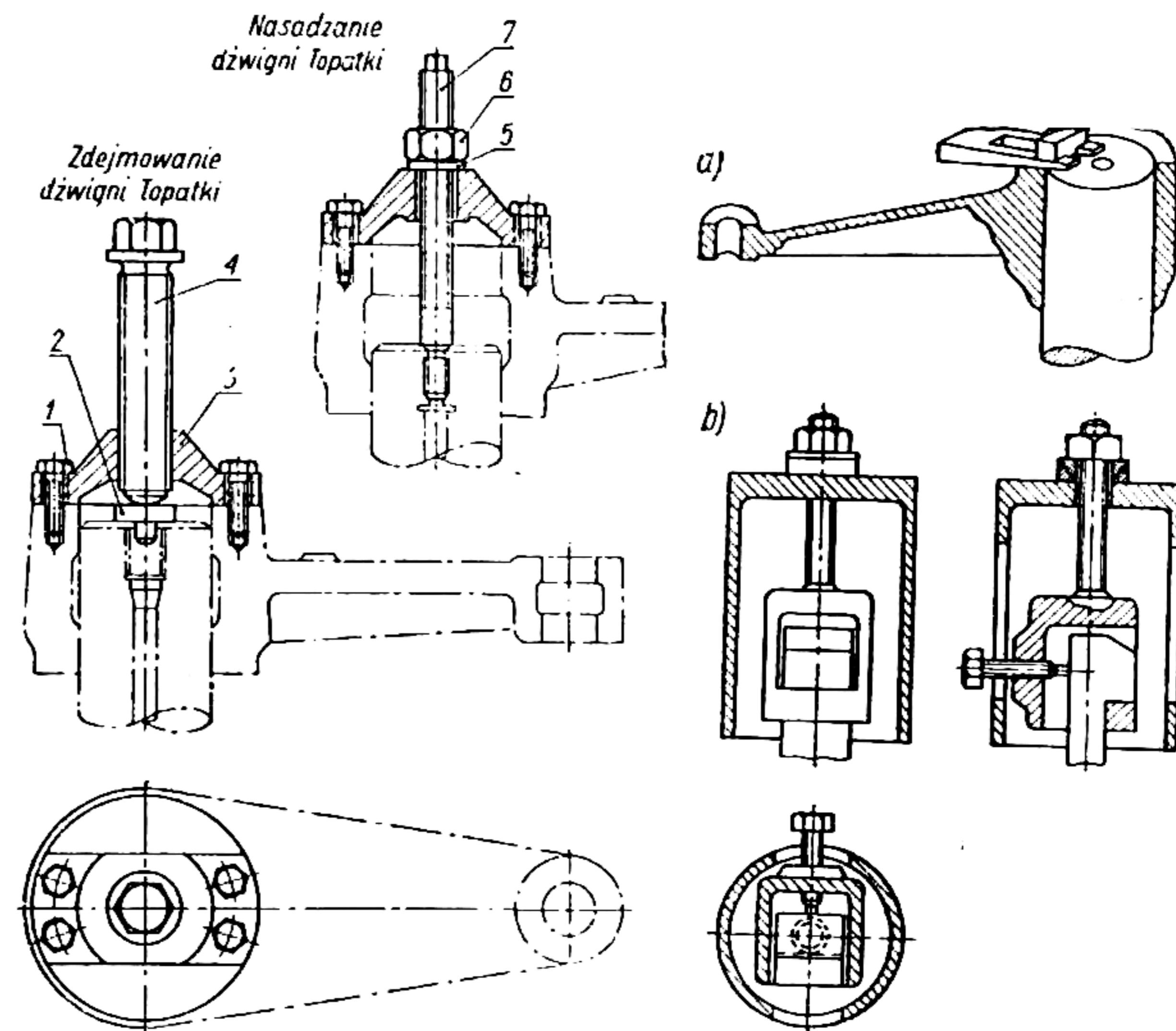
Po osiągnięciu łatwej pokrętności każdej poszczególnej łopatki, dopasowuje się ich krawędzie tak, aby na całej wysokości krawędź pióra łopatki przylegała szczelnie do łopatki sąsiedniej. Następnie łopatki zamyka się i ściąga za pomocą chomąta lub liny, po czym posługując się szczelinomierzem znajduje się miejsca nieszczelne. O ile do ściągnięcia kierownicy używamy chomąta, to zabezpiecza to później prawidłowe wyregulowanie strzemion.

Na tym kończy się kontrolny montaż kierownicy i przeprowadza się następnie jej montaż ostateczny. W tym celu wyjmuje się łożyska łopatek zakłada się uszczelnienia czopów 29 oraz uszczelki preszpanowe 31, umocowuje się rurki 32 służące do prowadzenia smaru oraz rurki 33 odprowadzające wodę przeciekającą przez uszczelnienia. Następnie łożyska ustawia się ostatecznie na miejscu.

Przy zakładaniu uszczelnień czopów (rys. 56, szczegół C) należy zwrócić uwagę na stan pierścieni skórzanych 34, które podczas długiego przechowywania mogą utracić swą sprężystość. W celu przywrócenia tej sprężystości zanurza się pierścienie na przeciąg około jednej godziny w roztopionym łożu wołowym z domieszką 8 do 10% wosku. Temperatura tej mieszaniny powinna wynosić od 60 do 80°. Nasycanie pierścieni wykonuje się w rynience, przy czym należy zwrócić uwagę, aby nie stykały się one z jej ściankami. W celu zabezpieczenia równomiernej temperatury podtrzymy-

wanej przez elektryczną kuchenkę lub palnik, zaleca się ogrzewać rynienkę w zbiorniku napełnionym wodą, tj. w tak zwanej kąpieli wodnej.

Krawędzie pierścieni skórzanych odpowiednio przycina się za pomocą noża. Aby pierścienie ściśle przylegały do czopów łopatek oraz do ścianek swych komór, przy umocowywaniu uszczelnienia należy równomiernie przykręcić pierścień 36 za pomocą śrub 35; przy czym, ze względu na odkształcenie gumowego sznura 37, pierścień ten przekręca się aż do otrzymania pewnego naprężenia wstępnego.



Rys. 59. Przyrząd do nasadzania i zdejmowania dźwigni łopatek kierowniczych: 1 — śruba; 2 — podkładka oporowa; 3 — jarzmo; 4 — śruba z gwintem rurowym; 5 — podkładka mosiężna; 6 — nakrętka; 7 — śruba z gwintem rurowym

Rys. 60. Przyrządy do wyciągania klinów łopatek kierowniczych: a) przyrząd do wyciągania klinów przyzmatycznych; b) przyrząd do wyciągania klinów okrągłych

Dźwignie łopatek (patrz rys. 56). Dźwignie łopatek 13 wykonywane są przeważnie ze staliwa. Nasadza się je na łopatki za pomocą specjalnego przyrządu pokazanego na rys. 59 i ustala klinami 38 (rys. 56). Stosowane są kliny dzielone, przyzmatyczne lub okrągłe, które pozwalają na osiągnięcie wymaganego wcisku. Kliny można wyciągnąć za pomocą przyrządów pokazanych na rys. 60.

Kliny okrągłe dzielone należy zakładać tak, jak to wskazano na rys. 56, szczególnie D. Przed wbiciem klina reguluje się wysokość ustawienia łopaty za pomocą śruby 23, która swym łbem opiera się o pokrywę dźwigni 39. Przy tym grubość szczeliny pomiędzy dolną czołową powierzchnią łopaty i dolnym pierścieniem kierownicy (szczelina dolna) powinna być większa od grubości odpowiedniej górnej szczeliny o 10 do 20% łącznej grubości obu szczelin. Grubość dolnej szczeliny daje się większą z tego względu, że przy wyrobieniu się podczas eksploatacji turbiny oparcia dźwigni (dolnej czołowej powierzchni jej piasty) łopata nie będzie trzeć się o dolny pierścień kierownicy.

Wszystkie części kierownicy należy montować zgodnie ze znakowaniem fabrycznym. Znakowanie to omówiliśmy w § 10.

Pierścień regulacyjny i jego łożo (patrz rys. 56). Przy olinowywaniu łoża, liny przewleka się przez śruby z uchami, które wkręca się w specjalne nagwintowane otwory. Łoże przenosi się na miejsce jego ustawienia przy użyciu dźwigu i umocowuje je za pomocą śrub. W rzucie poziomym orientuje się je według znaczka fabrycznego i centruje w specjalnym zatoczeniu znajdującym się na pokrywie turbiny. Następnie zakłada się skórzany pierścień 40 sporządzony z technicznej skóry odpornej na smary, którego zadaniem jest ochrona powierzchni ciernych łoża i pierścienia regulacyjnego przed zabrudzeniem oraz utrzymanie na tych powierzchniach smaru.

Pierścień regulacyjny 15 wykonany jest zazwyczaj ze staliwa i podobnie jak jego łożo, zależnie od swej wielkości, dostarczany jest w całości lub w postaci oddzielnych członów, które montuje się na placu montażowym.

Przed ustawieniem pierścienia regulacyjnego na swoim miejscu, specjalne zagłębienie w łożu należy napęczyć smarem Tovotte'a aż do poziomu pierścienia skózanego (zawory napowietrzające powinny być przy tym już ustawione na swych miejscach).

Pierścień regulacyjny olinowuje się przez śruby z uchami i za pomocą dźwigu ustawia się go na miejscu, a następnie ustawia się i umocowuje człony pierścienia ustalającego 41. Należy przy tym zmierzyć grubość szczeliny pionowej oraz szczeliny poziomej utworzonych przez ten pierścień i pierścień regulacyjny. Grubości te powinny odpowiadać grubościom podanym na rysunku. Następnie należy sprawdzić czy pierścień regulacyjny, w granicach jego ruchu, daje się łatwo obracać. Wykonuje się to ręcznie lub za pomocą wciągników (jednocześnie sprawdza się działanie zaworów napowietrzających).

Do zawieszenia wciągników należy zainstalować dwie klamry, które zabetonowuje się i przypawa do wykładziny komory turbinowej. Wciągники przymocowuje się do pierścienia regulacyjnego za pomocą uch (rys. 61). W wielkich turbozespołach, w których obrót pierścienia regulacyjnego wymaga zastosowania wielkich sił, używa się wciągnika silnikowego lub wciągarki z krążkiem.

Należy zauważyć, że o ile jest dostateczna ilość miejsca, to zespół składający się z pokrywy turbiny, łoża pierścienia regulacyjnego oraz pier-

ścienia regulacyjnego montuje się na placu montażowym i następnie za pomocą dźwigu w całości opuszcza na stojan.

Strzemiona. Strzemiona 16 za pośrednictwem kamieni (suwaków) łączą pierścień regulacyjny z dźwigniami łopatek. Położenie kamieni ustala się za pomocą sworzni bezpieczeństwa 42, które ulegają zniszczeniu w razie ugrzęźnięcia ciała stałego pomiędzy zamykającymi się łopatkami. W ten sposób zapobiega się uszkodzeniom przekładni kinematycznej kierownicy.

Niekiedy stosuje się zderzaki ochronne 43 (patrz rys. 62)¹⁾, które ograniczają obrót dźwigni, a zatem i obrót strzemiona. Ma to na celu, w razie zerwania się sworzni bezpieczeństwa, zapobieczenie możliwości uderzenia strzemiona w strzemiono sąsiednie, co może wywołać kolejne zniszczenie szeregu sworzni. Oprócz tego na stojanie znajdując się zderzaki w postaci nadlewów lub kołków, które ograniczają rozwarcie łopatek do dopuszczalnej maksymalnej wartości.

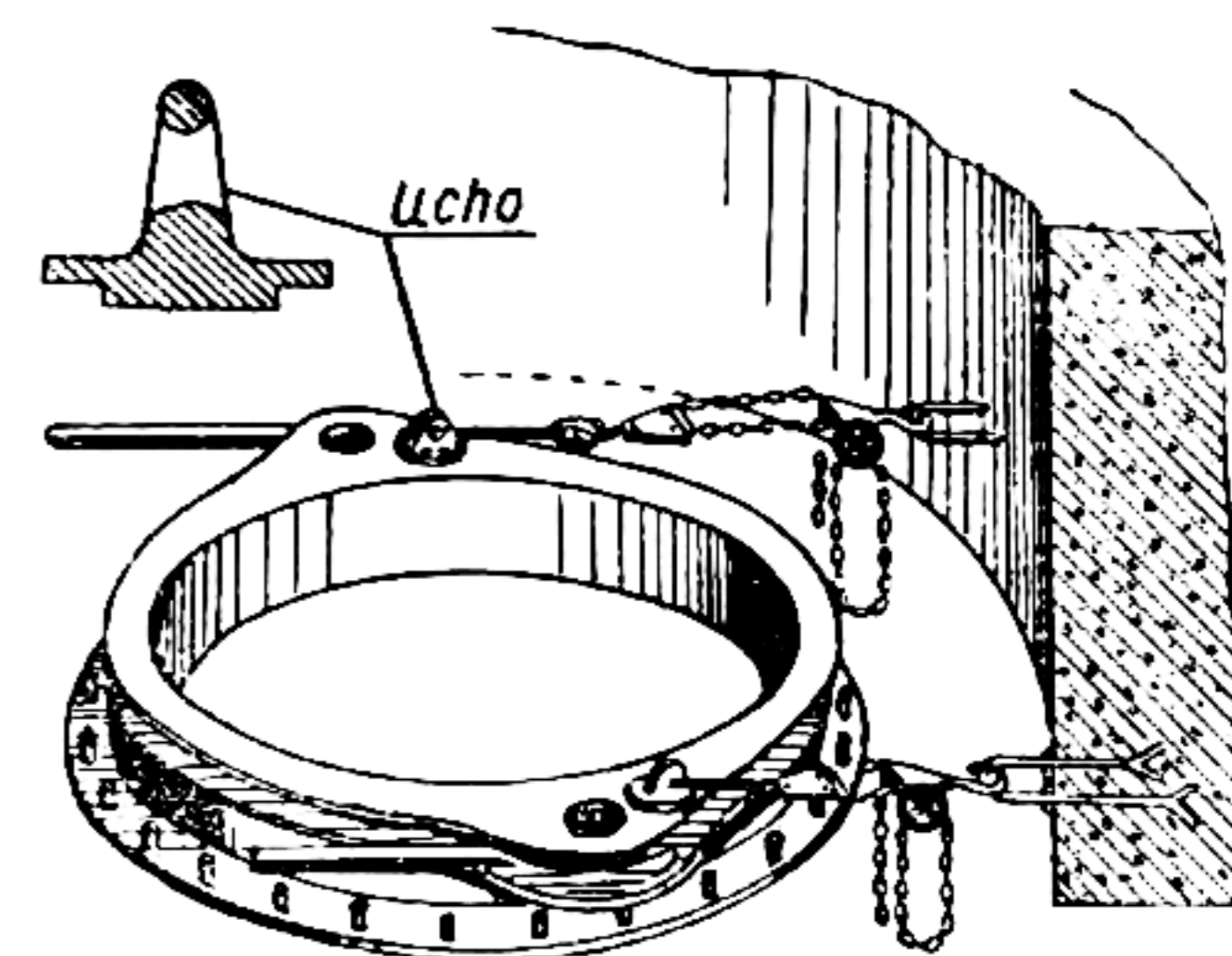
Przy montowaniu strzemion, długości ich l wyregulowuje się za pomocą sworzni bezpieczeństwa. Regulację przeprowadza się gdy łopatki są zamknięte (kiedy są ściągnięte za pomocą chomąta lub liny), zaś ucha pierścienia regulacyjnego znajdują się w położeniu zamknięcia. Położenie to wskazane jest przez znaczek fabryczny lub określa się go na podstawie wymiarów rysunkowych. Przy takim ustawieniu łopatek i pierścienia strzemiona powinny sprzęgać trzpienie pierścienia regulacyjnego z trzpieniami dźwigni.

W celu umożliwienia odtworzenia dokładnej początkowej długości strzemion przy wymianie sworzni bezpieczeństwa, należy po ostatecznym wyregulowaniu kierownicy, nanieść rysy 44 (rys. 62), które ustalają położenie kamieni w strzemionach.

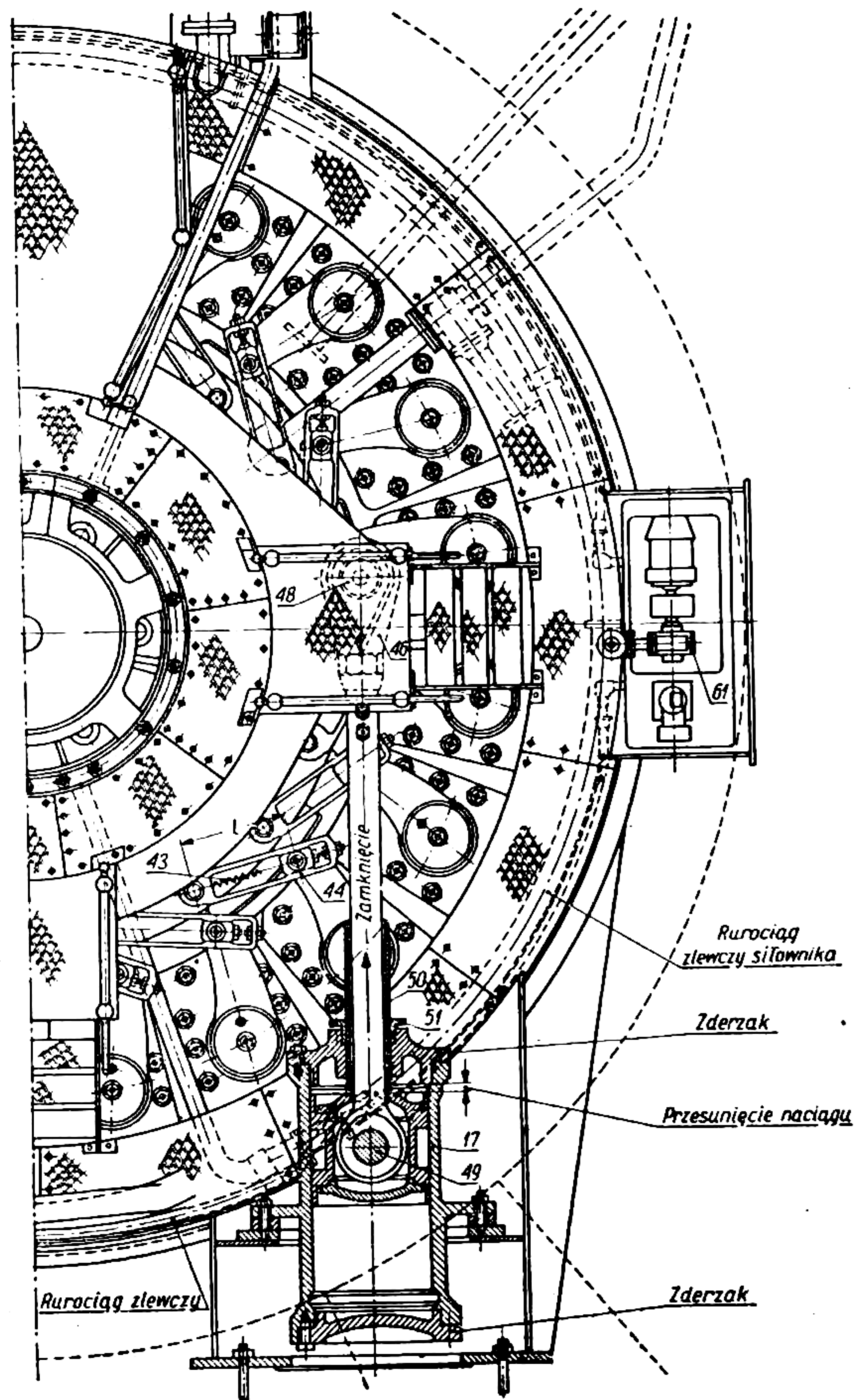
W przypadkach, w których kierownica nie jest montowana w wytwórni (zachodzi to wówczas, gdy ma być wylaczana na miejscu montażu lub gdy buduje się serię turbin i montaż przeprowadza się tylko na jednej wzorcowej turbinie), brązowe tuleje kamieni 45 sporządza się i dostarcza z naddatkiem na dolnych (oporowych) powierzchniach czołowych. Na powierzchniach tych wyrównuje się możliwe liniowe odchylenia w dół wysokościowych wymiarów części w granicach tolerancji ich wykonania. Naddatki te obcina się podczas montażu, zależnie od rzeczywistych potrzeb wymiarów.

W przypadkach, w których kierownica nie jest montowana w wytwórni (zachodzi to wówczas, gdy ma być wylaczana na miejscu montażu lub gdy buduje się serię turbin i montaż przeprowadza się tylko na jednej wzorcowej turbinie), brązowe tuleje kamieni 45 sporządza się i dostarcza z naddatkiem na dolnych (oporowych) powierzchniach czołowych. Na powierzchniach tych wyrównuje się możliwe liniowe odchylenia w dół wysokościowych wymiarów części w granicach tolerancji ich wykonania. Naddatki te obcina się podczas montażu, zależnie od rzeczywistych potrzeb wymiarów.

¹⁾ Oznaczenia na tym rysunku zgodne są z oznaczeniami na rys. 56.



Rys. 61. Próba pokręcania pierścienia regulacyjnego po jego zamontowaniu. Odpowiedni moment obracający otrzymuje się za pomocą dwóch wciągników



Rys. 62. Kierownica turbiny Francisza. Widok z góry

W pewnych konstrukcjach, przeważnie wykonywanych poza granicami ZSRR, stosowane są tak zwane strzemiona łamliwe. Strzemiona te wykonywane są z żeliwa i ulegają zniszczeniu w razie ugrzęźnięcia ciała stałego pomiędzy łopatkami. Wadą strzemion łamliwych jest to, że nie można regulować ich długości lub też że regulowanie to uskuteczniane za pomocą mimośrodowych tulei może być przeprowadzone tylko w wąskich granicach, zaś w przypadku zniszczenia strzemienia trzeba je całe wymienić. Strzemiona łamliwe nie ograniczają ponadto kąta obrotu łopatek. Ostatnia okoliczność w szeregu przypadków doprowadziła do awarii polegających na kolejnym zniszczeniu części lub wszystkich strzemion oraz dźwigni łopatek.

Na ustawieniu strzemion kończy się montaż urządzenia regulacyjnego i można po tym wypróbować czy kierownica daje się odpowiednio obracać. Jak mówiliśmy uprzednio, posługujemy się w tym celu wciągnikami. Jeżeli jakość montażu nie budzi wątpliwości, to próbę obracania kierownicy można przeprowadzić za pomocą siłowników, oczywiście po ich zmontowaniu.

Serwomotory. Serwomotory (siłowniki) 17 są czynnymi organami regulacji kierownicy. Zazwyczaj turbina zaopatrzona jest w dwa serwomotory: prawy i lewy.

Serwomotor (siłownik) w razie potrzeby sprawdza się na placu montażowym, a następnie przy użyciu dźwigu opuszcza się go do komory turbiny. Wszystkie otwory siłownika powinny być w sposób pewny zamknięte za pomocą korków lub zaślepek. Ma to na celu uniknięcie zabrudzenia wnętrza cylindra siłownika.

Siłowniki do ich komór wprowadza się bez głowicy tłoczyska 46 (rys. 62), jak o tym już wspominaliśmy w § 15.

Połączenie serwomotoru z pierścieniem regulacyjnym wykonuje się w następujący sposób. Po pierwsze tłok siłownika przesuwa się w położenie odpowiadające zamknięciu kierownicy, zaś pierścień regulacyjny — w położenie odpowiadające jej średniemu otwarciu. Następnie w ucho pierścienia zakłada się głowicę tłoczyska i za pomocą nakrętki regulacyjnej 47 łączy się tę głowicę z tłoczyskiem (patrz rys. 56). Przez obracanie nakrętki regulacyjnej, zaopatrzonej na końcach w gwinty o przeciwnych kierunkach zwojów: lewy i prawy (tzw. nakrętka rzymska), łączy się tłoczysko z jego głowicą i za pomocą sworznia 48 (rys. 62), — głowicę z pierścieniem regulacyjnym. Wreszcie za pomocą tychże nakrętek regulacyjnych ustala się ostatecznie położenie tłoka.

Przy połączeniu tłoczyska z jego głowicą, należy przekonać się o prawidłowym usytuowaniu osi sworznia tłokowego 49. Sworznię ten zapewnia głowicy tłoczyska możliwość poziomego przemieszczania się podczas ruchu pierścienia regulacyjnego i z tego powodu oś jego powinna być ściśle pionowa.

Kontrolę przeprowadza się w następujący sposób. Przed założeniem sworznia 48 przemieszcza się tłoczysko w płaszczyźnie poziomej: grubość szczeliny poziomej utworzonej przez głowicę tłoczyska i ucho pierścienia regulacyjnego powinna być przy tym stała. O ile tak nie jest, to tłoczysko należy odpowiednio przekręcić, przy czym przekręca się również tłok siłownika. Następnie zakłada się sworznię pierścienia regulacyjnego 48 i za pomocą na-

krętek regulacyjnych ustawia się potrzebną długość tłoczyska, a tym samym położenie tłoka siłownika.

Naciąg kierownicy. Uważamy, że serwomotory są wówczas prawidłowo wyregulowane, jeżeli przy zamkniętej kierownicy, bez ciśnienia oleju, tłoki ich nie dochodzą do ograniczników (zderzaków) swych pozycji zamknięcia o żadaną odległość zwaną przesunięciem naciągu. Zależnie od konstrukcji i wielkości turbiny odległość ta waha się w granicach od 4 do 8 mm.

W ten sposób przy zamkniętej kierownicy siłowniki powinny skasować pod wpływem ciśnienia oleju (w granicach podanego przesunięcia wynoszącego 4 do 8 mm) istniejące w niej luzy i wywołać naciąg jej elementów w dopuszczalnych granicach.

Wskutek naciągu kierownica jest szczelnie zamknięta, a tym samym przeciek wody przez nią jest minimalny. Jednak gdy nie ma ciśnienia, to rzeczywisty naciąg jest mniejszy od naciągu wyregulowanego i nie jest równomiernie rozłożony na obwodzie. Spowodowane jest to tym, że tłok jednego siłownika przesuwa się w kierunku pozycji otwarcia o wielkość luzu (3,5 do 4,5 mm) pomiędzy jego zderzakiem i nim samym oraz, że tłok drugiego siłownika (bez zderzaka) przesuwa się o wielkość większą od podanej, w zależności od odkształceń sprężystych i sił tarcia występujących w kinematycznych elementach kierownicy.

Stosunkowo duży luz pomiędzy tłokiem i zderzakiem tłoka (3,5 do 4,5 mm) realizuje się tylko wówczas, gdy istnieje suwak blokujący siłownika, który otrzymuje impuls przy przemieszczaniu się tłoka; w przeciwnym przypadku luz staje się minimalny (0,5 do 0,8 mm).

O ile na krawędziach styku łopatek znajdują się uszczelnienia gumowe, to wielkość przesunięcia naciągu powinna być wyregulowana w ten sposób, aby po ściśnięciu tych uszczelnień grubość szczeliny utworzonej przez metalowe powierzchnie łopatek była rzędu 0,5 do 0,8 mm. Ciśnienie oleju w siłowniku nie powinno być przy tym większe od 5 do 8 kg/cm².

W konstrukcjach, w których nakrętki regulacyjne 47 (rys. 56) zaopatrzone są na obu swych końcach w gwint o tym samym kierunku lecz o różnych skokach, połączenie tłoczyska z głowicą tłoczyska różni się tym, że przed założeniem głowicy w ucho pierścienia regulacyjnego nakręca się na głowicę nakrętkę regulacyjną aż do otrzymania oporu. Następnie nakrętkę nakręca się na tłoczysko do położenia, w którym nakręcona jest ona na głowicę na całą długość swego gwintu, zaś na tłoczysko — tylko na część tego gwintu. Połączenie tłoczyska z nakrętką na całej długości gwintu osiągamy przez obracanie tłoka.

W konstrukcjach, w których głowica nakręcana jest na gwint tłoczyska (tak, jak to pokazano na rys. 62), zaś nakrętka stanowi tylko element zabezpieczający, połączenie i wyregulowanie położenia tłoka siłownika osiąga się przez obracanie tłoka za pomocą specjalnego klucza. Na tłoczysku wyfrezowane są specjalne ścięcia, na które zakłada się ten klucz.

Należy zaznaczyć, że tłok wolno jest obrócić tylko o jeden pełny obrót, a raczej o całkowitą liczbę półobrotów, gdyż w przeciwnym przypadku sworznień tłoka zostałyby odchyłony od swego pionowego położenia i przy posu-

wistym ruchu tłoka nastąpiłoby złamanie tłoczyska. Z tego względu przed obracaniem tłoka należy nanieść odpowiednie znaczki na rurę 50 oraz na powierzchnię czołową dławika 51. Znaczkę te po ukończeniu regulacji powinny ściśle zgadzać się ze sobą.

Opisane tutaj konstrukcje nakrętek regulacyjnych, wymagające obracania tłokiem przy łączeniu tłoczysk, komplikują i przedłużają montaż w porównaniu z konstrukcjami z nakrętkami regulacyjnymi, zaopatrzonymi na swych końcach w gwint prawy i lewy.

W celu zbadania, czy kierownica daje się dostatecznie łatwo poruszać, stosuje się w siłownikach olej pod ciśnieniem z instalacji olejowej ciśnieniowej. Przed wypróbowaniem należy oczywiście zdjąć chomąto lub linę ściągającą łopatki i usunąć wszystkie obce przedmioty oraz nasmarować wszystkie trące się części elementów.

O ile wyniki badań są pozytywne, to ustala się położenia tłoków siłowników, dolnego pierścienia kierownicy oraz pokrywy turbiny. W tym celu wierci się i rozwierca otwory oraz zakłada stożkowe kołki ustalające (patrz rys. 56, szczegół A). Wszystkie zagłębienia nad kołkami i śrubami należy szczelnie wypełnić korkami dębowymi 53, zaś wystające końce tych korków ściąć równo z powierzchnią dolnego pierścienia. Korki należy sporządzić z suchej dębiny, tak aby przy pracy w wodzie mogły one napęcznieć i same się uszczelnić.

W ostatnim etapie, równoległe z montażem kierownicy, centruje się wał turbiny. Metoda centrowania opisana jest w § 30.

Dane montażowe kierownicy powinny być zamieszczone w odpowiednich protokołach. W protokole, którego formularz podano na rys. 63, zapisuje się rzeczywiste grubości szczelin utworzonych przez czołowe powierzchnie łopatek i powierzchnie pierścieni oraz oblicza się średnią grubość szczeliny górnej oraz średnią grubość szczeliny dolnej. Średnią grubość szczeliny górnej Δ_g oblicza się ze wzoru

$$\Delta_g = \frac{\sum A_1 + \sum A_2}{2z} \text{ mm},$$

zaś średnią grubość szczeliny dolnej Δ_d — ze wzoru

$$\Delta_d = \frac{\sum B_1 + \sum B_2}{2z} \text{ mm},$$

gdzie Σ — znak sumowania grubości odpowiednich szczelin, z — ilość łopatek.

W protokole, którego formularz pokazano na rys. 64 zamieszcza się rzeczywiste grubości szczelin międzyłopatkowych, przy czym pomiary wykonuje się w trzech miejscach. Przy wysokości łopatek mniejszej od 500 mm — mierzy się szczeliny tylko w dwóch miejscach. Oprócz tego, w tymże protokole zamieszcza się dane dotyczące położenia nakrętek regulacyjnych prawego i lewego siłownika, tj. odległości pomiędzy znaczkami umieszczonymi na tłoczysku, na głowicy tłoczyska oraz na nakrętce regu-

Słownia wodna	Protokół pomiarów grubości szcelin pomiędzy czopowymi powierzchniami łopatek kierowniczych a pierścieni stojana		Nr protokołu																																																																																																								
	Pomiary przeprowadzone dn.		Zmierzyl																																																																																																								
Sprawdził:			<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">Nr łopatki wodnej oznaczenia wytwórni</th> <th colspan="2">Grubość szcziłiny</th> </tr> <tr> <th>Środek</th> <th>Dolnej części</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>A₁</td> <td>B₁</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>14</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>17</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>18</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>21</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>22</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>23</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>24</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>26</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>27</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>28</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>29</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>31</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>32</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Nr łopatki wodnej oznaczenia wytwórni	Grubość szcziłiny		Środek	Dolnej części	1	A ₁	B ₁	2			3			4			5			6			7			8			9			10			11			12			13			14			15			16			17			18			19			20			21			22			23			24			25			26			27			28			29			30			31			32			<p>Srednia grubość szcziłiny górnej: $\Delta g = \frac{2A_1 + 2A_2}{2L}$ mm</p> <p>Srednia grubość szcziłiny dolnej: $\Delta d = \frac{2B_1 + 2B_2}{2L}$ mm</p> <p>l - Różnica łopatek kierownicy</p>	
	Nr łopatki wodnej oznaczenia wytwórni	Grubość szcziłiny																																																																																																									
Środek		Dolnej części																																																																																																									
1	A ₁	B ₁																																																																																																									
2																																																																																																											
3																																																																																																											
4																																																																																																											
5																																																																																																											
6																																																																																																											
7																																																																																																											
8																																																																																																											
9																																																																																																											
10																																																																																																											
11																																																																																																											
12																																																																																																											
13																																																																																																											
14																																																																																																											
15																																																																																																											
16																																																																																																											
17																																																																																																											
18																																																																																																											
19																																																																																																											
20																																																																																																											
21																																																																																																											
22																																																																																																											
23																																																																																																											
24																																																																																																											
25																																																																																																											
26																																																																																																											
27																																																																																																											
28																																																																																																											
29																																																																																																											
30																																																																																																											
31																																																																																																											
32																																																																																																											

Rys. 63. Formularz protokołu pomiarów grubości szcziłiny pomiędzy czopowymi powierzchniami łopatek kierowniczych a powierzchniami pierścieni stojana

Słownia wodna	Protokół pomiarów grubości szcelin międzyłopatkowych		Nr protokołu																																																																																																								
	Pomiary przeprowadzone dn.		Zmierzyl																																																																																																								
Sprawdził:			<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">Nr łopatki szcziłiny oznaczenia wytw.</th> <th colspan="2">Średnia</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> </tr> <tr> <td>1-2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2-3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3-4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4-5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5-6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6-7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7-8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8-9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9-10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10-11</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11-12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12-13</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>13-14</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>14-15</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15-16</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16-17</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>17-18</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>18-19</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19-20</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20-21</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>21-22</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>22-23</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>23-24</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>24-25</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25-26</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>26-27</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>27-28</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>28-29</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>29-30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>30-31</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>31-32</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>32-1</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Nr łopatki szcziłiny oznaczenia wytw.	Średnia		A	B	1-2			2-3			3-4			4-5			5-6			6-7			7-8			8-9			9-10			10-11			11-12			12-13			13-14			14-15			15-16			16-17			17-18			18-19			19-20			20-21			21-22			22-23			23-24			24-25			25-26			26-27			27-28			28-29			29-30			30-31			31-32			32-1			<p>Schemat pomiaru</p> <p>Dla prawego siłownika</p> <p>Dla lewego siłownika</p>	
	Nr łopatki szcziłiny oznaczenia wytw.	Średnia																																																																																																									
A		B																																																																																																									
1-2																																																																																																											
2-3																																																																																																											
3-4																																																																																																											
4-5																																																																																																											
5-6																																																																																																											
6-7																																																																																																											
7-8																																																																																																											
8-9																																																																																																											
9-10																																																																																																											
10-11																																																																																																											
11-12																																																																																																											
12-13																																																																																																											
13-14																																																																																																											
14-15																																																																																																											
15-16																																																																																																											
16-17																																																																																																											
17-18																																																																																																											
18-19																																																																																																											
19-20																																																																																																											
20-21																																																																																																											
21-22																																																																																																											
22-23																																																																																																											
23-24																																																																																																											
24-25																																																																																																											
25-26																																																																																																											
26-27																																																																																																											
27-28																																																																																																											
28-29																																																																																																											
29-30																																																																																																											
30-31																																																																																																											
31-32																																																																																																											
32-1																																																																																																											

Rys. 64. Formularz protokołu pomiarów grubości szcziłiny międzyłopatkowych

Słownia wodna	Protokół pomiarów rozwarcia łopatek kierowniczych w zależności od wychYLENIA łOka siłownika		Nr protokołu															
	Pomiary przeprowadzone dn.		Zmierzyl															
Sprawdził:			<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Dwierzenie kierownicy</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>10</td> </tr> </table>		Dwierzenie kierownicy		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<p>Zależność pomiędzy rozwarciem łopatek a₀ i wychYLENIEM łOka siłownika l</p> <p>Rozwarcie łopatek a₀</p> <p>WychYLENIE łOka siłownika l</p>	
	Dwierzenie kierownicy																	
1	2																	
3	4																	
5	6																	
7	8																	
9	10																	

Rys. 65. Formularz protokołu pomiarów rozwarcia łopatek kierowniczych w zależności od wychYLENIA łOka siłownika

Słownia wodna	Protokół pomiarów szcziłin pomiędzy wirnikami i uszczelnieniami labiryntowymi oraz pomiaru wężelny i panwiami łOżyska poprzecznego		Nr protokołu																																							
	Pomiary przeprowadzone dn.		Zmierzyl																																							
Sprawdził:			<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Wymiary szcziłin mm</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>27</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>29</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>31</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>32-1</td> <td></td> </tr> </table>		Wymiary szcziłin mm		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	32-1		<p>Powłoka neutralna</p> <p>1) Po obrocie zespołu wirniarstwa o 180°</p> <p>2) Po zamontowaniu panwy</p> <p>3) Sprawdzenie mimośrodowości</p>	
	Wymiary szcziłin mm																																									
1	2																																									
3	4																																									
5	6																																									
7	8																																									
9	10																																									
11	12																																									
13	14																																									
15	16																																									
17	18																																									
19	20																																									
21	22																																									
23	24																																									
25	26																																									
27	28																																									
29	30																																									
31	32																																									
32-1																																										

Rys. 66. Formularz protokołu pomiarów szcziłin pomiędzy wirnikami i uszczelnieniami labiryntowymi oraz pomiarów wężelny i panwiami łOżyska poprzecznego

lacyjnej. Znaczkę tę umieszcza się po ukończeniu regulacji kierownicy.

W protokole, którego formularz pokazano na rys. 65, zamieszcza się dane dotyczące rozwarcia łopatek kierowniczych, w zależności od skoku tłoka silownika przy zamykaniu i otwieraniu kierownicy oraz wykreśla się krzywą wyrażającą zależność

$$a_0 = f(s)$$

gdzie: a_0 — średnie rozwarcie łopatek obliczone z trzech pomiarów przy otwieraniu kierownicy,

s — skok tłoka silownika.

Krzywa $a_0 = f(s)$ powinna być zbliżona do linii prostej.

W celu usystematyzowania i otrzymania wystarczających danych, które pozwoliłyby z dużą dokładnością wyznaczać dopuszczalne odchylenia rozwarć łopatek kierowniczych, zaleca się aby średnią wartość a_0 obliczać z pomiarów wykonanych na wszystkich łopatkach przy ich całkowitym rozwarciu. Nadzwyczaj pożądane jest, aby pomiary takie mogły być przeprowadzone chociażby na pierwszej wzorcowej turbinie.

3. Zespół łożyska poprzecznego turbiny

Turbiny pionowe są z reguły wyposażone w jedno łożysko poprzeczne. Zespół tego łożyska składa się z następujących zasadniczych elementów:

- 1) kadłuba łożyska,
- 2) panwi łożyska,
- 3) miski oraz dławnicy łożyska.

W budownictwie turbin wodnych w ZSRR, w szczególności zaś w Leningradzkich Zakładach Metalowych im. Stalina, stosuje się łożyska smarowane wodą. łożyska te posiadają szereg zalet konstrukcyjnych w porównaniu z łożyskami smarowanymi olejem.

Panwie łożysk wykonane są z gumy lub z drewna preparowanego (lignofoilu); osadza się je w kadłubie łożyska na cylinder lub na stożek. Na rys. 56 przedstawiono panew 6, o stożkowym kształcie zewnętrznym.

Kadłub łożyska (patrz rys. 56). Kadłub łożyska 54 sporządzony jest zazwyczaj z żeliwa i składa się z dwóch lub czterech członów. Poszczególne człony kadłuba opuszcza się za pomocą dźwigu na zawczasu przygotowany pomost umieszczony na pokrywie turbiny, naokoło jej wału. Następnie człony łączą się z sobą, zaopatruje się w kołki ustalające i w całości opuszcza na właściwe miejsce. Za pomocą śrub regulacyjnych 55 centruje się wreszcie cały kadłub podług wału i osadza się go w pokrywie turbiny za pomocą śrub 56. W rzucie poziomym kadłub należy zorientować podług osi X i Y.

Przy montowaniu kadłuba łożyska poprzecznego należy sprawdzić czy wewnętrzne powierzchnie osadcze poszczególnych członów oraz powierzchnie czołowe kołnierza łączącego kadłub z pokrywą schodzą się z sobą prawidłowo.

W łożyskach, w których dolna część kadłuba zaopatrzona jest w uszczelnienie (patrz szczegół B na rys. 56), przed opuszczeniem kadłuba ustawia

się pierścień pokrywowy 57 (składający się z poszczególnych członów) na uszczelce preszpanowej, centruje się go podług wału i umocowuje za pomocą śrub. Następnie kadłub łożyska wraz ze sklejonym uszczelniającym gumowym sznurem 58 opuszcza się na miejsce. Po wycentrowaniu kadłuba podług wału turbiny, należy go umocować śrubami, zaś sznur gumowy docisnąć za pomocą pierścienia.

Na tym montaż kadłuba łożyska turbiny zostaje czasowo przerwany; do dalszego jego montażu przystępuje się dopiero po przycentrowaniu wału prądnicy (§ 31), połączeniu wałów (§ 32) i po sprawdzeniu wspólnej linii całego wału turbozespołu (§ 33).

Po wycentrowaniu zespołu wirującego turbozespołu montuje się panwie łożysk turbiny i prądnicy, zaś kadłuby łożysk ustala się za pomocą kołków.

Jeżeli nie ma fabrycznego protokołu stwierdzającego rzeczywisty wymiar szczeliny pomiędzy wałem turbiny i panwiami łożyska, to pożądane jest skontrolowanie tej szczeliny na placu montażowym przez bezpośredni pomiar średnicy wału oraz wewnętrznej średnicy panwi łożyska 6 (patrz rys. 56) lub przez pomiar szczeliny za pomocą szczelinomierza, po prowizorycznym zmontowaniu łożyska na wale.

Kontrolę wielkości szczeliny dogodniej jest przeprowadzać wówczas, gdy łożysko umieszczone jest na wale znajdującym się w położeniu poziomym, gdyż daje to możliwość obracania łożyska i mierzenia szczeliny za pomocą szczelinomierza. Oczywiście, że czynność tę wykonuje się przed połączeniem wału z wirnikiem.

Łączna grubość szczeliny pomiędzy wałem turbiny i gumową panwią łożyska, niezależnie od średnicy wału, powinna być możliwie mała i zawierać się w granicach od 0,2 do 0,3 mm, gdyż o ile grubość ta jest większa, to wał pod działaniem znacznych sił zaburzających oraz wskutek łatwej odkształcalności gumy posiada tendencję do powiększenia „rzucania się” („bicia”).

W łożyskach z panwiami ze stopu łożyskowego lub z drewna preparowanego (lignofoilu), grubość szczeliny σ pomiędzy wałem i panwią zależy od średnicy wału; grubość ta wynosi

przy średnicy wału od 360 do 630 mm	$\sigma = 0,2$ do $0,3$ mm,
„ „ „ od 630 do 1000 mm	$\sigma = 0,3$ do $0,45$ mm,
„ „ „ 1000 „	$\sigma = 0,4$ do $0,55$ mm.

Panwie łożyska. Panwie łożyska montuje się za pomocą wciągników ręcznych lub wciągników silnikowych, które zawieszają się na kołnierzu wału lub na krzyżaku prądnicy. Montaż panwi przeprowadza się ponad kadłubem łożyska, po czym wmontowuje się je w kadłub zgodnie z osiami i umocowuje. Podczas wmontowywania zespół wirujący, który wisi nad łożyskiem wzdłużnym, może odchylić się od swojego pierwotnego położenia. W celu uniknięcia tego, należy umocować wirnik przez zaklinowanie go w uszczelnieniu labiryntowym. Prawidłowość ustawienia klinów kontroluje się za pomocą dwóch czujników, które dotykają do wału. Po wmontowaniu panwi, mierzy się grubość szczeliny pomiędzy nimi i wałem, a oprócz

tego, przez naciskanie wału, sprawdza się czy szczelina jest zachowana na całej wysokości panwi (§ 33).

Miska i dławnica łożyska. (patrz rys. 56). Miska łożyska 57, przeważnie dwudzielna, montuje się również za pomocą wciągników. Pomiedzy obie jej połówki zakłada się uszczelki preszpanowe, a następnie całą miskę centruje się podług wału, umocowuje do kadłuba łożyska i ustala jej położenie za pomocą kołków.

Szczeliwo w dławnicy 58 służy do uszczelnienia wału i zapobiega przeciekaniu wody. Szczeliwo to wkłada się do komory dławnicy i ściska za pomocą dławika 59. Dławik powinien być tak dociśnięty, aby podczas ruchu turbiny przesączała się przez dławnicę niewielka ilość wody, niezbędna do smarowania szczeliwa. Ilość przeciekającej wody można dodatkowo regulować przez dławienie wody odprowadzanej z pierścienia odwodniającego, umieszczonego w dławnicy (oczywiście o ile dławnica jest w taki pierścień zaopatrzona).

Pokrywa miski 60 również jest dwudzielna. Centruje się ją podług wału i przymocowuje do miski.

Z powyższych opisów widzimy, że robocze mechanizmy turbiny oraz wirnika prądnicy centruje się w następującej kolejności: 1) podług stojana centruje się wirnik oraz dolny pierścień kierownicy (stojan jest początkową podstawą centrowania); w turbinach, w których dolny wieniec wirnika jest uszczelniony względem pierścienia fundamentowego, wirnik centruje się podług stojana i centrowanie to sprawdza się względem tego pierścienia; 2) podług wirnika centruje się ostatecznie kierownicę (jej dolny pierścień i pokrywę turbiny); 3) ustawia się wał turbiny w położeniu pionowym przy zachowaniu szerokości szczelin pomiędzy wirnikiem i pierścieniami kierownicy; 4) centruje się kadłub łożyska podług wału turbiny; 5) centruje się wał prądnicy względem wału turbiny; 6) sprawdza się wspólną linię wału turbozespołu i 7) zamontowuje się panwie turbiny oraz prądnicy.

W protokole, którego formularz pokazano na rys. 66 zamieszcza się wymiary szczelin w łożysku turbiny, wymiary promieniowych i osiowych szczelin pomiędzy wirnikiem i pierścieniem kierownicy oraz pierścieniem fundamentowym i wreszcie wysokość umieszczenia wirującego zespołu turbozespołu. Wysokość tę wyznacza się mierząc odległość od rysy umieszczonej na wale do nieruchomej części turbiny (np. do pokrywy zbiornika łożyska).

4. Mechanizmy pomocnicze

Do mechanizmów pomocniczych zaliczamy: 1) zespół przeciekowy olejowy, 2) zawór napowietrzający, 3) pompę odwadniającą samozasysającą, 4) ejektor, 5) filtry wodne, 6) wyłącznik przeciwwzrostowy odśrodkowy, 7) osprzęt i rurociągi znajdujące się w komorze turbiny.

Mechanizmy pomocnicze oraz ich rurociągi montuje się równolegle z mechanizmami turbiny w końcowym stadium montażu tych mechanizmów,

tak aby wszystkie roboty montażowe w komorze turbiny zakończyć w jednym terminie.

Zespół pompowy przeciekowy olejowy 61 (patrz rys. 62) składa się ze zbiorniczka, na którym ustawiona jest pompa śrubowa lub zębata, napędzana za pomocą silnika elektrycznego. Zespół ten służy do samoczynnego odpompowywania oleju przeciekającego przez suwak serwomotoru, suwak blokujący i dławnice tłoczyk siłowników oraz do odpompowywania oleju z siłowników w przypadku opróżniania układu regulacyjnego.

Zespół przeciekowy olejowy dostarczany jest na montaż w stanie zmontowanym. Przed jego ustawieniem należy ręcznie sprawdzić czy wirnik pompy wraz z wałem i wirnikiem silnika elektrycznego da się łatwo obracać i czy przemieszczenie pływaka powoduje przełączanie się styków wyłącznika. Oprócz tego należy sprawdzić stan filtra.

Zespół przeciekowy olejowy umieszcza się w komorze turbinowej na poziomie niższym od poziomu osi serwomotorów w specjalnie na ten cel przewidzianej niszy, lub na wspornikach, przyspawanych do wykładziny komory.

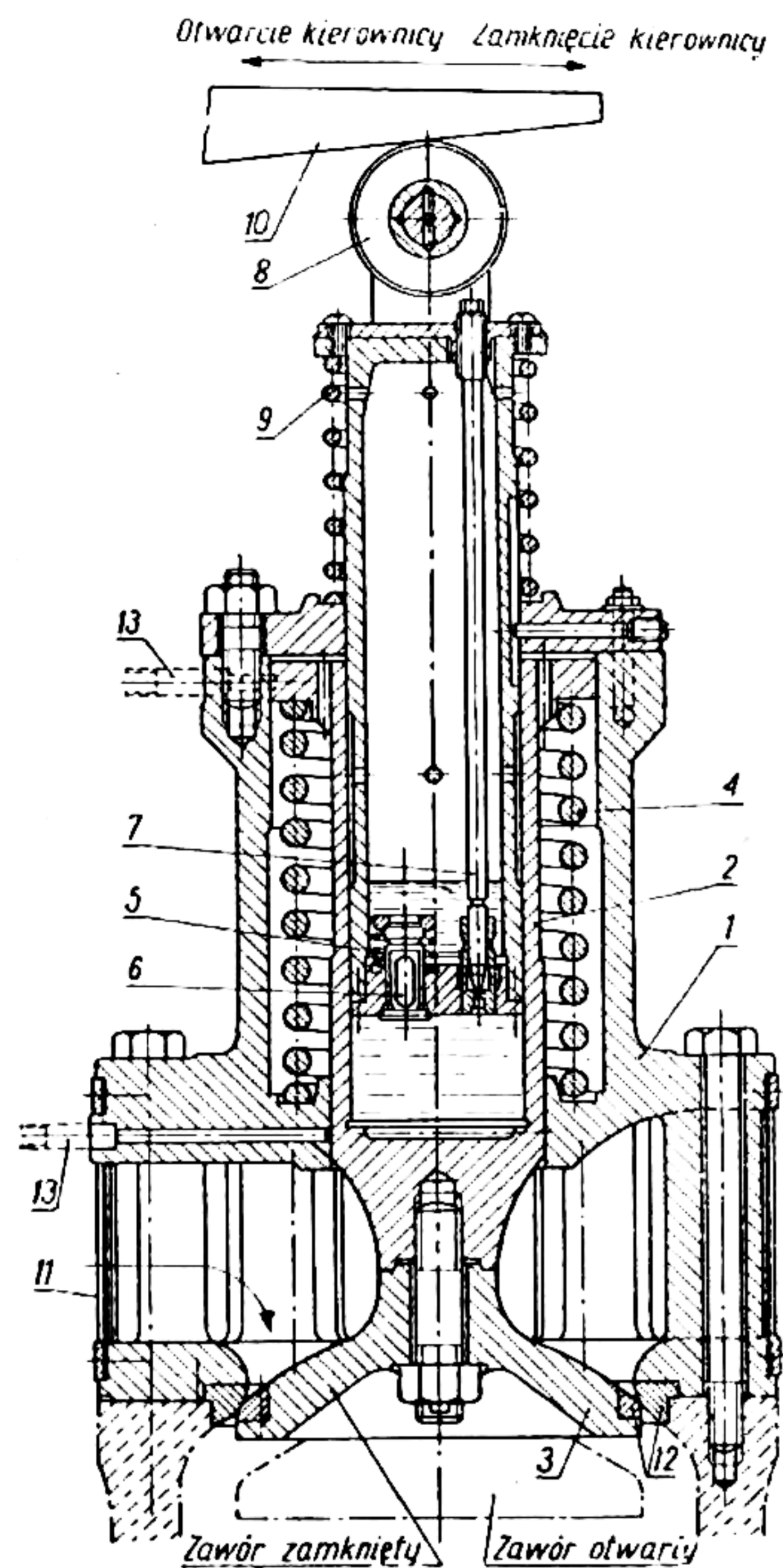
W pewnych przypadkach na zbiorniczku przeciekowym ustawia się dodatkowo ejektor olejowy jako rezerwę.

Przy montowaniu zespołu przeciekowego olejowego należy równomiernie dociągać śruby umocowujące zbiorniczek, silnik elektryczny oraz pompę, tak aby nie spowodować przechylenia się tych elementów i tym samym naruszenia współosiowości silnika i pompy. Wnętrze zbiorniczka należy starannie oczyścić, zaś wszystkie otwory prowizorycznie zamknąć za pomocą drewnianych korków.

Zawory napowietrzające 62 (patrz rys. 56) umieszcza się zazwyczaj na turbinie parami. Służą one do wpuszczania powietrza (napowietrzania) do komory wirnika przy nagłym zamknięciu się kierownicy. Zawory te z reguły umieszcza się na pokrywie turbiny, pod pierścieniem regulacyjnym, do którego przymocowany jest klin regulacyjny 63. W pewnych konstrukcjach zawory napowietrzające umieszczone są w kadłubie łożyska poprzecznego lub przymocowane do wykładziny komory. W tych przypadkach wiąże się je kinematycznie z pierścieniem regulacyjnym za pomocą przekładni dźwigniowej.

Zawory napowietrzające dostarczane są w stanie zmontowanym. Tłok 5 (rys. 67) oraz cylinder 2 należy na placu montażowym napelnić olejem oraz ręcznie, posiłkując się dźwignią, sprawdzić ruch grzybka zaworu 3. Grzybek należy podnieść przy tym na wysokość jego pełnego wzniosu w ciągu czasu odpowiadającego czasowi zamykania się kierownicy przy pełnym odciążeniu turbiny, zgodnie z danymi gwarancyjnymi. Przy sprawdzaniu ustala się wznios grzybka oraz czas zamykania się zaworu. Wielkości te powinny odpowiadać danym fabrycznym. W razie potrzeby czas zamykania reguluje się za pomocą igły zaworu kataraktowego 7 (zazwyczaj regulację przeprowadza wytwórnia). Szczelność zaworu napowie-

trającego można sprawdzić w ten sposób, że na grzybek nalewa się wody. Należy również skontrolować, czy rolka 8 obraca się dostatecznie łatwo.



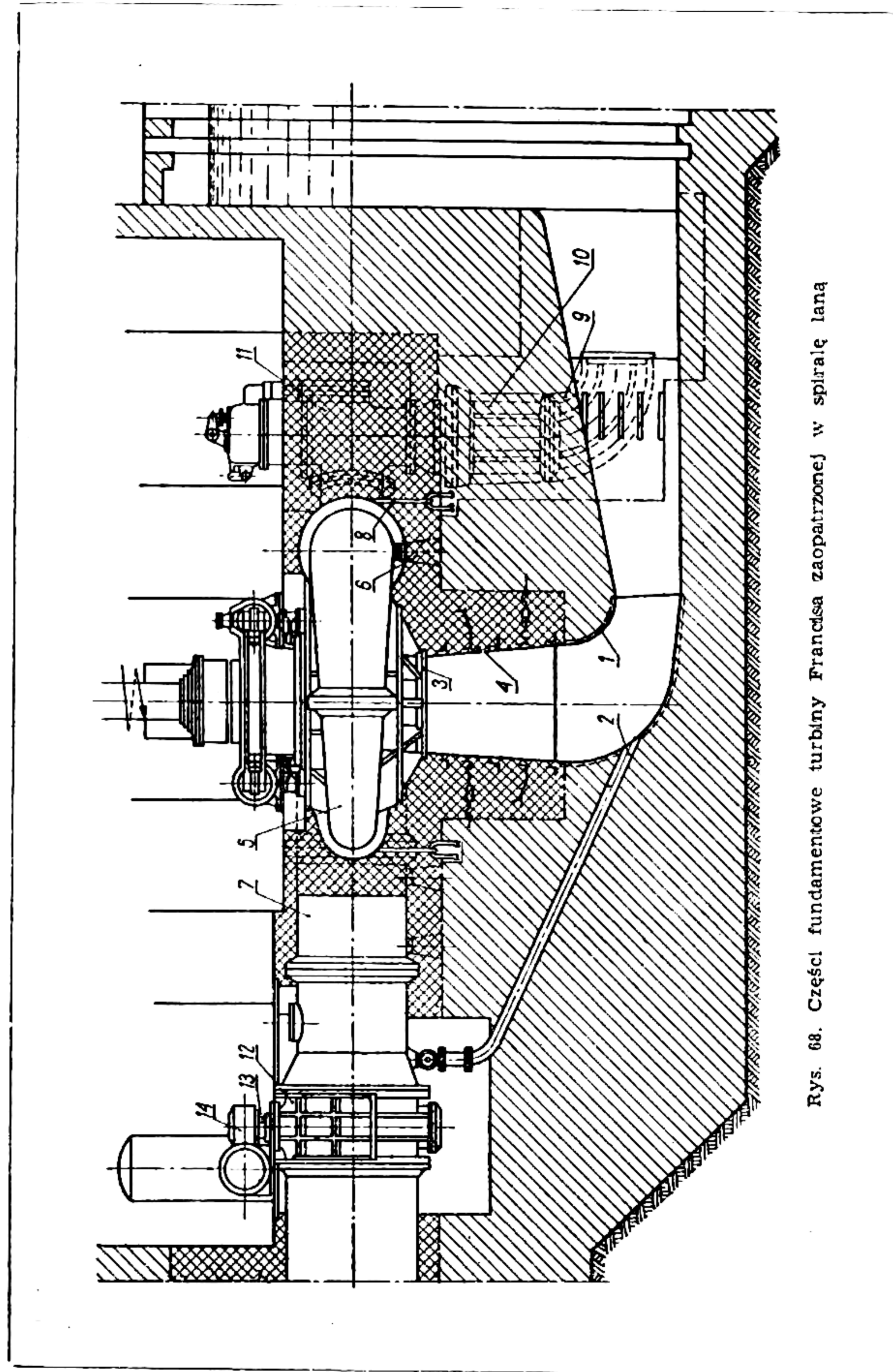
Rys. 67. Zawór napowietrzający

rozbiernie pompy bez koniecznej potrzeby nie jest wskazane i należy się ograniczyć do ręcznego sprawdzenia czy jej zespół wirujący daje się dostatecznie łatwo obracać oraz do oczyszczenia filtra wodnego.

Pompa dostarczana jest w stanie zmontowanym i razem z silnikiem elektrycznym umieszczona jest na płycie fundamentowej. Cały zespół ustawia się albo wewnątrz pokrywy turbiny, albo w specjalnej niszy albo wreszcie w komorze turbiny (patrz rys. 92).

Zawory napowietrzające umieszcza się na pokrywie turbiny przed opuszczeniem pierścienia regulacyjnego na jego łożę, a następnie przez pokręcanie pierścienia sprawdza się czy rolka styka się z klinem. Styk ten powinien zachodzić stale podczas pełnego ruchu pierścienia regulacyjnego. Pomiędzy kołniczką kadłuba zaworu i kołniczką pokrywy turbiny umieszcza się uszczelkę prespanową.

Pompa odwadniająca, samozasysająca służy do odpompowywania wody z pokrywy turbiny. Jest to pompa odśrodkowa sprzęgnięta bezpośrednio z łopatkową pompą próżniową. Przy rozruchu pompa odpompowuje powietrze z rury ssawnej zanurzonej w wodzie, wskutek czego odpada konieczność zalewania pompy. Odpompowywana woda odprowadzana jest do rury ssawnej turbiny lub do kanału odpływowego. Najmniejsza nieszczelność połączeń dławnic (zwłaszcza średniej dławnicy) i rur powoduje, że pompa zasysa powietrze i w wyniku tego przestaje działać. W związku z tym



Rys. 68. Części fundamentowe turbiny Francisza zaopatrzonej w spiralę laną

Pływak wodowskazu montuje się na pokrywie turbiny, wyregulowuje się jego skok i sprawdza się działanie styków przelącznika.

Pompy samozasysające przy 3000 obr/minutę zasysają do 5 m wysokości i tłoczą do 14 m.

Należy nadmienić, że w ostatnich czasach pompy te zastępuje się przez zwykle odwadniające pompy odśrodkowe, zaopatrzone w automatyczne urządzenie do zalewania ich wodą.

Ejektor służy do tych samych celów co pompa odwadniająca samozasysająca i stanowi jej rezerwę.

Ejektor z reguły odpompowuje wodę do rury ssawnej. W związku z tym, że może on pracować tylko przy niewielkiej wysokości ssania, instaluje się go w pokrywie lub komorze turbiny, w bezpośrednim sąsiedztwie poziomu odpompowywanej wody. W razie zainstalowania w komorze przymocowuje się go do jej wykładziny.

Filtr wodny instaluje się na rurociągu prowadzącym od spirali i na rurociągu wody technicznej przeznaczonej do smarowania łożyska turbiny. Filtr ustawia się w niszy lub przymocowuje go do wsporników, które przypawa się do wykładziny komory turbiny. Przed ustawieniem filtra należy zdjąć jego pokrywę, sprawdzić stan siatek, złożyć filtr z powrotem, wypróbować obracanie się wirnika i w celu uniknięcia zabudzenia, zamknąć przewizorycznie wszystkie otwory w kadłubie za pomocą dykty i korków.

Przeciwbiegowy wyłącznik odśrodkowy. W ostatnich czasach stosuje się przelączniki odśrodkowe bezsprężynowe. Wyłącznik taki 7 przedstawiono na rys. 146 (7, 8, 9, 10, 11). Zadaniem wyłącznika jest nadanie impulsu elektrycznego, który w razie nadmiernego wzrostu prędkości obrotowej turbozespołu powoduje zamknięcie organów zamykających turbiny. Wyłączniki odśrodkowe nadają impuls prędkości obrotowej większej o 4 do 5% od rzeczywistej prędkości obrotowej turbozespołu przy całkowitym jego odciążeniu. Nastawianie wyłączników na odpowiednią prędkość obrotową odbywa się w wytwórni turbin drogą prób i z tego względu nie wolno na montażu naruszać tego nastawienia. Sprawdzenie wyłącznika w siłowni ogranicza się do jego oględzin i do wypróbowania działania styków elektrycznych. W tym celu należy zdjąć osłonę wyłącznika 7. Wyłącznik montuje się w ten sposób, że tarczę 8, wirującą wraz z ciężarami 9, sprzęga się za pomocą wpustki z wałem wirnika prądnicy regulatora odśrodkowego albo centruje się tę tarczę w wyloczeniu wirnika i przymocowuje do niego za pomocą śrub, zaś urządzenie stykowe 10 razem z tarczą nieruchomą przymocowuje się do stojana prądnicy regulatora odśrodkowego.

Wyłącznik odśrodkowy można wyregulować na placu montażowym. Używa się do tego reduktora prędkości obrotowej, który służy do obracania wirnika prądnicy regulatora odśrodkowego przy wstępnym wyregulowaniu układu regulacyjnego (§ 43).

Wyłącznik odśrodkowy łącznie z prądnicą regulatora odśrodkowego ustawia się na kadłubie wzbudnicy po zakończeniu montażu prądnicy. Podczas montażu nie wolno odwracać (przekantowywać) wyłącznika odśrodkowego

bez uprzedniego unieruchomienia ciężarów, gdyż mogą one przy jego przechyleniu spowodować uszkodzenia taśm stalowych 11.

W nowszych konstrukcjach stosowane są wieloimpulsowe nadajniki odśrodkowe lub elektryczne.

Turbiny wodne, oprócz wymienionych tutaj mechanizmów pomocniczych, zaopatruje się w pewnych przypadkach w specjalne mechanizmy dodatkowe, jak: nadajnik ciśnienia, który potrzebny jest w przypadku gdy prądnica pracuje jako kompensator synchroniczny, chłodnice olejowe, których zadaniem jest ochłodzenie oleju itd.

Osprzęt i rurociągi w komorze turbiny. Do sprzętu i rurociągów w komorze turbiny zaliczamy rury, zawory, zasuwy i kurki, które instaluje się w tej komorze i które łączą turbinę z opisanymi wyżej mechanizmami pomocniczymi oraz z rurociągami fundamentowymi.

W komorze turbiny znajdują się następujące rurociągi: rurociąg pompy odwadniającej, rurociąg filtrów wodnych, rurociąg doprowadzający wodę do smarowania łożysk turbiny, rurociąg do odciążania wirnika, rurociągi do tablicy z przyrządami pomiarowymi oraz rurociąg do smarowania czopów łopatek kierownicy.

Kolejność dostawy rur, prace wykonawcze oraz montaż rurociągów omówiono w § 17.

Zawory, zasuwy oraz kurki sprawdza się i poddaje próbie wodnej łącznie z rurami. Zamykadła (grzybki, zasuwadła) tych elementów powinny dać się łatwo poruszać a jednocześnie dławnice nie powinny przepuszczać wody.

§ 22. CZĘŚCI FUNDAMENTOWE TURBIN FRANCISA ZE SPIRALAMI LANYMI

Turbiny Francisa pracujące przy spadach powyżej 80 m, zaopatrzone są zazwyczaj w spirale żeliwne lub stalowe, które stanowią jedną całość ze stojanem. Takie turbiny na wysokie spadki posiadają z reguły upust jałowy oraz zawór dopływowy (wlotowy) umieszczony przed spiralą. Opiszemy tutaj montaż omawianych turbin.

Do części fundamentowych turbin na wysokie spadki należą:

- 1) wykładzina rury ssawnej,
- 2) pierścień fundamentowy i wykładzina części stożkowej rury ssawnej,
- 3) spirala wraz z króćcem wlotowym,
- 4) rurociągi fundamentowe.

1. Wykładzina rury ssawnej

Wykładzina rury ssawnej I (rys. 68) jest to konstrukcja stalowa spawana, którą dostarcza się w stanie złożonym lub — w przypadku, gdy jej wymiary gabarytowe są większe od gabarytów kolejowych — w poszczególnych częściach. Części te składa się i spawa na miejscu zamontowania.

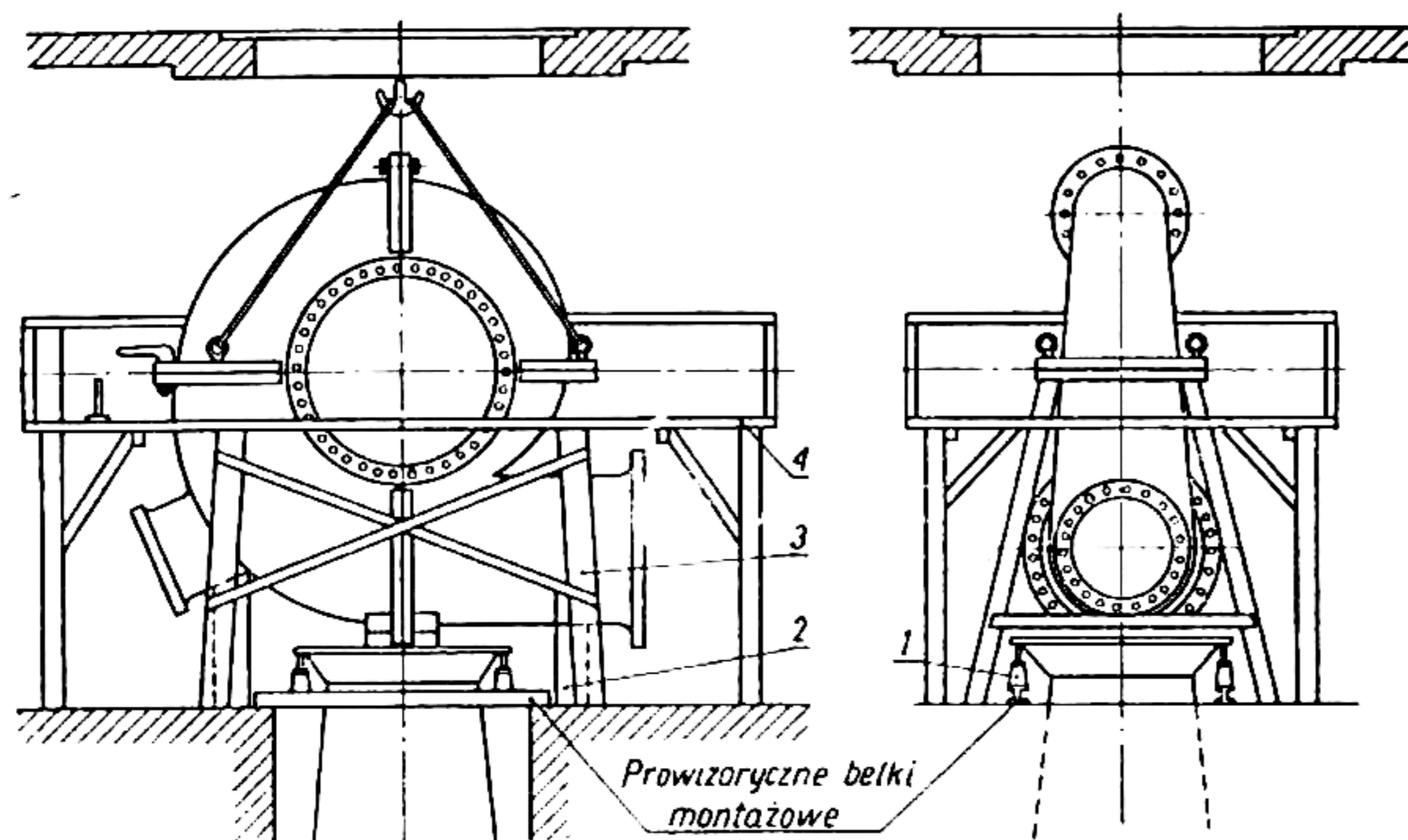
Wymagania stawiane przy montażu wykładziny są analogiczne do wymagań przy montażu wykładzin turbin zaopatrzonych w spirale spawane (patrz § 20).

Wykładzinę rury ssawnej, po jej ustawieniu, zalewa się betonem, który tworzy część zasadniczego fundamentu turbiny. W fundamencie tym oprócz wykładziny instaluje się: a) rurociąg 2, który łącznie z zaworem spustowym służy do opróżniania spirali oraz b) dwa rurociągi odciążające wirnika: od przestrzeni nadwirnikowej i od przestrzeni podwirnikowej turbiny.

Niekiedy wykładzina rury ssawnej składa się z dwóch części: dyfuzora (poziomy odcinek rury ssawnej) oraz z krzywaka. W tym przypadku dyfuzor umieszcza się bezpośrednio w fundamencie, zaś krzywak w przewidzianym dla niego gnieździe montuje się później łącznie z wykładziną stożkowej części rury ssawnej.

2. Pierścień fundamentowy i wykładzina części stożkowej rury ssawnej

Metody i sposoby wykonywania robót oraz warunki techniczne stawiane przy montażu pierścienia fundamentowego i wykładziny części stożkowej rury ssawnej zasadniczo nie różnią się od metod oraz warunków przy mon-



Rys. 69. Montaż spirali lanej

tażu analogicznych części turbin Francisa zaopatrzonych w spirale spawane (§ 20).

W pewnych konstrukcjach pierścień fundamentowy 3 (rys. 68) wykonywany jest bez łap wsporczych, wystających poza gniazdo przeznaczone na wykładzinę części stożkowej rury ssawnej 4. Pierścień tego rodzaju

można ustawić na prowizorycznych belkach (rys. 69), które przerzuca się poprzez to gniazdo. Wysokość ustawienia pierścienia reguluje się za pomocą dźwigników 1.

3. Spirale i króciec wlotowy

Spirala lana 5 (rys. 68), która w tym przypadku stanowi jedną całość ze stojanem, w zależności od jej wielkości wykonywana jest jako dwudzielna lub czterodzielna. Spirale lane poddawane są z reguły próbie wodnej w wytwórni. Ciśnienie próbne równa się przy tym największemu ciśnieniu w spirali przy nagłym odciążeniu turbiny i powinno być przynajmniej 1,5 razy większe od ciśnienia roboczego. Podczas montażu nie poddaje się spirali osobnej próbie wodnej.

W turbinach na wysokie spadki fundament prądnicy nie opiera się na stojanie turbiny tak jak w turbinach na niskie spadki, lecz spoczywa na osobnej konstrukcji betonowej.

Przed rozpoczęciem montażu, przynajmniej drugiej i następnych turbin danej siłowni, betonowy fundament prądnicy jest już w większości przypadków wykonany i dlatego spirala — ponieważ jest większa od otworu w tym fundamencie — nie może być opuszczona na swoje miejsce w stanie zmontowanym. W związku z tym na placu montażowym montuje się tylko obie połówki spirali (jeżeli spirala składa się z czterech części) i połówki te osobno opuszcza się do turbinowni, w której dopiero montuje się je w jedną całość (rys. 69).

Ponieważ połówki spirali (ich kołnierze) powinny być bardzo dobrze z sobą połączone, więc operację łączenia najlepiej jest wykonywać gdy spirala jest odwrócona o 90°. W tym położeniu łatwo jest bowiem założyć (do specjalnego rowka) uszczelniający sznur gumowy oraz można wygodnie prawidłowo dokręcać śruby. W celu odwrócenia spirali, wznosi się (ponad pierścieniem fundamentowym) rusztowanie 2 i ustawia na nim tę jej połówkę, która zaopatrzona jest w otwór wlotowy. Połówkę tę ustawia się tak, aby płaszczyzna podziału była pozioma i w celu zapewnienia stateczności podpira się ją jeszcze dodatkowo za pomocą drewnianych rozpór 3. Wokół płaszczyzny podziału buduje się pomost 4, z którego prowadzi się roboty.

Drugą połówkę spirali opuszcza się przy użyciu dźwigu na połówkę ustawioną poprzednio, prowadząc ją przy tym za pomocą kołków ustalających. Obie połówki zamocowuje się następnie śrubami.

Wreszcie całą już spiralę odwraca się za pomocą dźwigu w położenie robocze, przy czym w celu ułatwienia jej olinowania nie zakłada się śrub do dwóch otworów w kołnierzu. Spiralę należy odwrócić obok pierścienia fundamentowego oraz w obrębie przestrzeni obsługiwanej przez dźwig. Pierścień, w celu uniknięcia jego uszkodzenia, przykrywa się belkami, które zamocowuje się za pomocą klamer. Spirala powinna znajdować się na wysokości nieco powyżej wierzchu ustawionego już uprzednio pierścienia fundamentowego.

Po odwróceniu, ustawia się spiralę na dźwignikach, zgodnie z osiami *X* oraz *Y* przy czym wysokość jej ustawienia powinna być nieco większa od rzędnej pierścienia. Następnie za pomocą tychże dźwigników opuszcza się spiralę na kołnierz pierścienia fundamentowego, tak aby otwory na śruby pokrywały się, lecz kołnierze nie dotykały się do siebie. W takim położeniu na betonowych kołkach montażowych 6 (rys. 68) umieszcza się podkładki o potrzebnej grubości, po czym za pomocą dźwigników opuszcza się spiralę. Kołnierz jej nie powinien przy tym stykać się z kołnierzem pierścienia fundamentowego i spirala powinna spoczywać na tych kołkach, a nie na pierścieniu. Chodzi bowiem o to, że jej stosunkowo znaczny ciężar oraz niesymetryczne położenie środka ciężkości mogłoby naruszyć ustawienie pierścienia. Spiralę z pierścieniem tym łączy się wreszcie za pomocą śrub i ustala jej położenie za pomocą kołków. Następnie uzgadnia się oś spirali z osią rurociągu dopływowego i umocowuje się śruby fundamentowe 8.

Króciec wlotowy 7 ustawia się na słupach montażowych, a następnie łączy się go ze spiralą, przy czym w złącze należy również założyć uszczelniający sznur gumowy. Powierzchnie styku powleka się cienką warstwą bieli ołowiowej.

Spirala oraz króciec powinny po zmontowaniu spełniać następujące warunki: pionowa oś spirali powinna się pokrywać z pionową osią fundamentu turbozespołu, kołnierz do którego ma być przymocowana pokrywa turbiny powinien być ustawiony poziomo i powinien znajdować się na projektowanej rzędnej, oś króćca wlotowego spirali powinna być uzgodniona z osią rurociągu tłoczego.

W tablicy 46 podano dopuszczalne odchyłki przy montażu spirali lanych oraz odchyłki wszystkich pozostałych zespołów turbiny danego typu.

4. Rurociągi fundamentowe

Do fundamentowych rurociągów turbin na wysokie spady zaliczamy:

- a) rurociągi odciążające wirnik; rurociągi te dołączone są do przestrzeni nadwirnikowej i podwirnikowej oraz łączą te przestrzenie między sobą;
- b) rurociąg odwadniający; rurociąg ten odprowadza wodę przeciekową z labiryntowej dławnicy wału oraz z pompy odwadniającej i wprowadza się do rury ssawnej lub do kanału odpływowego;
- c) rurociąg odwadniający spiralę;
- d) rurociągi przyrządów kontrolnych: rurociąg do pomiaru ciśnienia w przestrzeni nadwirnikowej, rurociąg do pomiaru ciśnienia w przestrzeni podwirnikowej, rurociąg do pomiaru ciśnienia w spirali, rurociąg do pomiaru próżni w rurze ssawnej.

Metody i sposoby montażu tych rurociągów podano w § 17.

Części fundamentowe, po ich ustawieniu, zabetonowuje się. Można zabetonować jednocześnie wszystkie części lub naprzód wykładzinę części stożkowej rury ssawnej oraz pierścień fundamentowy a następnie spiralę.

§ 23. MECHANIZMY ROBOCZE ORAZ URZĄDZENIA POMOCNICZE TURBIN FRANCISA ZE SPIRALAMI LANYMI

Do mechanizmów roboczych oraz do urządzeń pomocniczych tych turbin zaliczamy następujące zespoły:

- 1) zespół wirujący turbiny,
- 2) kierownicę,
- 3) uszczelnienie wału turbiny,
- 4) zespół łożyska poprzecznego,
- 5) mechanizmy pomocnicze i rurociągi.

1. Zespół wirujący

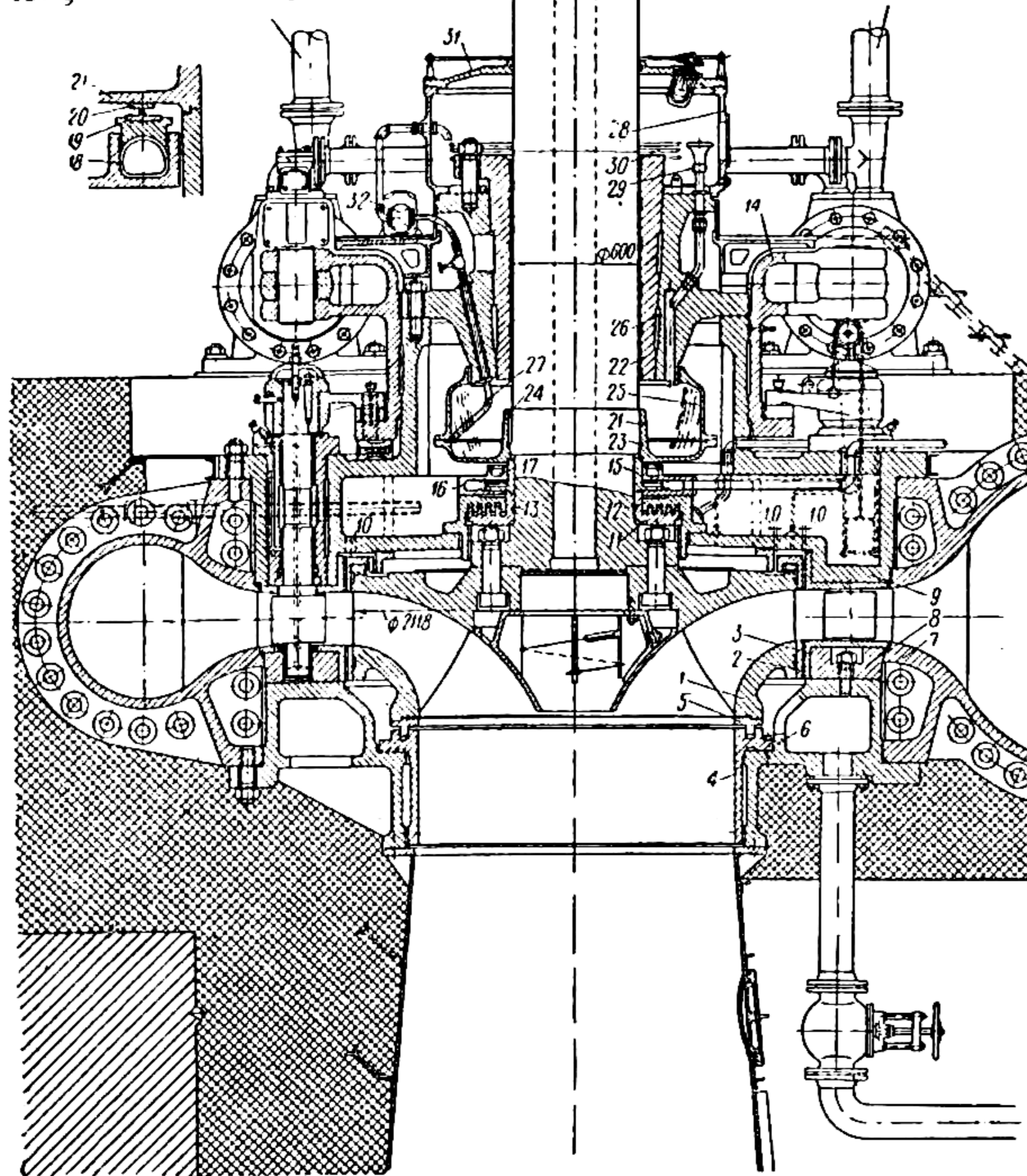
Wirnik 1 (rys. 70) sporządzony jest zazwyczaj ze staliwa. Dostarcza się go na budowę siłowni razem ze zmontowanymi na nim pierścieniami uszczelnienia labiryntowego. W turbinach na wysokie spady szczeliny w uszczelnieniach labiryntowych wirnika są bardzo małe (0,5 do 1,0 mm), wskutek czego w czasie pracy turbiny obracające się pierścienie 2 (i 2') mogą trzeć się o pozostające w spoczynku pierścienie 3 (i 3'). Z tego względu należy szczególnie starannie sprawdzić umocowanie pierścieni do wirnika. Pierścienie uszczelnień labiryntowych mogą trzeć się o siebie wskutek przedostawania się do szczelin cząstek zawartych w przepływającej wodzie, wskutek nieznacznego naruszenia współśrodkowości spowodowanego nierównomiernym osadzaniem się części turbiny itd. Jeżeli istnieje podejrzenie, że pierścienie uszczelnienia labiryntowego nie są współśrodkowe, to należy sprawdzić ich ustawienie względem wału turbiny. Robimy to za pomocą czujnika i przyrządu pokazanego na rys. 164.

Wirnik łączymy z wałem oraz z opływką i opuszczamy je na miejsce ustawienia w ten sam sposób, jak to opisano w § 21.

W § 21 wskazano na konieczność ustawienia zespołu wirującego turbiny poniżej projektowanej rzędnej, a to w celu umożliwienia wcentrowania zespołu wirującego prądnicy, znajdującego się na projektowanej rzędnej. Jednak w pewnych konstrukcjach nie można opuścić tego zespołu turbiny o wymaganą wysokość, gdyż grubość poziomej szczeliny utworzonej przez dolną powierzchnię czołową dolnego wieńca wirnika i odpowiednią powierzchnię pierścienia fundamentowego jest zbyt mała. Grubość tej szczeliny powinna równać się sumie wysokości centrującego zatoczenia wału (12 do 15 mm) i wysokości klinów znajdujących się pod wirnikiem. W razie gdy grubość ta jest zbyt mała, należy podnieść wał prądnicy na potrzebną wysokość i ustalić jego położenie za pomocą prowizorycznych podkładek o odpowiedniej grubości, które umieszcza się pomiędzy piastą i tarczą czołpa łożyska wzdłużnego. Po połączeniu wałów podkładki te usuwa się podnosząc zespół wirujący za pomocą dźwigników zaopatrzonych w hamulce.

Rurociąg olejowy tłoczny
doprowadzający olej przy
zamykaniu kierownicy

Rurociąg olejowy tłoczny
doprowadzający olej przy
otwieraniu kierownicy



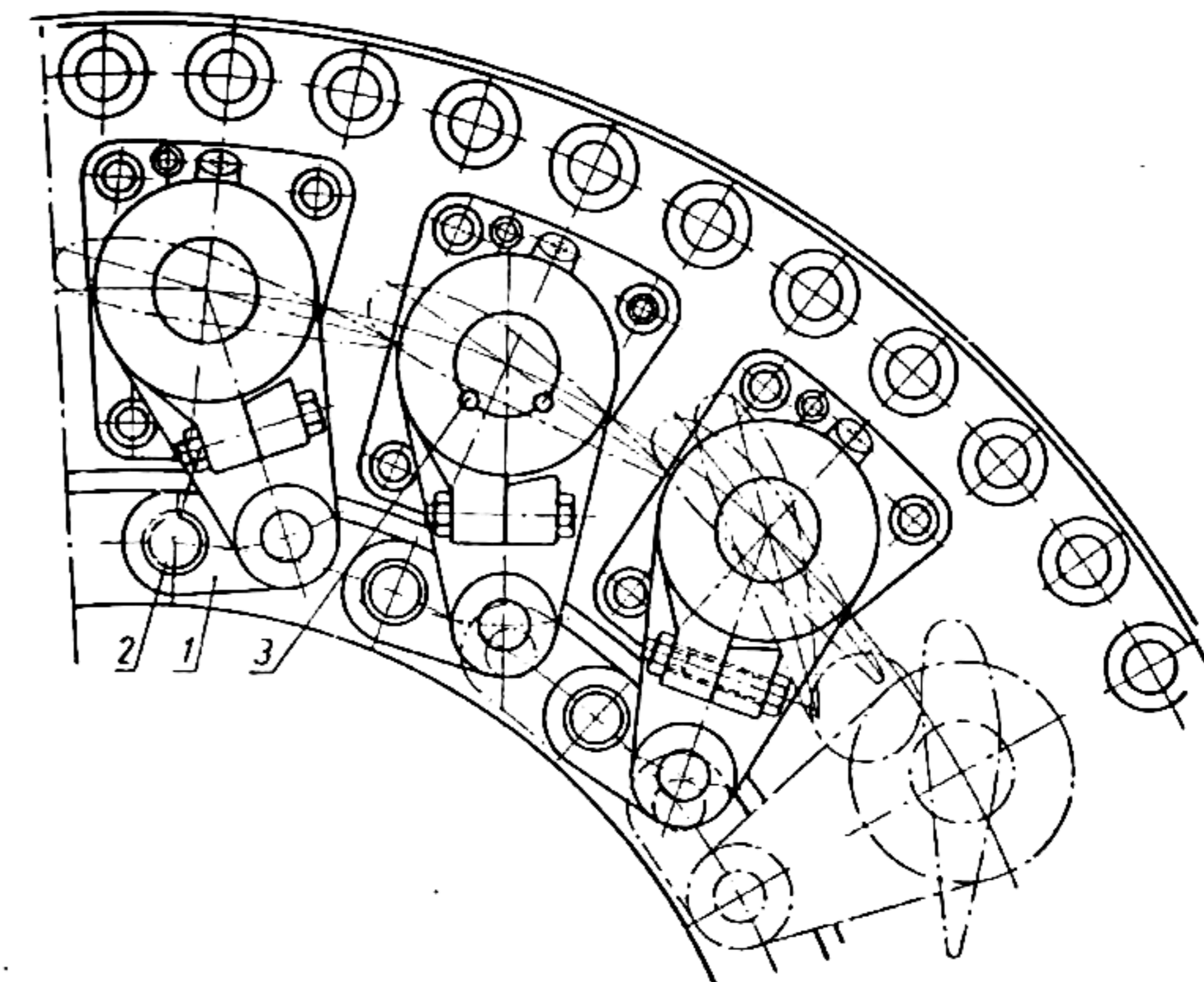
Rys. 70. Turbina Francisza zaopatrzona w spiralę laną (przekrój)

Na rys. 76 pokazano montaż łożyska wzdłużnego turbiny na wysokie spadach.

W turbinie pokazanej na rys. 70, w odróżnieniu od innych podobnych turbin, króciec ssawny 4 stanowi odrębną część. Króciec ten ustawia się na jego miejscu przed opuszczeniem wirnika. Kołnierz króćca centruje się według wytoczenia 6 w pierścieniu fundamentowym. Oprócz tego kontroluje się współśrodkowość labiryntowego rowka króćca względem wytoczenia znajdującego się w spirali 7 pod dolnym pierścieniem 3 kierownicy. Następnie króciec ssawny przymocowuje się ostatecznie i ustala jego położenie za pomocą kołków ustalających. Powinien on być wycentrowany szczególnie starannie, a to ze względu na możliwość zacierania się pierścienia labiryntowego 5 wirnika, który to pierścień jest najbardziej odległy od poprzecznego łożyska turbiny. Szczelinę należy projektować 1,5 do 2 razy większą niż w pozostałych uszczelnieniach labiryntowych.

Widzimy, że w rozpatrywanej konstrukcji podstawą centrowania jest króciec ssawny, według którego centruje się wirnik oraz dolny pierścień kierownicy.

2. Kierownica



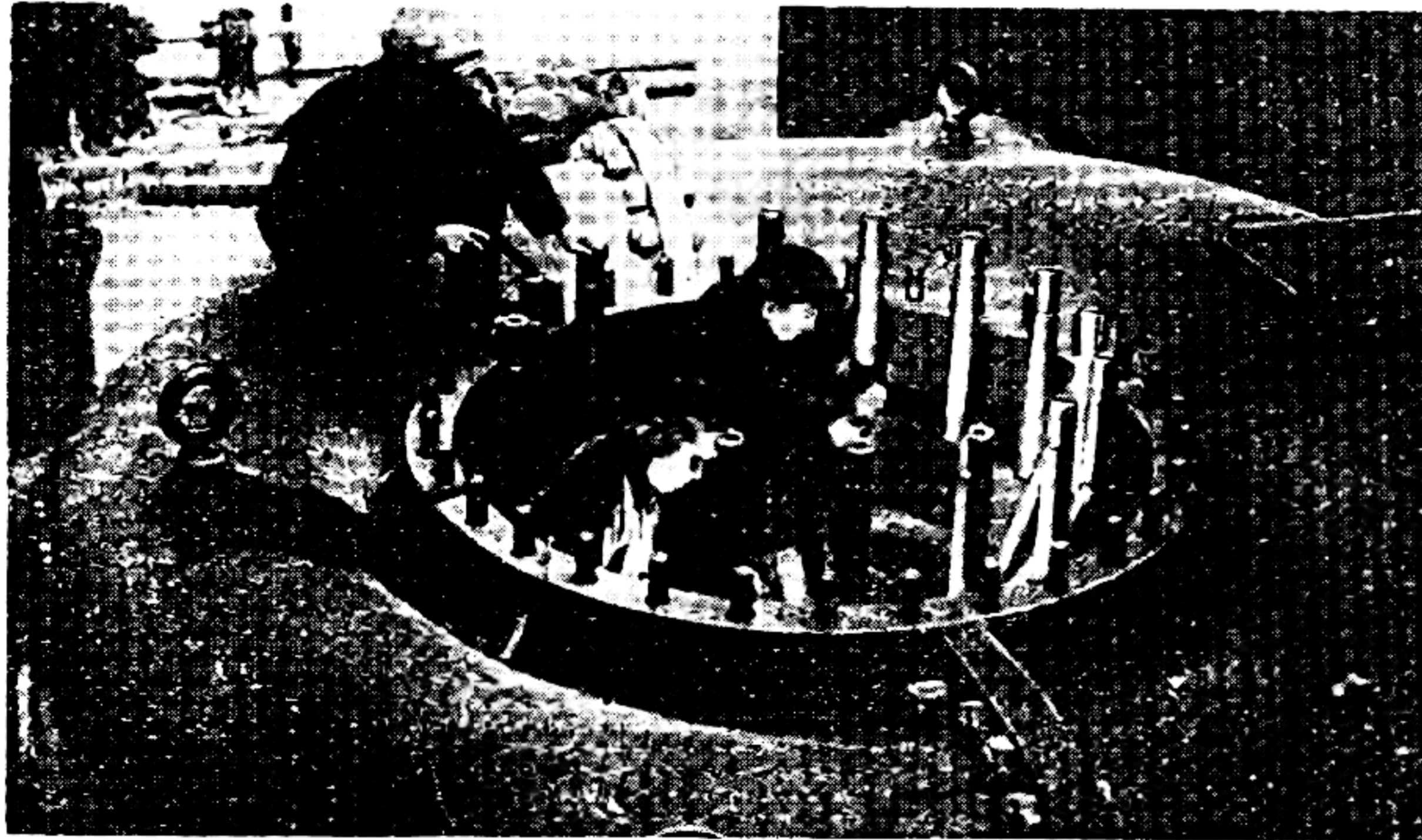
Rys. 71. Kierownica turbiny Francisza. Widok z góry

Montaż kierownicy nie różni się zasadniczo od montażu kierownicy turbiny zaopatrzonej w spiralę spawaną, z wyjątkiem tego, że w danym przypadku, w związku z niemożnością regulacji długości strzemion 1 (rys. 71),

Łopatki dopasowuje się po całkowitym złożeniu kierownicy. W tym celu zamyka się kierownicę za pomocą serwowatora (siłownika) (przy użyciu oleju lub powietrza pod ciśnieniem) albo ręcznie, za pomocą dźwignika, i usuwa ujawniające się przy tym szczeliny międzyłopatkowe. W celu zredukowania sił działających na śruby bezpieczeństwa 2, nie należy ostatnich zbyt silnie dokręcać. W ten sposób widzimy, że nie ma potrzeby ściągania łopatek za pomocą liny.

Jeżeli operację sprzęgania dźwigni łopatkowych z czopami łopatek przeprowadza się na miejscu montażu, nie zaś w wytwórni, to kolejność montażu jest taka sama jak podano w § 21, zaś wiercenie otworów, ich rozwiercanie oraz zakładanie klinów 3 wykonuje się po całkowitym zakończeniu montażu kierownicy.

W związku z tym, że górne powierzchnie czołowe czopów łopatek i górne powierzchnie czołowe piast dźwigni łopatkowych zazwyczaj nie leżą w tej samej płaszczyźnie, przy wierceniu i rozwiercaniu otworów na śruby stosuje się specjalną nakładkę.



Rys. 72. Montaż łopatek kierowniczych turbiny Francis

Należy starannie sprawdzić czy nieruchome pierścienie labiryntowe 3 dolnego pierścienia kierownicy są dobrze przymocowane.

Jeżeli wymiary gabarytowe spirali nie pozwalają na pomiar od wewnątrz grubości szczelin uszczelnienia labiryntowego górnego wirnika, to w pokrywie, ponad uszczelnieniem labiryntowym, należy zaprojektować co najmniej cztery nagwintowane otwory 10, poprzez które za pomocą szczelnomierza mierzy się grubości tych szczelin. Następnie w otwory wkłada się korki.

Po zakończeniu montażu kierownicy należy umieścić w protokołach jej odpowiednie rzeczywiste wymiary. Na rys. 63, 64 i 65 pokazano formularze tych protokołów.

Na rys. 72 przedstawiono montowanie łopatek kierowniczych.

W ostatniej fazie montażu kierownicy ustawiamy do pionu wał turbiny, następnie przycentrowujemy do niego wał prądnicy i łączymy wały z sobą. Metody wykonywania tych robót podano w rozdziale VII. Z kolei montujemy zespół uszczelniający wał turbiny względem jej pokrywy.

3. Uszczelnienia wału turbiny

W turbinach na wysokie spadach zaopatrzonej w spirale łane stosuje się łożyska poprzeczne smarowane wodą lub olejem. O ile łożysko poprzeczne jest smarowane wodą, to wał uszczelniony jest za pomocą dławnicy (rys. 56) i montuje się go łącznie z łożyskiem tak, jak opisano w § 21.

W turbinach, w których łożysko poprzeczne smarowane jest olejem (panwie wykonane są wówczas ze stopu łożyskowego), wał zaopatrzony jest w specjalne urządzenie uszczelniające. Urządzenie to składa się z pierścieni labiryntowych oraz z pompy łopatkowej. Oprócz tego w turbinach, które pracują przy ujemnej wysokości ssania stosuje się dodatkowe urządzenie uszczelniające (urządzenie zaporowe) (rys. 70). Każda część uszczelnienia jest dwudzielna. Ponieważ w uszczelnieniach labiryntowych szczeliny są bardzo małe (0,5 do 0,8 mm), więc grubości tych szczelin zaleca się sprawdzić uprzednio na placu montażowym. W tym celu ruchomy pierścień labiryntowy 11 oraz pierścień nieruchomy 12 montuje się, nakłada jeden na drugi i przemieszczając pierścień nieruchomy w kierunku promieniowym, znajduje się (za pomocą czujnika) najmniejszą łączną grubość obu szczelin. Następnie pierścienie wmontowuje się na ich miejsca.

Pierścień uszczelnienia labiryntowego wału (obracający się) montuje się na wale turbiny: na miejscu lub na placu montażowym, przed opuszczeniem zespołu wirującego. Wygodniej jest montować na placu montażowym. Aby zapobiec przeciekaniu wody pomiędzy wałem i pierścieniem, w specjalnym wytoczeniu pierścienia, przed złożeniem ostatniego, umieszcza się sznur filcowy lub gumowy 13 i oprócz tego wał oraz powierzchnie podziału pierścienia pokrywa się białą ołowiową. Pierścień umocowuje się na wale za pomocą śrub z łbami dociskowymi. Przy składaniu należy się upewnić czy dolna powierzchnia czołowa pierścienia szczelnie przylega do kołnierza wału.

Dalszy montaż uszczelnienia przedstawia się następująco. Za pomocą klinów ustala się położenie wirnika, który do tego czasu był zawieszony na łożysku wzdluznym. Klipy te zakłada się w dostępne nam szczeliny jego labiryntowego uszczelnienia. Posługując się średnicówką mierzy się odległość pomiędzy wałem i obrobionym pierścieniowym nadlewem, znajdującym się w pokrywie turbiny. Nadlew ten służy do osadzenia kadłuba

łożyska. Pomiar, który przeprowadza się w czterech miejscach, wzdłuż osi X i Y, potrzebne będą później przy sprawdzaniu ustawienia wału. Następnie wokół wału na drewnianym pomoście, ułożonym na pierścieniu regulacyjnym 14, montuje się nieruchomy pierścień labiryntowy 12. Pierścień ten opuszcza się na jego miejsce za pomocą wciągników, centruje się go według pierścienia labiryntowego ruchomego, przymocowuje śrubami do pokrywy turbiny i wreszcie ustala jego położenie za pomocą kołków.

Na wale, bezpośrednio ponad obracającym się pierścieniem labiryntowym 13, montuje się wirnik 15 pompy łopatkowej. W wytoczenie wirnika, podobnie jak przy montażu tego pierścienia, zakłada się sznur filcowy lub gumowy i wirnik umocowuje się następnie za pomocą śrub z łbami dociskowymi. Dolna czołowa powierzchnia wirnika powinna przy tym ściśle dolegać do kołnierza obracającego się pierścienia labiryntowego.

Kadłub 16 pompy łopatkowej składa się i montuje w ten sam sposób jak nieruchomy pierścień labiryntowy. Pomiedzy kadłubem pompy i tym pierścieniem zakłada się gumową uszczelkę. W rzucie poziomym kadłub ten ustawia się według króćca tłoczego spirali pompy. Przekrój wlotowy spirali powinien znajdować się na wysokości wirnika pompy. Sprawdzamy to za pomocą obliczenia odpowiednich wysokości.

Dodatkowe urządzenie uszczelniające (zaporowe) 17 (rys. 70) składa się z gumowej rury w kształcie pierścienia 18 (patrz szczegół A), do której w czasie postoju turbiny doprowadza się wodę pod ciśnieniem. Pod wpływem tego ciśnienia pierścień gumowy rozszerza się i dociska pierścień 19 do pierścienia 20 przymocowanego do obracającego się zbiornika olejowego 21. Rurę gumową skleja się naokoło wału otrzymując w ten sposób opisany pierścień, który umieszcza się w rowku znajdującym się w kadłubie pompy. Następnie do opisanego pierścienia przytwierdza się śrubunek, a do tego śrubunku z kolei przyłącza się rurę zasilającą. Wreszcie zakłada się pierścień dwudzielny i jego złącza przykrywa się pierścieniem 19.

4. Zespół łożyska poprzecznego turbiny

Na wale turbiny znajdującym się na placu montażowym, montuje się przede wszystkim dolny zbiornik ściekowy oleju 21 (obracający się razem z wałem) i sprawdza się szczelność jego osadzenia (rys. 70). Na wale tym — również na placu montażowym — montuje się następnie panewki łożyska 22 i mierzy się grubość szczeliny łożyskowej. Grubości te powinny odpowiadać grubościom wskazanym na rysunkach.

Montaż zespołu łożyska rozpoczyna się od osadzenia na wale wspomnianego zbiornika ściekowego, który obraca się razem z wałem i który należy oprzeć na specjalnym osadzeniu wału lub na piaście wirnika 15 pompy łopatkowej (rys. 70). Zbiornik ściekowy uszczelnia się względem wału za pomocą sznura 23, sporządzonego z filcu lub z gumy odpornej na olej. Rowek

na wpustkę 24 należy przy tym wypełnić ołowiem. Zadaniem uszczelki jest niedopuszczenie wody do wnętrza zbiornika ściekowego. Następnie montuje się pokrywę 25 tego zbiornika. Wycentrowanie jej sprawdza się względem wału używając do tego średnicówki.

W złączach kołnierzowych oraz pionowych zbiornika ściekowego i jego pokrywy umieszcza się uszczelki preszpanowe. W złączach pionowych najlepiej pozostawić jest uszczelki fabryczne, z którymi części te były tożsame. O ile wymiana tych uszczelki jest konieczna, to grubości nowych uszczelki powinny być ściśle takie same jak uszczelki fabrycznych. Po zmontowaniu należy sprawdzić szczelność zbiornika ściekowego. W tym celu napełniamy go naftą.

Dwudzielny kadłub łożyska 26 montujemy również na wale, na pomoście umieszczonym na pierścieniu regulacyjnym, następnie opuszczamy go na jego miejsce za pomocą wciągników i centrujemy według wału. Powierzchnie styku obu połówek kadłuba należy powlec białą ołowiową. Przed opuszczeniem kadłuba trzeba przekonać się czy wał jest prawidłowo ustawiony. W tym celu sprawdzamy jego położenie względem pokrywy turbiny.

Pomiedzy górnym brzegiem pokrywy zbiornika ściekowego i kadłubem łożyska oraz w uszczelnieniu labiryntowym wału powinny być pozostawione szczeliny o grubości (w kierunku pionowym) nieco większej od projektowanej wysokości podniesienia zespołu wirującego turbiny. Grubość tę oblicza się na podstawie rzeczywistych zmierzonych wymiarów zbiornika i łożyska oraz pierścieni labiryntowych.

Do kadłuba łożyska wprowadza się zawczasu rurki odprowadzające smar 27. Po ustawieniu kadłuba, kolana tych rurek należy wygiąć w ten sposób, aby wlotowe odcinki były skierowane przeciwnie do kierunku obrotu wału oraz aby przy podniesieniu zespołu wirującego i jego obracaniu nie zahaczały one o kołnierze znajdujące się wewnątrz zbiornika ściekowego.

Panwie łożyska turbiny 22 montuje się wokół wału na pomoście umieszczonym na kadłubie łożyska i za pomocą wciągników opuszcza je do kadłuba i umocowuje. Wał należy przy tym powlec olejem. Złącza panwi pokrywa się białą ołowiową.

Po ustawieniu panwi wyjmuje się kliny, za pomocą których zostało uprzednio ustalone położenie wirnika i następnie podług szerokości szczelin w uszczelnieniach labiryntowych, sprawdza się jego ustawienie w kierunku promieniowym. O ile stwierdzimy, że wirnik jest przesunięty, świadczy to o jednostronnym nacisku panwi na wał. W takich przypadkach należy wirnik zaklinować i ponownie wycentrować kadłub łożyska. Jednocześnie przeprowadza się pomiar szczelin w panwi i oprócz tego sprawdza się wał na „rzucanie się“ („bicie“) (patrz § 33).

Dwudzielny kadłub 28 górnego zbiornika oleju łożyska montuje się i ustawia na kadłubie łożyska, na uszczelce preszpanowej. Pomiedzy powierzchniami podziału łożyska należy również umieścić uszczelkę. Przed ustawieniem zbiornika zakłada się i zamocowuje rury przelewowe 29 oraz chłodnicę węzownicową 30. Chłodnicę należy uprzednio poddać próbie wodnej.

Na górnym zbiorniku montuje się następnie jego pokrywę 31 i centruje ją względem wału. Pomiędzy zbiornikiem i pokrywą należy umieścić uszczelkę preszpanową. Pokrywa jest również dwudzielna.

Dane dotyczące centrowania zespołu wirującego turbiny i prądnicy należy umieścić w odpowiednich protokołach (patrz rys. 66, 112, 114, i 119).

5. Mechanizmy pomocnicze i rurociągi turbiny

Do mechanizmów pomocniczych zaliczamy:

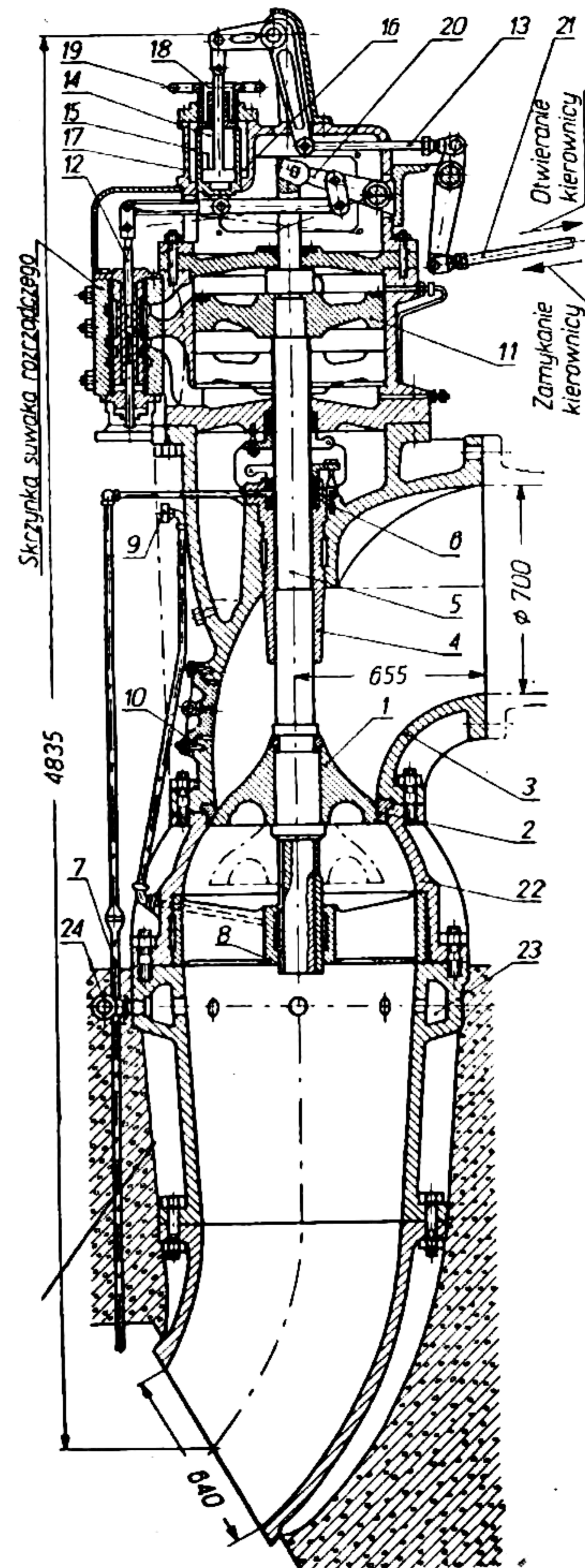
- 1) pompę odwadniającą samozasysającą,
- 2) ejektor,
- 3) wyłącznik odśrodkowy,
- 4) rezerwową olejową pompę rozruchową,
- 5) zawór spustowy,
- 6) upust jałowy,
- 7) zawór dopływowy, umieszczony przed turbiną.

Kolejność montażu pompy odwadniającej, ejektora oraz wyłącznika odśrodkowego podano w § 21.

Rezerwową olejową pompę rozruchową 32 wraz z silnikiem elektrycznym montuje się na wspólnej płycie na kadłubie łożyska lub na pomoście roboczym w sposób pokazany na rys. 70. Po umocowaniu płyty należy ręcznie sprawdzić czy pompa oraz silnik dają się dostatecznie łatwo obracać. Po przyłączeniu rurociągu i napełnieniu olejem obracającego się zbiornika ściekowego, włączamy silnik i sprawdzamy działanie pompy oraz urządzenia pływakowego, znajdującego się w górnym zbiorniku oleju. Jeżeli pompa nie zasysa oleju — co świadczy o przedostaniu się powietrza do rury ssawnej — należy sprawdzić jej połączenie z kadłubem pompy i w razie potrzeby wymienić uszczelkę w złączu kołnierzowym. O ile wydajność pompy jest mniejsza od podanej, to pompę należy rozebrać i zmniejszyć szczelinę czołową pomiędzy wirnikiem i pokrywą pompy. W tym celu uszczelkę znajdującą się pomiędzy tą pokrywą i kadłubem wymienia się na uszczelkę cieńszą. Grubość szczeliny powinna być zawarta w granicach od 0,08 do 0,1 mm.

Upust jałowy. Upusty jałowe zaopatrzone są w napęd hydrauliczny lub ręczny. Przy wielkich instalacjach turbinowych stosuje się upusty jałowe o napędzie hydraulicznym.

Upust jałowy dostarczany jest na budowę w stanie zmontowanym i zazwyczaj zaopatrzone jest w odejmowalny króciec 10 oraz w odejmowalny krzywak 9 (patrz rys. 68). Na placu montażowym króciec zmontowuje się z krzywakiem i w położeniu pionowym (roboczym) ustawia się oba na rusztowaniach oraz podporach, po czym za pomocą dźwigu ustawia się na króciecu upust jałowy i zmontowuje je razem. Następnie cały zespół transportuje się dźwigiem na miejsce zamontowania i kadłub 11 przymocowuje się prowizorycznie do spirali, umieszczając pomiędzy nimi uszczelkę z płótna żaglowego, nasyconego olejem; króciec oraz krzywak podpira się przy tym



w ich gnieździe znajdującym się w fundamencie. Oś upustu jałowego musi być ustawiona pionowo. Ustawienie to należy sprawdzić za pomocą poziomicy ramkowej, którą od wewnątrz spirali przykłada się do tłocyska upustu 5 (rys. 73). Następnie kadłub upustu przymocowuje się ostatecznie do spirali, zaś podpory króćca i krzywaka znajdującego się w wyjęciu przypawa się do uzbrojenia fundamentu. Przy montażu należy zwrócić uwagę na prawidłowe usytuowanie krzywaka, ponieważ w razie odchylenia jego otworu wylotowego strumień wody może zostać skierowany na betonową ścianę kanału odpływowego i spowodować jej zniszczenie.

Po przyłączeniu rurociągu powietrznego 24 oraz rury 7 odwadniającej kadłub upustu zabetonowuje się króciec oraz krzywak.

Zawór dopływowy (wlotowy). Przed turbiną instaluje się zawory dopływowe kulowe, motylkowe, iglicowe lub zasuwowe (zasuwki). Turbina pokazana na rys. 70 zaopatrzona jest w zawór motylkowy. Montaż tego zaworu opiszemy bliżej.

Zawory motylkowe wielkich turbin są bardzo duże i ciężkie. Z tego powodu na budowę dostarczane są w częściach.

Rys. 73. Upust jałowy o napędzie hydraulicznym. Przekrój podłużny

W celu zmontowania zamykadła (tarczy) zaworu w jego kadłubie 12, (patrz rys. 68), kadłub ten umieszcza się na placu montażowym w położeniu poziomym, na drewnianych podkładkach, przy czym wysokość powinna być taka, aby roboty można było prowadzić pod kadłubem. Tarczę zaworu opuszcza się następnie do kadłuba i opiera ją na dźwignikach, za pomocą których zostaje ona tak ustawiona, aby jej oś geometryczna pokrywała się z osią geometryczną kadłuba. Z boku wprowadza się oś tarczy 13 i zamocowuje ją z tarczą za pomocą okrągłych wpustek. Następnie montuje się łożyska osi wraz z uszczelnieniami oraz dźwignią 14. Dźwignię tę zamocowuje się przy tym za pomocą klina okrągłego w ten sposób, aby w położeniu zamkniętym zaworu nie było jednostronnej szczeliny pomiędzy tarczą i kadłubem. W położeniu tym tarcza powinna więc szczelnie dolegać do kadłuba. Ewentualne szczeliny kasuje się przez odpowiednie dopasowanie pierścieni uszczelniających. Jakość dopasowania należy sprawdzić za pomocą szczelinomierza. Następnie za pomocą dźwigu, do którego przymocowuje się linę przyczepioną drugim końcem do dźwigni 14, sprawdza się czy tarcza obraca się dostatecznie lekko oraz czy odchyła się żądany kąt.

Płyty fundamentowe zaworu dopływowego (wlotowego). O ile zawór jest średniej wielkości, to jego płyty fundamentowe najlepiej montować jest łącznie z zaworem, gdyż w ten sposób upraszcza się robotę i powiększa dokładność montażu. W tym celu na placu montażowym przymocowuje się prowizorycznie łapy kadłuba zaworu do płyt i w tym stanie opuszcza się całość na miejsce zamontowania. Pomiędzy płytami i łapami kadłuba zaworu należy umieścić podkładki z blachy stalowej o grubości 2 do 3 mm. Podkładki te służą do wyrównania możliwego nierównomiernego osadzania się części fundamentowych.

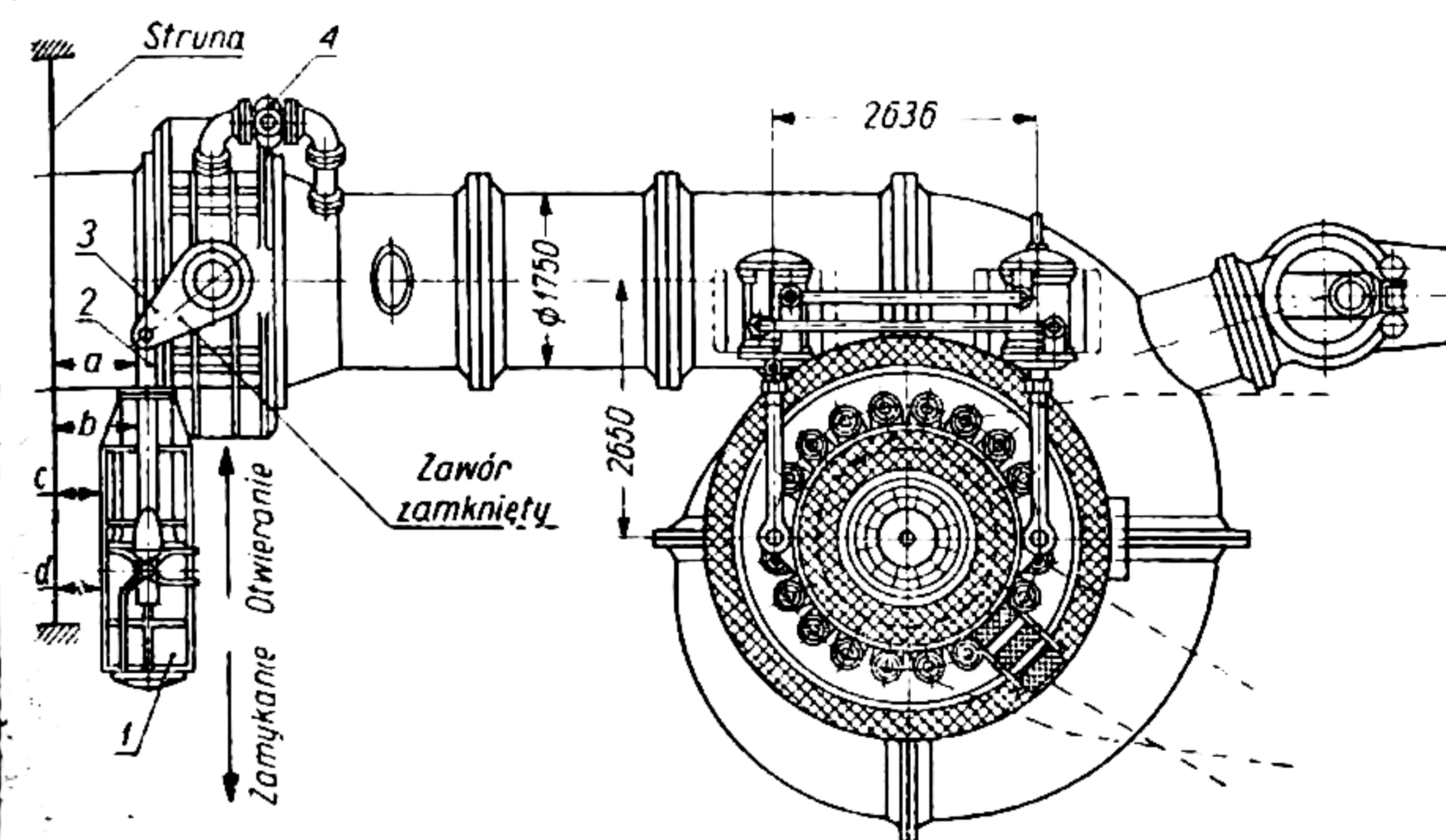
Kadłub zaworu łącznie z płytami fundamentowymi przymocowuje się prowizorycznie do króćca wylotowego spirali osiągając w ten sposób prawidłowe zgranie osi zaworu z osią spirali. Pomiędzy kadłubem zaworu i króćcem należy założyć uszczelkę z płótna żaglowego. Za pomocą poziomnicy, która umieszcza się na górnej czołowej powierzchni osi tarczy, sprawdza się pionowe ustawienie osi kadłuba. W tym położeniu płyty fundamentowe ustala się za pomocą podkładek umieszczonych na betonie oraz klinów i spawa je z sobą oraz przypawa do uzbrojenia żelbetonu. Następnie śruby fundamentowe zalewa się betonem specjalnie do tego celu przygotowanym i po jego stwardnieniu dociąga się je ostatecznie.

Wskutek tego dociągania może być naruszone ustawienie płyt fundamentowych i z tego względu należy uprzednio zluźnić śruby łączące kadłub z płytami oraz sprawdzić czy w połączeniu nie ma luzów. W przeciwnym przypadku pod łapami kadłuba zaworu należy umieścić podkładki o innej grubości. Po takim sprawdzeniu płyty fundamentowe zalewa się betonem.

Ukończenie montażu zaworu dopływowego pozwala na rozpoczęcie montażu zaworu okrężnego 4 (rys. 74). Zawór ten przymocowuje się do kadłuba zaworu dopływowego, tj. głównego i do króćca.

Płyty fundamentowe wielkich zaworów (powyżej 3 m średnicy) ustawia się zazwyczaj osobno. W tym przypadku podstawą montażową jest kołnierz króćca.

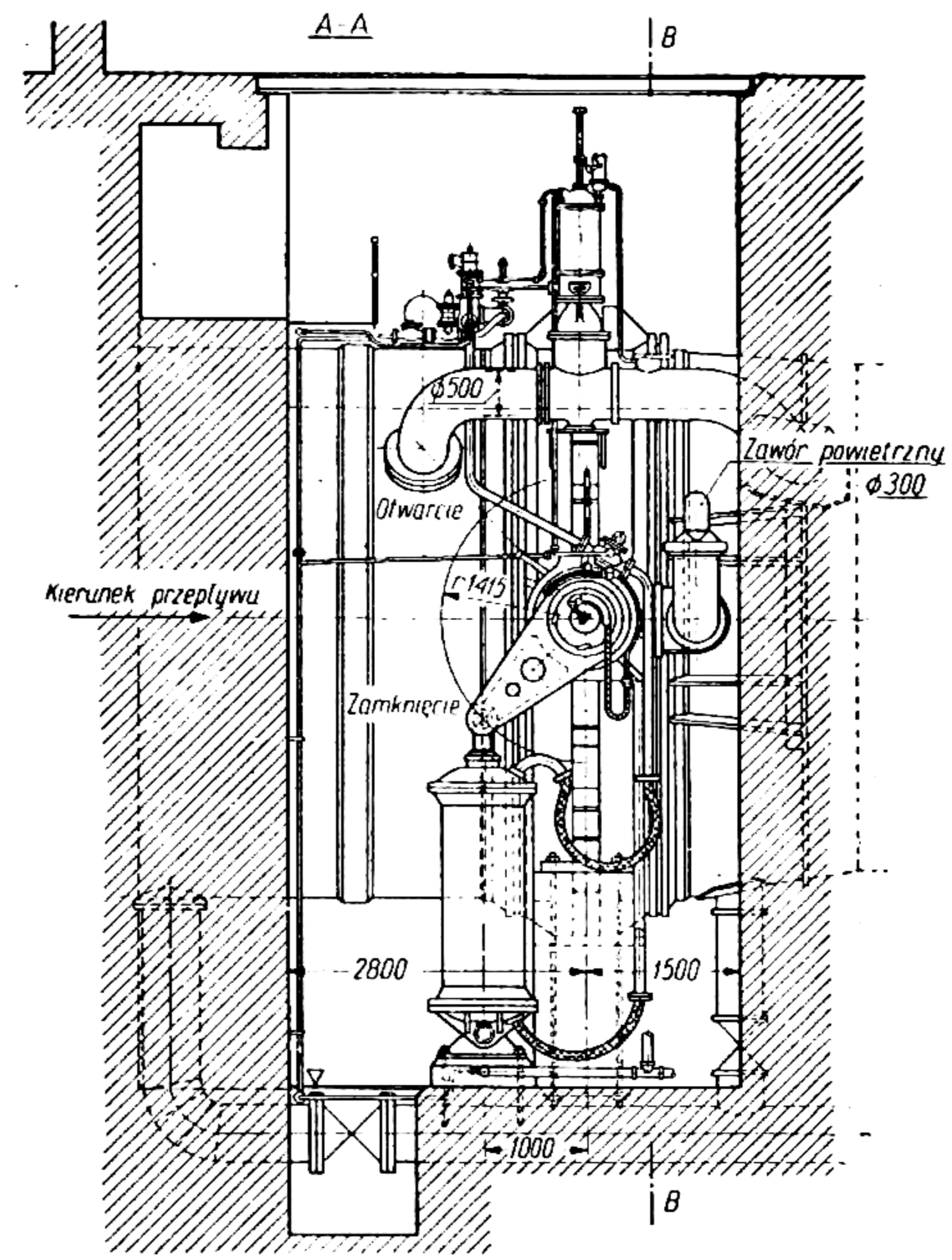
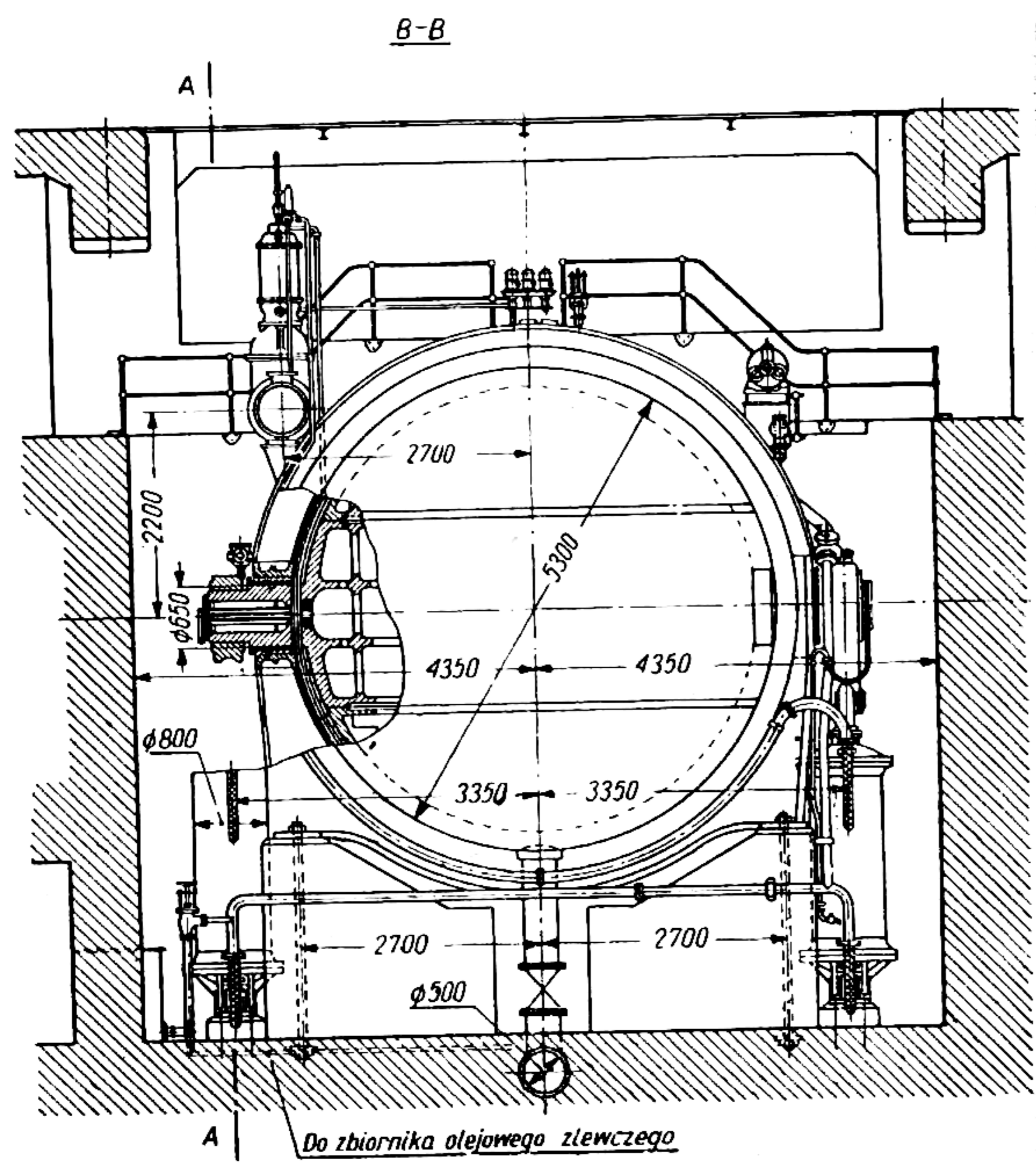
Serwomotor (siłownik) zaworu motylkowego. Stosuje się serwomotory nurnikowe lub tłokowe. Rozpatrywany przez nas zawór wyposażony jest w siłownik nurnikowy 1 (rys. 74). Siłownik tego typu powinien być tak zmontowany, aby przy zamkniętej tarczy zaworu oś drąga wodzika (korbowodu) 2 pokrywała się z osią tłocyska tłoka siłownika, posiadała położenie poziome i znajdowała się na wysokości rzędnej środka ucha dźwigni 3 zaworu oraz, aby tłok nie obciążony ciśnieniem oleju nie dochodził przy tym do zderzaka w pokrywie cylindra o odległość naciągu wynoszącą 2 do 3 mm. W tym położeniu oś siłownika powinna być prostopadła do osi zaworu i rurociągu.



Rys. 74. Turbina Francis z zaworem dopływowym i upustem jałowym. Rzut poziomy

Płytę fundamentową najwygodniej jest montować razem z serwomotorem. W tym celu na placu montażowym przykręca się do niej siłownik i razem opuszcza się je we właściwe miejsce, na umieszczone tam uprzednio prowizoryczne metalowe podkładki i kliny. Tłok przesuwany następnie w położenie zamknięcia, aż do zderzaka ograniczającego jego skok, zaś dźwignię tarczy ustawia się również w położeniu całkowitego zamknięcia. Następnie manipulując klinami, na których spoczywa płyta fundamentowa, ustawia się korbowód w położeniu poziomym i jednocześnie na żądanej rzędnej. Położenie to sprawdza się przy tym za pomocą poziomnicy.

W celu skontrolowania dokładności ustawienia obracamy korbowód naokoło jego sworznia znajdującego się w wodziku. Głowica drążka powinna przy tym bez wysiłku wchodzić w ucho dźwigni i powinna poruszać się



Rys. 75. Zawór motylkowy zaopatrzony w siłowniki wahliwe

poziomo, co sprawdzamy za pomocą czujnika względem górnej czołowej powierzchni głowicy korbowodu.

Wielkość naciągu określona jest przez wielkość przesunięcia otworu na sworzeń w głowicy tłoczyska względem otworu w uchu dźwigni. Środek otworu w głowicy powinien być więc przesunięty w stronę siłownika na 2 do 3 mm. Prostopadłość osi siłownika do osi zaworu oraz do osi rurociągu sprawdza się za pomocą struny naciągniętej prostopadle do osi zaworu. Mierzy się przy tym w dwóch miejscach odległości *a* i *b* pomiędzy korbowodem i pionem opuszczonym z tej struny oraz w dwóch miejscach — odległość *c* i *d* pomiędzy obrobioną boczną powierzchnią kadłuba siłownika i pionem również z tej struny opuszczonym.

Po tym sprawdzeniu płytę fundamentową zapiera się mocno w jej gnieździe w fundamencie i za pomocą elektrycznego spawania szepia się wszystkie podkładki, kliny i rozpory z uzbrojeniem fundamentu. Następnie zalewa się betonem śruby fundamentowe i po jego stwardnieniu dociąga je dostatecznie. Wreszcie sprawdza się działanie zaworu doprowadzając do siłownika olej pod ciśnieniem (z układu olejowego ciśnieniowego), po czym płytę fundamentową również zalewa się betonem.

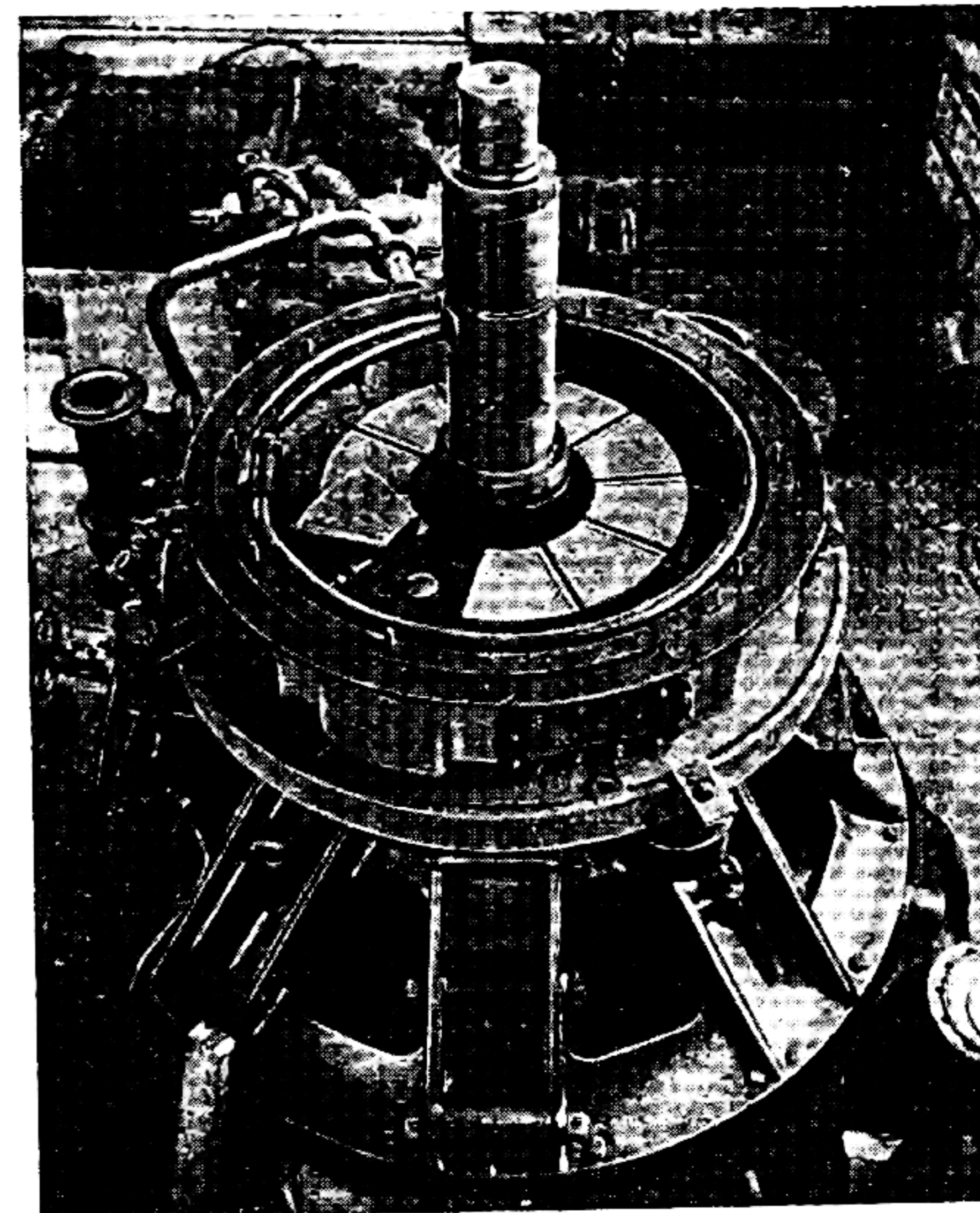
Zawór motylkowy z serwowatorami wahliwymi. Zawór motylkowy o średnicy 5300 mm (rys. 75) posiada siłowniki wahliwe o osi pionowej. W odróżnieniu od siłowników zwykłej budowy, w których tłoczysko siłownika jest połączone przegubowo z korbowodem, tutaj przegub znajduje się na kadłubie siłownika. Dzięki temu wymiary takich siłowników wypadają nieco mniejsze.

Wobec znacznych wymiarów opisanego zaworu kadłub jego składa się z czterech części. Płaszczyzny podziału, w liczbie dwóch, nachylone są pod kątem 45° względem poziomu. Poszczególne części kadłuba łączone są na kołnierze. Tarcza odlana jest razem z czopami i składa się z trzech części. Płaszczyzny podziału tarczy są równoległe do jej osi poziomej.

Tarcza w kadłubie zaworu uszczelniona jest za pomocą węża gumowego wysokociśnieniowego o specjalnym profilu (rys. 187). Wąż wmontowany jest w kadłub zaworu i obejmuje tarczę na jej obwodzie, gdy znajduje się ona w położeniu całkowicie zamkniętym. Kadłub wraz z tarczą montuje się na placu montażowym w jeden zespół, który następnie w całości za pomocą suwnicy transportuje się na miejsce jego zamontowania. Ciężar zespołu wynosi 70 T. Opiszemy szczegółowy przebieg jego montażu.

Montaż rozpoczyna się od tarczy. W tym celu jej środkową część ustawia się poziomo na kozłach montażowych umieszczonych na placu montażowym. Wysokość kozłów powinna być taka, aby pod tarczą można było wykonywać potrzebne roboty. Górną i dolną część tarczy dosuwa się kolejno do części środkowej i ustawia się je na dźwignikach. Następnie części te przyciąga się do części środkowej za pomocą ślepych śrub, przy czym kołki ustalające, umieszczone na powierzchniach czołowych, kierują ruchami obu części. Dźwigniki pozwalają na odpowiednie ustawienie tych części podczas ich ześrubowywania.

Kadłub zaworu montuje się w następującej kolejności: dwa boczne człony kadłuba nasuwa się za pomocą dźwigu na czopy tarczy, człony te opiera się na kozłach lub na drewnianych podkładach; następnie dosuwa się górny i dolny człon kierując nimi za pomocą kolków. Człony te opierają się na dźwignikach i za pomocą śrub łączy się je z członami bocznymi.



Rys. 76. Montaż łożyska wzdłużnego (typu Michella) turbiny Francis na wysokie spadach

W celu wmontowania łożysk ustawia się oś tarczy za pomocą dźwigników dokładnie w osi kadłuba. Jakość tego ustawienia sprawdza się w ten sposób, że mierzy się grubość szczeliny pomiędzy czopami tarczy i powierzchnią ścian gniazd łożyskowych wytoczonych w kadłubie. Następnie w gniazdach tych umieszcza się łożyska i montuje się dławnice. Na czopy nasadza się dźwignie, które umocowuje się za pomocą okrągłych dwudzielnych klinów.

Uszczelnienie można montować na miejscu ustawienia zaworu albo na placu montażowym. Przeprowadzenie tej operacji w miejscu ustawienia, a więc gdy zawór znajduje się w pozycji pionowej, tj. roboczej, jest jednak znacznie bardziej skomplikowane, niż na placu montażowym, na którym

jest on ułożony poziomo. O ile uszczelnienie ma być montowane na placu montażowym, to zawór należy podnieść i ułożyć go na kozłach o wysokości co najmniej 2 m, tak aby tarczę można było obrócić w położenie otwarcia, w tym bowiem położeniu zakłada się wąż gumowy i zamocowuje przytrzymujące go płytki (patrz rys. 187).

Po zmontowaniu zawór odwraca się w ten sposób, aby znalazł się on w położeniu w którym będzie pracować, tj. w położeniu roboczym. Następnie za pomocą suwnicy opuszcza się go na uprzednio zmontowane płyty fundamentowe i wreszcie sprawdza jego ustawienie, tak jak to poprzednio opisaliśmy. Siłowniki, zawór okrężny, osprzęt oraz rurociągi zaworu montuje się stosując zwykłe metody.

W § 17 podano sposoby oraz metody stosowane przy montażu rurociągów instalacji turbinowych.

Rozdział V

MONTAŻ TURBIN KAPLANA

§ 24. DOLNY ZESPÓŁ CZĘŚCI FUNDAMENTOWYCH

W turbinach Kaplana pracujących pod spadem około 30 do 35 m stosuje się przeważnie spirale betonowe, zaś przy spadach większych od podanych — spirale stalowe spawane. Sposoby i metody stosowane przy montażu tych spirali nie różnią się zasadniczo od omówionych w § 20. Z tego względu rozpatrzmy tutaj tylko montaż części fundamentowych szeregu (wykonanych) turbin Kaplana zaopatrzonych w spirale betonowe.

W skład dolnego zespołu części fundamentowych wchodzi następujące zasadnicze elementy (rys. 77, 78):

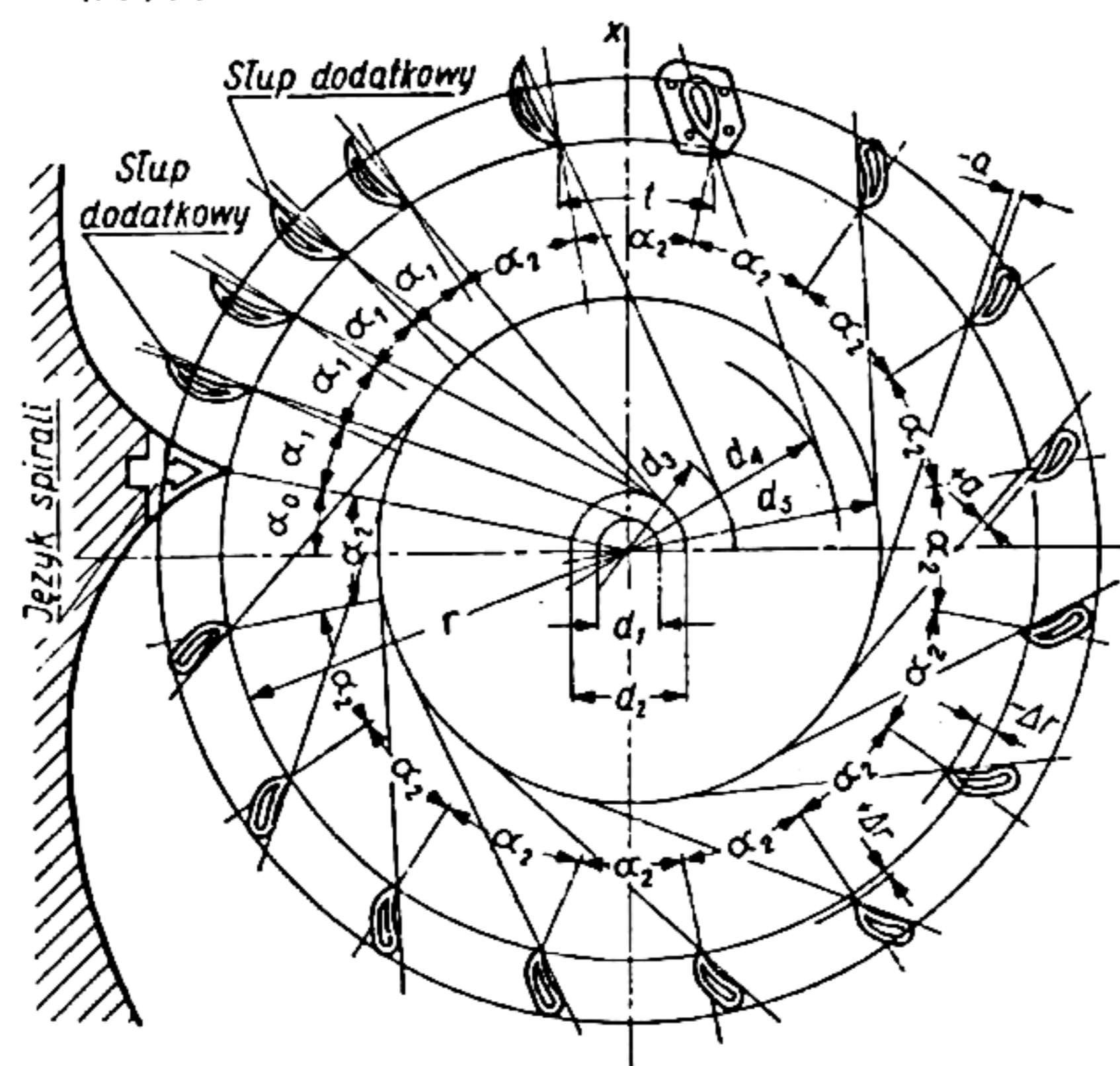
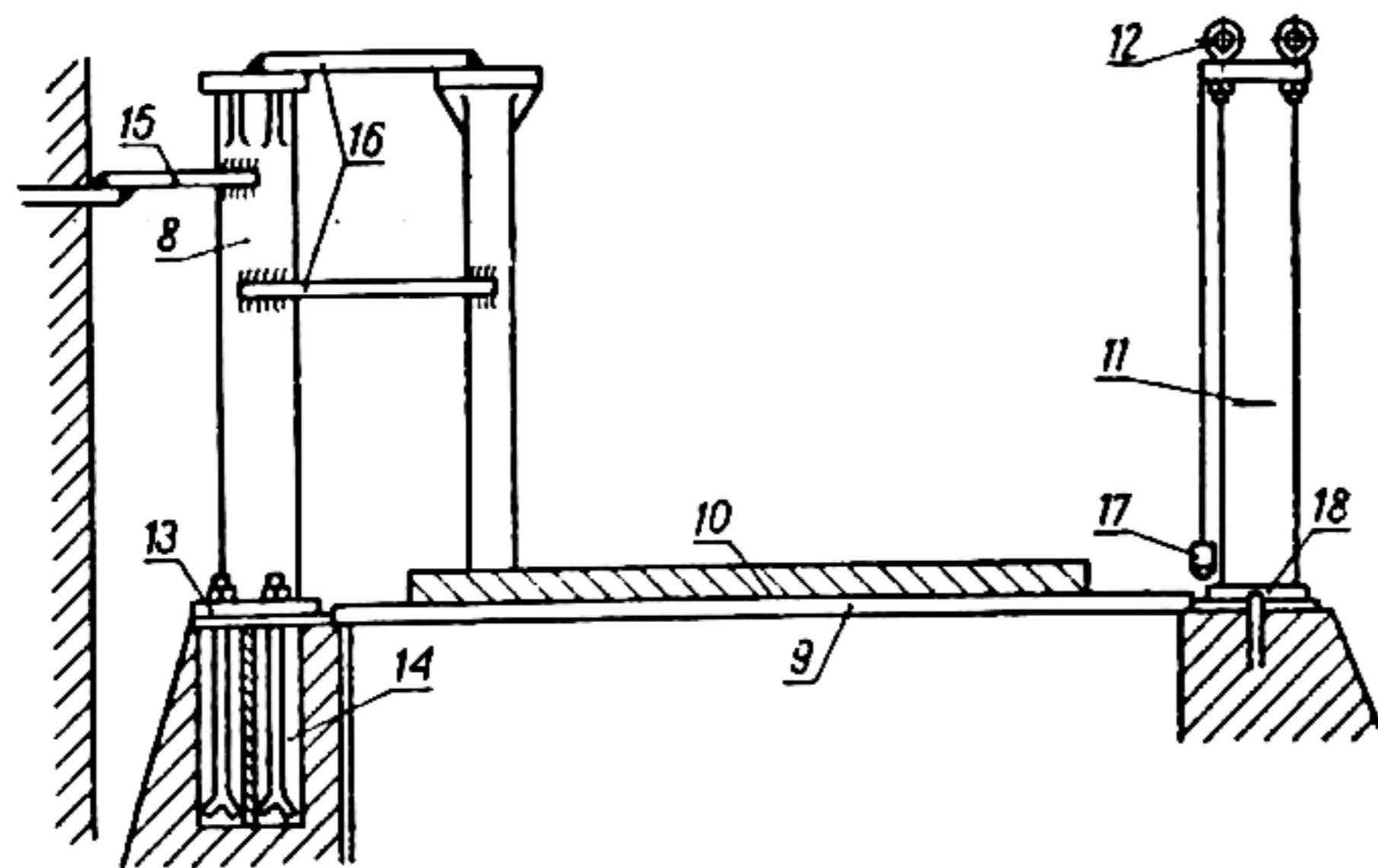
- 1) zawór spustowy,
- 2) słupy spirali,
- 3) komora wirnika,
- 4) dolny pierścień kierownicy,
- 5) wykładzina części stożkowej rury ssawnej,
- 6) wykładzina dolnej części spirali.

1. Zawór spustowy

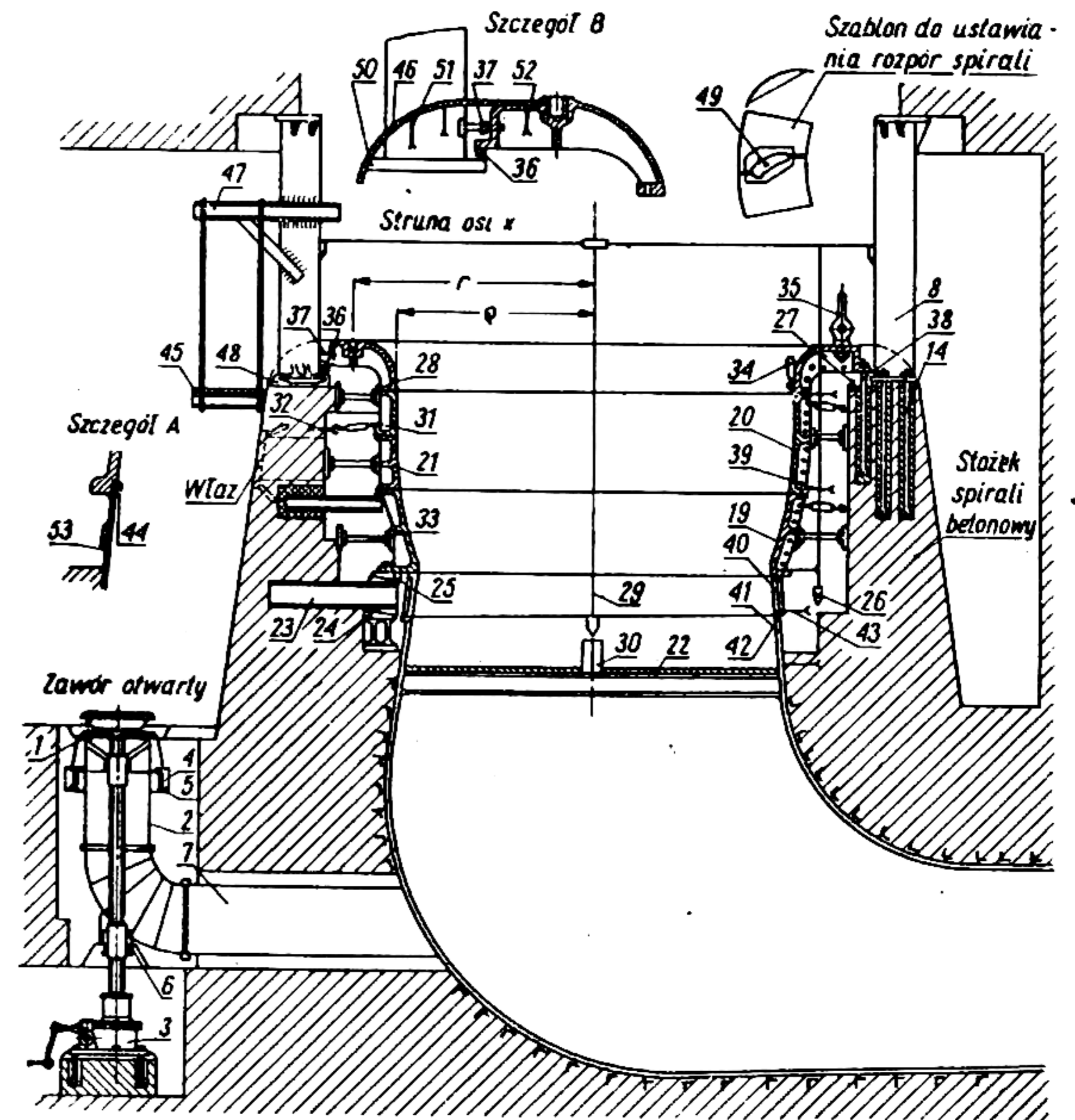
Zawór spustowy (rys. 78) służy do odwadniania spirali. Przy zamkniętych zasuwach wlotowych odprowadza on wodę do rury ssawnej poprzez króciec 2 i rurę 7. Grzybek zaworu uruchamiany jest z piwnicy za pomocą urządzenia w rodzaju dźwignika napędzanego silnikiem lub ręcznie. Zawór montuje się zazwyczaj dopiero po zabetonowaniu fundamentu do wysokości rzędnej dna spirali.

Przed rozpoczęciem montażu należy sprawdzić czy punkty stałe (repery), według których ustala się rzędne zaworu i urządzenia napędowego, są prawidłowo umieszczone, a następnie na wmurowanych kłamrach należy zrobić nacięcia dla strun wyznaczających kierunki osi X i Y.

Na placu montażowym sprawdza się czy grzybek zaworu szczelnie przylega do swego gniazda oraz czy wrzeciono daje się łatwo przemieszczać w kadłubie 1. Następnie grzybek wraz z wrzecionem wyjmuje się, zaś kadłub łączy się króćcem 2, krzywakiem oraz z belkami nośnymi 4 i w stanie



Rys. 77. Montaż słupów spirali betonowej turbiny Kaplana



Rys. 78. Montaż dolnego zespołu części fundamentowych turbiny Kaplana

zmontowanym opuszcza się cały zespół do jego gniazda ustawiając go na umieszczonych tam uprzednio metalowych podkładkach 5.

Następnie za pomocą pionu opuszczonego z punktu przecięcia obu strun wyznaczających osie ustawia się prostopadle oś kadłuba. Mierzy się przy tym odległości pomiędzy wewnętrznymi powierzchniami obu tulei wrzeciono-grzybka i pionem. Wysokość ustawienia kadłuba sprawdza się według punktu stałego. Po wycentrowaniu kołnierz krzywaka łączy się za pomocą śrub z rurą 7, którą uprzednio umieszcza się w przeznaczonym dla niej gnieździe. Rurę tę szepia się przy tym za pomocą elektrycznego spawania ze stalową wykładziną rury ssawnej. O ile rura ssawna nie jest zaopatrzona w taką wykładzinę, to rurę 7 umocowuje się w jej gnieździe. Następnie zakłada się od góry grzybek zaworu wraz z wrzecionem i za pomocą podkładek oraz klinów przycentrowuje się do niego urządzenie napędowe 3, przy czym wrzeciono to łączy się z wrzecionem urządzenia napędowego. Aby zapobiec ewentualnym przesunięciom poszczególnych części, zaklinowuje się je w gniazdach za pomocą rozpór, po czym sprawdza się działanie zaworu podnosząc i opuszczając całkowicie grzybek przez pokręcanie urządzenia napędowego. Następnie zabetonowuje się śruby fundamentowe tego urządzenia oraz kadłuba.

Po stwardnieniu betonu i po ostatecznym dociągnięciu śrub sprawdza się ponownie działanie zaworu; rurę 7 przypawa się do wykładziny i całe urządzenie zalewa się betonem, specjalnie przygotowanym do zalewania gniazd. Jeżeli rura 7 została uprzednio zabetonowana, to wysokość zamontowania kadłuba zaworu należy uzgodnić z wysokością zamontowania tej rury.

2. Słupy spirali

Słupy spirali 8 wykonywane są najczęściej ze staliwa i jak już mówiliśmy spełniają rolę stojana. Ilość słupów nośnych równa się zazwyczaj połowie ilości łopatek kierowniczych. Oprócz tych słupów ustawia się jeszcze dodatkowo kilka słupów kierowniczych, których zadaniem jest nadanie wodzie pożądanego kierunku (rys. 77).

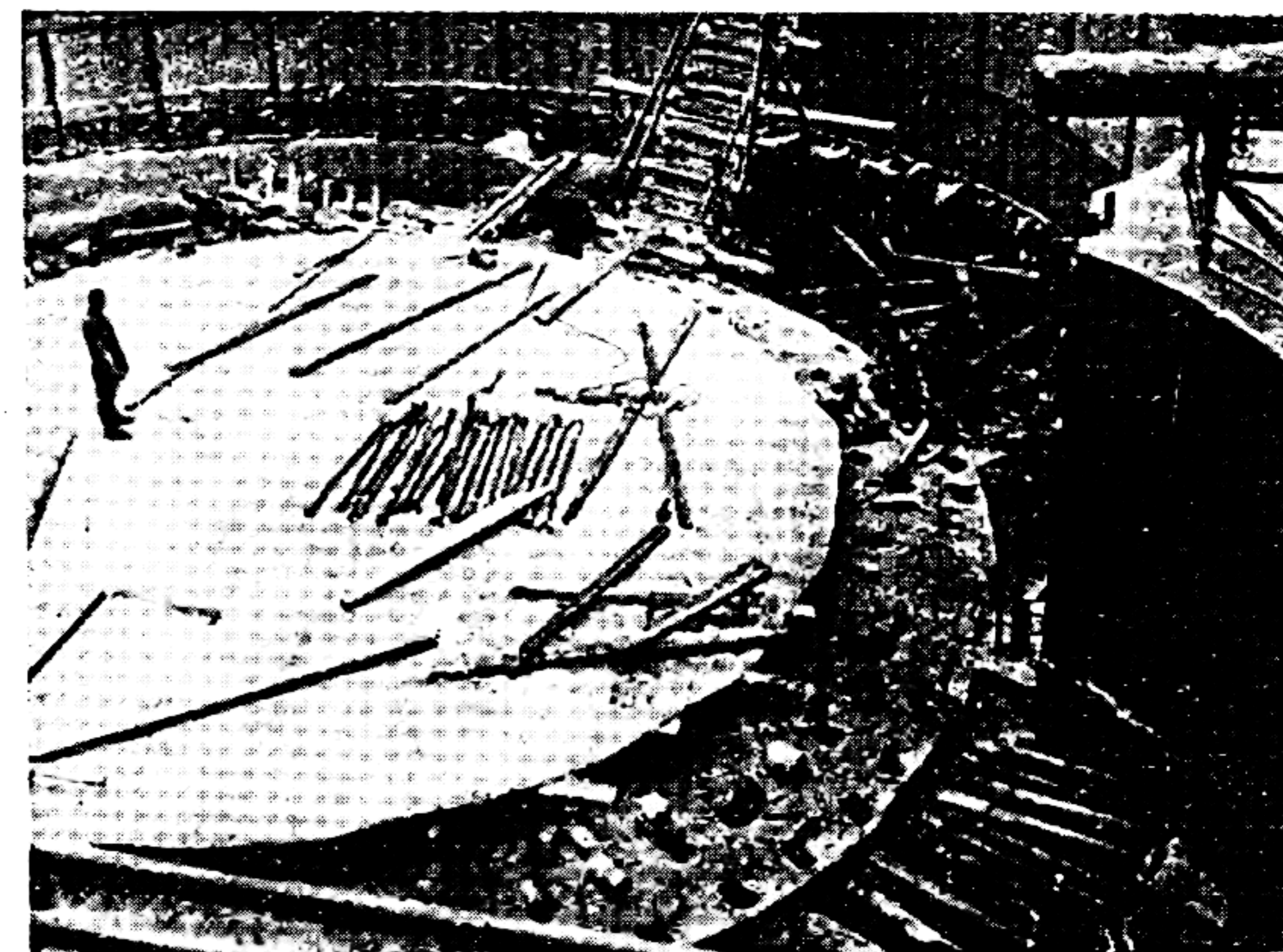
Przed rozpoczęciem montażu słupów buduje się w komorze turbinowej pomost 9, na którym układa się drewnianą podłogę 10. Podłoga ta (rys. 79) służy do trasowania i z tego względu powinna być zestrugana (wyheblowana). Na podłodze trasuje się oś X i oś Y oraz kąty α_0 , α_1 oraz α_2 , pod którymi mają być ustawione słupy w rzucie poziomym a ponadto — zgodnie z rysunkami — koła pomocnicze o średnicach d_1 , d_2 , d_3 , d_4 i d_5 .

Na placu montażowym trasuje się na słupach poziome rysy kontrolne 11. Rysy te są potrzebne przy ustawianiu słupów na odpowiedniej wysokości i powinny znajdować się w jednakowych odległościach od dolnych stóp słupów.

Jednocześnie sprawdza się stan fundamentu, zgodność wymiarów gniazd śrub fundamentowych, ich usytuowanie względem środka fundamentu, rzędne oraz głębokości. W celu zapewnienia dobrego związania się betonu używanego do zalewania gniazd z betonem, z którego sporządzony jest fun-

dament, należy oczyścić i nakuć gniazda śrub oraz te miejsca, na których mają być umieszczone słupy. Tego rodzaju kontrolę fundamentu oraz oczyszczenie i nakucie odpowiednich jego miejsc powinno się wykonywać przy montowaniu wszystkich części fundamentowych.

Najprzód montuje się język spirali a następnie — jednocześnie z obu jego stron — pozostałe słupy. Słupy obwiązuje się posługując się w tym celu specjalnymi śrubami z uchami 12, po czym opuszcza się je za pomocą dźwigu na uprzednio przygotowane metalowe podkłady 13. Razem ze słupami opuszcza się również śruby fundamentowe 14, które zawczasu należy umieścić w odpowiednich otworach. W celu zapewnienia odpowiedniej sta-



Rys. 79. Pomost traserski używany przy ustawianiu słupów spirali

teczności słupów podczas ich montażu, język spirali, tj. pierwszy słup, przypawa się do belki 15, którą z kolei przypawa się do uzbrojenia żelbetonu. Następnie słupy zmocowuje się kolejno z sobą za pomocą przypawanych do nich kątowników lub kawałków stali zbrojeniowej 16 oraz za pomocą ściągien.

Za pomocą klinów 48 ustawia się słupy do pionu oraz na odpowiedniej wysokości. Pionowe ustawienie sprawdza się pionem 17, zaś wysokość — za pomocą niwelatora. Mierzy się przy tym pionowe odległości pomiędzy punktem stałym 18 i rysami 11, znajdującymi się na słupach.

W rzucie poziomym każdy słup powinien być tak ustawiony, aby cięciwa jego profilu (lub jego średnia linia) stanowiła przedłużenie stycznej do odpowiedniego pomocniczego koła, a jednocześnie aby krawędź wejściowa profilu znajdowała się na odpowiednim ramieniu kąta (α_0 , α_1 lub α_2). W celu

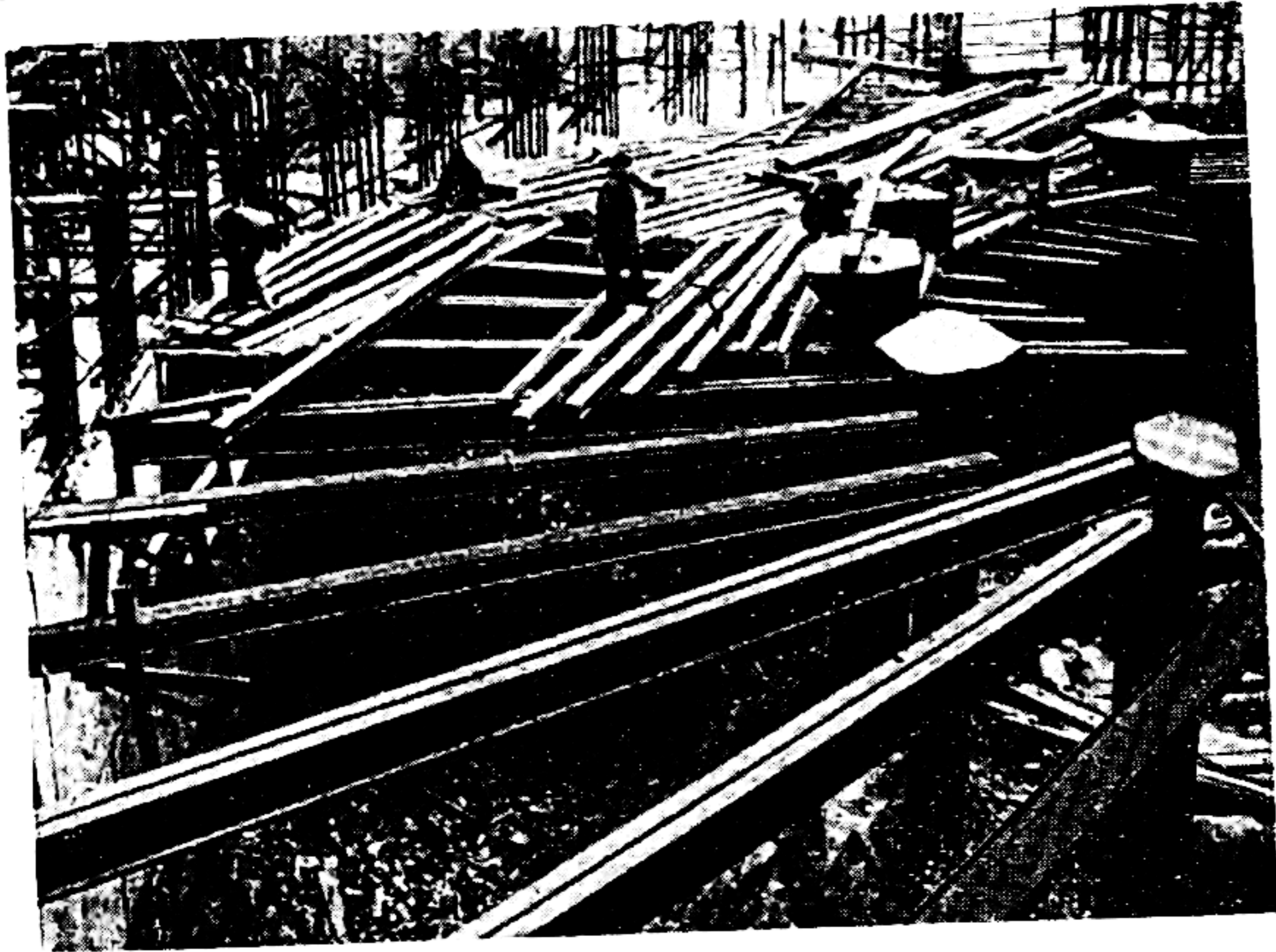
sprawdzenia tego należy zmierzyć podziałkę t , tj. odległość w linii prostej krawędzi wylotowych (wewnętrznych) dwóch sąsiednich słupów. Podziałka ta powinna być równą podziałce obliczonej ze wzoru.

$$t = 2r \sin \frac{\alpha}{2}$$

gdzie: r — promień koła na którym według projektu mają znajdować się wewnętrzne krawędzie słupów,
 α — projektowany kąt pomiędzy słupami.

Wszystkie tolerancje związane z montażem słupów podane zostały w tabl. 47.

Po ustawieniu słupów szepia się kliny oraz podkładki ze stopami słupów za pomocą elektrycznego spawania, zaś śruby fundamentowe zalewa się betonem. Po stwardnieniu betonu dociąga się ostatecznie śruby, a następnie zalewa się betonem stopy słupów.



Rys. 80. Odeskowanie stropu spirali turbiny Kaplana

Po zakończeniu montażu słupów można przystąpić do dalszego betonowania fundamentu turbozespołu. Fundament ten podciąga się aż do rzędnej łoża prądnicy. Uprzednio, na podciągniętych betonowych ścianach spirali, na wysokości rzędnej jej stropu, układa się ceowniki, które przypawa się do słupów za pomocą elektryczności. Na ceownikach umieszcza się drewniany pomost, który stanowi odeskowanie stropu spirali (rys. 80). Po zabetonowaniu tego stropu ceowniki usuwa się i można ich użyć do montażu innych turbin siłowni. W trakcie betonowania w odpowiednie otwory gór-

nych stóp słupów zakłada się śruby fundamentowe, które umocowuje się za pomocą chomąt i zalewa betonem używanym do betonowania stropu spirali. Następnie nakrętki wszystkich śrub fundamentowych unieruchamia się przypawając je elektrycznie.

Rzeczywiste wymiary ustawiania słupów spirali zapisuje się w protokole, którego formularz pokazano na rys. 81.

Siłownia wodna	Protokół kontroli ustawienia słupów spirali turbiny Kaplana	Nr protokołu																																																							
Pomocy przeprowadzona dn																																																									
Sprawdził																																																									
Zmierzyl	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nr słupa</th> <th>d_r mm</th> <th>d_a mm</th> <th>l mm</th> <th>∇</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nr słupa	d_r mm	d_a mm	l mm	∇																																																			
Nr słupa	d_r mm	d_a mm	l mm	∇																																																					

Rys. 81 Formularz protokołu kontroli ustawienia słupów spirali turbiny Kaplana

3. Komora wirnika

Komory wirników, zależnie od warunków kawitacyjnych, wykonywane są z żeliwa, staliwa lub z żeliwa wykładanego blachą ze stali nierdzewnej lub blachą ze stali węglowej. Najbardziej rozpowszechnione są komory stalowe, których zaletą jest to, że można je stosunkowo łatwo naprawiać za pomocą spawania elektrycznego.

Małe i średnie komory wirników składają się zazwyczaj z kilku członów (pierścieni), zaś komory większe oprócz tego dzielone są jeszcze w płaszczyznach przechodzących przez oś turbiny.

Na rys. 78 pokazano komorę stalową składającą się z dwóch członów. Dolny człon 19 oraz człon górny 20 składają się z ośmiu wycinków, przy czym w członie górnym dwa wycinki 21 dają się wyjmować w celu umożliwienia zdemontowania łopatki lub łopatek wirnika, bez demontowania wirującego zespołu turbiny i prądnicy.

Demontaż przeprowadza się za pomocą specjalnego urządzenia pokazanego na rys. 96.

Przed przystąpieniem do robót związanych z montażem wirnika oraz wykładziny części stożkowej rury ssawnej 40, buduje się pomost 22, który powinien znajdować się na wysokości nieco poniżej rzędnej gardzieli wykładziny rury ssawnej 41. W tym celu do wykładziny przypawa się prowizoryczne belki nośne, na które kładzie się drewniane bale. Oprócz tego, aby uprzednio zabetonowane belki wspornikowe 23 nie ugięły się pod wpływem ciężaru części fundamentowych, podpira się te belki za pomocą podkładów oraz klinów 24.

Najpierw montuje się człon dolny. Poszczególne wycinki tego członu opuszcza się na kliny 25, które uprzednio według niwelatora ustawia się na projektowanej rzędnej. Następnie wycinki centruje się zgodnie z osiami X i Y.

Zbieżność klinów powinna być taka, aby komorę można było opuszczać lub podnosić w granicach 8 do 10 mm. Poszczególne wycinki składa się na miejscu (tworząc z nich w ten sposób pierścien), przy czym na złączach zakłada się kołki ustalające. Obrobione powierzchnie dolnego członu po jego zmontowaniu nie powinny na złączach wystawać jedna nad drugą. Oprócz tego złącza powinny być szczelne w celu uniknięcia przesączenia się wody i rozmywania betonu.

Wycinki górnego członu opuszcza się na kołnierz dolnego członu a następnie centruje się je zgodnie z osiami i łączy w jeden pierścien. Pierścien ten tj. człon łączy się z kołnierzem dolnego członu i położenie wycinków ustala się za pomocą kołków.

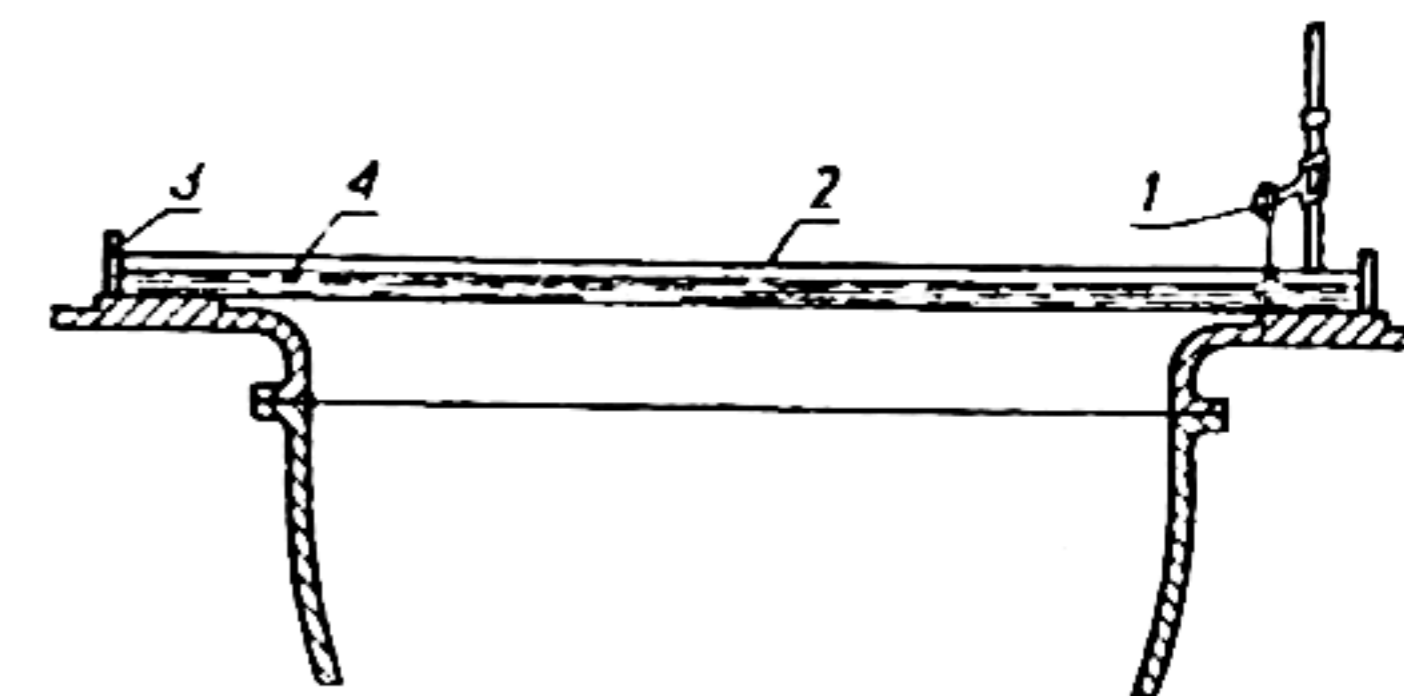
W odpowiednie gniazda przed opuszczeniem górnego członu komory zakłada się belki dwuteowe, po których przesuwane będą podczas ich demontażu odejmowalne wycinki 21 komory. Położenie tych belek ustala się ostatecznie po zmontowaniu komory, po czym przypawa się je do uzbrojenia żelbetonu i zabetonowuje. Jednocześnie ustawia się i przypawa do tego uzbrojenia włącz, poprzez który można się przedostać do niszy odejmowalnej części komory; włącz ten również zabetonowuje się.

Ustawienie komory. Poszczególne części komory powinny być tak ustawione, aby znajdujące się na nich fabryczne rysy, oznaczające osie, zgadzały się z odpowiednimi osiami fundamentu. Przy ustawianiu używa się pionów 26 (rys. 78), które zawieszają się na poziomych strunach wyznaczających osie X i Y. Struny te przymocowuje się do nakładek, które uprzednio przypawa się prowizorycznie do słupów spirali. Górny kołnierz komory za pomocą klinów 25 ustawia się na odpowiedniej wysokości według punktu stałego 27 i ostatecznie wysokość tę sprawdza się drogą niwelacji. Jedno-

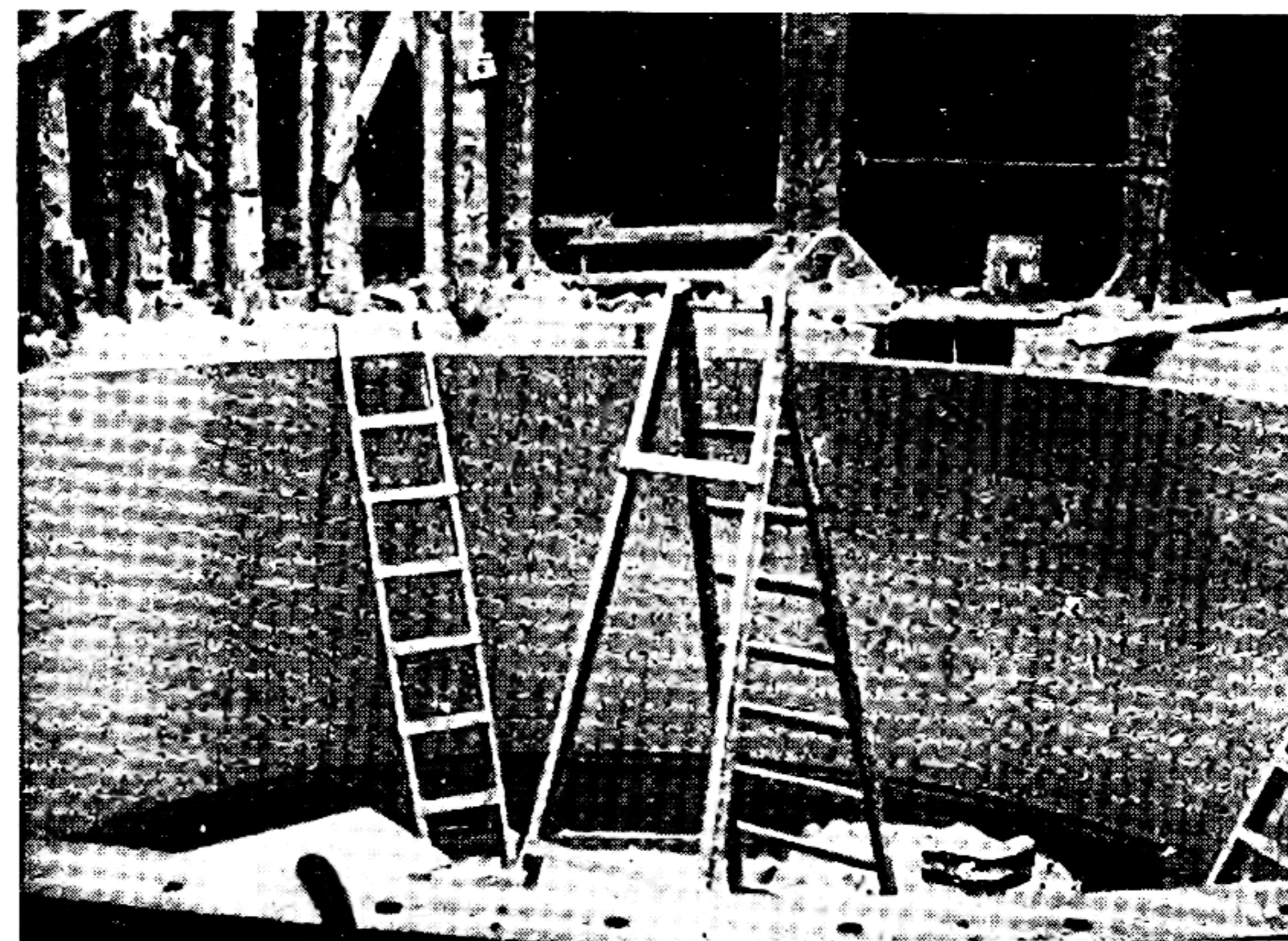
ześnie należy również sprawdzić poziome ustawienie kołnierza. Posługujemy się przy tym metodą naczyń połączonych (rys. 82) lub jak uprzednio niwelatorem.

Ze względu na możliwe odchylenia rzeczywistych wysokości komory i dolnego pierścienia kierownicy 28 od ich wysokości wskazanych w rysunkach — które to odchylenia podane są w protokołach wytwórni lub stwierdzić je można przez bezpośredni pomiar na miejscu — wysokość rzędnej górnego kołnierza komory należy obliczyć biorąc pod uwagę te odchylenia.

Oś obróbkowa komory powinna pokrywać się z pionem 29, który opuszcza się z punktu przecięcia strun poziomych, wyznaczających osie turbozespołu. W celu sprawdzania podczas montażu położenia pionowej osi turbozespołu, instaluje się specjalny słup centrujący 30, na którym oznacza się punkt przecięcia osi X z osią Y.



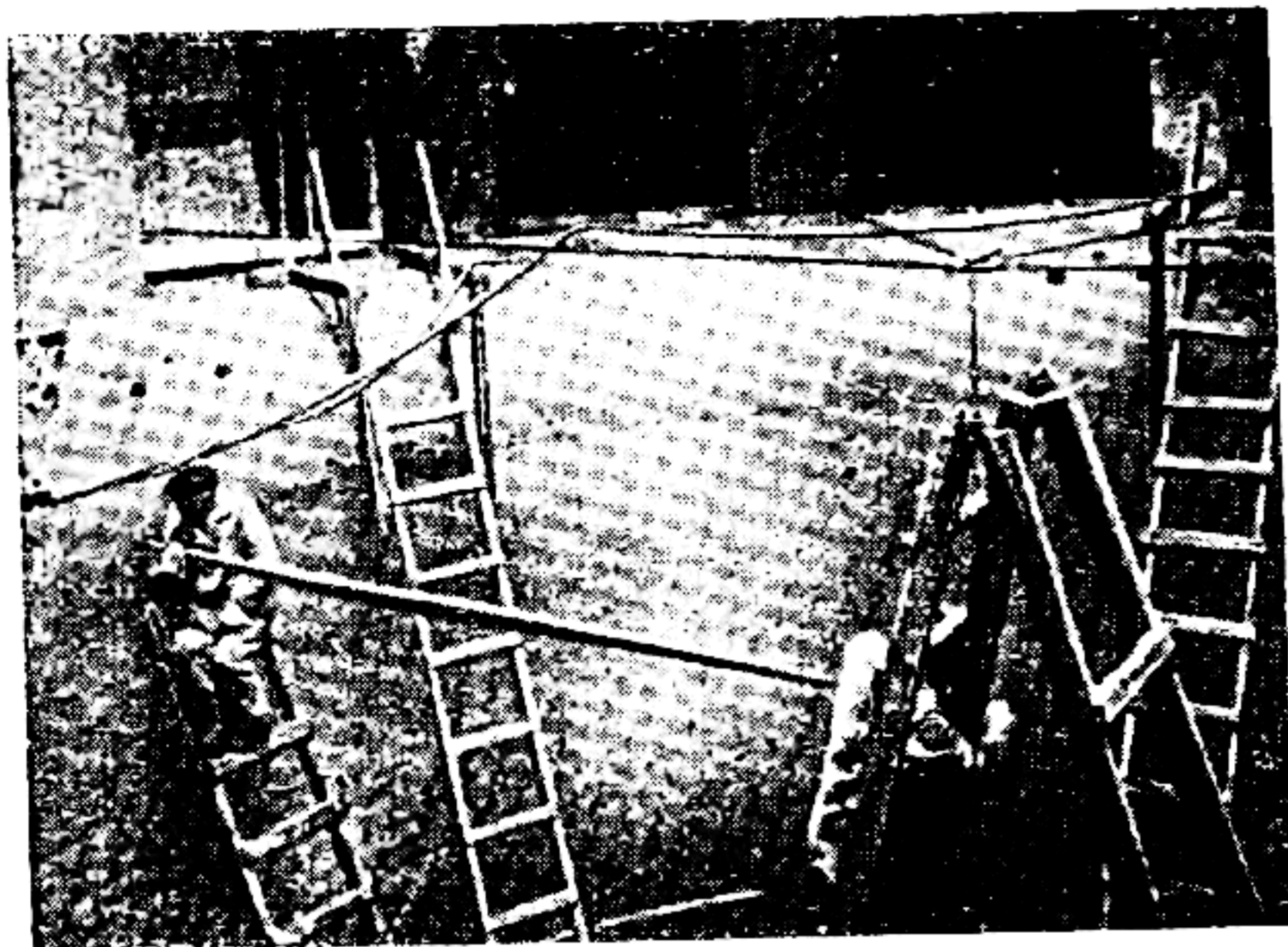
Rys. 82. Urządzenie do poziomowania części fundamentowych: 1 — znacznik drążkowy; 2 — koryto sporządzone z ceownika; 3 — dna koryta (przyspawane do ceownika); 4 — olej



Rys. 83. Komora wirnika podczas montażu. Widoczne są słupy spirali oraz dwa człony komory

Na rys. 83 pokazano komorę wirnika w trakcie jej montażu. Widoczne są słupy spirali oraz dwa człony komory.

Komora nie jest zbyt sztywna i wskutek tego łatwo odkształca się tracając swój pierwotny kształt okrągły. Kształt ten można przywrócić za pomocą ściągow 31 (rys. 78). Ściąg umocowuje się z jednej strony do klamer 32, które uprzednio należy osadzić w betonie lub do uzbrojenia żelbetonu, z drugiej zaś — do uźebrowania komory. Kontrolne pomiary kształtu komory przeprowadza się za pomocą średnicówki mierząc w tym celu odległość jej ściany od pionu, tak jak to pokazano na rys. 84.



Rys. 84. Kontrola ustawienia komory wirnika

W celu nadania komorze większej sztywności, która jest potrzebna przy ostatecznym jej ustawianiu, instaluje się specjalne rozpory 33 (rys. 78). Za pomocą tych rozpór można również komorę przesuwac, z czego korzysta się przy jej centrowaniu.

Komory o średnicy do 5 m mogą być montowane na placu montażowym a następnie w całości ustawiane na uprzednio przygotowanych klinach.

W konstrukcjach posiadających pierścień fundamentowy, montaż rozpoczyna się od ustawienia pierścienia na belkach 23, a następnie montuje się komorę wirnika. Metody stosowane przy montażu, ustawianiu i przymocowywaniu tego pierścienia są analogiczne do metod stosowanych przy montażu komory.

4. Dolny pierścień kierownicy

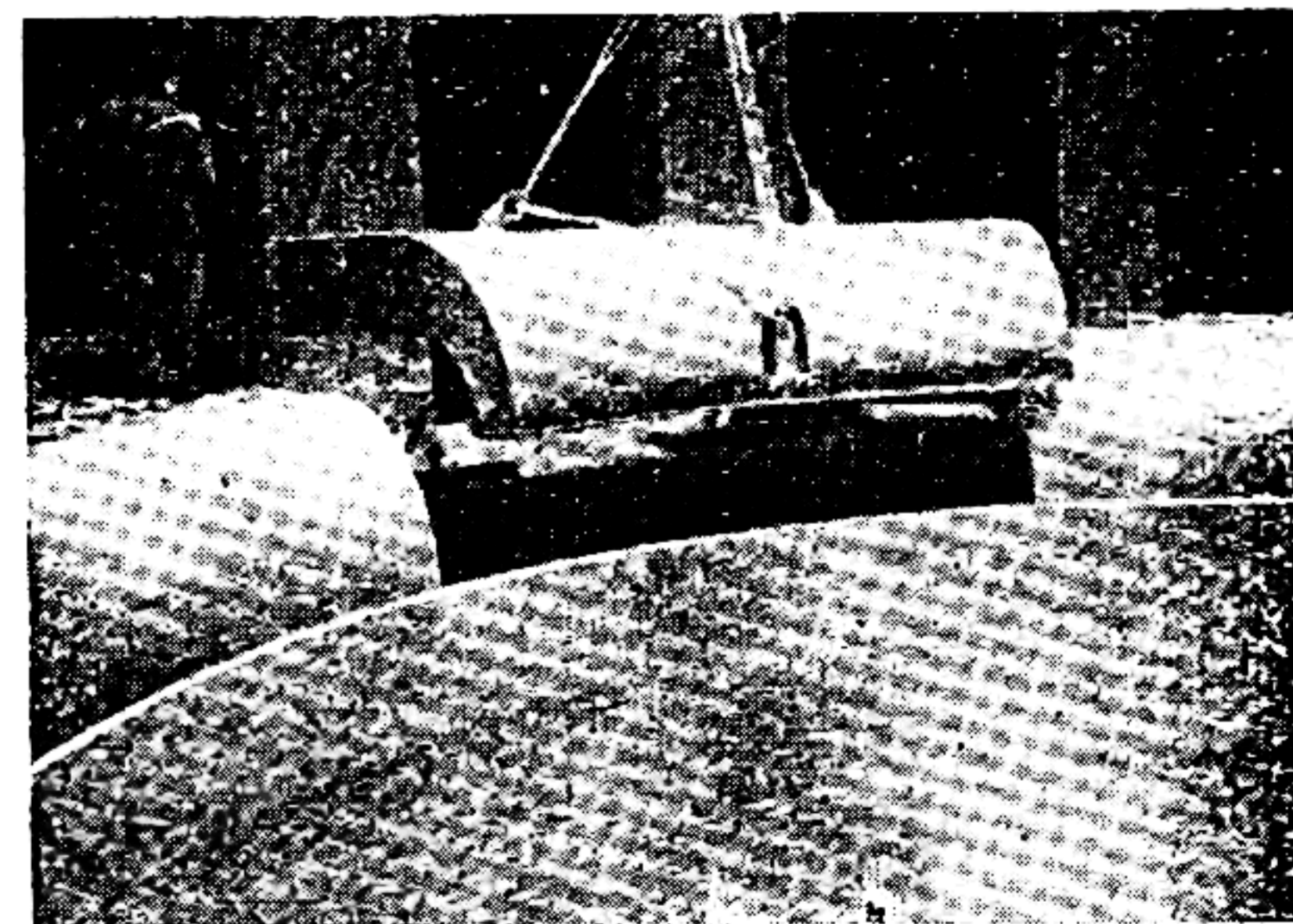
Dolny pierścień kierownicy 28 (rys. 78) składa się z ośmiu członów żelaznych.

Człony te olinowuje się za śruby z uchami 34 oraz 35 i opuszcza je następnie za pomocą dźwigu na śruby ustawcze 30, umieszczone na kołnierzu górnego członu komory wirnika. Następnie za pomocą rozpór śrubowych 37 oraz zwykłych dźwigników przesuwają się te człony aż do uzgodnienia otworów przeznaczonych do umieszczenia fabrycznych kołków ustalających. Po założeniu kołków z mocuje się człony za pomocą śrub.

Nieco poniżej kołnierza dolnego pierścienia regulacyjnego buduje się pomost. Pomost ten opiera się na dolnym pomoście 22 i ułatwia wykonywanie robót montażowych.

W celu sprawdzenia kształtu oraz wycentrowania pierścienia względem osi komory wirnika, mierzy się odległość wewnętrznej powierzchni komory od rysy w kształcie koła znajdującej się na górnej powierzchni kierownicy. Rysa ta jest współśrodkowa z osią pierścienia i wytrasowana jest w wytwórni. Przy pomiarze używa się liniału, który należy przyłożyć wzdłuż tworzącej komory. Jednocześnie mierzy się ewentualne przesunięcia powierzchni kołnierzego złącza dolnego pierścienia kierownicy i komory wirnika. Pomiar ten jest sprawdzeniem prawidłowości w tym przypadku, gdy wewnętrzna powierzchnia dolnego pierścienia kierownicy jest obrobiona.

Rysę, o której mówiliśmy, trasuje się wówczas, gdy nie ma rowka na sznur gumowy. Trasowanie wykonuje się za pomocą noża, przy czym promień na którym rysa się znajduje przechodzi przez środek tulei dolnych czopów łopatek kierowniczych. O ile dolny pierścień kierownicy nie posiada omawianej rysy lub rowka oraz nie jest wewnątrz obrobiony, to jego kształt (który powinien być okrągły) sprawdza się odmierzając odległość tulei dolnych czopów łopatek kierowniczych, wprasowanych do pierścienia, od pionu 29.



Rys. 85. Opuszczanie członu dolnego pierścienia kierownicy na miejsce jego zamontowania

Metody stosowane przy poziomowaniu dolnego pierścienia kierownicy są analogiczne do metod używanych przy poziomowaniu komory wirnika.

Ze względu na stosunkowo małą sztywność tego pierścienia należy zwrócić szczególną uwagę na poziome ustawienie jego górnej powierzchni. Powierzchnię tę w granicach odkształcenia pierścienia można wyregulować za pomocą śrub 36.

Po zmontowaniu dolnego pierścienia kierownicy luzuje się śruby fundamentowe 38, które uprzednio zostały umieszczone w swych gniazdach. Śruby te następnie zalewa się betonem i ostatecznie dociąga. Należy zauważyć, że zbyt silne ich dociągnięcie może spowodować odkształcenie pierścienia.

Aby podczas betonowania oraz podczas eksploatacji turbiny nie zostało naruszone prawidłowe ustawienie komory wirnika oraz dolnego pierścienia kierownicy, należy zaspawać wszystkie z mocowania i wszystkie połączenia śrubowe: kliny 25 przypawa się do belek wspornikowych i do łap komory, zaś rozpory 33, ściągi 31, śruby ustawcze 36, rozpory śrubowe 37, śruby fundamentowe 38, nakrętki śrub złączy wycinków i złączy kołnierzych komory wirnika oraz dolnego pierścienia regulacyjnego szepia się za pomocą elektrycznego spawania uniemożliwiając w ten sposób ich samoodkręcanie się. Oprócz tego do komory wirnika, na jej obwodzie, przypawa się kotwy 39.

Na rys. 85 pokazano człon dolnego pierścienia kierownicy w czasie jego opuszczania na miejsce zamontowania.

5. Wykładzina stożkowej części rury ssawnej

Górna część wykładziny stożkowej części rury ssawnej 40 (patrz rys. 78), lub — jak niekiedy ją nazywają — człon łączący, stanowi konstrukcję spawaną i składa się z czterech do ośmiu członów (wycinków), które na złączach zaopatrzone są w kołnierze. Członki te opuszcza się do komory przy użyciu dźwigu i za pomocą ściągow wprowadza do ich gniazda. Następnie zawieszają się je na śrubach, na dolnym kołnierzu dolnego członu wykładziny komory i centruje zgodnie z osiami X i Y, wreszcie łączy się je z sobą, tworząc w ten sposób pierścień. Uprzednio jednak w omawianym gnieździe umieszcza się członki kołnierza 42.

Uważa się, że górna część wykładziny stożkowej części rury ssawnej jest prawidłowo zmontowana, jeżeli przesunięcia jej powierzchni względem powierzchni wykładziny komory oraz względem powierzchni uprzednio zmontowanej wykładziny 41 dolnej części rury ssawnej (w miejscach złącz), zawarte są w dopuszczalnych granicach, podanych w tablicy 47.

Po ustawieniu za pomocą ściągow górnej części wykładziny stożkowej części rury ssawnej, dokręca się ostatecznie śruby górnego kołnierza i od dołu przymocowuje się kołnierz 42, który elektrycznie szepia się z wykładziną 41. Następnie spawa się pionowe złącza tej górnej części 43, przypawa się kołnierz 42 oraz kotwy 43. Do części 43 dołącza się wszystkie rury fundamentowe.

W turbinach, w których omawiana górna część wykładziny 43, tj. człon łączący, przypawany jest do komory (lub do pierścienia fundamentowego) i do wykładziny rury ssawnej, tak jak to pokazano na rys. 78 (szczegół A), montaż przeprowadza się w ten sposób, że poszczególne członki górnej części wykładziny 43 przymocowuje się za pomocą prowizorycznych śrub 44 do wykładziny komory wirnika, zaś do wykładziny rury ssawnej — za

pomocą nakładki 53. Po przypojeniu górnej części wykładziny 43, śruby te usuwa się, zaś otwory po nich pozostałe zaślepia się za pomocą przypawanych korków.

6. Dolna wykładzina spirali

Dolną wykładzinę spirali 46 (rys. 78, szczegół B) można montować równocześnie z wykładziną stożkowej części rury ssawnej.

Wykładzina spirali dostarczana jest w postaci poszczególnych członów (w danym przypadku w ilości 36 szt.). Członki te wytłaczane są z blachy i dopasowane do dolnego pierścienia kierownicy.

Zadaniem tej wykładziny jest zabezpieczenie betonu przed zniszczeniem, gdyż w zwężającej się części spirali prędkość wody może wywołać jego rozmycie. Podczas betonowania wykładzina spełnia jednocześnie rolę odskowania.

Przy wykonywaniu robót posługujemy się rusztowaniem, wykonanym z belek stalowych, na którym umieszczony jest drewniany pomost 45. Rusztowanie zawieszają się na belkach 47, które przypawa się prowizorycznie do słupów spirali. Na pomoście umieszcza się poszczególne członki wykładziny i układa je zgodnie z oznakowaniem fabrycznym.

Wykładzinę można dopasowywać jednocześnie z dwóch stron. Najprzód montuje się członki znajdujący się pomiędzy słupami. Górny brzeg członki przymocowuje się śrubami do dolnego pierścienia kierownicy, zaś pod dolny brzeg podkłada się prowizoryczną podpórkę.

Członki przylegające do słupów należy do nich odpowiednio dopasować. Wykonuje się to za pomocą drewnianego wzornika (szablonu). Wzornik ten ustawia się na miejscu członki (rys. 78), po czym z obu stron słupa nakłada się na wzornik dwa arkusze dykty 49, w których wycina się profil słupa. Następnie według wzornika sporządzonego z dykty trasuje się na członki promieniowe linie jego podziału oraz profil słupa, po czym za pomocą palnika acetylenowego rozcina się członki wzdłuż tych linii i wycina się wytrasowany profil. Wreszcie brzegi obu połówek członki przygotowuje się do spawania. Na złączach powierzchni członki nie powinny wystawać jedna nad drugą. Dolny brzeg członki ustawia się w żądanym położeniu za pomocą płaskowników 50, które szepia się elektrycznie z członkiem i ze stopą słupa.

Jednocześnie na dolnym pierścieniu kierownicy według otworów w członkach wykładziny, trasuje się, wierci i gwintuje otwory na śruby, którymi to śrubami członki te przytwierdza się do pierścienia. Następnie elektrycznie szepia się członki z sobą oraz słupy z członkami.

Przy dociąganiu członki stosuje się urządzenia używane przy montażu spiral.

Ponieważ można się omylić w oszacowaniu liniowego zbiegnięcia się (skurczu) członki, więc ostatni członki dostarczany jest z naddatkiem 200 do 300 mm. Naddatek ten obcina się na miejscu za pomocą palnika acetylenowego.

Elektrownia wodna		Protokół montażowy dolnego zespołu części fundamentowych turbiny Kaplan		Nr protokołu																																																																																	
Pomiary przeprowadzono dn	Sprawdził																																																																																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Osie lub płaszczyzny pomiaru</th> <th colspan="8">Wymiary rzeczywiste, mm</th> </tr> <tr> <th>+y</th> <th>+y+x</th> <th>+x</th> <th>+x-y</th> <th>-y</th> <th>-y-x</th> <th>-x</th> <th>-x-y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Komora wirnika</td> <td>b</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>c</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>d</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Stażkowa część wykładziny rury ssawnej</td> <td>e</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>f</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dolny pierścień kierownicy</td> <td>a</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>y</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Osie lub płaszczyzny pomiaru	Wymiary rzeczywiste, mm								+y	+y+x	+x	+x-y	-y	-y-x	-x	-x-y	Komora wirnika	b									c									d								Stażkowa część wykładziny rury ssawnej	e									f								Dolny pierścień kierownicy	a									y							
Osie lub płaszczyzny pomiaru	Wymiary rzeczywiste, mm																																																																																				
	+y	+y+x	+x	+x-y	-y	-y-x	-x	-x-y																																																																													
Komora wirnika	b																																																																																				
	c																																																																																				
	d																																																																																				
Stażkowa część wykładziny rury ssawnej	e																																																																																				
	f																																																																																				
Dolny pierścień kierownicy	a																																																																																				
	y																																																																																				
Zmierzyl																																																																																					

Rys. 86. Formularz protokołu montażowego dolnego zespołu części fundamentowych turbiny Kaplan

Po dopasowaniu całości przypawa się płaskie kotwy 51, wszystkie człony przymocowuje się śrubami do dolnego pierścienia kierownicy, spawa się złącza członów oraz przypawa się człony do rozpór. Śruby łączące człony z dolnym pierścieniem kierownicy szepia się za pomocą elektryczności, zabezpieczając je w ten sposób przed odkręcaniem się. Następnie wygładza się całość za pomocą szlifierki.

Montaż dolnej wykładziny stanowi ostatni etap montażu dolnego zespołu części fundamentowych, po czym ustawia się odeskowanie i zespół ten zabetonowuje się. W celu wypełnienia betonem przestrzeni znajdującej się pomiędzy żebrami dolnego pierścienia kierownicy i dolną wykładziną spirali, w każdej komorze powinny znajdować się otwory o średnicy 150 do 200 mm. Otwory te służą również do obróbki betonu mającej na celu uzyskanie jego większej szczelności. Otwory w dolnym pierścieniu kierownicy zaślepią się następnie, stosując w tym celu zaślepki 52, które z mocuje się z betonem za pomocą płaskich kotew. Otwory w członach wykładziny zamyka się zaślepkami, które się przypawa.

Rzeczywiste wymiary sytuacyjne dolnego zespołu części fundamentowych zapisuje się w protokole (rys. 86).

§ 25. GÓRNY ZESPÓŁ CZĘŚCI FUNDAMENTOWYCH

Górny zespół części fundamentowych składa się z następujących zasadniczych elementów:

- 1) górnego pierścienia kierownicy,
- 2) górnej wykładziny spirali,
- 3) wykładziny komory turbiny i obudowy serwomotorów,
- 4) rurociągów fundamentowych.

1. Górny pierścień kierownicy

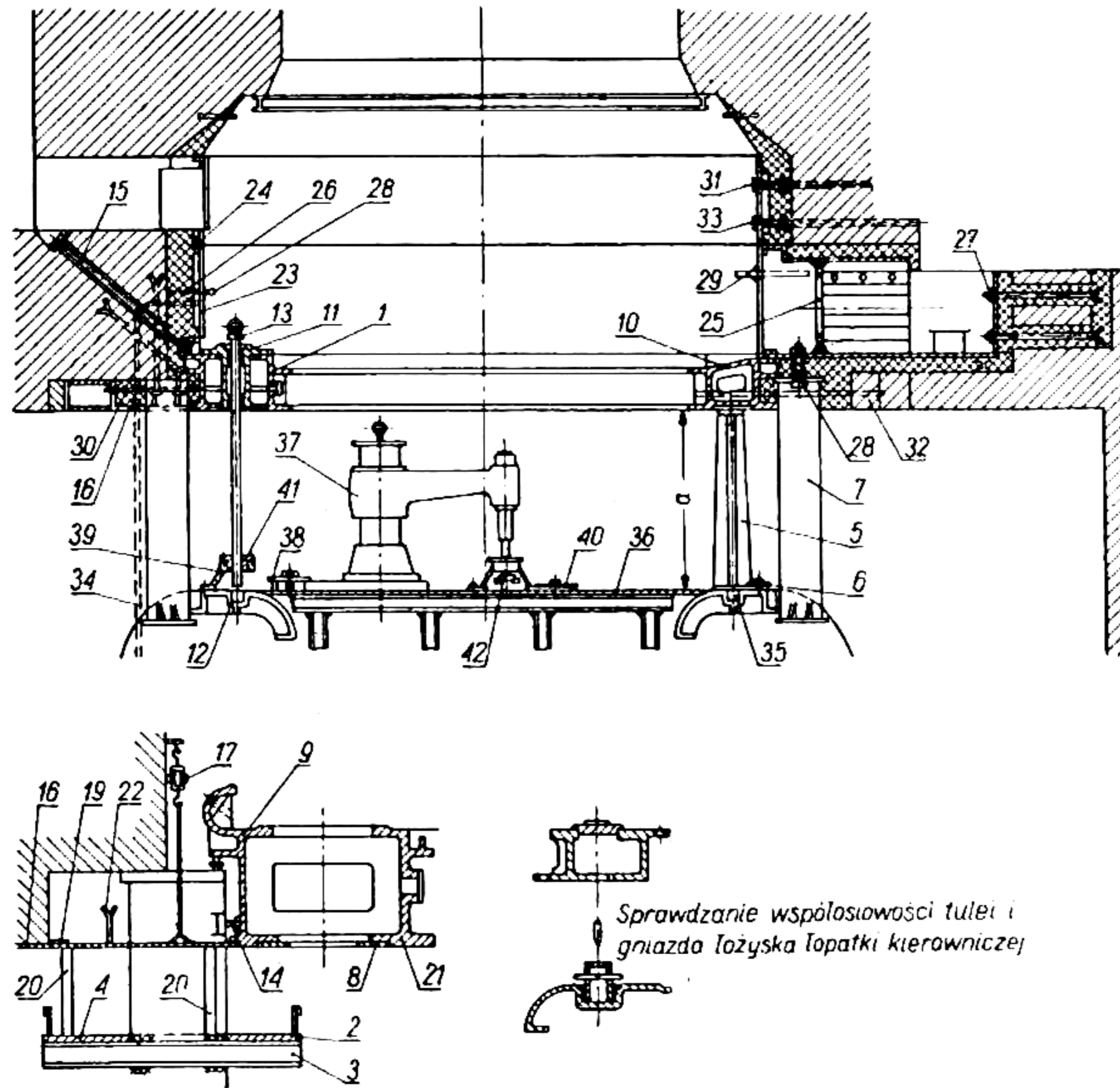
Górny pierścień kierownicy 1, pokazany na rys. 87, składa się z ośmiu stalowych członów i stanowi jej pokrywę.

W celu ułatwienia montażu tego pierścienia do słupów spirali 7 przypawa się belki 3 i na tych belkach umieszcza się pomost 2. Również na tych belkach umieszcza się pomost 4, który później będzie potrzebny przy montowaniu górnej wykładziny spirali. Do podparcia pomostu można zużytkować te same belki, na których wsparty był pomost służący do montażu dolnej wykładziny spirali (rys. 78).

Montaż górnego pierścienia kierownicy rozpoczynamy od zmontowania na dolnym jej pierścieniu prowizorycznych słupów montażowych. W rzucie poziomym słupy te umieszcza się w ten sposób, aby ich górne czołowe powierzchnie znajdowały się na wysokości dolnych powierzchni członów górnego pierścienia kierownicy. W celu uzyskania stateczności słupy montażowe przymocowuje się za pomocą śrub i łap 6 do dolnego pierścienia

kierownicy. W pierścieniu tym powinny znajdować się odpowiednie nawiercone otwory.

Człony górnego pierścienia kierownicy opuszcza się za pomocą dźwigu na miejsce ich zamontowania, centruje je zgodnie z osiami X oraz Y i opiera na słupach spirali 7 oraz na słupach montażowych 5. Następnie łączy się te człony razem tworząc z nich pierścień (rys. 88).

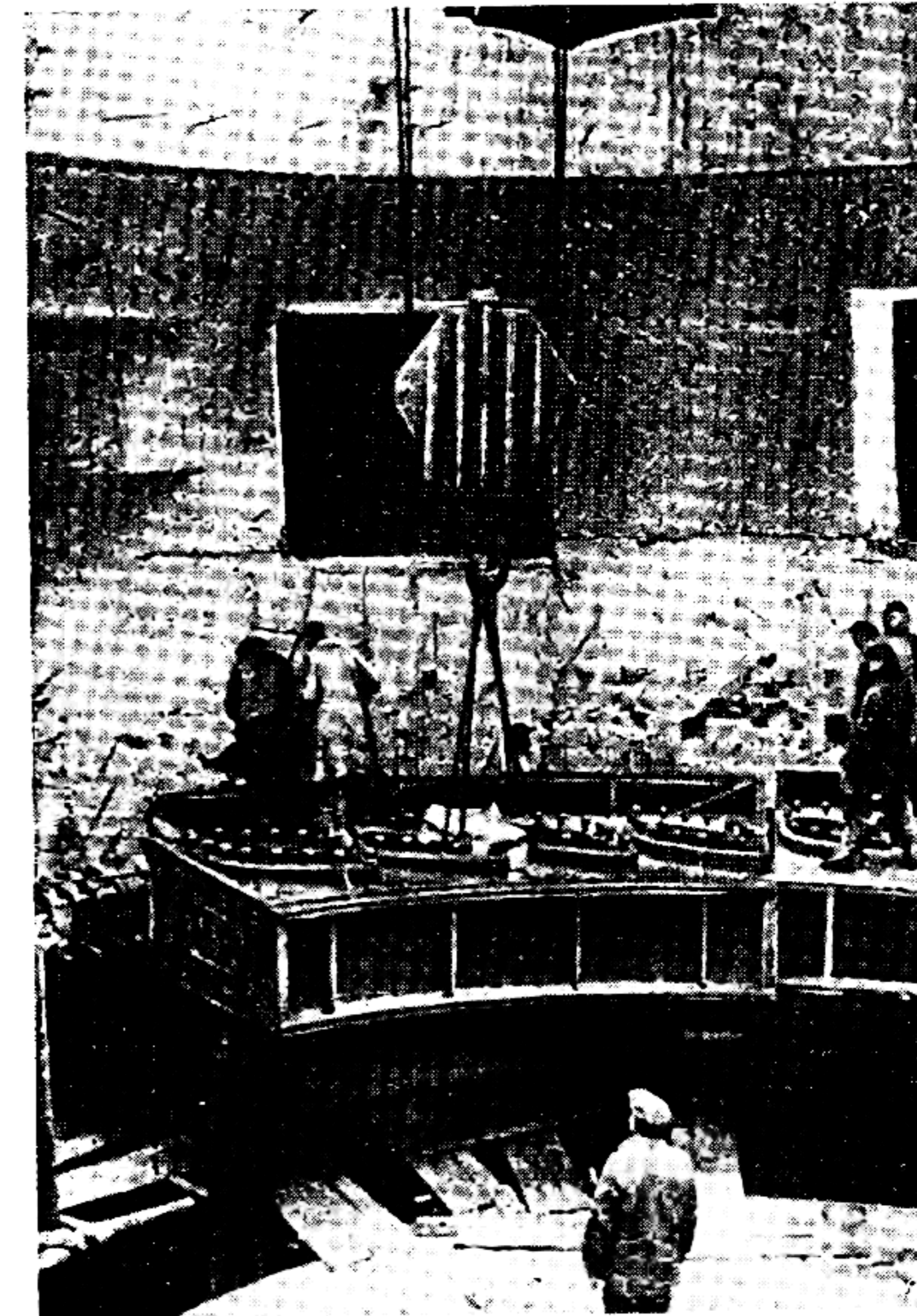


Rys. 87. Montaż górnego zespołu części fundamentowych turbiny Kaplana

W celu umożliwienia wprowadzenia łopatek kierowniczych poprzez otwory górnego pierścienia kierownicy, odśrubowuje się uprzednio (na placu montażowym) i odejmuje ochronne płyty 8 (rys. 87) oprócz ośmiu płyt, równomiernie rozmieszczonych na obwodzie, które pozostawia się w celu dokonania pomiarów wysokości kierownicy. Po przeprowadzeniu pomiarów (o czym będzie mowa dalej) płyty te należy również usunąć.

Wzajemne położenie członów pierścienia kierownicy ustala się za pomocą kołków ustalających.

Pierścień w stanie zmontowanym ustawia się i centruje w następujący sposób. Na obwodzie pierścienia, w tych ośmiu miejscach, w których pozostawiono płyty ochronne, mierzy się za pomocą średnicówki pionowej odległość a ; odległość tę reguluje się za pomocą śrub ustawczych 9 oraz za pomocą podkładek 10 o odpowiedniej grubości. Odległość a powinna



Rys. 88. Opuszczanie członów górnego pierścienia kierownicy na miejsce jego zamontowania

równać się sumie wysokości najwyższej łopatki kierowniczej b_{max} (wysokość tę przyjmujemy według protokołu fabrycznego) i najmniejszej projektowanej grubości szczelin c_{min} utworzonych przez czołowe powierzchnie łopatki i górny, względnie dolny pierścień kierownicy:

$$a = b_{max} + c_{min}$$

Osie górnych łożysk łopatek kierowniczych 11 powinny dokładnie pokrywać się z osiami dolnych łożysk łopatek 12 znajdujących się w dolnym pierścieniu kierownicy. W tym celu kilka łożysk górnych (6 do 8) wmontowuje się prowizorycznie i ustawia się kalibrowany pręt centrujący 13.

Dolny koniec tego pręta powinien bez trudu wejść w dolne łożysko 12 i powinien dać się łatwo w nim obracać. Średnice górnego czopa i dolnego czopa pręta powinny równać się odpowiednio średnicom czopów łopatek kierowniczych. Przystawiając kolejno omawiany pręt we wszystkie przewidziane zmontowane łożyska sprawdza się ich współosiowość. Jeśli brak pręta, współosiowość tę można sprawdzić za pomocą pionu w sposób pokazany na rys. 87.

Do przesuwania górnego pierścienia kierownicy w płaszczyźnie poziomej służą śruby rozporcze 14, obrót zaś jego, w razie konieczności, można wykonać za pomocą dźwigników. W celu zmniejszenia tarcia podkładki 10 należy posmarować smarem Tovotte'a od strony stykania się ich z pierścieniem.

Pierścień po ustawieniu przymocowuje się za pomocą śrub fundamentowych 15. Nakrętki tych śrub należy dokręcać w ten sposób, aby nie naruszyć tego ustawienia. W celu uniknięcia osiadania górnego pierścienia kierownicy, spowodowanego odkształceniem śrub, pomiędzy słupami i tym pierścieniem wstawia się kliny, które przypawa się za pomocą elektryczności.

2. Górna wykładzina spirali

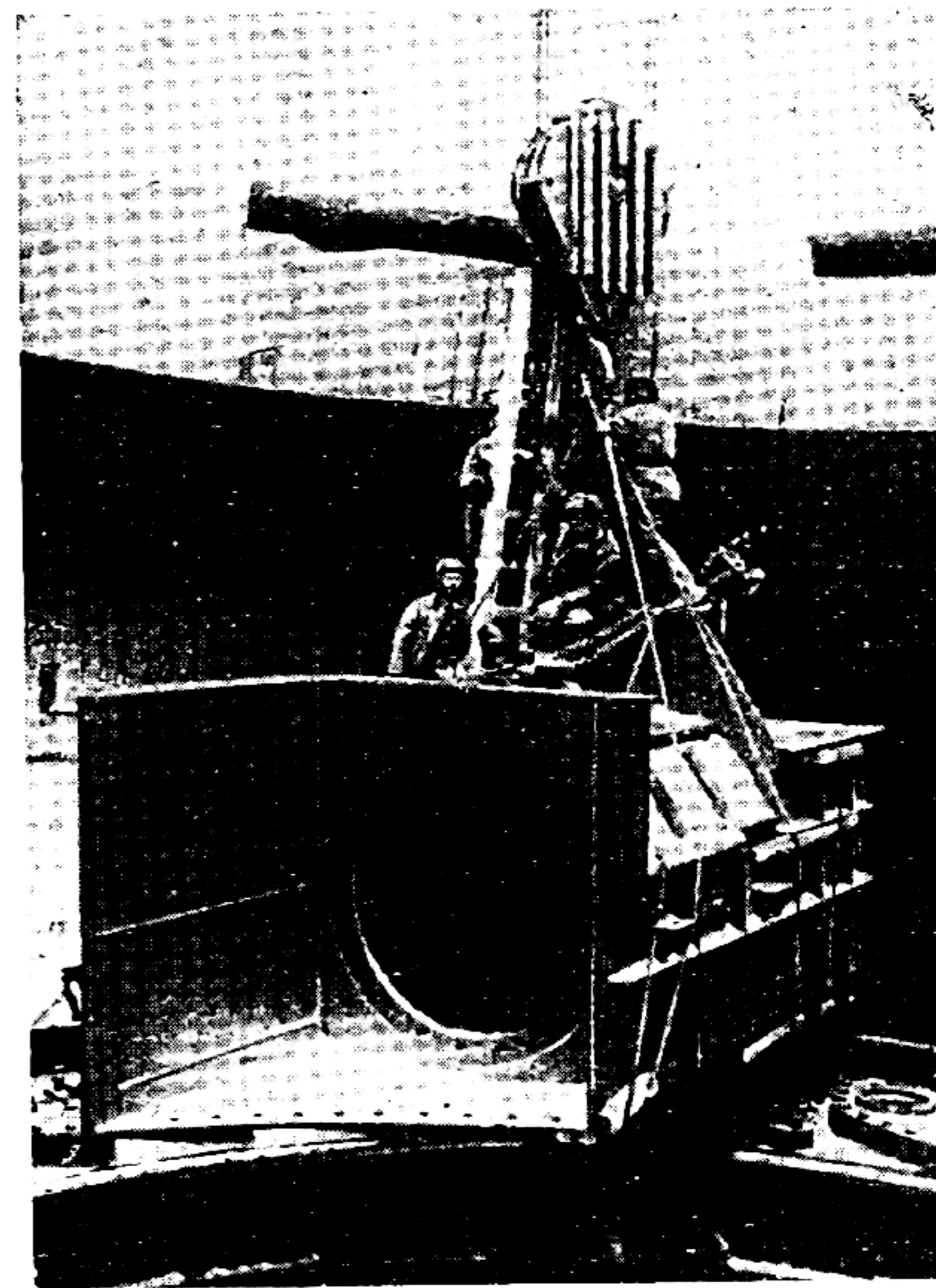
Górna wykładzina spirali 16 składa się z poszczególnych uprzednio przygotowanych blach, które na miejscu montażu łączy się z górnym pierścieniem kierownicy oraz przykrawa je według słupów. W tym celu blachy te dostarczane są z nadatkami w miejscach połączeń. Do przykrawania używa się palnika acetylenowo-tlenowego. Roboty wykonywane są z pomostu 4, na który blachy opuszcza się i układa je zgodnie ze znakowaniem wytwórni. Przy wykonywaniu wycięć na słupy oraz przy dopasowywaniu i przygotowywaniu złączy do spawania, używa się metod analogicznych do metod stosowanych przy montażu dolnej wykładziny spirali.

Przy podnoszeniu poszczególnych blach wygodnie jest posługiwać się wciągnikami 17, które zawieszają się na uzbrojeniu betonu. W celu przymocowania lin do blach używa się haków, które uprzednio należy do blach przyspawać. Aby blachy ściśle dolegały do górnego pierścienia regulacyjnego oraz do uprzednio zabetonowanego płaskownika 19, podpira się je za pomocą podpór 20 sporządzonych z dyli drewnianych. Po osiągnięciu dostatecznego stopnia przylegania szepia się blachy za pomocą elektryczności z górnym pierścieniem kierownicy oraz z płaskownikiem. Szew 21 spawa się z góry w celu zmniejszenia zakresu robót spawalniczych w położeniu pułapowym, zaś podpawa go z dołu. Następnie przypawa się płaskie kotwy 22.

3. Wykładziny komory turbiny i obudowy serwowatorów

Wykładziny komory turbiny i obudowy serwowatorów pod względem konstrukcyjnym nie różnią się zasadniczo od analogicznych wykładzin turbin Francisa.

Wykładzina komory turbiny (rys. 87) składa się z dwóch pasów (pierścieni) 23 i 24, z których każdy składa się z sześciu członów. Do wykładziny tej przylegają dwie odrębne wykładziny 25 komór serwowatorów. W odróżnieniu od kolejności montażu podobnych wykładzin, opisanego w § 20, wykładziny tutaj omawiane montuje się w ten sposób, że najprzód za po-



Rys. 89. Wprowadzanie wykładziny serwowatora na miejsce jej zamontowania

mocą dźwigu opuszcza się wykładziny komór serwowatorów 25 i przy użyciu ściąągów wprowadza je do ich gniazd a następnie wykładziny umieszcza na podkładkach i ustawia w sposób wskazany w § 20. Po umocowaniu do kołnierza górnego pierścienia kierownicy za pomocą śrub 28 i do słupów spirali — za pomocą śrub 27, zapiera się wykładziny komór serwowatorów w ich gniazdach.

Na rys. 89 pokazano wprowadzanie wykładziny komory siłownika do jej gniazda.

Człony dolnego pasa 23 wykładziny komory turbiny opuszcza się kolejno na ich miejsca, przymocowuje do górnego pierścienia kierownicy i łączy

ze sobą tworząc pierścien. Człony te posiadają złącza z nadlewami (kołnierze), które zamocowuje się za pomocą śrub. Człony górnego pasa 24 (rys. 87) opuszcza się kolejno na kołnierz dolnego pasa, zmocowuje się z tym pasem i również za pośrednictwem złącz z nadlewami łączy się ze sobą tworząc z nich pierścien stanowiący górny pas. Następnie całą wykładzinę komory turbiny rozciąga się za pomocą ściągów 26, aż do osiągnięcia jej kołowego kształtu w rzucie poziomym, po czym wykładzinę tę centruje się i przypawa do wykładzin komór silowników. Oprócz tego spawa się wszystkie pionowe i poziome złącza wykładziny turbiny w celu osiągnięcia jej szczelności.

Z zewnątrz do wykładziny przypawa się płaskie kotwy, zaś wewnątrz niej umieszcza się i przypawa okrągłą poręcz 28 oraz obspawa się dwie klamry 29, uprzednio zabetonowane w fundamencie. W omawianej konstrukcji klamry te służą do zawieszania wciągników przy próbach obracania kierownicy.

4. Rurociągi fundamentowe

Po ukończeniu montażu górnego zespołu przedłużamy rurociągi fundamentowe umieszczone w betonie i łączymy je z komorą turbiny. Oprócz tego montujemy fundamentową część rurociągu zasilającego.

Rurociągi fundamentowe dostarczane są w postaci poszczególnych rur o określonej długości. Wyginanie, obcinanie rur oraz spawanie ich z kołnierzami przeprowadza się na miejscu montażu, tak jak wskazano w § 17.

Zazwyczaj w skład rurociągów fundamentowych wchodzi (patrz rys. 87):

a) rurociąg tłoczny 30 doprowadzający wodę do smarowania łożyska gumowego lub łożyska z drewna preparowanego; woda ta doprowadzana jest ze spirali i w celu uniknięcia przedostania się zanieczyszczeń pobierana jest przez komorę czerpalną zaopatrzoną w filtr; jako rezerwę zakłada się rurociąg 31 doprowadzający wodę do smarowania z rurociągu wody technicznej;

b) rurociąg tłoczny 32 doprowadzający wodę ze spirali do ejektora, który odpompowuje wodę gromadzącą się na pokrywie turbiny;

c) rurociąg ściekowy 33 służący do odprowadzania wody z pokrywy turbiny do rury ssawnej lub do kanału odpływowego za pomocą ejektora i pompy odwadniającej samozasysającej;

d) rurociąg 34 łączący rurę ssawną z manowakuometrem oraz rurociąg łączący spiralę z manometrem.

Wszystkie rury rurociągów fundamentowych powinny być szczelnie przyspawane dla uniknięcia przeciekania wody w miejscach złącz oraz dobrze umocowane w celu niedopuszczenia do ewentualnych przesunięć i uszkodzeń przy betonowaniu.

Rzeczywiste wymiary montażowe górnego zespołu części fundamentowych zapisuje się w protokole (rys. 90).

Na montaż rurociągów fundamentowych kończy się montaż górnego zespołu części fundamentowych; po założeniu odpowiedniego odeskowania przystępuje się do betonowania.

Elektrownia wodna		Protokół montażowy górnego zespołu części fundamentowych turbiny Kaplan						Nr protokołu																															
Pomiary przeprowadzone dnia	Sproszczał					<p>Uwaga. Pochylenie k, oraz k_1, kołnierza komory, wskazane na rysunku, oznaczają się znakami $+$, w kierunku przeciwnym znakiem $-$.</p>																																	
Zmierzył	Wymiary rzeczywiście mm	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Długość lub płaszczyzna pomiaru rzeczywiście mm</th> <th>+y</th> <th>+y-x</th> <th>-x</th> <th>-y-z</th> <th>-y</th> <th>-y+y</th> <th>+x</th> <th>+x+y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>∇</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>a</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								Długość lub płaszczyzna pomiaru rzeczywiście mm	+y	+y-x	-x	-y-z	-y	-y+y	+x	+x+y	∇									a											
		Długość lub płaszczyzna pomiaru rzeczywiście mm	+y	+y-x	-x	-y-z	-y	-y+y	+x		+x+y																												
∇																																							
a																																							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">Komora prawa</th> <th colspan="4">Komora lewa</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>a₁</th> <th>b₁</th> <th>c₁</th> <th>k₁</th> <th>a₂</th> <th>b₂</th> <th>c₂</th> <th>k₂</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Wymiary rzeczywiście mm</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Komora prawa				Komora lewa						a ₁	b ₁	c ₁	k ₁	a ₂	b ₂	c ₂	k ₂	Wymiary rzeczywiście mm									
		Komora prawa				Komora lewa																																	
		a ₁	b ₁	c ₁	k ₁	a ₂	b ₂	c ₂	k ₂																														
Wymiary rzeczywiście mm																																							

Rys. 90. Formularz protokołu montażowego górnego zespołu części fundamentowych turbiny Kaplan

§ 26. WYTACZANIE KIEROWNICY

Kierownica powinna być w ten sposób wytoczona, aby osie otworów 12 jej dolnego pierścienia pokrywały się ściśle z osiami łożysk łopatek kierowniczych 11 w górnym pierścieniu (rys. 87), co tym samym gwarantuje prawidłowe wycentrowanie omawianych łożysk. Osiąga się to w wytwórni w ten sposób, że przy wytaczaniu otworów w dolnym pierścieniu kierownicy wrzeczono obrabiarki przechodzi przez łożyska łopatek, które to łożyska kierują tym wrzeczkiem. W tym celu górny pierścien kierownicy ustawia się na jej dolnym pierścieniu i centruje go względem tego dolnego

Średnice nominalne mm	2 klasa pasowań					
	Odchyłki w mikronach					
	Odchyłki otworu ·A	Pasowa				
		Właczane	Łekko właczane	Ciasne	Przylgowe	Slizgowe
		·Pr	·Pl	·T	·P	·S
Odchyłki wałka						
	górną dolną	górną dolną	górną dolną	górną dolną	górną dolną	górną dolną
Powyżej 3 do 6	+13 0	+23 +15	+21 +13	+13 +5	+4 -4	0 -8
„ 6 „ 10	+16 0	+28 +18	+26 +16	+16 +6	+5 -5	0 -10
„ 10 „ 18	+19 0	+34 +22	+32 +20	+19 +7	+6 -6	0 -12
„ 18 „ 30	+23 0	+42 +28	+39 +25	+23 +8	+7 -7	0 -14
„ 30 „ 50	+27 0	+51 +35	+47 +30	+27 +9	+8 -8	0 -17
„ 50 „ 80	+30 0	+65 +45	+55 +35	+30 +10	+10 -10	0 -20
„ 80 „ 120	+35 0	+85 +60 +95 +70	+70 +45	+35 +12	+12 +12	0 -23
„ 120 „ 180	+40 0	+110 +80 +125 +95	+85 +58	+40 +13	+14 -14	0 -27
„ 180 „ 260	+45 0	+145 +115 +165 +135	+105 +75	+45 +15	+16 -16	0 -30
„ 260 „ 360	+50 0	+195 +160 +220 +185	+135 +100	+50 +15	+18 -18	0 -35
„ 360 „ 500	+60 0	+260 +220 +300 +160	+170 +130	+60 +20	+20 -20	0 -40

3 klasa pasowań						
(1 mikron = 1 μ = 0,001 mm)						
n i a		Odchyłki otworu ·A _i	P a s o w a n i a			
Ruchu	Rucho- we		Właczane	Slizgowe	Ruchowe	Ruchowe bar- dzo luźne
·D	·Ch		·Pr _i	·S _i	·Ch _i	·Sz _i
Odchyłki wałka						
górną dolną	górną dolną	górną dolną	górną dolną	górną dolną	górną dolną	górną dolną
-4	-10	+25	+55	0	-11	-25
-12	-22	0	+30	-15	-44	-65
-5	-13	+30	+65	0	-15	-35
-15	-27	0	+35	-30	-55	-85
-6	-16	+35	+75	0	-20	-45
-18	-33	0	+40	-35	-70	-105
-8	-20	+45	+95	0	-25	-60
-22	-40	0	+50	-45	-85	-130
-10	-25	+50	+110	0	-32	-75
-27	-50	0	+60	-50	-100	-160
-12	-30	+60	+135	0	-40	-95
-32	-60	0	+75	-60	-120	-195
-15	-40	+70	+160	0	-50	-120
-38	-75	0	+90	-70	-140	-235
-18	-50	+80	+185	0	-60	-150
			+105			
			+200			
-45	-90	0	+120	-80	-165	-285
-22	-60	+90	+230	0	-75	-180
			+140			
			+250			
-52	-105	0	+160	-90	-195	-330
-26	-70	+100	+285	0	-90	-210
			+185			
			+305			
-60	-125	0	+205	-100	-225	-380
-30	-80	+120	+360	0	-105	-250
			+240			
			+395			
-70	-140	0	+175	-120	-255	-440

go pierścienia. W ten sposób górny pierścień kierownicy wraz ze zmontowanymi w nim łożyskami łopatek stanowi w tym przypadku prowadnicę przy wytaczaniu otworów w pierścieniu dolnym. Niekiedy otwory wytacza się według ich wytrasowania. W tym przypadku na dolny pierścień przetrasowuje się otwory łożysk łopatek kierowniczych wmontowanych w pierścień górny. W przypadku wielkich turbin, o średnicy wirnika 8 do 9 m operację tę przeprowadza się niekiedy na miejscu montażu. Podyktowane to jest możliwością powstania odkształceń górnego i dolnego pierścienia kierownicy wskutek małej sztywności osiatnich, co podczas montażu wywołuje poważne trudności przy uzgadnianiu osi łożysk łopatek kierowniczych z osiami dolnych tulei 35 wprasowanych w dolny pierścień kierownicy.

Doświadczenie wykazuje, że często otwory na tuleje wytoczone w wytwórni w szeregu przypadków nie pokrywają się podczas montażu z otworami w łożyskach. Uzgodnienie osi otworów za pomocą ustawiania pierścieni na miejscu montażu jest bardzo trudne i nie daje pozytywnych wyników. Jeżeli kierownica ma być wytaczana na miejscu montażu, to w wytwórni przeprowadza się tylko wspólną, zdzierającą obróbkę otworów mieszczących się w dolnym pierścieniu kierownicy, a przeznaczonych na osadzenie w nich tulei 35, przy czym na średnicy otworu pozostawia się naddatek 8 do 10 mm. Oprócz tego w pierścieniu tym wierce się i gwintuje otwory służące do przymocowania przenośnej wytaczarki.

Centrowanie górnego pierścienia kierownicy, w odróżnieniu od metody wyżej wskazanej, rozpoczynamy od uzgodnienia ze sobą osi tego pierścienia z pionową osią komory oraz jego odpowiednich osi — z osiami X i Y. Wysokość ustawienia górnego pierścienia kierownicy określamy również drogą pomiaru odległości a . Kierownicę po jej ustawieniu na miejscu wytacza się za pomocą specjalnego urządzenia pokazanego na rys. 87.

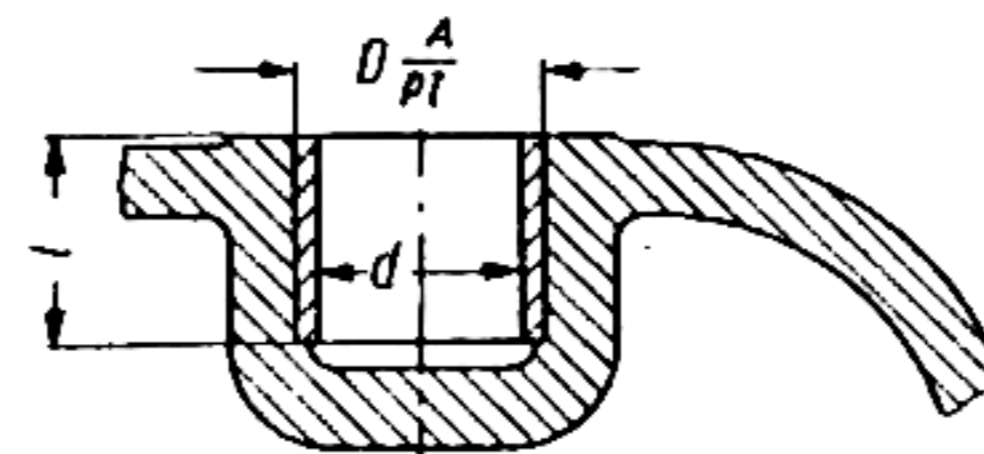
W celu ułatwienia pracy budujemy na poziomie kierownicy pomost 36, który za pośrednictwem pionowych belek wspiera się na dolnym pomoście ustawionym uprzednio w gardzieli rury ssawnej.

Po usunięciu słupów montażowych 5 ustawia się zwykłą wiertarkę promieniową 37 przymocowując ją za pomocą łap 38 i śrub do dolnego pierścienia kierownicy. Poprzez łożysko łopatki wkłada się następnie pręt 13, który należy dokładnie wycentrować w łożysku (niekiedy za pomocą tulei stożkowych). Dolny koniec tego pręta wyznacza wówczas prawidłowe położenie kozła 39. Kozioł ten, przymocowany do dolnego pierścienia kierownicy, stanowi prowadnicę wrzeciona obrabiarki. Jednocześnie za pomocą pionów sprawdza się pionowe ustawienie pręta. Po ustawieniu kozła i umocowaniu go za pomocą płyt 40, pręt zostaje usunięty i do tulei 41 zakłada się wrzeciono obrabiarki oraz na wrzeciono nakłada się głowicę nożową 42. Następnie wytacza się otwór 12.

Powierzchnia otworu po wytoczeniu powinna być gładka; zowalizowanie i zbieżność otworu nie powinny być większe od odchyłek drugiej klasy dokładności podanych w tabl. 36. (Dla pasowań Pr oraz $Pr1_3$ w tabl. 36 podano odchyłki dla dwa razy mniejszych zakresów normalnych średnic, tj. zakres 80 do 120 podzielony został na zakresy 80 do 100 oraz 100 do 120 itd.).

Po wytoczeniu otworów wtlacza się tuleje 35, które uprzednio należy przetoczyć na ostateczne, rzeczywiste, średnice otworów biorąc pod uwagę skurcz wewnętrznych średnic tulei po wtłoczeniu.

W tablicy 37 podano wartości skurczu q wewnętrznej średnicy d tulei brązowych w zależności od wielkości odchyłek średnicy zewnętrznej D tulei, spowodowane wtłaczaniem tych tulei do dolnego pierścienia regulacyjnego oraz potrzebne przy tym wartości siły wtłaczającej¹⁾. Przytoczone dane wyznaczono z warunków wynikających ze stosowanego zazwyczaj połączenia wyżej wymienionych części, a mianowicie pasowania na lekki wcisk w otwór 2 klasy dokładności: $\frac{A}{P_L}$. Jak wynika z tablicy odchyłek (36) omawiane pa-



sowanie daje szerokie pole wcisku i z tego powodu zaleca się stosowanie średnich wartości tych odchyłek.

Tablica 37

Skurcz q wewnętrznej średnicy brązowych tulei po ich wtłoczeniu w dolny pierścień kierownicy oraz siła wtłaczająca P_L . Pasowanie lekko wtłaczane. $\cdot P_L$, otwór 2 klasy dokładności, tj. $\cdot A$ (tabl. 36)

d mm	D mm	Odchyłki, graniczne średnicy zewnętrznej D tulei mikronów		Skurcz q wewnętrznej średnicy tulei mikronów		l mm	Siła wtłaczająca P w tonnach	
		Dolna najmniejsza	Górna największa	Najmniejszy	Największy		Najmniejsza	Największa
170	190	+30	+105	-25	-80	170	4,0	16
190	210	+30	+105	-25	-80	190	3,8	16
210	230	+30	+105	-25	-80	210	4,1	16
230	250	+30	+105	-25	-80	230	4,0	15
250	270	+50	+135	-38	-10	250	6,5	18
270	300	+50	+135	-38	-10	270	9,5	26

Tuleję, w celu wyrównania jej skurczu, należy przed wtłoczeniem tak wytoczyć, aby jej wewnętrzna średnica była większa od projektowanej o wielkość skurczu; tym samym unika się pracochłonnej operacji — skrobienia (szabrowania) wnętrza tulei.

Każdą tuleję, po jej wtłoczeniu, zmocowuje się z dolnym pierścieniem kierownicy za pomocą śrub. Na śruby te wierce się i gwintuje dwa otwory, umieszczone na czolowej powierzchni tulei. Tuleje z drewna preparowanego (lignofoilu) sporządza się według metody podanej w § 63.

Jeżeli wysokość kierownicy nie pozwala na zainstalowanie wiertarki lub też jeśli jej nie mamy, to otwory wytacza się za pomocą urządzenia zaopa-

¹⁾ Wartości zmniejszenia się wewnętrznej średnicy tulei oraz wartości siły wtłaczającej zostały wyznaczone na podstawie nomogramów sporządzonych przez inż. G. Cuklernika.

trzonego w mechanizmy posuwu, które posiadają napęd pneumatyczny lub elektryczny. Urządzenie to instaluje się na górnym pierścieniu kierownicy; napędza ono wrzeciono, którego dolny koniec prowadzony jest również przez koziół 39.

§ 27. MECHANIZMY ROBOCZE I URZĄDZENIA POMOCNICZE

Do mechanizmów roboczych i urządzeń pomocniczych turbin Kaplana zalicza się następujące zespoły:

- 1) wirnik,
- 2) wał turbiny z drągami,
- 3) pokrywę turbiny,
- 4) wał pośredni,
- 5) kierownicę,
- 6) zespół łożyska turbiny i
- 7) urządzenia pomocnicze.

1. Wirnik

Wirnik jest głównym zespołem turbiny. W porównaniu z innymi typami wirników, wirnik turbiny Kaplana jest bardzo skomplikowany i pod względem konstrukcyjnym może być rozmaicie wykonany. Główną, znaną cechą wszystkich wirników turbin Kaplana jest to, że zaopatrzone są one w mechanizm, który pozwala na zmianę ustawienia łopatek wirnika w zależności od otwarcia (rozwarcia) kierownicy.

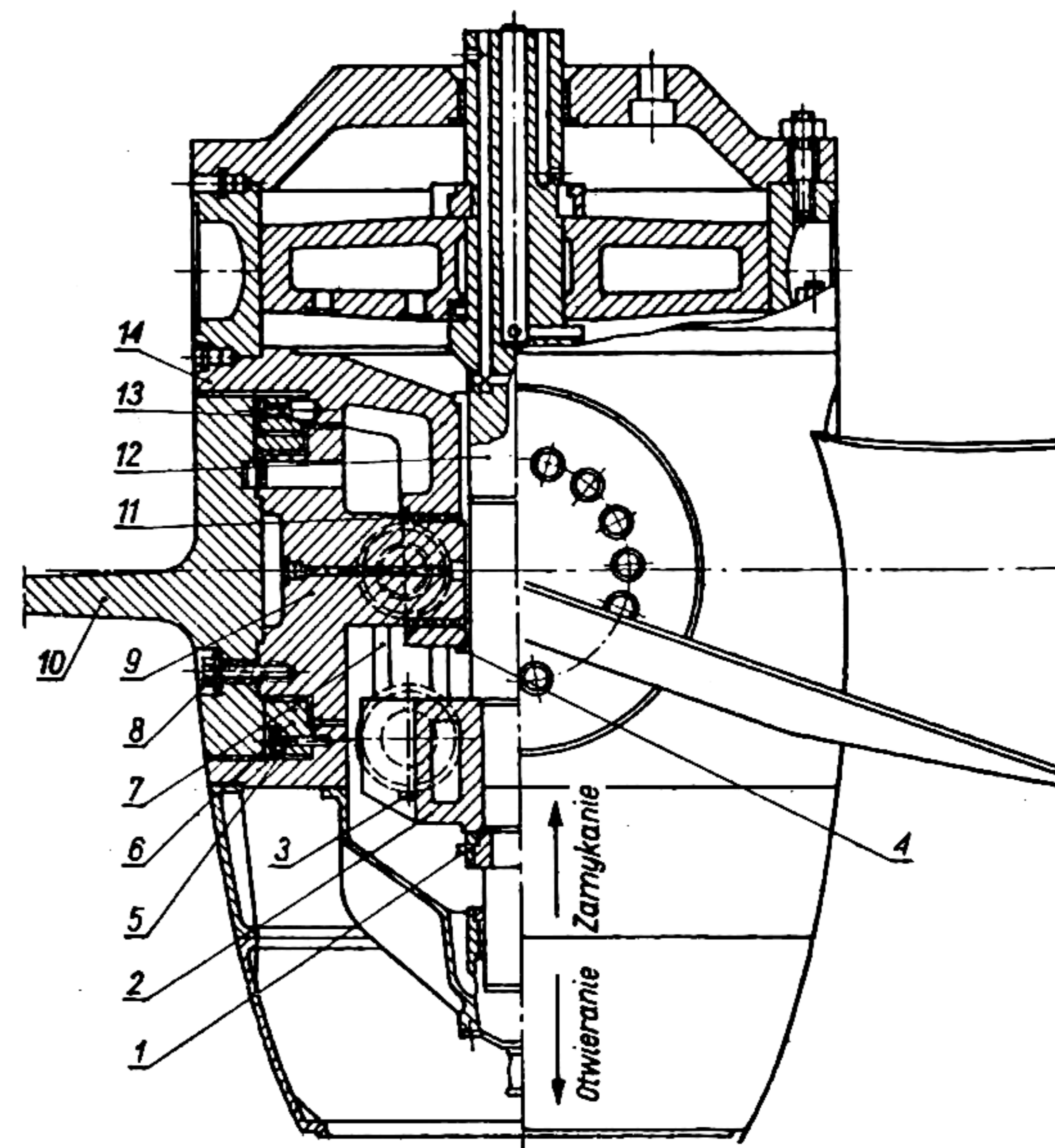
W skład wirnika wchodzi następujące zespoły i części: kadłub piasty, dźwignie, strzemiona i czopy, cylinder serwowatora, tłoczek wraz z tłokiem siłownika, krzyżak, łopatki i ich uszczelnienia, tuleja kierownicza (dno), górna, środkowa i dolna część opływki wirnika, pokrywa cylindra siłownika.

Ilość łopatek wynosi od czterech do sześciu i więcej. Najbardziej rozpowszechnione są następujące trzy rozwiązania konstrukcyjne mechanizmu pokręcającego łopatki wirnika:

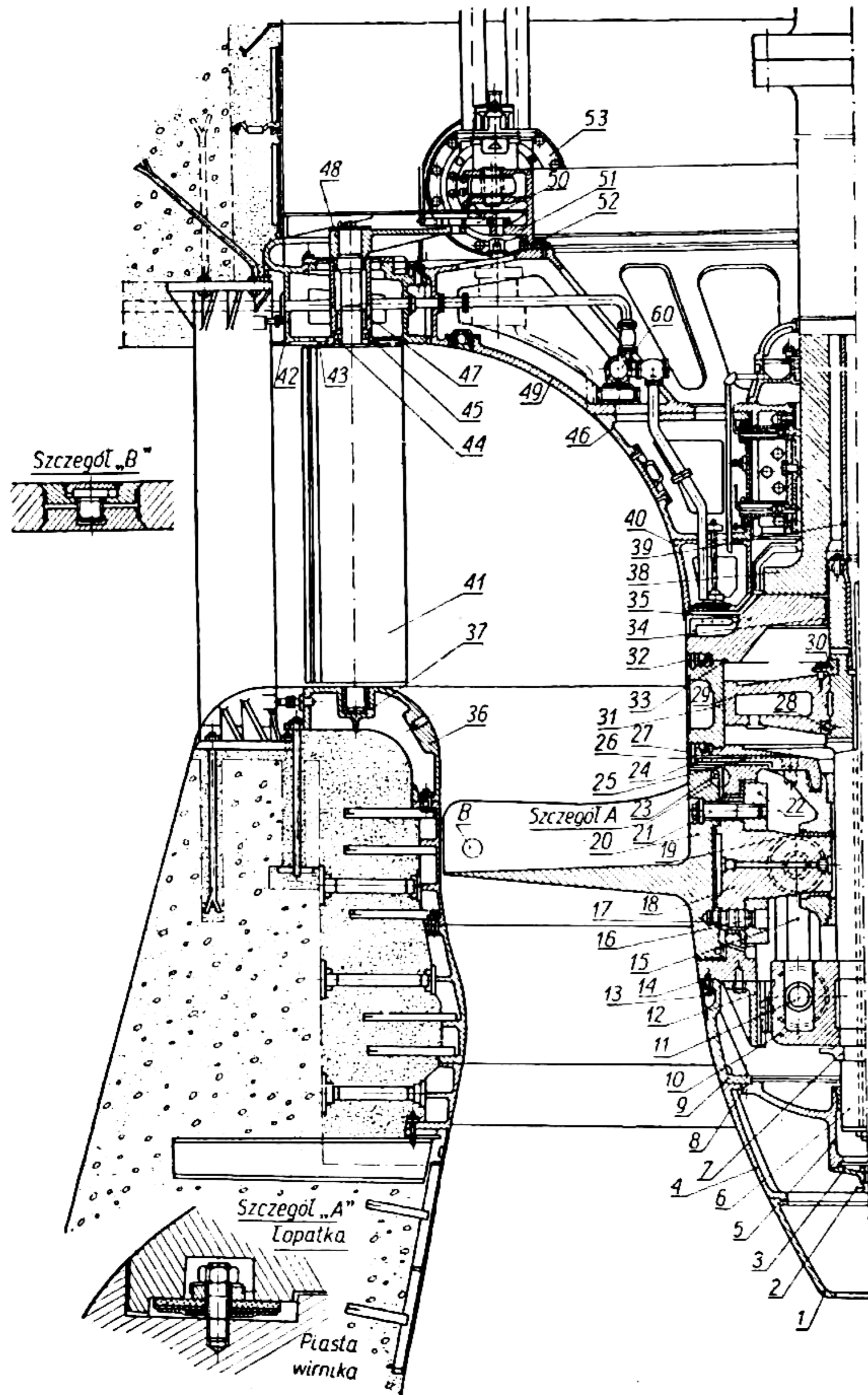
a) **Wirnik z pierścieniami ustalającymi** (rys. 91). Łopatki 10 w tym przypadku posiadają odejmowalne czopy 9, które jednocześnie spełniają rolę dźwigni. Czopy te za pomocą strzemion 7 sprzęgnięte są z krzyżakiem 2, zaś pierścienie ustalające 6, przysrubowane do kadłuba piasty, ustalają położenie tych czopów.

b) **Wirnik bez pierścieni ustalających** (rys. 92). Łopatki 20 posiadają odejmowalne czopy 18 i za pomocą śrub przechodzących przez otwory w czopach zamocowane są z dźwigniami 22. Dźwignie za pośrednictwem strzemion 15 sprzęgnięte są z krzyżakiem 10.

c) **Wirnik z łopatkami stanowiącymi jedną całość z czopami** (rys. 93). W tym rozwiązaniu łopatki 8 oraz czopy stanowią jedną całość i połączo-



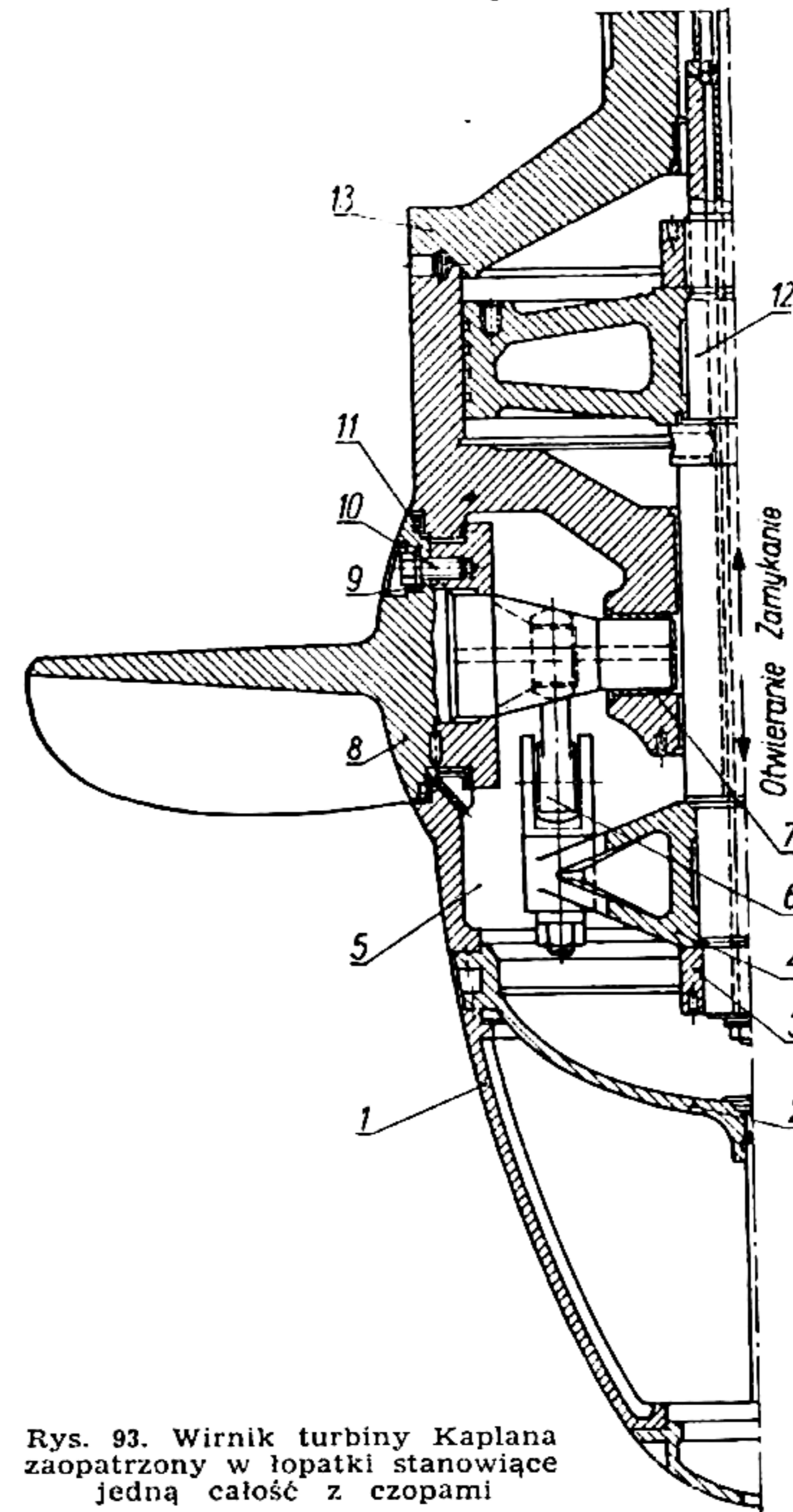
Rys. 91. Wirnik turbiny Kaplana zaopatrzonego w pierścienie ustalające



Rys. 92. Turbina Kaplana — przekrój podłużny

ne są z dźwigniami, które za pośrednictwem strzemion 6 związane są z krzyżakiem 4.

Pokrywy cylindra serwowatora w turbinach o wielkich wymiarach gabarytowych stanowią odrębną część, natomiast w przypadku turbin średniej wielkości, tworzą one jedną całość wraz z wałem turbiny.



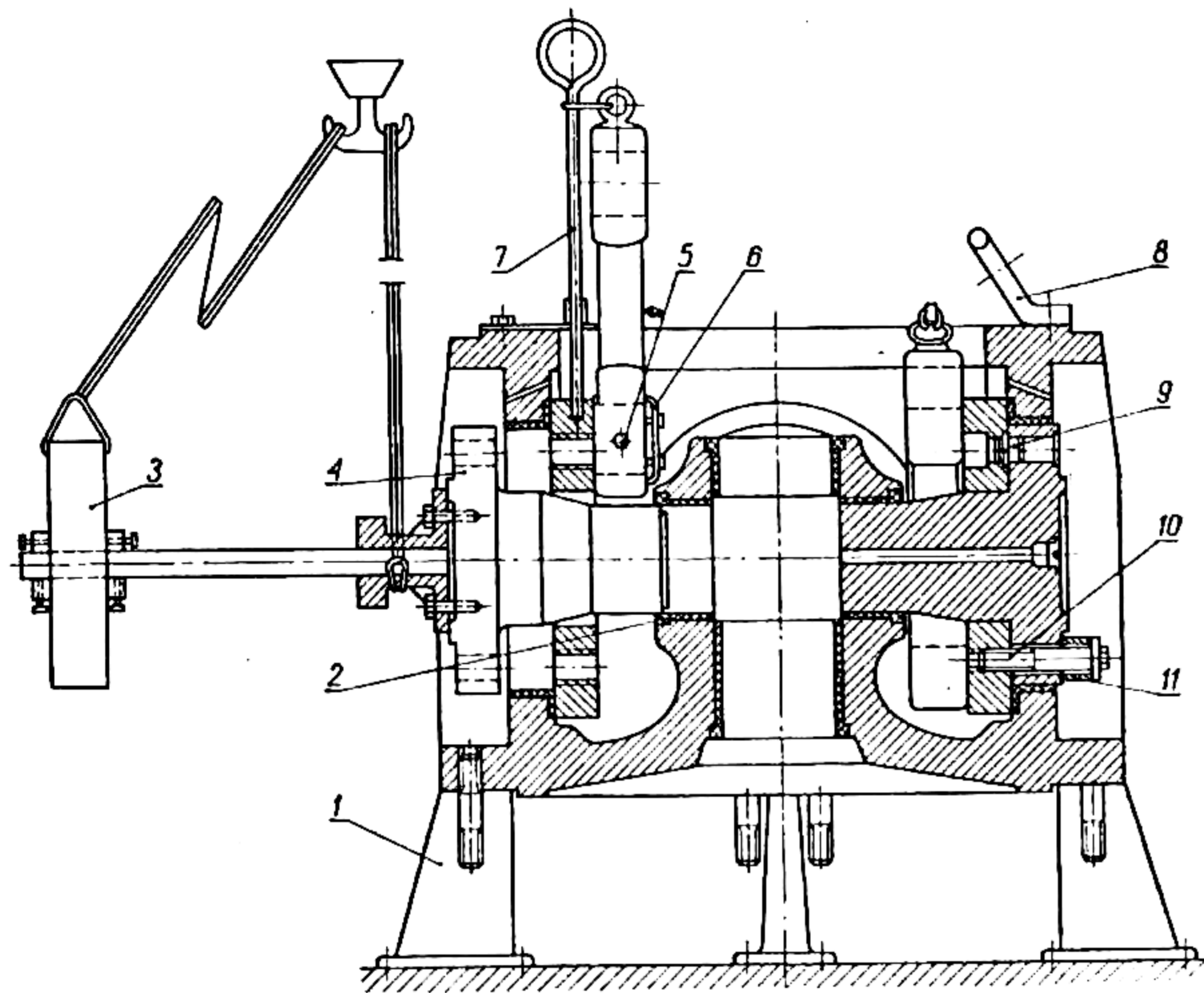
Rys. 93. Wirnik turbiny Kaplana zaopatrzonej w łopatki stanowiące jedną całość z czopami

Wirniki o średnicy do 3 m dostarczane są na budowę elektrowni w stanie zmontowanym. Wirniki o średnicach większych ze względu na to, że ich wymiary są większe od gabarytów kolejowych, zaś ciężar większy od nośności platform głębokiego ładowania; transportowane są w stanie częściowo lub całkowicie zdemontowanym.

W celu wyczerpującego oświetlenia zagadnienia rozpatrzmy montaż wirników dostarczanych na budowę w stanie całkowicie zdemontowanym.

A. Montaż oraz ustawienie wirnika nie zaopatrzonego w pierścienie ustalające

Montaż dźwigni, strzemion i czopów (rys. 94). Wirnik montuje się całkowicie na placu montażowym elektrowni wodnej. Na placu tym ustawia się cztery lub sześć kozłów 1 o wysokości 600 do 800 mm, na których następnie



Rys. 94. Piasta wirnika turbiny Kaplana podczas montażu. Po stronie lewej widać wprowadzoną już do piasty dźwignię łopatkki wraz ze strzemieniem oraz czop — w początkowej fazie jego wprowadzania; po stronie prawej — pokazano sposób prowizorycznego przymocowania strzemienia oraz czopa (przed odwróceniem piasty)

umieszcza się piastę wirnika. Liny przymocowuje się do piasty za pośrednictwem specjalnych śrub z uchami 8. Umieszczenie piasty na kozłach daje możliwość wykonywania pod nią potrzebnych prac. W celu założenia dźwigni wraz ze strzemionami należy piastę ustawić w ten sposób, że jej dolny kołnierz znajduje się u góry. Aby uniknąć uszkodzenia śrub szpilkowych służących do przymocowania cylindra siłownika, przed odwróceniem piasty, należy wykręcić dwie, trzy lub cztery takie śruby, znajdujące się w tym jej miejscu, którym piasta opiera się przy jej odwracaniu.

Dźwignie, strzemiona oraz czopy montuje się w ustalonej kolejności. Przede wszystkim na placu montażowym montuje się dźwignie wraz ze strzemionami. Strzemię, w celu uniknięcia jego obracania się, z mocowuje się uprzednio z czopem dźwigni za pomocą prowizorycznej śruby 5 lub płytki zaciskowej 6, po czym dźwignię zmontowaną wraz ze strzemieniem zawieszają na dźwigu posiłkując się przy tym wydłużoną śrubą z uchem 7; następnie wprowadza się je do piasty zgodnie ze znakowaniem. Dźwignię należy przed tym wycentrować według otworu w piastce i za pomocą długiej śruby z uchem zawiesić na dolnym kołnierzu piasty, tak jak to pokazano na rysunku. Następnie posługując się montażowym przeciwciężarem 3, podwiesza się na dźwigu czop 4 i wprowadza go do otworu w dźwigni oraz do tulei 2. Ostatecznie czop w jego właściwe miejsce dosuwa się za pomocą stałych śrub 10 i przy użyciu prowizorycznych tulei 11. Tuleje te, sporządzone z rur, wyrównują grubość kołnierza łopatkki. Uprzednio zakłada się cylindryczne wkładki 9.

Wszystkie powierzchnie robocze przed wprowadzeniem czopa należy oczyścić, wymyć i pomarować olejem turbinowym. Przy wprowadzaniu czopa zaleca się obserwować przebieg tej operacji ze środka piasty. Dokładność przylegania dźwigni do czopa sprawdzamy za pomocą szczelinomierza poprzez pozostałe wolne otwory na śruby mocujące, przy czym grubość szczeliny powinna być mniejsza od 0,05 mm.

W takiej samej kolejności montuje się wszystkie zespoły pokręcające łopatkki. Następnie usuwa się prowizoryczne śruby 5 (lub płytki zaciskowe) oraz długie śruby z uchami 7, zaś czopy z mocowanymi z dźwigniami obraca się do położenia odpowiadającego całkowitemu zamknięciu łopatek. W celu uniknięcia uszkodzeń przy odwracaniu piasty przymocowuje się prowizorycznie strzemiona do kołnierza jej kadłuba w sposób pokazany w prawej części rys. 94.

W takim stanie piastę odwraca się o 180° , tj. do jej położenia roboczego i ustawia się ją na kozłach o wysokości dającej możliwość wprowadzenia tłoczyska aż do jego granicznego dolnego położenia oraz osadzenia na tym tłoczysku od dołu krzyżaka 10 (patrz rys. 92). Krzyżak ten ustawia się za pomocą czterech dźwigników w środku pomiędzy kozłami. Kozły przymocowuje się za pomocą śrub do płyty umieszczonej na placu montażowym oraz do piasty wirnika.

Montaż cylindra serwowatora, tłoczyska wraz z tłokiem oraz krzyżaka. Śruby szpilkowe uprzednio zdemontowane wkręca się z powrotem w piastę wirnika i ustawia na niej cylinder siłownika 31 (rys. 92), zgodnie ze znakowaniem fabrycznym. Przed tym oczyszcza się starannie powierzchnię kołnierzy i usuwa ewentualne wypukłości, sprawdza szczelność przylegania promieniowych kołków 27 znajdujących się na kołnierzu piasty, wreszcie skleja się i zakłada sznur gumowy. Nakrętki złącza kołnierzeвого należy dokręcać równomiernie w celu uniknięcia przekrzywienia cylindra na występie centrującym. Po ostatecznym dociągnięciu śrub pomiędzy

złącza kołnierzone nie powinna wchodzić blaszka szczelinomierza o grubości 0,03 mm.

Do cylindra serwowatoru opuszcza się następnie tłoczek 6 wraz z tłokiem 29. Części te uprzednio składa się razem nad specjalnym dołem znajdującym się na placu montażowym i z mocuje je za pomocą dwudzielnego pierścienia oporowego 30. Śruby łączące połówki pierścienia szepia się elektrycznie. Podczas opuszczania tłoczyska za pomocą dźwigu należy zwrócić szczególną uwagę, aby tłoczek nie przechylało się i nie zaczepiało o kołnierze. Wówczas gdy dolna część tłoczyska dochodzi do górnej powierzchni krzyżaka, ostatni centruje się i nasadza na tłoczek podnosząc go o 10 do 15 mm za pomocą dźwigników; dopiero po tym opuszcza się tłoczek w jego skrajne, dolne położenie. Jednocześnie usuwa się prowizorycznie z mocowania strzemion i wprowadza się ostatecznie do uch krzyżaka. Następnie zakłada się dwudzielny pierścień oporowy 7 i z mocuje go w krzyżaku, przy czym łby śrub ustala się szepiając je za pomocą elektrycznego spawania. Po tym usuwa się dźwigniki spod krzyżaka, ustawia się podparcie z bali drewnianych pod dolnym końcem tłoczyska i zwalnia się dźwig. Sworznie 11 łączące strzemiona z krzyżakiem zakłada się za pomocą specjalnego urządzenia (przeciwciężaru), przy czym otwory uzgadnia się przez odpowiednie pokręcanie czopów. Prowadnice krzyżaka 12 umocowuje się do kadłuba piasty; powinny być one w ten sposób wycentrowane w gniazdach krzyżaka, aby zapewnione było jednoczesne działanie obu prowadnic.

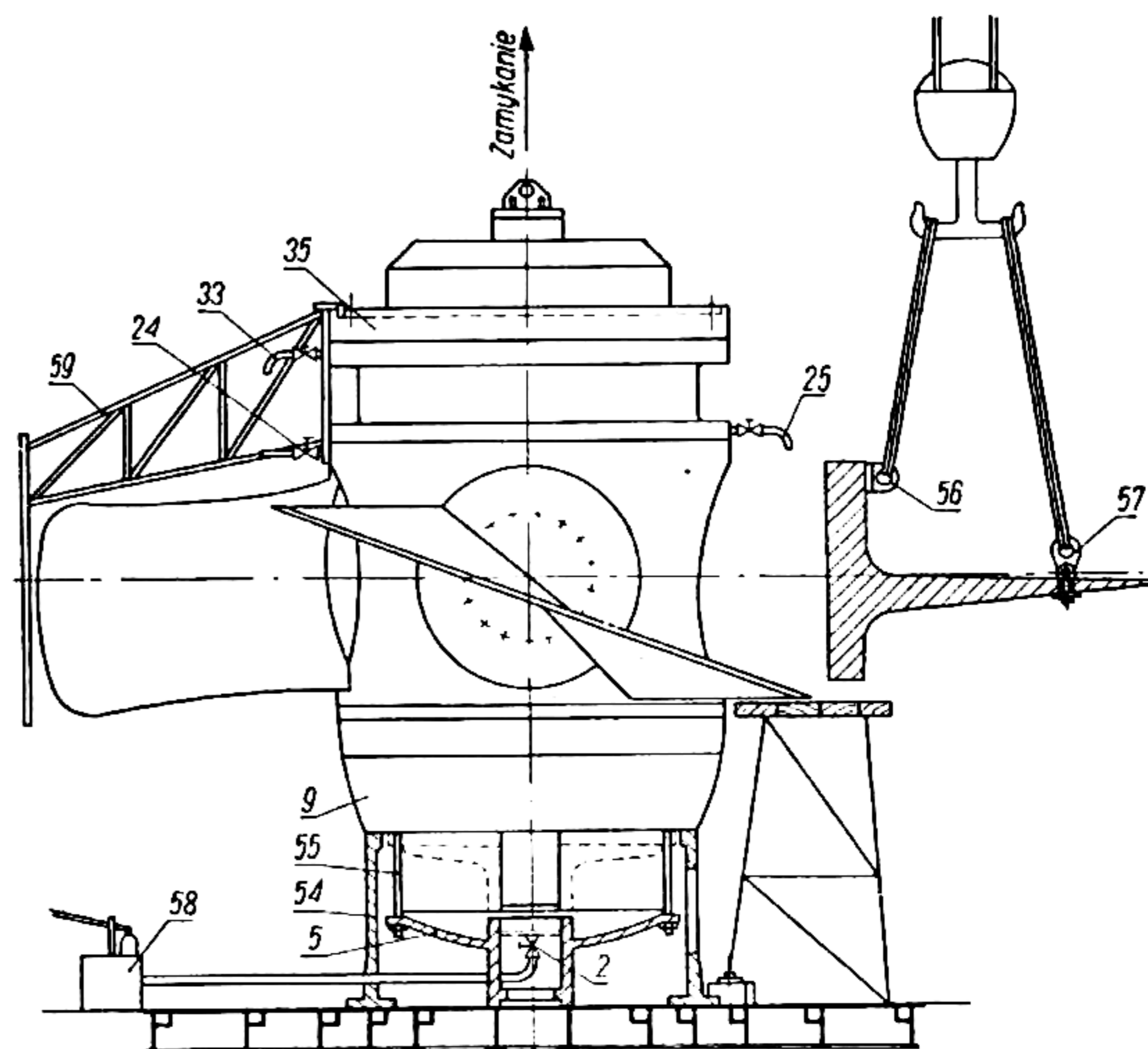
Jeżeli na placu montażowym nie mamy możliwości zmontowania tłoka wraz z tłoczkami (z powodu braku specjalnego dołu lub z innych przyczyn), to z początku do piasty i krzyżaka opuszcza się tłoczek, a następnie tłok. W celu prawidłowego usytuowania ostatniego należy przed tym umieścić na górnych powierzchniach tłoka i tłoczyska kontrolne rysy, ustalające wzajemne położenie kołka 28 (rysa na tłoczkach) oraz gniazda tego kołka (rysa na tłoku).

Montaż górnej części opływki oraz dna (rys. 92 i 95)¹⁾. Aby móc zmontować górną część opływki 9 oraz dno 5 należy podnieść do góry piastę wirnika. W tym celu do pokrywy cylindra siłownika 35 przymocowuje się (na placu montażowym) urządzenie do podnoszenia wirnika; dla przeprowadzenia tej operacji należy umieścić pokrywę na kozłach montażowych o wysokości 500 do 800 mm. Następnie pokrywę tę razem z urządzeniem do podnoszenia ustawia się na cylindrze (nie zakładając przy tym sznura gumowego oraz promieniowych kołków ustalających 32) i prowizorycznie przymocowuje ją do ostatniego, jak to pokazano na rys. 96, po czym wirnik za pomocą dźwigu podnosi się i ustawia obok płyty montażowej. Dalej przy użyciu innego dźwigu lub haka usuwa się kozły montażowe i zamiast nich umieszcza się specjalny montażowy pierścień wsporczy 54, wewnątrz którego należy umieścić dno 5. Uprzednio odejmuje się od dna jego pokrywę 3.

Na pierścieniu wsporczym ustawia się górną część opływki 9 i prowizo-

¹⁾ Oznaczenia na tych rysunkach są uzgodnione.

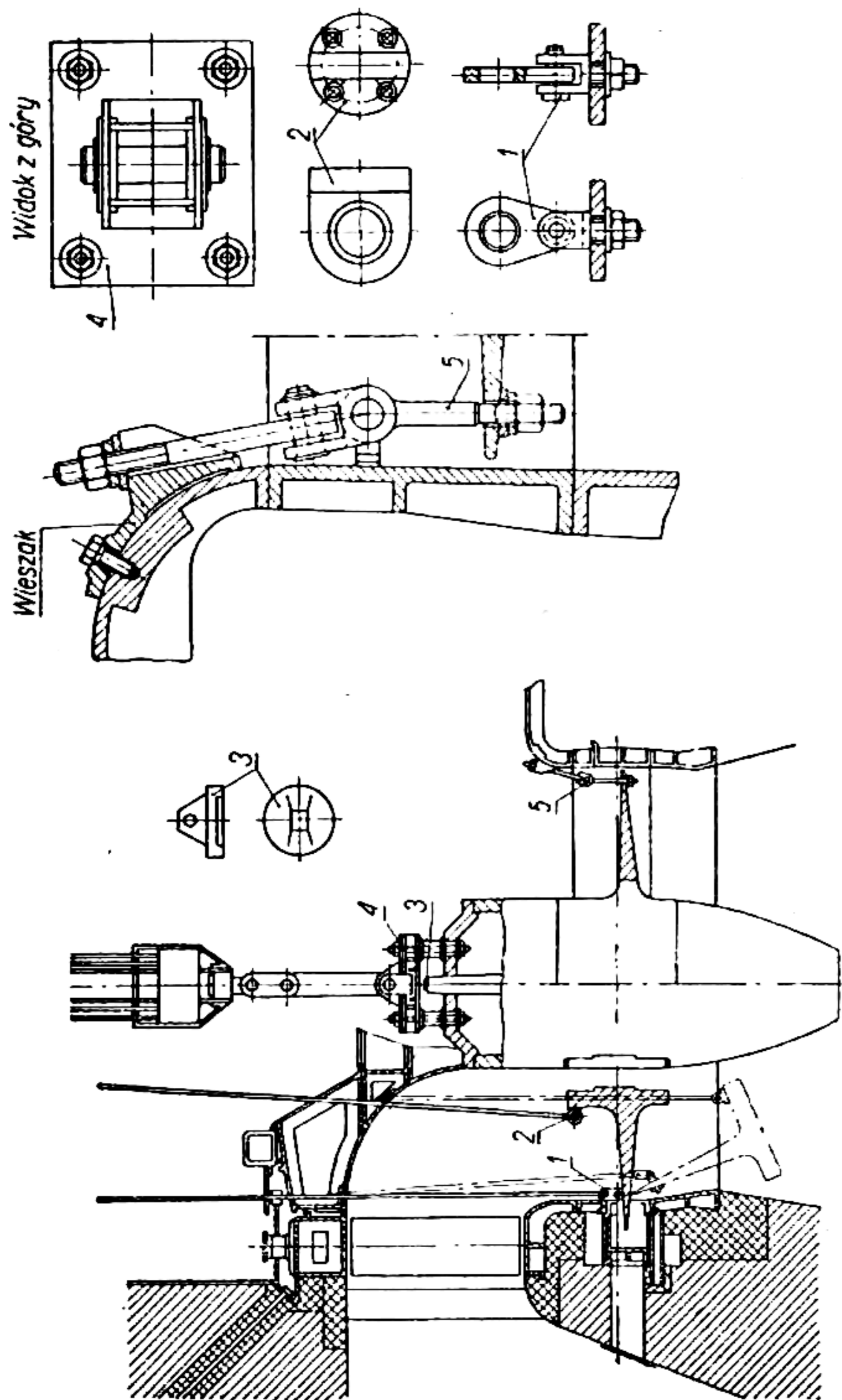
rycznie przymocowuje ją do niego za pomocą śrub. Następnie przy użyciu dźwigu opuszcza się piastę wirnika na tę część w taki sposób, aby śruby szpilkowe weszły w jej otwory, zaś pomiędzy kołnierzami pozostała szczelina o grubości 20 do 30 mm. Dalej górną część opływki odłącza się od pierścienia wsporczego, podciąga ją do piasty i do niej przymocowuje. Na występ piasty należy uprzednio założyć uszczelniający sznur gumowy 14. Skoro górną część opływki zostanie ostatecznie przymocowana, opuszcza się ostrożnie całą zmontowaną piastę na pierścień wsporczy i pierścień ten po-



Rys. 95. Wirnik turbiny Kaplana podczas montażu i prób szczelności (na placu montażowym)

rycznie przymocowuje się za pomocą śrub z omawianą częścią opływki. Następnie razem z pokrywą piasty zdejmuje się urządzenie do podnoszenia. Dalej dno 5 podnosi się za pomocą dźwigników i podciąga je do górnej części opływki, przy czym tłoczek odgrywa rolę prowadnicy. Przed podciągnięciem zakłada się uszczelniający gumowy sznur 8. Po ostatecznym przymocowaniu dna należy za pomocą szczelinomierza sprawdzić współśrodkowość jego ustawienia względem tłoczyska, czyli grubość szczeliny zawartej pomiędzy tłoczkami i tuleją dna.

Jakość montażu mechanizmu pokręcającego łopatki można sprawdzić przez przesuwanie tłoczyska siłownika. W tym celu na cylindrze siłowni-



Rys. 95. Urządzenie do montowania i demontowania wirników turbin Kaplan: 1 — śruba zawiasowa z uchem; 2 — ucho 3 — ucho do podnoszenia tłoczyska i drągów; 4 — urządzenie do podnoszenia i opuszczania wirnika (zawieszki); 5 — zawieszki do podwieszania wirnika w jego komorze

ka montuje się ponownie dno cylindra, lecz tym razem bez urządzenia do podnoszenia. Należy przy tym założyć promieniowe kołki ustalające 32. Łatwość i płynność ruchu tłoczyska oraz jego skrajne położenie kontrolujemy podnosząc tłoczysko za pomocą dźwigu przy użyciu specjalnego urządzenia dźwigowego 3 (rys. 96). Ruch tłoczyska ku dołowi powinien się odbywać pod wpływem własnego ciężaru oraz ciężaru wszystkich połączonych z nim części i to bez zatrzymań i szarpnięć. Po skontrolowaniu płynności ruchu tłoczyska należy je ustalić w jego skrajnym górnym położeniu (położenie odpowiadające zamkniętym łopatom wirnika) przez podłożenie stosownej poduszki pod jego dolną powierzchnię czołową.

Montaż uszczelnień i łopatek. Uszczelnienia łopatek 23 (rys. 92, szczegół A) dostarczane są na budowę w stanie zmontowanym. Przed wmontowaniem należy je starannie sprawdzić i przedmuchać za pomocą powietrza. Pierścienie sprężynujące, części gumowe oraz skórzane nie powinny wykazywać wgnieceń i innych wad. Uszczelnienia przymocowuje się w sposób równomierny i tak żeby nie występowały zbędne nadmierne naprężenia; wszystkie nakrętki powinny być ustalone za pomocą podkładek zabezpieczających. Aby śruby szpilkowe przymocowujące uszczelnienie do piasty wirnika nie zawadzały o łopatkę, należy sprawdzić ich długość za pomocą specjalnego przymiaru. W celu uniknięcia zanieczyszczenia uszczelnienia należy przystąpić do zakładania łopatki niezwłocznie po jego zmontowaniu.

Aby ułatwić założenie oraz umocowanie łopatki, olinowuje się ją przy użyciu specjalnych urządzeń montażowych: ucha 56 oraz dwóch uch zawiasowych 57 (rys. 95). Łopatkę powinna przy tym znajdować się w położeniu zupełnego zamknięcia, tj. w położeniu odpowiadającym położeniu uprzednio zmontowanych czopów. Przy takim położeniu zabezpieczone jest prawidłowe pokrywanie się otworów na okrągłe kołki ustalające 17 (rys. 92). Kołki te należy uprzednio umieścić w otworach znajdujących się w czopach.

Przy obwiązywaniu łopatki należy starać się, aby obrobiona czołowa powierzchnia jej kołnierza przyjęła położenie ściśle pionowe. Osiąga się to przez regulację długości lin lub ściągów.

Po podniesieniu łopatkę zbliża się ostrożnie do odpowiedniego otworu w kadłubie piasty, przy czym położenie łopatki reguluje się w taki sposób, aby jej kołnierz wszedł do tego otworu bez uderzenia. Jeżeli kołki ustalające nie wchodzi przy tym do swych gniazd znajdujących się w łopatce (wskutek nieznacznego odchylenia kąтового lub ze względu na różnicę w wysokości), to łopatkę należy dopóty ostrożnie kołysać (wykonujemy to ręcznie), dopóki gniazda w niej się znajdujące nie uzgodnią się z kołkami. Łopatkę powinna ściśle przylegać do czopa, co sprawdzamy za pomocą szczelinomierza poprzez otwory wolne od śrub; płytka szczelinomierza o grubości 0,03 mm nie powinna przechodzić przez szczelinę. Po ostatecznym umieszczeniu łopatki w jej właściwym miejscu, zakłada się i dociąga równomiernie wszystkie śruby. Jako następną montuje się łopatkę przeciwną.

Ze względu na to, że śruby łączące łopatkę z czopem narażone są na wielkie naprężenia, które w razie rozbiegania się turbiny dochodzą do 2000 kG/cm², pożądane jest aby dociąganie śrub było kontrolowane przez pomiar ich wydłużenia spowodowanego tym dociąganiem, podobnie jak to robimy przy dokręcaniu śrub złącz kołnierzowych wałów i co opisano w § 32. W tym celu wytwórnie turbin powinny dostarczać śruby z otworami przewierconymi na wylot oraz ze sworzniami pozwalającymi na pomiar żadanego wydłużenia za pomocą czujnika.

Po zmontowaniu wszystkich łopatek usuwa się podstawę tłoczyska, zaś otwór w dnie 5 zamyka się za pomocą pokrywy 3. Pomiedzy dnem i pokrywą należy umieścić uszczelkę preszpanową.

Badanie wirnika. Badanie wirnika na placu montażowym ma na celu sprawdzenie prawidłowości jego montażu, szczelności wszystkich złącz kołnierzowych oraz uszczelnień łopatek. Dla ułatwienia badania nie montuje się środkowej części opływki oraz jej części dolnej, co daje możliwość bezpośredniego obserwowania szczelności złącza dna.

Piastę wirnika napełnia się olejem turbinowym marki YT lub A, odpowiadającym wymaganiom wskazanym w § 52. Pierwsze napełnienie przeprowadza się pompą ciśnieniową. Olej dopływa przez zawór 2 znajdujący się w dnie (rys. 95), przy czym piastę jednocześnie odpowietrza się przez otwory znajdujące się w górnym kołnierzu jej kadłuba 25 oraz w górnym kołnierzu cylindra siłownika 33.

W celu uniknięcia znacznego wyciekania oleju zakłada się w obu tych otworach zamiast normalnie przewidzianych korków końcówki z zaworami zacpatrzonymi w krótkie skierowane ku dołowi rurki. Skoro w rurkach tych pojawi się olej, przerywa się dalsze działanie pompy i rurociąg tłoczny przelacza się na pompę ciśnieniową 58 o napędzie ręcznym lub elektrycznym, za pomocą której wytwarza się ciśnienie wewnątrz piasty. Dla pomiaru tego ciśnienia instaluje się manometr. Próbę szczelności uważamy wówczas za ukończoną, gdy po wytworzeniu ciśnienia w kadłubie piasty i jego utrzymaniu przez czas pewien, przekonamy się, że przez uszczelnienia i śruby mocujące łopatki oraz przez inne złącza nieruchome olej nie przecieka lub przecieka tylko w nieznacznych ilościach.

Próby przeprowadza się zgodnie z technicznymi warunkami wytwórni, które zazwyczaj odpowiadają następującym wymaganiom:

a) próbne ciśnienie oleju powinno być nie mniejsze od trzykrotnej wysokości słupa oleju równej pionowej odległości zasilacza olejowego od piasty wirnika;

b) poprzez uszczelnienie jednej łopatki przy temperaturze otaczającego ośrodka wynoszącej nie mniej niż +12°C, przeciekanie oleju nie powinno być większe od następujących wartości:

w wirnikach o średnicy od 1800 do 3000 mm	0,08 l/dobę
" " " " powyżej 3000 do 6000 mm	0,12 "
" " " " " 6000 mm	0,15 "

c) ciśnienie oleju przy próbie należy utrzymać przez 24 godziny;

d) niedopuszczalne jest przeciekanie oleju poprzez złącza nieruchome;

e) próby należy przeprowadzać przy zamkniętym pośrednim oraz otwartym położeniu łopatek.

Sprawdzenie pokrętności łopatek wykonuje się za pomocą pompy o napędzie elektrycznym, którą przyłącza się do zaworu 24 (rys. 95). Przez zawór ten wtłacza się następnie olej pod tłok serwomotoru (siłownika). Upřednio zamyka się zawór 25, zamyka się przy pomocy zaślepek otwory w tłoczysku, zaś do zaworu 33 przyłącza się rurociąg służący do odprowadzania oleju przeciekającego poprzez szczelinę pomiędzy tłokiem siłownika i głazdzą cylindra. Przy pewnym ciśnieniu w części cylindra pod tłokiem, ostatni przesuwa się ku górze i łopatki zamykają się. Następnie przez otwarcie zaworu 24 stopniowo zmniejszamy ciśnienie i wypuszczamy olej znajdujący się pod tłokiem. Przy tym tłok siłownika na skutek własnego ciężaru i połączonych z nim ruchomych części lub przy użyciu nieznacznej siły powinien opadać w sposób płynny, bez zatrzymywania się oraz bez szarpnięć i to aż do całkowitego otwarcia łopatek.

Podczas tych prób sprawdza się: szczelność kołnierzowych złącz cylindra; łatwość pokręcania łopatek; wielkość skoku tłoka siłownika oraz kąt obrotu łopatek. Łopatki można również pokręcać za pomocą powietrza sprężonego o ciśnieniu 4 do 5 at lub za pomocą dźwigu. W ostatnim przypadku liny zaczepiamy o śruby z uchami, które wkręca się w tłok siłownika. Należy wówczas zdjąć pokrywę jego cylindra.

Po wypróbowaniu wirnika pozostawia się go w położeniu zamknięcia, wypuszcza się olej z cylindra, demontuje się wszystkie zawory za wyjątkiem zaworu dolnego 2, wreszcie w otwory zakłada się korki.

Ustawienie wirnika w jego komorze (rys. 96). Po przymocowaniu urządzenia do podnoszenia 4 do pokrywy siłownika, ustawia się ją na cylindrze ostatniego i przymocowuje do niego nie zakładając przy tym uszczelki gumowej (sznura). Jednocześnie montuje się i przypawa okładzinę górnej części opływki. Również w tym czasie zakłada się w odpowiednie otwory łopatek specjalne zawiesia 5, służące do ustawienia wirnika w jego komorze. W celu uniemożliwienia podczas transportu wirnika obracania się tych zawiesi, przymocowuje się je do łopatek w sposób wskazany na rys. 99.

W przypadku jakichkolwiek wątpliwości co do prawidłowości wymiarów komory oraz średnicy wirnika, należy przed opuszczeniem ostatniego sprawdzić promień zewnętrznej krawędzi łopatek. Posługujemy się w tym celu przenośnym urządzeniem 59 (rys. 95), które montuje się na pokrywie cylindra lub na tłoczysku siłownika. Urządzenie to sporządza się na miejscu. Przed przeniesieniem wirnika do jego komory, należy przygotować oraz sprawdzić na miejscu (według dolnego pierścienia kierownicy) wsporniki służące do zawieszenia wirnika oraz usunąć następnie tymczasowy pomost montażowy zainstalowany w komorze.

Do wirnika, bezpośrednio przed jego opuszczeniem, przymocowuje się (na placu montażowym) środkową oraz dolną część opływki 1 i 4 (rys. 92). W tym celu części te upřednio zmontowuje się ze sobą, zaś przymocowanie

realizuje się w taki sam sposób, jak w przypadku górnej części opływki 9, tj. podciąga się je do wirnika za pomocą długich prowizorycznych śrub lub śrub stałych.

Po ostatecznym podciągnięciu omawianych części zamocowuje się nakrętki z sobą posługując się elementami ustalającymi oraz elektrycznym spawaniem. Operację tę można wykonać również po umieszczeniu wirnika w jego komorze, dzięki czemu ulega skróceniu czas, w ciągu którego zawieszony jest on na dźwigu. Następnie wirnik w stanie całkowicie zmontowanym przenosi się za pomocą dźwigu do komory. Łopatki powinny znajdować się przy tym w położeniu zamkniętym.

Po opuszczeniu wirnika montuje się na dolnym pierścieniu kierownicy wszystkie wsporniki służące do podwieszenia wirnika. Wysokość umieszczenia wirnika wyznacza się przez pomiar szerokości szczelin ograniczonych przez łopatki oraz przez kulistą część komory; szerokości te powinny być jednakowe. Znalezioną w ten sposób wysokość umieszczenia wirnika ustala się przez pomiar rzeczywistej rzędnej pokrywy serwowołu za pomocą niwelatora, lub przez pomiar pionowej odległości pomiędzy pokrywą i dolnym pierścieniem kierownicy przy użyciu naciągniętej poziomo struny.

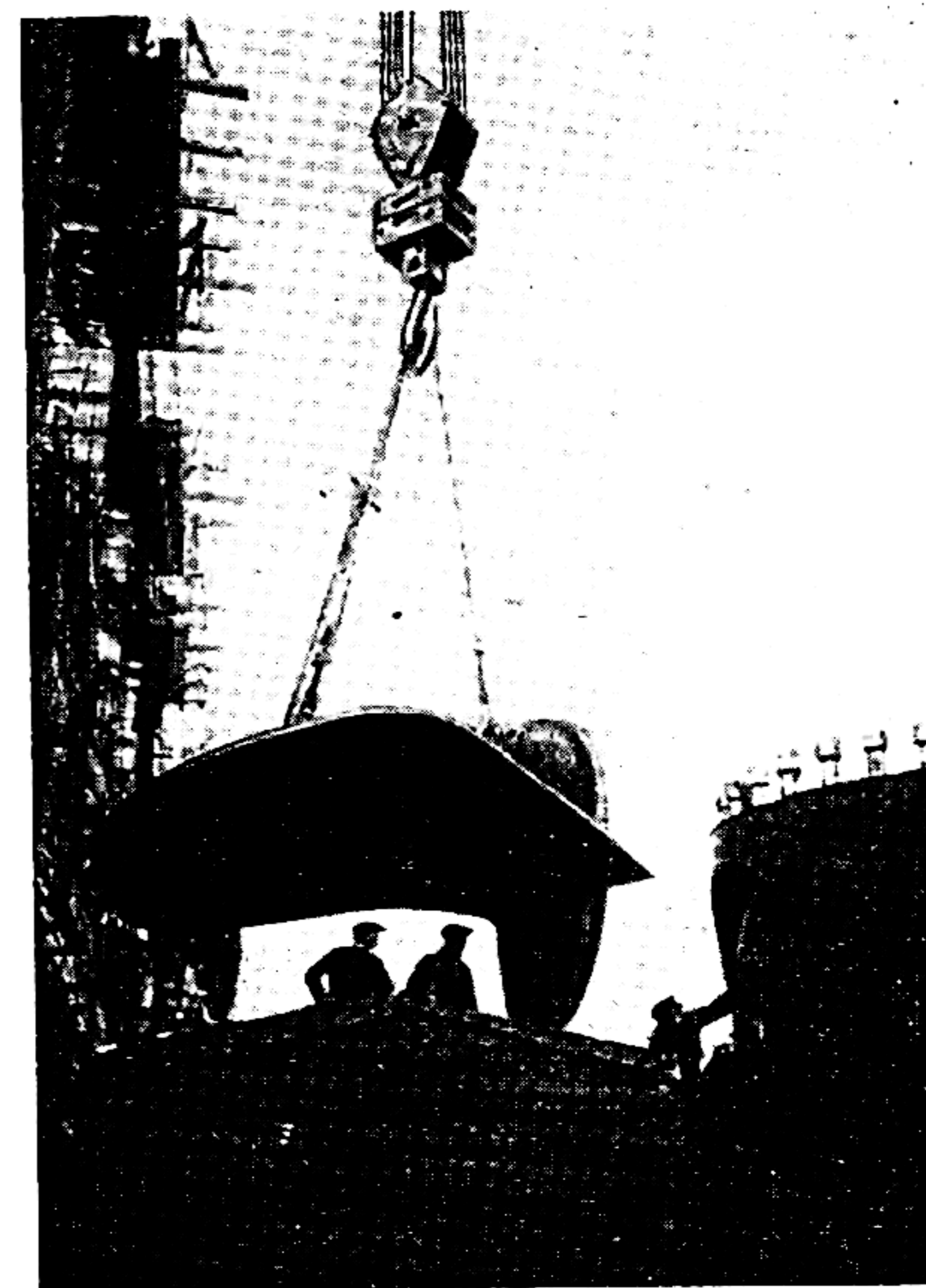
Należy nadmienić, że rzeczywista wysokość umieszczenia wirnika może się różnić od wysokości zaprojektowanej, a to wskutek możliwych odchyłań przy wytaczaniu w wytwórni części kulistej komory, odchyłań liniowych przy obróbce wirnika oraz przy montowaniu części fundamentowych, wreszcie wskutek innych odchyłań. Przy montowaniu prądnicy należy uwzględnić różnicę pomiędzy zaprojektowaną i rzeczywistą wysokością umieszczenia wirnika.

Aby zawiesić wirnik na wspornikach, łopatki jego należy doprowadzić do pozycji zamknięcia. W tym celu do cylindra siłownika doprowadzamy olej z pompy lub też poddajemy jednocześnie wszystkie łopatki działaniu dźwigu oraz zawiesi przymocowanych przy wyjściowych krawędziach łopatek. Ostatni sposób może być stosowany tylko w tych konstrukcjach, w których każda łopaska zawieszona jest na wsporniku za pomocą dwóch zawiesi.

Praktykowane niekiedy opuszczanie wirnika z łopatkami zamkniętymi oraz zawieszanie go na wspornikach na projektowanej wysokości, jakkolwiek skraca czas trwania operacji, jednak może spowodować niejednakową szerokość szczelin lub uniemożliwić całkowite otwarcie łopatek, co wychodzi na jaw dopiero w końcowym stadium montażu. W takich przypadkach zmuszeni jesteśmy do ponownego ustawiania wirnika lub też musimy odpowiednio ścieńczyć zewnętrzne krawędzie łopatek, czego można dokonać jedynie wówczas, gdy komora wirnika zaopatrzona jest w człon odejmowalny.

Wirnik w jego komorze ustawia się poniżej projektowanego poziomu o wysokość równą wysokości centrującego występu wału powiększoną co najmniej o 3 do 4 mm. W ten sposób bowiem zabezpieczona jest możliwość swobodnego wycentrowania kołnierza wału prądnicy względem wału turbiny

a oprócz tego wyrównuje się możliwe błędy przy montażu prądnicy. Wirnik w stanie zawieszonym centruje się uprzednio według szczelin utworzonych przez łopatki i komorę oraz ustawia się go do poziomu. Wszystkie te ope-



Rys. 97. Montaż łopatki wirnika turbiny Kaplana (średnica wirnika 9 m)

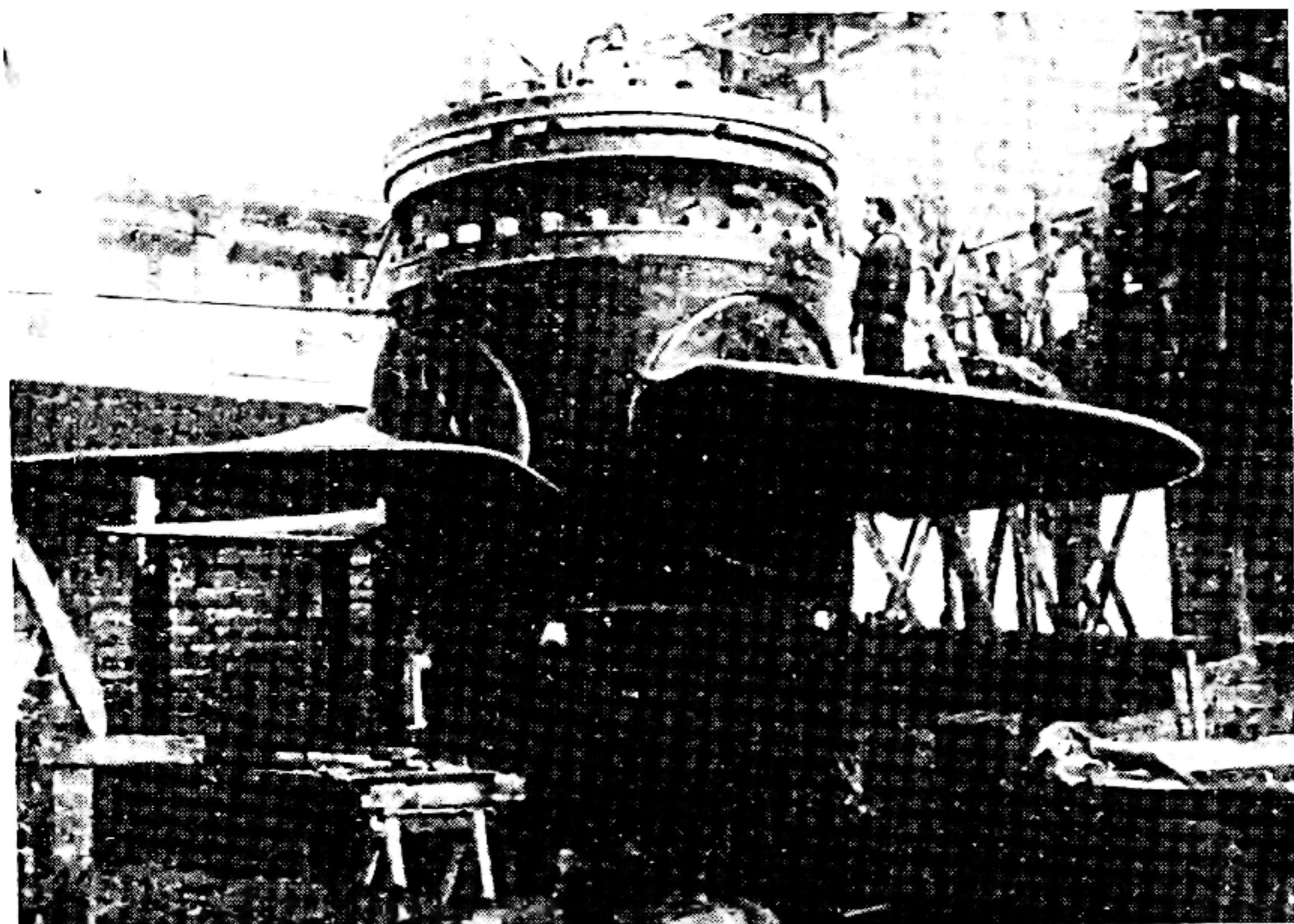
racje przeprowadza się przez regulowanie długości zawiesi oraz za pomocą klinów umieszczonych pomiędzy komorą i łopatkami. Przy sprawdzaniu ustawienia do poziomu posługujemy się poziomnicą, którą ustawiamy na kołnierzu cylindra. W tablicach 47 i 48 podano dopuszczalne odchyłki szerokości szczelin oraz wszystkie pozostałe tolerancje montażowe.

Pokrywę cylindra po opuszczeniu wirnika do komory i po jego zawieszeniu na wspornikach odłącza się i przenosi ją na plac montażowy w celu usunięcia urządzenia do podnoszenia oraz w celu zamocowania jej z wałem turbiny.

Na rys. 97 pokazano sposób olinowania oraz zakładanie łopatki do piasty wirnika, którego średnica w danym przypadku wynosi 9 m, zaś na

rys. 98 — wirnik podczas montażu umieszczony na kozłach montażowych. Rys. 99 przedstawia wreszcie wirnik w stanie zmontowanym, zawieszony na dźwigu w celu przetransportowania go do jego komory. Na łopatkach widać umocowane urządzenie do podnoszenia.

Po usunięciu wsporników i po ukończeniu sprzęgania wałów (§ 32), likwiduje się potrzebne dla montażu otwory w łopatkach. W tym celu posługujemy się specjalnymi zaślepkami, wykonanymi ze stali nierdzewnej lub węglowej. Zaśleпки te ściąga się za pomocą śruby umieszczonej w ich środku (rys. 92, szczegół B).

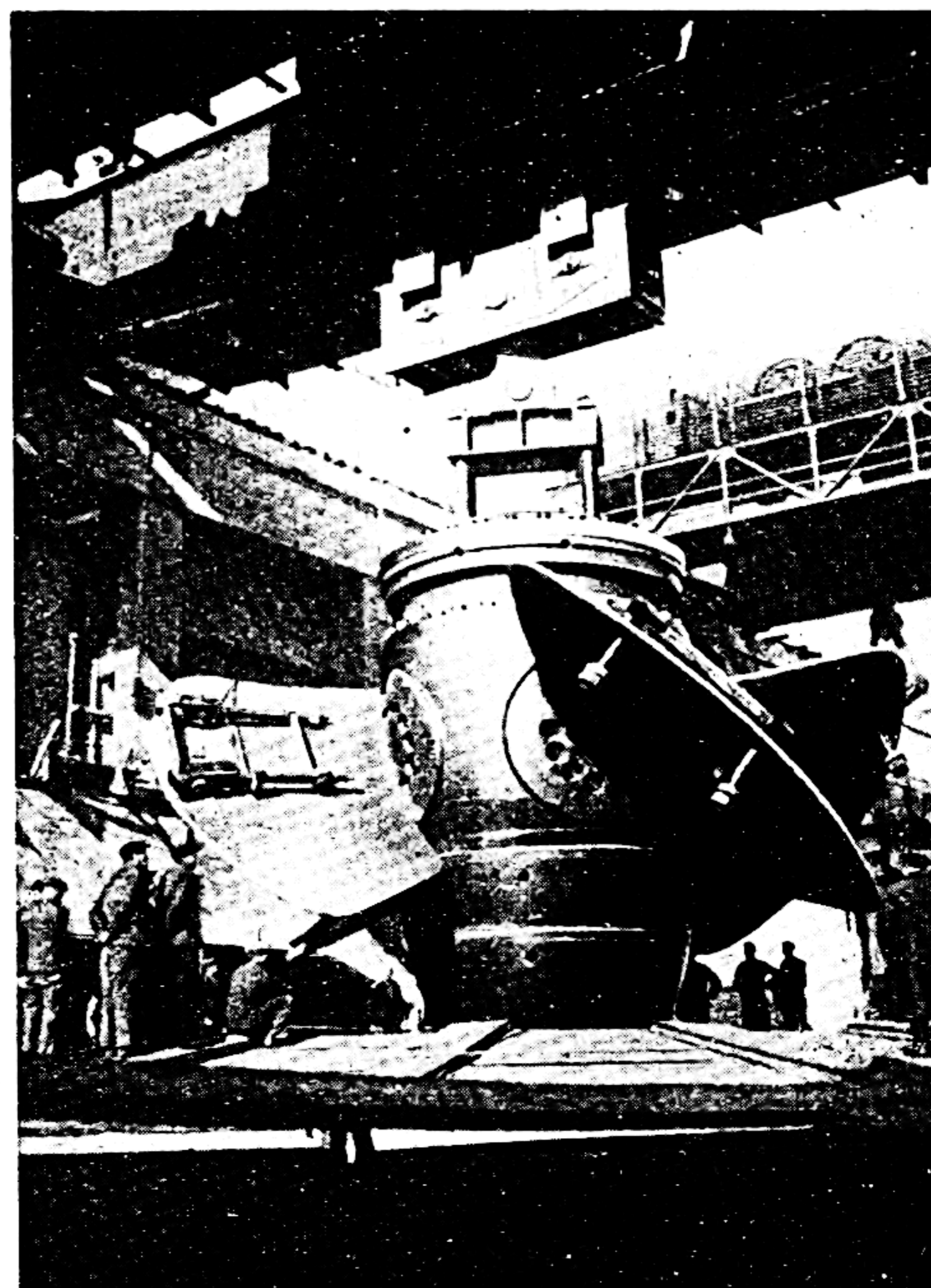


Rys. 98. Wirnik turbiny Kaplana podczas montażu na placu montażowym. Wirnik oparty jest na kozłach montażowych

Wytoczenie na śrubę przykrywa się pokrywą wykonaną ze stali węglowej i pokrywę tę przypawa się do zaślepki. Pokrywa jednocześnie zapobiega odkręcaniu się śruby.

W niektórych starych konstrukcjach zaślepki były przypawane do łopatki. Jednak w przypadku stali nierdzewnej, wskutek zbyt małej wytrzymałości złącza spawanego (w stanie zimnym, po ostygnięciu) zaślepki odrywały się podczas eksploatacji turbiny, co powodowało powstawanie wyżerów kawilacyjnych. Wyżery te tworzyły się na niepracującej powierzchni łopatki i umiejscowione były pomiędzy otworami montażowymi a krawędzią wyjściową łopatki.

Otwory przeznaczone na pomieszczenie łbów śrub łączących łopatkę z piastą wirnika, likwiduje się za pomocą kołków sporządzonych z suchego i dostatecznie wytrzymałego drewna.



Rys. 99. Transport wirnika turbiny Kaplana do komory wirnika za pomocą suwnicy

B. Montaż i ustawianie wirnika zaopatrzonego w pierścienie ustalające

Montaż takich wirników (rys. 91) nie wymaga odwracania ich piasty o 180° . Przed montażem należy sprawdzić czy pierścienie ustalające przylegają należące do odpowiednich powierzchni. W tym celu kadłub piasty 14 wirnika odwraca się na bok o 90° , tak aby jedno z gniazd łopatek znalazło się u góry. Odwracanie wykonuje się na podłodze sporządzonej z podkładów kolejowych oraz z belek. Czołową obrobioną powierzchnię gniazda należy przy tym ustawić do poziomu, po czym pierścień ustalający 6 wprowadza się do kadłuba piasty (rys. 100) i za pomocą szczelinomierza sprawdza się czy pierścień ten dobrze przylega do odpowiedniej powierzchni.



Rys. 100. Osadzanie pierścienia ustalającego w płaszczyźnie wirnika turbiny Kaplana

O ile stwierdzimy lokalne szczeliny, o grubości powyżej $0,04$ mm, to powierzchnie należy doskrobać aż do osiągnięcia ich dokładnego przylegania. Najlepiej jest skrobać kadłub piasty nie zaś pierścień, gdyż wówczas nie zachodzi potrzeba odwracania pierścienia. Miejsce, które należy doskrobać wyznacza się za pomocą śladów odpowiedniej farby, którą powleka się pierścień. W podobny sposób sprawdza się wszystkie pozostałe otwory, przy czym piastę odwraca się w tym celu kolejno o 90° . W § 15 opisano metodę tego odwracania.

Po sprawdzeniu wszystkich czterech pierścieni ustalających przystępuje się do montowania wirnika. Kadłub jego piasty odwraca się do jego normalnej pozycji i ustawia go na przygotowanych uprzednio kozłach montażowych. Pomiedzy kozłami na dźwignikach lub na podłodze sporządzonej z belek kładziemy krzyżak 2 (rys. 91) zmontowany wraz ze strzemionami 7. W celu uniknięcia

obracania się ostatnich, ustala się ich położenie za pomocą śrub 3. Śruby te później usuwa się.

Tłoczyisko serwowatora 12 wprowadza się na jego miejsce w sposób analogiczny do wyżej opisanego, przy czym pierścień skórzany 4 (o ile piasta jest w takowy zaopatrzona) zakłada się przed podniesieniem krzyżaka. Krzyżak podnosimy za pomocą dźwigników.

Po założeniu pierścienia oporowego 1 tłoczyisko zostaje podniesione i przez podparcie dolnej powierzchni czołowej tłoczyiska ustala się je w takim położeniu, przy którym środek górnego otworu w strzemieniu znajduje się na jednej wysokości z osią czopa łopatki. Za pomocą specjalnego urządzenia montażowego (przeciwwagi) zakłada się następnie kolejno czopy łopatek 9 i to w ten sposób, aby część przednia czopów weszła w łożyska (tuleje) znajdujące się w kadłubie piasty, zaś czopy dźwigni (boczne) — w otwory w strzemionach. Przy tym zakładaniu czop łopatki należy pokręcać aż do uzgodnienia czopa bocznego z otworem w strzemieniu. Pierścień ustalający, który zakłada się za pomocą dźwigu, olinowuje się stosując w tym celu dwie śruby z uchami, umieszczone poziomo, oraz pałaki. Pałaki umocowuje się na szpilkowych śrubach uszczelnienia; powinny one przyciskać liny do górnej części pierścienia, tak aby przyjął on pozycję poziomą. Pierścień ustalający nawleka się na dwie długie śruby szpilkowe, wkręcone uprzednio w kadłub piasty na jednej linii pionowej i po tych śrubach przesuwają się go na właściwe miejsce. Następnie pierścień przymocowuje się za pomocą śrub 5. Stopień dociągnięcia śrub kontroluje się mierząc grubość szczeliny poprzez wolne otwory. Blaszka szczelinomierza o grubości $0,03$ mm nie powinna przy tym przechodzić.

Pierścień stalowy uszczelnienia 13 zakłada się na jego miejsce również tak, jak pierścień ustalający, tj. na prowizorycznych długich śrubach szpilkowych i przymocowuje się go za pomocą śrub. Montaż uszczelnień, łopatek i również pozostałych części oraz wypróbowanie i ustawienie wirnika w jego komorze przeprowadza się tak, jak w przypadku wirnika nie zaopatrzonego w pierścienie ustalające.

C. Montaż wirnika posiadającego łopatki stanowiące jedną całość z czopami

Wirnik rozpatrywanej konstrukcji (rys. 93) zazwyczaj nie waży więcej niż 40 T i z tego powodu dostarczany jest on na plac montażowy w stanie zmontowanym jednak bez pokrywy 13, gdyż ta przeważnie stanowi jedną całość z wałem. Jeżeli wymiary wirnika są większe od gabarytów kolejowych, to w tym przypadku wirnik przesyła się na budowę ze zdemontowaną opływką 1 oraz ze zdemontowanymi przeciwległymi (lub wszystkimi) łopatkami.

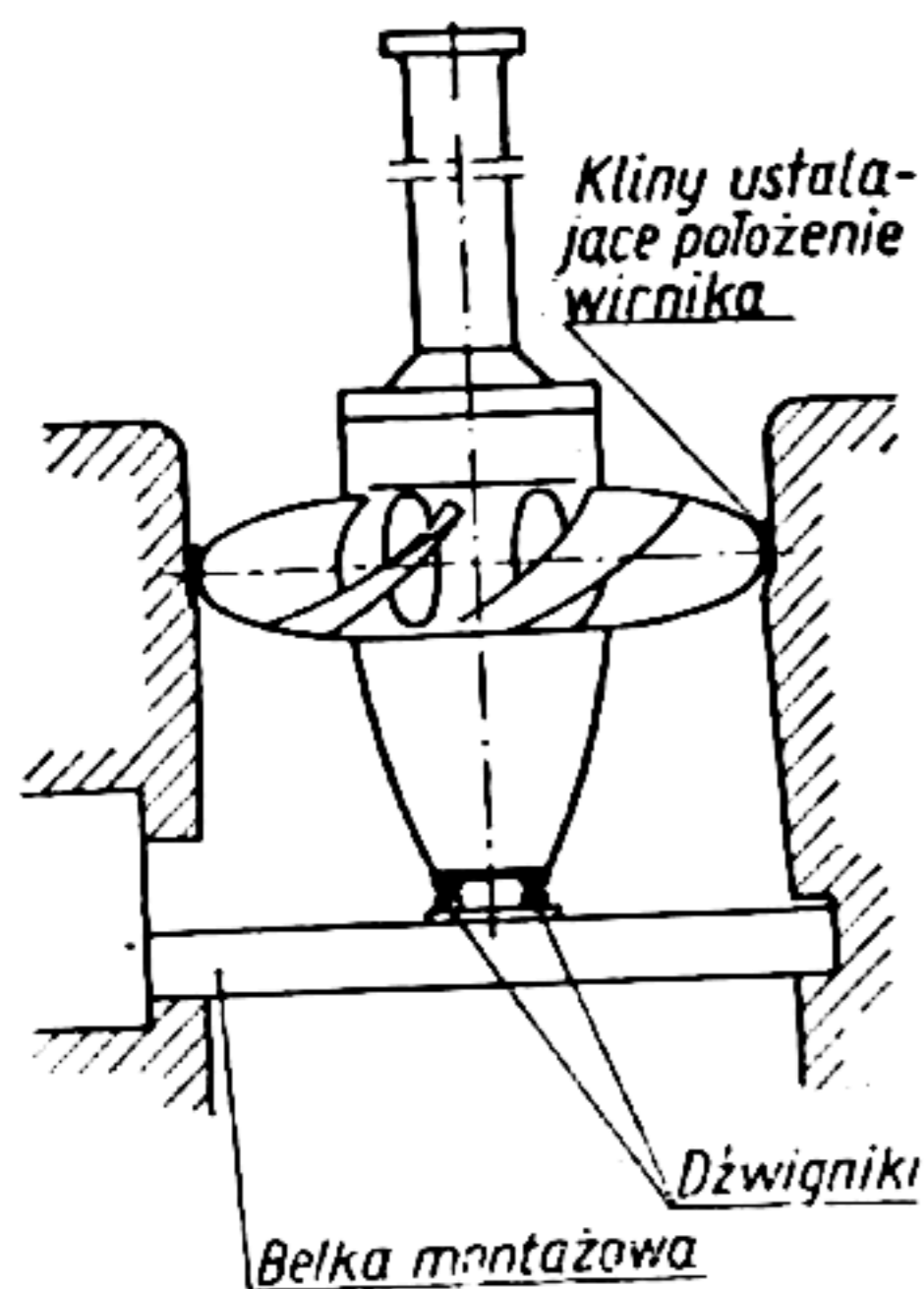
Rozpatrzmy przebieg montażu wirnika w przypadku, gdy na budowę został on dostarczony ze zdemontowanymi: opływką i dwoma łopatkami.

Wirnik przy przenoszeniu za pomocą dźwigu, zawieszają się stosując w tym celu specjalne ucho, które przymocowuje się do cylindra piasty.

Następnie wirnik ustawia się na placu montażowym na kozłach. Kozły przymocowuje się do kołnierza dna 2 oraz do płyty montażowej. Usuwa się przy tym założone w wytwórni ochronne drewniane pokrycie cylindra siłownika oraz uszczelnienia łopatek, zaś cylinder i mechanizm pokręcający łopatki oczyszcza się starannie.

Łopatkę obwiązują się używając w tym celu specjalnej śruby z uchem oraz zwór, do których przymocowuje się ściągi. Za pomocą tych ściągów

ustawia się czopy łopatek według poziomu. Ponieważ w przypadku, gdy wirnik zaopatrzony jest w sześć łopatek nakrywają się one wzajemnie przy ich całkowitym zamknięciu, więc obwiązują się je i zakłada nie w położeniu poziomym, lecz przy nachyleniu względem poziomu pod pewnym kątem. Aby uniknąć twórczenia się zadr, wprowadza się łopatki na ich miejsca unikając stosowania dużych sił. W tym celu, po swobodnym doprowadzeniu czopa łopatki do brązowej tulei 7, należy zluźnić ściągi, tak aby łopatka zawieszona była na dźwigu tylko na jednym uchu, które umieszczone jest w środku jej ciężkości a następnie przez lekkie ręczne pokręcanie łopatki wprowadza się czop do tulei i do dźwigni. Doprowadzenie łopatki aż do pozycji ścisłego jej zetknięcia się z dźwignią przeprowadza się przez równomierne dociągnięcie stałych śrub 10.



Rys. 101. Sposób ustawiania wirnika turbiny Kaplana w jego komorze na specjalnej belce montażowej

W omawianym rozwiązaniu konstrukcyjnym demontuje się łopatki za pomocą śrub odciągających. W celu uzyskania większej siły stosuje się śruby o gwincie dwuzwojnym.

Uszczelnienie wirnika sprawdza się tak jak to zostało poprzednio omówione lecz przy odjętej pokrywie siłownika.

Wirnik ustawia się i podwiesza w jego komorze w sposób analogiczny do opisanego, a w pewnych wykonaniach konstrukcyjnych opiera się go na specjalnej belce montażowej, na której uprzednio ustawiono cztery dźwigniki. Położenie wirnika ustala się przy tym za pomocą klinów (rys. 101). Belkę zakłada się z niszy znajdującej się w rurze ssawnej. Po usunięciu belki niszę tę zamyka się za pomocą zaślepek.

Należy zauważyć, że niekiedy dla zawieszenia w komorze stosunkowo lekkiego i niewielkiego wirnika, stosuje się dwudzielny pierścień oporowy,

który dźwiga na sobie wirnik zmontowany wraz z wałem, zawieszony na kadłubie łożyska. W tym przypadku na placu montażowym montuje się wirnik wraz z wałem, pokrywą turbiny i łożyskiem, na którym opiera się pierścień oporowy, po czym całość za pomocą dźwigu opuszcza się na miejsce ustawienia.

2. Wał turbiny oraz drągi

Wał turbiny 38 (rys. 92) łączy się, jak opisano wyżej, z pokrywą cylindra siłownika wirnika 35. Połączenie to wykonuje się na kozłach umieszczonych na placu montażowym. Przed połączeniem wału turbiny z pokrywą, kołnierze ich należy sprawdzić za pomocą płyty lub liniału wzorcowego. Wyrównuje się przy tym starannie wszystkie wypukłości i rysy, a także brzegi wszystkich otworów na śruby. Położenie kołnierza wału powinno być uzgodnione ze znaczkami znajdującymi się na kołnierzu pokrywy. W złącze kołnierzowe zakłada się uszczelniający sznur gumowy. Śruby pasowane zakłada się od dołu za pomocą dźwigników i zgodnie z ich numeracją. Śruby powinny być powleczone smarem rtęciowym. Po podciągnięciu śrub sprawdza się szczelność dolegania kołnierzy. Sprawdzenie to przeprowadza się za pomocą szczelinomierza poprzez otwory nie zajęte przez śruby. Szczelinomierz o grubości 0,03 mm nie powinien przechodzić przez szczelinę oraz nie powinien się w niej zakleszczać. Po takim sprawdzeniu zakłada się pozostałe śruby i mocuje się je ostatecznie. Pomiar siły, z którą śruby dociągamy można wykonać w sposób opisany w § 32. Po dokręceniu nakrętek, szczipia się je za pomocą elektryczności w celu uniknięcia ich samoodkręcania.

Na tłoczysku siłownika montuje się dolny drąg 39, zgodnie z rysami naniesionymi w wytwórni. Przed połączeniem drąga z tłoczyskiem, kołnierze ich sprawdza się za pomocą płyty wzorcowej, zakłada się podkładkę sporządzoną z cienkiego papieru i kołnierze te ściąga się ostatecznie (patrz § 36).

Wał, zmontowany łącznie z pokrywą cylindra, obwiązują się za pomocą specjalnego urządzenia montażowego i opuszcza się go na cylinder siłownika. Podczas tego opuszczania wał kierowany jest przez drąg. Na centrujący występ pokrywy, przed opuszczeniem wału, zakłada się sznur gumowy i starannie oczyszcza się ustalające kołki promieniowe 32. Śruby przy umocowywaniu pokrywy powinny być równomiernie dociągane. Ostatecznie dociąga się je za pomocą klucza elektrycznego lub pneumatycznego. Szczelność dolegania pokrywy do cylindra siłownika sprawdza się za pomocą szczelinomierza. Niedopuszczalne są szczeliny pomiędzy kołnierzami oraz kołkami promieniowymi i ich gniazdami.

Po zmontowaniu wału turbiny, środkowe otwory w wale i drągu zaślepią się za pomocą prowizorycznych zaślepek, zaś kołnierz wału i jego czop poprzeczny powleka się cienką warstwą wazeliny oraz czystym, gęstym

brezentem. Następnie należy założyć ochronne okładziny cylindra, pokrywy cylindra oraz wału i szepić łby śrub za pomocą elektrycznego spawania.

3. Pokrywa turbiny

Pokrywy wielkich turbin wodnych składają się zazwyczaj z dwóch lub trzech pierścieni (pasów), z których każdy składa się z kolei z poszczególnych członów. Pokrywy dostarczane są w stanie zdemontowanym i montuje się je na placu montażowym. Człony każdego pasa układa się na tym placu, oczyszcza się ich złącza, sprawdza otwory na śruby pasowane i na stożkowe kołki ustalające, kontroluje się oznaczenia montażowe a następnie przystępuje się do montowania członów tworząc z nich pasy o kształcie pierścieni. Przede wszystkim za pomocą luźnych śrub zbliża się do siebie poszczególne człony i przy użyciu klinów oraz podkładek reguluje się wysokość ich ustawienia aż do uzgodnienia powierzchni wytoczonych. Następnie wbija się kołki ustalające lub śruby pasowane i zakłada się wszystkie pozostałe śruby, po czym dane złącze ostatecznie mocuje się (patrz § 16).

W opisany sposób montuje się poszczególne dwa lub trzy pasy pokrywy. Dolny pas 40 (rys. 92) po jego zmontowaniu opuszcza się na pokrywę cylindra siłownika wirnika. W przypadku gdy w stanie zmontowanym pas ten nie przechodzi przez kołnierz wału turbinowego, opuszcza się go w dwóch poszczególnych częściach a następnie części te składa się razem na pokrywie cylindra wirnika. Górny pas 49 oraz pas średni 46 składa się z sobą na placu montażowym i razem opuszcza je na górny pierścień kierownicy 42. Uprzednio na pierścieniu tym umieszcza się uszczelkę z płótna żaglowego, przepojoną obficie białą ołowiową lub cynkową. Połączenie pasów oraz ustawienie całej pokrywy na górnym pierścieniu kierownicy przeprowadza się zgodnie z rysami naniesionymi w wytwórni, oznaczającymi osie X oraz Y. W celu opuszczenia pokrywy turbiny na jej miejsce wiąże się ją w stanie zmontowanym za pomocą długich lin biorąc pod uwagę wysokość wału turbiny.

Przed ostatecznym umieszczeniem pokrywy na uszczelce, poleca się sprawdzić zgodność jej otworów ze śrubami szpilkowymi oraz orientacyjne wycentrowanie pokrywy według wału.

Dolny pas pokrywy podciągamy i łączymy z pasem środkowym po sprzęgnięciu wału turbiny z wałem prądnicy, a następnie centrujemy go według tego wału.

4. Wał pośredni

Jeżeli wał turbiny składa się z dwóch części, tj. z właściwego wału turbiny i z wału pośredniego, to ostatni, w celu ułatwienia montażu, montuje się po opuszczeniu pokrywy turbiny na jej miejsce. W ten sposób wyklucza

się potrzebę stosowania nadmiernie długich lin do obwiązywania pokrywy. W pewnych przypadkach wysięg dźwigu nie zezwala na opuszczenie pokrywy przy zmontowanym wale pośrednim.

Przed ustawieniem wału pośredniego na wale turbiny kołnierze obu sprawdza się starannie i oczyszcza, zakłada się sznur uszczelniający sporządzony z gumy odpornej na działanie oleju, po czym wał pośredni za pomocą urządzenia montażowego uwiązuje się za górny kołnierz, a następnie przy użyciu dźwigu opuszcza się na wał turbiny.

Jeżeli wyciąg dźwigu pozwala, z początku montuje się drąg pośredni a następnie wał pośredni. W przeciwnym przypadku drąg wprowadza się uprzednio do wału pośredniego i łącznie z nim przysuwa go do wału turbiny, przy czym najprzód łączy się drąg, a następnie wały. Dla prowadzenia wału pośredniego zakłada się na kołnierzach wałów dwie śruby pasowane. Poleca się używać w tym celu śrub o bardziej luźnym pasowaniu. Śruby dociąga się z pomostu, który buduje się naokoło połączenia kołnierzowego.

5. Kierownica

W skład kierownicy wchodzi następujące zasadnicze części (rys. 92): dolny pierścień kierownicy 36, górny pierścień kierownicy 42, łopatki kierownicze 41, łożyska 47, dźwignie 48, łoże pierścienia regulacyjnego 52, pierścień regulacyjny 51, strzemiona 50, siłowniki z tłoczkami 53.

Przy montowaniu kierownicy wykorzystuje się istniejące podesty montażowe, umieszczone na poziomach dolnego i górnego pierścienia kierownicy, albo buduje się nowe podesty.

W turbinach Kaplana, w których górny pierścień kierownicy stanowi jedną całość z pokrywą turbiny, montaż kierownicy nie różni się zasadniczo od montażu kierownicy turbin Francisa (patrz § 21).

W wielkich turbinach Kaplana, w których górny pierścień kierownicy stanowi odrębną część i zabetonowuje się go, montaż kierownicy różni się nieco od montażu kierownicy turbin Francisa. Różnice te polegają na tym, że dolny pierścień kierownicy i jej pierścień górny wchodzące w skład części fundamentowych montuje się i zabetonowuje razem z nimi.

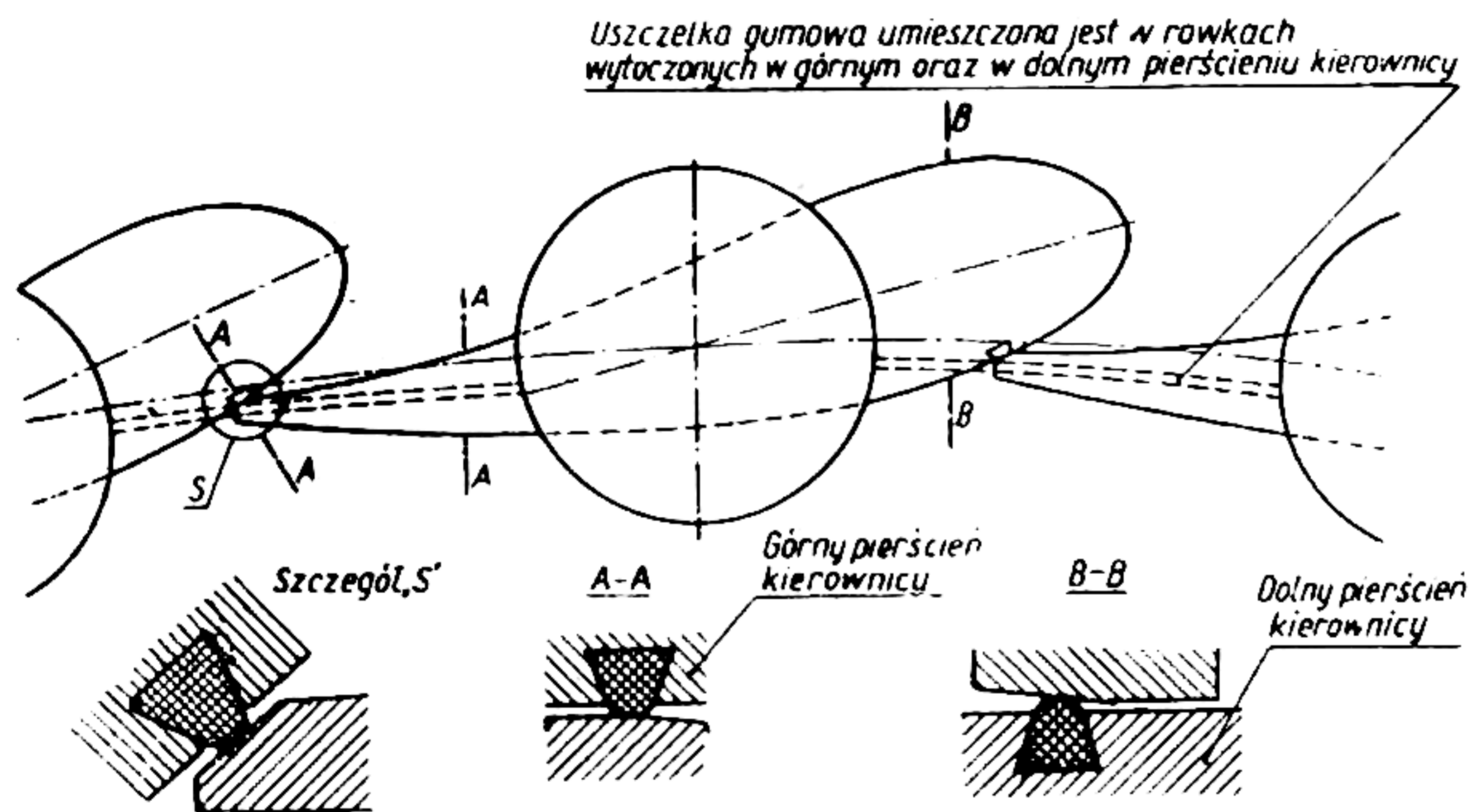
Z tego powodu pierwszą operacją przy montowaniu kierownicy jest ustawienie łopatek. Łopatki ustawia się na ich miejscach z góry, poprzez



Rys. 102. Łożysko łopatek kierowniczej podczas jego wmontowywania przy pomocy wciągnika do górnego pierścienia kierownicy

górny pierścień kierownicy, w którym znajdują się specjalne otwory w kształcie profilu łopatek, lub — od dołu. W ostatnim przypadku w górnym pierścieniu znajduje się specjalne okrągłe wycięcie. Sposób wprowadzenia łopatek na ich miejsca opisany został w § 15 oraz objaśniony za pomocą rys. 33.

Po ustawieniu łopatek kierowniczych, łożyska ich bez pierścieni skórzanymi ustawia się na prowizorycznych uszczelkach (rys. 102). Łożyska przykręca się za pomocą śrub szpilkowych, po czym przy użyciu specjalnego klucza sprawdza się czy łopatki obracają się dostatecznie łatwo. W razie gdyby łopatka była krzywo ustawiona należy sprawdzić wymiary szczelin czołowych (pomiędzy łopatką i pierścieniami kierownicy) i w miarę potrzeby spiłować jej odpowiednią powierzchnię czołową. Jednocześnie sprawdza się czopy łopatek oraz tuleje łożysk i, gdyby zaszła konieczność, oczyszcza się je i przyskrobuje. W tym celu daną łopatkę podnosi się i ustawia jej dolną powierzchnię czołową na drewnianych podkładkach.



Rys. 103. Uszczelnienie gumowe szczelin międzyłopatkowych oraz szczelin pomiędzy czołowymi powierzchniami łopatek i pierścieniami kierownicy

W celu sprawdzenia dokładności dopasowania uszczelniających krawędzi łopatek (w razie braku specjalnych uszczelnień sprężystych) ustawia się trzy sąsiednie łopatki w położeniu całkowitego ich zamknięcia, aż do zetknięcia się uszczelniających krawędzi oraz brzegu łopatki pośredniej z dwoma pozostałymi łopatkami. W zależności od stanu szczelin międzyłopatkowych, obrabia się i szlifuje lub nadspawa i szlifuje odpowiednie miejsca, po czym ponownie kontroluje się dokładność dopasowania. W niewielkich turbinach odpowiednią szczelność łopatek uzyskuje się ręcznie za pomocą pilnika.

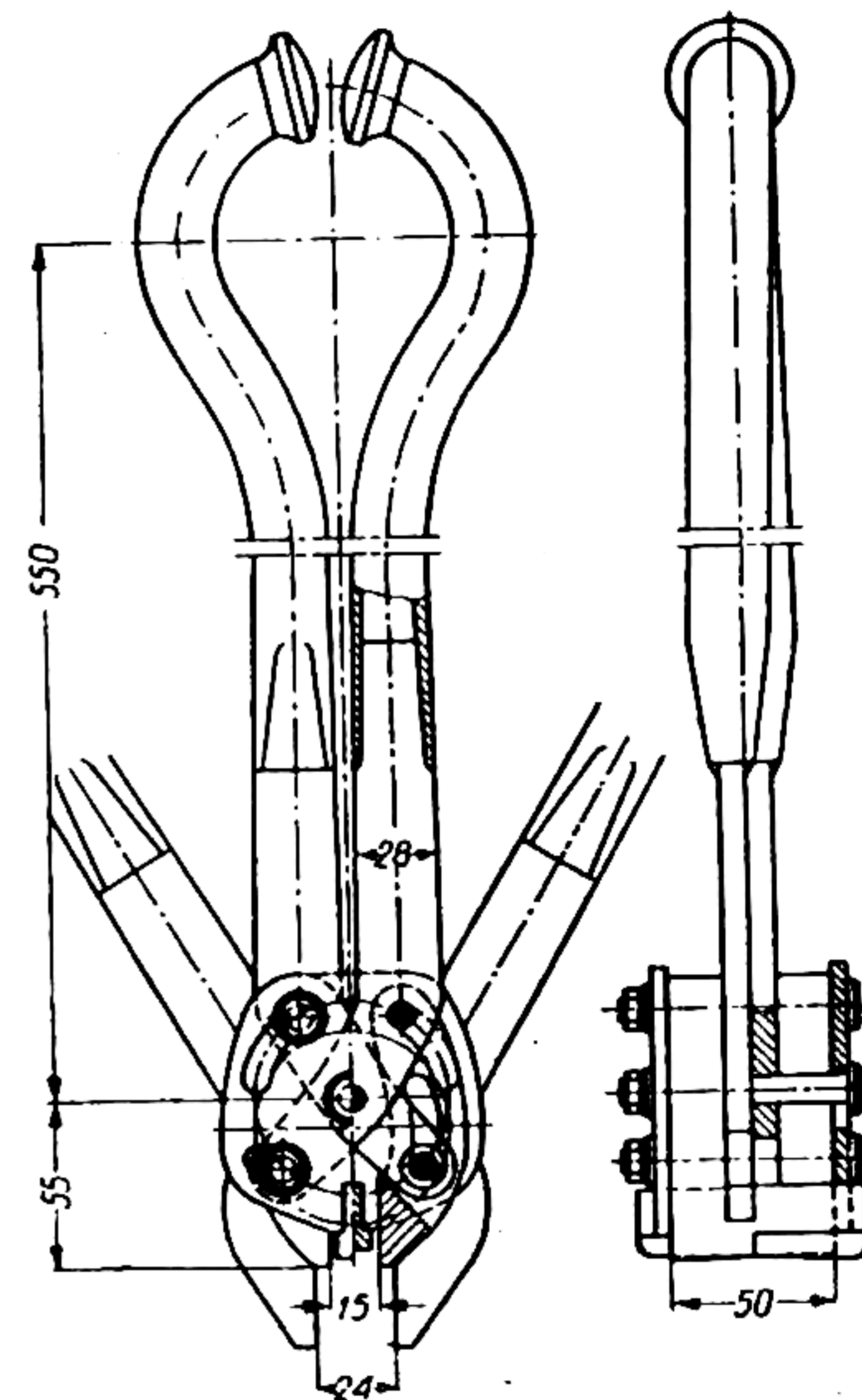
Łopatki po dopasowaniu ustawia się ostatecznie na ich miejscach. Gniazda dolnych czopów napełnia się przy tym smarem Tovotte'a, który uprze-

dnio należy przegotować z olejem turbinowym. W miarę opuszczania każdej łopatki smar ten wypełnia cały otwór środkowy przechodzący przez jej oś na wylot, zaś nadmiar oleju wychodzi na zewnątrz poprzez otwór przewidziany w śrubie z uchem. Następnie łożyska łopatek razem z zamontowanymi pierścieniami skórzanymi, rurkami smarowanymi oraz rurkami odwadniającymi montuje się ostatecznie na uszczelkach sporządzonych z płótna żaglowego lub na uszczelkach preszpanowych. Płótno żaglowe powinno być nasycone bielą ołowiową albo cynkową. Łożyska ustala się następnie za pomocą kolków ustalających oraz przymocowuje za pomocą śrub szpilkowych.

Dalej montuje się ochronne płyty 43 górnego pierścienia kierownicy (rys. 92), które uprzednio czasowo zdemonstrowano w celu umożliwienia opuszczenia łopatek, zaś wszystkie śruby mocujące szepia się za pomocą elektrycznego spawania.

We współczesnych konstrukcjach turbin wodnych czołowe szczeliny łopatek kierowniczych oraz szczeliny międzyłopatkowe pionowe uszczelnia się za pomocą uszczelki gumowych. W tym celu w górnym oraz w dolnym

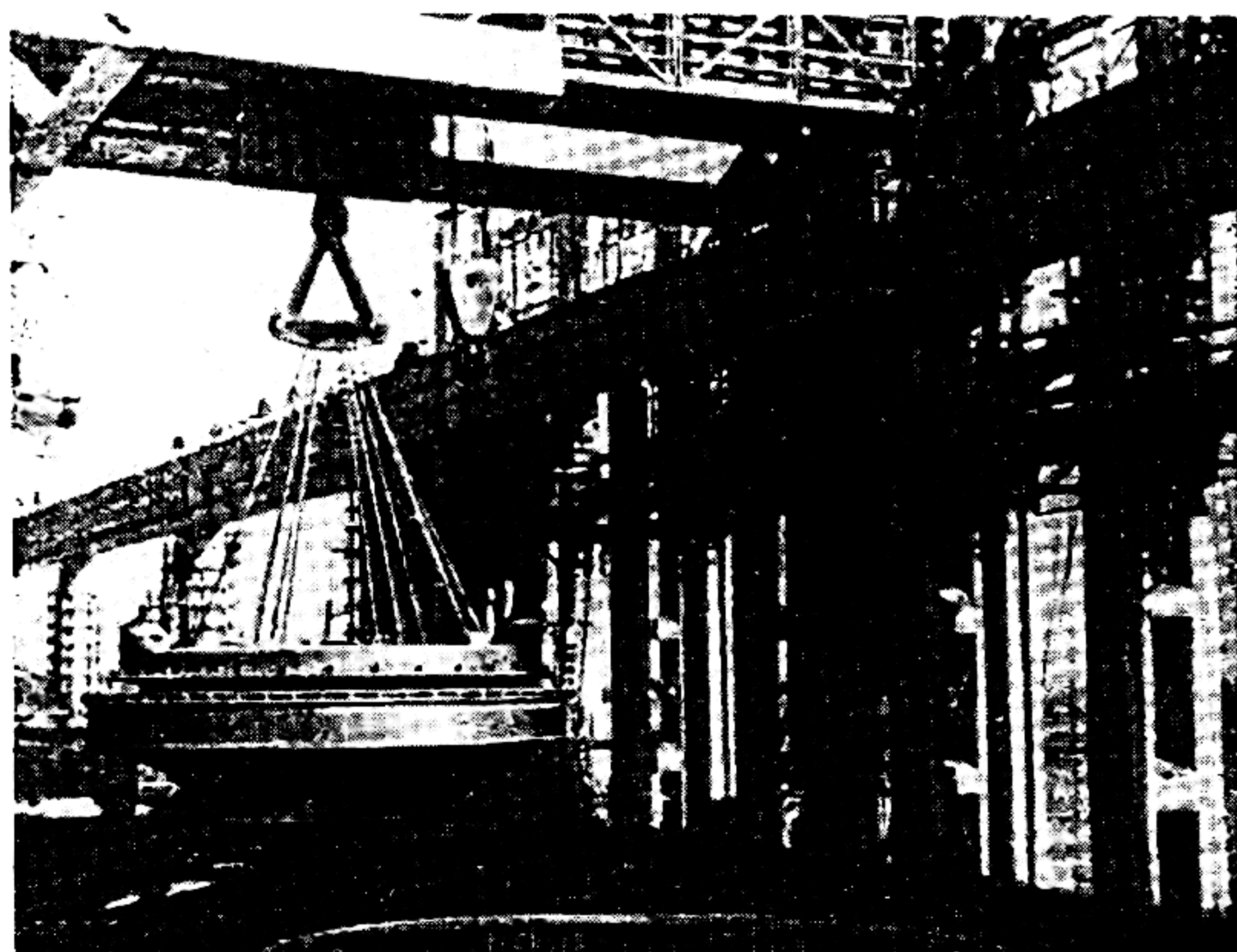
pierścieniu kierownicy wytacza się w wytwórni rowki współśrodkowe z osią tych pierścieni, zaś na grzbiecie łopatek — również w wytwórni — żłobi się rowki równoległe do osi ostatnich. W rowki te o przekroju w kształcie jaśkółczego ogona, zakłada się sznur gumowy. Sznur ten powinien nieco wystawać ponad uszczelnianą powierzchnię (rys. 103). Górne i dolne powierzchnie czołowe łopatek są odpowiednio ścięte, zaś ich krawędzie stepione, a to w celu uniknięcia podczas zamykania łopatek uszkodzenia sznurów gumowych znajdujących się w rowkach górnego i dolnego pierścienia kierownicy. Sznurowy gumowe zakłada się po sprawdzeniu dopasowania me-



Rys. 104. Kleszcze do zakładania sznura gumowego (uszczelki) o średnicy 22 mm. Sznur ten zakłada się w specjalne rowki

talowych powierzchni łopatek oraz po założeniu, jak wspomniano, ochronnych płyt na górnym pierścieniu kierownicy.

Sznury zakłada się za pomocą specjalnych kleszczy przy całkowicie otwartych łopatkach (rys. 104). Należy przy tym zmierzyć wysokość wystającej części sznura. Wysokość ta nie powinna różnić się od wysokości podanej w rysunkach więcej niż $\pm 0,5$ mm i jednocześnie nie powinna być większa od wysokości ścięć na czołowych powierzchniach łopatek. Jeżeli wymiary rowków na sznur gumowy lub wymiary samego sznura różnią się od wymiarów podanych w rysunkach, to w poszczególnych przypadkach, po uzgodnieniu z wytwórcą, dopuszczalne jest podcięcie sznura lub umieszczenie w rowku pod sznurem podkładki o odpowiedniej grubości, tak jak to podano w § 63.



Rys. 105. Pokrywa turbiny Kaplana razem z pierścieniem regulacyjnym i jego łożem podczas transportu na miejsce zamontowania

Przy montowaniu dźwigni, klinów oraz pokryw łopatek stosuje się sposoby i metody używane przy montowaniu turbin Francisa (§ 21). Wszystkie te prace wykonuje się jednocześnie z montażem wirnika lub, w razie gdy zainstalowany jest podest montażowy, — jeszcze przed ustawieniem wirnika i pokrywy turbiny. Wszystkie inne roboty pozostające do przeprowadzenia po zmontowaniu i ustawieniu kierownicy, wykonuje się dopiero po ustawieniu wirnika i pokrywy turbin, tak jak w przypadku turbin Francisa.

W celu skrócenia ogólnego cyklu montażowego łożo pierścienia regulacyjnego oraz sam pierścień można zmontować na placu montażowym łącznie z pokrywą turbiny i przetransportować je razem, jak to pokazano na rys. 105.

Rzeczywiste wymiary montażowe kierownicy umieszcza się w protokołach. Formularze protokołów pokazano na rys. 63, 64 i 65.

6. Zespół łożyska turbiny i urządzenia pomocnicze

Konstrukcja łożyska poprzecznego smarowanego wodą oraz urządzenia pomocnicze nie różnią się zasadniczo od analogicznych urządzeń turbin Francisa, których metody montażu zostały opisane w § 21. Opis montażu rurociągów podano w § 17.

Elektrownia wodna		Protokół pomiarów grubości szczelin pomiędzy wirującymi i nieruchomymi częściami turbiny Kaplana						Nr protokołu					
Pomiary przeprowadzone dnia:													
		Sprawdził:			Zmierzyl:								
Pozycja łopatek		Całkowicie zamknięte			Całkowicie otwarte			Po obrocie wirnika o 180°					
Nr - Grubość szczeliny łopatek w mm		a	b	c	a	b	c	a	b	c			
1													
2													
3													
4													
Grubość szczelin Os pomiarów w mm		Po sprzęgnięciu wałów turbozespołu			Po obrocie wirnika o 180°			Po założeniu panwi					
		d	e	f	d	e	g						
+y													
-y													
+x													
-x													
		Sprawdzenie na rzucanie											

Rys. 106. Formularz protokołu pomiarów grubości szczelin pomiędzy wirującymi i nieruchomymi częściami turbiny Kaplana

Grubość wszystkich szczelin utworzonych przez obracające się i nieruchome części turbiny powinny być zapisane w protokole (rys. 106).

Rozdział VI

MONTAŻ TURBIN PELTONA

§ 28. CZĘŚCI FUNDAMENTOWE

Małe i średnie turbiny Peltona wykonywane są w układzie poziomym, zaś wielkie — z reguły w układzie pionowym z jednym wirnikiem zaopatrzonym w kilka dysz (patrz rys. 9). Omówimy tutaj montaż turbiny pionowej, jednowirnikowej posiadającej cztery dysze. Moc turbiny wynosi 38000 kW przy spadzie 400 m i przy prędkości obrotowej 375 obr/min.

W skład części fundamentowych wchodzi: 1) rurociąg dopływowy, 2) osłona turbiny, 3) wykładzina komory turbiny.

Przed rozpoczęciem montażu sprawdza się wymiary fundamentu. W tym celu wzdłuż osi X oraz Y naciąga się struny wyznaczające te osie. Struny powinny być umieszczone nieco powyżej osłony turbiny, tak aby nie przeszkadzały przy jej montowaniu. Z punktu przecięcia się strun opuszcza się następnie pion; nić lub struna, na której ciężarek pionu jest zawieszony wyznacza w ten sposób oś pionową fundamentu turbozespołu. Od osi tej odmierza się odległości do poszczególnych elementów fundamentu. Wymiary fundamentu powinny być zgodne z jego wymiarami podanymi na rysunkach, przy czym dopuszczalne odchylenia nie powinny przekraczać ± 20 mm. Jeżeli na początku montażu fundament prądnicy nie jest jeszcze ostatecznie wyprowadzony i nie rozporządzamy suwnicą, to części fundamentowe montuje się za pomocą tymczasowych urządzeń dźwigowo-transportowych (żurawi masztowych, wciągarek elektrycznych itp.). O ile suwnica jest już zainstalowana, to części znajdujące się poza granicą gardzieli fundamentu prądnicy podciąga się do miejsca montażu za pomocą wciągarek lub wciągników.

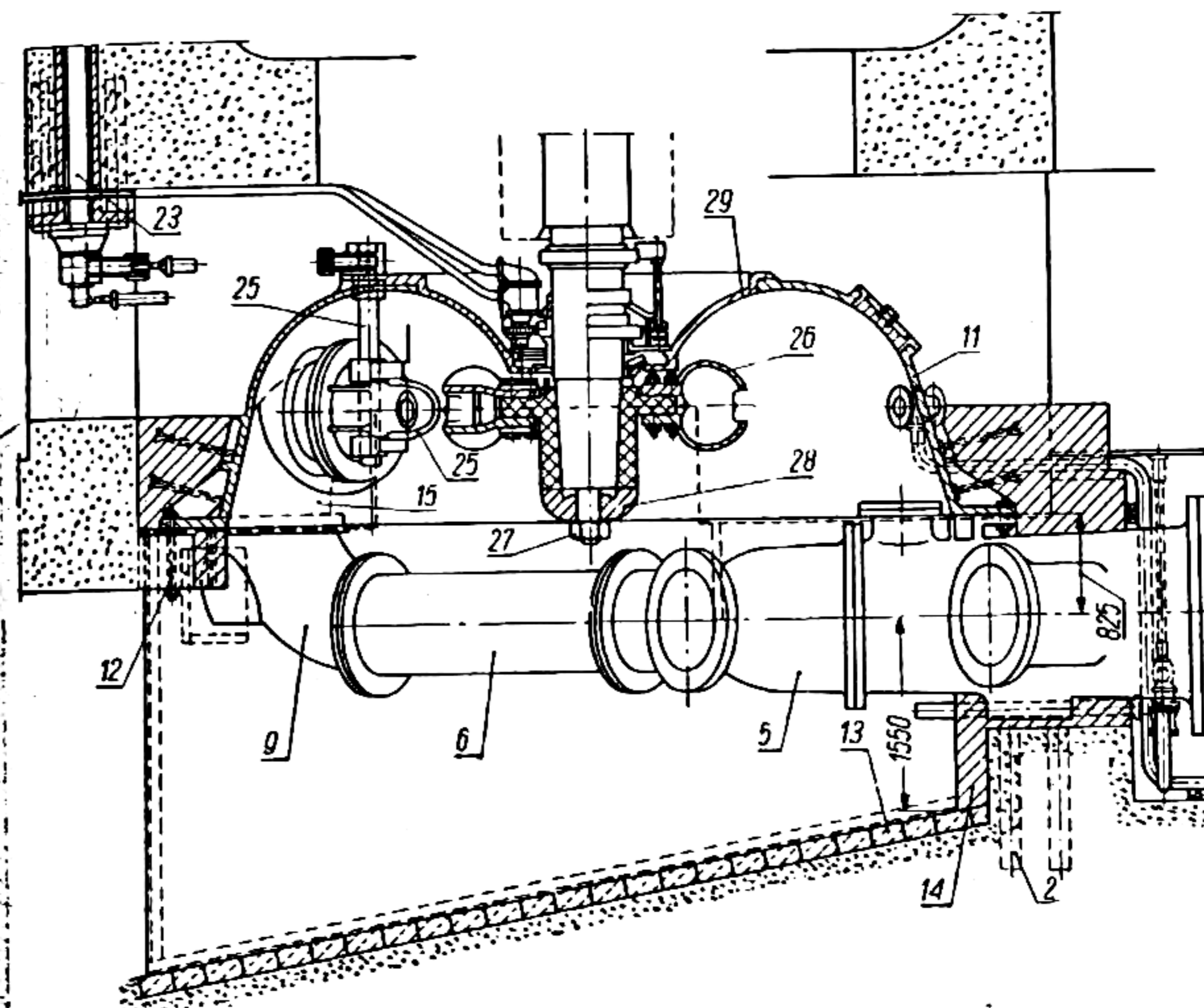
1. Rurociąg dopływowy

Montaż rurociągu rozpoczynamy od zmontowania rozdzielacza. Rozdzielacz jest elementem rozdzielającym na poszczególne dysze wodę dopływającą rurociągiem dopływowym.

Rozdzielacz 1 (rys. 107 i 108)¹⁾ opuszcza się na miejsce jego zamontowania i ustawia na czterech dźwignikach (podpórkach). Pożądane jest, aby dźwig-

¹⁾ Na rysunkach tych uzgodniono oznaczenia poszczególnych części.

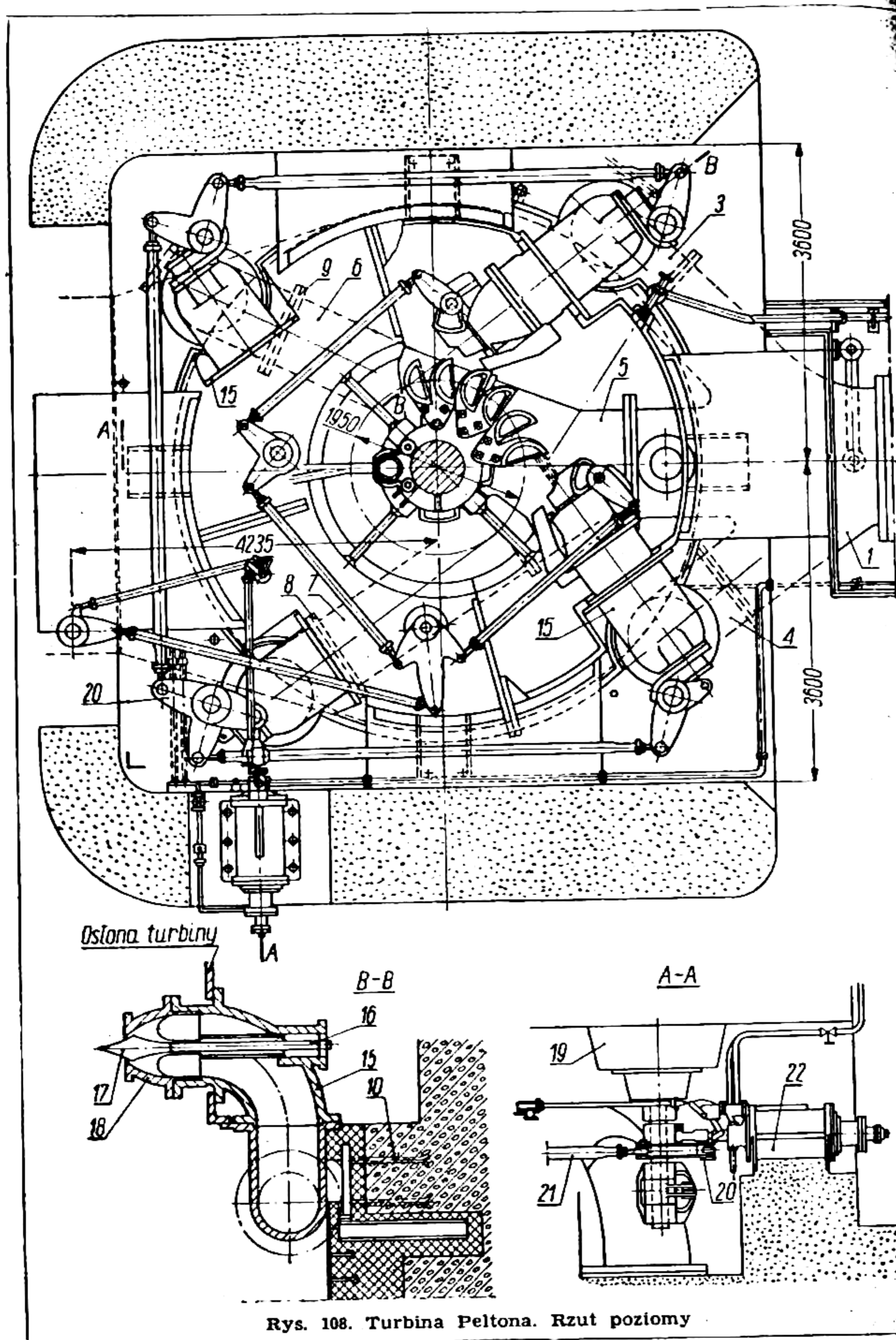
niki zaopatrzone były w sanie śrubowe, które umożliwiają przesuwanie rozdzielacza w płaszczyźnie poziomej. Śruby fundamentowe 2 umieszcza się uprzednio w ich gniazdach. Rozdzielacz za pomocą dźwigników poziomych się ustawia prowizorycznie na wysokości projektowanej rzędnej oraz — w rzucie poziomym — zgodnie z osiami turbozespołu. (Ostateczne centrowanie rozdzielacza przeprowadza się łącznie z rurami i dyszami, o czym dalej będzie mowa). Następnie pod rozdzielaczem układa się drewnianą podłogę z podkładów kolejowych, które mocno łączy się ze sobą za pomocą klamer. Po ułożeniu podłogi usuwa się dźwigniki.



Rys. 107. Przekrój turbiny Peltona

Rurociąg dopływowy przyłącza się do rozdzielacza w następującej kolejności: a) dolne krzywaki dysz 3 oraz 4, b) podwójne rozgałęzienie 5, c) prostososiowe odcinki rur 6 oraz 7, d) dolne krzywaki dysz 8 oraz 9.

Ze względu na to, że rurociąg dopływowy pracuje pod dużym ciśnieniem, wszystkie złącza kołnierzowe powinny być bardzo starannie wykonane. Powierzchnie złączy przed ich połączeniem oczyszcza się, a ewentualne wypukłości lub rysy ujawnione za pomocą liniału wzorcowego należy usunąć. Gumowe pierścienie uszczelniające sporządzone zgodnie z wymiarami wytoczonych rowków nakłada się na centrujące występy kołnierzy. Pierścienie te przy ich nakładaniu i po nałożeniu powinny być lekko naciąg-



Rys. 108. Turbina Peltona. Rzut poziomy

nięte. Kołnierze podczas łączenia ich ze sobą prowadzone są przez oznaczone śruby pasowane. Przy łączeniu kołnierzy mocuje się najprzód śruby pasowane a następnie śruby luźne. Kołnierze powinny dolegać do siebie w ten sposób, aby płytka szczelinomierza o grubości 0,03 mm nie przechodziła w żadnym miejscu złącza.

Przed zmontowaniem dolnych krzywaków 3 i 4, śruby fundamentowe 10 umieszcza się w ich gniazdach, a następnie za pomocą wciągnika ustawia się i przymocowuje do rozdzielacza krzywaki dysz. Dysze w celu uzyskania ich odpowiedniej stateczności opiera się na metalowych podkładkach i klinach (które z kolei umieszcza się na betonowych występach znajdujących się pod dyszami), po czym usuwa się wciągniki. Uważamy, że krzywaki dysz są wówczas prawidłowo zmontowane, gdy ich górne (poziome) kołnierze znajdują się dokładnie na jednakowej wysokości i na żądanej rzędnej oraz są usytuowane poziomo, zaś środki kołnierzy są symetryczne względem osi turbozespołu. Wysokość umieszczenia kołnierzy reguluje się za pomocą klinów podłożonych pod dysze i sprawdza się ją za pomocą niwelatora. W celu sprawdzenia symetrii położenia kołnierzy mierzy się odległości od wyznaczonej przez pion osi turbozespołu do centrujących występów znajdujących się na kołnierzach. Pomiary te wykonuje się za pomocą średnicówki.

Przy ustawianiu i przymocowywaniu podwójnego rozgałęzienia 5 przestrzega się wyżej podanych wymagań.

W analogiczny sposób montuje się prostoosiowe odcinki rur 6 oraz 7 a następnie przymocowuje się do nich dolne krzywaki dysz 8 oraz 9, które również opiera się na podkładkach i klinach. Krzywaki te, podobnie jak i krzywaki poprzednie, powinny być tak ustawione, aby ich górne kołnierze znajdowały się w płaszczyźnie poziomej oraz były usytuowane symetrycznie względem osi turbozespołu i znajdowały się na jednej wysokości z dwoma uprzednio zmontowanymi krzywakami dysz, co sprawdzamy za pomocą niwelatora.

Następnie fundamentowe śruby rozdzielacza oraz wszystkich dolnych krzywaków dysz zalewa się betonem i po jego stwardnieniu ostatecznie się je dokręca. Kontroluje się przed tym ustawienie powierzchni wszystkich górnych kołnierzy krzywaków dysz.

2. Osłona turbiny

Osłona turbiny 11 składa się z czterech wycinków, które montuje się na miejscu, na uprzednio ustawionych belkach stalowych. Złącza wycinków powleka się minią żelazną i zmocowuje je za pomocą śrub pasowanych a następnie śrub zwykłych. Początkowo montuje się wycinki tworząc z nich półpierścienie, po czym z dwóch półpierścieni montuje się cały pierścień. Następnie osłonę podnosi się (za pomocą dźwigu lub dźwigników) i powierzchnię jej podstawy oczyszcza się starannie oraz powleka minią, wreszcie całą osłonę ustawia się na jej miejscu i umocowuje za pomocą śrub. Śruby

fundamentowe osłony 12 umieszcza się uprzednio w ich gniazdach. Osłona spoczywa na powierzchniach jej podstawy oraz na łapach, które opierają się na podkładkach i klinach, umieszczonych uprzednio na fundamencie.

Uważamy, że osłona jest prawidłowo zmontowana, jeżeli środek jej gardzieli pokrywa się z pionową osią fundamentu turbozespołu, zaś górna płaszczyna kołnierza jest pozioma oraz znajduje się na wysokości żądanej rzędnej. Dokładność poziomego ustawienia sprawdza się za pomocą poziomnicy, przy czym odchylenia od poziomu nie powinny być większe od $\pm 0,1$ mm na metr średnicy górnego kołnierza. Wysokość ustawienia kołnierza sprawdza się za pomocą niwelatora: odchylenia nie powinny tutaj być większe od $\pm 0,8$ mm.

3. Wykładzina komory turbiny

Wykładzina komory turbiny dostarczana jest na budowę w poszczególnych członach uprzednio dopasowanych do siebie w wytwórni. Początkowo montuje się człony dna 13, które ustawia się na podkładkach i szepia z sobą za pomocą elektrycznego spawania. Do członów tych przypawa się płaskie kotwy. Następnie montuje się człony ścienne wykładziny 14 przymocowując ich kołnierze za pomocą śrub do dolnej powierzchni podstawy osłony. W celu odpowiedniego usztywnienia wykładziny rozpiera się ją za pomocą kątowników prowizorycznie do niej przyspawanych. Po zmontowaniu górnych krzywaków dysz (patrz niżej), spawa się wszystkie szwy wykładziny oraz do jej ścianek przypawa się płaskie kotwy.

Części fundamentowe zabetonowuje się dopiero po zmontowaniu dysz wraz z nasadkami i iglicami oraz po ustawieniu (wyważeniu) tych części łącznie z częściami fundamentowymi. (Metodę takiego wspólnego ustawienia podano po opisie montażu dysz wraz z nasadkami i iglicami).

§ 29. MECHANIZMY ROBOCZE I URZĄDZENIA POMOCNICZE

Do roboczych mechanizmów turbin Peltona zalicza się mechanizmy następujące:

- 1) górne krzywaki dysz wraz z nasadkami i iglicami;
- 2) zawór wlotowy wraz ze złączem kompensacyjnym (wyrównikiem);
- 3) serwomotor wraz z dźwigniami iglic i odchylników;
- 4) wirnik i pokrywę turbiny.

1. Górne krzywaki dysz

Górne krzywaki dysz wraz z nasadkami i iglicami montuje się przed zabetonowaniem części fundamentowych, aby mieć możliwość według iglic sprawdzenia prawidłowości ich ustawienia.

Górny krzywak dyszy 15 za pośrednictwem jego poziomego kołnierza centruje się w wytoczeniu dolnego krzywaka dyszy i łączy z nim zgodnie

z przytoczonymi uprzednio wymaganiami. Pionowy kołnierz górnego krzywaka dyszy przymocowuje się do osłony turbiny. Przy montowaniu zakłada się kołki prowadzące i dopiero po tym z mocowuje się śruby poziomych a następnie pionowych złącz kołnierzowych.

Po zmontowaniu wszystkich czterech górnych krzywaków dysz montuje się i ustawia iglice wraz z nasadkami. W tym celu wewnątrz osłony na poziomie nieco poniżej górnych krzywaków dysz instaluje się drewniany pomost. Części iglic oraz nasadki sprawdza się starannie i oczyszcza. W przypadku skrzywienia ostrzy iglic należy je ostrożnie wyprostować za pomocą młotka drewnianego lub ołowianego.

Dysze montuje się w następujący sposób: drąg iglicy 16, połączony z iglicą 17 i z mocowany z nią za pomocą kołków promieniowych, powleka się cienką warstwą smaru stałego (smaru Tovotte'a), po czym drąg ten wprowadza się do krzywaka. Wnętrze rury (prowadnicy drąga) znajdującej się w krzywaku powleka się grubą warstwą tego smaru. Następnie oczyszcza się starannie nasadkę 18 i sprawdza stan powierzchni, do której przylega iglica. W razie stwierdzenia wypukłości lub rys należy je usunąć przez delikatne skrobanie lub szlifowanie. Nasadkę centruje się w wytoczeniu krzywaka i za pomocą śrub przymocowuje ją do kołnierza tego krzywaka. W celu uszczelnienia zakłada się sznur gumowy. Kołnierze nasadki i krzywaka oraz nasadka i iglica powinny być tak do siebie dopasowane, aby przez szczeliny nie przechodziła blaszka szczelinomierza o grubości 0,03 mm.

Po zmontowaniu wszystkich iglic wraz z nasadkami sprawdza się razem ich ustawienie łącznie z ustawieniem części fundamentowych. Sprawdzenie to przeprowadza się w związku z tym, że podstawę (bazę) dalszego montażu turbiny i prądnicy stanowi płaszczyna górnego kołnierza osłony turbiny, zaś podstawą montażu zasuw wraz z wyrównikiem jest kołnierz rozdzielacza. Wszystkie iglice powinny znajdować się na jednym poziomie, na wysokości zaprojektowanej rzędnej i powinny być usytuowane symetrycznie względem pionowej osi turbiny.

Ustawienie dysz sprawdza się w następujący sposób. Na wysokości rzędnej osi dysz instaluje się stół traserski. Stół ten sporządza się z heblowanych (struganych) desek. Do każdej nasadki przykłada się specjalny szablon w ten sposób, że jego krawędź podstawowa dolega do czołowej powierzchni nasadki i jest wycentrowana według otworu w nasadce. Za pomocą szablonu wyznacza się środek turbiny względem nasadek oraz ich iglic. Następnie sprawdza się czy środek wyznaczony „z natury“ zgadza się z pionową osią turbozespołu. Posługujemy się w tym celu pionem opuszczonym z punktu przecięcia osi X i Y. Środek tego pionu powinien pokrywać się ze środkiem wyznaczonym „z natury“ i naniesionym na stole traserskim.

Przy sprawdzeniu poziomego ustawienia górnego kołnierza osłony używa się niwelatora. Wysokość iglic względem tego kołnierza mierzy się za pomocą miarki taśmowej oraz za pomocą pionu. W tym celu iglicę należy wysunąć z dyszy, tak aby pion opuszczony z wewnętrznej tworzącej koł-

nierza osłony stykał się z ostrzem iglicy; wysokość mierzy się wzdłuż struny, na której umieszczony jest ciężarek pionu. Odchyłki od tej wysokości nie powinny być większe od ± 1 mm.

Jednocześnie na strunie wyznaczającej oś Y zawieszają się pion, tak aby jego oś leżała w płaszczyźnie kołnierza rozdzielacza. Środek rozdzielacza zaznacza się na specjalnej desce, którą uprzednio należy wstawić w jego otwór wlotowy. W razie stwierdzenia nadmiernych odchyłek w ustawieniu części fundamentowych, przesuwa się je za pomocą klinów we właściwe położenie i umocowuje. Następnie spawa się wykładzinę komory turbiny.

Wyniki kontroli ustawienia części fundamentowych, dysz oraz iglic zapisuje się w protokole, po czym części te zabetonowuje się.

2. Zawór wlotowy i złącze wyrównujące (kompensacyjne)

Zawór wlotowy (rys. 109) montuje się za pomocą suwnicy znajdującej się w jego pomieszczeniu, zaś w przypadku jeżeli przed montażem nie zainstalowano suwnicy — za pomocą żurawia masztowego lub wciągarki i wielokrążków.

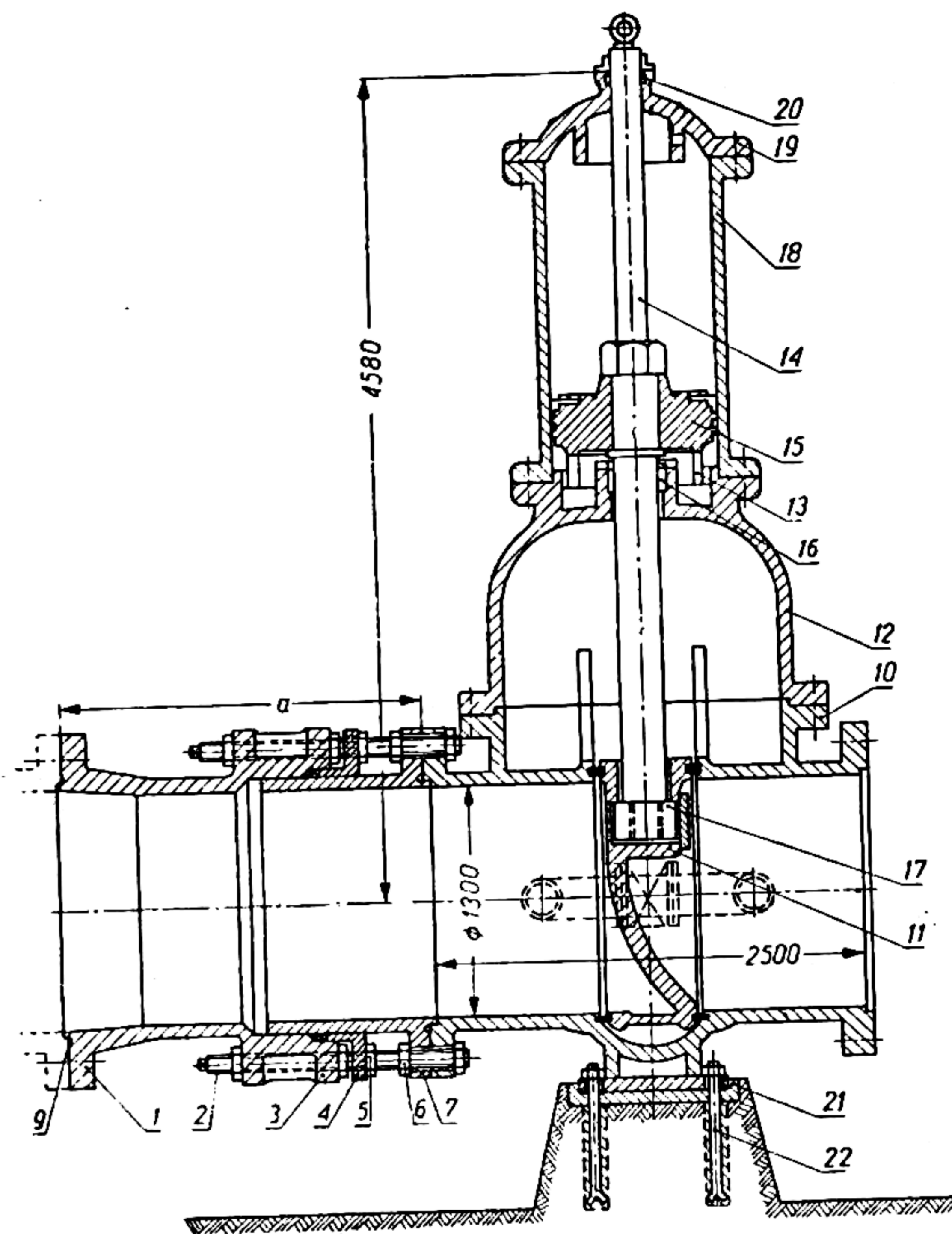
Zawór połączony jest z rozdzielaczem za pośrednictwem złącza kompensacyjnego; długość tego złącza można zmieniać w pewnych granicach, dzięki czemu zabezpieczona jest możliwość demontażu zaworu.

Na placu montażowym złącze montuje się w położeniu pionowym. W tym celu króciec 1 ustawia się na drewnianych poduszkach w pozycji pionowej, po czym zakłada się śruby szpilkowe 2, które umocowuje się za pomocą nakrętek 3. Następnie do króćca wprowadza się dławik 4, nakręca się na śruby nakrętki 5 i 6, zakłada tuleje 7 i za pomocą nakrętek 6 reguluje się długość a . Długość ta powinna być jednakowa na całym obwodzie wyrównika. W celu założenia uszczelnienia dławicy 8, podnosi się dławik za pomocą dźwigników i następnie dociąga się go za pomocą nakrętek.

Tak zmontowane złącze zostaje następnie odwrócone w swoje położenie robocze i po owiązaniu dookoła liną opuszczone na miejsce zamontowania. Aby podczas odwracania i transportowania uniknąć przesuwania się tulei 7, umocowuje się ją prowizorycznie za pomocą nakrętek nakręconych na końce śrub szpilkowych służących do umocowania zaworu wlotowego. Następnie za pomocą dźwigu przenosi się wyrównnik w pobliże rozdzielacza i zamocowuje się kołnierze ostatnich zakładając uprzednio gumowy sznur 9. Złącze powinno odpowiadać warunkom stawianym złączom rurociągu dopływowego. Przed zlurowaniem lin opasujących złącze, należy je ustawić na dźwignikach.

Zawór wlotowy. Montaż zaworu zasuwowego rozpoczynamy od ustawienia kadłuba 10 i przymocowania go do kołnierza wyrównnika. Pomiedzy kadłubem zaworu i złącza zakłada się uszczelkę sporządzoną ze sznura gumowego. W celu zapewnienia odpowiedniej stateczności oraz umożliwienia regulacji ustawienia kadłuba podpira się go za pomocą dźwigników.

Następnie do kadłuba zostaje opuszczona zasuwa (zasuwadło) 11, po czym bada się jej dopasowanie do brązowych pierścieni uszczelniających, które są wtłoczone w odpowiednie gniazda znajdujące się w kadłubie. W razie



Rys. 109. Zasuwa rurociągu dopływowego

stwierdzenia nieszczelności należy doskrobać powierzchnie uszczelniające zasuwy i pierścieni. Doskrobanie wykonuje się na miejscu i kontroluje za pomocą płyty mierniczej. Dokładność dopasowania powinna być taka, aby w szczelinę utworzoną przez powierzchnie uszczelniające nie wchodziła płytka szczelinomierza o grubości 0,03 mm. Po dopasowaniu zasuwy montuje się i przymocowuje pokrywę 12, centrując ją uprzednio na zatocze-

niu kadłuba oraz umieszcza na tej pokrywie pierścien oporowy 13 tloka. Następnie montuje się tlok 15 wraz z tłoczyskiem 14 i po nawleczeniu na nie uszczelnienia 16 oraz pierścieni skórzanych (które uprzednio nasycy się tłuszczem) wprowadza się tłoczysko na jego miejsce. Jednocześnie odpowiednio ustawia się pierścienie skórzane i umocowuje pokrywę dławnicy. Ostatnią czynność przeprowadza się, zanim tlok nie został jeszcze przesunięty w swe skrajne dolne położenie.

Tłoczysko z zasuwą łączy się za pomocą nakrętki 17, którą uprzednio (z zewnątrz kadłuba) wkłada się do zasuwy. Tłoczysko wkręca się następnie w tę nakrętkę aż do uzgodnienia położenia otworów na śrubę ustalającą. Tlok powinien przy tym oprzeć się na pierścieniu oporowym. Gniazdo nakrętki zakrywa się pokrywą, którą przymocowuje się za pomocą śrub.

W celu zmontowania cylindra siłownika 18, instaluje się pomost na poziomie nieco niższym od poziomu górnego kołnierza pokrywy. Cylinder kierowany przez tlok oraz przez centrujący występ tego kołnierza opuszcza się na właściwe miejsce i przymocowuje do pokrywy za pomocą śrub. Następnie montuje się i umocowuje pierścien skórzany tloka. Przed zamontowaniem cylindra oraz tłoczyska wraz z tlokiem ich powierzchnie cierne powleka się smarem stałym. Pokrywę cylindra 19 opuszcza się na jej miejsce bez zakładania pierścieni uszczelniających 20. Pierścienie te zakłada się dopiero po umocowaniu pokrywy do cylindra.

Prawidłowość usytuowania poziomej osi zaworu zasuwowego sprawdza się w następujący sposób. Ze struny wyznaczającej oś Y opuszcza się pion, którego nić powinna być równoległa do kołnierza zaworu i powinna przechodzić przez środek tego kołnierza. Środek kołnierza zaznacza się na desce, którą umocowuje się w kadłubie. W razie stwierdzenia odchyłań należy kadłub odpowiednio przemieścić używając w tym celu ustawionych pod nim dźwigników.

Usytuowanie pionowej osi zasuwy sprawdza się za pomocą pionu, według tworzących górnego i dolnego kołnierza cylindra siłownika. Sprawdzenie to przeprowadza się w czterech punktach na obwodzie. Ewentualne pochylenie pionowej osi również kasuje się za pomocą dźwigników.

Po sprawdzeniu ustawienia przymocowuje się do zaworu, od dołu, płytę fundamentową 21, którą ustala się za pomocą klinów, po czym płytę zabetonowuje się i po stwardnieniu betonu dociąga się śruby fundamentowe 22. Następnie stosując wyżej opisaną metodę, przeprowadza się kontrolny pomiar ustawienia instalacji.

3. Serwomotor oraz urządzenie uruchamiające iglice i odchylniki

Montaż rozpoczynamy tu od zmontowania zespołu składającego się z trójramiennej dźwigni przenoszącej ruch od siłownika do iglic (rys. 108).

Płytę fundamentową 19 wraz ze śrubami fundamentowymi zawieszają się na stropie maszynowni i płytę tę szepia się za pomocą elektrycznego spa-

wania z uzbrojeniem żelbetonu. Następnie zespół trójramiennej dźwigni 20, w stanie zmontowanym (wraz z jej wałem i łożyskiem), ustawia się na miejscu do pionu, dźwignię łączy się z ciągnem iglicy dyszy 21 i sprawdza się czy dźwignia ta daje się dostatecznie łatwo obracać, po czym płytę fundamentową wraz ze śrubami zabetonowuje się.

Dźwignia trójramienna stanowi podstawę wyjściową przy montowaniu serwomotoru 22. Siłownik w stanie zmontowanym opuszcza się na jego miejsce, ciągnę sprzęga się z dźwignią trójramienną, sprawdza się łatwość przesuwania tloka siłownika oraz wielkość skoku tloka, która powinna odpowiadać skokowi iglicy dyszy. Usytuowanie siłownika reguluje się za pomocą podkładek i klinów a oprócz tego ustawia się go względem osi X. Następnie siłownik oraz jego śruby fundamentowe zabetonowuje się. Pozostałe dźwignie wraz z ich łożyskami ustawia się w odpowiednich gniazdach, łączy się te dźwignie z tłoczyskami a następnie sprawdza czy dadzą się one dostatecznie łatwo przemieszczać.

Po zmontowaniu wszystkich dźwigni należy wszystkie igły przesunąć do położenia zamknięcia, zmierzyć odległości pomiędzy dźwigniami i wyregulować długości cięgien w ten sposób, aby przy siłowniku całkowicie zamkniętym między iglicami i nasadkami były szczeliny wielkości rzędu 0,05 mm. Szczeliny te zapobiegają zginiataniu iglic i nasadek w przypadku szybkiego zamykania dyszy; wielkość szczeliny ustala się biorąc pod uwagę sprężyste odkształcenie przekładni na skutek siły działającej w kierunku zamykania.

Montaż przekładni uruchamiającej odchylacze odbywa się w następujący sposób. Z początku montuje się wał regulacyjny 23 (rys. 107) wraz z łożyskami. Ze względu na to, że górne łożysko wału regulacyjnego znajduje się w kadłubie skrzynki sterowniczej (regulatora), celowe jest aby przed przystąpieniem do montażu tego wału kadłub był ustawiony na swoim miejscu. W tym przypadku wał za pomocą dźwignika wkłada się od dołu do górnego łożyska, a następnie nasadza się na niego wycinek zębaty, który ustala jego położenie.

Pionowe ustawienie wału sprawdza się za pomocą pionów, po czym umocowuje się dolne łożysko wału. Następnie zabetonowuje się uprzednio ustawioną i silnie umocowaną podstawę skrzynki sterowniczej oraz dolne łożysko wału.

Wreszcie odchylacze 24 łącznie z ich wałami 25 wprowadza się od dołu do gniazd osłony, ustawia się i centruje dolne łożyska odchylników i przymocowuje je do tej osłony. Dźwignie oraz cięgna uruchamiające odchylniki montuje się w sposób uprzednio opisany.

4. Wirnik i osłona turbiny

Wirnik 26 składa się z piasty i łopatek. Dostarczany jest na budowę w stanie zmontowanym. W danym przypadku twornik prądnicy oraz wirnik turbiny osadzone są na jednym wale.

Wirnik turbiny nasadza się na stożkowe zakończenie wału i umocowuje go za pomocą nakrętki 27. Czynność tę wykonuje się na placu montażowym po zmontowaniu wirującego układu prądnicy. Przed montażem wirnik ustawia się na kozłach, których wysokość powinna zezwolić na wprowadzenie pod wirnik podkładki 28. Następnie wał turbozespołu razem ze zmontowanym na nim twornikiem oraz z zawieszonym również na nim dolnym krzyżakiem prądnicy (niedzielonym), opuszcza się za pomocą dźwigu na wirnik. Pod wpływem własnego ciężaru wału oraz ciężaru twornika powstaje przy tym naprężenie wstępne w stożkowym złączu wału z wirnikiem. Wał podczas opuszczania prowadzony jest przez dwa kołki. Następnie pod twornikiem umieszcza się kozły, wbija się kliny, na dolny koniec wału nakłada się podkładkę i wreszcie przymocowuje się wirnik za pomocą nakrętki.

Jeżeli na placu montażowym z powodu zbyt małej wysokości podnoszenia dźwigu lub z innych przyczyn nie można osadzić wirnika na wale, to czynność tę przeprowadzamy na miejscu ustawienia turbozespołu. W tym celu wewnątrz osłony, ponad rurociągiem dopływowym, buduje się pomost, na który opuszcza się wirnik ustawiając go na dźwignikach. W środku pomostu powinien znajdować się otwór, który dozwalałby na umocowanie wirnika na wale od dołu.

Wirnik umieszcza się w środku osłony turbiny, na wysokości nieco poniżej projektowanej rzędnej (mniej więcej 100 do 150 mm). Następnie ustawia się na właściwym miejscu dolny krzyżak, zaś zespół wirujący wprowadza się od góry do uprzednio zmontowanego stojana. Zespół ten należy przy tym ustawić na poprzednio zainstalowanych dźwignikach zaopatrzonych w hamulce, umieszczając go na wysokości nieco powyżej projektowanej rzędnej (w celu umożliwienia montażu łożyska wzdłużnego).

Podczas opuszczania układu należy baczyć, aby dolny koniec wału był odpowiednio ustawiony względem piasty wirnika i aby położenia rowków na kliny w wale i w piaście były zgodne. Wirnik za pomocą dźwigników podnosi się następnie aż do zetknięcia się z sobą powierzchni stożkowych oraz aż do wywołania pewnego naprężenia wstępnego, w rowki zakłada się kliny, zaś od dołu wprowadza się podkładkę i umocowuje się nakrętkę wału.

Podczas nasadzania wirnika na wał montuje się łożysko wzdłużne, po czym czterodzielną pokrywę osłony 29 ustawia się na jej miejscu, centruje ją według osi i wału a następnie przymocowuje.

Centrowanie powinno odpowiadać następującym wymaganiom:

- a) wirnik powinien znajdować się w środku pomiędzy dyszami;
- b) ostrza czarek wirnika powinny znajdować się (z dokładnością do ± 1 mm) w jednej płaszczyźnie ze średnią linią iglic; sprawdzamy to za pomocą znacznika obracając wirnikiem, c) wał turbozespołu powinien być ustawiony pionowo.

Odchylenia w wysokości ustawienia wirnika usuwa się za pomocą podkładek, które umieszcza się pod podstawą stojana prądnicy. Po ukończe-

niu centrowania położenie stojana ustala się za pomocą kołków. Zaznaczyć należy, że rozpatrujemy tutaj prądnicę typu tzw. podwieszonego, w którym łożysko wzdłużne umieszczone jest pod twornikiem.

Mechanizmy znajdujące się na pokrywie osłony [uszczelnienie labiryntowe, miska na olej, pompa olejowa wraz z napędem, bezpiecznik (wyłącznik) odśrodkowy] montuje się i ustawia stosując przy tym zwykle metody. Rurociągi olejowe, wodne i powietrzne montuje się i dopasowuje na miejscu w sposób opisany w § 17.

Turbina omawianej konstrukcji nie posiada osobnego łożyska. Rolę jego spełnia dolne (poprzeczne) łożysko prądnicy, które wmontowuje się w dolny krzyżak.

Dane dotyczące wycentrowania zespołu wirującego, szczelin w łożyskach i w uszczelnieniach labiryntowych oraz dane dotyczące usytuowania wirnika względem iglic umieszcza się w protokole.

CENTROWANIE ZESPOŁÓW WIRUJĄCYCH ORAZ SPRZĘGANIE WAŁÓW TURBOZESPOŁU

W odróżnieniu od innych zespołów silnikowych turbozespoły wodne, jak o tym uprzednio wspomnieliśmy, nie są całkowicie montowane, a zatem i centrowane w wytwórniach. Centrowanie układów wirujących odbywa się podczas montażu na miejscu zainstalowania.

Centrowanie układów wirujących turbozespołu składa się z kilku kolejnych operacji: 1) centrowania zespołu wirującego turbiny, 2) przycentrowania zespołu wirującego prądnicy do zespołu wirującego turbiny, 3) sprzęgnięcia wałów turbiny i prądnicy, 4) sprawdzenia wspólnej linii wałów turbozespołu.

§ 30 CENTROWANIE ZESPOŁU WIRUJĄCEGO TURBINY WODNEJ

Centrowanie to przeprowadza się w celu pionowego ustawienia linii wału turbozespołu, oraz w celu otrzymania współśrodkowych szczelin (tj. o jednakowej wielkości) pomiędzy wirującymi i nieruchomymi częściami turbozespołu.

W zależności od konstrukcji turbozespołu jego wał składa się z kilku części sztywno z sobą połączonych, a mianowicie: a) z dwóch części, tj. z wału turbiny i wału prądnicy; b) z trzech części, tj. z wału turbiny, wału pośredniego i wału prądnicy; c) wreszcie może to być wał pojedynczy (nie dzielony), na którym osadza się wirnik turbiny oraz twornik prądnicy.

Jeżeli wał turbozespołu składa się z kilku części, to najprzód centruje się wał turbiny (lub wał turbiny sprzęgnięty z wałem pośrednim), a następnie przycentrowuje się wał prądnicy i sprzęga się go sztywno z wałem turbiny (lub z wałem pośrednim).

1. Centrowanie zespołu wirującego turbiny za pomocą czterech pionów

Centrowanie to przeprowadza się po ustawieniu zespołu wirującego turbiny na jego miejscu (bez panwi łożyska poprzecznego turbiny i bez uszczelnienia wału) i po zmontowaniu kierownicy.

Przed przystąpieniem do centrowania wału należy według szczelin promieniowych wycentrować wirnik. Wzmiankowaliśmy w § 21 i 27, że wirnik

turbiny Kaplana centruje się według szczelin utwarzanych przez łopatki i komorę wirnika, zaś wirnik turbiny Francisa — według szczelin w uszczelnieniach labiryntowych (rys. 110).

Wskazywaliśmy dalej, że w celu umożliwienia przycentrowania wału prądnicy, wirnik wraz z wałem należy ustawić poniżej projektowanej rzędnej o odległość nieco większą (co najmniej o 3 do 4 mm) od wysokości centrującego występu znajdującego się na wale turbiny.

Po wycentrowaniu wirnika, na specjalnym krzyżaku przymocowanym do wolnego kołnierza wału zawieszają się cztery piony. Piony te leżą w dwóch prostokątnych do siebie płaszczyznach, zaś krzyżak jest pod względem elektrycznym izolowany od wału. Ciężary pionów zawieszane są na strunach. Dla ułatwienia orientacji płaszczyzny te obieramy w ten sposób, aby pokrywały się one z osią podłużną X oraz z osią poprzeczną Y budynku siłowni. W celu tłumienia wahań pionów ciężary ostatnich umieszcza się w lepkiej cieczy (np. w oleju).

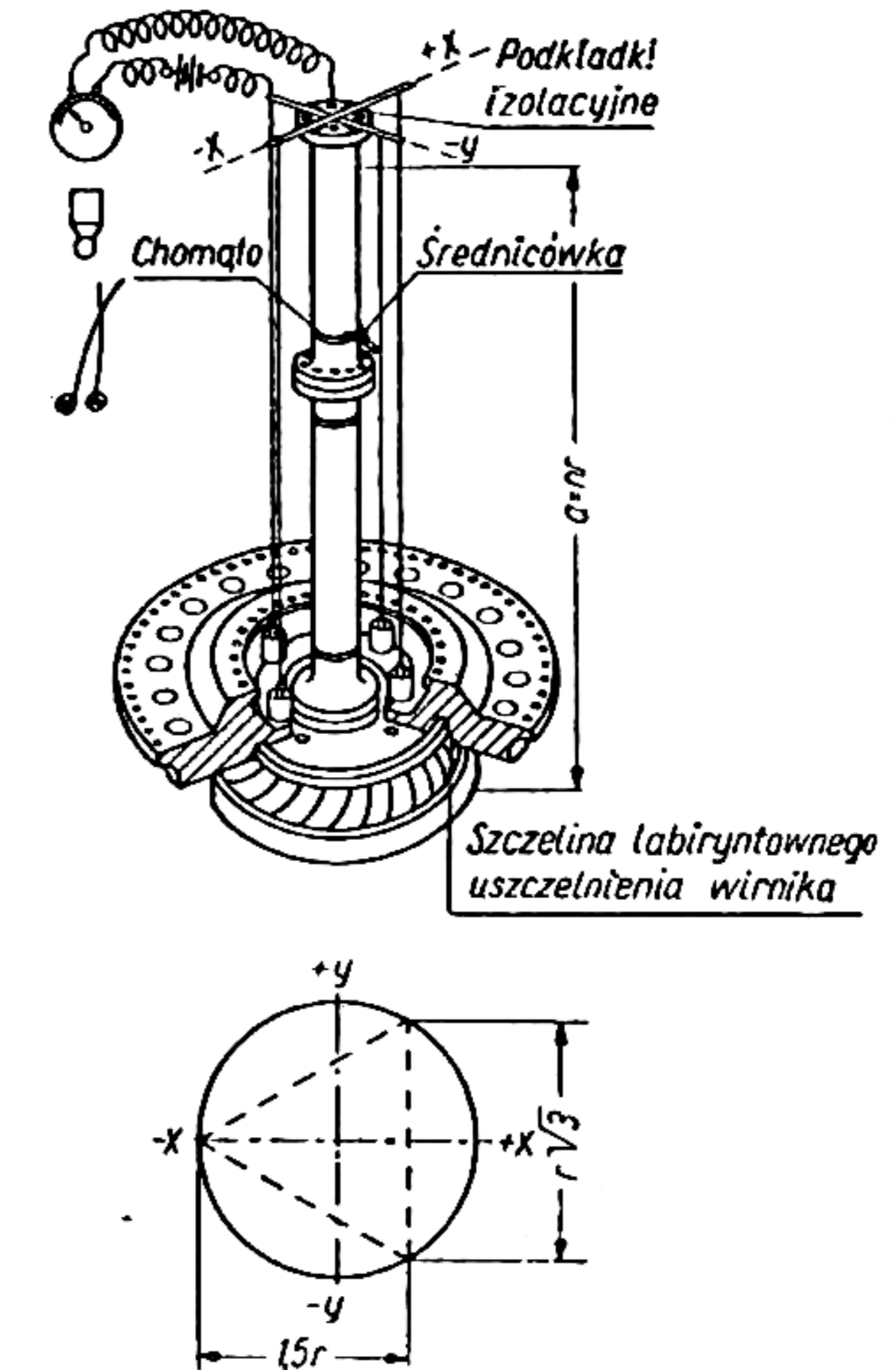
Na struny używa się stalowego kalibrowanego drutu o średnicy $d = 0,3$ do $0,5$ mm bez przegięć i węzłów. Wielkość ciężaru P obiera się uwzględniając największe dopuszczalne naprężenie struny; wielkość tę obliczamy ze wzoru

$$P = \frac{\pi R_r d^2}{4k}$$

Przyjmując dla drutu doraźną wytrzymałość na rozciąganie $R_r = 200$ kG/mm² oraz współczynnik bezpieczeństwa $k = 2,5$, wielkość ciężaru przy średnicy drutu $d = 0,3$ i $0,5$ mm, wyniesie odpowiednio 5,6 oraz 15,7 kG.

Najracjonalniejszym kształtem ciężaru jest kształt walca kołowego o stosunku wysokości h do średnicy ciężaru d_c wynoszącym

$$\frac{h}{d_c} = 2 \text{ do } 2,5$$



Rys. 110. Schemat wyjaśniający centrowanie zespołu wirującego turbiny Francisa metodą czterech pionów

Do pomiarów odległości pomiędzy strunami pionów i powierzchnią wału używa się mikrometru średnicowego (średnicówki mikrometrycznej). Średnicówka przymocowana jest do specjalnych widełek, które w celu ustalenia wysokości ich umieszczenia opierają się na chomaćce przymocowanym do wału. Chomaćka należy umieszczać możliwie jak najbliżej kołnierzy wałów. W przypadku, gdy oprócz wału turbiny turbozespół posiada wał pośredni, pomiary przeprowadza się na czterech wysokościach, tak jak pokazano na rys. 110. W celu ułatwienia pomiarów i zapewnienia ich wysokiej dokładności wał oraz struna włącza się w obwód elektryczny niskiego napięcia : 6 do 12 V. Chwilę zetknięcia się średnicówki ze struną określa się słuchowo za pomocą dzwonka elektrycznego, za pośrednictwem słuchawki telefonicznej włączonej w obwód, albo za pomocą woltomierza lub też na podstawie obserwacji iskry elektrycznej. Dokładność tych metod osiąga 0,01 do 0,005 mm.

Wał turbiny Kaplana ustawia się do pionu za pomocą specjalnych zawieszki (których ilość zależy od ilości łopatek wirnika) lub za pomocą dźwigników, zaś w turbinach Francisa używa się w tym celu dwustronnych klinów, na których wspiera się wirnik.

Zazwyczaj stosuje się 4 do 8 sztuk klinów (punktów podparcia) w zależności od ciężaru układu wirującego turbiny. Jednak lepiej jest podparć wirnik w trzech (lub sześciu) punktach, które jak wiadomo zapewniają stateczność układu i usprawniają zarazem przebieg ustawiania wału.

Oznaczmy przez δ_x odchylenie górnego końca wału względem prostej pionowej przechodzącej przez środek wirnika wzięte w kierunku osi X, zaś przez δ_y — odchylenie to w kierunku osi Y. Wówczas w celu skasowania odchylenia δ_x należy „podbić” klin (tj. zwiększyć jego czynną wysokość) o pewną wartość h_x , którą wyznaczyć można z podobieństwem trójkątów (rys. 110).

$$\frac{\delta_x}{h_x} = \frac{n r}{1,5 r}$$

skąd

$$h_x = \frac{1,5 \cdot \delta_x}{n} \quad [9]$$

gdzie n — ilość promieni r mieszczących się w długości a , czyli $n = \frac{a}{r}$.

Analogicznie w kierunku osi Y:

$$\frac{\delta_y}{h_y} = \frac{n r}{r \sqrt{3}}$$

skąd

$$h_y = 1,73 \frac{\delta_y}{n} \quad [10]$$

Jednak wraz ze zmianą wysokości klina o wielkość h_y , należy również podbić klin w punkcie X o wielkość równą $\frac{h_y}{2}$.

O ile wirnik podparty jest w sześciu punktach, to w celu wyznaczenia h_x oraz h_y należy wziąć pod uwagę trzy punkty; w pozostałych trzech punktach pośrednich kliny odpowiednio się podbija kasując tym samym luzy w tych punktach podparcia.

2. Sprawdzenie pomiarów

Schemat centrowania wału turbiny składającego się z dwóch części podany na rys. 111 dotyczy przypadku ogólnego, gdy istnieją odchylenia od pionu wskutek: a) pochylenia obu wałów oraz b) wskutek załamania ich osi, przy czym osie te leżą w dwóch płaszczyznach. W przypadku centrowania metodą „czterech pionów”, wyłącza się z centrowania samą bryłę wału i centruje się tylko jego oś geometryczną. Z tego względu dokładność pomiarów można sprawdzić posługując się wzorem

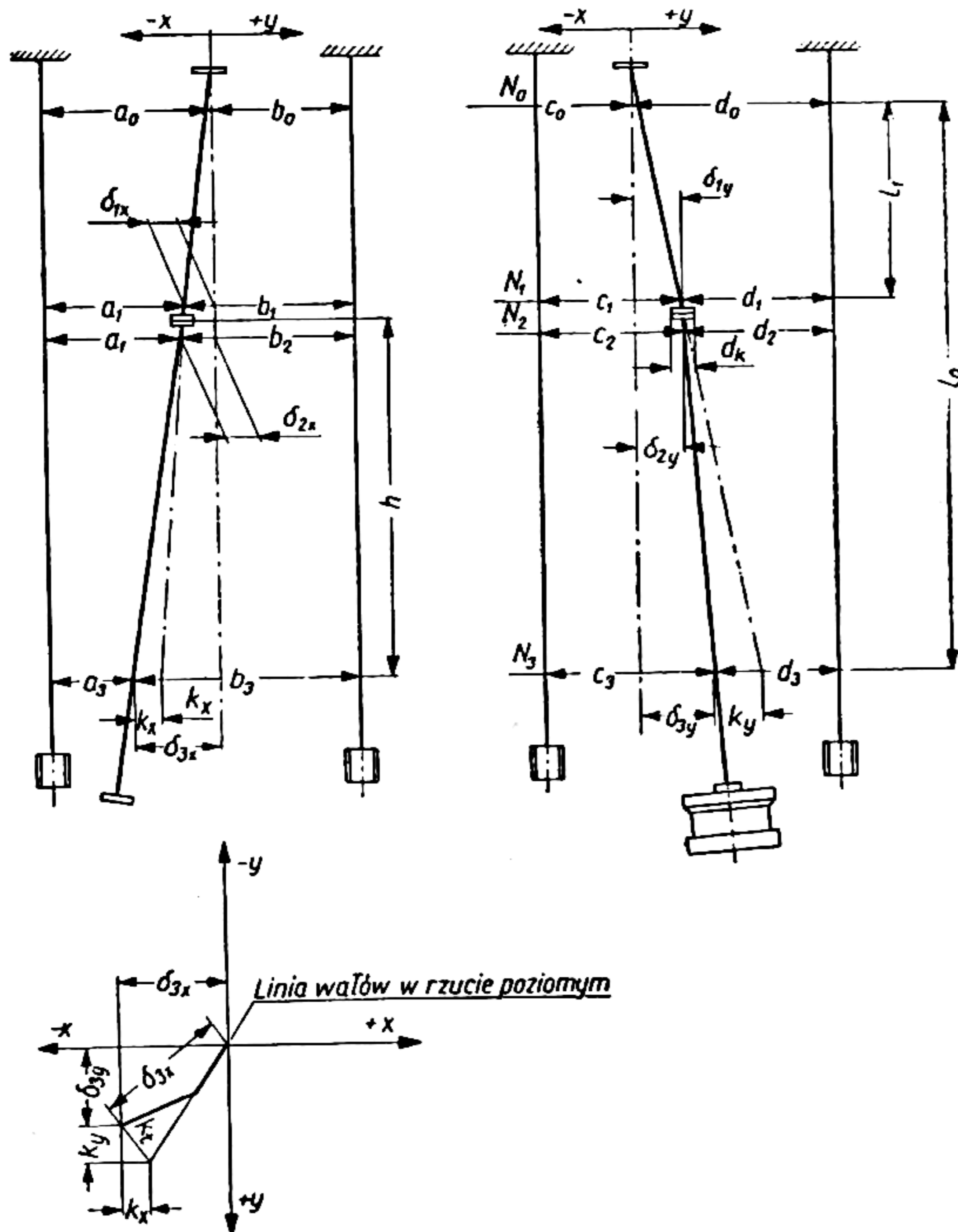
$$(a_o + b_o) + (c_i + d_i) = (c_o + d_o) + (a_i + b_i)$$

gdzie a_i, b_i, c_i oraz d_i — oznaczają odległości powierzchni wału od odpowiednich pionów (strun), mierzone za pomocą średnicówki w płaszczyźnie danego chomaćka (płaszczyźnie pomiaru).

Tablica 38

Wyniki pomiarów otrzymanych przy centrowaniu wału turbiny metodą czterech pionów. (Dane odpowiadają przykładowi podanemu w p. 4 § 30)

Osie, na których przeprowadzono pomiary	Płaszczyzna pomiarów (chomaćka)							
	N_0		N_1		N_2		N_3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
-X	a_o	25,35	a_1	25,31	a_2	25,30	a_3	23,20
+X	b_o	20,30	b_1	20,35	b_2	20,34	b_3	18,43
-Y	c_o	15,21	c_1	15,30	c_2	15,32	c_3	13,32
+Y	d_o	18,40	d_1	18,21	d_2	18,26	d_3	16,27
Suma	$a_o + b_o$	45,65	$a_1 + b_1$	45,66	$a_2 + b_2$	45,64	$a_3 + b_3$	41,63
	$c_o + d_o$	33,61	$c_1 + d_1$	33,61	$c_2 + d_2$	33,58	$c_3 + d_3$	29,59
Różnica	$a_o - b_o$	5,05	$a_1 - b_1$	4,96	$a_2 - b_2$	4,96	$a_3 - b_3$	4,77
	$c_o - d_o$	- 3,19	$c_1 - d_1$	- 3,01	$c_2 - d_2$	- 2,94	$c_3 - d_3$	- 2,95



Rys. 111. Schemat centrowania wału turbiny i wału pośredniego za pomocą czterech pionów

Błąd bezwzględny przy porównaniu z sobą ośmiu pomiarów nie powinien być większy od 0,04 mm, co jest w zupełności osiągalne przy opisanych metodach. Zatem powinno być:

$$[(a_o + b_o) + (c_i + d_i)] - [(c_o + d_o) + (a_i + b_i)] \leq 0,04 \text{ mm} \quad [11]$$

Zaleca się, aby wyniki pomiarów zapisywać w sposób podany w tabl. 38.

3. Wyznaczenie odchylenia wału spowodowanego jego pochyleniem

Ze względu na to, że podczas centrowania zmienia się położenie osi wałów nie zachodzi potrzeba starania się o umieszczenie wszystkich czterech strun w ściśle jednakowych odległościach od tworzącej powierzchni wału. Odchylenia wału w dowolnej płaszczyźnie pomiaru oraz w kierunku osi X (odchylenie δ_{ix} lub w kierunku osi Y (odchylenie δ_{iy}) wyznacza się z zależności geometrycznych:

$$\delta_{ix} = \frac{(a_i - b_i) - (a_o - b_o)}{2} \quad \text{oraz} \quad \delta_{iy} = \frac{(c_i - d_i) - (c_o - d_o)}{2} \quad [12]$$

Kierunek odchylenia wału określony jest przez znak wielkości δ_{ix} lub δ_{iy} . Wypadkowe, a więc całkowite odchylenie δ_i , spowodowane pochyleniem, wynosi:

$$\delta_i = \sqrt{\delta_{ix}^2 + \delta_{iy}^2} \quad [13]$$

Względne odchylenie δ_l , tj. wielkość odchylenia przypadającego na jeden metr linii wału, nie powinno być większe od 0,02 mm, czyli

$$\delta_l = \frac{\delta_i}{l} \leq 0,02 \text{ mm} \quad [14]$$

gdzie l — odległość pomiędzy płaszczyznami, w których przeprowadza się pomiary.

Podaną wyżej dopuszczalną wartość odchylenia względnego 0,02 mm przyjęto na podstawie doświadczenia, które wykazało, że odchylenie o tej wartości nie wywołuje nadmiernego pogorszenia działania turbozespołu. Z drugiej strony zmniejszenie dopuszczalnej wartości odchylenia może spowodować nieuzasadnione powiększenie kosztów oraz czasu potrzebnego na wycentrowanie linii wałów.

4. Wyznaczenie odchylenia wału spowodowanego załamaniem wspólnej linii (osi)

Wartość odchylenia k_l wynikającą z załamania linii wału, mierzymy w płaszczyźnie poziomej przy poprzecznym czopie wału, tj. przyjmujemy, że odchyleniem tym jest pozioma odległość od osi wału turbiny do przedłużenia osi wału pośredniego tak jak pokazano na rys. 111. Składowe odchylenia k_x oraz k_y wynikające z załamania,brane w kierunku osi X oraz Y wyznaczone są przez związki geometryczne

$$k_x = \delta_{3x} - \frac{l_o}{l_1} \delta_{1x} \quad [15]$$

oraz analogiczny związek dla k_y . Wypadkowe (całkowite) odchylenie k_l wynikające z załamania osi wałów mierzone w płaszczyźnie przechodzącej przez poprzeczny czop wału wynosi

$$k_l = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad [16]$$

Dopuszczalną wartość odchylenia wynikającą z załamania osi wałów, wyznacza się biorąc pod uwagę nakładanie się możliwych błędów powstałych przy wykonywaniu wałów w wytwórni, w której na powierzchniach czołowych kołnierzy dopuszcza się rzut wału (bicie wału, rzucanie się wału) do 0,02 mm. Zatem dopuszczalne odchylenie wynikające z załamania linii wału turbiny k_{tdop} , wyniesie¹⁾

$$k_{tdop} \leq 0,02 \frac{2h}{d_k} \quad [17]$$

gdzie: h — odległość górnego kołnierza wału turbiny od płaszczyzny pomiaru odchylenia znajdującej się przy poprzecznym czopie wału,

d_k — średnica złącza kołnierzewego, w którym osie wałów przecinają się.

Przy sprzęganiu wałów w wytwórni nie należy dopuszczać, aby błędy obróbki czołowych powierzchni kołnierzy nakładały się na siebie. Z tego względu przy wspólnym wytaczaniu otworów należy tak usytuować kołnierze wałów, aby w granicach możliwości rzuty wałów znosiły się wzajemnie.

Przykład. Należy wycentrować układ wirujący turbiny Francisa. Wysokość układu $a = 12$ m, średnica dolnego wieńca wirnika $2r = 5$ m (rys. 110).

Znajdujemy liczbową wartość n :

$$n = \frac{a}{r} = \frac{12}{2,5} = 4,8$$

Założmy, że podczas ustawienia wału okazało się, że górny jego koniec odchylony jest o $\delta_x = 0,4$ mm w stronę $-X$ oraz o $\delta_y = 0,5$ mm w stronę $+Y$. Według wzorów [9] oraz [10] znajdujemy wielkość h_x , o którą należy podbić klin po stronie $-X$ oraz wielkość h_y , o którą należy podbić klin po stronie $+Y$:

$$h_x = 1,5 \frac{0,4}{4,8} = 0,12 \text{ mm}$$

$$h_y = 1,73 \frac{0,5}{4,8} = 0,18 \text{ mm}$$

Zatem po stronie $+Y$ podbijamy klin o 0,18 mm, zaś po stronie $-X$ o $0,12 + (0,18 : 2) = 0,21$ mm.

Posługując się wzorem [11] sprawdzamy dokładność rzeczywistych pomiarów otrzymanych przy ustawianiu wału według pionów, a zestawionych w tabl. 38:

Płaszczyzna pomiaru (chomąto)	N_1 :	$(45,65 + 33,61) - (33,61 + 45,66) = -0,01$ mm
"	N_2 :	$(45,65 + 33,58) - (33,61 + 45,64) = -0,02$ mm
"	N_3 :	$(45,65 + 29,59) - (33,61 + 41,63) = 0,00$

¹⁾ Jest tu mowa o wale turbiny składającym się z dwóch części, tj. z właściwego wału turbiny (łączycego się z wirnikiem) oraz z wału pośredniego (przyp. tłum.).

Widzimy, że błąd pomiaru nie przekracza dopuszczalnej wartości 0,04 mm. Obliczamy teraz składowe odchylenia wynikające z pochylenia wału. Posługujemy się przy tym wzorem [12] oraz danymi z tablicy 38:

$$\delta_{3x} = \frac{4,77 - 5,95}{2} = -0,14 \text{ mm}$$

$$\delta_{3y} = \frac{-2,95 - (-3,19)}{2} = 0,12 \text{ mm}$$

Całkowite odchylenie wału wynosi według wzoru [13]:

$$\delta_3 = \sqrt{0,14^2 + 0,12^2} = 0,19 \text{ mm}$$

Znaki przy δ_{3x} oraz przy δ_{3y} wskazują, że w płaszczyźnie pomiarowej N_3 wał odchylony jest odpowiednio w kierunkach $-X$ oraz $+Y$. Odchylenie względne według wzoru [14] przy $l_0 = 10$ m wynosi:

$$\delta l = \frac{0,19}{10} = 0,019 \text{ mm/m}$$

Odchylenie to nie przekracza więc dopuszczalnej wartości 0,02 mm/m.

Obliczamy dalej składowe odchylenia wynikające z załamania osi wałów. W tym celu posługując się wyrażeniem [12] oraz danymi z tabl. 38, obliczamy odchylenie wału pośredniego w płaszczyźnie pomiarowej N_1 , spowodowane pochyleniem wału:

$$\delta_{1x} = \frac{4,96 - 5,05}{2} = -0,04 \text{ mm}$$

$$\delta_{1y} = \frac{-3,01 - (-3,19)}{2} = 0,09 \text{ mm}$$

Podstawiając znalezione wartości do wyrażenia [15] i biorąc pod uwagę, że $l_1 = 4,5$ m, znajdujemy:

$$k_x = 0,14 - (-0,04) \frac{10}{4,5} = -0,05 \text{ mm}$$

$$k_y = 0,12 - 0,09 \frac{10}{4,5} = -0,08 \text{ mm}$$

Znaki minus przy k_x oraz przy k_y wskazują, że mamy do czynienia z odchyleniem wału, wynikającym z jego załamania, (dolny koniec jest „odgięty”) w kierunku $-X$ oraz $-Y$. Podstawiając otrzymane wartości w wyrażenie [16], znajdujemy że całkowita wartość odchylenia spowodowanego załamaniem wynosi:

$$k_l = \sqrt{0,05^2 + 0,08^2} = 0,095 \text{ mm}$$

W rozpatrywanym przypadku dla $d_k = 1,8$ m i odległości płaszczyzny pomiarowej N_3 (czopa poprzecznego) od złącza kołnierzewego $h = 5$ m, odchylenie z załamania nie powinno być większe (stosownie do wzoru [17]) od

$$k_{l dop} = 0,02 \frac{2,5}{1,8} = 0,11 \text{ mm}$$

Zatem rzeczywista wielkość odchylenia wynikającego z załamania, wynosząca 0,095 mm, jest dopuszczalna.

Aby zespół wirujący nie przesunął się w czasie ustawienia wału (przy podbijaniu klinów lub z powodu przypadkowych uderzeń), należy po wycentrowaniu wirnika umieścić kilka wkładek w szczelinach między łopatkami i komorą oraz po ukończeniu centrowania wału szpeci z sobą za pomocą elektrycznego spawania dwustronne kliny, na których opiera się wirnik. Wkładki usuwa się dopiero bezpośrednio przed przystąpieniem do sprzęgania wałów, zaś kliny — po ukończeniu tego sprzęgania. Ostateczne dane dotyczące wycentrowania protokółuje się. Formularz protokołu pokazano na rys. 112.

Elektrownia wodna:		Protokół kontroli linii wału turbiny i wału pośredniego		Nr protokołu																																																
Pomiary przeprowadzone dnia:																																																				
	<p>Odchylenia w kierunku osi X oraz Y</p> $\delta_{Xz} = \frac{(a_2 - b_2) - (a_0 - b_0)}{2} =$ $\delta_{Yz} = \frac{(c_2 - d_2) - (c_0 - d_0)}{2} =$ <p>Całkowite odchylenie</p> $\delta_z = \sqrt{\delta_{Xz}^2 + \delta_{Yz}^2} =$ <p>Odchylenia w kierunku osi x oraz y, spowodowane załamaniem linii wałów</p> $k_x = \delta_{Xz} - \frac{l_0}{l_v} \cdot \delta_{Xv} =$ $k_y = \delta_{Yz} - \frac{l_0}{l_v} \cdot \delta_{Yv} =$ <p>Całkowite odchylenie spowodowane załamaniem linii wałów</p> $k_z = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} =$																																																			
Sprawdził:	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Oś pomiarów</th> <th colspan="4">Płaszczyzna pomiarów (chomata)</th> </tr> <tr> <th>N₀</th> <th>N₁</th> <th>N₂</th> <th>N₃</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-X</td> <td>a₀</td> <td>a₁</td> <td>a₂</td> <td>a₃</td> </tr> <tr> <td>+X</td> <td>b₀</td> <td>b₁</td> <td>b₂</td> <td>b₃</td> </tr> <tr> <td>-y</td> <td>c₀</td> <td>c₁</td> <td>c₂</td> <td>c₃</td> </tr> <tr> <td>+y</td> <td>d₀</td> <td>d₁</td> <td>d₂</td> <td>d₃</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Suma</td> <td>a₀+b₀</td> <td>a₁+b₁</td> <td>a₂+b₂</td> <td>a₃+b₃</td> </tr> <tr> <td>c₀+d₀</td> <td>c₁+d₁</td> <td>c₂+d₂</td> <td>c₃+d₃</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Różnica</td> <td>a₀-b₀</td> <td>a₁-b₁</td> <td>a₂-b₂</td> <td>a₃-b₃</td> </tr> <tr> <td>c₀-d₀</td> <td>c₁-d₁</td> <td>c₂-d₂</td> <td>c₃-d₃</td> </tr> </tbody> </table> <p>Uwaga: w turbinach bez wału pośredniego pomiary przeprowadza się tylko w płaszczyznach N₁ i N₃</p>					Oś pomiarów	Płaszczyzna pomiarów (chomata)				N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	-X	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	+X	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	-y	c ₀	c ₁	c ₂	c ₃	+y	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	Suma	a ₀ +b ₀	a ₁ +b ₁	a ₂ +b ₂	a ₃ +b ₃	c ₀ +d ₀	c ₁ +d ₁	c ₂ +d ₂	c ₃ +d ₃	Różnica	a ₀ -b ₀	a ₁ -b ₁	a ₂ -b ₂	a ₃ -b ₃	c ₀ -d ₀	c ₁ -d ₁	c ₂ -d ₂	c ₃ -d ₃
Oś pomiarów	Płaszczyzna pomiarów (chomata)																																																			
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃																																																
-X	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃																																																
+X	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃																																																
-y	c ₀	c ₁	c ₂	c ₃																																																
+y	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃																																																
Suma	a ₀ +b ₀	a ₁ +b ₁	a ₂ +b ₂	a ₃ +b ₃																																																
	c ₀ +d ₀	c ₁ +d ₁	c ₂ +d ₂	c ₃ +d ₃																																																
Różnica	a ₀ -b ₀	a ₁ -b ₁	a ₂ -b ₂	a ₃ -b ₃																																																
	c ₀ -d ₀	c ₁ -d ₁	c ₂ -d ₂	c ₃ -d ₃																																																
Zmierzyl:																																																				

Rys. 112. Formularz protokołu kontroli linii wału turbiny i wału pośredniego

Po przygotowaniu wału turbiny do przycentrowania do niego wału prądnic sporządza się akt zdawczy kołnierza wału turbiny. Według tego kołnierza stanowiącego podstawę (bazę) dla dalszego montażu centruje się stojan oraz do niego krzyżak prądnicy. Następnie układ wirujący prądnicy opuszcza się na jego miejsce, ustawia się górny krzyżak, zespół wirujący zawieszają się na łożysku wzdłużnym (rozpatrujemy prądnicę typu podwieszoną) i przycentrowuje się kołnierz wału prądnicy do kołnierza wału turbiny.

§ 31. CENTROWANIE WAŁU PRĄDNICY Z WAŁEM TURBINY

Wał prądnicy centruje się z wałem turbiny, aby doprowadzić do pokrycia się ich osi. Wał prądnicy powinien być w tym celu ustawiony w ten sposób, żeby tworząca jego kołnierza pokrywała się z tworzącą kołnierza wału turbiny lub wału pośredniego, zaś powierzchnie czołowe kołnierzy były do siebie równoległe. Pokrywanie się tworzących sprawdzamy za pomocą liniału mierniczego. Liniał ten przykładamy do kołnierzy w czterech miejscach na obwodzie w kierunku osi X oraz Y. Równoległość ustawienia powierzchni czołowych kołnierzy kontrolujemy za pomocą szczerinomierza przez pomiar odległości tych powierzchni w tychże miejscach (rys. 113).

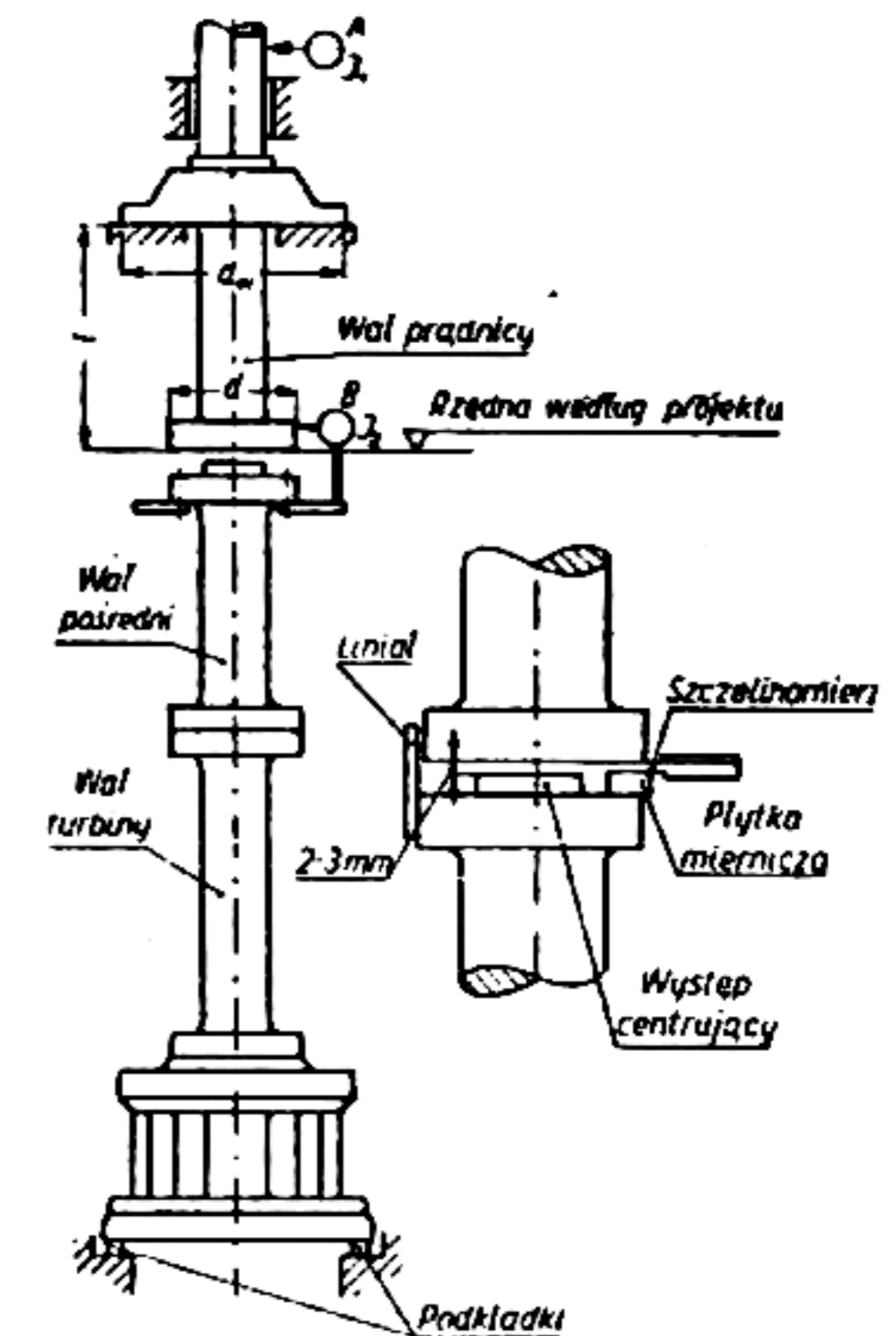
Dopuszczalne przesunięcie kołnierza wału prądnicy względem kołnierza wału turbiny, tj. mimośrodowość e tych wałów nie powinna przekraczać 0,1 najmniejszej grubości szczeliny w uszczelnieniu labiryntowym turbiny s_{min} , czyli powinno być

$$e \leq 0,1 s_{min}$$

Dopuszczalna rozbieżność (nierównoległość) kołnierzy wynika z warunku, aby po sprzęgnięciu względne odchylenie osi wału nie przekraczało — jak to mówiliśmy uprzednio — 0,02 mm/m.

Po przycentrowaniu sprawdza się czy czop tarczowy jest prostopadły do osi wału prądnicy i w razie potrzeby czy do tej osi jest prostopadła płaszczyzna czołowa kołnierza tego wału. Sprawdzenie to odbywa się drogą obrócenia o 360° zespołu wirującego prądnicy, przy czym przeprowadzamy je przy łożysku prądnicy znajdującym się najbliżej jej łożyska wzdłużnego. Odchylenia można mierzyć za pomocą dwóch czujników (rys. 113).

Przy obróceniu układu wirującego prądnicy o 360° brak prostopadłości



Rys. 113. Schemat wyjaśniający sposób przycentrowania wału prądnicy

czopa tarczowego względem osi wału prądnicy ujawnia się we wskazaniu I_2 czujnika B. Wskazanie to zawiera w sobie dwie składowe:

1) rzut wału wskutek nieprostokątnego ustawienia czopa tarczowego względem osi wału prądnicy;

2) przesunięcie I_1 wału prądnicy w granicach szczeliny łożyska poprzecznego, przesunięcie to mierzy się za pomocą czujnika A, który jest ustawiony przy łożysku poprzecznym i w płaszczyźnie (pionowej) czujnika B.

Nieprostokątne ustawienie czopa tarczowego powoduje, że dolny koniec wału prądnicy odchyła się o odległość

$$k_p = \frac{J_2 - J_1}{2} \quad [18]$$

Dopuszczalne odchylenie dolnego końca wału prądnicy wynika z ewentualnego błędu wykonania czopa tarczowego, dla którego dopuszcza się bicie roboczej powierzchni do 0,02 mm. Zatem dopuszczalne odchylenie dolnego końca wału prądnicy, spowodowane tym błędem, $k_{p \text{ dop}}$, wyznaczone będzie ze związku

$$k_{p \text{ dop}} \leq 0,02 \frac{l}{d_w} \quad [19]$$

gdzie: d_w — średnica czopa tarczowego w łożysku wzdłużnym,
 l — odległość kołnierza wału prądnicy od powierzchni roboczej czopa tarczowego.

Przykład. Załóżmy, że przy sprawdzaniu przycentrowania wału prądnicy do wału turbiny okazało się, iż po obrocie o 360° układu wirującego prądnicy, czujniki wykazały następujące wartości rzucania wału: $J_2 = + 1,12$ mm oraz $J_1 = - 0,06$ mm.

Przy $l = 6,5$ m oraz przy $d_w = 2,8$ m odchylenie linii wału spowodowane nieprostokątnym ustawieniem czopa tarczowego wynosi według wyrażenia [18]

$$k_p = \frac{0,12 - (-0,06)}{2} = 0,09 \text{ mm}$$

zaś dopuszczalna wartość tego odchylenia nie powinna według wyrażenia [19] być większa od

$$k_{p \text{ dop}} = 0,02 \frac{6,5}{2,8} = 0,046 \text{ mm}$$

Widzimy, że rzeczywiste odchylenie linii wału prądnicy jest większe od dopuszczalnego, a zatem przed sprzęgnięciem wałów należy przeprowadzić odpowiednią korekcję albo przez doskrobanie oporowej powierzchni piasty, w której opiera się czop tarczowy, albo przez zastosowanie podkładki o odpowiedniej grubości. Należy zauważyć, że doświadczenie wykazało, iż podczas eksploatacji turbozespołu podkładki wykazują tendencję do ulegania zniszczeniu. (W pewnych przypadkach przy długotrwałej eksploatacji podkładki sporządzone z kalki rysunkowej rozsypywały się na próchno). W związku z tym należy unikać stosowania podkładek pomiędzy piastą i czopem tarczowym.

Obracanie układu wirującego. Obracanie układu wirującego, prądnicy typu podwieszonoego, mające na celu sprawdzenie rzucania wału, przeprowadzamy za pomocą dźwigu oraz specjalnego bębna i liny. Bęben sporządza się zazwyczaj na miejscu: jest on wykonany ze stali, a jego zewnętrzny wieniec posiada kształt wieloboku foremego. Wieniec ten spawany jest z ceowników (patrz rys. 160). Do ceowników przyspawane są szprychy związane pomiędzy sobą. Bęben nasadza się na piastę łożyska wzdłużnego w ten sposób, że jego szprychy wchodzi pomiędzy jej żebra. Linę nawiniętą na bęben zawieszają na haku dźwigu przerzuciwszy ją uprzednio przez krążek. W celu zapewnienia odpowiedniego smarowania łożyska podczas obracania układu wirującego powleka się warstwą tłuszczu odpowiednie powierzchnie cierne przed zmontowaniem łożyska na miejscu.

Układ wirujący prądnicy typu parasolowego¹⁾ obracamy również za pomocą dźwigu. W tym przypadku linę zawieszoną na haku dźwigu i przerzucaną przez krążek przymocowuje się do szprych twornika.

Niekiedy dźwigu używamy tylko do poruszenia z miejsca zespołu wirującego; następnie zespół ten obraca kilku ludzi, którzy naciskają na szprychy przymocowane do obwodu układu. Zespoły wirujące średnich wymiarów można obracać za pomocą wciągarki napędzanej ręcznie lub silnikiem.

Dane dotyczące przycentrowania układu wirującego prądnicy do zespołu wirującego turbiny zapisuje się w protokole. Formularz protokołu pokazano na rys. 114.

Po przycentrowaniu wału prądnicy i po przekonaniu się, że grubość szczeliny pomiędzy twornikiem i stojanem prądnicy jest jednakowa na całym obwodzie, sprzęga się wał prądnicy z wałem turbiny.

§ 32. SPRZĘGANIE WAŁÓW TURBOZESPOŁU

Wały sprzęga się po scentrowaniu wału prądnicy z wałem turbiny. Sprzęganie polega na podciągnięciu zespołu wirującego turbiny do zespołu wirującego prądnicy oraz na założeniu i dociągnięciu śrub złącza kołnierzego.

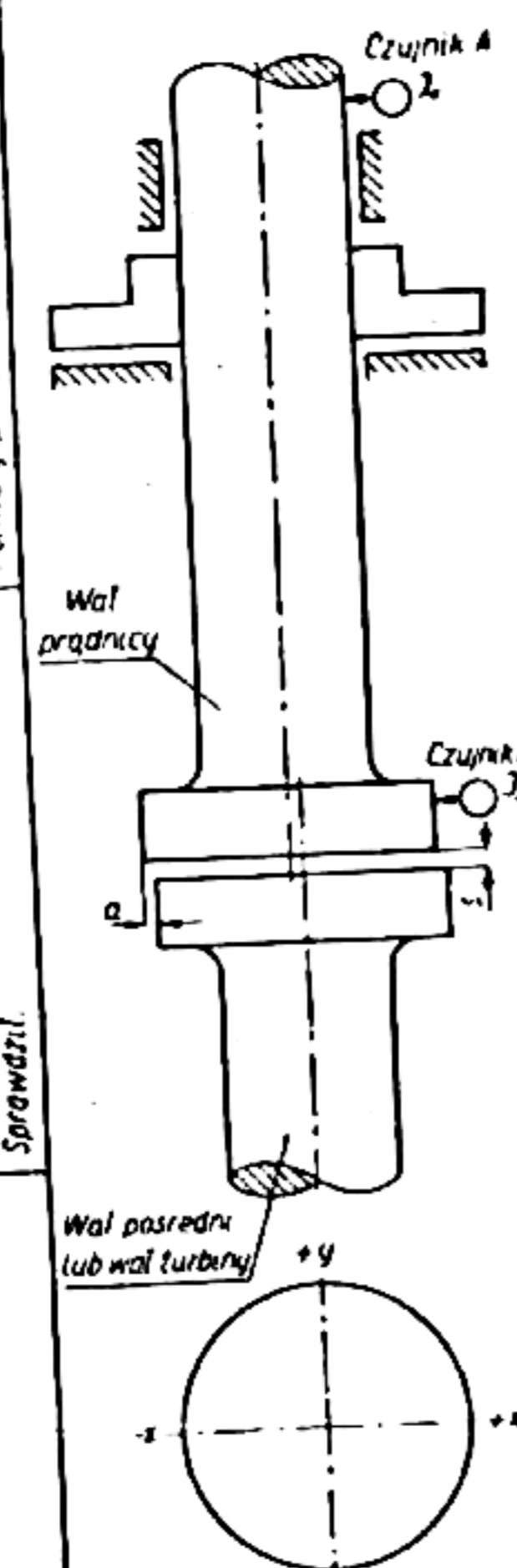
Dla ułatwienia robót buduje się pomost wokół wału. Pomost ten powinien znajdować się o 0,8 do 1,0 m poniżej rzędnej złącza kołnierzego.

Przed podniesieniem zespołu wirującego turbiny należy starannie oczyścić czołowe powierzchnie kołnierzy wałów oraz sprawdzić czy na tych powierzchniach oraz w otworach na śruby pasowane nie znajdują się wypukłości.

1. Podnoszenie zespołu wirującego turbiny

Przy podnoszeniu (podciąganiu) zespołu wirującego turbiny posługujemy się trzema lub czterema prowizorycznymi śrubami o średnicy mniejszej o 20 do 40 mm od średnicy otworów. Jednocześnie w celu dokładnego uzgod-

¹⁾ W prądnicach typu parasolowego łożysko wzdłużne umieszczone jest nad twornikiem (przyp. tłum.).

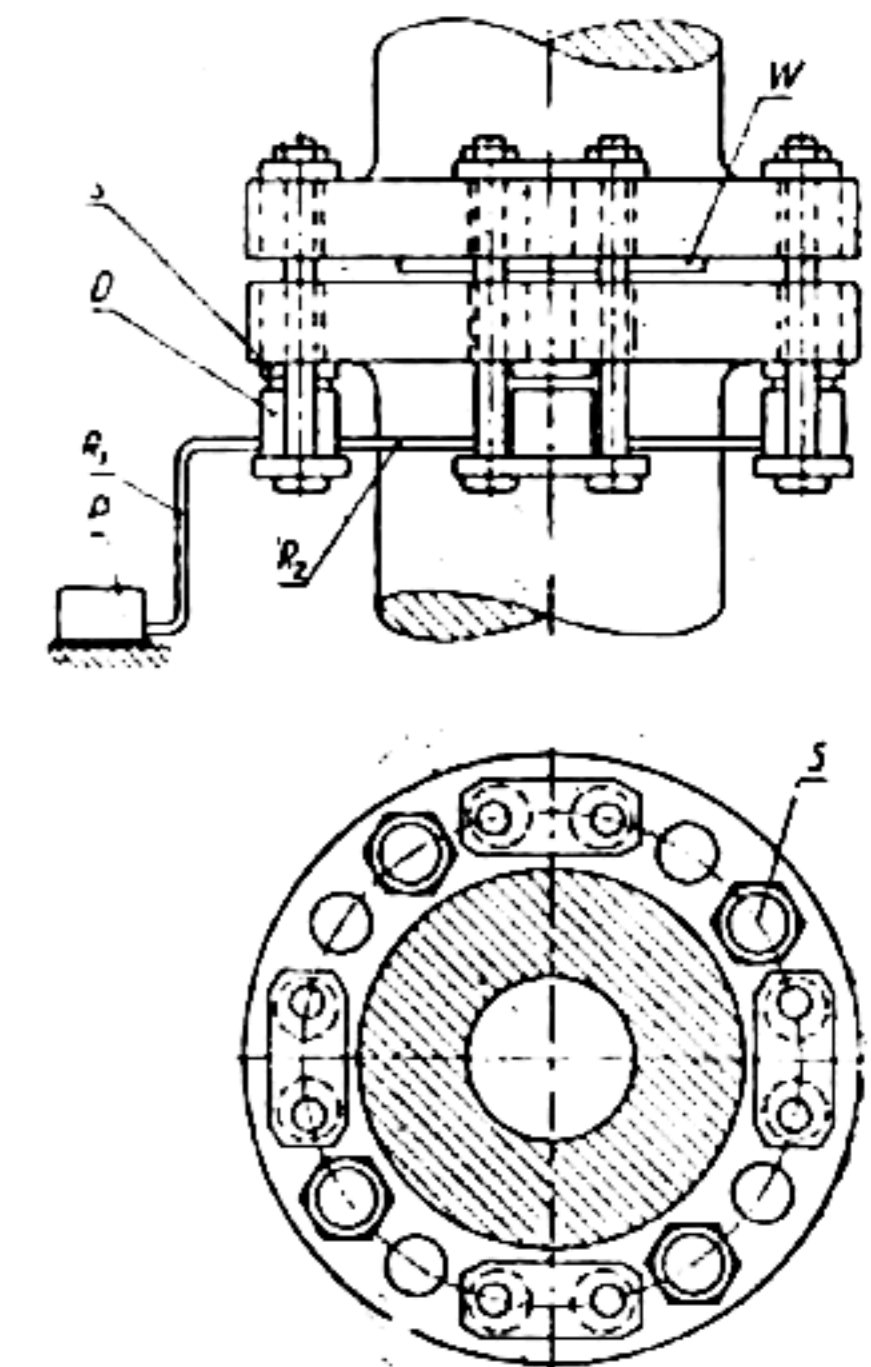
Elektrownia wodna	Protokół kontroli wycentrowania wału prądnicy z wałem turbiny	Nr protokołu																																
Pomiary przeprowadzono dnia		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kąt obrotu wału prądnicy względnie miejsce pomiarów</th> <th>0°</th> <th>180°</th> <th>360°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grubość szczeliny międzykołnierzowej</td> <td>y</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>-y</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>-x</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Odczyt czujnika B J_2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Odczyt czujnika A J_1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Całkowity rzut wału $J_2 - J_1$</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Kąt obrotu wału prądnicy względnie miejsce pomiarów	0°	180°	360°	Grubość szczeliny międzykołnierzowej	y				x				-y				-x			Odczyt czujnika B J_2				Odczyt czujnika A J_1				Całkowity rzut wału $J_2 - J_1$			
		Kąt obrotu wału prądnicy względnie miejsce pomiarów	0°	180°	360°																													
Grubość szczeliny międzykołnierzowej	y																																	
	x																																	
	-y																																	
	-x																																	
Odczyt czujnika B J_2																																		
Odczyt czujnika A J_1																																		
Całkowity rzut wału $J_2 - J_1$																																		
Sprawdził	<p>Przesunięcie a osi wału prądnicy względem osi wału pośredniego lub wału turbiny</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>+y</th> <th>+x</th> <th>-y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Uwaga: wartość przesunięcia kołnierza wału prądnicy względem kołnierza wału pośredniego (turbiny) należy brać ze znakiem +</p>		+y	+x	-y									Zmierzyl																				
	+y	+x	-y																															

Rys. 114. Formularz protokołu kontroli przycentrowania wału prądnicy do wału pośredniego lub wału turbiny

nienia otworów na śruby zakłada się dwie lub trzy stałe śruby pasowane, które podczas podnoszenia kierują układem turbiny. Podciąganie tego układu za pomocą śrub jest operacją bardzo pracochłonną, wymaga wielkich sił fizycznych i nie zawsze zapewnia należyta jakość połączenia, bowiem nierównomierne podciąganie może spowodować zkosowanie wału, zatarcie pasowanych śrub kierujących i w następstwie wgniecenie krawędzi otworów lub powstanie zadziórów na pasowanych powierzchniach śrub i otworów. W tych przypadkach po połączeniu kołnierzy stwierdzić możemy załamanie linii wałów turbozespołu.

Aby tego uniknąć, zaleca się podciągać układ wirujący za pomocą urządzenia dźwignikowego, które znacznie ułatwia pracę, skraca czas operacji i podwyższa jakość połączenia wałów. Można stosować dźwigniki hydrauliczne lub mechaniczne. Jako przykład podamy, że przy budowie pewnej elektrowni wodnej z powodzeniem podciągano zespół wirujący o ciężarze 100 T za pomocą dźwigników mechanicznych oraz przekładnika (przekładni redukcyjnej).

Na rys. 115 pokazano urządzenie służące do podnoszenia, zaopatrzone w dźwigniki hydrauliczne. Olej pod ciśnieniem dostarczany jest do czterech dźwigników D za pomocą pompy ciśnieniowej P poprzez rurę R_1 oraz rurki R_2 , łączące dźwigniki z sobą. W celu ułatwienia pracy należy stosować rury giętkie, a mianowicie węże wysokociśnieniowe marki IHFM, typ II, o średnicy wewnętrznej 6 do 8 mm, na ciśnienie 150 kG/cm². Pożądane jest, aby dźwigniki były umieszczone pomiędzy dwoma sąsiednimi otworami kołnierzy, jak to podano na rysunku. Jeżeli górna nakładka przeszkadza przy zakładaniu klucza na nakrętkę, to dźwigniki należy umieścić na górnym kołnierzu.



Rys. 115. Urządzenie do podnoszenia zespołu wirującego turbiny

W pewnych konstrukcjach przy znacznym ciężarze zespołu wirującego (powyżej 100 T) nie można zmieścić dźwigników o wielkim udźwigu pomiędzy dwoma otworami, a to z powodu znacznych wymiarów tych dźwigników. W tych przypadkach śruby urządzenia dźwignikowego lokuje się w otworach, zaś górną stopę s dźwignika wykonuje się tak, aby zakrywała otwór w kołnierzu wału.

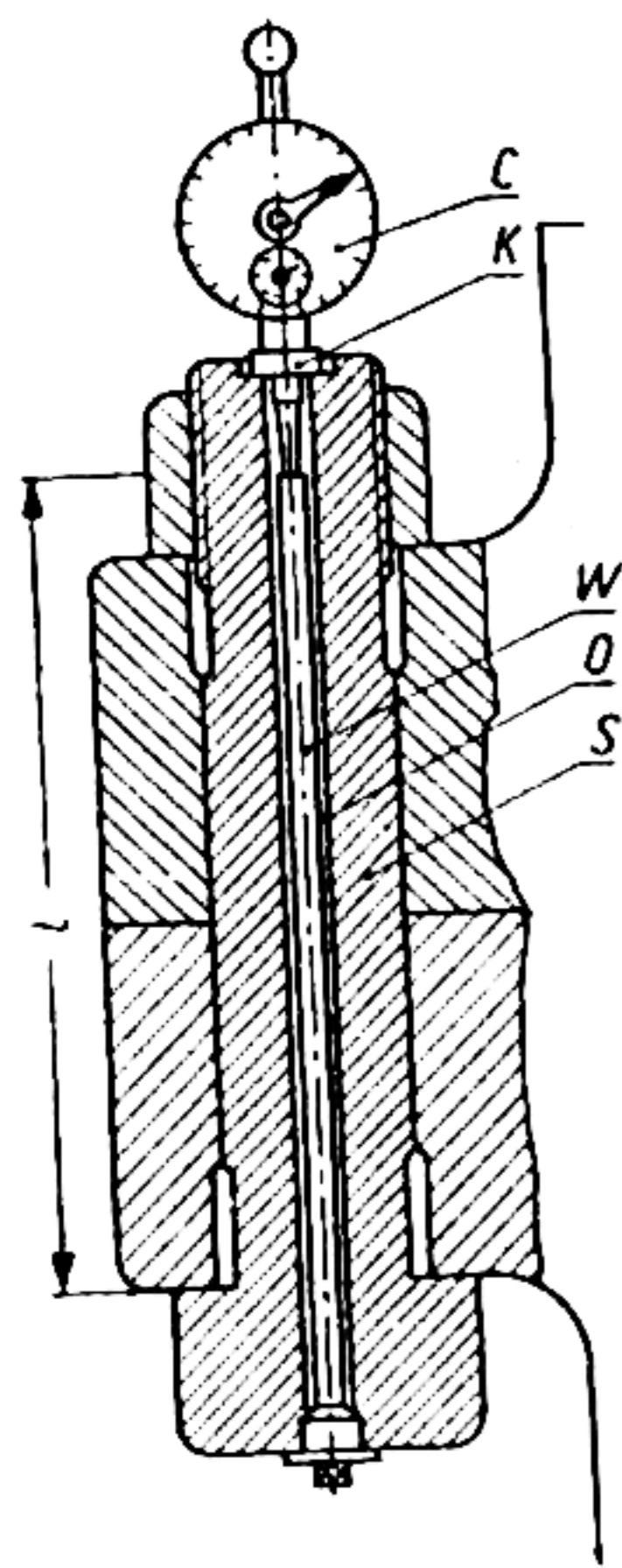
W celu otrzymania w dźwignikach odpowiedniego ciśnienia można używać pompy ciśnieniowej, służącej do podnoszenia układu wirującego prądnicy. Pompa ta daje zazwyczaj ciśnienie około 150 kG/cm². Przy podnoszeniu układu wirującego turbiny, oprócz jego ciężaru G muszą być pokonane siły tarcia, występujące w kierujących śrubach pasowanych S, w centrującym występie wału W oraz w samych dźwignikach. Siły tarcia stanowią razem około 15 do 20% ciężaru zespołu wirującego.

Opierając się na przytoczonych danych, tj. przyjmując ciśnienie w dźwignikach $p = 150 \text{ kG/cm}^2$ oraz siły tarcia rzędu $0,2 G$, średnicę tłoka dźwignika d można obliczyć z wyrażenia

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,2 G}{\pi p i}} = 0,1 \sqrt{\frac{G}{i}} \text{ cm}$$

gdzie i — ilość dźwigników.

W razie nagłego spadku ciśnienia w hydraulicznym układzie dźwigniowym, zespół wirujący może również nagle opaść. Z tego powodu w celu zapewnienia bezpieczeństwa należy w miarę podnoszenia zespołu wirującego kasować luzy przez przykręcanie nakrętek śrub kierujących. Po uzyskaniu ścisłego dolegania kołnierzy usuwa się dźwigniki i zgodnie z oznakowaniem zakłada się wszystkie śruby pasowane. Śruby te owijają się przy użyciu śrub z uchami, które wkręca się w powierzchnie czołowe śrub pasowanych. Śruby pasowane powinny być powleczone smarem rtęciowym, który ułatwia ich wyjęcie w przypadku naprawy.



Rys. 116. Metoda wyznaczania napięć występujących w śrubach kołnierzowych złączy wałów w wyniku dociągania tych śrub

2. Dociąganie śrub

Śruby należy dociągać za pomocą specjalnych kluczy pneumatycznych (§ 12) lub za pomocą baby, tj. ciężaru zawieszono na linie i zaopatrzonego w rękojeść. Dociąganie przeprowadza się stopniowo przykręcając śruby przeciwległe. Dokładność dopasowania kołnierzy sprawdza się „pod światło” oraz za pomocą szczelinomierza. Niedopuszczalne jest występowanie szczeliny międzykołnierzowej.

Należy zauważyć, że oparte na subiektywnym osądzie określenie siły (napięcia) z jaką śruby są dociągane może doprowadzić do niejednakowego ich dociągnięcia i do przetężenia poszczególnych śrub, co powoduje w pewnych przypadkach skrzywienie linii wału i w następstwie nadmierne jego rzucanie.

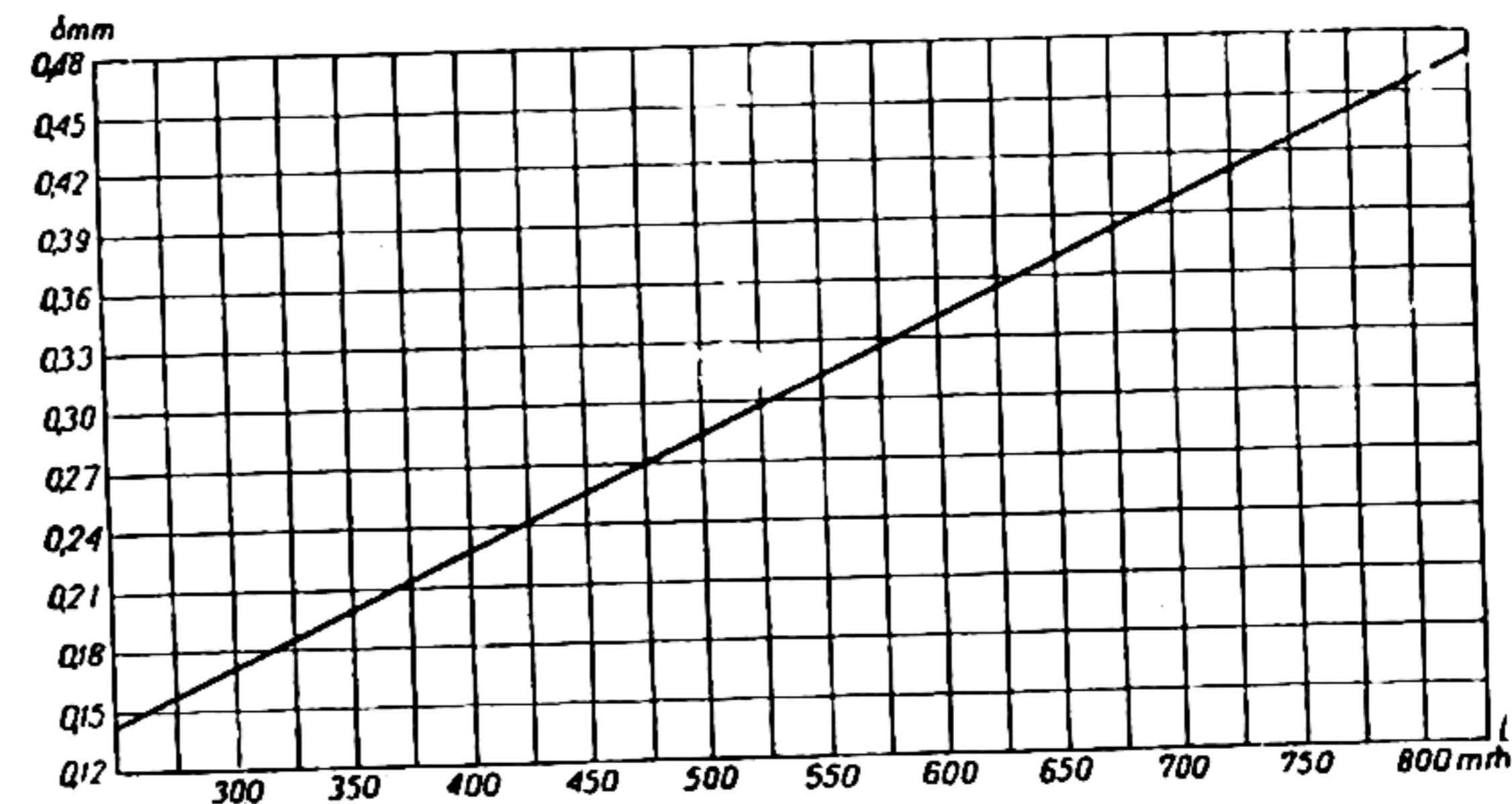
Istnieją różne metody pomiaru napięcia śrub przy ich dociąganiu lub wyznaczanie tego napięcia z góry, jak np. pomiar (za pomocą dynamometru) siły potrzebnej do obracania nakrętki lub metoda polegająca na ogrzaniu śruby do określonej temperatury i następnym nakręcaniu nakrętki bez dociągania. W ostatnim przypadku śruba zostaje dociągnięta wskutek ostygnięcia, zaś napięcie jej określa się drogą rachunku. Opisane powyżej metody kontroli napięcia występującego przy dociąganiu śrub są jednak zanadto skomplikowane i dlatego nie znalazły zastosowania przy montażu turbin wodnych.

Bardziej prosta jest metoda określania tego napięcia na podstawie wydłużenia śruby, które mierzymy za pomocą czujnika lub głębokościomierza, w sposób pokazany na rys. 116. Śruba S powinna być w tym celu zaopatrzona w otwór O przechodzący na wylot przez jej środek; w otwór ten wkręca się lub wpawa sworznię W . Dla stworzenia odpowiedniego oparcia dla czujnika C w śrubie powinno być wytoczone zagłębienie, w które wchodzi jego kołnierz K .

Wydłużenie śruby wyznacza się jako różnicę wskazań czujnika przed dociąganiem i po dociągnięciu śruby.

Wydłużenie to zależy od długości śrub (rys. 117) i można je obliczyć za pomocą znanego wzoru wytrzymałościowego:

$$\delta = \frac{l k_r}{E}$$



Rys. 117. Zależność wydłużenia δ śrub kołnierzowych złączy wałów występującego przy dociąganiu tych śrub od długości śrub l (dla $k_r = 1200 \text{ kG/cm}^2$)

- gdzie l — długość śruby w mm, długość tę należy przyjąć doliczając połowę wysokości nakrętki;
 k_r — dopuszczalne naprężenie rozciągające, które według danych doświadczalnych przyjmuje się od 1200 do 1400, kG/cm^2 ;
 E — moduł sprężystości (Younga) równy $2,1 \cdot 10^6$, kG/cm^2 ;
 δ — wydłużenie śruby, zmierzone za pomocą czujnika, mm.

W ten sposób znając długość śrub można łatwo i niezależnie od ich średnicy obliczyć wydłużenie potrzebne przy dociąganiu. Rzeczywiste dane dotyczące dociągania, tj. wskazania czujników należy zaprotokołować.

Za pomocą opisanej tutaj metody można również kontrolować podczas dociągania napięcie śrub łączących wał z wirnikiem. W tym przypadku w celu uniknięcia przeciekania oleju poprzez gwint sworzni W (w turbinach Kaplana) lub wody (w turbinach Francisa), wskazane jest aby otwór środ-

kowy w śrubach nie był przewiercony na wylot, lecz u dołu pozostawiony był odcinek nieprzewiercony, o grubości mniej więcej równej 0,5 wysokości łba śruby. Sworzeń opiera się wówczas o dno otworu.

§ 33. CENTROWANIE WIRUJĄCEGO ZESPOŁU TURBOZESPOŁU

Po sprzęgnięciu wałów należy sprawdzić wspólną linię wałów turbozespołu. Sprawdzenie to przeprowadzamy za pomocą czterech pionów w sposób uprzednio podany lub posługujemy się w tym celu metodą obracania zespołu wirującego mierząc przy tym za pomocą czujników jego rzucanie. Ostatnia metoda jest najdokładniejsza i wymaga mniej czasu niż metoda czterech pionów.

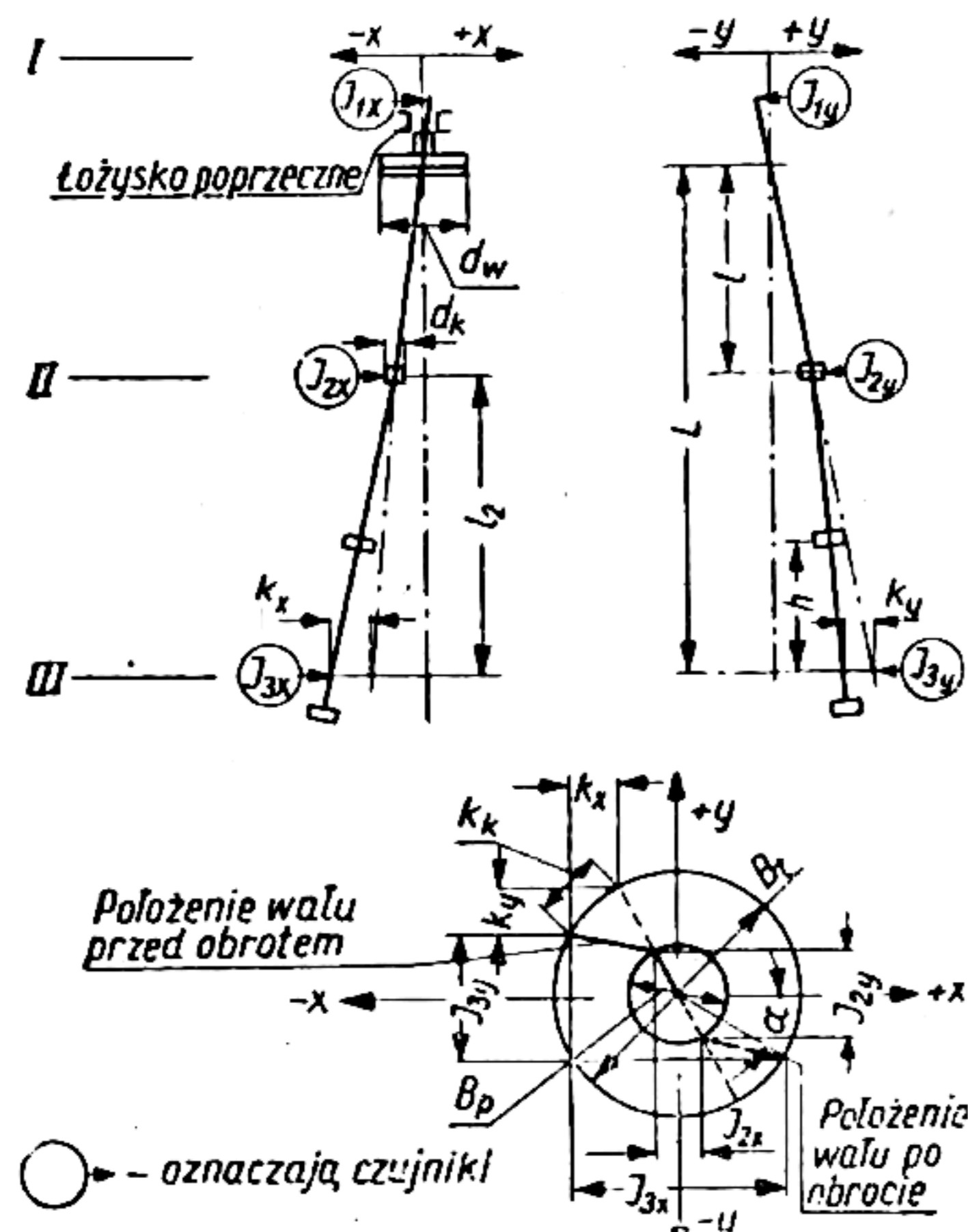
Sprawdzenie wspólnej linii wałów przez obrót o 180° wirującego układu turbozespołu. Zależnie od wymiarów gabarytowych turbozespołu oraz od technicznych możliwości elek-

tronicznej wodnej, obrót wirującego układu turbozespołu można zrealizować ręcznie lub za pomocą urządzeń mechanicznych (dźwigu lub wciągarek). Obrót ten przeprowadza się tylko przy jednym zamontowanym łożysku prądnicy, najbliższym łożyska wzdłużnego.

Sprawdzenie wspólnej linii wału turbozespołu ma na celu:

1) znalezienie wielkości załamania wspólnej linii wałów, tj. rzucanie (bicia) czopów poprzecznych w bezpośredniej bliskości łożysk turbozespołu (łożyska poprzecznego turbiny i łożyska poprzecznego prądnicy).

2) znalezienie wielkości rzucania spowodowanego ewentualnie: nieprostym ustawieniem czopa tarczowego względem osi wału prądnicy lub załamaniem linii wałów w ich złączu kołnierzowym (załamanie to wynika z niedokładności wykonania lub wywołane jest przez złe jakościowo sprzęgnięcie wałów).



Rys. 118. Schemat sprawdzania wspólnej linii wałów turbozespołu metodą obrotu o 180°

wieniem czopa tarczowego względem osi wału prądnicy lub załamaniem linii wałów w ich złączu kołnierzowym (załamanie to wynika z niedokładności wykonania lub wywołane jest przez złe jakościowo sprzęgnięcie wałów).

Omawiane sprawdzenie przeprowadza się za pomocą sześciu czujników, które umieszcza się w kierunkach osi X oraz osi Y (pod kątem 90°) na następujących wysokościach: na czopie poprzecznym wału prądnicy, bezpośrednio przy zamontowanym łożysku, przy kołnierzowym złączu wałów; na czopie poprzecznym wału turbiny (rys. 118). W celu ułatwienia ustalenia odczytów należy przycisnąć czujniki do wałów, tak aby otrzymać naciąg czujników rzędu 2 do 3 mm a następnie doprowadzić wskazówki czujników do zera i po obrocie wału o 180° (obrót ten można wykonać etapami) brać pod uwagę tylko odczyty końcowe.

Oznaczmy odczyty na czujnikach przez J z odpowiednimi wskaźnikami odpowiadającymi płaszczyznom, w których czujniki ustawiono, tak jak to pokazano na rys. 118. Po obrocie układu wirującego o 180°, odczyty na czujnikach znajdujących się przy czopie poprzecznym wału turbiny, tj. w płaszczyźnie III, po odliczeniu odczytów odpowiednich czujników znajdujących się w płaszczyźnie I, (które to czujniki stwierdzają wielkość przemieszczenia układu wirującego w czopie tarczowym), dadzą składowe rzutu wału turbiny, tj. wielkości $J_{2x} - J_{1x}$ oraz $J_{2y} - J_{1y}$. Zatem wypadkowa całkowita wielkość rzutu wału turbiny B_t wyniesie

$$B_t = \sqrt{(J_{2x} - J_{1x})^2 + (J_{2y} - J_{1y})^2} \quad [20]$$

Analogicznie otrzymujemy wielkość rzutu wału prądnicy B_p

$$B_p = \sqrt{(J_{3x} - J_{1x})^2 + (J_{3y} - J_{1y})^2}$$

Jeżeli przyjmiemy, że błędy powstałe przy wykonywaniu wałów i czopa tarczowego nałożyły się na siebie w granicach tolerancji technologicznych, tj. składowe odchylenia wynikające z załamania linii wałów posiadają ten sam kierunek, to dopuszczalna wartość wypadkowego, czyli całkowitego rzutu $B_{t dop}$ czopa poprzecznego wału turbiny będzie równa podwojonej wartości sumy odchylenia wynikających z załamania, czyli powinno być

$$B_{t dop} \leq 0,04 \left(\frac{L}{d_w} + \frac{l_1}{d_k} + \frac{2h}{d_g} \right) \quad [21]$$

gdzie: L — odległość pomiędzy czopem tarczowym i czujnikiem znajdującym się przy czopie poprzecznym wału turbiny,

l_1 — odległość pomiędzy złączem kołnierzowym wału prądnicy i czopem poprzecznym wału turbiny,

h — odległość pomiędzy złączem kołnierzowym wału pośredniego oraz wału turbiny i czopem poprzecznym wału turbiny.

Pierwszy wyraz sumy w wyrażeniu [21] przedstawia dopuszczalne rzucanie wałów wynikające z nieprostym ustawieniem czopa tarczowego, zaś wyrazy drugi oraz trzeci — rzucanie spowodowane skrzywieniem w złączach kołnierzowych. O ile nie ma wału pośredniego, to ostatni wyraz sumy nie występuje. Jeżeli rzucanie (wzór [20]) jest większe od dopuszczalnego $B_{t dop}$, to oznacza to, że złącze kołnierzowe wałów turbiny z wałem prądnicy wykazuje nadmiernie skrzywienie.

Składowe k_x oraz k_y (w kierunku osi X oraz Y) odchylenia wynikające z załamania linii wałów w złączu kołnierзовym wałów turbiny i prądnicy, dane są przez wyrażenia:

$$k_x = \frac{(J_{3x} - J_{1x}) - (J_{2x} - J_{1x}) \frac{L}{l}}{2} \quad [22]$$

$$k_y = \frac{(J_{3y} - J_{1y}) - (J_{2y} - J_{1y}) \frac{L}{l}}{2} \quad [23]$$

Wypadkowe (całkowite) odchylenie wału turbiny wynikające z załamania w tymże złączu kołnierзовym (k_k) dane jest przez wzór

$$k_k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad [24]$$

Wzory [22], [23] oraz [24] są słuszne pod warunkiem, że wał prądnicy jest współosiowy z jego czopem poprzecznym (mamy tu na myśli tuleję ochronną nasadzoną na ten czop). W przeciwnym przypadku należy uwzględnić mimośrodowość, którą wyznaczamy przez dodatkowy pomiar rzutu wału w bezpośrednim sąsiedztwie czopa.

Tablica 39
Odczyty czujników przy sprawdzaniu linii wałów zespołu wirującego turbiny i prądnicy otrzymane metodą obrotu tego zespołu o 180°

Płaszczyzna pomiarów	Odczyty czujników (w setnych częściach mm)			
	W pierwotnym położeniu zespołu wirującego		Przy obrocie zespołu wirującego o 180°	
	J_x	J_y	J_x	J_y
I	0	0	-8	+42
II	0	0	+11	+15
III	0	0	+50	-22

Przykład. Przy obrocie wirującego układu turbozespołu o 180° otrzymano na czujnikach odczyty przytoczone w tablicy 39.

Należy obliczyć wielkość rzucania czopa poprzecznego wału turbiny (w setnych częściach milimetra).

W tym celu użyjemy wzoru [20];

$$B_l = \sqrt{[50 - (-8)]^2 + [-22 - 42]^2} = 86$$

Zatem łączne odchylenie k linii wału wynikające z załamania wynosi

$$k = \frac{B_l}{2} = 43$$

Dopuszczalna wartość rzutu B_{ldop} wynikająca ze wzoru [21] wyniesie dla $L = 15$ m, $l_2 = 9$ m, $h = 4$ m, $d_w = 3$ m, $d_k = 1,6$ m

$$B_{ldop} = 0,04 \left(\frac{15}{3} + \frac{9}{1,6} + \frac{2 \cdot 4}{1,6} \right) = 0,62 \text{ mm.}$$

Zatem rzeczywista wielkość rzucania jest większa od dopuszczalnej.

W celu ujawnienia przyczyny tego nadmiernego rzucania sprawdzimy wielkość odchylenia wynikającego z załamania linii wałów (w setnych milimetra), spowodowanego skrzywieniem w złączu kołnierзовym.

W tym celu posługujemy się wzorami [22], [23] i [24]. Dla $l = 6$ m

$$k_x = \frac{[50 - (-8)] - [11 - (-8)] \frac{15}{6}}{2} = 5$$

$$k_y = \frac{[-22 - 42] - [15 - 42] \frac{15}{6}}{2} = 2$$

$$k_k = \sqrt{5^2 + 2^2} = 5,5$$

Analogicznie do wzoru [17] dopuszczalne odchylenie wału k_{kdop} , wynikające z załamania w złączach kołnierзовych, powinno spełniać warunek

$$k_{kdop} \leq 0,02 \left(\frac{9}{1,6} + \frac{2,4}{1,6} \right) = 0,21 \text{ mm}$$

Widzimy, że rzeczywiste odchylenie wału wynikające z załamania jego linii w złączu kołnierзовym (k_{kdop}) nie jest większe od dopuszczalnej wielkości k_{kdop} .

Składowa wynikająca w załamania linii wałów turbozespołu, spowodowana nieprostym ustawieniem czopa tarczowego wynosi $k_w = k + k_k = 43 + 5,5 = 48,5$. Składowa ta jest zbyt duża (patrz wzór [19] dla $l = L = 15$ m) i wymaga odpowiedniego skorygowania albo przez doskrobanie oporowej powierzchni piasty czopa tarczowego, albo przez założenie odpowiedniej podkładki.

Po obrocie zespołu wirującego o 180° dolny koniec wału odchylił się w kierunku osi X oraz Y o wielkości

$$\frac{J_{3x} - J_{1x}}{2} = \frac{50 - (-8)}{2} = 29$$

oraz

$$\frac{J_{3y} - J_{1y}}{2} = \frac{-22 - 42}{2} = -32$$

Znaki wskazują, że dolny koniec wału odchyłony jest w kierunku osi +X oraz -Y pod kątem α względem osi +X (patrz rys. 118). Kąt ten obliczamy z wyrażenia

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{-32}{29} = -1,1$$

skąd

$$\alpha = -48^\circ$$

Z tego wynika, że piastę czopa tarczowego należy doskrobać w obszarze tejże ćwiartki okręgu (+X i -Y), pod kątem 48° względem osi +X i w kierunku -Y oraz na głębokość wynoszącą (w setnych częściach mm):

$$\Delta = \frac{d_w}{L} k_w = \frac{3}{15} 48,5 = 9,7$$

lub też z odwrotnej strony należy założyć podkładkę o tej grubości.

Przy sprawdzaniu linii wałów przez obrót ich o 180° sprawdzamy również rzucanie nadstawki wału prądnicy. W tym celu przy górnym końcu nadstawki, na osiach X oraz Y, umieszczamy dodatkowe czujniki.

Rzeczywistą i dopuszczalną wielkość rzucania obliczamy w sposób analogiczny do poprzednio opisanego (patrz tabl. 48).

Po ukończeniu sprawdzania rzucania wału należy przeprowadzić pomiary kontrolne ustawienia kadłuba łożyska poprzecznego turbiny względem czopa jej wału. Gdyby się okazało, że kadłub ten jest ustawiony mimośrodowo względem wału, to mimośrodowość ta nie powinna być większa od wartości dopuszczalnej, wynikającej z odchylenia wału spowodowanego załamaniem oraz od wielkości przesunięcia zespołu wirującego turboszespołu w łożysku wzdłużnych co charakteryzuje się grubością szczeliny w łożysku poprzecznym prądnicy.

Po sprawdzeniu i wycentrowaniu zespołu wirującego turboprądnicy należy wmontować i wycentrować (według grubości szczeliny) uszczelnienie wału turbiny, drugą panew łożyska poprzecznego prądnicy (o ile łożysko takie istnieje) a następnie panew łożyska poprzecznego turbiny.

Uwzględniając ewentualne niedokładności montażowe oraz niedokładności wykonania panwi i kadłubów łożysk (mimośrodowość wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni panwi, nieprostokątne wytoczenie kadłuba łożyska poprzecznego turbiny względem jego kołnierza, niedokładność montażu i in.), należy:

1) przy montowaniu panwi łożyska poprzecznego prądnicy sprawdzić czy wał nie przesunął się w kierunku poziomym; sprawdzenie to przeprowadzamy za pomocą dwóch czujników, które umieszczamy przy wale turbiny pod 90° jeden względem drugiego;

2) panwie łożyska poprzecznego turbiny wycentrować w ten sposób, aby wał turboszespołu przy wywieraniu na niego nacisku (ręcznie lub za pomocą dźwignika) mógł ze swego neutralnego położenia przemieszczać się swobodnie w płaszczyźnie poziomej na odległość wynoszącą co najmniej 0,2 łącznej, tj. obustronnej grubości szczeliny w łożysku poprzecznym turbiny i co najmniej na 0,8 tejże łącznej grubości, o ile wywierane są naciski w obie strony; przemieszczenie to mierzymy za pomocą czujników, umieszczonych na kadłubie łożyska.

Grubość szczeliny uszczelnienia labiryntowego powinna być jednakowa na całym obwodzie. Ewentualne odchyłki nie powinny być większe od 0,2 średniej grubości szczeliny jednostronnej (tj. połowy łącznej, obustronnej, grubości szczeliny). Podczas montowania uszczelnień i panwi ustala się położenie wirnika za pomocą klinów, które zakładamy do szczeliny labiryntowej lub do szczeliny utworzonej przez łopatki i komorę wirnika. Przy sprawdzaniu za pomocą czujników kliny te usuwamy.

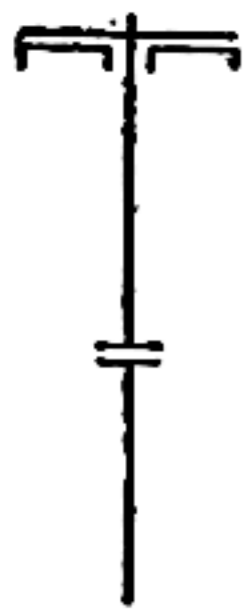


Dane rzeczywiste charakteryzujące stan linii wałów turboszespołu zapisuje się w protokole. Formularz protokołu pokazano na rys. 119.

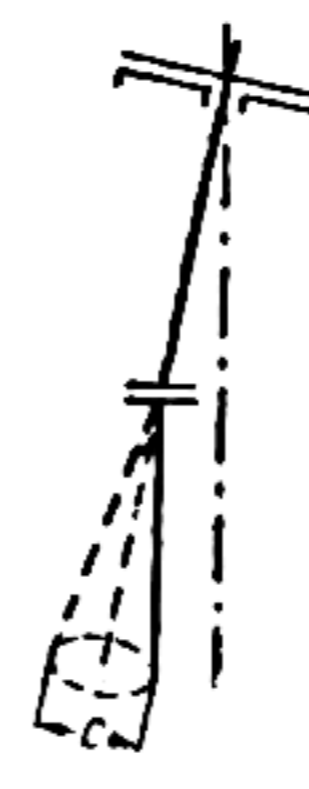

W tablicy 40 zestawiono główne przyczyny powodujące powstanie nieprawidłowości kształtu wspólnej linii wałów turboszespołu oraz objawy ze-

Elektrownia wodna:		Protokół kontroli wspólnej linii wałów turboszespołu metoda obrotu o 180°				Nr protokołu																	
Pomiary przeprowadzono dnia:							Zmierzyl:																
	<table border="1"> <tr> <th colspan="6">Odczyty czujników po obrocie zespołu wirującego o 180°</th> </tr> <tr> <td>J_{1a}</td> <td>J_{2a}</td> <td>J_{3a}</td> <td>J_{4a}</td> <td>J_{5a}</td> <td>J_{6a}</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Uwaga: Wskaźniki czujników przed obrotem układu wirującego powinny być ustawione na zerze skali</p> <p>Bicie (rzut) czopa poprzecznego turbiny $B_1 = \sqrt{(J_{2a} - J_{1a})^2 + (J_{4a} - J_{3a})^2} =$</p> <p>Bicie (rzut) kołnierza wału prądnicy $B_2 = \sqrt{(J_{5a} - J_{4a})^2 + (J_{6a} - J_{5a})^2} =$</p>							Odczyty czujników po obrocie zespołu wirującego o 180°						J _{1a}	J _{2a}	J _{3a}	J _{4a}	J _{5a}	J _{6a}				
Odczyty czujników po obrocie zespołu wirującego o 180°																							
J _{1a}	J _{2a}	J _{3a}	J _{4a}	J _{5a}	J _{6a}																		

Rys. 119. Formularz protokołu kontroli wspólnej linii wałów turboszespołu metodą obrotu ich o 180°

Możliwe przyczyny nieprawidłowego kształtu wspólnej linii wałów turbozespołów pionowych

Kształt i położenie wspólnej linii wałów	Położenie wspólnej linii wałów turbozespołu przed ich sprzęgnięciem	W tym przypadku
1	2	3
	Linia wałów jest prawidłowa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Przy obrocie zespołu wirującego prądnicy o 180° odległość między czołowymi powierzchniami kołnierzy wałów jest jednakowa i nie zmienia się 2. Nie występuje przesunięcie promieniowe kołnierza wału prądnicy względem wału turbiny 3. Przy obracaniu wirującego układu turbozespołu, dolny koniec wału turbiny nie rzuca
	<p>Wał turbiny ustawiony jest pionowo, płaszczyzna czołowa jego kołnierza jest prostopadła do osi tego wału</p> <p>Wał turbiny ustawiony jest pionowo i płaszczyzna czołowa jego kołnierza jest prostopadła do osi wału prądnicy</p> <p>Czop tarczowy nie jest prostopadły do osi wału prądnicy</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Przy obrocie układu wirującego prądnicy o 180°, odległość między czołowymi powierzchniami kołnierzy wałów praktycznie nie ulega zmianie (ledwo dostrzegalne rzucanie) 2. Występuje przesunięcie promieniowe kołnierza wału prądnicy (rzucanie promieniowe) względem kołnierza wału turbiny 3. Przy obracaniu po sprzęgnięciu, wałów wirującego układu turbozespołu, dolny koniec wału turbiny rzuca wskutek załamania linii wałów. Wielkość tego rzucania wynosi a
	<p>Wał turbiny ustawiony jest pionowo, płaszczyzna czołowa jego kołnierza jest prostopadła do osi tego wału.</p> <p>Wał prądnicy jest przechylny, płaszczyzna czołowa jego kołnierza jest prostopadła do osi wału prądnicy</p> <p>Czop tarczowy jest prostopadły do osi wału prądnicy</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Przy obrocie układu wirującego prądnicy o 180° niejednakowa odległość między czołowymi powierzchniami kołnierzy nie ulega zmianie. 2. Nie występuje przesunięcie promieniowe (rzucanie promieniowe) kołnierza wału prądnicy względem kołnierza wału turbiny. 3. Przy obracaniu, po sprzęgnięciu wałów wirującego układu turbozespołu, rzucanie nie występuje, ale wał turbiny przyjmuje pozycję pochyloną (odchylenie b)

1	2	3
	<p>Wał turbiny ustawiony jest pionowo, płaszczyzna czołowa jego kołnierza jest prostopadła do osi wału.</p> <p>Wał prądnicy jest ustawiony w ten sposób, że płaszczyzna czołowa jego kołnierza jest równoległa do płaszczyzny czołowej kołnierza wału turbiny, nie jest zaś prostopadła do osi wału prądnicy.</p> <p>Czop tarczowy jest prostopadły do osi wału prądnicy</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Przy obrocie zespołu wirującego prądnicy o 180° odległość między czołowymi powierzchniami kołnierzy wałów zmienia się znacznie: występuje rzucanie „kołnierzowe”. 2. Praktycznie nie występuje przesunięcie promieniowe kołnierza wału prądnicy względem kołnierza wału turbiny (rzucanie to jest ledwo dostrzegalne) 3. Przy obracaniu po sprzęgnięciu, wałów wirującego układu turbozespołu, wał prądnicy nie wykazuje rzucania, natomiast wał turbiny wskutek załamania wspólnej linii wałów turbozespołu rzuca. Wielkość tego rzucania wynosi c
	<p>Wał turbiny ustawiony jest pionowo, lecz płaszczyzna czołowa jego kołnierza nie jest prostopadła do osi wału</p> <p>Wał prądnicy ustawiony jest w ten sposób, że płaszczyzna czołowa jego kołnierza jest równoległa do płaszczyzny czołowej kołnierza wału turbiny</p> <p>Czop tarczowy jest prostopadły do osi wału prądnicy</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Przy obrocie układu wirującego prądnicy o 180° odległość między czołowymi powierzchniami kołnierzy wałów jest jednakowa i nie zmienia się 2. Nie występuje przesunięcie promieniowe kołnierza wału prądnicy względem kołnierza wału turbiny 3. Przy obracaniu, po sprzęgnięciu wałów wirującego układu turbozespołu, wał prądnicy nie wykazuje rzucania, natomiast wskutek załamania wspólnej linii wałów turbozespołu rzuca się wał turbiny. Wielkość tego rzucania wynosi c

wewnętrzne towarzyszące tym nieprawidłowościom. Tablica 48 podaje dane dotyczące dopuszczalnych odchyłek montażowych we wszystkich fazach centrowania układów wirujących.

§ 34. SPRZĘGANIE WAŁÓW W POŁOŻENIU POZIOMYM

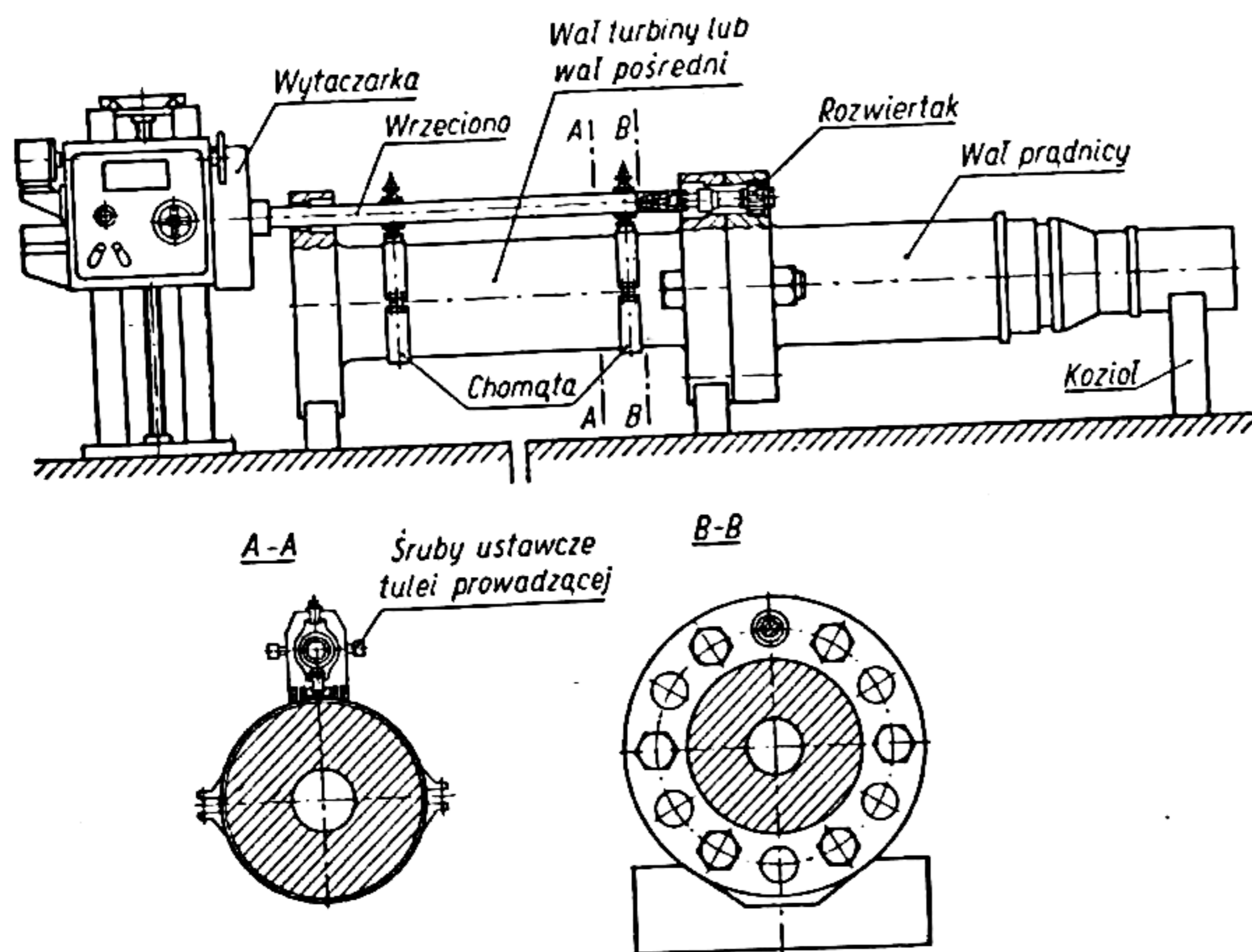
Wał turbiny oraz wał prądnicy wykonywane są zazwyczaj przez różne wytwórnie, natomiast operacja sprzęgania tych wałów, polegająca na wspólnym wytaczaniu i rozwiercaniu otworów w złączu kołnierzowym, przeprowadzana jest w jednej z wytwórni, przeważnie w wytwórni turbin. W wytwórni tej szlifuje się również śruby złącza kołnierzowego oraz montuje wały i sprawdza prawidłowość ich wspólnej linii.

Wzmiankowaną operację w pewnych bardzo rzadkich przymusowych przypadkach przeprowadza się jednak podczas montażu. Wówczas wygodnie

jest sprzęgać wały na placu montażowym w położeniu poziomym, co skraca cykl robót i polepsza jakość montażu w porównaniu z wykonywaniem tej operacji podczas montażu po scentrowaniu wału prądnicy z wałem turbiny.

Przy sprzęganiu wałów na placu montażowym otwory złączy kołnierzo-
wych mogą być rozwiercane za pomocą specjalnej maszyny o napędzie
pneumatycznym (patrz rys. 193) zaopatrzonej w przekładnię redukcyjną
(przekładnik).

Maszynkę tę za pośrednictwem jej łap przymocowuje się do otworów
w kołnierzu lub za pomocą chomąt — do wału. O ile taką maszynką nie
rozporządzamy, to otwory można rozwiercać za pomocą zwykłej uniwersal-
nej wytaczarki, zaopatrzonej we wrzeciono wiertnicze (rys. 120).

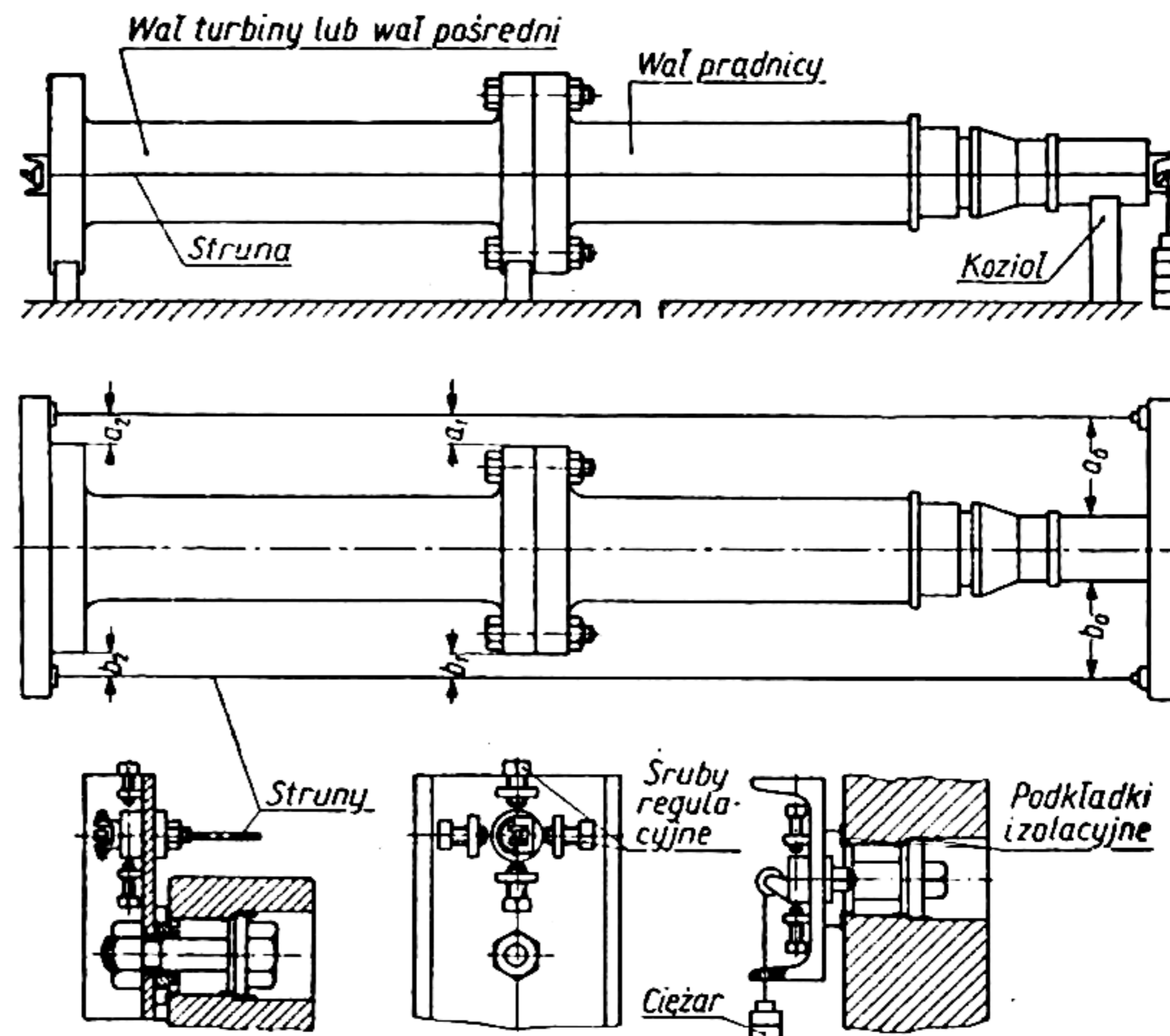


Rys. 120. Rozwiercanie otworów przy sprzęganiu wałów

Przed przystąpieniem do rozwiercania otworów łączymy wały za pomocą
prowizorycznych śrub i posiłkując się dwiema strunami, naciągniętymi
równoległe do osi wałów, ustalamy, czy linia wałów jest prawidłowa. Aby
zmniejszyć wielkość ewentualnego załamania tej linii, wały należy łączyć
z sobą w ten sposób, żeby rzuty powierzchni czołowych sprzęganych z sobą
kołnierzy wyrównywały się wzajemnie. W tym celu miejsca, w których
rzucanie jest największe trzeba ustawić przeciwległe. Kierunek rzucania
można wyznaczyć według fabrycznych protokołów kontroli wałów przepro-
wadzonej na tokarce lub za pomocą strun.

Rozwiercanie otworów oraz wymianę śrub prowizorycznych na śruby sta-
łe przeprowadza się w sposób kolejny : po 2 do 4 otworów i śrub jedno-
cześnie. Po założeniu stałych śrub pasowanych sprawdza się raz jeszcze li-
nię wałów.

**Sprawdzanie wspólnej linii wałów w położeniu poziomym (za pomocą
strun).** Do powierzchni czołowych wałów przymocowuje się poprzeczki,
które pod względem elektrycznym odizolowane są od wałów (rys. 121).



Rys. 121. Sprawdzanie linii wałów turbozespołu pionowego w położeniu
poziomym

Do jednej z tych poprzeczek przymocowuje się końce dwóch strun; końce
te mogą być przesuwane za pomocą śrub regulacyjnych. Przeciwne końce
strun przerzucone są wolno poprzez krążki umieszczone na drugiej poprze-
czce. Krążki te również zaopatrzone są w śruby regulacyjne, które po-
zwalają na przesuwanie strun. W celu naprężania strun przyłączone są do
nich dwa ciężary, których wielkość oblicza się w sposób uprzednio podany.
Pomiary przeprowadza się za pomocą średnicówki przymocowanej do spe-
cjalnych widełek. Aby otrzymać dużą dokładność, włącza się wał oraz stru-
ny w obwód elektryczny według schematu analogicznego do schematu stoso-
wanego przy centrowaniu wałów w położeniu pionowym. W celu uprosz-
czenia obliczeń struny ustawia się w ten sposób, żeby na wale prądnicy

roźnice wymiarów ($a_0 - a_1$) oraz ($b_0 - b_1$) były jednakowe. Odchylenia nie powinny być większe od 0,02 mm, tj.

$$(a_0 - a_1) - (b_0 - b_1) \leq 0,02 \text{ mm}$$

Odchylenie osi wału turbiny od osi wału prądnicy w danej płaszczyźnie poziomej X (tj. załamanie linii wałów) k_x wyznacza się mierząc odległość a_2 oraz b_2 :

$$k_x = \frac{(a_{1x} - a_{2x}) - (b_{1x} - b_{2x})}{2}$$

Odchylenie w płaszczyźnie Y, czyli k_y , znajdujemy obracając wał o 90° i mierząc odpowiednie odległości:

$$k_y = \frac{(a_{1y} - a_{2y}) - (b_{1y} - b_{2y})}{2}$$

Wypadkowe odchylenie wynikające z załamania linii wałów wyniesie

$$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$$

Dopuszczalne odchylenie osi wału spowodowane załamaniem jego linii wyznaczamy analogicznie jak przy centrowaniu w położeniu pionowym. Ewentualne skrzywienie osi jednego z wałów możemy wykryć za pomocą dodatkowych pośrednich pomiarów.

Rozdział VIII

MONTAŻ ZESPOŁU REGULACYJNEGO

§ 35. CHARAKTERYSTYKA URZĄDZENIA REGULACYJNEGO

Automatyczny regulator prędkości obrotowej służy do utrzymywania stałej ilości obrotów turbiny (na minutę) w granicach założonej nierównomierności przy zmieniającym się obciążeniu prądnicy. Utrzymanie niezmienną prędkości obrotowej możliwe jest pod warunkiem, że moc turbiny równa się obciążeniu prądnicy. Stąd wynika, że przy zmianie obciążenia prądnicy powinna odpowiednio zmieniać się również moc turbiny. Zmianę tej mocy osiąga się przez zmianę przepływu turbiny (tj. natężenia przepływu wody) za pomocą kierownicy sterowanej przez regulator automatyczny. Zmiana prędkości obrotowej turbozespołu przekazywana jest na drodze elektrycznej lub mechanicznej do regulatora odśrodkowego. Odpowiednio do zmiany prędkości obrotowej turbozespołu regulator ten nadaje impuls powodujący zmianę wielkości otwarcia kierownicy. Regulator odśrodkowy poprzez szereg mechanizmów oddziałuje na suwak rozdzielczy urządzenia regulacyjnego, który steruje dopływem oleju zawartego pod ciśnieniem w zespole olejowym ciśnieniowym (a więc i dopływem energii) do siłownika kierownicy. Siłownik stanowi więc organ wykonawczy regulatora prędkości. Impuls przekazywany suwakowi przez regulator odśrodkowy jest wzmacniany za pomocą siłowników pomocniczych.

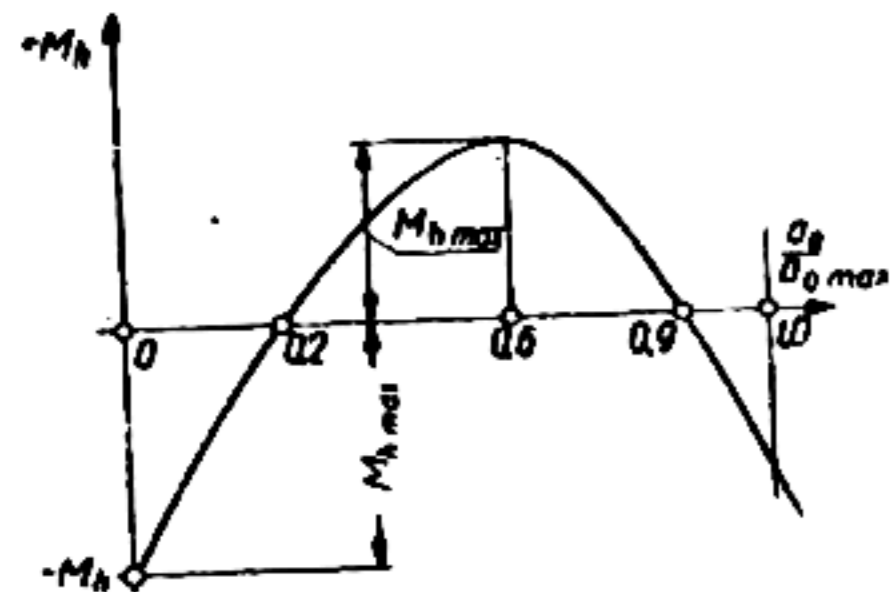
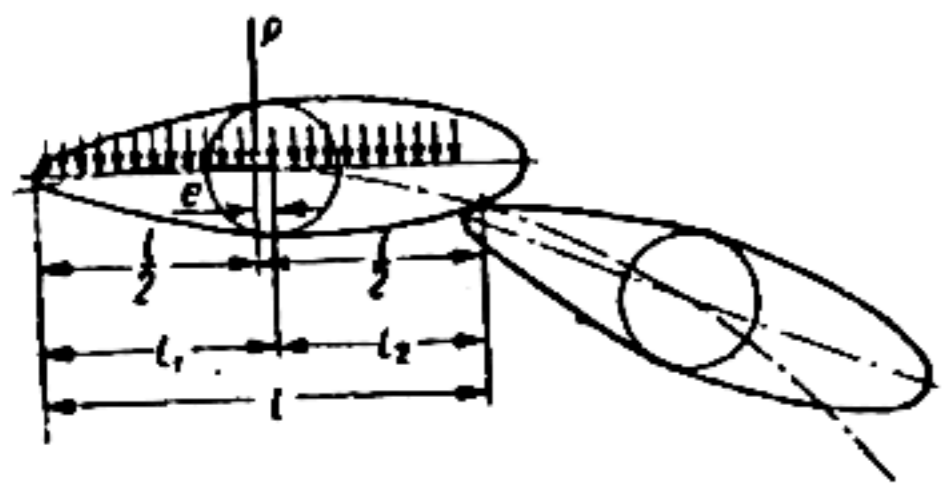
Pod względem konstrukcyjnym regulatory¹⁾ są rozmaicie ukształtowane. Rozpatrzmy tutaj typowe regulatory serii YK, konstrukcji Leningradzkich Metalowych Zakładów im. Stalina. Regulatory te znalazły szerokie zastosowanie w średnich i wielkich turbinach.

Do omawianej serii należą regulatory YK-100, YK-150 oraz YK-250. Symbol YK oznacza regulator uniwersalny z ciśnieniowym zbiornikiem oleju, a liczby — średnice głównego suwaka rozdzielczego oraz rur tłocznych wyrażone w mm.

Wymiar głównego suwaka regulatora dobiera się na podstawie objętości skokowej siłowników kierownicy oraz czasu ich zamykania.

¹⁾ Pod nazwą regulator lub urządzenie regulacyjne autor rozumie mechanizmy regulacyjne bez siłowników i rurociągów, natomiast układ regulacyjny obejmuje całość urządzeń regulacyjnych (przyp. tłum.).

Zdolnością regulacyjną siłownika nazywamy pracę wykonywaną przez tłok podczas jego przesuwania się z jednego skrajnego położenia — w przeciwne skrajne położenie.



Rys. 122. Krzywa wyrażająca zależność pomiędzy momentem hydraulicznym M_h działającym na łopatkę kierownicy i otwarciem łopatek kierownicy $a_0/a_{0\max}$

Siła pokonywana przez siłowniki kierownicy wynika zasadniczo z momentu hydraulicznego oraz momentu tarcia działających na łopatki kierownicze. Moment hydrauliczny M_h zależy od profilu łopatki oraz od przyjętej w konstrukcji mimośrodowości e (rys. 122). Dla różnych wartości otwarcia kierownicy (rozwarcia łopatek) a_0 , moment hydrauliczny łopatek zmienia się w szerokich granicach¹⁾. Na rys. 122 pokazano w charakterze przykładu krzywą wyrażającą tę zależność. Moment usiłujący otworzyć łopatki przyjęto jako dodatni, zaś moment usiłujący łopatki zamknąć — jako ujemny. Jak widać największy moment ujemny — $M_{h\max}$ występuje przy $\frac{a_0}{a_{0\max}} = 0$ (czyli przy $a_0 = 0$)

i usiłuje otworzyć łopatki, zaś największy moment dodatni $+M_{h\max}$ występuje przy $\frac{a_0}{a_{0\max}} = 0,6$ i usiłuje

łopatki zamknąć, przy czym $|-M_{h\max}| > +M_{h\max}$. Przy pewnych rozwarciach wynoszących mianowicie $\frac{a_0}{a_{0\max}} = 0,6$ oraz $\frac{a_0}{a_{0\max}} = 0,9$ moment hydrauliczny M_h równa się zero.

1. Zasadnicze dane techniczne skrzynki sterowniczej typu YK

W regulatorach typu YK-100 oraz YK-150 zespół głównego suwaka rozdzielczego (suwak oraz zawory hydrauliczne) umieszczony jest wewnątrz skrzynki sterowniczej (rys. 123), zaś w regulatorach typu YK-250 znajduje się poza skrzynką, zazwyczaj poniżej niej, na dolnym piętrze. W drugim przypadku zespół tego suwaka związany jest za pomocą przekładni dźwigniowej z siłownikiem pomocniczym, znajdującym się w skrzynce. Wszystkie pozostałe mechanizmy znajdujące się w skrzynkach sterowniczych typu YK są jednakowe, niezależnie od wielkości regulatora. Omówimy poniżej charakteryzujące je dane techniczne.

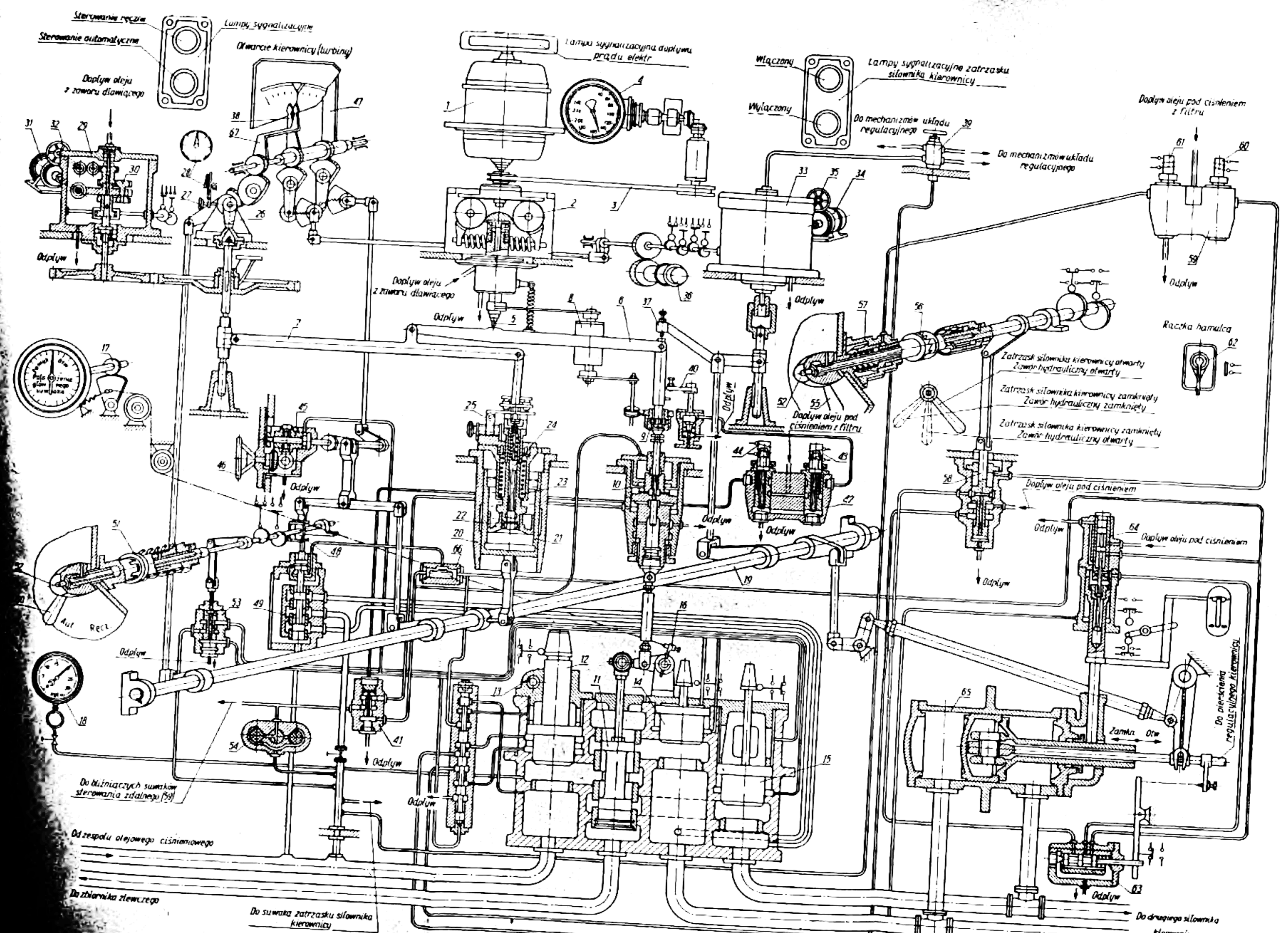
Regulator odśrodkowy. Normalna prędkość obrotowa regulatora odśrodkowego 2 (rys. 124) wynosi 500 obr/min, zaś całkowity skok jego drążka

¹⁾ Rozwarcie łopatek wyrażono na rysunku 122 w ułamku rozwarcia maksymalnego $a_{0\max}$ (przyp. tłum.).

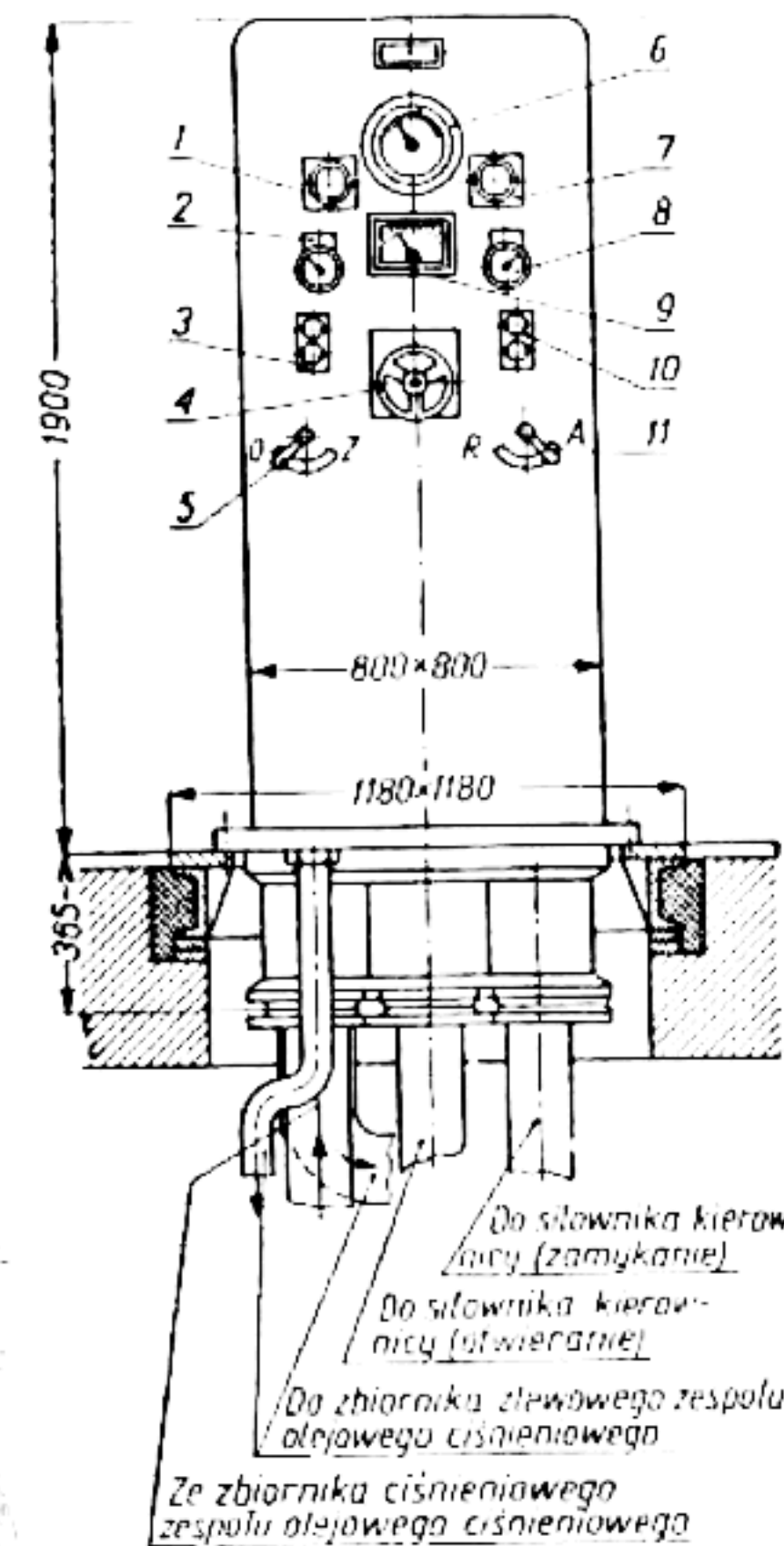
...y wynika z sumacji z momentu hydraulicznego oraz momentu tarcia działających na łopatkę kierownicze. Moment hydrauliczny M_h zależy od profilu łopatek i od przyjętej w konstrukcji mimośrodowości e (rys. 122). Dla różnych wartości tarcia kierownicy (rozwarcia łopatek) moment hydrauliczny łopatek zmienia się w szerokich granicach¹⁾. Na rys. 122 zaznaczyć tę zależność. Moment usiłujący otworzyć łopatkę przyjęto jako dodatni, zaś moment usiłujący zamknąć — jako ujemny. Jak widać największy moment ujemny — $M_{h\max}$ występuje przy $a_0 = 0$ (czyli przy $a_0 = 0$) i sytuuje otworzyć łopatkę, zaś największy moment dodatni — $M_{h\max}$ — przy $a_0 = 0,6$ i usiłuje zamknąć łopatkę. Przy pewnych wartościach $a_0 = 0,6$ oraz $a_0 = 0,9$ moment...

skrzynki sterowniczej typu YK

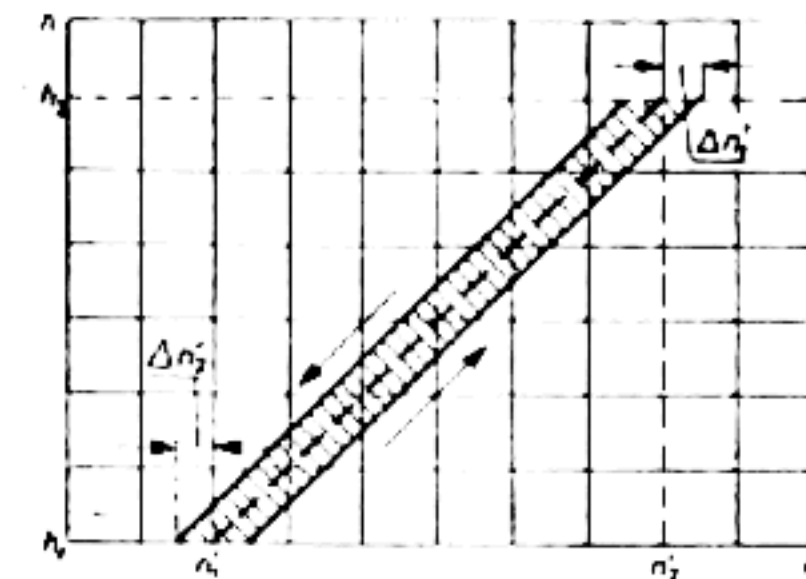
YK-150 zespół głównego suwaka rozdzielczego umieszczony jest wewnątrz w regulatorach typu YK-250 znajdującej się na dolnym piętrze. W drugiej części skrzynki znajduje się drugi zespół suwaka rozdzielczego. Wszystkie części skrzynki sterowniczej są wykonane z żelaza. Omówimy teraz budowę i działanie regulatora. Omówimy też budowę i działanie regulatora odśrodkowego, zaś całkowity skok jego drgań. Wskazujemy na rys. 122 w ulamku rozwarcia maksymalnego...



Rys. 124. Schemat układu regulacyjnego typu YK: 1 — silnik napędzający regulator odśrodkowy; 2 — regulator odśrodkowy; 3 — przekładnia do napędu obrotomierza; 4 — obrotomierz; 5 — drążek regulatora odśrodkowego; 6 — dźwignia suwaka; 7 — dźwignia wyłącznika (odwodząca); 8 — wibrator igły serwowatora głównego suwaka; 9 — przegub; 10 — serwowator pomocniczy; 11 — główny suwak rozdzielczy; 12 — grzybek zaworu tłocznego hydraulicznego; 13 — suwak ryglujący; 14 — grzybek zaworu hydraulicznego (do otwierania kierownicy); 15 — grzybek zaworu hydraulicznego (do zamykania kierownicy); 16 — przekładnia do wskaźnika położenia głównego suwaka; 17 — wskaźnik położenia hydraulicznego (do otwierania kierownicy); 18 — manometr; 19 — wał wyłącznika (odwodzący); 20 — cylinder mechanizmu izodromowego (kastarkty); 21 — tuleja mechanizmu izodromowego suwaka; 22 — wskaźnik położenia głównego suwaka; 23 — sprężyna mechanizmu izodromowego; 24 — iglica mechanizmu izodromowego; 25 — mechanizm zmiany stopnia statyczności układu regulacyjnego; 26 — mechanizm zmiany współczynnika (stopnia) statyczności układu regulacyjnego; 27 — kółko ręczne do zmiany stopnia statyczności układu regulacyjnego; 28 — wskaźnik stopnia statyczności układu regulacyjnego; 29 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 30 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 31 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 32 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 33 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 34 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 35 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 36 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 37 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 38 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 39 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 40 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 41 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 42 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 43 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 44 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 45 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 46 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 47 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 48 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 49 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 50 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 51 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 52 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 53 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 54 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 55 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 56 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 57 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 58 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 59 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 60 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 61 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 62 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 63 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 64 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie; 65 — kółko do ręcznego przestawiania mechanizmu ograniczającego otwarcie.



Rys. 123. Skrzynka sterownicza regulatora typu YK: 1 — manometr; 2 — mechanizm ograniczający otwarcie kierownicy; 3 — lampa sygnalizacyjna wskazująca położenie rozrusznika; 4 — kółko sterowe regulacji ręcznej; 5 — rączka rozrusznika; 6 — obrotomierz; 7 — wskaźnik położenia głównego sawaka; 8 — mechanizm zmiany prędkości obrotowej; 9 — główny wskaźnik otwarcia kierownicy; 10 — lampa sygnalizacyjna wskazująca położenie mechanizmu „sterowanie ręczne — automatyczne”; 11 — rączka mechanizmu „sterowanie ręczne — automatyczne”.



Rys. 125. Charakterystyka regulatora odśrodkowego i obszar jego nieczułości (zakreskowy)

n' — prędkość obrotowa regulatora obr./min.
 h — skok drążka (kołnierza) regulatora mm.

5-9 mm licząc od średniego położenia odpowiadającego 500 obr./min. Maksymalna zmiana prędkości obrotowej wynosi ± 125 obr./min. Charakterystykę regulatora odśrodkowego, tj. zależność pomiędzy jego prędkością obrotową n' i wychyleniem (skokiem) h drążka pokazano na rys. 125. Pasek zakreskowy przedstawia obszar nieczułości regulatora.

Charakterystyki zdejmuje się dla zakresu wychylenia (skoku) drążka ± 4 do 5 mm licząc od jego średniego położenia. Wielkość wychylenia drążka można zmienić przez zmianę napięcia sprężyn promieniowych regulatora odśrodkowego. Charakterystyki zdejmuje się przy kolejnym powiększaniu, a następnie zmniejszeniu prędkości obrotowej badanego regulatora.

Stopień nieczułości ε regulatora odśrodkowego obliczamy ze wzoru

$$\varepsilon = 100 \frac{\Delta n'_1 + \Delta n'_2}{n'_0},$$

przy czym wyrażony on jest tutaj w procentach.

Zazwyczaj $\varepsilon < 0,1\%$. Przy doświadczeniach otrzymuje się pewien rozrzut

punktów spowodowane niedokładnością pomiarów. Punkty, które znacznie odlegają od średniej lub usytuowane są blisko odcinka.

Stopień nierównomierności regulacji odśrodkowego jest to stosunek różnicy największej i najmniejszej prędkości obrotowej tego regulatora do jego średniej prędkości obrotowej.

Pełną wartość tego stopnia nierównomierności Δ obliczamy ze wzoru

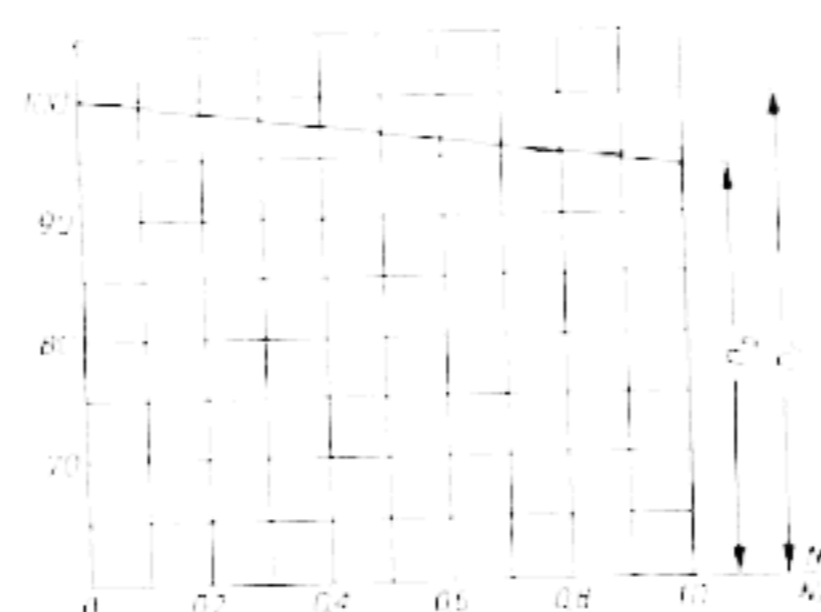
$$\Delta = 100 \frac{n'_{max} - n'_{min}}{n_{sr}}$$

gdzie: n'_{max} — prędkość obrotowa regulatora odśrodkowego (łose obrotów na minutę) przy najwyższym położeniu jego drążka,
 n'_{min} — prędkość obrotowa regulatora odśrodkowego przy najniższym położeniu drążka,
 n_{sr} — prędkość obrotowa regulatora odśrodkowego przy średnim położeniu drążka.

Mechanizm zmiany stopnia statyczności układu regulacyjnego (regulacji)
 Mechanizm ten 26 (rys. 121) daje możliwość zmieniania stopnia statyczności układu regulacyjnego Δ_s w granicach od 0 do $\pm 6\%$. Zmiane tę uzyskuje się przez pokręcanie ręcznego kółka 27. Stopień statyczności regulacji dany jest przez wzór

$$\Delta_s = 100 \frac{n_T - n_p}{n_{sr}}$$

gdzie: n_T — prędkość obrotowa turboszpół przy biegu jałowym,
 n_p — prędkość obrotowa turboszpół przy pełnym obciążeniu,
 n_{sr} — średnia prędkość obrotowa turboszpół.



Rys. 120 Charakterystyka układu regulacyjnego

Na osi poziomej podano obciążenie turboszpół N w stosunku do obciążenia pełnego N_{pl} . N_{pl} — osi nominalnej prędkości obrotowej n_{sr} przy pełnym obciążeniu.

Mechanizm izodromowy (izodrom, katarakta)
 Mechanizm izodromowy 29 (rys. 124) zabezpiecza statecznie proces regulowania przy małej wartości stopnia statyczności regulacji. Konstrukcja mechanizmu izodromowego przewiduje regulację tzw. czasu izodromu.

Na rys. 126 pokazano charakterystykę układu regulacyjnego, która wyraża pojęcie stopnia statyczności regulacji. Charakterystykę tę zdejmuje się podczas badania turboszpół.

Mechanizm zmiany prędkości obrotowej
 Mechanizm ten 32 (rys. 124) daje możliwość zmieniania prędkości obrotowej turboszpół (przy synchronizowaniu lub w przypadku zmiany rodzaju obciążenia przy pracy równoległej) zawieszony w granicach $\pm 5\%$ prędkości nominalnej.

Czas izodromu scharakteryzowany jest przez czas potrzebny do powrotu tłoczka mechanizmu izodromowego do jego średniego położenia. Dla ułatwienia porównania można mierzyć czas, w ciągu którego tłoczek tego mechanizmu przebiega ostatni (jedyn) milimetr przed dojściem do swojego średniego położenia.

Na rys. 127 pokazano charakterystykę mechanizmu izodromowego obrotu podczas jego badania. Jak widać czas izodromu może być regulowany w szerokich granicach. Z charakterystyki tej wynika, że tłoczek mechanizmu izodromowego przesunął w górę albo w dół o 1 mm, powrócił do swego średniego położenia w czasie najkrótszym 18 sek. przy jednym skrajnym położeniu nastawnika mechanizmu i w czasie najdłuższym 240 sek. przy drugim skrajnym położeniu tego nastawnika.

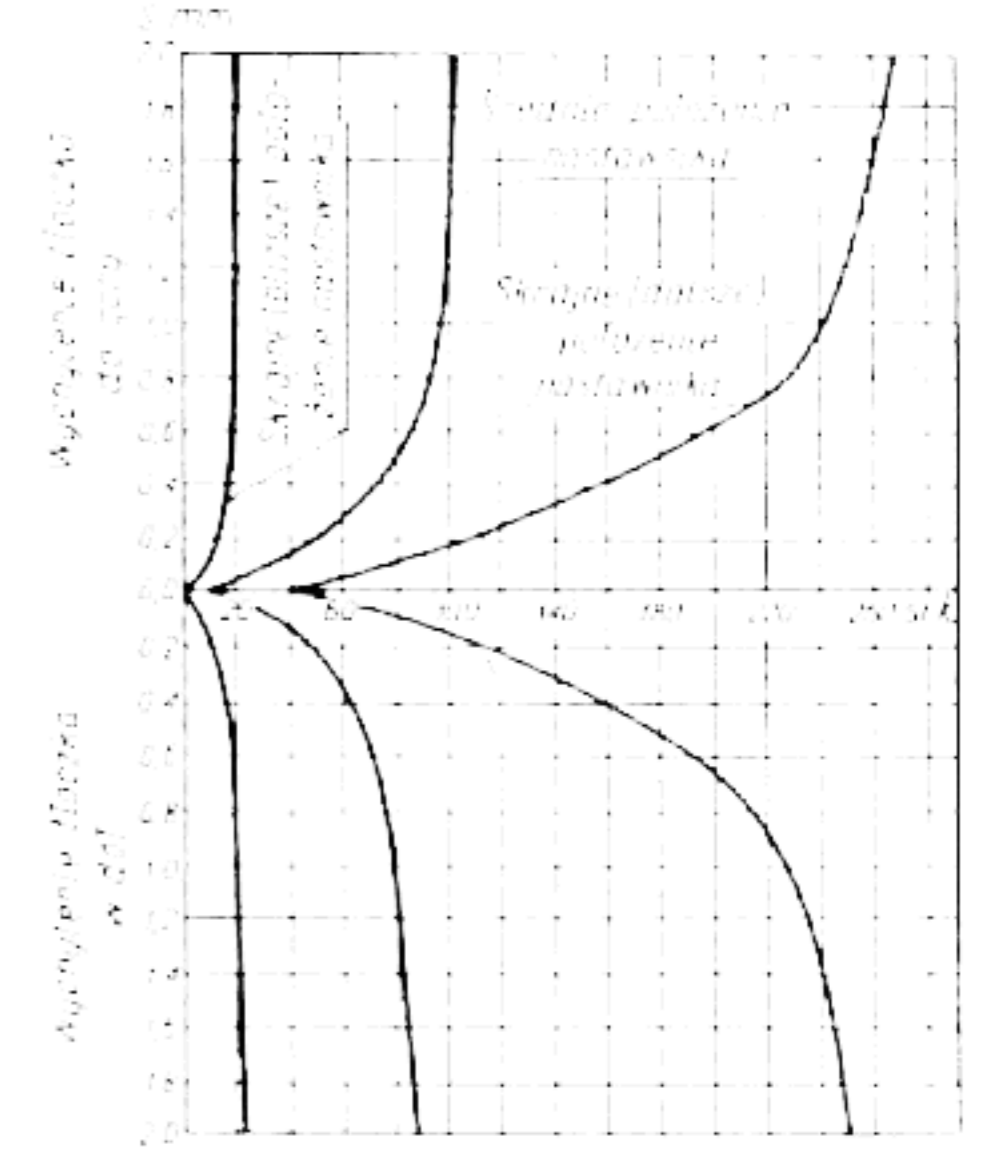
Czas izodromu reguluje się przez przesuwanie nastawnika 23 (rys. 124), zaś przekroczenie iglicy mechanizmu izodromowego (katarakta) — za pomocą dwóch śrub opierających się o nastawnik. Tłoczek mechanizmu izodromowego nie powraca dokładnie do swego średniego położenia i jest od niego oddalony o wielkość umarłego wychylenia wynoszącą 0,02 do 0,04 mm.

Serwomotor (siłownik) pomocniczy
 Siłownik pomocniczy 10 jest tak skonstruowany, że można w szerokich granicach regulować czas T_1 otwierania kierownicy oraz czas T_2 jej zamykania, a to przez ograniczenie skoku jego tłoka. Czasy T_1 oraz T_2 ustala się na podstawie gwarantacji dotyczących regulacji (patrz dalej).

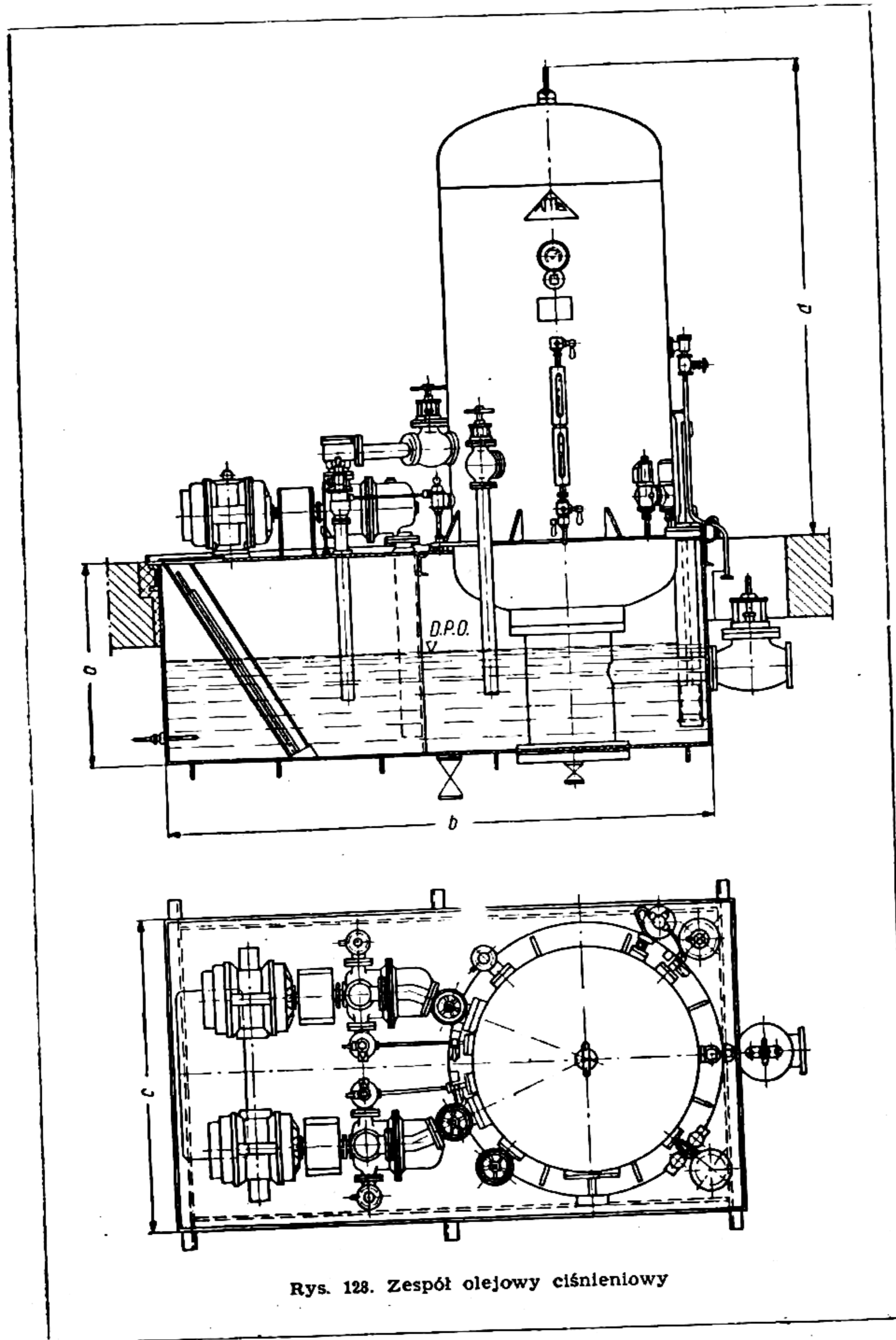
Na rys. 123 podano wymiary nabytłowe skrzyżki sterowniczej.

2. Główne dane olejowych zespołów ciśnieniowych

Seria typowych olejowych zespołów ciśnieniowych zawiera następujące ich wielkości: MHY-1,7; MHY-3; MHY-7; MHY-14; MHY-20 oraz MHY-27. Liczby oznaczają objętość zbiornika ciśnieniowego w metrach sześciennych. Głównymi częściami zespołu olejowego ciśnieniowego (rys. 128) są: zbiornik



Rys. 127 Charakterystyka mechanizmu izodromowego (katarakta) izodromu 29. T_1 — czas powrotu tłoczka mechanizmu izodromowego do jego położenia średniego, T_2 — wychylenie tłoczka od 1820 położenia średniego w górę (obciążenie) lub w dół (rozciążenie) 1 mm.



Rys. 128. Zespół olejowy ciśnieniowy

nik zlewczy, zbiornik ciśnieniowy wraz z osprzętem oraz dwie pompy olejowe śrubowe. Jedna z tych pomp jest pompą główną (roboczą), druga — zapasową. Każdej wielkości zespołu olejowego ciśnieniowego odpowiadają określony typ i wielkość pompy. Na przykład zespół MHY-4 wyposażony jest w dwie pompy typu MBH-10 (są to pompy olejowe śrubowe o wydajności 10 l/sek każda). Dane techniczne pomp zamieszczone są w tabl. 41.

Tablica 41
Główne dane techniczne zespołów olejowych ciśnieniowych typu MHY

Dane	Wielkość					
	MHY-1,7	MHY-4	MHY-7	MHY-14	MHY-20	MHY-27
Objętość zbiornika ciśnieniowego w m ³	1,7	4,0	7,0	14,0	20,0	27,0
„ „ zlewczego w m ³	4,0	7,2	10,5	20,0	28,0	31,7
Ciśnienie robocze w zbiorniku ciśnieniowym, kG/cm ²	20	20	20	20	20	20
Wymiary gabarytowe zbiornika zlewczego:						
a	1,02	1,22	1,43	1,77	2,25	2,25
b	2,96	3,61	3,88	4,68	5,32	5,32
c	1,64	1,90	2,18	2,88	3,02	3,02
Wymiary gabarytowe zbiornika ciśnieniowego:						
d	2,35	2,85	3,51	4,63	5,18	5,43
e (średnice)	1,00	1,40	1,65	2,0	2,31	2,50
Typ pompy	MBH-6	MBH-10	MBH-10	MBH-25	MBH-25	MBH-25
Wydatek pompy l/sek	6,0	10,0	10,0	25,0	25,0	25,0
Prędkość obrotowa pompy obr/min	1470	1470	1470	1460	1460	1460
Moc silnika elektrycznego kW	17	37	37	75	95	95

Parametry zespołu ciśnieniowego ustala się na podstawie obliczenia uwzględniającego objętości skokowe siłowników; kierownicy, wirnika, upustu jałowego i zasuwy oraz ciśnienie oleju w zbiorniku ciśnieniowym, wymagania automatyki i inne.

Przyjmuje się, że normalne ciśnienie robocze w zbiorniku ciśnieniowym wynosi 20 kG/cm². Objętość zajęta w zbiorniku przez powietrze stanowi 65% całej objętości zbiornika. W tabl. 55 podano objętość oleju potrzebną do napełnienia całego układu regulacyjnego (zlewczego zbiornika oleju, ciśnieniowego zbiornika oleju, rurociągów i siłowników), zaś w tabl. 54 — rodzaje olejów i ich charakterystyki. Temperatura oleju podczas pracy turbozespołu nie powinna przekraczać 50 do 60°.

Spadek ciśnienia na zaworach przelotowych znajdujących się na pompach może być regulowany w szerokich granicach. Zazwyczaj wynosi on 6 do 10% ciśnienia nominalnego. Zawory bezpieczeństwa nastawia się w ten

sposób, aby otwierały się w razie wzrostu ciśnienia w układzie regulacyjnym o 0,5 do 2 kG/cm² ponad ciśnienie nominalne.

Na zbiorniku ciśnieniowym zespołu olejowego umieszczone są dwa czujniki ciśnienia: czujnik nastawiony na normalny (roboczy) spadek ciśnienia — czujnik ten nadaje impuls (elektryczny) włączający pompę zapasową, o ile ciśnienie w zbiorniku zmniejszy się o 2 do 3 kG/cm² — oraz czujnik niskiego ciśnienia, który wytwarza impuls powodujący unieruchomienie turbiny przy zmniejszeniu się normalnego ciśnienia o 4 do 5 kG/cm².

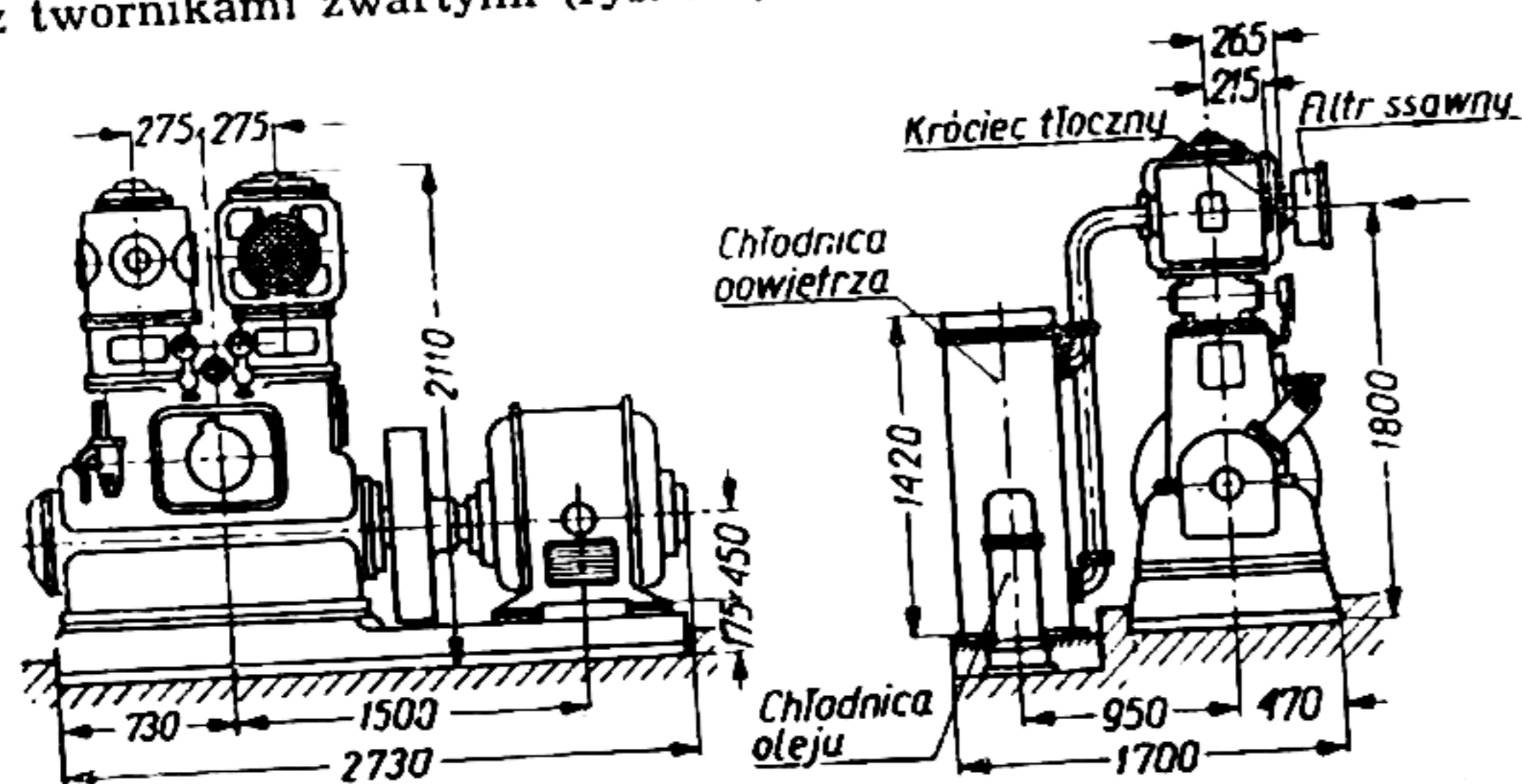
Zbiornik zlewczy ciśnieniowego zespołu olejowego zaopatrzony jest w płaskie filtry siatkowe, które dzielą ten zbiornik na dwie części. W jednej części olej jest przefiltrowany, w drugiej — nie przefiltrowany.

Zbiornik ciśnieniowy zespołu olejowego po raz pierwszy napełnia się powietrzem za pomocą sprężarki wysokiego ciśnienia wchodzącej w skład ogólnego wyposażenia siłowni, zaś do napełniania okresowego tego zbiornika służy pompa powietrzno-olejowa zainstalowana na zbiorniku zlewczym.

W tablicy 41 zamieszczono główne dane techniczne dotyczące zespołów olejowych ciśnieniowych typu MHY.

3. Instalacje sprężarkowe

Do napełniania zbiorników ciśnieniowych zespołów olejowych ciśnieniowych stosuje się przeważnie sprężarki dwustopniowe wysokiego ciśnienia napędzane za pomocą silników elektrycznych trójfazowych asynchronicznych z twornikami zwartymi (rys. 129).



Rys. 129. Sprężarka zespołu olejowego ciśnieniowego

W pierwszym stopniu (cylindrze niskiego ciśnienia) powietrze zostaje sprężone do ciśnienia 5 kG/cm², zaś w drugim stopniu (cylindrze wysokiego ciśnienia) — do 25 kG/cm². Sprężarka chłodzona jest wodą, którą doprowadza się pod ciśnieniem 1 do 2 kG/cm², przy czym różnica temperatur wody odpływającej i dopływającej zawarta jest zazwyczaj w granicach 10

do 15°C. Do smarowania sprężarki używa się przefiltrowanego oleju sprężarkowego marki T (w lecie) i marki M (w zimie), odpowiadających normie GOST 1861—44.

Wydatek sprężarki obliczamy ze wzoru

$$Q = \frac{kV}{t} p$$

gdzie Q — wydatek sprężarki po stronie ssania tj. przy ciśnieniu atmosferycznym powietrza, m³/min;

k — współczynnik napełnienia zbiornika ciśnieniowego powietrzem;

p — ciśnienie w zbiorniku ciśnieniowym kG/cm²;

t — czas potrzebny do pierwszego napełnienia zbiornika ciśnieniowego powietrzem, min.

W tablicy 42 podano główne dane techniczne sprężarek produkowanych w ZSRR.

Tablica 42
Główne dane techniczne sprężarek produkowanych w ZSRR

Wytwórnia	Typ	Wydatek powietrza zassanego m ³ /gcdz	Ciśnienie powietrza sprężonego kG/cm ²	Prędkość obrotowa obr/min	Moc na wale kW	Zapotrzebowanie wody chłodzącej l/sek	Przekładnia
Zakłady „Borec”	CA-25	270	25	480	47,8	0,75	Bezpośrednie sprzężenie sprężarki z silnikiem
Zakłady „Borec”	K-18	24	18	500	8	—	Napęd za pośrednictwem paszków klinowych
Zakłady Kijowskie	BK-101	50-60	25	600	14,7	0,30	„
Zakłady Penzeńskie	BK-25	66	25	750	20,2	—	Przekładnia redukcyjna zębata

4. Gwarancje dotyczące regulacji

W technicznych warunkach dostawy turbiny wytwórnia narówni z innymi gwarancjami udziela gwarancji związanych z regulacją. Gwarancje te dotyczą wartości zmian prędkości obrotowej turboszespołu oraz ciśnienia w spirali zasilającej lub w rurociągu dopływowym w przypadku odciążenia turbiny. Wartości te wyznacza się rachunkowo na podstawie wielkości momentu bezwładności układu wirującego turboszespołu, parametrów charakteryzujących rurociąg oraz część przepływową, wreszcie na podstawie

czasu zamykania (otwierania) kierownicy turbiny¹⁾. Przy pełnym odciażeniu turbiny dopuszcza się zazwyczaj względne powiększenie prędkości obrotowej $\beta_{max} = 0,3$ do $0,4$ prędkości normalnej, zaś przy pełnym obciążeniu — względne zmniejszenie tej prędkości $\beta_{min} = 0,5$. Przy częściowych odciażeniach lub obciążeniach prędkość obrotowa ulega powiększaniu względnie zmniejszeniu w odpowiednio mniejszym stopniu.

Względną zmianę prędkości obrotowej oblicza się ze wzorów:

a) przy odciażeniu

$$\beta_{odc} = \frac{n_{max} - n_0}{n_0}$$

b) przy obciążeniu

$$\beta_{obc} = \frac{n_0 - n_{min}}{n_0}$$

gdzie: n_0 — prędkość obrotowa turbozespołu przed odciażeniem (obciążeniem), obr/min,
 n_{max} oraz n_{min} — największa względnie najmniejsza prędkość obrotowa turbozespołu przy odciażeniu względnie obciążeniu, obr/min.

Należy zauważyć, że ponieważ nagłe pełne obciążenie jest mało prawdopodobne, więc największa wartość względnego zmniejszenia się prędkości obrotowej tylko wówczas zastrzeżona jest w gwarancjach (dla przypadku zwiększenia obciążenia powyżej 50% mocy), o ile wywołane to jest warunkami eksploatacji.

Przy odciażeniu lub obciążeniu regulator automatycznie przemyka lub rozwiera kierownicę i wskutek tego ciśnienie w spirali lub w rurociągu dopływowym nagłe zwiększa się względnie zmniejsza i powstaje zjawisko uderzenia hydraulicznego.

Względną zmianę ciśnienia w spirali przed turbiną przy odciażeniu (ζ_{odc}) względnie obciążeniu (ζ_{obc}) oblicza się ze wzorów:

a) przy odciażeniu (powiększenie ciśnienia):

$$\zeta_{odc} = \frac{H_{max} - H_0}{H_0}$$

b) przy obciążeniu (zmniejszenie ciśnienia):

$$\zeta_{obc} = \frac{H_0 - H_{min}}{H_0}$$

gdzie: H_{max} oraz H_{min} — największe, względnie najmniejsze ciśnienie w spirali przy odciażeniu względnie obciążeniu,
 H_0 — ustalone ciśnienie w spirali po odciażeniu względnie obciążeniu.

¹⁾ Obliczenie wielkości gwarancyjnych dotyczących regulacji turbin Czytelnik znajdzie w książce: „Turbinnoje oborudowanje gidroelektrostantsij”, Gosenergoizdat, 1949.

Zazwyczaj dopuszcza się, że przy pełnym odciażeniu względny wzrost ciśnienia ζ_{odc} w spirali przed turbiną może wynosić

0,5 do 0,6 przy spadach do 40 m,

0,3 do 0,5 przy spadach od 40 do 100 m,

0,15 do 0,3 przy spadach powyżej 100 m.

§ 36. MONTAŻ URZĄDZENIA REGULACYJNEGO

W wielkich turbinach wodnych stosuje się regulatory automatyczne z ciśnieniowym zbiornikiem oleju. Układ regulacyjny turbiny Francisa składa się z zespołu ciśnieniowego, skrzynki sterowniczej, przekładni, rurociągów oraz z zespołu suwakowego. Turbiny Kaplana są zaopatrzone ponadto w skrzynkę kombinatora, zasilacz olejowy oraz w ich przekładnie. Oprócz tego w obu typach turbin w celu napełnienia zespołu olejowego ciśnieniowego powietrzem sprężonym, stosuje się sprężarkę powietrzną, zaś na wale turbozespołu instaluje się specjalną prądnicę, która dostarcza prądu elektrycznego do silnika regulatora odśrodkowego.

Układ regulacyjny umieszczony jest w maszynowni. Na rys. 130 pokazano schematycznie rozmieszczenie poszczególnych elementów tego układu. W pewnych przypadkach zbiornik ciśnieniowy zespołu olejowego ciśnieniowego lub cały ten zespół instaluje się poniżej poziomu podłogi maszynowni.

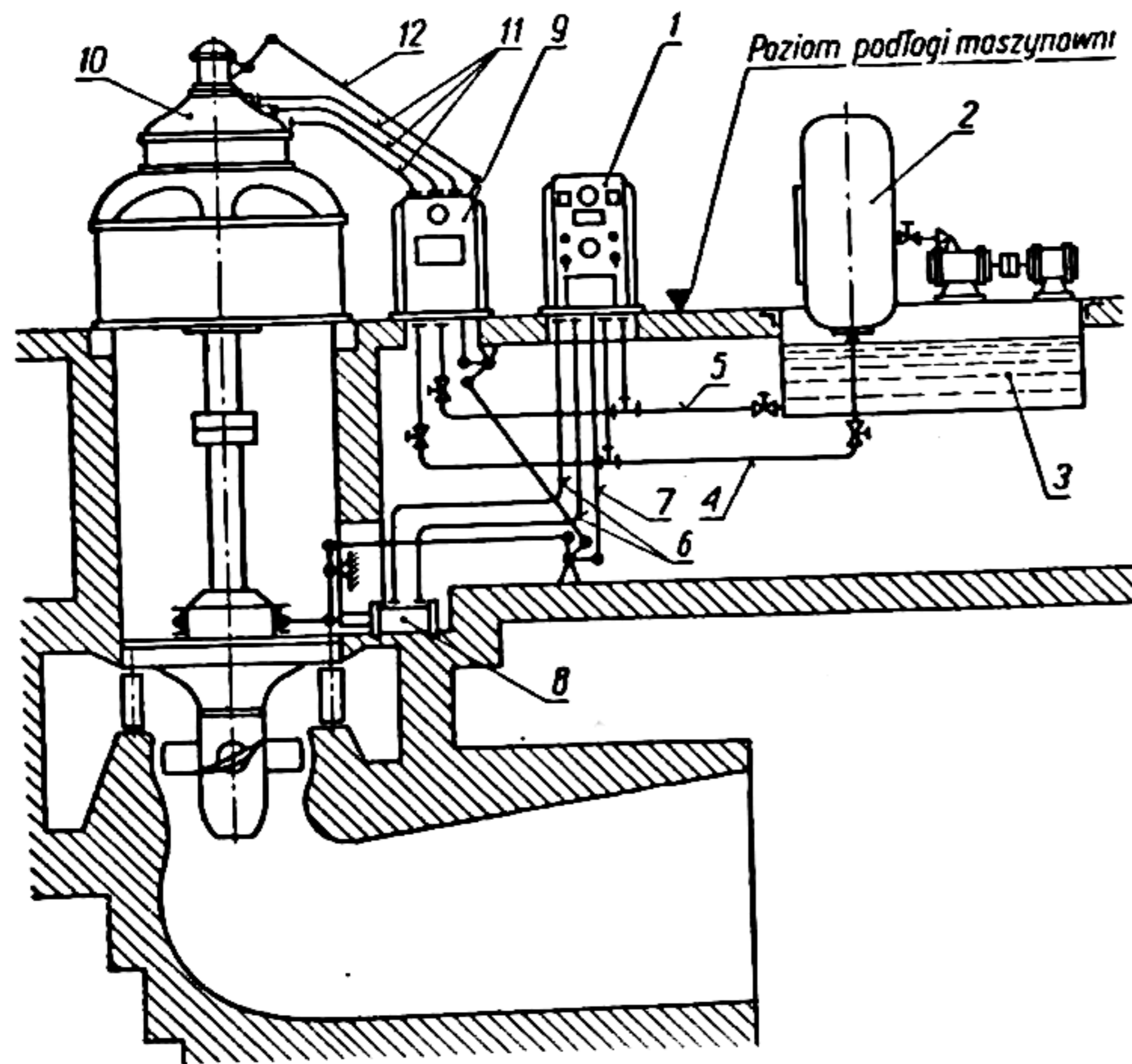
Nowe projekty konstrukcyjne przewidują umieszczenie regulatora i kombinatora w jednej skrzynce.

Skrzynka sterownicza oraz skrzynka kombinatora, jak również mechanizmy zespołu olejowego ciśnieniowego badane są w wytwórni na stanowisku badawczym. Po przeprowadzeniu tych badań mechanizmy demontuje się w celu zakonserwowania ich wnętrza, po czym ponownie się je montuje, pakuje w skrzynie oraz wysyła na miejsce montażu.

Do montowania układu regulacyjnego przystępuje się po przygotowaniu fundamentów i montaż mechanizmów układu przeprowadza się zazwyczaj równoległe z montażem mechanizmów roboczych turbiny.

Wyznaczanie osi. Przed przystąpieniem do montowania układu regulacyjnego sprawdza się stan fundamentów, wymiary gniazd oraz wytycza się osie fundamentów. W celu wyznaczenia tych osi na wysokości rzędnych, na których ma być zainstalowana skrzynka sterownicza, ciśnieniowy zespół olejowy oraz skrzynka kombinatora (w przypadku turbin Kaplana) należy uprzednio osadzić w betonie klamry lub przyspawać je do uzbrojenia betonu. Klamry te służą do naciągnięcia strun wyznaczających osie (rys. 131). Po naciągnięciu tych strun, zgodnie z wymiarami zaprojektowanymi w rzucie poziomym, nanosi się na klamrach rysy wyznaczające prawidłowe położenie strun. Rzędne wysokościowe fundamentów określamy względem stałego punktu odniesienia (reperu), który umieszcza się w rejonie montażu elementów regulacji. Na strunach wyznaczających osie zawieszają się pionki, za pomocą których nanosi się na fundamentach pomocnicze rysy również wyznaczające osie.

Montaż ciśnieniowego zespołu olejowego. Zbiornik zlewczy oleju opuszcza się do jego gniazda (rys. 128), przy czym łapy zbiornika opiera się na uprzednio założonych podkładkach sporządzonych z blachy stalowej. Rysy znajdujące się na zbiorniku wyznaczające jego osie i naniesione



Rys. 130. Schemat sytuacyjny układu regulacyjnego turbiny Kapla-
na 1 — skrzynka sterownicza typu YK; 2 — zbiornik ciśnieniowy
zespołu olejowego ciśnieniowego; 3 — zbiornik zlewczy zespołu ole-
jowego ciśnieniowego; 4 — rurociąg tłoczny doprowadzający olej ze
zbiornika ciśnieniowego do skrzynek sterowniczej i kombinatora; 5 — rurociąg zlewczy odprowadza-
jący olej ze skrzynek sterowniczej i kombinatora do zbiornika
zlewczego zespołu olejowego ciśnieniowego; 6 — rurociąg doprowa-
dzający olej ze skrzynki sterowniczej do serwowatora kierownicy;
7 — przekładnia wiążąca tłocznik silownika z wyłącznikiem znajdu-
jącym się w skrzynce kombinatora oraz z krzywką (klinem) znajdu-
jącymi się w skrzynce kombinatora; 8 — silownik kierownicy; 9 —
skrzynka kombinatora; 10 — zasilacz olejowy; 11 — rurociągi olejowe
skrzynki kombinatora z zasilaczem olejowym; 12 — prze-
kładnia wiążąca serwowator wirnika z wyłącznikiem znajdującym
się w skrzynce kombinatora

w wytwórni, uzgadnia się jednocześnie (z dokładnością do ± 4 mm) z ry-
sami pomocniczymi naniesionymi na fundamencie a wyznaczającymi osie
fundamentu.

Następnie zbiornik zlewczy za pomocą odpowiedniego zestawu podkła-
dek ustawiamy według reperu na odpowiedniej wysokości z dokładnością
do ± 5 mm, zaś poziome ustawienie tego zbiornika sprawdzamy poziomnicą
z dokładnością do jednej podziałki. Aby zapobiec przesuwaniu się zbior-
nika, podkładki należy przyspawać do jego łap oraz do uzbrojenia żelbetonu,

a oprócz tego zaprzeć zbiornik w gnieździe. Po takim unieruchomieniu
zbiornik zabetonowuje się.

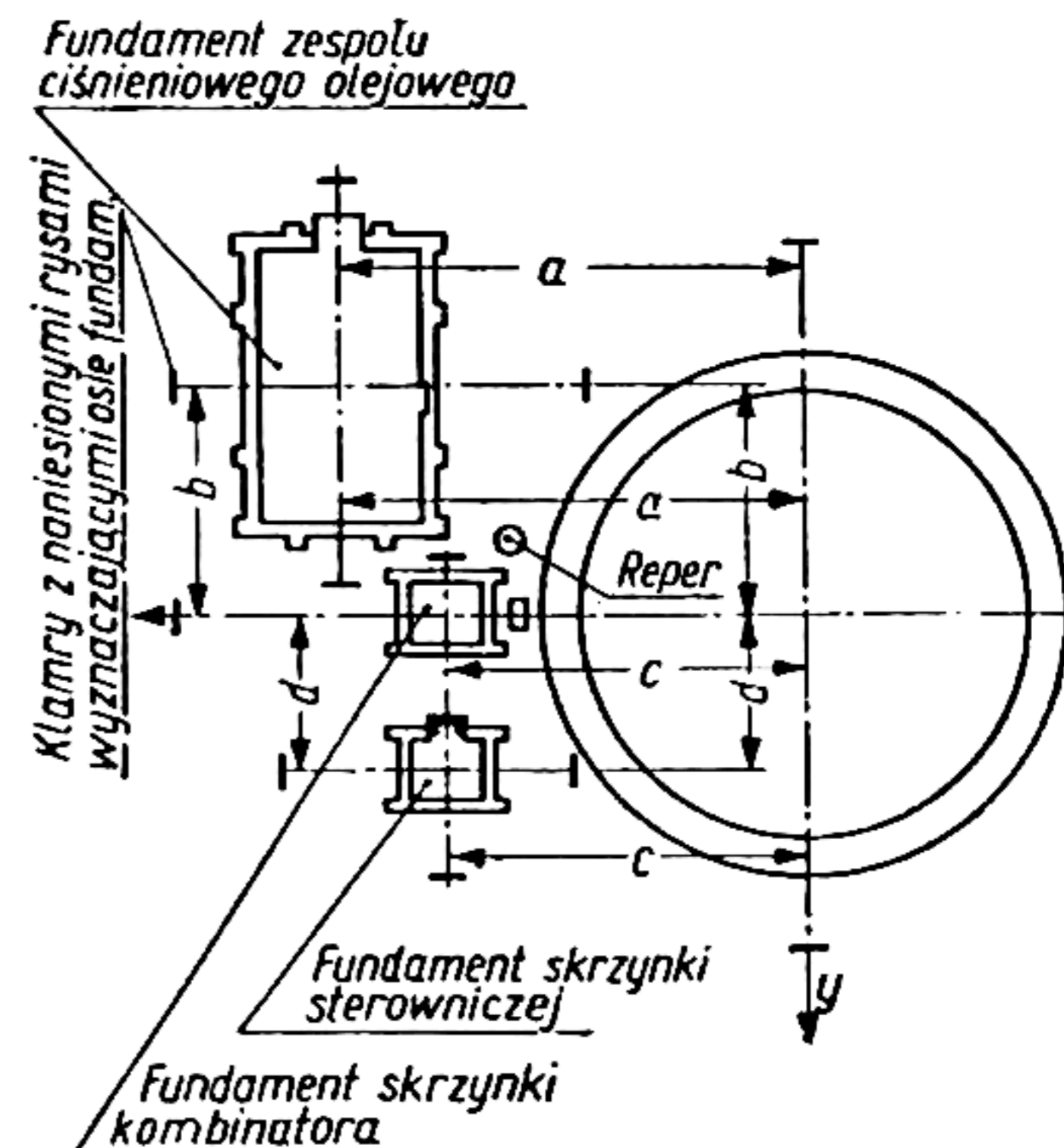
Przed zaparciem i zabetonowaniem zaleca się umieścić na zbiorniku
zlewczym zbiornik ciśnieniowy oraz sprawdzić ustawienie pionowe osta-
tniego. Sprawdzenie to prze-
prowadza się za pomocą pio-
nu zawieszonoego wzdłuż two-
rzącej zbiornika ciśnieniowe-
go.

Po związaniu betonu użyte-
go do zalewania gniazd wyko-
nuje się dalsze prace. Miano-
wicie wnętrza zbiorników ci-
śnieniowego oraz zlewczego
oczyszcza się starannie z bru-
du i na ostatnim zbiorniku
montuje się dwie śrubowe
pompy olejowe wraz z osprzę-
tem, tj. z zaworami: przeloto-
wymi, bezpieczeństwa i zwro-
tnymi. Pompy wraz z silnika-
mi elektrycznymi centruje się
według sprzęgieł oraz ustala
za pomocą kołków i przymo-
cowuje. Dokładność centro-
wania sprawdza się za pomo-
cą szczelinomierza przez pomiar grubości szczeliny pomiędzy dwiema po-
łówkami sprzęgła (grubość ta powinna być jednakowa na całym obwodzie
sprzęgła) oraz przez pomiar rozbieżności pomiędzy tworzącymi walcowych
powierzchni połówek sprzęgła. Niedopuszczalne jest przy tym niesymetrycz-
ne przesunięcie tych powierzchni. Po przymocowaniu pomp oraz silników
należy przekonać się czy dadzą się one ręcznie łatwo obracać.

Na zbiorniku zlewczym montuje się i umocowuje elementy pomocnicze,
a mianowicie pompę powietrzną olejową, pływak wraz ze wskaźnikiem po-
ziomu oleju znajdującego się w zbiorniku, zawory ręczne służące do na-
pełniania i opróżniania zbiornika, termometr elektryczny, wreszcie cztery
filtry siatkowe.

Na zbiorniku ciśnieniowym na odpowiednich uszczelkach montuje się
i umocowuje osprzęt, a mianowicie uruchamiane ręcznie: zawór olejowy
tłoczny, zawór olejowy spustowy, zawór powietrzny tłoczny, zawór po-
wietrzny spustowy, czujnik ciśnienia nastawiony na normalny spadek ci-
śnienia oraz czujnik niskiego ciśnienia. W pewnych konstrukcjach montuje
się ponadto wewnątrz zbiornika pływak z selsynem i zewnątrz zbiornika —
wskaźnik poziomu uruchamiany przez silnik selsynowy, a dalej olejowskaz,

Udostępniono dzięki www.mew.pl - Małe Elektrownie Wodne



Rys. 131. Wyznaczanie osi fundamentów zespołu
olejowego ciśnieniowego oraz skrzynek: ste-
rowniczej i kombinatora

manometr, podwójne filtry zaworów przelotowych i filtry sprężarki olejowej powietrznej zespołu olejowego ciśnieniowego.

Zbiornik ciśnieniowy wraz ze zmontowanym na nim osprzętem poddaje się próbie ciśnienia stosując przy tym olej pod ciśnieniem 32 kG/cm². Przy próbie powinien być obecny przedstawiciel Dozoru Technicznego.

W zbiorniku ciśnieniowym podczas próby ciśnienia nie powinno znajdować się powietrze. Podczas napełniania zbiornika olejem należy w celu usunięcia tego powietrza odkręcić korek znajdujący się w górnym dnie zbiornika. Jeżeli zbiornik nie jest zaopatrzony w korek, to powietrze można wypuścić poprzez zakrzywioną rurkę, którą wprowadza się do zbiornika i umocowuje się do niego za pomocą kołnierza. Pomiędzy końcem rurki i górnym dnem zbiornika powinna być zachowana odległość 5 do 8 mm.

Zbiornik ciśnieniowy można poddać próbie ciśnienia przed jego zmontowaniem. Próbę tę przeprowadza się na placu montażowym. W tym przypadku wszystkie otwory w kotle zamyka się za pomocą zaślepek, a ciśnienie wytwarza się za pomocą ręcznej pompy ciśnieniowej. Bardziej celowe jest poddanie zbiornika próbie ciśnienia razem z osprzętem, w przeciwnym przypadku bowiem elementy osprzętu trzeba próbować oddzielnie.

Wskazówki dotyczące kontroli mechanizmów zespołu olejowego ciśnieniowego oraz innych elementów układu regulacyjnego podane są w końcu tego paragrafu.

Montaż skrzynki sterowniczej. Płytę fundamentową skrzynki zmcowuje się ze skrzynką sterowniczą i obie opuszcza się razem do gniazda ustawiając je na uprzednio umieszczonych tam podkładkach (rys. 123). Liny za pomocą których owiązuje się skrzynki przepuszcza się poprzez otwarte boczne drzwiczki pod górną ścianką. Pod linami należy umieścić drewniane podkładki oraz maty, a to w celu zabezpieczenia przed zniszczeniem przewodów elektrycznych znajdujących się w skrzynce oraz aby nie zetrzeć farby, którą skrzynka jest powleczona.

Uzgodnienie osi skrzynki sterowniczej z osiami fundamentu, ustawienie jej na odpowiedniej wysokości i do poziomu oraz umocowanie (zaparcie) przed zabetonowaniem — wszystko to przeprowadza się tak, jak w przypadku zbiornika zlewczego zespołu olejowego ciśnieniowego, po czym płytę fundamentową zabetonowuje się.

Dopuszczalne odchyłki wynoszą: wzdłuż osi (X oraz Y) ± 3 mm, w kierunku pionowym ± 3 mm i w poziomie 0,5 podziałki poziomnicy. Poziomnicę ustawia się na odpowiedniej listwie silnika elektrycznego napędzającego regulator odśrodkowy.

Po związaniu betonu którym zabetonowywano płytę następujące roboty wykonuje się jeszcze przy regulatorze: a) sprawdza się mechanizmy; b) przyłącza się ciągnio przekładni wyłącznika łączące siłownik kierownicy z dźwignią wału wyłącznika; wał ten znajduje się w skrzynce sterowniczej; c) oprócz tego na miejscu dopasowuje się i przymocowuje rurociąg tłoczny; rurociąg zlewczy i rurociąg drenażowy odprowadzające olej do zespołu olejowego ciśnieniowego; rurociągi doprowadzające olej na otwieranie i na

zamykanie siłowników kierownicy; rurki „ryglujące“ doprowadzające olej do zatrzasku siłowników kierownicy oraz także rurki do suwaka ryglującego siłownika kierownicy i — w turbinach Kaplana — do zaworów kombinatora. Aby uniknąć pomyłek, należy kierować się cyfrowymi oznaczeniami rur umieszczonymi na rysunku (schemacie) rurociągów skrzynki sterowniczej. Do szeregu zacisków doprowadza się wreszcie przewody elektryczne poprzez dwie pionowe rury znajdujące się w dnie skrzynki sterowniczej.

Montaż skrzynki kombinatora (w turbinach Kaplana). Metody i sposoby montowania i ustawiania skrzynki kombinatora oraz dopuszczalne przy tym odchyłki są analogiczne do podanych przy omawianiu montażu skrzynki sterowniczej.

Po stwardnieniu betonu przeprowadza się następujące roboty: a) sprawdza się mechanizmy; b) przyłącza się ciągnio przekładni wyłącznika wiążące siłownik kierownicy (rys. 132) z dźwignią urządzenia rozdzielczego kombinatora oraz ciągnio przekładni wyłącznika wiążące siłownik wirnika z dźwignią suwaka kombinatora; c) oprócz tego na miejscu dopasowuje się i przymocowuje rurociąg tłoczny, rurociąg zlewczy odprowadzający olej do ciśnieniowego zespołu olejowego, rurociągi olejowe prowadzące do zasilacza olejowego (zbiornika oleju regulacji wirnika), rurki „ryglujące“ doprowadzające olej do suwaka zatrzasku siłownika kierownicy i do suwaka ryglującego, znajdującego się w skrzynce sterowniczej.

Montaż sprężarki związanej z ciśnieniowym zbiornikiem olejowym za pomocą rurociągu, przeprowadza się w sposób analogiczny do podanego wyżej; montaż ten nie wymaga wyjaśnień.

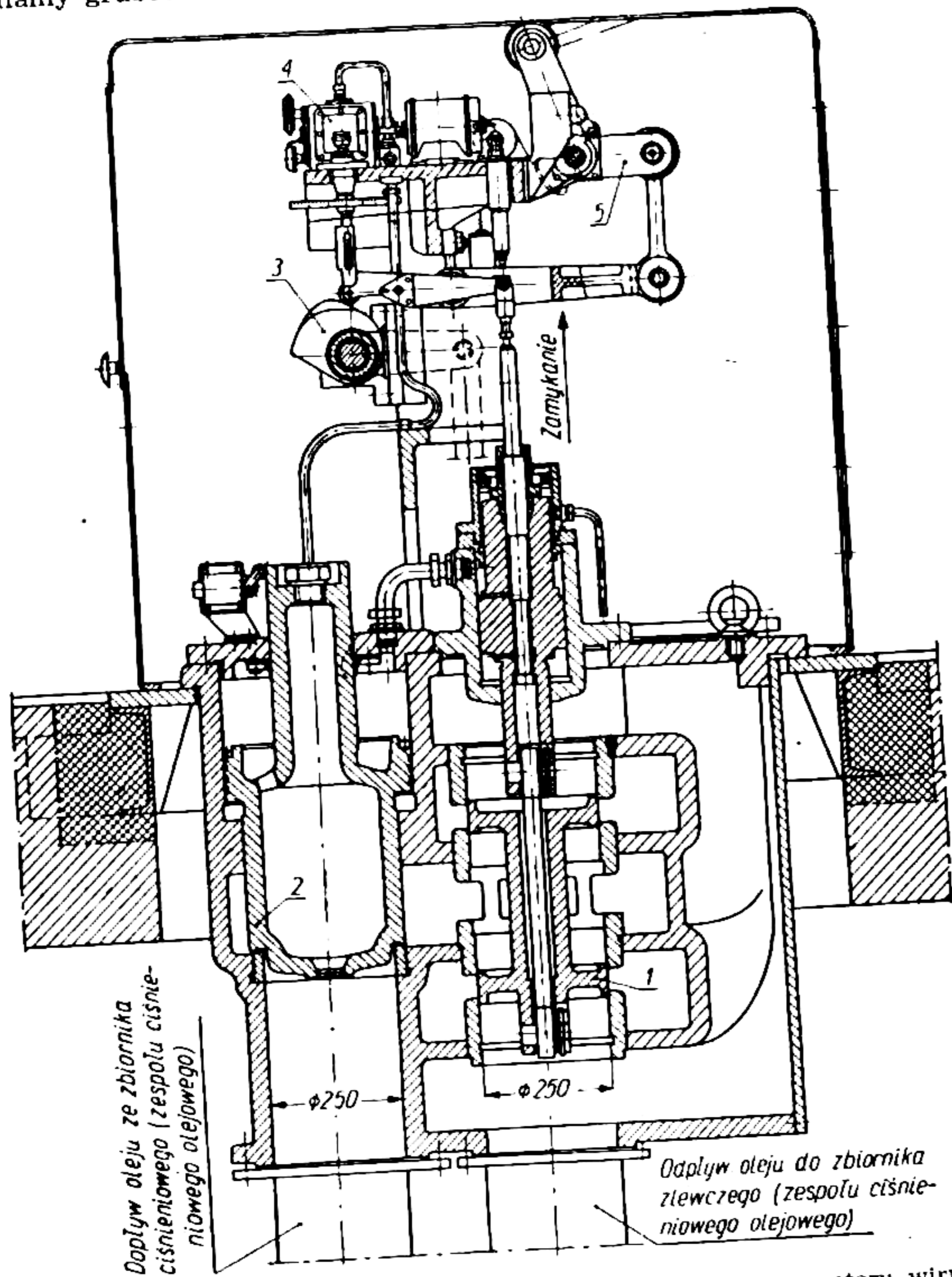
Montaż zasilacza olejowego. Zasilacz olejowy montuje się po zmontowaniu prądnicy i wzbudnicy (rys. 133).

Drągi zasilacza (wewnętrzny 1 oraz zewnętrzny 2) przymocowuje się do drąga wirnika 3 i centruje je według specjalnego wytoczenia. Powierzchnie złącz kołnierzowych drągów powinny być starannie sprawdzone na płycie do docierania. Należy z nich usunąć wszelkie rysy i zadry, gdyż mogą one spowodować nadmierny rzut górnego końca drąga i w wyniku przedwczesne zużycie brązowych tulei zasilacza olejowego lub ich zatarcie. Centrowanie zasilacza olejowego sprowadza się do uzgodnienia osi tulei z osią wału turbozespołu, tj. do uzyskania współosiowości zasilacza i drąga zewnętrznego.

Przed montażem na placu montażowym należy sprawdzić współosiowość kadłuba zasilacza olejowego 7 i zmontowanej z nim jego podstawy 4. W tym celu na kozłach montażowych ustawia się tę podstawę i centruje w niej odrzutnik oleju 6. Następnie na podstawie ustawia się kadłub zasilacza 7 wraz z wmontowaną w niego tuleją 8 oraz z jego drągiem.

Kadłub centrujemy mierząc za pomocą średnicówki odległość pomiędzy występem centrującym odrzutnika oleju i zewnętrzną powierzchnią drąga. Po wycentrowaniu ustalamy za pomocą kołków położenie kadłuba względem podstawy. Jednocześnie sprawdzamy ruchy zmontowanych drągów:

zewnętrznego i wewnętrznego w tulejach kadłuba zasilacza olejowego i ustalamy grubość szczelin. Aby drągi dawały się łatwo poruszać, dopusz-

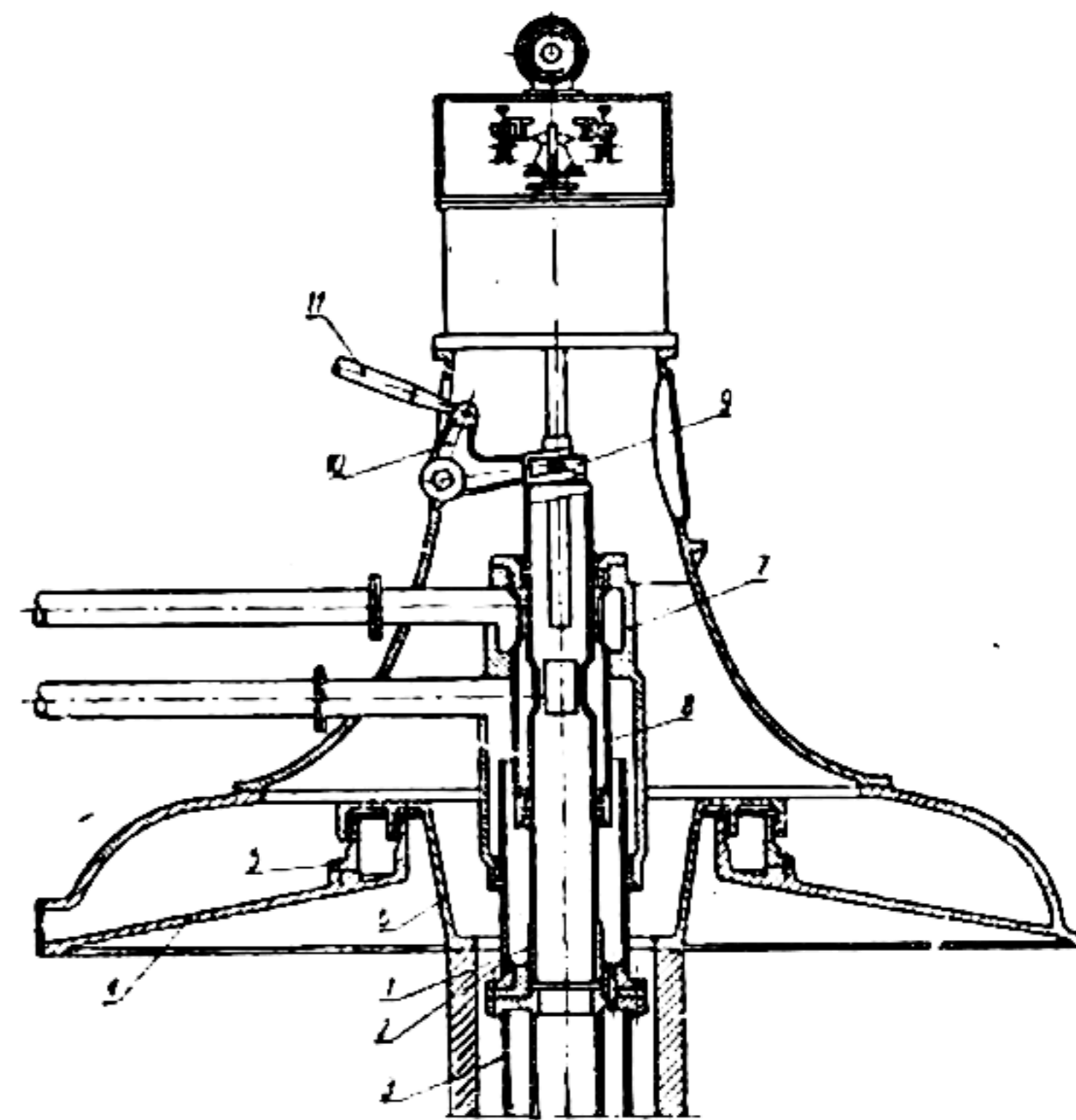


Rys. 132. Przekrój skrzynki kombinatora: 1 — suwak serwomotoru wirnika; 2 — grzybek zaworu hydraulicznego; 3 — krzywka kombinatora; 4 — silnik i przekładnia do przemieszczania krzywki kombinatora; 5 — urządzenie kontaktowe oraz selsyny.

czalne jest doskrobanie tulei w granicach maksymalnej przewidzianej w projekcie wielkości szczeliny. Przed zmontowaniem zasilacza olejowego na jego miejscu należy stwierdzić, czy połączenie nadstawki wału z wałem

prądnicy jest wykonane prawidłowo, tj. czy wał ten oraz nadstawka są współosiowe.

Zasilacz olejowy montuje się w następującej kolejności: a) drąg zewnętrzny i drąg wewnętrzny przymocowuje się do drąga wirnika; b) podstawę zasilacza połączoną z zewnętrznym pierścieniem 5 uszczelnienia labiryntowego ustawia się na kadłubie wzbudnicy, zgodnie z osiami X oraz Y; przy tym górny kołnierz, na którym opiera się kadłub zasilacza 7 powinien być poziomy; c) odrzutnik oleju przymocowuje się do górnej powierzchni czołowej nadstawki wału prądnicy i centruje go według wytoczenia znajdującego się w nadstawce; d) wreszcie podstawę zasilacza centruje się według odrzutnika, aż do otrzymania jednakowej szerokości szczelin uszczelnienia labiryntowego. Odchyłki nie powinny przekraczać wartości podanych w tabl. 47.



Rys. 133. Schemat zasilacza olejowego wirnika

W celu elektrycznego odizolowania podstawy zasilacza olejowego od kadłuba wzbudnicy zakłada się izolacyjną podkładkę sporządzoną z tekstolitu, zaś w otwory na śruby i kołki ustalające wstawia się tuleje izolacyjne wykonane z tego samego materiału.

Kadłub zasilacza olejowego wraz z umocowaną w nim tuleją 8 opuszcza się następnie na właściwe miejsce, a położenie jego uzgadnia z otworami przeznaczonymi do umieszczenia kołków. Podczas opuszczania kadłub prowadzony jest przez zewnętrzny drąg zasilacza. Aby przy opuszczaniu zasilacza uniknąć powstawania zadziórów na trących się powierzchniach, należy go zawiesić w położeniu ściśle poziomym. Sprawdzamy to za pomocą poziomnicy. Szczeliny pomiędzy zewnętrznym i wewnętrznym drągiem zasilacza oraz brązowymi tulejami powinny być wzajemnie współ-

środkowe, a to w celu uniknięcia zatarcia się drąga w czasie jego obracania się i poosiowego przesuwania.

Poprzeczkę 9 wraz z łożyskiem kulkowym nasadzamy na górny koniec wewnętrznego drąga i przymocowujemy ją za pomocą nakrętki, tak aby nie mogła przesuwać się wzdłuż osi wału, lecz jednocześnie nie zacierając się dawala się łatwo obracać. Następnie montuje się dźwignię 10, którą łączy się z poprzeczką oraz z ciągnem 11 wyłącznika suwaka kombinatora.

Po napełnieniu olejem piasty wirnika sprawdza się po raz pierwszy ruch jego drąga. Należy wówczas przekonać się, czy widełki dźwigni nie zawadzają o kadłub zasilacza, gdyż po dodaniu do siebie odchyłek liniowych pionowych wymiarów może się okazać, że w skrajnym dolnym położeniu dźwigni (jest to położenie otwarcia wirnika), szczelina pomiędzy kadłubem i widełkami dźwigni jest zbyt mała, co może doprowadzić do połamania ostatniej.

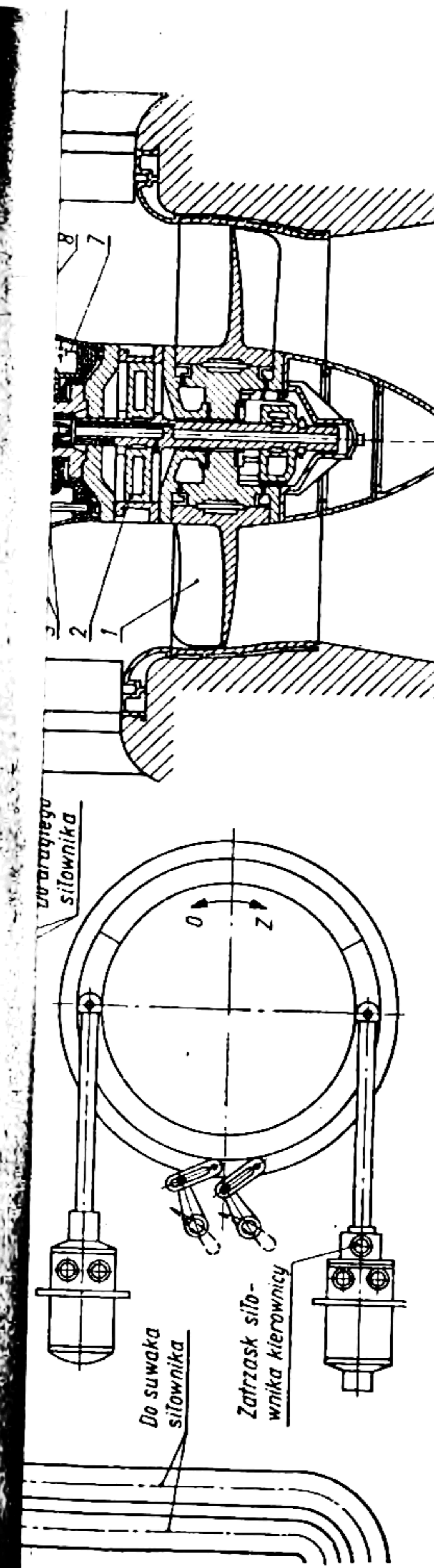
Prądnica regulatora odśrodkowego. Prądnica ta dostarczana jest w stanie zmontowanym. Demontowanie jej połączone z wyjęciem twornika jest niedozwolone bez uzgodnienia tego z wytwórnią. Prądnicę ustawia się na kadłubie zasilacza olejowego według osi oraz poziomo według kierownicy i centruje w ten sposób, aby wałek twornika łatwo wchodził w otwór znajdujący się w drągu. W tym celu wałek przed ustawieniem prądnicy usuwa się i następnie przesuwać ostatnią znajduje się takie jej położenie, przy którym wałek ten wchodziłby łatwo w omawiany otwór oraz w zatoczenie wykonane w tworniku bez konieczności stosowania bocznych nacisków. Dalej kadłub prądnicy przymocowuje się i ustala jego położenie za pomocą kołków, a następnie wałek z mocuje się z twornikiem i sprawdza wielkość luzu. Luz ten może występować o ile szczelina pomiędzy wpustką i ścianką rowka wałka jest zbyt wielka.

Przekładnia układu regulacyjnego. Przekładnia ta pod względem konstrukcyjnym jest rozmaicie wykonywana: jako przekładnia sztywne, giętka w postaci linki lub jako przekładnia kombinowane.

Mówiliśmy uprzednio, że turbiny zaopatrzone są w przekładnię (odwodzenie) sprzęgającą serwomotor kierownicy z wałem odwodzącym, znajdującym się w skrzynce sterowniczej. Turbiny Kaplana mają ponadto przekładnię sprzęgającą siłownik kierownicy z krzywką (klinem) kombinatora oraz przekładnię sprzęgającą kombinator z zasilaczem olejowym.

Montaż przekładni polega na prawidłowym, zgodnym z rysunkami ustawieniu pośrednich łożysk oraz ich koźłów, które zazwyczaj przymocowuje się do zabetonowanych płyt fundamentowych oraz na sprzęgnięciu z odpowiednimi mechanizmami końców elementów przekładni.

W celu wytrasowania osi według których mają być ustawione wsporniki, posługujemy się strunami wyznaczającymi osie X oraz Y, zaś rzędne (wysokości) sprawdzamy za pomocą niwelatora. Płyty fundamentowe należy zabetonować po wstępnym ustawieniu całej przekładni. Ostateczne ustawienie przeprowadza się po stwardnieniu betonu, przy tym przekładnia powinna dać się poruszać ręcznie bez zacierania. Długości cięgien wyregu-



Rys. 134. Schemat kombinatora turbiny Kaplana: 1 — wirnik; 2 — serwomotor wirnika; 3 — termometry elektryczne; 4 — pompa odwadniająca samozasysająca; 5 — zawór napowietrzający; 6 — manometry; 7 — nadajnik (przekaznik) pływakowy poziomy; 8 — wodomierz zapisujący; 9 — zawór napowietrzający; 10 — lopatka kierownicy; 11 — pompa przeciekowa olejowa; 12 — serwomotor kierownicy; 13 — zatrzaśki serwomotoru kierownicy; 14 — układ przekładu; 15 — lampa sygnalizacyjna; 16 — krzywka kombinatora; 17 — kółko do ręcznego otwierania łopatek wirnika przez uruchomienie suwaka jego siłownika; 18 — wyłącznik końcowy siłownika; 19 — kółko do ręcznego przesuwania krzywki; 20 — selsyn różniczkowy; 21 — przekładnia redukcyjna wskaźnika położenia krzywki; 22 — selsyn odbiorczy położenia krzywki; 23 — silnik do poprzecznego przesuwania suwaka; 24 — silnik elektryczny mechanizmu rozruchowego; 25 — suwak serwomotoru wirnika; 26 — selsyn odbiorczy otwarcia łopatek wirnika; 27 — wyłącznik końcowy siłnika elektrycznego 24; 28 — zasilacz olejowy; 29 — prądnica napędzająca silnik regulatora odśrodkowego; 30 — drąg serwomotoru wirnika; 31 — wyłącznik (bezpiecznik) odśrodkowy.

Montaż i remont turbin — str. 292—293

położeniu przez prze-
 ący gwin-
 ustala się
 ywką (kli-
 ay kąt ob-
 iętej z sa-
 ę krzywkę
 tierownicy.
 ki.
 kich prze-
 wnicy. Na-
 je za po-
 ice kubko-
 w układzie
 wody przed
 : (siłownik)
 tów: jeden
 zaś — dna
 ę nieznacz-
 ki czujnika
 w drugim
 tres zależ-
 jemy wiel-
 przegubach
 ej siłownik
 nik mierzy
 — krążka
 cyjnej (re-
 n, wielkość
 rzywką ste-
 w sposób
 ią z pokry-
 ch kierun-
 no w § 29.
 powietrzne
 ajających
 niczej oraz

środkowe,
nia się i f

Poprzecz
wewnętrzzn
nie mogła
się dawała
czy się z 1

Po nape
ruch jego
zawadzają
wych pion
żeniu dźwi
dłubem i
połamania

Prądnic
zmontowan
dozwolone
kadłubie za
i centruje
dujący się
się i nastę
którym wa
wykonane
Dalej kadł
kołków, a n
luzu. Luz te
rowka wałk

Przekładn
strukcyjnym
w postaci li

Mówiliśm
dzenie) sprz
jącym się v
kładnię spr
oraz przekła

Montaż pi
wieniu pośr
się do zabe
powiednimi

W celu w
posługujemy
sokości) spr
zabetonowa
wienie prze
powinna da

lowuje się przy średnim położeniu tłoka siłownika kierownicy; położeniu temu powinny odpowiadać wszystkie mechanizmy poruszane przez przekładnię. Tę regulację długości cięgien realizuje się za pomocą złączy gwintowanych łączących głowice z cięgnami. Odpowiednie długości ustala się następnie przeciwnakrętkami. Długość cięgna sprzężonego z krzywką (klinem) kombinatora reguluje się tak, aby otrzymać zaprojektowany kąt obrotu dźwigni osadzonej na wałku krzywki (lub dźwigni sprzęgniętej z sarniami klina). Następnie przy zamkniętej kierownicy pokręca się krzywkę (lub przesuwają się klin) i uzgadnia jej położenie z położeniem kierownicy. Wreszcie dźwignię zmocowuje się ostatecznie z wałkiem krzywki.

Podczas badania sprawdza się prawidłowość montażu wszystkich przekładni i to na całej długości skoku, w tym przy zamkniętej kierownicy. Następnie przeciwnakrętki cięgien ustala się kołkami lub szepia się je za pomocą elektrycznego spawania.

Do wszystkich przegubów sworzniowych wkręca się smarownice kubkowe, które napełnia się następnie smarem Tovotte'a.

Luzy w przekładniach wyznaczamy po wytworzeniu ciśnienia w układzie regulacyjnym i przy odwodnionej spirali zasilającej, tj. bez wody przed kierownicą. Wielkość luzu w przekładni sprzęgającej serwomotor (siłownik) ze skrzynką sterowniczą znajdujemy za pomocą dwóch czujników: jeden czujnik dotyka powierzchni czołowej tłoczyska siłownika, drugi zaś — dna tulei katarakty.

Za pomocą sterowania ręcznego lub ogranicznika przesuwają się nieznacznie tłoki siłownika w dwóch kierunkach i w granicach podziałki czujnika (8 do 10 mm) ustala się szereg punktów w jednym, później zaś w drugim kierunku. Następnie sporządzając według tych punktów wykres zależności wychylenia tulei katarakty od wychylenia tłoka, otrzymujemy wielkość luzu. Na luz ten składają się: sama grubość szczelin w przegubach sworzniowych oraz sprężyste odkształcenia przekładni.

W analogiczny sposób znajdujemy luz w przekładni sprzęgającej siłownik wirnika ze skrzynką kombinatora. W tym przypadku jeden czujnik mierzy przesunięcie drąga wirnika (w zasilaczu olejowym), drugi zaś — krążka naciskającego na krzywkę lub na klin kombinatora.

Drąg przesuwają się za pomocą rozruchowej przekładni redukcyjnej (reduktora) kombinatora.

Jeżeli układ regulacyjny nie został jeszcze napełniony olejem, wielkość luzu w przekładni sprzęgającej tłok siłownika kierownicy ze skrzynką sterowniczą można wyznaczyć również za pomocą dwóch czujników w sposób wyżej opisany. W tym przypadku zwalnia się dźwignię połączoną z pokrywą tłoka siłownika przesuwając ją za pomocą dźwignika w dwóch kierunkach.

Kolejność montażu układu regulacyjnego turbin Peltona podano w § 29.

Rurociągi układu regulacyjnego. Wszystkie rurociągi olejowe, powietrzne i wodne montuje się na miejscu z wyjątkiem rurociągów (rur) znajdujących się wewnątrz zespołu olejowego ciśnieniowego, skrzynki sterowniczej oraz

się drąga w czasie jego obraca-

m nasadzamy na górny koniec i za pomocą nakrętki, tak aby lecz jednocześnie nie zacieraając się dźwignię 10, którą łączy łącznika suwaka kombinatora, sprawdza się po raz pierwszy ać się, czy widelki dźwigni nie daniu do siebie odchyłek liniowic, że w skrajnym dolnym połowirnika), szczelina pomiędzy kanała, co może doprowadzić do

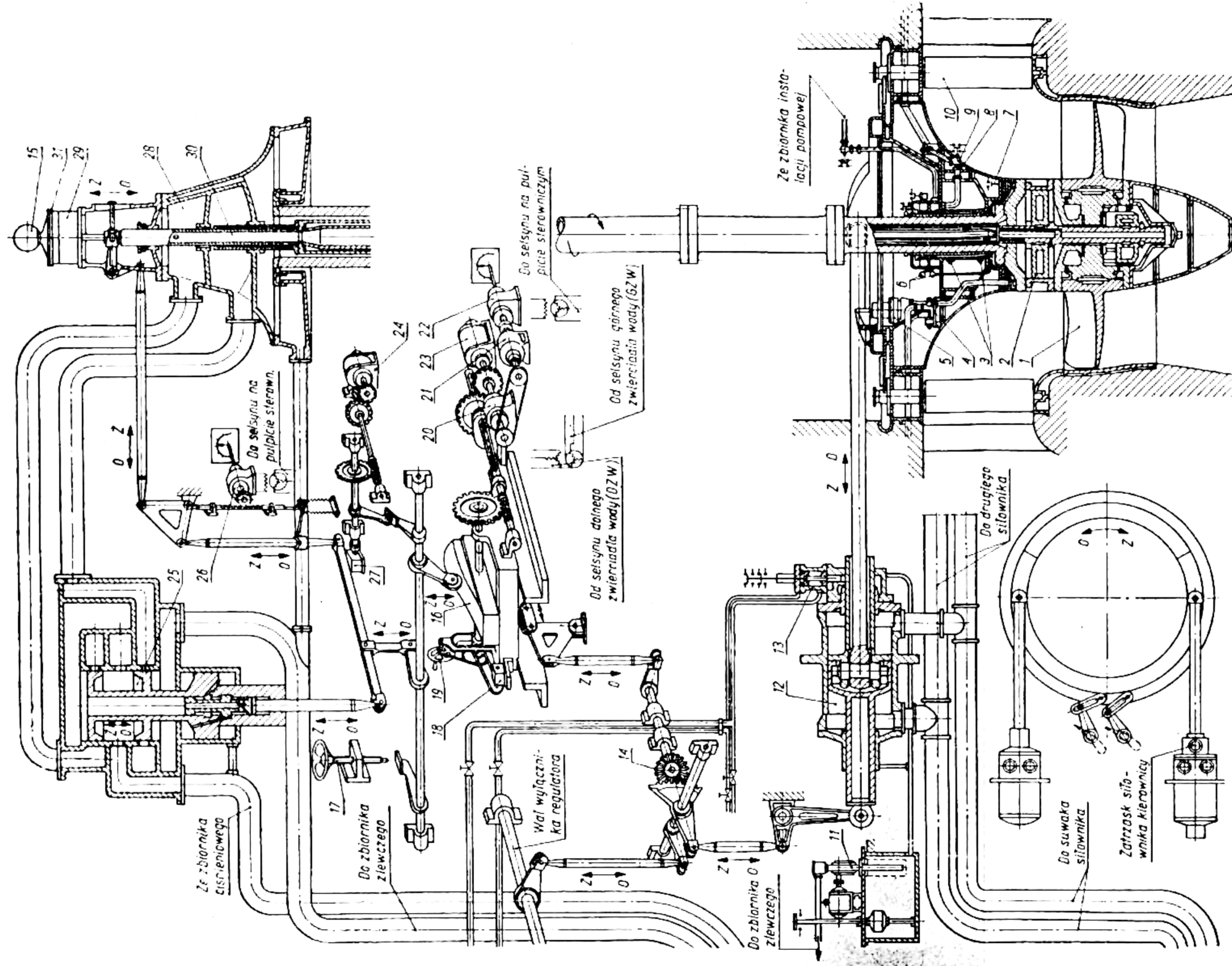
ta dostarczana jest w stanie e z wyjęciem twornika jest nieirnią. Prądnicę ustawia się na raz poziomo według kierownicy a łatwo wchodził w otwór znajdustawieniem prądnicę usuwa uje się takie jej położenie, przy awiany otwór oraz w zatoczenie stosowania bocznych nacisków. ustala jego położenie za pomocą twornikiem i sprawdza wielkość lina pomiędzy wpustką i ścianką

kładnia ta pod względem konjako przekładnia sztywne, giętka inowana.

trzone są w przekładnię (odwoz z wałem odwodzącym, znajduony Kaplana mają ponadto prze-krzywką (klinem) kombinatora zasilaczem olejowym.

ym, zgodnym z rysunkami usta- , które zazwyczaj przymocowuje ych oraz na sprzęgnięciu z od- otów przekładni.

a mają być ustawione wsporniki, osie X oraz Y, zaś rzędne (wyr- ra. Płyty fundamentowe należy tej przekładni. Ostateczne usta- i betonu, przy tym przekładnia erania. Długości cięgien wyregu-



Rys. 134. Schemat kombinatora turbiny Kaplana: 1 — wirnik; 2 — serwo motor wirnika; 3 — termometry elektryczne; 4 — pompa odwadniająca samozasysająca; 5 — zawór napowietrzający; 6 — manometry; 7 — nadajnik (przełącznik) pływakowy poziomy wody; 8 — wodomierz zapisujący; 9 — przełącznik strumieniowy; 10 — lopatka kierownicza; 11 — pompa przeciekowa olejowa; 12 — serwo motor kierownicy; 13 — zatrząsk serwomotoru kierownicy; 14 — układ przekładni; 15 — pompa sygnalizacyjna; 16 — krzywka kombinatora; 17 — kółko do ręcznego otwierania łopatek wirnika przez uruchomienie suwaka jego siłownika; 18 — wyłącznik końcowy siłownika; 19 — kółko do ręcznego przesuwania krzywki; 20 — sejsyn różniczkowy; 21 — przekładnia redukcyjna wskaźnika położenia krzywki; 22 — sejsyn odbiorczy położenia krzywki; 23 — siłnik do poprzecznego przesuwania krzywki; 24 — siłnik elektryczny mechanizmu rozruchowego; 25 — suwak serwomotoru wirnika; 26 — sejsyn odbiorczy otwarcia łopatek; 27 — wyłącznik końcowy siłnika elektrycznego; 28 — zasilacz olejowy; 29 — prądnicza napędzająca silnik regulatora odśrodkowego; 30 — drąg serwomotoru wirnika; 31 — wyłącznik (bezpiecznik) odśrodkowy.

skrzynki kombinatora. Rury te dostarczane są przez wytwórnę w postaci wmontowanej.

Sposoby oraz metody dopasowywania rur, ich łączenia, spawania oraz próbowania podano w § 17. Na rys. 124, 130 i 134 pokazano schematy rurociągów układu regulacyjnego.

Kontrola mechanizmów układu regulacyjnego. Zakres kontroli mechanizmów układu regulacyjnego na miejscu montażu uwarunkowany jest ich stanem, który określamy na podstawie oględzin zewnętrznych.

Mechanizmy odpowiedzialne, niezależnie od stanu w jakim się znajdują, powinny być bezwarunkowo poddane kontroli. W tabelicy 20 podano wykaz tych mechanizmów i opisano charakter czynności związanych z kontrolą. Wyniki oględzin zewnętrznych oraz stan części mechanizmów odpowiedzialnych badanych wewnątrz dają w sposób pośredni możliwość stwierdzenia, czy konieczna jest kontrola mechanizmów pozostałych.

Na przykład w razie ujawnienia śladów rdzy, brudu, częściowo stopionych warstw ochronnych oraz innych defektów, należy skontrolować szereg innych mechanizmów, których wykaz ustala na miejscu kierownictwo montażu. Zakres robót przy kontroli mechanizmów dodatkowych sprowadza się zazwyczaj do ich rozbiórki, oczyszczenia (przy użyciu czystych, niewłochatych szmat), do posmarowania olejem turbinowym oraz do ponownego złożenia. Szczególnie starannie należy przy tym oczyścić kanaliki oraz drobne otwory łączące z sobą poszczególne przestrzenie.

Zaleca się, aby zespół olejowy ciśnieniowy, skrzynkę sterowniczą i skrzynkę kombinatora poddać kontroli dopiero po zainstalowaniu ich na miejscu i po zabetonowaniu.

Ze względu na to, że kontrola mechanizmów oraz montaż układu regulacyjnego odbywają się zazwyczaj jednocześnie z robotami budowlanymi a zatem w warunkach budowy, miejsce na którym przeprowadza się prace kontrolne należy prowizorycznie osłonić za pomocą przepierzeń ochraniających mechanizmy przed zanieczyszczeniem i uszkodzeniem.

Przed napełnieniem olejem układu regulacyjnego należy przeprowadzić kontrolne staranne oczyszczenie dostępnych części (zbiornika zlewczego zespołu olejowego, skrzynki sterowniczej skrzynki kombinatora, zasilacza olejowego itp).

Po wykonaniu wszystkich opisanych wyżej prac specjalna komisja przeprowadza przegląd i sporządza akt o gotowości układu regulacyjnego do napełnienia go olejem.

Rozdział IX

NIEKTÓRE ZAGADNIENIA MONTAŻOWE TURBIN WODNYCH

§ 37. CZAS TRWANIA ORAZ PRACOCHOŁONNOŚĆ MONTAŻU TURBIN WODNYCH

Terminy montażu oraz uruchomienia turbozespołów wodnych zależą od szeregu czynników i uwarunkowane są terminowym realizowaniem robót przygotowawczych, wyposażeniem w środki produkcyjne, organizacją robót, warunkami montażowymi, ilością i kwalifikacjami robotników, współczynnikiem zmienności robót, ich mechanizacją, stopniem koordynacji robót budowlanych, wreszcie jakością dostarczanych instalacji.

W ostatnich latach radzieckie budownictwo turbin wodnych osiągnęło duże sukcesy w dziedzinie skrócenia czasu i pracochłonności montażu. W 1950 r. czas trwania montażu turbozespołów wodnych w ZSRR został skrócony o około 25% w porównaniu z rokiem 1940, zaś pracochłonność zmniejszyła się jeszcze bardziej.

Analiza poszczególnych elementów prac montażowych wykazała, że skrócenie czasu montażu osiągnięto głównie na skutek przyspieszenia montażu roboczych mechanizmów turbiny oraz prac rozruchowo-regulacyjnych, podczas gdy czas montażu części fundamentowych uległ tylko nieznacznemu skróceniu. Świadczy to o niedostatecznym w szeregu przypadków przygotowaniu montażu w jego początkowej fazie, na co należy zwrócić więcej uwagi.

Głównymi czynnikami sprzyjającymi skróceniu czasu oraz pracochłonności montażu są: udoskonalenie technologicznej strony konstrukcji, wprowadzenie dużej ilości urządzeń montażowych mechanizujących pracę monterów, zastosowanie doskonalszych metod montażu, podniesienie technicznego poziomu personelu, wyspecjalizowanie robotników oraz postęp w organizacji robót montażowych.

1. Warunki montażu

Warunki w których odbywa się montaż decydują o jego charakterze. Stosownie do tych warunków można rozróżnić:

a) montaż urządzeń w budynku elektrowni wodnej ukończonym w stanie surowym;

- b) montaż urządzeń przeprowadzany jednocześnie z budową budynku elektrowni wodnej;
 c) montaż urządzeń w czasie którego elektrownia wodna jest częściowo czynna.

O ile przy przystępowaniu do montowania turbiny (w tej liczbie części fundamentowych) budynek elektrowni wodnej jest ukończony w stanie surowym oraz czynne są suwnice, to czynniki te sprzyjają przeprowadzeniu prac montażowych w krótkich terminach przy najmniejszych stratach, ale jednocześnie w sposób istotny przedłużają czas trwania ogólnego cyklu robót przy budowie elektrowni wodnej, a to z powodu zachodzącej wówczas kolejności wykonywania robót budowlanych i montażowych, co dla budownictwa na ogół jest nierentowne.

W celu możliwie największego skrócenia czasu tak poszczególnych prac budowlano-montażowych, jak i dotyczących całego zespołu budowlanego, najracjonalniej jest montować instalacje równoległe ze wznoszeniem budynku elektrowni wodnej (w granicach możliwości technicznych).

Połączenie prac budowlanych i montażowych nabiera szczególnie aktualnego znaczenia dla elektrowni wodnych wyposażonych w wielką ilość turbozespołów (patrz § 41).

Warunki panujące w elektrowni wodnej częściowo czynnej, nieco ograniczają rozmach robót montażowych. Ograniczenia sprowadzają się do minimum, jeżeli pomiędzy montowanym turbozespołem i placem montażowym nie ma czynnych turbozespołów. Z tego powodu pożądane jest, aby montowanie i uruchamianie turbozespołów odbywało się kolejno, poczynając od strony przeciwległej względem placu montażowego.

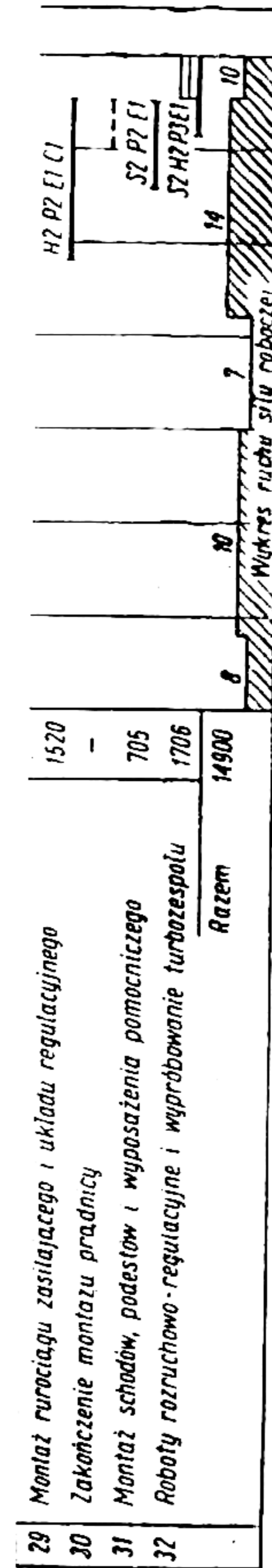
2. Harmonogram prac montażowych

Przed rozpoczęciem robót organizacja zajmująca się montażem powinna opracować jego technologiczny przebieg z uwzględnieniem przeprowadzanych operacji, rodzaju i czasu trwania robót oraz potrzebnej ilości robotników danych specjalności. Pożądane jest aby zestawienie technologicznego przebiegu montażu posiadało formę tablicy 43.

Tablica 43

Plan przebiegu montażu

Lp.	Nr rysunku	Operacja	Nazwa robót	Ilość robotników	Rodzaj czynności	Norma czasowa godz	Narzędzia i urządzenia specjalne



Rys. 135. Harmonogram montażu turbiny Francisza zaopatrzonej w średnicę 3000 mm. Srednica wirnika 3000 mm.

posługujemy się: ącej turbinę, ry- montażu turbin ie takiego tech- a, uzasadnionego alenia potrzebnej is montażu, har- ieniu równoleg- nicach możliwości ych robotników, atkowej, dużej,

montażu turbin

ątek robót przy- umentowego, na- adzina taka jest entu pod części al uwzględniony

ątek robót przy- , natomiast czas raz czas potrzeb- oża prądnicy nie

mi montażu tur- minów montażu o całości, na har- esunięte terminy znaczone liniami

a harmonogramy ch; należy wyko-

robotycznych, ; harmonogramu),

i przez całą dobę, ntażu.

ywane są przez pla- nontaż".

b) montaż urządzeń przeprowadzany jednocześnie z budową budynku elektrowni wodnej;

c) montaż urządzeń w czasie którego elektrownia wodna jest częściowo czynna.

O ile przy przystępowaniu do montowania turbiny (w tej liczbie części fundamentowych) budynek elektrowni wodnej jest ukończony w stanie surowym oraz czynne są suwnice, to czynniki te sprzyjają przeprowadzeniu prac montażowych w krótkich terminach przy najmniejszych stratach, ale jednocześnie w sposób istotny przedłużają czas trwania ogólnego cyklu robót przy budowie elektrowni wodnej, a to z powodu zachodzącej wówczas kolejności wykonywania robót budowlanych i montażowych, co dla budownictwa na ogół jest nierentowne.

W celu możliwie największego skrócenia czasu tak poszczególnych prac budowlano-montażowych, jak i dotyczących całego zespołu budowlanego, najracjonalniej jest montować instalacje równolegle ze wznoszeniem budynku elektrowni wodnej (w granicach możliwości technicznych).

Połączenie prac budowlanych i montażowych nabiera szczególnie aktualnego znaczenia dla elektrowni wodnych wyposażonych w wielką ilość turbozespołów (patrz § 41).

Warunki panujące w elektrowni wodnej częściowo czynnej, nieco ograniczają rozmach robót montażowych. Ograniczenia sprowadzają się do minimum, jeżeli pomiędzy montowanym turbozespołem i placem montażowym nie ma czynnych turbozespołów. Z tego powodu pożądane jest, aby montowanie i uruchamianie turbozespołów odbywało się kolejno, poczynając od strony przeciwległej względem placu montażowego.

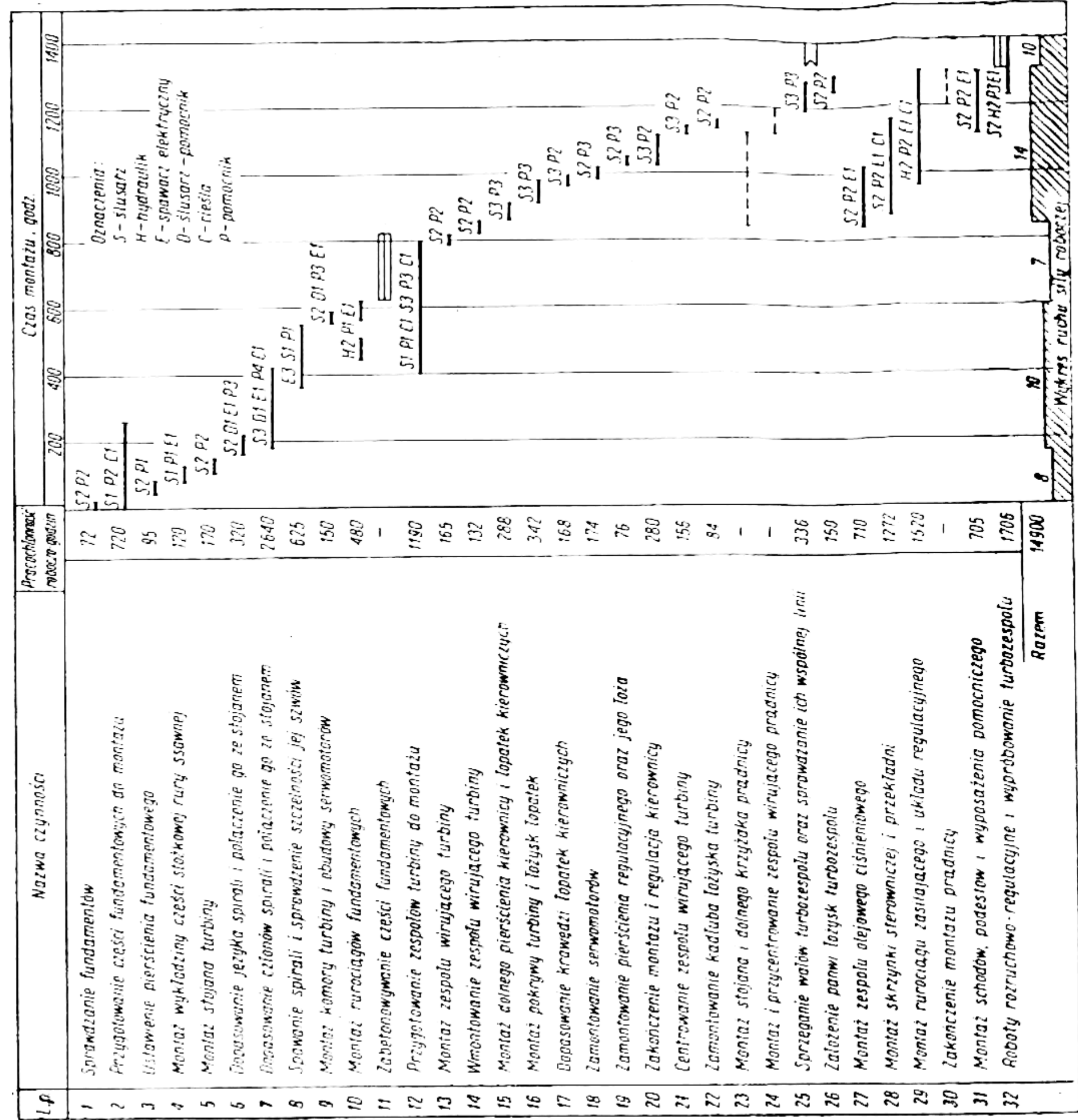
2. Harmonogram prac montażowych

Przed rozpoczęciem robót organizacja zajmująca się montażem powinna opracować jego technologiczny przebieg z uwzględnieniem przeprowadzanych operacji, rodzaju i czasu trwania robót oraz potrzebnej ilości robotników danych specjalności. Pożądane jest aby zestawienie technologicznego przebiegu montażu posiadało formę tablicy 43.

Plan przebiegu montażu

Lp.	Nr rysunku	Operacja	Nazwa robót	Ilość robotników	Rodzaj czynności	Norma czasowa godz.	Narzędzia i urządzenia specjalne

Tablica 43



Rys. 135. Harmonogram montażu turbiny Francisza wyposażonej w średnicę łanu. Średnica wirnika 3000 mm.

Przy opracowywaniu technologicznego przebiegu montażu posługujemy się: rysunkami technicznymi, warunkami wytwórni dostarczającej turbinę, rysunkami budowlanymi, podręcznikami norm dotyczących montażu turbin wodnych¹⁾ oraz danymi warunkami montażu. Przygotowanie takiego technologicznego przebiegu montażu daje możliwość opracowania, uzasadnionego pod względem technicznym harmonogramu montażu i ustalenia potrzebnej ilości sił roboczych. Aby uzyskać możliwie najkrótszy czas montażu, harmonogram powinien być zaprojektowany przy uwzględnieniu równoległego (jednoczesnego) wykonywania szeregu operacji w garnicach możliwości technologicznych, lecz bez silnych wahań ilości potrzebnych robotników, ponieważ doangażowanie na krótkie okresy czasu dodatkowej, dużej, nowej ich ilości nie daje odpowiedniego wyniku.

Na rys. 135 i 136 pokazano wzorcowe harmonogramy montażu turbin opracowane na podstawie technologicznych procesów.

Na harmonogramie montażu turbiny Francisa jako początek robót przyjęto chwilę przygotowania do montażu pierścienia fundamentowego, natomiast ponieważ wykładzinę rury ssawnej (o ile wykładzina taka jest przewidziana) montuje się podczas wznoszenia fundamentu pod części fundamentowe, więc z tego powodu montaż jej nie został uwzględniony przy sporządzaniu harmonogramu.

Na harmonogramie montażu turbiny Kaplana, jako początek robót przyjęto chwilę przygotowania do montażu komory wirnika, natomiast czas potrzebny na montaż słupów spirali i zaworu spustowego oraz czas potrzebny na podciągnięcie bloku turbiny (fundamentu) aż do łoża prądnicy nie jest uwzględniony w harmonogramie.

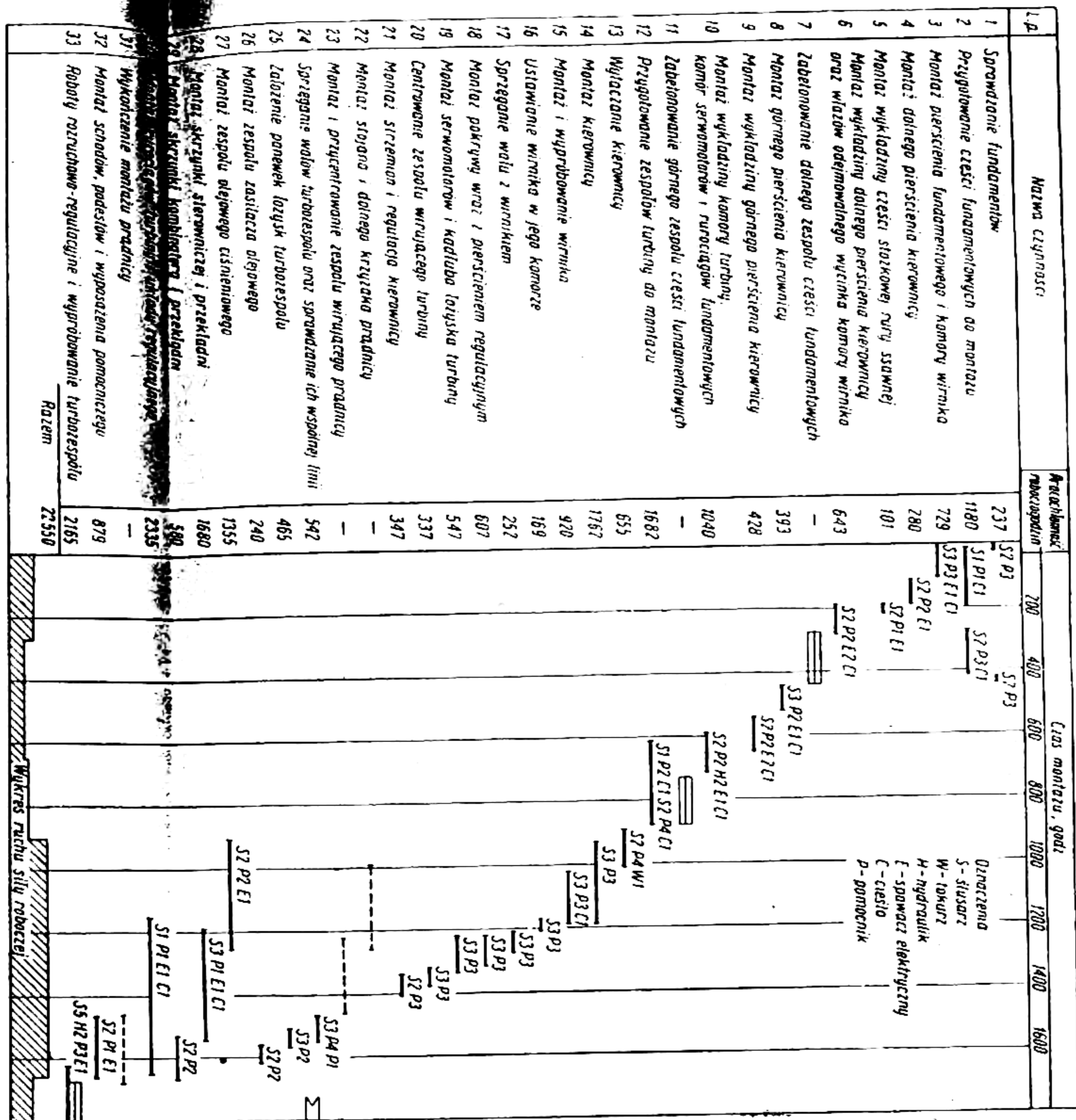
Początek montażu prądnicy uwarunkowany jest terminami montażu turbiny, zaś końcowy etap montażu turbiny zależy od terminów montażu prądnicy. W celu uzgodnienia robót przy turbozespołe jako całości, na harmonogramie montażu turbiny zaznacza się kontrolne przesunięte terminy montażu prądnicy. Terminy te w danym przypadku zaznaczono liniami przerywanymi.

Czas potrzebny do wykonania danych robót nanosi się na harmonogramy w godzinach. Aby wyznaczyć ten czas w dniach roboczych, należy wykonać odpowiednie przeliczenie na podstawie wzoru

$$A = \frac{1}{C} \left(\frac{B - b}{D} + b \right)$$

gdzie: A — czas wykonywania robót mierzony w dniach roboczych,
 B — czas wykonywania robót w godzinach (według harmonogramu),
 C — długość dnia roboczego w godzinach,
 D — współczynnik zmienności robót,
 b — ogólny czas wykonywania robót realizowanych przez całą dobę, niezależnie od współczynnika zmienności montażu.

¹⁾ Zbiory norm dotyczących montażu turbin wodnych opracowywane są przez placówkę taryfowo-normową CNiIB przy truście „Specgigroenergmontaż”.



Rys. 136. Harmonogram montażu turbiny Kaplana zaopatrzonej w spiralę betonową. Średnica wirnika 8000 mm.

Do robót wykonywanych przez całą dobę, niezależnie od zmienności należą: betonowanie i pielęgnacja betonu, suszenie prądnicy oraz z reguły regulacja mechanizmów i badania turbozespołu pod obciążeniem. Na harmonogramie roboty takie zaznaczono przez trzy linie równoległe.

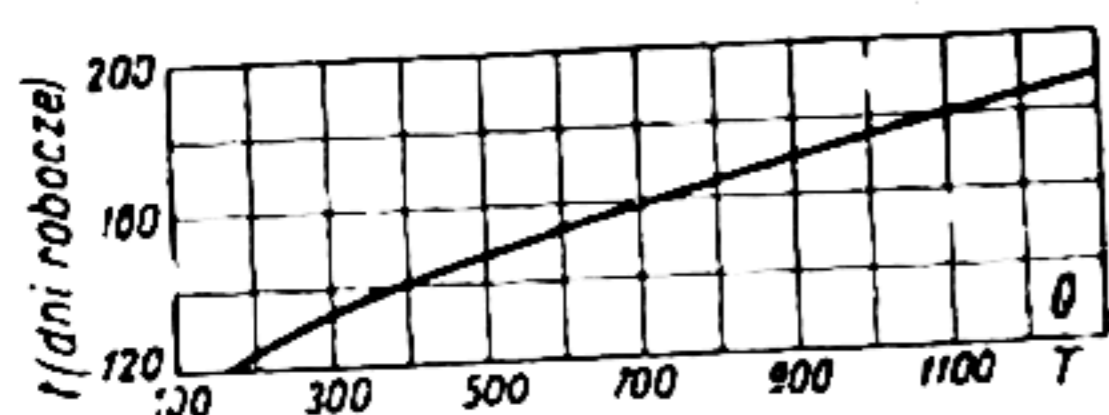
Jako przykład obliczymy czas potrzebny do zmontowania turbozespołu (w dniach roboczych) przy wartości współczynnika zmienności $D = 1,5$ i czasie zmiany (długości dnia roboczego) $C = 8$ godzin.

Na podstawie harmonogramu (rys. 135), z którego wynika, że $B = 1400$ godzin, zaś $b = 200 + 96 = 296$ godzin, znajdujemy

$$A = \frac{1}{8} \left(\frac{1400 - 296}{1,5} + 296 \right) = 129 \text{ dni roboczych}$$

W warunkach spotykanych w praktyce długość czasu montażu waha się znacznie. Jednak analiza wielkiej ilości wykonanych instalacji w zestawieniu z harmonogramami dała możliwość sporządzenia orientacyjnej tablicy długości czasów montowania różnych turbin wodnych (z uwzględnieniem czasu montażu prądnicy), w oparciu o założenie, że roboty przeprowadzane są przy użyciu dźwigów elektrowni wodnej.

W tablicy 44 czas montażu zredukowany jest do współczynnika zmienności $D = 1,5$ biorąc pod uwagę, że montaż turbin wodnych odbywa się zazwyczaj przy wartości tego współczynnika nie niższej od wyżej podanej.



Rys. 137. Zależność pomiędzy czasem t (w dniach roboczych) montażu turbiny i jej ciężarem G (w tonach) przy współczynniku zmienności $D = 1,5$.

Czas trwania montażu przy jednakowych pozostałych warunkach zależy w znacznym stopniu od ciężaru urządzeń turbinowych i charakteryzuje go krzywa pokazana na rys. 137. W tym przypadku czas ten również jest zredukowany do współczynnika zmienności $D = 1,5$.

Nieprzerwany postęp techniczny w dziedzinie montażu instalacji turbinowych sprzyja systematycznemu skracaniu czasu tego montażu. Z tego powodu dane zawarte w tabl. 44 a unacznione za pomocą krzywej (rys. 137) można rozpatrywać jako charakterystykę postępu osiągniętego na danym etapie.

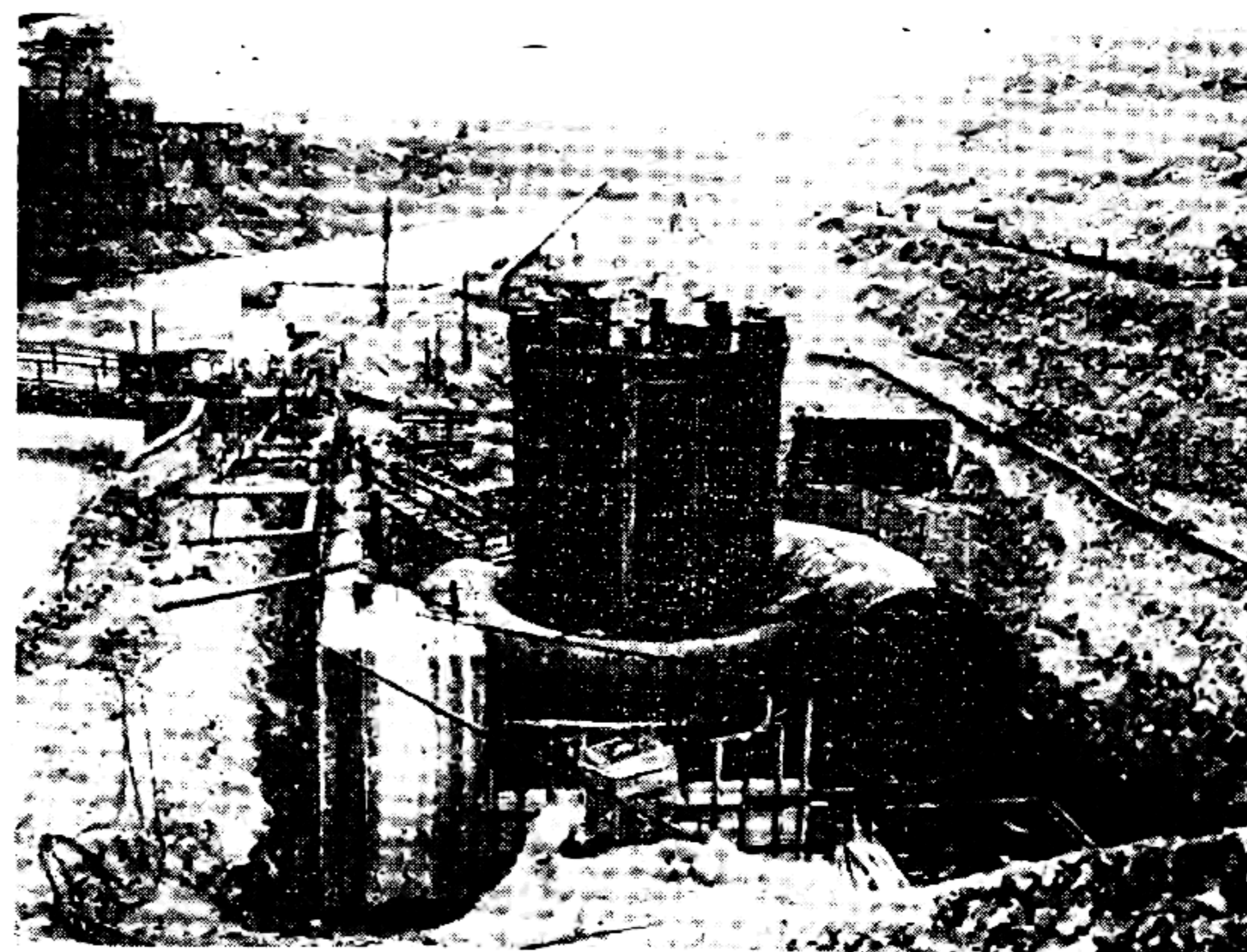
Należy zauważyć, że podana w harmonogramach technologiczna kolejność montażu poszczególnych zespołów turbin w szeregu przypadków ulega zmianom odpowiednio do warunków budowy, rozporządzalnego wyposażenia, środków dźwignicowo-transportowych itd. W takich przypadkach przyjmuje się ten wariant kolejności wykonywania robót montażowych, który najlepiej odpowiada danym warunkom. Wariant ten może różnić się zasadniczo od przytoczonego.

Jako przykład możemy wskazać tutaj montaż turbiny Kaplana o średnicy wirnika 3,87 m, zaopatrzonej w spiralę spawaną z żeliwnymi ew. stalowymi lub stalowymi słupami podprądnicowymi. Stosownie do przesłanek

Tablica 44
Orientacyjny czas montażu turbin wodnych przy współczynniku zmienności $D = 1,5$ (bez uwzględnienia montażu słupów spiral zasilających i wykładzin rur ssawnych)

Typ turbiny	Średnica wirnika m	Ciężar ogólny T	Czas, montażu dni robocze		
			Części fundamentowych	Turbiny i wyposażenia pomocniczego	Razem
1. Franciszka					
Spirala lana wraz z zaworem i upustem jałowym	2,1	240	60	66	126
Spirala spawana	3,0	240	65	63	128
" "	5,6	636	82	73	155
2. Kaplana					
Spirala betonowa	3,6	193	56	66	122
" spawana ze stojanem	3,87	290	68	66	134
" betonowa	5,0	362	65	75	140
" " *)	8,0	946	84	86	170
" " *)	9,0	1288	94	96	190

*) Czas potrzebny do zmontowania turbiny podano w założeniu, że kierownicę wytacza się na miejscu montażu, co zazwyczaj jest praktykowane.



Rys. 138. Montaż części fundamentowych turbiny Kaplana zaopatrzonej w spiralę spawaną oraz w metalowe podparcie prądnicy

technologicznych zaprojektowano zmontowanie pierścienia fundamentowego, stojana, komory wirnika oraz ich zabetonowanie, następnie zmontowanie spirali i jej zabetonowanie, po czym miano zmontować łoża prądnicy, wykładzinę komory turbiny i wykonać cały żelbetonowy blok turbinowy. W rzeczywistości części fundamentowe zmontowano bez pośredniego betonowania, tak jak to wynika z rys. 138. W celu zapewnienia większej sztywności i stateczności zaopatrzone urządzenie w dodatkowe podpory i rozpory.

3. Pracochność robót montażowych

Należyte przygotowanie montażu wymaga znajomości pracochności poszczególnych robót. Dane te wynikają z technologicznego procesu montażu oraz z podręczników norm. W tabelicy 45 podano je dla pewnych typów i wielkości turbin.

Tablica 45
Pracochność montażu turbin wodnych bez uwzględnienia montażu wykładzin rur ssawnych. Dane orientacyjne

Typ turbiny	Rodzaj spirali zasilającej	Średnica wirnika m	Ogólny ciężar urządzenia T	Rodzaj robót w godz.					Razem
				Ślusarskie	Hydrauliczne	Spawalnicze	Ciecielskie	Dźwigowo-transportowe	
Francisa (wraz z zasuwą)	lana	1,25	96	8234	1008	224	209	375	10050
Francisa	spawana	3,0	240	14018	1650	877	462	683	17690
"	"	5,4	636	20395	1980	1810	662	1193	26040
Kaplana	betonowa	3,6	193	16130	1820	797	484	839	20070
"	"	8,0	946	25370	2695	1420	895	1830	32800
"	"	9,0	1288	27680	3100	1690	1100	2330	35900
Peltona, (pionowa wraz z zasuwą)	—	1,95	119	8395	850	220	215	420	10100

Przytoczone dane odpowiadają normalnym warunkom montażu, tj. uwzględniają, że budowa wyposażona jest w dźwigi o odpowiednim udźwigu, w plac montażowy, urządzenia montażowe, materiały, potrzebne ruro-

ciągi powietrza sprężonego, sieć elektryczną i sieć wodociągową, zaś stanowiska robocze oraz całość robót są normalnie zorganizowane.

W danych zawartych w tabelicy wzięto pod uwagę wszelkiego rodzaju roboty ślusarskie, hydrauliczne, kotlarskie oraz spawalnicze: łukowe i gazowe. Roboty ciecielskie uwzględniają tylko czynności dotyczące rozpakowywania skrzyń z urządzeniami, budowę drobnych prowizorycznych rusztowań, pomostów i stalug; natomiast wielkie podobne roboty oraz inne budowlane wykonywane są z reguły przez organizację budowlaną i nie włączono ich do danych dotyczących pracochności.

W pracochności robót dźwigowo-transportowych (takielazowych) uwzględniono wszystkie operacje dźwigowo-transportowe przy montowaniu turbin wodnych wykonywane za pomocą suwnic w granicach strefy montażowej. Inne roboty dźwigowo-transportowe dotyczące wyładunku i składowania urządzeń oraz dostawy tych urządzeń na plac montażowy nie zostały uwzględnione w tabelicy i zazwyczaj są wykonywane przez przedsiębiorstwo budowlane. Roboty trudne do normowania (roboty dotyczące naprawy narzędzi i wyposażenia montażowego, dyżury elektromonterów i obsługi sprężarek) nie są ujęte w przytoczonych danych.

Podczas montażu zachodzi konieczność wykonania robót nieprzewidzianych w jego przebiegu technologicznym. Do robót tych należą: poprawki części, które uległy deformacji wskutek małej sztywności; usunięcie dostrzeżonych drobnych błędów instalacji, sporządzenie tych oddzielnych części i urządzeń, które okażą się niezbędne w trakcie montażu itd. Wszystkie te nieuwzględnione roboty stanowią zazwyczaj od 10 do 15% ogólnej ilości godzin i zostały włączone do tabl. 45.

Stały wzrost wydajności pracy sprzyja obniżeniu pracochności robót montażowych i z tego względu przytoczone dane są jedynie danymi orientacyjnymi dla projektowania robót montażowych; dane te powinny ulegać ściślejszemu sprecyzowaniu w przypadku każdego indywidualnego obiektu.

§ 38. DOPUSZCZALNE ODCHYLEKI PRZY MONTAŻU TURBIN WODNYCH

Jednym z głównych czynników wpływających na jakość montażu jest dokładność ustawienia poszczególnych części turbiny wodnej. Stopień dokładności zakłada się w zależności od przeznaczenia i wzajemnego związku oraz wzajemnego oddziaływania urządzenia wodno-turbinowego, biorąc pod uwagę aby możliwe odchyłki nie przekraczały granic dopuszczalnych w danej konstrukcji. Wymagana dokładność montażu pewnych części i zespołów uwarunkowana jest tolerancjami wskazanymi na rysunkach oraz technicznymi warunkami wytwórni dostarczającej turbinę. Jednak znaczna ilość operacji przy montażu odpowiedzialnych elementów nie posiada umówionych dopuszczalnych odchyłek; odchyłki te przyjmuje się zazwyczaj według doświadczenia lub teoretycznie, co niekiedy doprowadza do obniżenia ja-

Tolerancje montażowe turbin Fracisa

kości montażu, a zatem również do pogorszenia eksploatacyjnych własności turbozespołu.

W związku z tym wskazane jest posługiwanie się przy montażu wytycznymi dopuszczalnych odchyłek, które zapewniają właściwą dokładność ustawienia elementów turbiny. Wytyczne te opracowane przez autora, ułożone są zgodnie z technicznymi wymaganiami konstrukcji i przy uwzględnieniu doświadczeń wpływających z montażu oraz z eksploatacji dużej ilości turbin wodnych. Odrzucono przy tym nieuzasadnione obostrzenia odchyłek mogące doprowadzić do podrożenia robót lub do przedłużenia cyklu montażu.

Wytyczne odchyłek montażowych dotyczą turbin Francisa o średnicach wirników 2; 3; 4,1 oraz 5,5 m (tabl. 46) oraz turbin Kaplana o średnicach wirników 3; 5; 7,2 i 9 m (tabl. 47), przy czym wartości tych odchyłek podane w tablicach są dopuszczalnymi wartościami granicznymi. Dla turbin pośrednich wielkości, wartości dopuszczalnych odchyłek należy interpolować.

W tablicy 48 podane są dopuszczalne odchyłki przy centrowaniu zespołów wirujących turbozespołów niezależnie od typów i wymiarów turbin wodnych.

Przy montowaniu części fundamentowych przyjęto takie dopuszczalne odchyłki, aby rzeczywiste zarysy elementów przepływowych turbiny (spirala zasilająca, rura ssawna itd.) nie powodowały obniżenia jej hydraulicznych własności. O ile chodzi o elementy nośne części fundamentowych (pierścieni fundamentowy, stojan, wykładziny komór serwomotorów (siłowników) itp), to tolerancje przyjęto w granicach odchyłek uwarunkowanych konstrukcją roboczych mechanizmów turbiny przy ich późniejszym montażu.

Tolerancje dokładności wykonania złącz stykowych elementów nośnych gwarantują ich szczelność, przy której wyłączona jest możliwość przenikania wody poprzez te złącza.

Odchyłki stosowane przy montażu kierownicy przyjęto biorąc pod uwagę wymaganą szczelność kierownicy w stanie zamkniętym oraz łatwość jej poruszania.

Tolerancje stosowane przy montowaniu zespołów wirujących turbin opracowano na podstawie danych doświadczalnych, dotyczących pracy turbozespołów bez drgań oraz niezawodnej eksploatacji łożysk.

W tablicach dopuszczalnych odchyłek podano również pewne wskazówki co do metod pomiarów. Jednak metody te mogą być zmienione, jeżeli konstrukcja lub warunki wykonawcze nie pozwalają na ich realizację lub utrudniają je.

Wartości dopuszczalnych odchyłek stosowane przy montowaniu układu regulacyjnego oraz przy wyregulowywaniu poszczególnych mechanizmów podano w odpowiednich rozdziałach.

Wszystkie wskazane tutaj tolerancje montażowe znajdują zastosowanie przy najbardziej rozpowszechnionych konstrukcjach turbin wodnych.

Przy poszczególnych zespołach lub całych turbinach różniących się pod względem konstrukcyjnym podane tolerancje montażowe mogą stanowić dane orientacyjne.

Rodzaj	Średnica wirnika m				Sposób pomiaru oraz narzędzia pomiarowe
	2	3	4,1	5,5	
	Odchyłki mm				
1	2	3	4	5	6
1. Wykładzina rury ssawnej (rys. 47)					
Owalizacja gardzeli wykładziny mierzona na średnicy	8	10	12	14	Za pomocą miarki taśmowej mierzy się odległość wykładziny od pionu opuszczonego z punktu przecięcia osi X i Y
Przesunięcie osi gardzeli względem pionowej osi fundamentu turbozespołu (pionową oś fundamentu turbozespołu ustala się za pomocą pionu opuszczonego z punktu przecięcia poziomych osi fundamentu X oraz Y)	5	5	8	10	Pomiar jak wyżej
Przesunięcie (pionowe) rzędnej wlotowej krawędzi gardzeli względem rzędnej projektowanej	+10	+15	+15	+20	Za pomocą niwelatora względem punktu stałego (reperu)
Odległość w rzucie poziomym wlotowej części wykładziny od osi Y turbozespołu	±30	±40	±60	±60	Za pomocą miarki taśmowej mierzy się odległości od pionów opuszczonych ze struny wyznaczającej oś Y
2. Pierścień fundamentowy (rys. 48, część 1)					
Owalizacja pierścienia fundamentowego	0,3	0,5	0,8	1	Średnicówką po średnicy wytoczenia lub od wytoczenia do linii pionu
Przesunięcie osi wytoczenia względem pionowej osi fundamentu turbozespołu lub względem osi zmontowanej wykładziny rury ssawnej (o ile rura jest wyposażona w wykładzinę)	3	3	4	4	Za pomocą średnicówki od wytoczenia do linii pionu opuszczonego z punktu przecięcia osi X oraz Y
Przesunięcie osi X i Y wytrasowanych na pierścieniu, względem odpowiednich osi fundamentu	±1	±2	±3	±3	Mierzy się odległość od linii pionu opuszczonego ze strun wyznaczających osie X oraz Y do rys wytrasowanych na pierścieniu, również wyznaczających osie

Tablica 46 (cd.)

1	2	3	4	5	6
Odchylenie od poziomu górnej powierzchni pierścienia	0,2	0,3	0,4	0,4	Za pomocą niwelatora lub przy użyciu metody naczyń połączonych (rys. 82)
Odchylenie od projektowanej rzędnej (wysokości)	±1	±1	±2	±2	Za pomocą niwelatora i względem punktu stałego
3. Część stożkowa wykładziny rury ssawnej (rys. 48, część 7)					
Przesunięcie krawędzi części stożkowej wykładziny względem przylegającej do niej krawędzi pierścienia fundamentowego	±2	±3	±3	±4	Za pomocą liniału przyłożonego do złącza oraz miarki lub szczelinomierza
Przesunięcie krawędzi części stożkowej wykładziny względem przylegającej do niej krawędzi pozostałej części wykładziny	±3	±4	±4	±5	Jak wyżej
4. Stojan turbiny (rys. 51, część 1)					
Owalizacja wewnętrznych występów centrujących	0,3	0,5	0,8	1	Za pomocą średnicówki po średnicy wytoczenia lub od wytoczenia do linii pionu
Przesunięcie osi wytoczenia stojana względem osi pierścienia fundamentowego	1	1	1,5	2	Za pomocą średnicówki od wytoczenia do linii pionu przy uwzględnieniu odchyłek pierścienia fundamentowego
Przesunięcie osi X i Y wytrasowanych na stojanie względem odpowiednich osi pierścienia fundamentowego	±1	±1	±2	±2	Od linii pionu opuszczonego ze strun wyznaczających osie X oraz Y fundamentu, do rys znajdujących się na stojanie, przy uwzględnieniu odchyłek pierścienia fundamentowego
Odchylenie od poziomu górnego kołnierza stojana	0,2	0,3	0,4	0,4	Za pomocą niwelatora lub przy użyciu metody naczyń połączonych (rys. 82)
Odchylenie od projektowanej rzędnej wysokości	±2	±2	±3	±3	Za pomocą niwelatora i względem punktu stałego

Tablica 46 (cd.)

1	2	3	4	5	6
5. Spirala zasilająca spawana (rys. 51, część 2)					
Grubość szczeliny pomiędzy członami spirali i kołnierzem stojana, przed spawaniem (miejscowo)	1,5	1,5	1,5	1,5	Za pomocą szczelinomierza
To samo lecz przed nitowaniem	0,2	0,2	0,2	0,2	Jak wyżej
Szerokość szczeliny pomiędzy poszczególnymi członami spirali (szerokość ta normalnie powinna wynosić 2 mm; dopuszczalne jest jej powiększenie na długości do 25% długości szwu)	+5	+5	+5	+5	Za pomocą szczelinomierza
Wzajemne przesunięcie krawędzi łączonych z sobą członów	0,15 grubości blachy				Za pomocą liniału przyłożonego do złącza
Odchylenie geometrycznych środków członów od środkowej (poziomej) płaszczyzny stojana	±√h, gdzie h – wysokość członu mm				Za pomocą niwelatora (patrz wymiar g na rys. 55)
Owalizacja przekrojów członów	± 0,01 średnicy danego członu				Za pomocą miarki taśmowej mierzy się wzdłuż promienia odległość pomiędzy geometrycznym środkiem członu i jego ściankami
Długość promienia R, tj. odległość od środka stojana do najbardziej oddalonego punktu członu, mierzona w środkowej płaszczyźnie stojana	± 0,005 R				Za pomocą miarki taśmowej
Promienie członów (zowalizowanych)	± 0,01 promienia				Za pomocą miarki taśmowej
6. Komory (wykładziny) siłowników (rys. 51, część 15)					
Wysokość położenia osi komór siłowników względem ucha pierścienia regulacyjnego (podług protokołu)	±1	±1	±1,5	±1,5	Za pomocą średnicówki mierzy się odległość pomiędzy górnym kołnierzem stojana i osią kołnierza komory (wymiar l_1 oraz l_2 na rys. 55)
Pochylenie kołnierzy komór siłowników względem osi Y turbozespołu	±2	±2	±2	±3	Za pomocą średnicówki mierzy się odległość pomiędzy struną wytyczającą oś Y turbozespołu i kołnierzami komór (wymiar i_1 , i_2 oraz j_1 , j_2 na rys. 55)

Tablica 46 (cd.)

1	2	3	4	5	6
Odchylenie od pionu kołnierzy komór siłowników	0,2	0,2	0,3	0,4	Za pomocą poziomnicy ramkowej przyłożonej do liniału dolegającego do kołnierza komory lub za pomocą pionu mierzy się wymiary k_1 oraz k_2 (na rys. 55)
7. Złącza czołowe i kołnierzowe					
Dokładność dopasowania złączy czołowych i kołnierzowych w pierścieniu fundamentowym, stojanie, dolnym pierścieniu kierownicy, pokrywie turbiny i w kadłubie łożyska	0,1	0,1	0,15	0,15	Za pomocą szczelinomierza. Przez złącza te nie powinna przechodzić na wylot blaszka szczelinomierza o grubości 0,05 mm. Dopuszczalne jest, aby w niektórych miejscach blaszka ta wchodziła na głębokość mniejszą od 1/3 szerokości złącza
8. Kierownica (rys 56)					
Przesunięcie osi X oraz Y wytrasowanych na dolnym pierścieniu kierownicy, względem odpowiednich osi stojana	±1	±1	±1	±1	Mierzy się odległość pomiędzy rysami umieszczonymi na dolnym pierścieniu kierownicy wyznaczającymi jego osie i odpowiednimi rysami na stojanie
Odchylenie powierzchni dolnego pierścienia kierownicy od poziomu	0,2	0,3	0,4	0,4	Za pomocą niwelatora lub przy użyciu metody naczyń połączonych (rys.82)
Przesunięcie osi dolnego pierścienia kierownicy względem środka stojana	0,2 średniej szerokości szczeliny uszczelnienia labiryntowego wirnika				Za pomocą szczelinomierza wymiar m lub p rys. 56 i szczegół A
Przesunięcie osi górnych łożysk czopów łopatek kierowniczych względem osi dolnych łożysk	0,01 \sqrt{h} , gdzie h wysokość pióra łopatki, mm				Za pomocą pręta centrującego lub pionu (rys.87)
Grubość szczelin pomiędzy czołowymi powierzchniami łopatek i pierścieniami kierownicy	±0,3 zaprojektowanej grubości szczeliny				Mierzy się za pomocą szczelinomierza przy zamkniętej kierownicy
Jak wyżej lecz z uszczelnieniem gumowym	0,0	0,0	0,0	0,0	Jak wyżej

Tablica 46 (cd.)

1	2	3	4	5	6
Grubość szczelin międzyłopatkowych w przypadku łopatek niezaopatrzonych w specjalne uszczelnienia ;dopuszczalne są tylko szczeliny miejscowe i o łącznej długości nie przekraczającej 25% wysokości łopatki	0,1	0,15	0,2	0,25	Mierzy się za pomocą szczelinomierza przy zamkniętej kierownicy i bez naciągu
Grubość szczelin międzyłopatkowych w przypadku łopatek zaopatrzonych w uszczelnienia gumowe	0,0	0,0	0,0	0,0	Jak wyżej
Naciąg kierownicy	±15% projektowanej wartości naciągu				Na skali siłownika mierzy się jego powrotny skok (otwierający kierownicę) po zdjęciu ciśnienia oleju
Największe rozwarście łopatek a_{omax} (przy pełnym otwarciu kierownicy)	±0,03 $a_{o max}$				Za pomocą macek wewnętrznych

Tablica 47

Tolerancje montażowe turbin Kaplana

Rodzaj	Średnica wirnika w m				Sposób pomiaru oraz narzędzia pomiarowe
	2	3	4,1	5,5	
	Odchyłki mm				
1	2	3	4	5	6
1. Wykładzina rury ssawnej (rys. 78, część 41)					
Owalizacja gardzieli wykładziny mierzona na średnicy	10	12	15	18	Za pomocą miarki taśmowej mierzy się odległość wykładziny od pionu opuszczonego z punktu przecięcia osi X i Y
Przesunięcie osi gardzieli względem pionowej osi fundamentu turbozespołu	5	8	10	12	Jak wyżej
Przesunięcie (pionowe) rzędnej wlotowej krawędzi gardzieli względem rzędnej projektowanej	+15	+20	+25	+25	Za pomocą niwelatora względem punktu stałego (reperu)
2. Słupy spirali (rys. 77)					
Przesunięcie (pionowe) rzędnej górnej stopy słupa względem rzędnej projektowanej	±8	±10	±12	±15	Za pomocą niwelatora względem punktu stałego (reperu)

Tablica 47 (cd.)

1	2	3	4	5	6
Odchylenie od pionu (nachylenie)	6	6	10	10	Mierzy się odległość danej sprawdzanej powierzchni słupa od pionu
Odległość słupów od osi pionowej turbozespołu (odchyłka promienia Δr)	± 8	± 10	± 15	± 20	Za pomocą miarki taśmowej
Odchylenie powierzchni słupa od stycznej do teoretycznego okręgu	± 6	± 8	± 10	± 11	Mierzy się odległość od nici stycznej do łuku teoretycznego okręgu i stycznej do jednego z punktów słupa ($-a$ oraz $+a$ na rys. 77)
Podziałka słupów na okręgu	± 8	± 10	± 12	± 15	Mierzy się odległość pomiędzy sąsiednimi wyłotowymi (wewnętrzny) krawędziami słupów
3. Część stożkowa wykładziny rury ssawnej (rys. 78, część 40)					
Przesunięcie krawędzi części stożkowej wykładziny rury ssawnej względem przylegającej do niej krawędzi komory wirnika lub krawędzi pierścienia fundamentowego	± 3	± 4	± 5	± 5	Za pomocą liniału przyłożonego do złącza oraz miarki lub szczylinomierza
Przesunięcie krawędzi części stożkowej wykładziny względem przylegającej do niej krawędzi pozostałej części wykładziny	± 3	± 4	± 5	± 5	Jak wyżej
4. Komora wirnika (rys. 78)					
Przesunięcie osi X oraz Y, wytrasowanych na komorze, względem odpowiednich osi fundamentu turbozespołu	± 2	± 2	± 3	± 3	Mierzy się odległość od pionu opuszczonego ze strun wyznaczających osie X oraz Y do rys wytrasowanych na komorze, również wyznaczających te osie
Odchylenie od poziomu powierzchni górnego kołnierza komory	0,3	0,4	0,5	0,5	Za pomocą niwelatora lub przy użyciu metody naczyń połączonych (rys. 82)
Odchylenie od projektowanej rzędnej wysokości	± 1	± 2	± 2	± 2	Za pomocą niwelatora względem punktu stałego

Tablica 47 (cd.)

1	2	3	4	5	6
Przesunięcie osi wytoczenia względem pionowej osi fundamentu turbozespołu lub względem osi zmontowanej wykładziny rury ssawnej (o ile rura jest wyposażona w wykładzinę)	3	4	4	4	Za pomocą średnicówki od wytoczenia do linii pionu opuszczonego z punktu przecięcia osi X oraz Y (rys. 84)
Owalizacja komory mierzona na średnicy	0,5	0,8	1,2	1,5	Za pomocą średnicówki na średnicy wytoczenia komory lub do wytoczenia do linii pionu (rys. 84)
5. Dolny pierścień kierownicy (rys. 78, część 28)					
Przesunięcie osi X i Y wytrasowanych na dolnym pierścieniu kierownicy względem odpowiednich osi komory	± 1	± 2	± 2	± 2	Mierzy się odległość od linii pionu opuszczonego ze strun wyznaczających osie fundamentu X oraz Y do rys umieszczonych na dolnym pierścieniu kierownicy przy uwzględnieniu odchyłek komory wirnika
Przesunięcie względem projektowanej rzędnej wysokości	± 2	± 2	± 3	± 3	Za pomocą niwelatora względem punktu stałego
Odchylenie powierzchni dolnego pierścienia od poziomu	0,3	0,4	0,5	0,5	Za pomocą niwelatora lub przy użyciu naczyń połączonych (rys. 82)
Przesunięcie osi dolnego pierścienia kierownicy względem osi komory wirnika	1	1,5	2	2	Mierzy się od okręgu współśrodkowego z osią dolnego pierścienia kierownicy, wytrasowanego w wytwórni na powierzchni tego pierścienia, do liniału przyłożonego do tworzącej wewnętrznej powierzchni komory
6. Górny pierścień kierownicy (rys. 87, część 1)					
Wysokość kierownicy a , tj. odległość górnego pierścienia kierownicy od jej pierścienia dolnego (wysokość tę przyjmuje się zgodnie z protokołem)	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	Za pomocą średnicówki mierzy się wymiar a (rys. 90)
Przesunięcie osi górnych łożysk czopów łopatek kierowniczych względem osi dolnych łożysk	$0,01 \sqrt{h}$	h , gdzie h wysokość pióra łopatki mm			Za pomocą pręta centrującego lub pionu (rys. 87)

Tablica 47 (cd.)

1	2	3	4	5	6
7. Komory (wykładziny) siłowników (rys. 87, część 25)					
Wysokość położenia osi komór siłowników względem ucha pierścienia regulacyjnego (podług protokołu)	±1	±1,5	±2	±2	Za pomocą średnicówki mierzy się odległość od kołnierza górnego pierścienia kierownicy do osi kołnierza komory (wymiary a_1 oraz a_2 na rys. 90)
Pochylenie kołnierzy komór siłowników względem osi Y turbosespołu	0,2	±2	±3	±4	Za pomocą średnicówki kurczy się odległość pomiędzy stroną wytwarzającą oś Y turbosespołu i kołnierzami komór wymiary b_1 , b_2 oraz c_1 , c_2 (rys. 90)
Pochylenie kołnierzy komór siłowników względem pionu	±2	0,4	0,5	0,5	Za pomocą poziomnicy ramkowej przyłożonej do liniału dolegającego do kołnierza komory lub za pomocą pionu mierzy się wymiary k_1 i k_2 (rys. 90)
8. Wykładziny dolnego i górnego pierścienia kierownicy (rys. 78, część 46 i rys. 87, część 16)					
Szerokość szczeliny s pomiędzy brzegami blach wykładziny przygotowanymi do spawania	2 ≤ s ≤ 5				Za pomocą szczelinomierza
Wzajemne przesunięcie krawędzi łączonych z sobą blach	0,15 grubości blachy				Za pomocą liniału przyłożonego do złącza
9. Złącza czołowe i kołnierzowe					
Dokładność dopasowania złączy czołowych i kołnierzowych w komorze wirnika, dolnym i górnym pierścieniu kierownicy, pokrywie turbiny i w kadłubie łożyska	0,1	0,15	0,2	0,2	Za pomocą szczelinomierza. Przez złącza te nie powinna przechodzić na wylot blaszka szczelinomierza o grubości 0,05 mm.
10. Kierownica (rys. 92)					
Grubość szczelin pomiędzy czołowymi powierzchniami łopatek i pierścieniami kierownicy	±0,3 zaprojektowanej grubości szczeliny				Mierzy się za pomocą szczelinomierza przy zamkniętej kierownicy
Jak wyżej lecz z uszczelnieniem gumowym	0,0	0,0	0,0	0,0	Jak wyżej

Tablica 47 (cd.)

1	2	3	4	5	6
Grubość szczelin międzyłopatkowych w przypadku łopatek niezaopatrzonych w specjalne uszczelnienia. Dopuszczalne są tylko szczeliny miejscowe o łącznej długości nie przekraczającej 25% łącznej wysokości łopatki	0,15	0,20	0,25	0,30	Mierzy się za pomocą szczelinomierza przy zamkniętej kierownicy i bez naciągu.
Grubość szczelin międzyłopatkowych w przypadku łopatek zaopatrzonych w uszczelnienia gumowe	0,0	0,0	0,0	0,0	Jak wyżej
Naciąg kierownicy	±15% projektowanej wielkości naciągu				Na skali siłownika mierzy się jego powrotny skok (otwierający kierownicę) po usunięciu ciśnienia oleju
Największe rozwarście łopatek $a_{o max}$ (pełne otwarcie kierownicy)	±0,03 $a_{o max}$				Za pomocą macek wewnętrznych
11. Zasilacz olejowy wirnika (rys. 133)					
Odchylenie od poziomu górnego kołnierza na którym opiera się podstawa zasilacza	0,1	0,1	0,15	0,2	Za pomocą niwelatora lub przy użyciu metody naczyń połączonych
Grubość szczelin w uszczelnieniu labiryntowym zasilacza	0,05	0,05	0,1	0,1	Za pomocą szczelinomierza
Przesunięcie osi kadłuba zasilacza względem jego podstawy	0,05	0,05	0,1	0,1	Za pomocą średnicówki mierzy się odległość od centrującego występu odrzutnika oleju do drąga zewnętrznego. Pomiar przeprowadza się na placu montażowym podczas kontrolnego montażu zasilacza

Tablica 48

Dopuszczalne odchyłki przy centrowaniu zespołów wirujących pionowych turbosespołów wodnych (patrz §§ 30, 31 i 33)

Wielkość podlegająca sprawdzeniu	Dopuszczalne odchyłki
Szerokość szczelin w labiryntowych uszczelnieniach wirników	Nie więcej niż 0,2 średniej szerokości szczeliny
Odległość pomiędzy powierzchnią wału i pionami (strunami)	Niedokładność pomiaru przy zestawieniu 8 pomiarów nie powinna być większa od 0,04 mm, czyli
	$[(a_o + b_o) + (c_i + d_i)] - [(c_o + d_o) + (a_i + b_i)] \leq 0,04 \text{ mm}$

<p>Względne pochylenie linii wałów turbozespołu Odchylenie osi wału turbiny od osi wału pośredniego spowodowane załamaniem ich wspólnej linii</p>	<p>Nie więcej niż 0,02 mm na 1 m długości wałów Dopuszczalne wielkości odchylenia oblicza się ze wzoru</p>
<p>Mimośrodkowość wału prądnicy względem wału turbiny przy centrowaniu tych wałów i przed ich sprzęgnięciem Odchylenie linii wału prądnicy wskutek nieprostokątnego położenia czopa tarczowego względem tej linii. Odchylenie to mierzy się przed sprzęgnięciem wałów (za pomocą czujników) przy obracaniu układu wirującego prądnicy</p>	$k_{fdop} \leq 0,02 \frac{2h}{d_k}$ <p>gdzie h – odległość powierzchni czołowej górnego kołnierza wału turbiny od płaszczyzny pomiaru przechodzącej przez czop poprzeczny tego wału. d_k – średnica kołnierza wału, Mimośrodkowość ta nie może być większa od 0,1 najmniejszej szerokości szczeliny labiryntowego uszczelnienia turbiny Dopuszczalna wielkość tego odchylenia</p>
<p>Rzut czopa poprzecznego turbiny po sprzęgnięciu wałów przy obrocie układu wirującego 180°. Podczas przeprowadzenia pomiarów zmontowane jest tylko jedno łożysko poprzeczne prądnicy</p>	$k_{pdop} \leq 0,02 \frac{l}{d_w}$ <p>gdzie l – odległość powierzchni czopa tarczowego od czołowej powierzchni kołnierza wału prądnicy, d_w – średnica czopa tarczowego Dopuszczalna wartość tego rzutu B_{fdop} nie może przekraczać wartości obliczonej z wyrażenia:</p>
<p>Rzut nadstawki wału prądnicy</p>	$B_{fdop} \leq \left(\frac{L}{d_w} + \frac{l_2}{d_k} + \frac{2h}{d_k} \right)$ <p>gdzie L – pionowa odległość powierzchni czopa tarczowego od płaszczyzny pomiaru przechodzącej przez czop poprzeczny wału turbiny, l_2 – odległość powierzchni styku złącza kołnierzowego wałów turbiny i prądnicy od płaszczyzny pomiaru jak wyżej, Dopuszczalna wartość tego rzutu:</p>
<p>Przemieszczenie wału turbiny w jej łożysku poprzecznym, po zmontowaniu panwi tego łożyska</p>	$B_{ndop} \leq 0,08 \frac{h_n}{d_n}$ <p>gdzie h_n – wysokości nadstawki d_n – średnica kołnierza nadstawki Przy bocznym nacisku na wał turbiny w płaszczyźnie poziomej, wał ten powinien przemieszczać się co najmniej o 0,2 łącznej grubości szczeliny łożyskowej t. zn. grubości szczelin z obu stron wału</p>

Grubość szczelin osiowych w labiryntowych uszczelnieniach wirników, wałów i wirujących zbiorników oleju

Dopuszczalna odchyłka nie może być większa od 0,2 zaprojektowanej grubości szczeliny. Odchyłkę tę wyznacza się na drodze obliczenia lub pomiaru

§ 39. MONTAŻ TURBIN WODNYCH W PRZYPADKU, GDY BUDYNEK ELEKTROWNI WODNEJ JEST POCHYLONY

Budynki przyzaporowych siłowni wodnych, znajdujące się przy zaporze lub jazie, o ile są wzniesione na stosunkowo słabym podłożu, to pochylają się niekiedy wskutek różnic ciśnień wywieranych na fundament i ściany budynku przez wodę spiętrzoną górną i wodę dolną. W praktyce budownictwa wodnego zdarzało się, że pochylenie pionowych osi bloków (fundamentów) turbin elektrowni wodnych dochodziło do 0,0005, co przy wysokości turbozespołu rzędu 20 m dawało względem pionu 10 mm odchylenia górnego końca wału turbozespołu. Wielkość pochylenia budynku takich siłowni wodnych nie jest stała i zazwyczaj podczas eksploatacji zmienia się stosownie do zmian poziomów górnej i dolnej wody. W elektrowniach wodnych znajdujących się w budowie i podlegających takim zjawiskom, powstaje zagadnienie metody montażu turbozespołów wodnych, tj. czy turbozespoły te należy montować w ten sposób, aby osie ich były pochylone względem pionu, czy też tak, aby znajdowały się w położeniu pionowym.

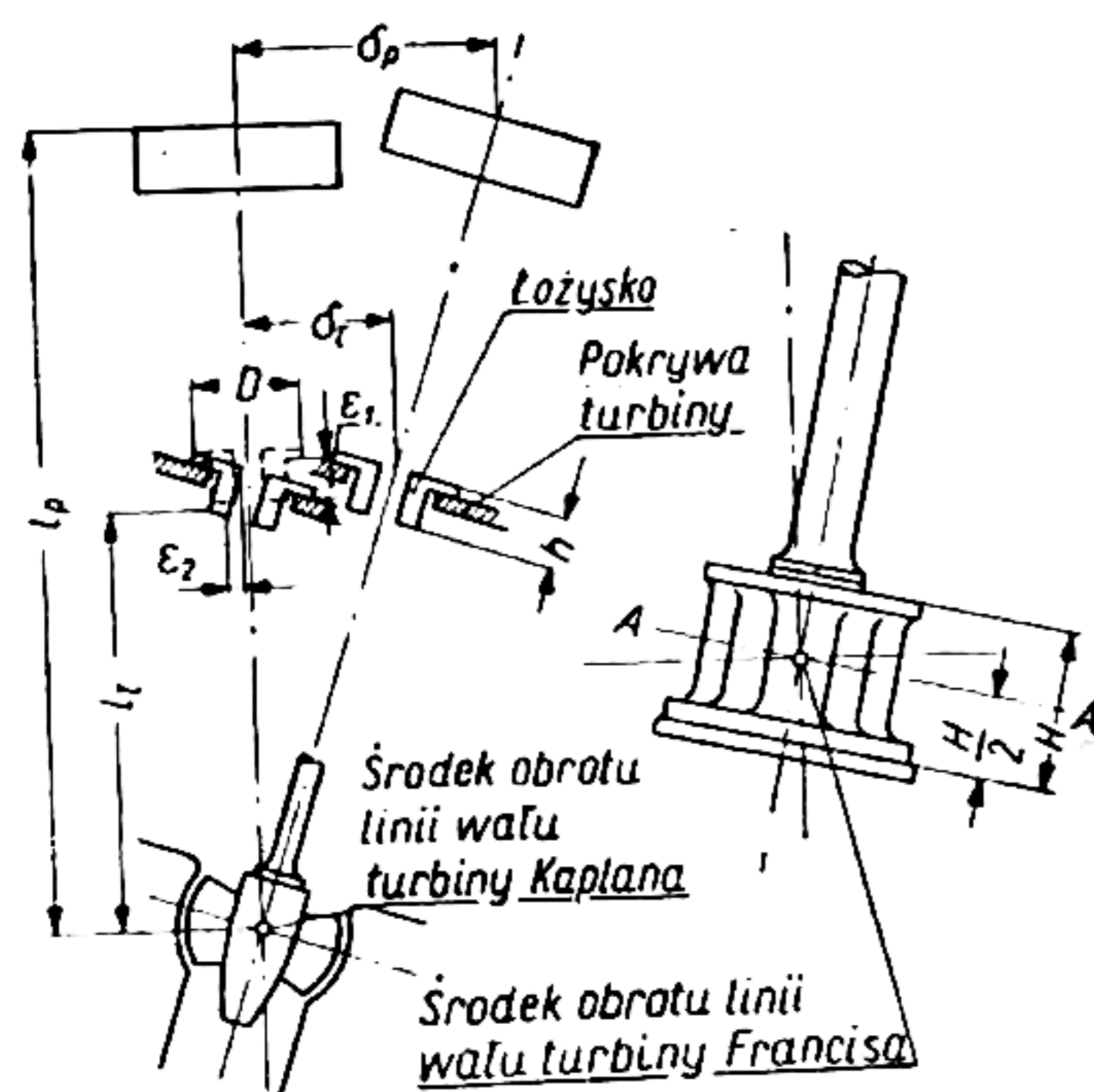
Montaż turbozespołów w położeniu pochylonym względem pionu. Ten sposób montażu stosuje się w tym celu, aby podczas eksploatacji turbozespołu jego wał znajdował się w pozycji pionowej. W tym przypadku, zrealizowanym w jednej z elektrowni wodnych, turbozespoły instalowane w pierwszej kolejności oraz przed napełnieniem wodą komory dopływowej montowane są przy pochyleniu wału równym przewidywanemu pochyleniu budynku elektrowni po doprowadzeniu do tego budynku wody. Rozumie się, że turbozespół powinien być pochylony w kierunku przeciwnym do oczekiwanego pochylenia budynku. Turbozespoły instalowane w drugiej kolejności i po doprowadzeniu wody do budynku elektrowni montuje się tak, aby ich wały były pionowe.

Przy tym sposobie montażu turbozespoły będą eksploatowane wprawdzie w warunkach, w których ich wały przyjmą położenie zbliżone do pionowego, jednak ponieważ warunki te będą się zmieniać stosownie do zmian poziomów wody, wały nie będą ściśle pionowe. Omawiany sposób montażu wymaga, aby części fundamentowe oraz wały turbozespołów zainstalowanych w pierwszej kolejności, były montowane pochyło, co stwarza wielkie trudności przy ustawianiu omawianych części, a szczególnie przy centrowaniu wałów.

zaś oś panwi przechyli się względem osi wału o wielkość

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_1 h}{d} = \frac{1,25 \cdot 1200}{2500} = 0,6 \text{ mm}$$

Z przykładu tego widzimy, że w celu zlikwidowania przechylenia panwi należy pod podstawą kadłuba łożyska umieścić podkładkę w kształcie klina o różnicy wysokości boków $\varepsilon_1 = 1,25 \text{ mm}$, lub z oporowej powierzchni tej



Rys. 139. Szkic wyjaśniający ponowne centrowanie zespołu wirującego turbiny i prądnicy po ich remoncie

Nierównomierność grubości szczelin dopuszczalna jest w granicach 0,2 średniej grubości danej szczeliny (tabl. 48). Z tego względu ponowne centrowanie turbiny jest możliwe tylko wówczas, gdy wielkość pochylenia jest taka, że przy pionowym ustawieniu linii wału nierównomierność grubości szczelin nie przekroczy podanej granicy.

Przykład. Pochylenie względne wału turbozespołu wynosi $i = 0,0002$, odległość pomiędzy uszczelnieniami labiryntowymi tarczy i wieńca wirnika $H = 3 \text{ m}$, średnia grubość szczeliny wzdłuż obwodu $s = 2 \text{ mm}$.

Przy ustawieniu wirnika w położeniu pionowym, grubość tej szczeliny zmieni się o wartość

$$\Delta = i \frac{H}{2} = 0,0002 \cdot \frac{3000}{2} = 0,3 \text{ mm}$$

Przy dopuszczalnym odchyleniu tej grubości wynoszącym 0,2 średniej grubości szczeliny, w danym przypadku odchylenie to może wynosić najwyżej $0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ mm}$. Zatem omawiany wał posiadający pochylenie 0,0002 może być ustawiony pionowo.

podstawy, po przeciwnej stronie, zdjęć warstwę metalu o wskazanej grubości.

W przypadku turbiny Francis jej ponowne wycentrowanie oraz ustawienie w pozycji pionowej układu wirującego turbozespołu przeprowadza się stosując analogiczne metody. Linie wałów należy obrócić wokół osi leżącej w płaszczyźnie AA (rys. 139 z prawej strony). Płaszczyzna ta dzieli na połowy odległość skrajnych uszczelnień labiryntowych wirnika. Należy zwrócić uwagę, że w wyniku takiego obrotu szczeliny te przestają być współśrodkowe i grubość ich staje się niejednakowa.

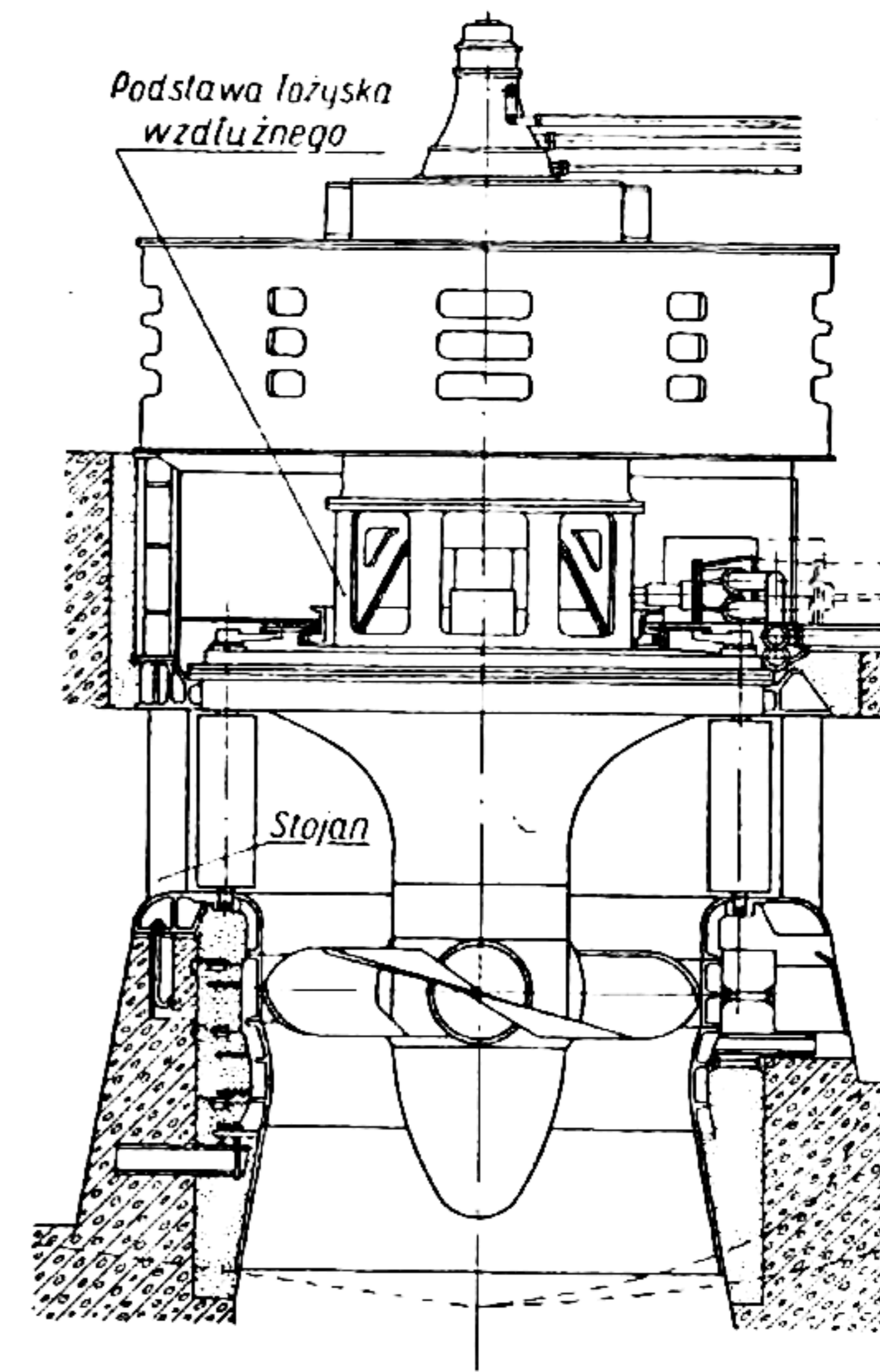
§ 40. SZCZEGÓLNE CECHY MONTAŻU TURBIN WODNYCH, KTÓRYCH ŁOŻYSKO WZDŁUŻNE UMIESZCZONE JEST NA POKRYWIE TURBINY

Konstrukcja turbiny Kaplana z łożyskiem wzdłużnym umieszczonym na jej pokrywie (rys. 140) wykazuje szereg zalet w porównaniu ze zwykłym rozwiązaniem konstrukcyjnym, w którym łożysko to znajduje się na górnym lub dolnym krzyżaku prądnicy. Pierwszy sposób umieszczenia tego łożyska wpływa na znaczne zmniejszenie pionowych wymiarów gabarytowych turbozespołu oraz na zmniejszenie jego ciężaru, co jest spowodowane zmniejszeniem długości wału oraz zlikwidowaniem krzyżaka prądnicy dźwigającego na sobie łożysko wzdłużne. Wraz ze zmniejszeniem wysokości turbozespołu, zmniejsza się również wysokość budynku maszynowni.

W siłowniach wodnych przyzaporowych (piętrzących) o wysokości spadu rzędu 16 m i więcej, turbozespoły mogą być przy określonych warunkach wbudowane w samą zapórę. Ten typ elektrowni wodnych nazywamy elektrowniami wewnątrzaporowymi.

W przypadku gdy łożysko wzdłużne umieszczone jest na pokrywie turbiny, zmieniają się warunki obciążenia słupów spirali. Z tego względu zamiast poszczególnych słupów zwykłego typu stosuje się masywne słupy lane lub składany stojan, w którym słupy z mocowane są za pomocą jego pierścieni. Zastosowanie takiego zabetonowanego stojana pozwala na to, aby do jego górnego kołnierza przymocować górny pierścień kierownicy, którego w tym przypadku, przeciwnie niż zazwyczaj nie zabetonowuje się, a więc stanowi on odejmowalną część turbiny.

Montaż rozpoczynamy od ustawienia stojana na betonowym stożku spirali. Stojan przy użyciu zwykłych metod montuje się na miejscu z poszcze-



Rys. 140. Turbina Kaplana zaopatrzona w łożysko wzdłużne, umieszczone na pokrywie turbiny

gólnych członów, ustawia się go według osi i rzędnych wysokościowych, po czym umocowuje za pomocą śrub fundamentowych. W odróżnieniu od zwykłych słupów wymagających dłuższego czasu na ustawienie każdego z nich z osobna: w rzucie poziomym, do poziomu oraz na odpowiedniej wysokości, zastosowanie stojana skraca cykl robót i ułatwia warunki montażu.

Montaż dolnego zespołu części fundamentowych nie różni się zasadniczo od montażu tych części w przypadku turbiny zwykłej konstrukcji, jest jednak ułatwiony przez to, że odpada długa i pracochłonna operacja dopasowywania i ustawiania dolnej wykładziny spirali. Wykładziny stosuje się tylko w tym przypadku, gdy stojan nie posiada dolnego wieńca. Montaż górnego zespołu części fundamentowych sprowadza się do zmontowania — przy użyciu zwykłych metod — wykładzin komory turbiny oraz komór siłowników. W ten sposób również montaż górnego zespołu jest znacznie ułatwiony, gdyż odpada montaż górnego pierścienia kierownicy.

Kierownicę, wirnik, pokrywę turbiny, łożysko oraz mechanizmy układu regulacyjnego montuje się tak, jak w przypadku turbiny zwykłej konstrukcji.

Dodatkową pracą monterską jest ustawienie łożyska wzdłużnego na pokrywie turbiny. Łożysko to montuje się z poszczególnych członów, po czym ustawia się je na pokrywie i centruje w niej za pomocą specjalnego zatoczenia. Na umocowanie łożyska wzdłużnego należy zwrócić uwagę, ponieważ oprócz obciążenia statycznego podlega ono działaniom dynamicznym, które mogą wywołać nadmierne jego drgania. W związku z tym oprócz przymocowania łożyska do pokrywy, w pewnych konstrukcjach dodatkowo przewidziane jest z mocowaniem jego z betonowymi ścianami komory turbiny. Wszystkie śruby łącz stykowych i kołnierzowych łożyska w celu uniknięcia ich samorzutnego odkręcania się powinny być przyspawane w kilku miejscach.

Centrowanie oraz sprzęganie wałów nie różnią się zasadniczo od analogicznych operacji w przypadku turbiny zwykłej konstrukcji, ułatwione są jednak dzięki temu, że nie ma tutaj wału pośredniego.

Należy zauważyć, że w końcowym stadium montażu warunki wykonywania robót w komorze turbiny są nieco trudniejsze w porównaniu z warunkami montażu turbiny zwykłej konstrukcji, a to w związku z tym, że w tym przypadku w komorze turbiny jest mniej miejsca i montuje się w niej dodatkowy zespół, a mianowicie łożysko wzdłużne łącznie z czopem tarczowym. Trudności te rosną przy tym w miarę zmniejszania się gabarytu turbiny.

Z wyżej powiedzianego wynika, że czas i pracochłonność montażu turbiny, której łożysko wzdłużne umieszczone jest na pokrywie, w ogólności, a szczególnie o ile chodzi o części fundamentowe w sposób istotny są mniejsze w porównaniu z czasem i pracochłonnością w przypadku turbiny zwykłej konstrukcji.

§ 41. POTOKOWA METODA MONTAŻU

Budowa gigantycznych elektrowni wodnych w ZSRR w ciągu krótkiego czasu wymaga głębokiej zmiany organizacyjnych i technologicznych zasad, na których oparty jest montaż.

W wielkich siłowniach wodnych wyposażonych zazwyczaj w cztery, pięć lub sześć turbozespołów, montuje się kolejno lub równolegle z reguły najwyżej dwie turbiny, gdyż wymiary placu montażowego i środki dźwigowo-transportowe nie pozwalają na jednoczesny montaż większej ich ilości. Powiększenie wymiarów placu montażowego, który mieści się zazwyczaj w obrębie budynku siłowni, prowadzi do powiększenia budynku elektrowni wodnej, co jest oczywiście nieopłacalne, ponieważ powiększony plac montażowy i zbędna ilość dźwigów nie są potrzebne przy eksploatacji siłowni.

W wielkich siłowniach wodnych wyposażonych w 18 do 24 turbozespołów, turbiny powinny być zmontowane w ciągu 1,5 do 2 lat. W tak krótkim terminie niemożliwe jest zmontowanie wskazanej ilości turbozespołów o ogromnych rozmiarach i ciężarach przy względnie normalnych lub nawet nieco powiększonych: placu montażowym i urządzeniach dźwigowych wewnątrz budynku siłowni i za pomocą wskazanych dotychczas metod. Zagadnienie to może być rozwiązane przez wprowadzenie potokowej metody montażu. Metoda ta wymaga jednak integralnego opracowania nowych organizacyjnych i technicznych środków, z których najważniejsze są następujące:

- a) możliwie największe uzgodnienie robót budowlanych i montażowych;
- b) zorganizowanie na placach budów dodatkowych placów wyposażonych w środki transportowe;
- c) możliwie największe zmechanizowanie robót montażowych i zastosowanie wielkoblokowego montażu zespołów;
- d) powiększenie montażowych właściwości elementów turbin wodnych;
- e) przeprowadzanie w wytwórniach w możliwie największym zakresie wstępnego montażu (składania) mechanizmów i ich prób.

Organizacja robót potokowych wymaga uwzględnienia konkretnych warunków. Rozpatrzmy tutaj pewne rodzaje montażu potokowego dotyczącego siłowni wodnej wyposażonej w 20 turbin Kaplana z łożyskami wzdłużnymi umieszczonymi na ich pokrywach; średnica wirników turbin wynosi 9,3 m. Rodzaje te są następujące:

- 1) montaż potokowy odbywa się jednocześnie z robotami budowlanymi, przy czym poza obrębem elektrowni wodnej znajduje się dodatkowy plac montażowy;
- 2) montaż potokowy odbywa się niezależnie od robót budowlanych, przy czym poza obrębem elektrowni wodnej znajduje się dodatkowy plac montażowy;
- 3) montaż potokowy odbywa się niezależnie od robót budowlanych, przy czym wewnątrz elektrowni wodnej znajduje się dodatkowy plac montażowy.

1. Montaż potokowy odbywający się jednocześnie z robotami budowlanymi, z dodatkowym placem montażowym znajdującym się poza obrębem budynku elektrowni wodnej

Tego rodzaju metoda potokowa przedstawiona jest na wykresie 1 (rys. 141). Wykres ten ograniczony jest do 10 turbozespołów ponieważ możliwość na przyjąć, że charakter prac potokowych nie zmienia się, o ile ilość turbozespołów nie przekracza dwudziestu.

W tym przypadku montaż potokowy obejmuje:

- a) montaż części fundamentowych wraz z jednoczesną budową bloku turbinowego;
- b) montaż głównych części kierownicy wraz z jednoczesną budową pośrednich stropów, stropu maszynowni i torów podsuwnicowych;
- c) wieloblokowy montaż zespołów instalacji przy zastosowaniu specjalnych urządzeń zmechanizowanych oraz — jednoczesny z montażem — transport zmontowanych zespołów na miejsce ich zamontowania; montaż ten przeprowadza się na placu montażowym, znajdującym się wewnątrz elektrowni wodnej.

Poniżej rozpatrzemy organizacyjne i technologiczne podstawy omawianego montażu potokowego.

A. Części fundamentowe

Wykładzina rury ssawnej. Wykładzinę tę umieszcza się wprost w betonie nie przewidując na nią odpowiedniego gniazda. W celu zabezpieczenia odpowiedniego cylindrycznego kształtu gardzieli wykładziny należy używać szablonu w kształcie pierścienia, który ułatwia pracę przy ustawianiu gardzieli prawidłowego kształtu. Szablon ten sporządzamy z kątowników. W zmontowaniu wykładziny wykonuje się betonowy stożek spirali. W stożku tym należy przewidzieć boczne wyjęcia, ułatwiające przeprowadzanie montażu oraz nanoszenie betonu przy zabetonowywaniu w odpowiednich gniazdach dolnego zespołu części fundamentowych.

Stojan spirali. Mówiliśmy już (§ 40), że turbiny w których łożysko wzdłużne umieszczone jest na pokrywie, zamiast poszczególnych słupów wypozone są zazwyczaj w stojan. Konstrukcja tego rodzaju ułatwia montaż ponieważ w tym przypadku unika się ustawiania osobno każdego słupa w rzucie poziomym, na odpowiedniej wysokości oraz do pionu. Oprócz tego odpada potrzeba budowania nad gardzielą stołu traserskiego, którego używa się przy ustawianiu słupów.

Po ustawieniu stojana lub słupów buduje się zazwyczaj cały blok turbinowy, włącznie do torów podsuwnicowych, zostawiając przy tym odpowiednie gniazda dla części fundamentowych. Podczas tego dość długiego okresu robót budowlanych dalszy montaż jest wstrzymany. W celu możliwie najlepszego skoordynowania robót budowlanych przy wznoszeniu bloków

21	215	245	275	305	335

binowych z montażem części fundamentowych, ostatnie należy montować w następującym porządku.

Dolny zespół części fundamentowych. Zespół ten montuje się od razu po montowaniu stojana i zabetonowuje w jego gniazdach. Jednocześnie ściana spirali betonuje się do jej pułapu. Następnie na ściany te zaciąga się belki, które stanowią szkielet odeskowania pułapu (patrz rys. 80). Belki z jednej strony przypawa się do słupów, z drugiej zaś — do uzbrojenia żelbetonu.

Górny zespół części fundamentowych. W turbinach, w których łożysko przedłużone umieszczone jest na pokrywie, górny pierścień kierownicy jest niebetonowany (niezabetonowany), zaś górny zespół części fundamentowych składa się tylko z wykładziny komory turbiny oraz z wykładzin komór trwomotorów. Części montuje się na pierścieniu stojana. Przy naciąganiu wykładziny komory turbiny używamy do zakotwiczenia ułożonego już szkieletu odeskowania pułapu spirali. Wykładziny komór siłowników wspierają się również na tym szkielecie, który może być wzmocniony za pomocą strzałów, opartych o słupy oraz o ściany spirali.

Podczas montowania górnego zespołu części fundamentowych zakłada się jednocześnie uzbrojenie oraz odeskowanie pułapu spirali i wykonuje się również takie roboty budowlane, które nie przeszkadzają przy montażu. Po ukończeniu montażu tego zespołu wykańcza się zakładanie uzbrojenia i betonuje się blok aż do wysokości łoża prądnicy.

Z wyżej powiedzianego wynika, że przy montowaniu górnego zespołu części fundamentowych nie zachodzi potrzeba pozostawiania specjalnych gniazd jednak pod warunkiem, że wyłączona jest możliwość osiadania betonu tworzącego pułap spirali. Jeżeli stosowany sposób nanoszenia betonu nie gwarantuje tego, to należy pozostawić gniazda dla wykładzin siłowników.

Kierownica

Jednocześnie z montażem kierownicy buduje się stropy pośrednie, podłogi torów podsuwnicowych oraz betonuje się plac montażowy. W celu prowadzenia montażu jednocześnie z wykonywaniem opisanych robót budowlanych, należy sporządzić specjalną przenośną tarczę, którą zakrywa się szyb turbiny. Daje to możliwość montowania kierownicy, a mianowicie: wzniesienia i wmontowania jej górnego pierścienia, wytoczenia kierownicy (nie wytaczanie to przeprowadzamy na miejscu) zmontowania łopatek, dźwigni i uszczelnień — wszystko w odizolowaniu od robót budowlanych.

Należy wspomnieć, że w celu ułatwienia montażu górnego pierścienia kierownicy należy bezpośrednio na miejscu montażu przewidzieć jego zmontowanie ze stojanem. Zmocowanie to powinno być wykonane śrubami z łbanie zaś śrubami szpilkowymi. Pomiedzy stojanem i górnym pierścieniem kierownicy powinna pozostać szczelina promieniowa o szerokości 15

do 20 mm. Szczelina ta umożliwia założenie na jego miejsce ostatniego członu górnego pierścienia kierownicy.

Przed założeniem tarczy, do szybu turbiny opuszcza się człony górnego pierścienia kierownicy i koźły montażowe lub dźwigniki (na których człony te będą montowane), urządzenie do wytaczania kierownicy oraz szereg części, których ilość określona jest przez dopuszczalne obciążenie pomostu, wybudowanego dla ułatwienia montażu górnego pierścienia kierownicy. Pozostałe części w miarę potrzeby opuszcza się poprzez luki umieszczone w tarczy. W szybie turbinowym powinna znajdować się belka w kształcie pierścienia z umieszczonymi na niej wciągnikami, które znacznie ułatwiają montaż wymienionych części.

Opisane tutaj skoordynowanie robót pozwala na znaczne posunięcie naprzód montażu kierownicy przed doprowadzeniem do danego bloku turbinowego torów podsuwnicowych i samej suwnicy. Wyszczególnione części (elementy części fundamentowych i kierownicy) mogą być montowane za pomocą zwykłych budowlanych środków dźwigowo-transportowych o normalnym udźwigu, gdyż ich ciężary nie przekraczają 20 T. Tego rodzaju roboty należy wykonywać równocześnie na innych blokach turbinowych, zgodnie z harmonogramem.

W ten sposób podczas budowy bloków turbinowych, w odróżnieniu od zazwyczaj przyjętego kolejnego wykonywania robót budowlanych i montażowych, może być zmontowany górny zespół części fundamentowych oraz ich zespół dolny, jak również znaczna część kierownicy. Roboty te, jak to wynika z harmonogramu, stanowią 45% cyklu montażu całego turbozespołu.

Opisane wyżej skoordynowanie robót zrealizowano częściowo w pewnej elektrowni wodnej przy montowaniu turbiny Kaplana o średnicy wirnika 8 m. W wyniku tego do chwili ukończenia całego bloku oraz zmontowania suwnicy maszynowni, zmontowane zostały wszystkie części fundamentowe oraz kierownice trzech turbin.

C. Mechanizmy robocze

Aby móc w krótkim terminie ukończyć montaż dwudziestu turbozespołów, należy jednocześnie montować kilka turbin. Wskazywaliśmy poprzednio, że o ile plac montażowy znajduje się wewnątrz budynku elektrowni, to nie można wówczas zrealizować potokowego montażu wielkich zespołów turbiny oraz prądnicy. W tym celu musimy rozporządzać placami montażowymi znajdującymi się na zewnątrz siłowni i wyposażonymi w urządzenia dźwigowe, na których to placach można by było kontrolować oraz montować wielkie zespoły (wirniki, pokrywy turbin, pierścienie regulacyjne, łożyska wzdlużne, siłowniki, regulatory, ciśnieniowe zespoły olejowe); na miejsce ustawienia zespoły te powinny być transportowane w stanie już zmontowanym.

O ile w siłowniach wodnych, wyposażonych w suwnice bramowe zewnętrzny plac montażowy możemy przygotować bezpośrednio przy siłowni, to

tory podsuwnicowe najlepiej doprowadzić jest do placu, tak aby za pomocą omawianych suwnic można było podnosić na nim ciężkie części oraz transportować montowane zespoły na miejsce ich zainstalowania.

W razie braku opisanych warunków jest rzeczą oczywistą, że nie opłaca się wyposażać zewnętrznego placu montażowego w urządzenia dźwigowo-transportowe, które by zapewniały podnoszenie ciężkich zespołów, na przykład wirnika o ciężarze 380 T. W technologicznym przebiegu montażu oraz transportu zespołów należy wówczas przewidzieć, że w tym przypadku wszystkie roboty muszą być obsługiwane przez budowlane urządzenia dźwigowo-transportowe. Poniżej opiszemy różne technologiczne rozwiązania montażu mechanizmów roboczych.

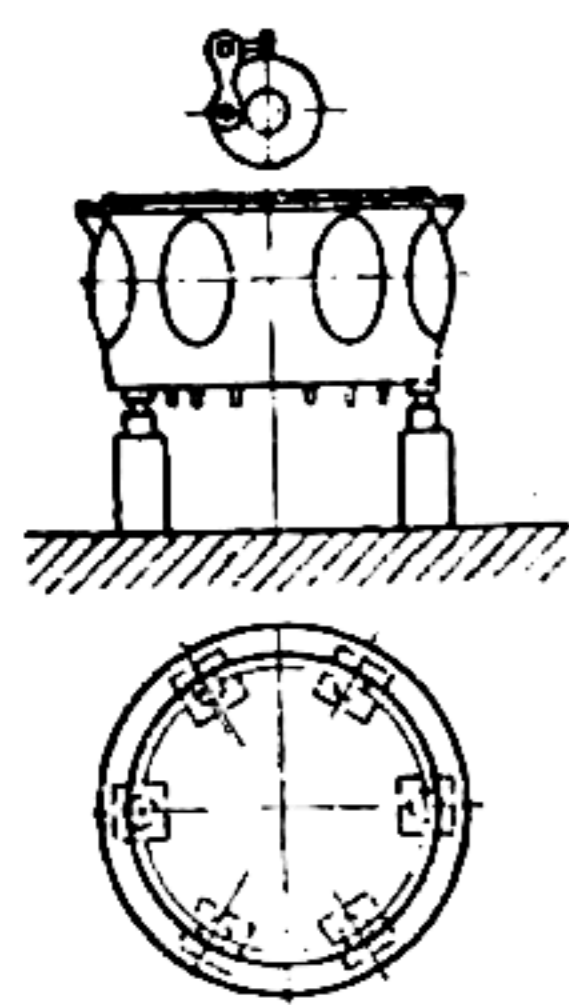
Wirnik. Wirnik dostarczany jest przez wytwórnię w stanie zdemontowanym. Najcięższym elementem tego zespołu jest piasta, która waży ok. 80 T. W celu wylądowania jej na placu montażowym wystarcza rozporządzać dwoma suwnicami, każda o udźwigu 40 T. Suwnice te w zupełności wystarczają do wylądowywania wszystkich części dostarczanych do elektrowni oraz do montowania na placu montażowym wielkich zespołów.

Montowanie wirnika może się odbywać według jednego ze schematów pokazanych na rys. 142a oraz 142b. Rysunki te przedstawiają operacje przy montowaniu wirnika, zaopatrzonego w sześć łopatek: mechanizm pokręcający łopatki pokazano na rys. 92.

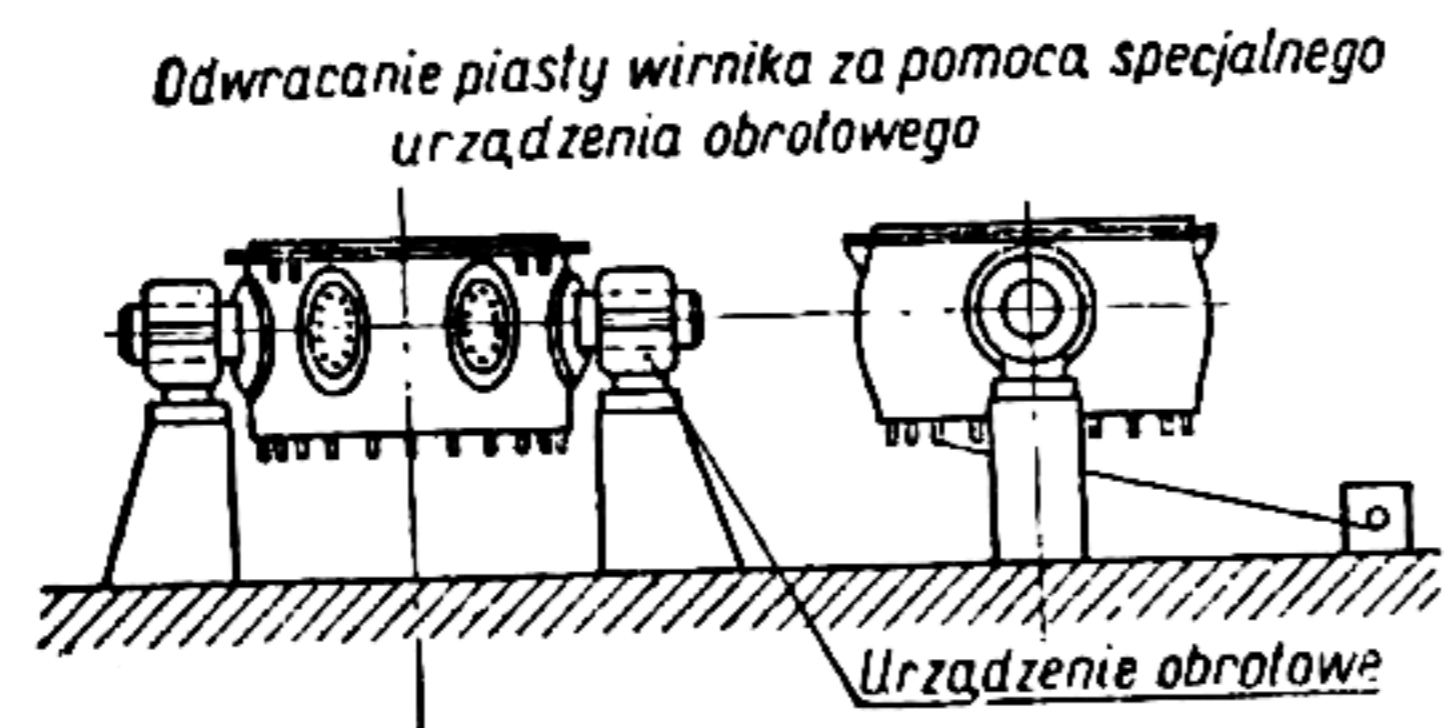
Piasta wirnika dostarczana jest przez wytwórnię w stanie odwróconym o 180° w stosunku do jej położenia roboczego. Na budowie piastę podnosi się za pomocą dwóch suwnic i ustawia ją na dźwignikach hydraulicznych (rys. 142a), umieszczonych na koźłach montażowych, które znajdują się na placu montażowym. Następnie do piasty zakłada się dźwignie oraz czopy i strzemiona, w sposób omówiony w § 27, po czym tak zmontowaną odwraca się o 180° do jej położenia roboczego. Odwracanie to wykonuje się za pomocą specjalnego urządzenia, składającego się z dwóch łożysk, wewnątrz których umieszczone są czopy obrotowe. Czopy te przymocowane są za pomocą śrub do czopów łopatek, łożyska zaś — również za pomocą śrub — do koźłów łożyskowych. Położenie osi piasty wirnika uzgadnia się za pomocą dźwigników z czopami urządzenia i po umocowaniu śrub dźwigniki te usuwa się. Piastę odwracamy w ten sposób, że za pomocą dwóch wciągarek oraz krążków obracamy ją naokoło osi omawianego urządzenia. Następnie pod piastą ponownie umieszczamy dźwigniki, po czym urządzenie to usuwamy. Dalszy montaż wirnika oraz jego wypróbowanie łącznie z wmontowanymi łopatkami przeprowadzamy w zwykły sposób.

W celu przetransportowania zmontowanego wirnika na miejsce jego zainstalowania podtaczamy pod łopatki dwa wózki zaopatrzone w specjalne profilowe poduszki. Wirnik za pośrednictwem dwóch łopatek opiera się z każdej strony na tych poduszkach.

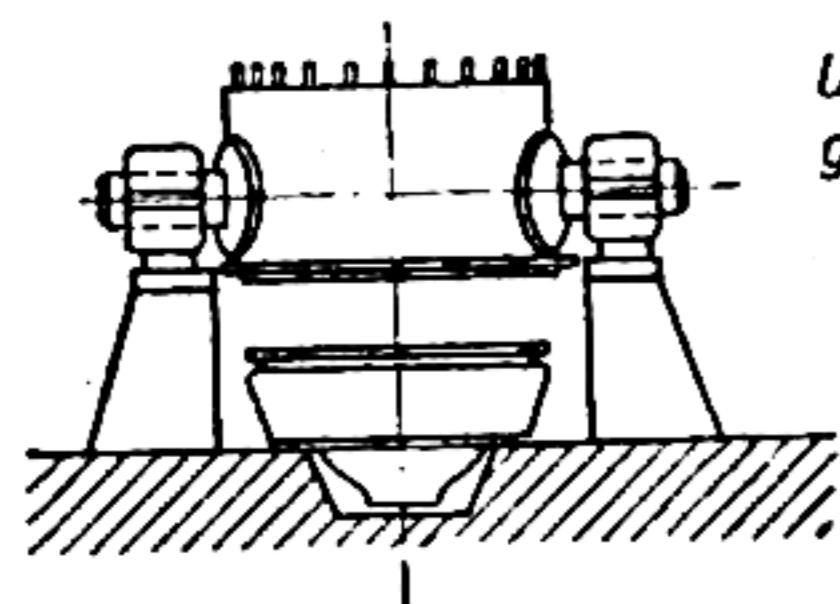
Tak jak w poprzednich operacjach podnoszenie i opuszczanie wirnika na wózki odbywa się za pomocą dźwigników. Wirnik w ten sposób transportowany (bez opływki) waży do 370 T. Stąd obciążenie jednej osi wózka (sto-



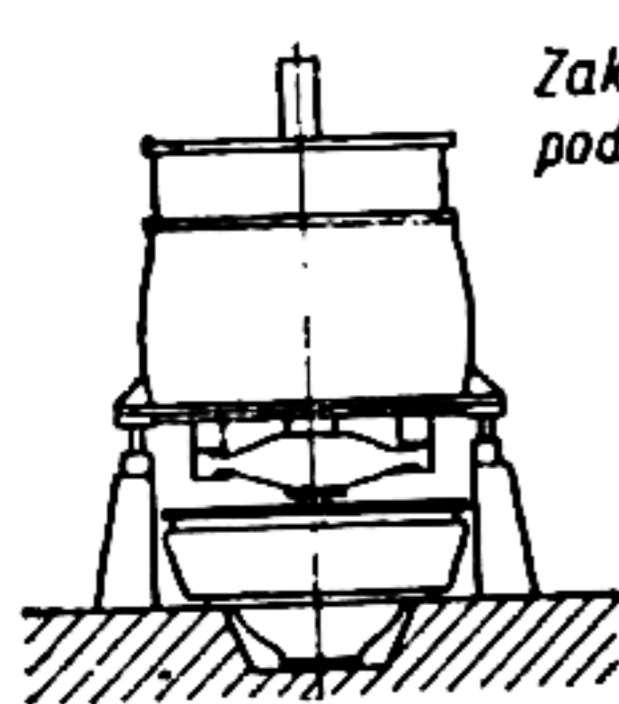
Zakładanie azwigni wraz ze strzemionami i śrubami z uchami, zakładanie czopów



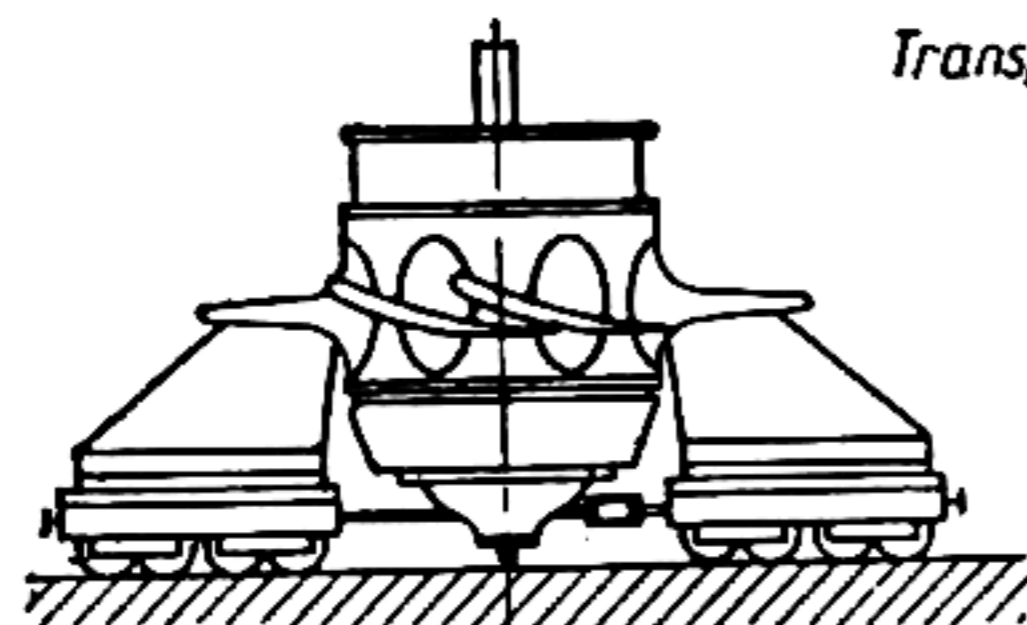
Odwracanie piasty wirnika za pomocą specjalnego urządzenia obrotowego



Umieszczenie pod piastą, jej dna oraz górnej części opływki wraz z krzyżakiem

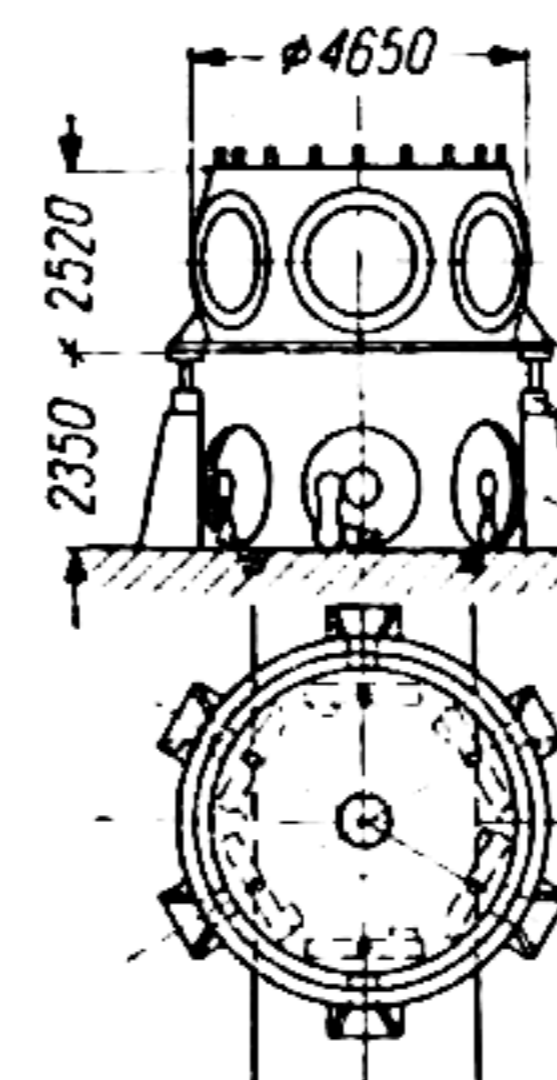


Zakładanie tłoka silownika wraz z tłoczyskiem, podciąganie krzyżaka, górnej części opływki oraz dna. Montaż łopatek



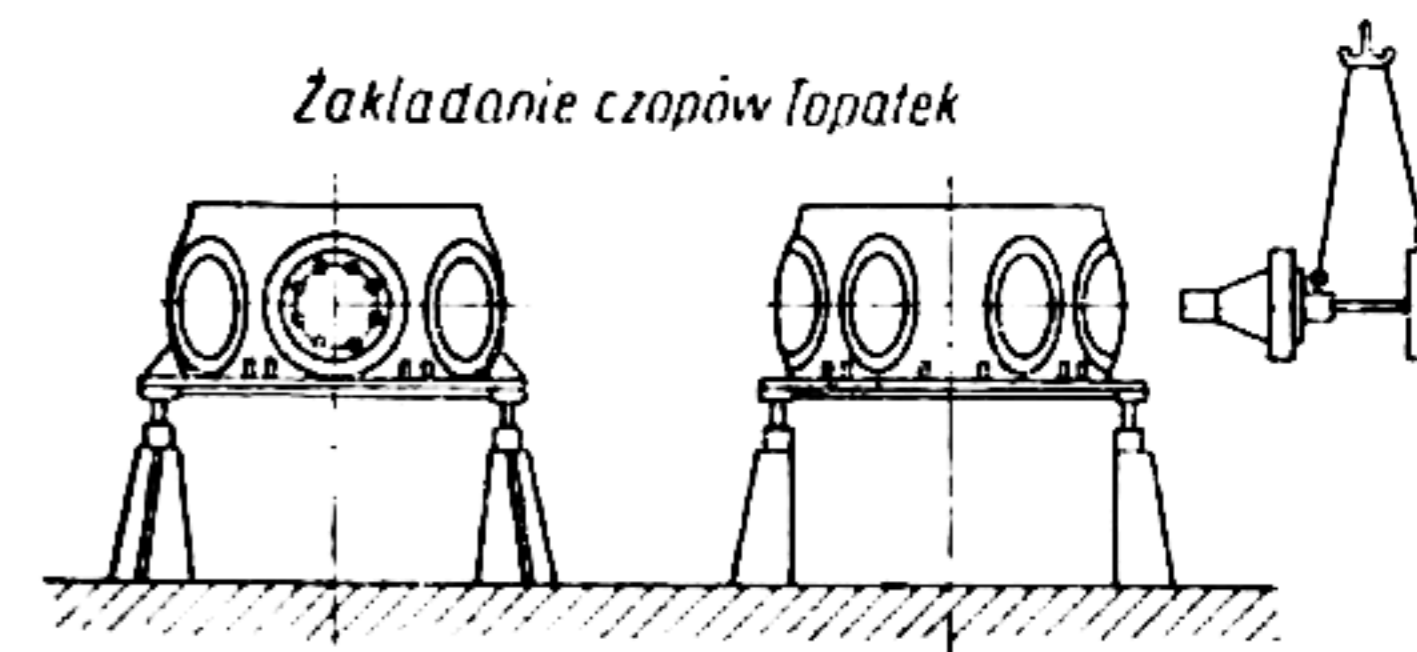
Transport wirnika

Rys. 142a. Montaż wirnika turbiny Kaplana z odwracaniem. Montaż ten przeprowadza się na placu montażowym, na zewnątrz budynku siłowni. Piastę wirnika odwraca się za pomocą specjalnego urządzenia obrotowego, zaś cały wirnik, po jego zmontowaniu, transportuje się do dźwigu siłowni opierając łopatki wirnika na specjalnych wózkach, zaopatrzonych w odpowiednie poduszki.



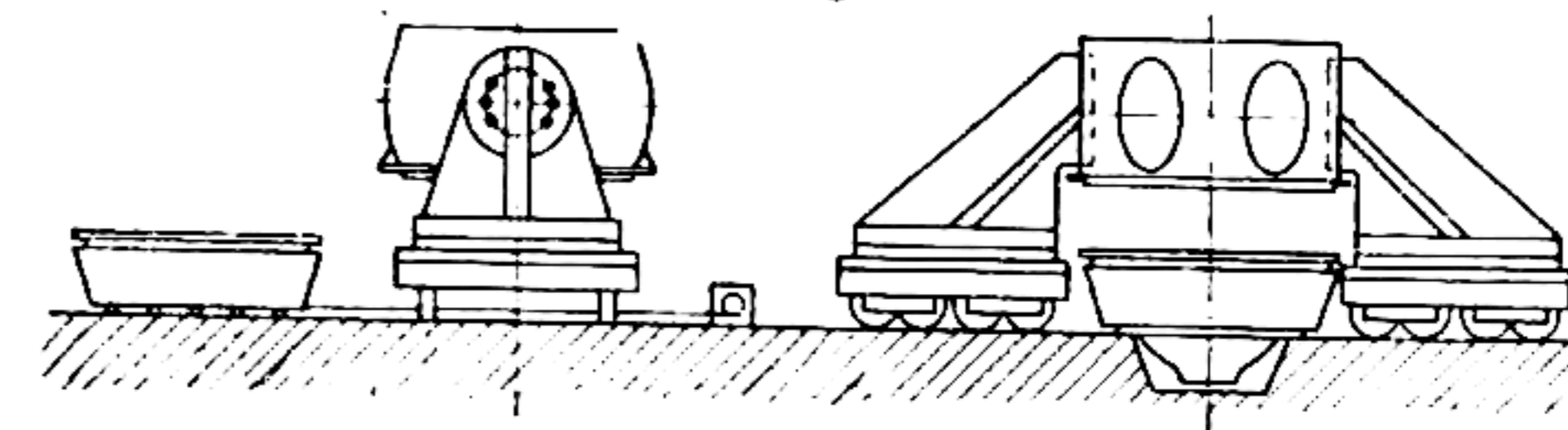
Zakładanie (od dołu po przez specjalne otwory w piastce) dźwigni wraz ze strzemionami i śrubami z uchami

Pierścień wsporczy
Dźwignik hydrauliczny
Kozioł montażowy

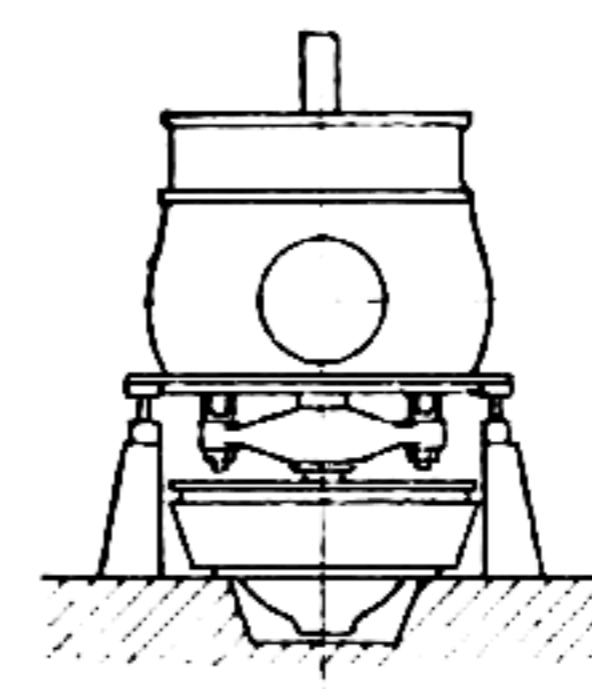


Zakładanie czopów łopatek

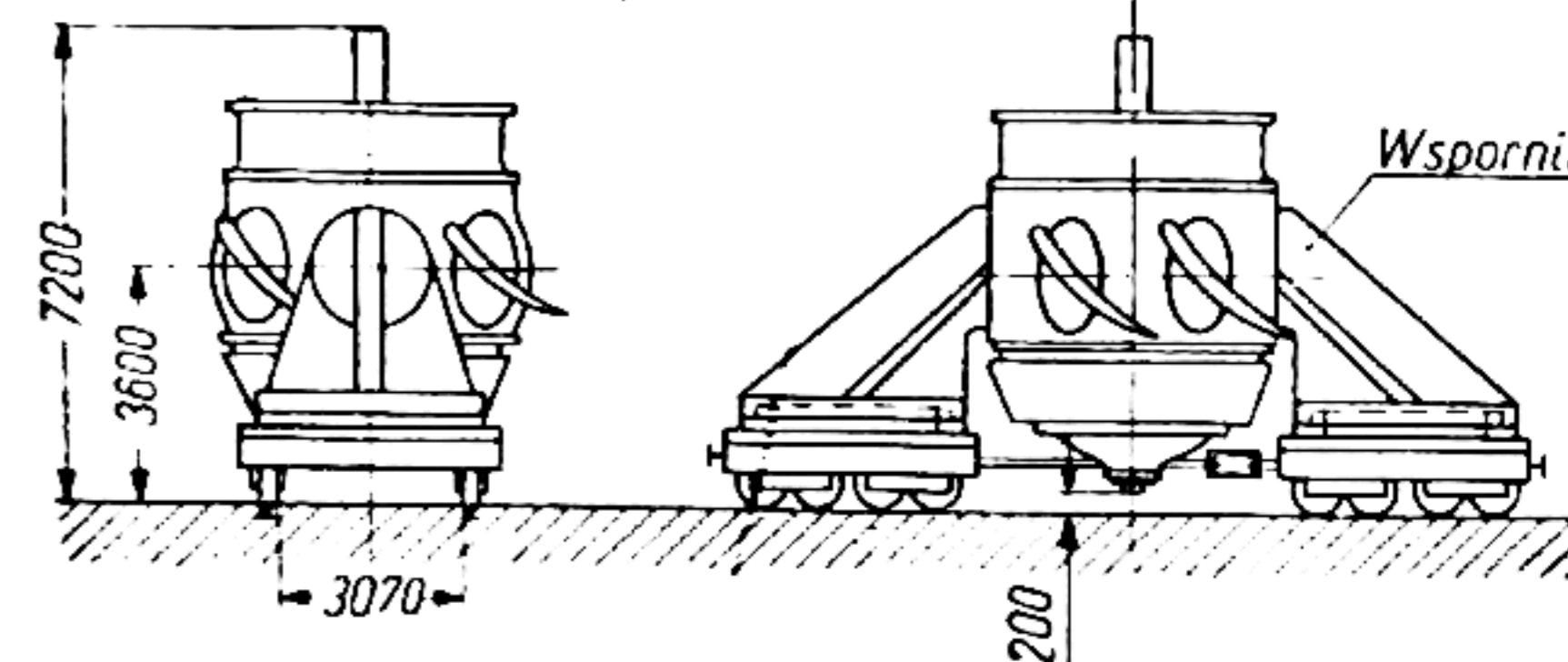
Umieszczenie pod piastą, dna piasty oraz górnej opływki wraz z krzyżakiem



Zakładanie tłoka silownika wraz z tłoczyskiem, podciąganie krzyżaka, górnej części opływki oraz dna. Montaż łopatek



Transportowanie wirnika

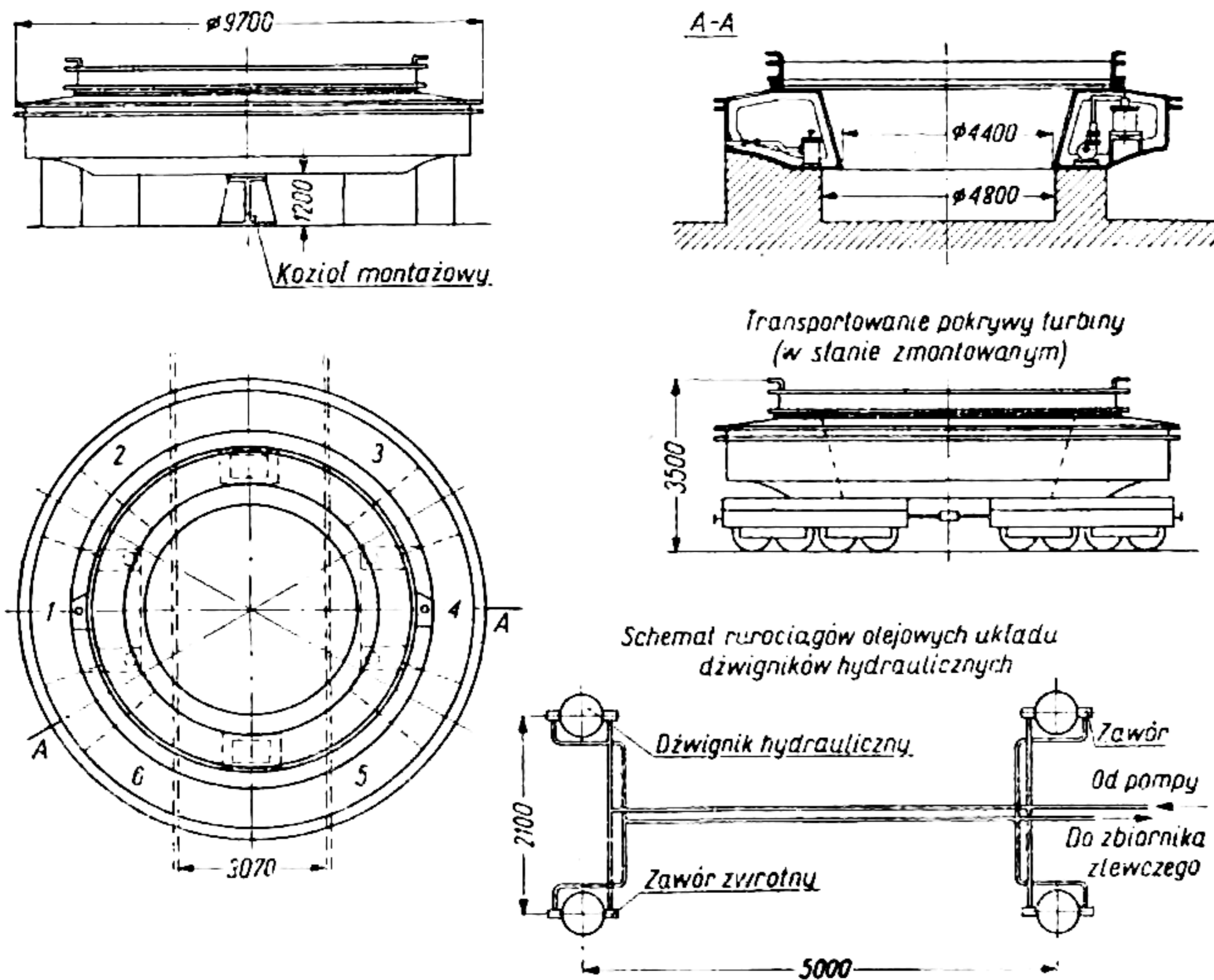


Wspornik

Rys. 142b. Montaż wirnika turbiny Kaplana bez odwracania. Montaż ten przeprowadza się na placu montażowym, na zewnątrz budynku siłowni. Piastę wirnika nie odwraca się zaś cały wirnik, po jego zmontowaniu, transportuje się do dźwigu siłowni za pomocą specjalnych wózków, zaopatrzonych w odpowiednie wsporniki.

suje się dwa wózki czteroosiowe) wynosi 46 T i nie przekracza obciążenia dozwolonego na wewnętrznych liniach kolejowych. Wirnik zdejmuje się z wózków za pomocą głównej suwnicy siłowni i po przymocowaniu opływiki opuszcza się go w zwykły sposób do jego komory.

Transportowanie kolejami szerokotorowymi (o szerokości toru 1524 mm), a zwłaszcza normalnotorowymi, wirników o średnicy 9 m, całkowicie zmontowanych oraz innych zespołów o podobnych wymiarach jest często niemożliwe. Z tego względu szerokość torów kolci, przy której zespoły takie



Rys. 143. Montaż pokrywy turbiny wraz z pierścieniem regulacyjnym oraz ich transport pod suwnicą siłowni. Montaż ten odbywa się na zewnątrz budynku siłowni

są montowane a następnie transportowane, powinna być znacznie większa. Stosowana szerokość torów 3070 mm wystarcza do bezpiecznego transportu omawianych zespołów. Wewnątrz toru 3070 mm należy umieścić tor normalny (trzecią szynę), który dawałby możliwość transportowania części bezpośrednio na miejsce montażu zespołów.

Zespół pokrywy turbiny. Zespół ten (rys. 143) składający się z pokrywy turbiny, pierścienia regulacyjnego wraz z łożem, zaworów napowietrzających oraz z innych części, montujemy również na zewnętrznym placu montażowym. Montaż przeprowadzamy na kozłach betonowych i metalowych.

Ciężar poszczególnych członów pokrywy, pierścienia regulacyjnego oraz łożyska wzdłużnego nie przekracza 20 T i z tego względu operacje dźwigowo-transportowe nie przedstawiają w tym przypadku żadnych trudności.

Cały zespół pokrywy ważący około 160 T podnosi się za pomocą dźwigniów, usuwa się kozły montażowe a następnie zespół w stanie zmontowanym opuszcza się na wózki i transportuje go pod suwnicę siłowni. Za pomocą tej suwnicy zdejmuje się następnie zespół z wózka i w całości opuszcza na właściwe miejsce.

Podany powyżej sposób transportu zespołu pokrywy oraz zespołu wirnika wymaga, aby w przypadku gdy suwnica znajduje się wewnątrz budynku siłowni, do wnętrza jego doprowadzone były drogi dojazdowe oraz aby budynek ten zaopatrzony był w prowizoryczną bramę o odpowiedniej szerokości. Odległość omawianych dróg od ściany budynku (stupów podsuwnicowych) powinna wynosić około 5,5 m.

Olejowy zespół ciśnieniowy. Olejowy zespół ciśnieniowy konstrukcji Leningradzkich Zakładów Metalowych im. Stalina posiada następujące wymiary: długość około 7 m, szerokość 3,5 m, wysokość 3 m (bez olejowego zbiornika ciśnieniowego). Zespół ten również należy zmontować w całości na placu montażowym i przetransportować go na zwykłej kolejowej platformie na miejsce ustawienia. W celu uniknięcia zanieczyszczenia zespołu przy ustawianiu i betonowaniu, należy go starannie okryć płachtą brezentową lub drewnianą obudową.

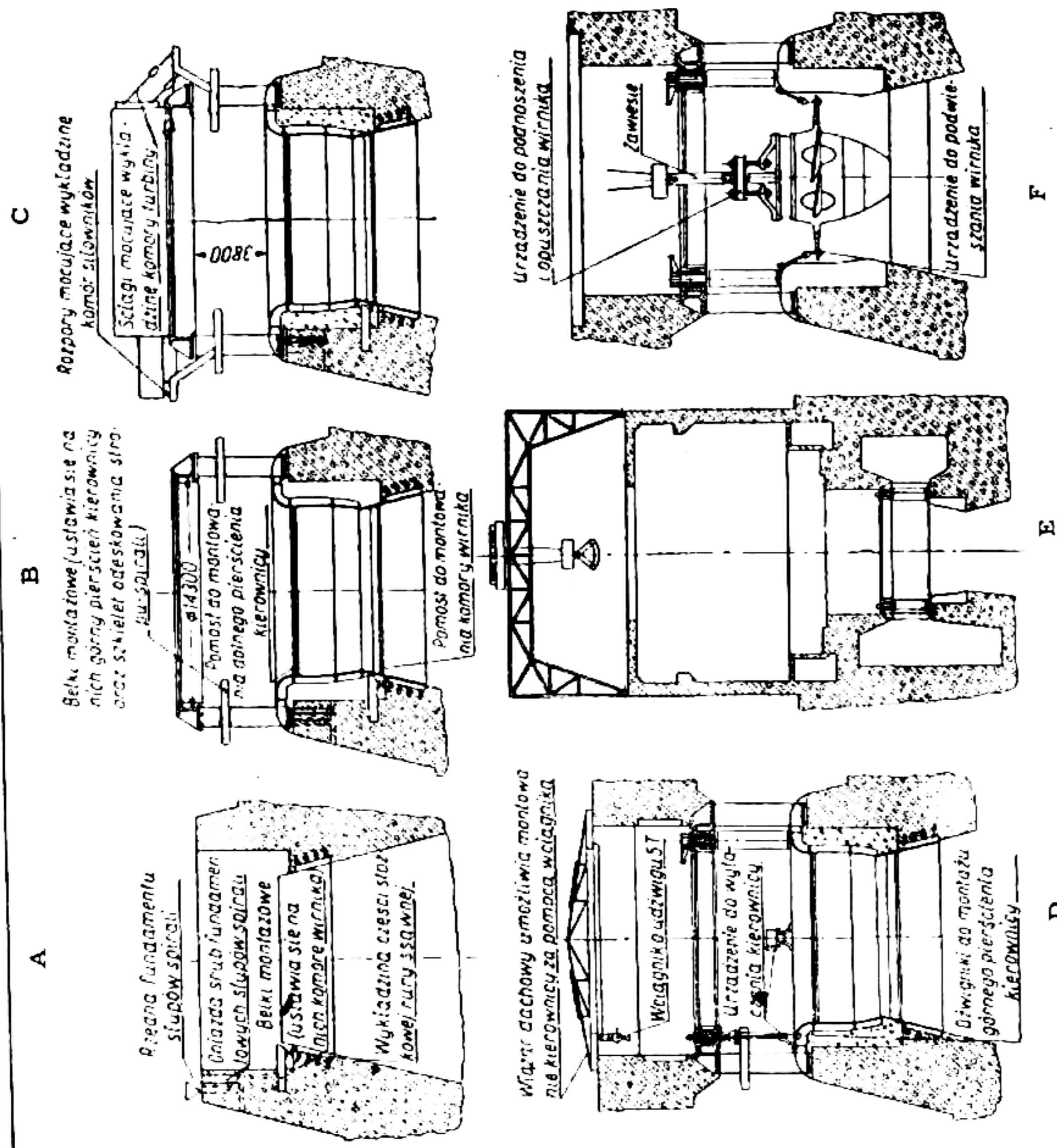
Wszystkie pozostałe zespoły turbiny są znacznie mniejsze i lżejsze, tak, że ich montaż na placu montażowym nie przedstawia jakichkolwiek trudności.

Prądnice turbozespołów wodnych. Jak widzimy z harmonogramu (rys. 141) prądnice te montuje się również metodą potokową. Pewne zespoły prądnicy mogą być montowane oraz podlegać kontroli na zewnętrznym placu montażowym a następnie mogą być transportowane do budynku siłowni dopiero bezpośrednio przed ich ustawieniem na miejscu. Jednak wielkie zespoły: stojan, układ wirujący, górny krzyżak, z powodu ich ogromnych ciężarów i wymiarów powinny być montowane na placach montażowych, znajdujących się w strefie obsługiwanej przez suwnice siłowni.

Stojany prądnice montowane są zazwyczaj bezpośrednio na miejscu ich zainstalowania. Tworniki prądnicy należy montować na placu montażowym. Na placu tym zgodnie z harmonogramem montażu potokowego znajdują się w trakcie montażu stale dwa tworniki. Po zmontowaniu każdego twornika, montuje się górny krzyżak danego turbozespołu. Cykl montażu tego krzyżaka mieści się w okresie czasu od chwili ukończenia montażu poprzedniego twornika aż do chwili rozpoczęcia na danym miejscu montażu następnego twornika.

Główne etapy robót budowlano-montażowych pokazano na rys. 144.

Organizacja montażu potokowego. W odróżnieniu od zwyczajnej organizacji, w której brygady montażowe z reguły wykonują całość robót dotyczących instalacji turbinowej, przy metodzie potokowej brygady te należy



Rys. 144. Główne etapy robót budowlano-montażowych. A — stan robót budowlanych przed przystąpieniem do montażu dolnego zespołu części fundamentowych; B — ustawianie stojana oraz montaż dolnego zespołu części fundamentowych; C — montaż górnego zespołu części fundamentowych; D — montaż górnego pierścienia kierownicy oraz wytaczanie i montaż kierownicy; E — ustawianie wirnika; F — ustawianie wirnika.

organizować na podstawie zasady nieprzerwanego montażu zespołów. W tym celu najlepiej jest utworzyć oddzielne oddziały montażowe, a mianowicie oddział montażu części fundamentowych, oddział montażu kierownicy, oddział robót na zewnętrznym placu montażowym, oddział montażu turbiny, oddział montażu mechanizmów regulacyjnych i oddział montażu prądnicy.

Przy metodzie potokowej terminy, w których mają być dostarczane poszczególne zespoły instalacji siłowni wodnych powinny być ściśle uzgodnione z przyjętym harmonogramem robót, gdyż w przeciwnym przypadku przebieg robót potokowych może być naruszony. W ten sposób realizacja potokowej metody montażu przy ścisłej technologicznej współzależności poszczególnych elementów turbos zespołów (turbiny wodnych, prądnic, pomocniczych urządzeń elektrowni wodnej) i w połączeniu z robotami budowlanymi wymaga łącznego opracowania wszystkich zagadnień przy czynnym udziale dostawców urządzeń oraz organizacji montażowej projektowej i budowlanej.

Montaż zespołów w wytwórniach. Metoda pracy polegająca na montowaniu i wypróbowywaniu poszczególnych zespołów oraz mechanizmów w wytwórniach i na dostarczaniu tych zespołów i mechanizmów bezpośrednio na plac budowy, powinna zapewnić możliwość ich zamontowania bez uprzedniej kontroli, montażu kontrolnego oraz bez większych robót dopasowawczych. Zespoły układu regulacyjnego, serwomotory kierownicy itp. powinny być próbowane w warunkach odpowiadających możliwie dokładnie warunkom roboczym, a następnie, po zaplombowaniu, w stosownym opakowaniu wysyłane na budowę. Demontowanie oraz kontrola na miejscu montażu zespołów układu regulacyjnego nie są konieczne pod warunkiem, że zespoły te były starannie magazynowane.

Jak wiadomo rurociągi układu regulacyjnego dostarczane są w postaci półproduktów, tj. w postaci poszczególnych rur, zaś ich dopasowanie, gięcie, montaż, spawanie, dodatkowa obróbka kołnierzy i próby hydrauliczne wykonywane są na miejscu zainstalowania. Cykl montażu tych rurociągów zazwyczaj mieści się w czasie, w którym wykonywane są operacje przy montowaniu siłowników kierownicy oraz mechanizmów układu regulacyjnego.

Przy montażu potokowym skrócenie cyklu montażu mechanizmów roboczych oraz układu regulacyjnego może być uwarunkowane robotami rurociągowymi. W związku z tym rurociągi układu regulacyjnego należy wykonywać według rysunków i całkowicie w wytwórni oraz tamże przeprowadzić próby hydrauliczne. Rury powinny być przygotowane według dokładnych szablonów, zaś możliwe odchyłki na długości mogą być kompensowane przez dopasowanie na miejscu zainstalowania jednego lub dwóch ogniw w każdej gałęzi rurociągu, co powinno być przewidziane w konstrukcji.

Stosowane zazwyczaj wytaczanie kierownicy na miejscu jej zainstalowania daje możliwość skompensowania powstałych uprzednio odkształceń jej pierścieni. Jednak w warunkach potokowej metody montażu, gdy roboty

budowlane i montażowe przebiegają jednocześnie, przeprowadzenie tej operacji wywołałoby pewne trudności. W związku z tym pożądane jest aby kierownicę wytaczając w wylwórni, zaś dla skompensowania ewentualnych odkształceń, stwierdzonych na miejscu zainstalowania, w konstrukcji należy przewidzieć możliwość uzgodnienia osi łożysk łopatek kierowniczych.

2. Montaż potokowy odbywający się niezależnie od robót budowlanych przy użyciu dodatkowego placu montażowego znajdującego się poza obrębem budynku elektrowni wodnej

W przypadku montażu tego rodzaju (harmonogram jego oznaczony liczbą 2 pokazano na rys. 141) przewiduje się, że wszystkie części turbozespołu montowane są dopiero po wykończeniu w stanie surowym bloku turbinowego i po uruchomieniu suwnicy siłowni; montaż części fundamentowych oraz kierownicy nie odbywa się więc jednocześnie z robotami budowlanymi. W tym przypadku kolejność montażu jest zwykła: najpierw za pomocą suwnicy siłowni w przygotowanych uprzednio gniazdach montuje się części fundamentowe, a następnie robocze mechanizmy turbiny (w tym kierownicę) oraz mechanizmy prądnicy.

Jednocześnie z montowaniem części na miejscu ich zainstalowania montuje się zespoły instalacji na placu montażowym tworząc z nich wielkie bloki, a oprócz tego zespoły te montuje się na dodatkowym placu montażowym, poza obrębem siłowni, analogicznie jak w metodzie podanej w opisie montażu potokowego, odbywającego się jednocześnie z robotami budowlanymi.

W harmonogramie 2 nie uwzględniono montażu stojana spirali. W danym przypadku stojan montuje się podczas budowy spirali, na długo przed montażem turbiny, co ma na celu umożliwienie dalszej budowy bloku turbinowego. Rozpatrywany tutaj sposób montażu potokowego różni się więc tym od sposobu opisanego uprzednio, odbywającego się jednocześnie z robotami budowlanymi, że do montowania części fundamentowych przystępuje się po ukończeniu robót budowlanych związanych z blokiem turbinowym, torami podsuwnicowymi i po uruchomieniu dźwigu w siłowni.

3. Montaż potokowy odbywający się niezależnie od robót budowlanych, przy użyciu dodatkowego placu montażowego znajdującego się wewnątrz budynku elektrowni wodnej

W przypadku montażu tego rodzaju, wyobrażonym na harmonogramie 3 (rys. 141), przewiduje się, że wszystkie części turbozespołu montowane są dopiero po wykończeniu w stanie surowym bloku turbinowego i po uruchomieniu suwnicy elektrowni wodnej, a więc analogicznie do harmonogramu 2. Stosowanie tego rodzaju montażu może być niezbędne w razie niemożności wydzielenia i urządzenia na zewnątrz elektrowni dodatkowego placu montażowego, przeznaczonego do montowania wielkich zespołów. W takich oko-

licznościach jako dodatkowy plac montażowy, niezbędny dla zabezpieczenia prawidłowego przebiegu montażu potokowego, wydziela się kilka pierwszych szybów turbinowych zakrywając je za pomocą specjalnych pokryw o konstrukcji stalowej.

W warunkach, w których odbywa się montaż rozpatrywanej elektrowni wodnej, pod dodatkowy plac montażowy przeznaczony do montowania dużych zespołów należy wydzielić co najmniej trzy szyby. Przed przykryciem wydzielonych szybów należy zmontować w nich części fundamentowe, tak jak to przewidziano w harmonogramie 3. Mechanizmy robocze montuje się w odwrotnym porządku, po zamontowaniu turbin w pozostałych szymbach.

O ile dodatkowy plac montażowy znajduje się wewnątrz elektrowni, to zakres operacji dźwigowo-transportowych wykonywanych przez dźwigi elektrowni powiększa się, natomiast w przypadku gdy plac ten położony jest na zewnątrz elektrowni — znaczny zakres omawianych robót wykonywany jest przy pomocy dźwigów budowlanych. W związku z tym w elektrowni potrzebna jest większa ilość dźwigów niż wówczas, gdy montaż odbywa się innymi metodami (punkt 1 i 2).

Harmonogram montażu potokowego. Harmonogram ten unaocznia skoordynowanie prac budowlanych z pracami montażowymi, zakres — równoległego z montażem — wielkoblokowego montażu zespołów, przeprowadzanego na placu montażowym znajdującym się na zewnątrz elektrowni (harmonogramy 1 i 2) oraz wewnątrz niej (harmonogram 3), a oprócz tego — technologiczną współzależność montażu turbin i prądnic.

Czas potrzebny na przeprowadzenie operacji montażowych określony został w założeniu daleko posuniętej mechanizacji procesów pracochłonnych. Czas potrzebny na przeprowadzenie robót budowlanych przyjęto orientacyjnie.

Kolejne operacje określające cykl robót montażowych oznaczone zostały na harmonogramach cyframi arabskimi, zaś operacje równoległe — cyframi rzymskimi. Montaż urządzeń zaznaczony jest liniami ciągłymi, roboty budowlane — liniami przerywanymi.

Operacje kolejne obejmują:

- 1 — montaż stojana turbiny oraz dolnego zespołu części fundamentowych;
- 1' — montaż dolnego zespołu części fundamentowych;
- 2 — betonowanie ścian spirali, zabetonowywanie w odpowiednich gniazdach dolnego zespołu części fundamentowych, budowa szkieletu odeskowania na poziomie pułapu spirali;
- 2' — zabetonowanie dolnego zespołu części fundamentowych;
- 3 oraz 3' — montaż górnego zespołu części fundamentowych;
- 4 — betonowanie bloku turbiny aż do wysokości rzędnej łoża prądnicy;
- 4' — zabetonowanie górnego zespołu części fundamentowych;
- 5 — betonowanie stropów pośrednich oraz budowa torów podsuwnicowych;
- 5' — montaż kierownicy;

6 oraz 6' — montaż wirnika, wału, pokrywy turbiny oraz kadłuba łożyska poprzecznego turbiny, pierścienia regulacyjnego, siłowników kierownicy i łożyska wzdłużnego;

7 oraz 7' — montaż wału i twornika prądnicy, centrowanie i sprzęganie wałów, sprawdzenie wspólnej linii wałów turbozespołu;

8 oraz 8' — montaż górnych części prądnicy oraz zasilacza olejowego wraz z rurociągami i przekładnią;

9 oraz 9' — wyregulowanie mechanizmów, próby rozruchowe turbozespołu.

Operacje równoległe obejmują:

I — przygotowanie do betonowania ścian spirali (założenie uzbrojenia, odeskowanie);

I' — montaż górnego pierścienia regulacyjnego (na placu montażowym lub na zewnątrz elektrowni);

II — uzbrojenie i odeskowanie pułapu spirali;

III — założenie pokrywy szybu turbiny i montaż kierownicy;

IV oraz II'' — montaż wirnika na placu montażowym wewnątrz siłowni lub na zewnątrz niej;

V oraz III' — montaż zespołu pokrywy turbiny wraz z pierścieniem regulacyjnym, jego łożem i łożyskiem oporowym (na placu montażowym, na zewnątrz lub wewnątrz siłowni);

VI oraz VI' — montaż zespołów układu regulacyjnego (na placu montażowym, na zewnątrz lub wewnątrz siłowni);

VII oraz IV' — montaż twornika prądnicy (na placu montażowym) i montaż stojana na miejscu jego zainstalowania;

VIII oraz V' — montaż górnego krzyżaka (na placu montażowym, na zewnątrz lub wewnątrz siłowni) i przygotowanie górnych części prądnicy.

Na harmonogramie 1 (operacje 1 i 3) terminy montażu części fundamentowych naniesione są warunkowo. Terminy te powinny być ściśle ustalone i w związku z jednoczesnym wykonywaniem robót budowlanych oraz montażowych powinny odpowiadać kalendarzowym terminom betonowania rur ssawnych oraz spirali.

4. Porównanie różnych metod montażu potokowego

Wybór najlepszej metody montażu potokowego powinien być określony w oparciu o konstrukcję turbozespołów oraz o konkretne warunki budowlane z uwzględnieniem ewentualnych zmian na poszczególnych etapach montażu. W związku z tym podczas opracowywania roboczego projektu montażu może okazać się celowe połączenie poszczególnych elementów opisanych tutaj metod potokowych lub opracowanie nowej metody, opartej na nowych organizacyjnych i technologicznych podstawach. Z tego względu omówione tutaj metody potokowe nie mogą wyczerpywać zagadnienia.

Analiza metod montażu potokowego, unaocznionych w harmonogramach (rys. 141), pozwala na wysnucie następujących wniosków:

1) Dodatkowe koszty urządzenia drugiego placu montażowego na zewnątrz siłowni — niezbędne dla zabezpieczenia przebiegu montażu potokowego stosownie do harmonogramów 1 i 2 konieczne są również w celu zrealizowania robót według harmonogramu 3. Na koszty te składają się koszty dodatkowych suwnic o dużym udźwigu, koszty konstrukcji stalowych pokryw — do zakrycia szybów turbinowych oraz inne koszty.

2) Do chwili ukończenia pierwszego cyklu robót budowlanych, tj. do chwili ukończenia betonowania bloku do wysokości poziomu górnej wody i przed rozpoczęciem zatapiania podwodnej części siłowni wodnej będą zmontowane, stosownie do harmonogramu 1, wszystkie części fundamentowe (w związku z jednoczesnym prowadzeniem robót budowlanych i montażowych), co podczas montażu tych części wyklucza potrzebę stosowania zastawek wodoszczelnych. Natomiast o ile roboty prowadzone są według harmonogramów 2 i 3 konieczne są zastawki oraz urządzenia odwadniające, zabezpieczające możliwość kontynuowania montażu po zatopieniu.

3) Połączenie montażu części fundamentowych oraz montażu kierownicy z robotami budowlanymi (harmonogram 1) pozwala na zmontowanie tych części przed ukończeniem robót budowlanych na danym bloku turbinowym i tym samym na realizację około 45% robót z ogólnego cyklu montażowego, podczas gdy według harmonogramów 2 oraz 3 montaż rozpoczyna się dopiero po przygotowaniu bloku turbinowego.

4) Montaż górnego zespołu części fundamentowych, realizowany według harmonogramu 1 metodą „bezniazdową“, ułatwia oraz przyspiesza prace budowlane, podczas gdy, stosownie do harmonogramów 2 oraz 3, górny zespół montuje się w gnieździe.

5) W dowolnej fazie budowy, stosownie do harmonogramu 1, będzie zmontowana i przygotowana do uruchomienia znacznie większa ilość turbozespołów niż według harmonogramów 2 oraz 3; wynika to z wykresu podającego zależność pomiędzy przebiegiem montażu i stanem budowy. Wykres ten pokazano na rys. 141.

Na przykład do chwili ukończenia budowy bloku dziewiątego, jednocześnie z przygotowaniem do ruchu — według harmonogramu 1 — głównej suwnicy (początek operacji 6), będzie całkowicie zmontowanych i będzie mogło być uruchomionych siedem turbozespołów, natomiast według harmonogramu 2 — tylko cztery turbozespoły, zaś według harmonogramu 3 — jeden turbozespół. Po przygotowaniu dwunastego bloku turbinowego, według harmonogramu 1 będzie zmontowanych osiemnaście turbozespołów, według harmonogramu 2 — piętnaście turbozespołów i według harmonogramu 3 — dwanaście turbozespołów.

6) Montaż dowolnego turbozespołu, w tej liczbie ostatniego (w rozpatrywanym przykładzie — dwadzieścia turbozespołów), będzie zakończony według harmonogramu 1 o 58 dni wcześniej niż według harmonogramu 2 i o 143 dni wcześniej niż według harmonogramu 3.

7) Jednoczesne prowadzenie, stosownie do harmonogramu 1, robót budowlanych i montażowych komplikuje oraz podraża te roboty w porównaniu z harmonogramami 2 i 3, według których roboty budowlane i montażowe

wykonywane są kolejno. Jednak ogromne wymiary gabarytowe bloków turbinowych pozwalają przy odpowiedniej organizacji na równoległe prowadzenie robót budowlanych i montażowych bez szczególnych przeszkód.

O ile chodzi o zwiększenie kosztów robót montażowych wskutek powiększenia pracochłonności montażu części fundamentowych oraz montażu kierownicy, to zwiększenie to w porównaniu z wartością energii elektrycznej wyprodukowanej przez turbozespół uruchomiony przed przewidzianym terminem jest bardzo małe.

Z powyższych wywodów widzimy, że montaż potokowy, skoordynowany z robotami budowlanymi, przy użyciu dodatkowego placu montażowego na zewnątrz siłowni (rys. 1), na ogół stwarza najlepsze warunki do ekonomicznego rozwiązania budowy szybkościowej.

Rozdział X

WYREGULOWANIE ORAZ PRÓBY ROZRUCHOWE TURBIN WODNYCH

§ 42. KOLEJNOŚĆ PRÓB ROZRUCHOWYCH

Próby rozruchowe turbin wodnych wykonuje się w dwóch etapach: bezpośrednio po ukończeniu montażu turbozespołu przeprowadza się właściwe próby rozruchowe, a następnie próby a właściwie badania dla znalezienia sprawności. Badania te mające na celu sprawdzenie zgodności sprawności rzeczywistych ze sprawnościami gwarantowanymi przez wytwórnę, z powodu pracochłonności tych badań oraz ich długotrwałości przeprowadzane są później, już po pewnym okresie eksploatacji i z reguły dotyczą nie więcej niż dwóch turbin danej siłowni.

Obecnie rozpatrzmy próby pierwszego etapu, tj. próby rozruchowe. Próby te mają na celu sprawdzenie jakości konstrukcji, wykonania, montażu, wyregulowania instalacji turbinowej oraz jej zgodności z danymi gwarancyjnymi wytwórni. Od wyników prób rozruchowych uzależnione jest ewentualne stwierdzenie, czy instalacja jest gotowa do oddania do eksploatacji.

Podczas prób rozruchowych dokonuje się oględzin, sprawdzenia oraz ostatecznego wyregulowania całej instalacji turbinowej, a oprócz tego oględzin i sprawdzenia tych elementów budowli, jak również pomocniczego wyposażenia siłowni, które wpływają na warunki pracy turbiny.

Próby rozruchowe przeprowadza organizacja montażowa pod kierownictwem technicznym wytwórni dostarczającej urządzenia i według uprzednio uzgodnionego programu oraz zgodnie z technicznymi warunkami tej wytwórni, przepisami technicznej eksploatacji i stosownie do posiadanego wyposażenia turbiny.

Do ogólnego kierowania wszystkimi próbami rozruchowymi całej instalacji turbozespołu i siłowni powołuje się zazwyczaj pod koniec montażu komisję, w skład której wchodzi przedstawiciele organizacji montażowych wytwórni dostarczających instalacje oraz przedstawiciele budownictwa i eksploatacji.

W celu uniknięcia uszkodzeń oraz otrzymania kompletnych i wiarygodnych danych, wyregulowywanie oraz próby rozruchowe powinny odbywać się przy uwzględnieniu wymagań technicznych i kolejno w następujących fazach:

- 1) przed zalaniem urządzeń doprowadzających wodę do turbiny;
- 2) po zalaniu tych urządzeń, lecz przy turbinie jeszcze nieczynnej;
- 3) podczas jałowego biegu turbiny;
- 4) podczas pracy turbiny pod obciążeniem.

Wyniki prób przedrozruchowych przeprowadzanych podczas montażu i wyregulowywania mechanizmów instalacji turbinowej, powinny być utrwalone w postaci odpowiednich dokumentów (protokołów, aktów itd.) i przedstawione komisji rozruchowej. Po ukończeniu wszystkich prób komisja ta sporządza akt odbiorczy turbozespołu, który stanowi podstawę dla przekazania turbiny do eksploatacji. Do aktu dołączyć należy dokumentację techniczną, sporządzoną w pośrednich fazach montażu oraz wszystkie protokoły prób.

§ 43. WYREGULOWANIE TURBINY WODNEJ PRZED JEJ URUCHOMIENIEM ORAZ PRÓBY POSZCZEGÓLNYCH ZESPOŁÓW TURBINY

1. Próby i sprawdzenie instalacji przed napełnieniem wodą urządzeń doprowadzających wodę do turbiny

Przed uruchomieniem turbiny do jej układu regulacyjnego wprowadza się olej, tak aby wszystkie rurociągi i serwomotory były całkowicie napełnione, zaś w zbiorniku ciśnieniowym oraz w zbiorniku zlewczym zespołu olejowego ciśnieniowego poziom oleju znajdował się na normalnej wysokości. W zbiorniku zlewczym poziom ten kontrolujemy na skali wskaźnika poziomu oleju, podobnie zresztą jak w zbiorniku ciśnieniowym. Przy napełnianiu należy powoli podnosić ciśnienie, poczynając od 5 kG/cm² i za pomocą sterowania ręcznego kilka razy przesunąć siłowniki w ich skrajne położenia; ma to na celu wyparcie powietrza z układu regulacyjnego, gdyż obecność jego w tym układzie stanowi przeszkodę przy wyregulowywaniu i może doprowadzić do kompletnego rozstrojenia regulacji turbiny.

Przystępując do wyregulowania mechanizmów należy przestudiować na podstawie posiadanych rysunków i warunków technicznych schemat działania mechanizmów turbiny i regulacji. Należy zapamiętać kierunek ruchu organów regulacyjnych przy zamykaniu i otwieraniu: kierownicy, łopatek wirnika, upustów jałowych i odchylaczy strug.

W regulatorach typu YK oraz w kombinatorach, przesunięcia mechanizmów odpowiadają następującym położeniom:

- a) suwak wraz z siłownikiem pomocniczym i głównym suwakiem rozdzielczym skrzynki sterowniczej YK-100 oraz YK-150 przy zamykaniu kierownicy przesuwają się w dół;
- b) suwak regulacji ręcznej przesuwają się przy zamykaniu w górę;
- c) wał wyłącznika (wał odwodzący) w chwili ruchu tłoka siłownika kierownicy powodującego jej zamykanie, obraca się w kierunku wskaźników zegara, o ile patrzymy w kierunku przedniej ściany skrzynki sterowniczej.

Pełny kąt obrotu wału wynosi około 60°. Wskazówka głównego wskaźnika znajduje się w swych skrajnych położeniach wówczas, gdy wał wyłącznika znajduje się również w skrajnych położeniach;

d) tłoczek oraz tuleja mechanizmu izodromowego (katarakty) w chwili ruchu tłoka siłownika kierownicy powodującego jej zamykanie przesuwają się w dół;

e) wszystkie kółka ręczne oraz wskazówki przyrządów kontrolnych znajdujących się na skrzynce przy przemykaniu kierownicy obracają się zgodnie z ruchem wskaźników zegara;

f) suwak pomocniczego siłownika kombinatora oraz jego suwak główny przy przemykaniu łopatek wirnika przesuwają się do góry.

Przed przystąpieniem do wyregulowywania, sprawdzania oraz do prób zmontowanych zespołów i mechanizmów należy przekonać się, czy zamknięcia lub zasuwki umieszczone na kanale względnie na rurociągu dopływowym turbiny zostały należycie zamknięte.

A. Wyregulowanie i próby mechanizmów ciśnieniowego zespołu olejowego

Zbiornik olejowy ciśnieniowy. Zbiornik ten, zgodnie z przepisami Dozoru Kociołków, poddaje się próbie wodnej stosując przy tym ciśnienie 1,6 razy większe niż ciśnienie nominalne (§ 36).

Olej zawarty w układzie regulacyjnym. Olej ten poddaje się analizie; powinien on odpowiadać wymaganiom wskazanym przez wytwórnictwo (tabl. 57).

Pompy olejowe. Pompy próbuje się przy ciśnieniu normalnym, przy którym w normalnym stanie ruchu powinny pracować bez zarzutu przez trzy godziny. O ile brak jest danych z prób przeprowadzonych w wytwórnicy, można dodatkowo sprawdzić wydatek pomp stosując w tym celu metodę objętościową, polegającą na wtłaczaniu oleju do zbiornika ciśnieniowego i pomiarze zmiany poziomu oleju w tym zbiorniku w określonym czasie. Wydatek

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \frac{h}{t} = 0,785 \frac{D^2}{t} h \text{ l/sek}$$

gdzie: D — wewnętrzna średnica zbiornika, dm,

h — różnica poziomów oleju w zbiorniku, dm,

t — czas wtłaczania oleju do zbiornika, sek.

Zawory przelewowe. Przy próbie tych zaworów mierzymy zachodzący w nich spadek ciśnienia, który nie powinien być większy od 6 do 10% ciśnienia nominalnego. Spadek ten reguluje się za pomocą śruby dławiącej.

Zawory bezpieczeństwa. W zaworach bezpieczeństwa określamy ciśnienie powodujące ich otwarcie. Ciśnienie to powinno być większe od nominalnego o 1,5 do 2 kG/cm². Regulacja zaworów polega na zmianie napięcia sprężyn. Otwarty zawór bezpieczeństwa powinien przepuścić cały wydatek pompy olejowej, przy czym ciśnienie w zbiorniku ciśnieniowym nie powinno wzrosnąć więcej niż o 4 kG/cm².

Czujnik (przełącznik) ciśnienia awaryjnego. W czujniku tym należy sprawdzić jego nastawienie, przy którym on reaguje. Należy również sprawdzić działanie mechanizmów włączających mechanizm awaryjnego unieruchomienia turbiny i sygnalizację. Próby przeprowadzamy przez zmniejszenie ciśnienia w zbiorniku olejowym. Nastawienie czujnika określamy z warunku najmniejszego ciśnienia, przy którym kierownica zamyka się. Ciśnienie to wynosi zazwyczaj ok. 14 kG/cm².

Czujnik (przełącznik) ciśnienia granicznego. Ustalamy nastawienie czujnika, sprawdzamy włączanie pompy zapasowej oraz sygnalizacji. Próby przeprowadzamy zmniejszając ciśnienie w olejowym zbiorniku ciśnieniowym o 2 do 3 kG/cm² poniżej ciśnienia nominalnego.

Sprężarka, pompa powietrzna olejowa, wskaźniki poziomów oleju w olejowym zbiorniku ciśnieniowym oraz w zbiorniku zlewczym. Sprawdzamy działanie tych mechanizmów. Pompę powietrzną olejową sprawdzamy w ten sposób, że wtłaczamy tą pompą powietrze do olejowego zbiornika ciśnieniowego w czasie pracy pompy olejowej i przy jej roboczym stanie ruchu. Objętość powietrza wtłaczanego znajdujemy na podstawie znajomości obniżenia się poziomu oleju w zbiorniku. Wydatek pompy powietrznej obliczamy tak samo, jak wydatek pompy olejowej.

Ubytek powietrza w olejowym zbiorniku ciśnieniowym. Ubytek ten określamy przy zamkniętych zaworach powietrznych i przy czynnej pompie olejowej mierząc wysokość, o którą w ciągu dwunastu godzin podnosi się poziom oleju w zbiorniku ciśnieniowym. W tym czasie poziom ten, z powodu ubytku powietrza, nie powinien podnosić się powyżej wskaźnika poziomu.

Ubytek oleju w olejowym zbiorniku ciśnieniowym. Ubytek ten określamy w ten sposób, że przy zamkniętych zaworach oraz zaworach hydraulicznych i przy odłączonej pompie znajdujemy zachodzące w ciągu ośmiu godzin: obniżenie się poziomu oleju (na wskaźniku poziomu oleju) oraz obniżenie się ciśnienia.

Należy przy tym wziąć pod uwagę ewentualność pewnego dodatkowego obniżenia się ciśnienia wskutek tego, że powietrze w zbiorniku oziębia się. W czasie tych ośmiu godzin poziom oleju w zbiorniku ciśnieniowym nie powinien obniżać się poniżej szkła wskaźnika oleju, zaś ciśnienie oleju w tymże zbiorniku nie powinno zmniejszać się więcej niż o 1,5 kG/cm².

Po przygotowaniu do pracy olejowego zespołu ciśnieniowego, przystępujemy do prób mechanizmów układu regulacyjnego.

B. Wyregulowywanie i próby mechanizmów układu regulacyjnego

Zawory i zawory hydrauliczne (rys. 124, pozycje 12, 14 oraz 15). Sprawdzamy działanie tych mechanizmów oraz sygnalizację zaworów hydraulicznych.

Zatrząsk siłownika kierownicy oraz mechanizm jego blokady hydraulicznej (rys. 124, pozycje 55, 56, 57 i 58). Sprawdzamy działanie oraz sygnalizację. Mechanizm blokady hydraulicznej sprawdzamy przez pokręcanie rączki

mechanizmu zatrząsku przy włączonej regulacji ręcznej. Gdy zatrząsk jest zamknięty, to suwak zatrząsku siłownika kierownicy powinien znajdować się w położeniu odpowiadającym, przy zamkniętej kierownicy, dociśnięciu tłoka siłownika aż do oporu.

Regulacja ręczna, mechanizm przełączania regulacji ręcznej na automatyczną, blokada hydrauliczna (rys. 124, pozycje 46, 50). Sprawdzamy działanie tych mechanizmów oraz ich sygnalizację. Tarciowy mechanizm regulacji ręcznej powinien działać bez poślizgu przy ciśnieniu oleju począwszy od 6 kG/cm² wzwyż.

Ogranicznik otwarcia oraz mechanizm zmiany prędkości obrotowej (rys. 124, pozycje 35 i 32). Sprawdzamy działanie tych mechanizmów odręczne i zdalnie. Ogranicznik otwarcia powinien zezwalać na doprowadzanie tłoka siłownika do obu jego skrajnych położen i to zarówno odręczne, jak i zdalne.

Suwak awaryjnego zamknięcia turbiny oraz ogranicznik awaryjny (rys. 124, pozycje 41 i 40). Sprawdzamy ich działanie oraz sygnalizację.

Mechanizm poprzecznego przesuwu (w zależności od wielkości spadu) krzywki kombinatora (rys. 134, pozycje 16, 19, 23). Sprawdzamy działanie sterowania odręcznego i zdalnego tych mechanizmów.

Mechanizm pokręcający łopatki wirnika (rys. 134, pozycje 17, 24). Sprawdzamy działanie sterowania odręcznego (17) i zdalnego (24).

Upust jałowy, względnie odchylacz strumienia. Sprawdzamy działanie sterowania odręcznego i zdalnego oraz zgodność wychylenia tych mechanizmów z wychyleniem wskazówki na skali.

Przekładnie układu regulacyjnego. Sprawdzamy wielkość luzów w sposób podany w § 36.

Oprócz tego sprawdzamy najmniejsze ciśnienie w olejowym zbiorniku ciśnieniowym zespołu olejowego, przy którym to ciśnieniu zamyka się kierownica i zatrząsk jej siłownika oraz zadziałują wszystkie hydrauliczne urządzenia blokujące.

C. Zdejmowanie charakterystyk organów regulacyjnych

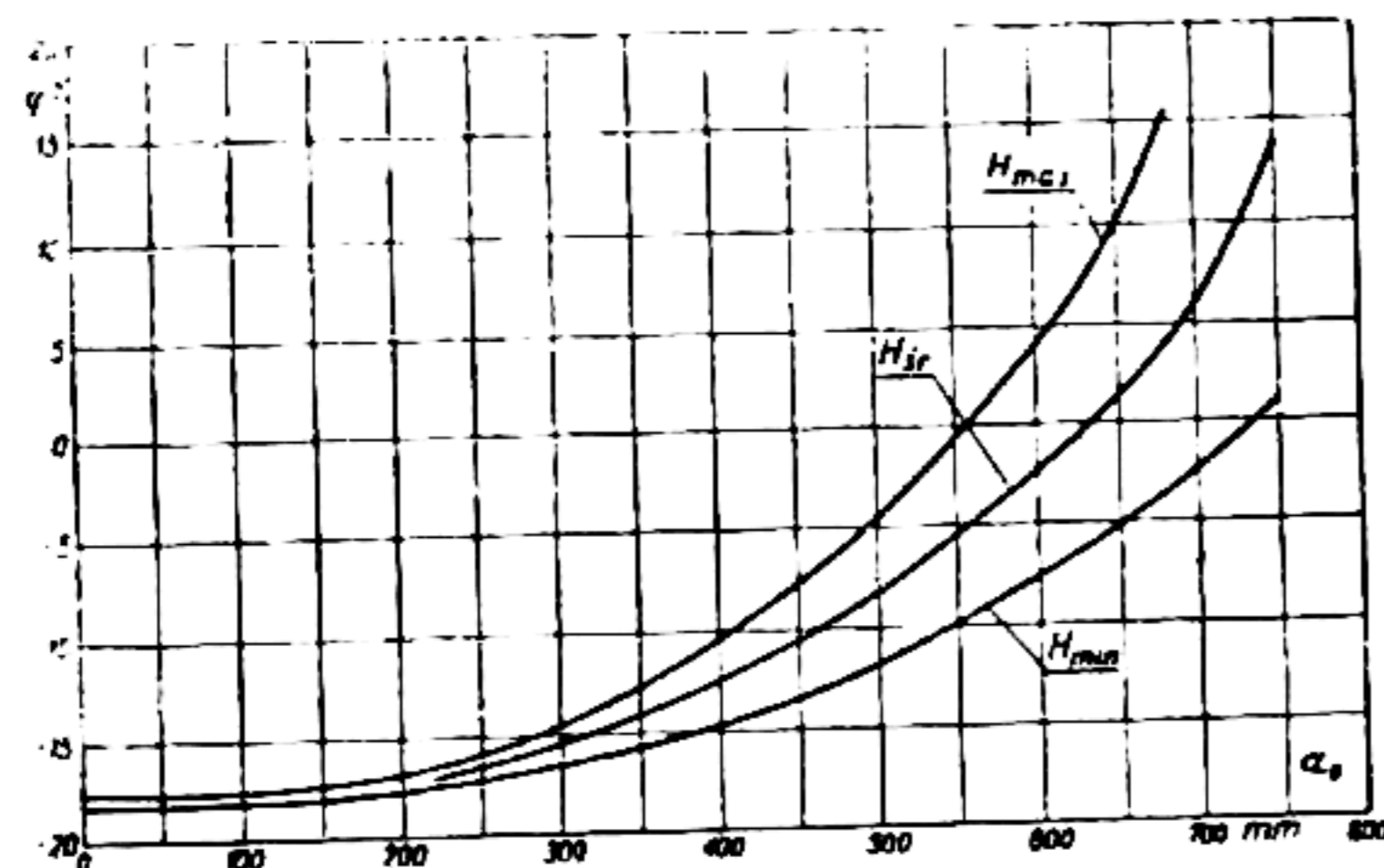
Charakterystyka $a_0 = f_0(l)$. Charakterystyka to wyraża zależność otwarcia (rozwarcia) kierownicy a_0 , tj. odległości w świetle pomiędzy łopatkami, od wychylenia l tłoka siłownika (patrz rys. 65). Ilość punktów pomiaru przyjmuje się równą ilości podziałek na skali regulatora.

Jednocześnie sprawdza się, czy podziałki te odpowiadają podziałkom na skali siłownika.

Charakterystyka $\varphi = f(a_0)$. Charakterystyka ta wyraża zależność kąta pochylenia φ łopatek wirnika (względnie odchylaczy strumieni) od otwarcia kierownicy a_0 . W turbinach Kaplana, w których wraz ze spadem zmienia się zależność pomiędzy otwarciem kierownicy i pochyleniem łopatek wirnika, czyli ich sprzężenie (tzw. zależność kombinatora), zdejmuje się kilka charakterystyk dla różnych spadów (rys. 145).

Charakterystyka rzeczywista powinna odpowiadać charakterystyce pro-

jektowanej, co osiągamy przez nadanie odpowiedniego kształtu krzywej kombinatora. Zazwyczaj wytwórnia dostarczająca turbinę przesyła wraz z wyposażeniem krzywkę zapasową, posiadającą odpowiedni naddatek materiału na powierzchni profilowej. Sprawdzamy zgodność wskazań na skali wirnika ze skalą zasilacza olejowego i kombinatora.



Rys. 145. Zależność pomiędzy kątem pochylenia φ łopatek wirnika i rozwarciem łopatek kierowniczych (otwarciem kierownicy α_0 (krzywa sprzężenia)

D. Wyregulowanie oraz próby mechanizmów roboczych i urządzeń pomocniczych turbiny

Naciąg kierownicy (§ 21). Naciąg ten określa się mierząc przesunięcie tłoka siłownika kierownicy od jego położenia odpowiadającego zamknięciu kierownicy, aż do położenia, które tłok ten przyjmuje przesuwanym się w kierunku otwarcia, po usunięciu ciśnienia oleju. Naciąg rzeczywisty powinien odpowiadać naciągowi zaprojektowanemu.

Smarowanie czopów łopatek kierowniczych i wszystkich mechanizmów turbiny. Sprawdza się działanie smarownic i doprowadzanie smaru.

Pompa odwadniająca. Sprawdza się działanie pompy włączając ją ręcznie lub za pomocą wyłącznika pływakowego.

Zawory napowietrzające. Sprawdza się działanie zaworów oraz ich szczelność. Mierzy się czas zamykania zaworu przy jego początkowym całkowitym otwarciu.

Smarowanie głównych łożysk turbiny. O ile łożyska te smarowane są olejem, sprawdza się działanie pompy zapasowej. Przy smarowaniu wodą sprawdzeniu podlega dopływ wody z wodociągu technicznego oraz szczelność dławicy. O ile używany jest smar gęsty, sprawdza się działanie pomp smarowych.

Zawór odwadniający spiralę. Sprawdza się działanie tego zaworu, jego szczelność oraz mierzy się skok grzybka.

Zasuwy lub zawory znajdujące się przed turbiną. Sprawdza się działanie sterowania ręcznego oraz sterowania automatycznego. Ustala się wielkość skoku i czas zamykania. W przypadku zasuw lub zaworów uruchamianych hydraulicznie, ustala się najmniejsze ciśnienie przy którym zasuw lub zawór zamyka się.

Zawory okrężne zasuw. Sprawdza się działanie ręcznego i automatycznego sterowania (o ile takowe istnieje). Mierzy się wielkość skoku.

Hamulec prądnic. Sprawdza się działanie i szczelność cylindrów hydraulicznych oraz wysokość ciśnienia w układzie hamulcowym.

Wysokość podniesienia układu wirującego turbozespołu przez hamulce. Sprawdza się, czy wysokość ta jest jednakowa na całym obwodzie, jej maksymalną wielkość, ugięcie krzyżaka nośnego oraz ciśnienie w cylindrach hamulca hydraulicznego. Wysokość podniesienia nie powinna być większa od wielkości pionowych szczelin turbiny.

Mechanizmy regulacji automatycznej nie mogą być wyregulowane i wypróbowane o ile turbina jest unieruchomiona. Zazwyczaj wyregulowanie to i próby przeprowadza się w czasie biegu turbiny luzem.

Aby móc zawczasu sprawdzić i wyregulować część automatyczną regulacji przy turbinie unieruchomionej, należy do silnika regulatora odśrodkowego doprowadzić prąd o określonej częstotliwości. W tym celu zaleca się używać urządzenia redukcyjnego (rys. 146), za pomocą którego wytwarza się warunki pracy regulatora odśrodkowego zbliżone do warunków rzeczywistych.

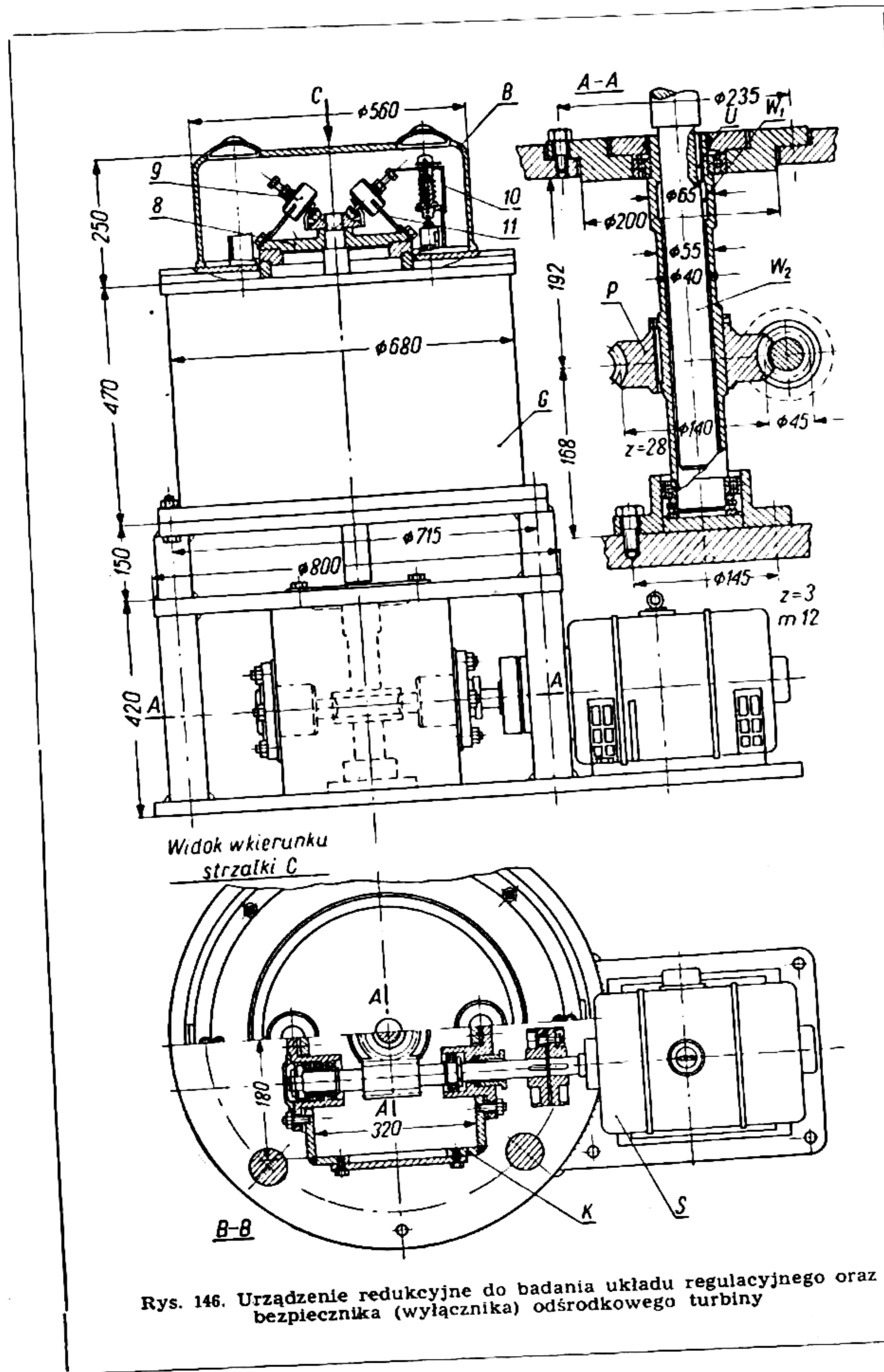
Urządzenie to składa się z osłony K, w której umieszczona jest przekładnia redukcyjna, wprawiana w ruch obrotowy przez elektryczny silnik S prądu stałego. W pustym wale W_1 , na którym osadzone jest koło ślimakowe P przekładni, umieszczony jest wał W_2 , napędzający prądnicę G regulatora odśrodkowego danego turbozespołu. Wał ten połączony jest z wałem przekładni za pomocą wpustki U. Prąd z prądnicy doprowadzany jest do silnika regulatora odśrodkowego.

Za pomocą opisanego urządzenia można: a) sprawdzić działanie regulatora odśrodkowego, b) zdjąć jego charakterystykę¹⁾, c) sprawdzić działanie mechanizmu przełączającego turbinę z regulacji ręcznej na automatyczną, d) wyregulować skok pomocniczego siłownika głównego suwaka rozdzielczego, e) wyregulować długości cięgien układu odwodzenia (wyłączania), f) wyregulować położenie wskazówek wskaźników otwarcia kierownicy oraz głównego suwaka rozdzielczego, g) wyregulować mechanizm zmiany prędkości obrotowej w całym jej zakresie, h) sprawdzić oscylowanie tłoka siłownika kierownicy, i) sprawdzić działanie prądnicy oraz silnika napędzającego regulator odśrodkowy, j) sprawdzić zużycie oleju przez układ regulacyjny przy regulacji automatycznej.

Oprócz tego urządzenie to pozwala na sprawdzenie i wyregulowanie odśrodkowego wyłącznika bezpieczeństwa B. Wyłącznik ten umieszczony jest zazwyczaj na prądnicie regulatora odśrodkowego tak jak pokazano na rys. 116.

Tego rodzaju uprzednie wyregulowanie daje możliwość ograniczenia się tylko do jednego rozbiegu turbiny w celu sprawdzenia działania wyłącznika odśrodkowego. Opisane urządzenie redukcyjne może być wykonane na miejscu montażu.

¹⁾ Charakterystykę tę zdejmuje się w ten sposób, że zmienia się prędkość obrotową silnika prądu stałego, napędzającego urządzenie redukcyjne.



Rys. 146. Urządzenie redukcyjne do badania układu regulacyjnego oraz bezpiecznika (wyłącznika) odśrodkowego turbiny

E. Ogłędziny urządzeń doprowadzających wodę oraz przepływowej części turbiny

Po opisanym uprzednio wyregulowaniu, sprawdzeniu oraz po próbach, poddaje się ogłędzinom główny rurociąg dopływowy, spiralę, wirnik, rurę ssawną oraz — w przypadku turbiny Peltona — jej osłonę. Ogłędziny te mają na celu sprawdzenie wewnętrznego stanu wymienionych elementów i przekonanie się czy nie znajdują się w nich przedmioty obce. O ile wyniki ogłędzin wypadły pomyślnie, to zamyka się wszystkie wläzy i otwory urządzeń doprowadzających wodę oraz sporządza się akt o przygotowaniu do eksploatacji tych urządzeń i przepływowej części turbiny.

2. Próby i sprawdzenie instalacji po napełnieniu urządzeń doprowadzających wodę do turbiny

Z początku wodę wpuszcza się przez powolne otwieranie zastawek lub zaworu, zainstalowanych przed rurociągiem dopływowym i sprawdza się przy tym stopień szczelności urządzeń zamykających dopływ wody do samej turbiny, tj. zasuw lub zaworu. Następnie napełnia się wodą spiralę przez powolne otwieranie zasuw — w turbinach na niskie spady, lub przez otwieranie okrężnego zaworu zasuw — w turbinach na wysokie spady. Podczas napełniania spirali kierownica powinna być zamknięta, zaś serwomotor zablokowany.

A. Wyciekanie wody na zewnątrz spirali

O stopniu szczelności spirali wnosimy z ilości wody przeciekającej przez jej kanał odwadniający. Szczelność pokrywy turbiny (do łopatek kierowniczych), urządzeń uszczelniających czopy łopatek, żelbetonowej obudowy komory turbiny oraz wykładziny tej komory sprawdzamy według ilości wody przeciekającej do komory i na pokrywę turbiny. Ilość tej wody powinna być najwyżej taka, aby jej poziom na pokrywie turbiny w czasie 20 do 25 minut przy unieruchomionych urządzeniach odwadniających nie podniósł się wyżej ponad dopuszczalną wysokość.

B. Sprawdzanie działania poszczególnych urządzeń i mechanizmów

Przy próbach poszczególnych urządzeń i mechanizmów bada się:

a) działanie zasuw i zaworów znajdujących się przed turbiną, stopień ich szczelności oraz czas normalnego i awaryjnego zamknięcia przy nieruchomej wodzie. Bada się następnie czas napełniania spirali (o ile turbina posiada zawór okrężny) oraz czas jej opróżniania po przez zawór spustowy, po zamknięciu zaworu tarczowego lub zasuw wlotowej;

b) dopływ wody ze spirali do łożyska w przypadku gdy łożysko smarowane jest wodą oraz działanie przekaźnika strumieniowego, przepływ wody poprzez filtry i chłodnice, działanie pomp do wody chłodzącej;

c) działanie pomp samozasysających, pomp odśrodkowych, ejektorów przy ich ręcznym jak i automatycznym sterowaniu;

d) działanie ręcznego sterowania upustu jałowego; sprawdza się skok grzybka upustu oraz podziałki na skali grzybka.

Jeżeli wyniki sprawdzania i prób są pomyślne, to uważa się, że turbina jest przygotowana do pierwszego próbnego uruchomienia. Po odpowiednim sprawdzeniu i wypróbowaniu mechanizmów prądnicy, cały zespół poddaje się starannym oględzinom w celu ewentualnego ujawnienia i usunięcia obcych przedmiotów, sprawdzenie umocowania poszczególnych części, obecności smaru w łożyskach itd.

§ 44. PRÓBY I BADANIE TURBIN PRZY BIEGU LUZEM

Turbozespół uruchamia się zgodnie z instrukcjami opracowanymi przez wytwórnię. W instrukcjach tych, w zależności od konstrukcji, podane są specjalne wskazówki dotyczące pierwszego próbnego uruchomienia turbiny.

Uruchomienie to przeprowadzamy przy użyciu regulacji ręcznej i ogranicznika otwarcia przy włączonej regulacji automatycznej, lub posługujemy się w tym celu urządzeniem rozruchowo-wyłączającym, o ile w urządzenie takie turbina jest zaopatrzona.

1. Regulacja oraz próby mechanizmów turbin przy biegu luzem

Rozruchowe otwarcie kierownicy. Jest to takie otwarcie kierownicy, przy którym turbina zaczyna się obracać. Zadaniem naszym jest w tym przypadku znalezienie tego otwarcia.

Otwarcie kierownicy przy biegu luzem turbiny. Znajdujemy wielkość tego otwarcia przy normalnej prędkości obrotowej turbozespołu.

Rozruchowy kąt pochylenia łopatek wirnika. Sprawdzamy działanie mechanizmu ustawiającego łopatki pod tym kątem. Znajdujemy wielkość kąta rozruchowego (na wskaźniku kombinatora), kąt łopatek przy normalnej prędkości obrotowej turbozespołu oraz czas zamykania i otwierania łopatek. Kąt rozruchowy najczęściej odpowiada kątowi pełnego otwarcia łopatek.

Smarowanie głównych łożysk turbiny. W łożyskach smarowanych olejem sprawdzamy dopływ smaru tłoczonego przez pompy i przepływającego przez rurki smarowe, w łożyskach smarowanych smarem gęstym — działanie pomp smarowych, zaś w łożyskach smarowanych wodą — dopływ jej oraz stopień szczelności dławnic łożyskowych. Dociągnięcie dławników powinno być takie, aby umożliwiała przesączanie się na zewnątrz niewielkiej ilości wody.

Wyciekanie wody na zewnątrz turbiny. Badamy szczelność: pokrywy turbiny, organów uszczelniających czopy łopatek kierowniczych, labirynto-

wych i dławnicowych uszczelnień wału, złącza oraz uszczelnienia tłoczków upustów jałowych i zaworów.

Urządzenia odwadniające (ejektory, pompy odwadniające samozasysające i odśrodkowe, syfony). Sprawdzamy czy główne urządzenie odpompowujące wodę z pokrywy turbiny oraz urządzenie zapasowe są wystarczające i czy działają prawidłowo. Sprawdzenie wykonujemy uruchamiając urządzenia ręcznie lub za pomocą wyłącznika pływakowego, o ile w taki wyłącznik turbina jest zaopatrzona.

Temperatura łożysk poprzecznych, zaopatrzonych w panwie wylane białym metalem i temperatura łożyska wzdłużnego. Mierzmy temperaturę łożysk oraz czas od chwili uruchomienia turbiny do chwili ustalenia się stałej temperatury. Największą dopuszczalną temperaturę podają wytwórnie dostarczające turbinę.

Rzucanie wału oraz drgania łożysk i części wsporczych. Przy normalnej prędkości obrotowej mierzymy i zapisujemy rzucanie wału przy łożyskach; pionowe, poprzeczne i podłużne drgania łożysk oraz nośnych krzyżaków prądnicy i to zarówno przy biegu jałowym, bez wzbudzenia prądnicy, jak i z jej wzbudzeniem. Również mierzymy i ustalamy widoczne drgania innych części nieruchomych (zasuw, upustów jałowych, rurociągów dopływowych). Metody tych pomiarów oraz dopuszczalne wielkości amplitud drgań podano w § 46.

Odśrodkowy wyłącznik bezpieczeństwa. Sprawdzamy działanie tego wyłącznika i ustalamy prędkość obrotową turbozespołu, przy której wyłącznik zadziała. Prędkość ta powinna być o 5 do 6% większa od prędkości turbozespołu przy całkowitym jego odciążeniu. Sprawdzamy również pozostałe elementy nastawienia tego wyłącznika, tj. włączanie sygnalizacji oraz mechanizmów, do których przesyłany jest impuls przy rozbiegu turbiny (suwaki awaryjne, szybko działające zasuw, zawory itd.).

Zespół olejowy ciśnieniowy. Określamy najmniejsze ciśnienie w zbiorniku ciśnieniowym tego zespołu, potrzebne do zamknięcia regulacyjnego organu turbiny. W tym celu stopniowo zmniejszamy ciśnienie w omawianym zbiorniku. Dopuszczalne największe zmniejszenie ciśnienia wynosi 2 do 3 kG/cm² poniżej tego ciśnienia, na które nastawiony jest przekaźnik ciśnienia minimalnego, a które podaje wytwórnia.

Wybieg układu wirującego turbozespołu. Wybiegiem tym nazywa się czas upływający od chwili zamknięcia się kierownicy do chwili zmniejszenia się prędkości obrotowej, przy której włączony zostaje hamulec turbozespołu.

2. Regulowanie i próby układu regulacyjnego przy biegu turbiny luzem

Układ olejowy skrzynki sterowniczej. Sprawdza się działanie smarownic oraz dopływ oleju do części mechanizmów skrzynki sterowniczej podlegających tarciu.

Regulacja automatyczna i ręczna. Sprawdza się działanie mechanizmu przełączania turbiny z regulacji ręcznej na automatyczną, płynność tego przełączania oraz działanie przy tym zaworów hydraulicznych i ich sygnalizacji. Mierzy się skok głównego suwaka rozdzielczego przy ruchu zamykającym i otwierającym kierownicę; skok ten porównujemy z danymi dostarczonymi przez wytwórnię. Aby uzyskać płynne przejście z regulacji ręcznej na regulację automatyczną i odwrotnie, suwak regulacji ręcznej powinien się znajdować w położeniu środkowym, wówczas gdy turbina włączona jest na regulację automatyczną. Jednocześnie sprawdzamy działanie blokady (ryglowania) hydraulicznej. Przy przejściu z regulacji automatycznej na regulację ręczną wszystkie trzy zawory hydrauliczne powinny zamknąć się i na odwrót: przy przejściu z regulacji ręcznej na automatyczną wszystkie zawory hydrauliczne powinny otworzyć się. Na rys. 124 symbole 12, 14 oraz 15 oznaczają grzybki zaworów hydraulicznych.

Mechanizm zmiany prędkości obrotowej i mechanizm ograniczający otwarcie kierownicy. Sprawdzamy działanie sterowania ręcznego oraz sterowania zdalnego. Znajdujemy największy zakres zmiany prędkości obrotowej, który powinien wynosić co najmniej $\pm 5\%$ normalnej jej wartości, przy czym średnie położenie mechanizmu powinno odpowiadać tej właśnie normalnej wartości.

Stalczność układu regulacyjnego przy biegu jałowym i przy ręcznej oraz automatycznej regulacji. Badamy wielkość oscylacji tłoka siłownika kierownicy, tj. wielkość jego ruchu postępowo-zwrotnego oraz wahania prędkości obrotowej turbozespołu. Oscylacje tłoka siłownika nie powinny przekraczać $1,5\%$ pełnego skoku tłoka, zaś wahania prędkości obrotowej nie powinny powodować trudności przy synchronizowaniu turbozespołu.

Czas włączania pomp olejowych. Przy regulowaniu ręcznym oraz automatycznym turbiny określamy stosunek czasu, w ciągu którego pompy tłoczą olej o danej temperaturze do zbiornika olejowego, do czasu ich biegu luzem. Uważa się, że stosunek ten może wynosić najwyżej 1 : 6, to znaczy, że czas biegu jałowego pomp może być najwyżej sześć razy dłuższy od czasu ich pracy pod ciśnieniem. We współczesnych regulatorach stosunek ten dochodzi do 1 : 20, a nawet więcej.

Zużycie oleju w układzie regulacyjnym przy biegu jałowym turbozespołu. Zużycie q znajdujemy w przypadku regulacji ręcznej oraz regulacji automatycznej drogą pomiaru wysokości, o jaką w zbiorniku ciśnieniowym obniża się poziom oleju w ciągu określonego czasu, gdy pompa biegnie jałowo lub, o ile znamy wydatek pompy, na podstawie stosunku czasu jej tłoczenia do czasu jej biegu jałowego. W ostatnim przypadku zużycie oleju obliczamy ze wzoru

$$q = Q \frac{t_p}{t_p + t_j} \text{ l/sek}$$

gdzie: Q — wydatek pompy obliczony na podstawie wzoru podanego w § 43, l/sek,

t_p — czas tłoczenia oleju przypadający na jeden cykl, sek,

t_j — czas biegu jałowego pompy przypadający na jeden cykl, sek.

Uważa się, że dopuszczalne zużycie oleju jest takie, przy którym stosunek omawianych czasów nie jest większy od 1 : 6.

Ogranicznik awaryjny. Sprawdzamy działanie tego ogranicznika w przypadku regulacji ręcznej oraz regulacji automatycznej naruszając w tym celu umyślnie połączenie elektryczne pomiędzy silnikiem i prądnicą regulatora odśrodkowego. Prędkość obrotowa turbozespołu powinna przy tym być stała. Regulację przeprowadza się za pomocą ogranicznika awaryjnego.

Suwak awaryjny. Sprawdzamy działanie tego suwaka w przypadku regulacji ręcznej i automatycznej. Przy włączeniu tego suwaka kierownica powinna zamknąć się całkowicie.

Po wyregulowaniu i wypróbowaniu turbiny podczas biegu luzem, suszy się prądnicę oraz przeprowadza z nią odpowiednie próby, po czym przystępuje się do prób turbozespołu pod obciążeniem.

§ 45. REGULOWANIE ORAZ PRÓBY TURBIN WODNYCH POD OBCIĄŻENIEM

W celu przeprowadzenia prób pod obciążeniem używa się specjalnego opornika wodnego albo włącza się turbozespół do sieci elektrycznej. W przypadku włączenia turbozespołu na opornik, ostatni zanurza się w wodę górną lub dolną. Aby podczas prób uniknąć wahań obciążenia, opornik powinien być zainstalowany w takim miejscu, w którym poziom wody nie ulega gwałtownym wahaniom.

1. Kontrola i badania mechanizmów instalacji turbinowej pod obciążeniem

Kontrolę oraz badania tych mechanizmów przeprowadzamy podczas ich działania przy długotrwałej nieprzerwanej pracy turbozespołu, przy stopniowo wzrastającym obciążeniu (patrz niżej).

Badamy i ustalamy przy tym następujące wielkości:

- temperaturę łożysk poprzecznych, łożyska wzdłużnego, oleju oraz wody chłodzącej;
- rzucanie wału oraz drgania łożysk;
- oscylacje siłownika kierownicy,
- wahania prędkości obrotowej,
- czas włączania pomp olejowych,
- zużycie oleju przez układ regulacyjny,
- rzędne górnego i dolnego poziomu wody.

Badanie regulacji turbiny wodnej

2. Sprawdzenie danych dotyczących gwarancji regulacji

Odciażanie turbozespołu. Turbozespół odciażamy w celu sprawdzenia następujących danych gwarancyjnych: a) maksymalnego powiększenia prędkości obrotowej turbozespołu, b) maksymalnego powiększenia ciśnienia przed kierownicą, c) stopnia statyczności regulacji. Turbozespół odciażamy

w ten sposób, że kolejno zmniejszamy jego obciążenie o $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ i $\frac{4}{4}$ mocy nominalnej.

Przy odciażaniu ustalamy względnie znajdujemy następujące wielkości:

a) moc o którą zmniejszamy obciążenie turbozespołu; zmniejszenie mocy uzyskujemy zazwyczaj przez wyłączenie wyłącznika olejowego;

b) prędkość obrotową turbozespołu przed odciażeniem, największą prędkość obrotową w chwili odciażenia i ustaloną prędkość obrotową po odciażeniu; obserwację przeprowadzamy za pomocą obrotomierza umieszczonego na regulatorze;

c) czas zamykania kierownicy i łopatek wirnika (w turbinach Kaplana); posługujemy się przy tym sekundomierzem (stoperem);

d) czas regulacji, tj. czas od chwili odciażenia aż do chwili ustalenia się nowego ustalonego stanu ruchu turbozespołu;

e) ciśnienie wody przed odciażeniem, największe ciśnienie wody w chwili odciażenia i ustalone ciśnienie wody po odciażeniu; obserwacje przeprowadzamy za pomocą manometru znajdującego się przed organem regulacyjnym, przy czym należy uwzględnić wysokość manometru ponad punktem pomiaru czyli miejscem przyłączenia rurki manometrycznej;

f) próżnię w rurze ssawnej: przed odciażeniem, największą w chwili odciażenia i ustaloną — po odciażeniu; obserwacje przeprowadzamy za pomocą manowakuometru przyłączonego do rury ssawnej;

g) czas zamykania zaworów napowietrzających;

h) wznios grzybka upustu jałowego i czas jego otwierania i zamykania;

i) ciśnienie w zbiorniku zespołu olejowego ciśnieniowego przed odciażeniem i po obciążeniu; obserwację przeprowadzamy za pomocą manometru znajdującego się na tym zbiorniku.

Obciążanie turbozespołu. Turbozespół obciążamy w celu znalezienia: a) maksymalnego zmniejszenia prędkości obrotowej turbozespołu; b) maksymalnego zmniejszenia ciśnienia przed kierownicą; c) czasu regulacji. Turbozespół odciażamy w ten sposób, że zmniejszamy kolejno jego obciążenie

o $\frac{1}{4}$ i $\frac{1}{2}$ mocy nominalnej.

Przy obciążaniu ustalamy względnie znajdujemy następujące wielkości:

a) moc, o którą zwiększamy obciążenie;

b) prędkość obrotową turbozespołu przed odciażeniem, najmniejszą prędkość obrotową w chwili obciążenia i ustaloną prędkość obrotową po obciążeniu;

c) czas otwierania się organu regulacyjnego;

Dane i badane wielkości	Kolejne odciażanie				Względne zmiany badanych wielkości
	1	2	3	4	
Obciążenie W, MW					1. Względny wzrost prędkości obrotowej $\beta_{odc} = \frac{n_{max} - n_0}{n_0} =$
Data i czas odciażenia					
Prędkość obrotowa turbozespołu obr/min	przed odciażeniem n_0				2. Względny wzrost ciśnienia wody $\zeta_{odc} = \frac{H_{max} - H_0}{H_0} =$
	największa po odciażeniu n_{max}				
Ciśnienie wody przed organem regulacyjnym kG/cm ²	po odciażeniu (przy biegu jałowym) n_j				3. Stopień statyczności układu regulacyjnego w % $\delta_r = 100 \cdot \frac{n_j - n_0}{n_n} \cdot \frac{W_n}{W}$ gdzie n_n — nominalna prędkość obrotowa turbozespołu, obr/min; W_n — nominalna moc turbozespołu, MW; W — moc turbozespołu przed jego odciażeniem, MW.
	przed odciażeniem bezpośrednio po odciażeniu H_{max}				
Próżnia w rurze ssawnej, m słupa wody	po odciażeniu i ustaleniu się stanu ruchu H_0				
	przed odciażeniem bezpośrednio po odciażeniu				
Czas zamykania się organu regulacyjnego T_z , sek					
Czas regulacji (czas nieustalonego ruchu turbiny), sek					
Otwarcie kierownicy (rozwarcie łopatek) α_0 , mm	przed odciażeniem				
	najmniejsze, bezpośrednio po odciażeniu, po odciażeniu i ustaleniu się stanu ruchu				
Zawór napowietrzający lub upust jałowy	czas otwierania, sek				
	skok grzybka zaworu, mm				
Kąt nachylenia łopatek wirnika turbiny Kaplana, sek	czas zamykania, sek				
	przed odciażeniem, po odciażeniu, i ustaleniu się stanu ruchu				
Ciśnienie w zbiorniku olejowym ciśnieniowym, kG/cm ²	przed odciażeniem, po odciażeniu				

d) czas regulacji, tj. czas od chwili obciążenia do chwili ustalenia się nowego, ustalonego stanu pracy turbozespołu;

e) ciśnienie wody przed obciążeniem, najmniejsze ciśnienie wody w chwili obciążenia i ustalone ciśnienie wody po obciążeniu;

f) próżnię w rurze ssawnej przed obciążeniem, w chwili obciążenia i po obciążeniu.

Obserwacje parametrów przy odciążaniu lub obciążaniu turbozespołu wymagają zorganizowanie pięciu do siedmiu posterunków, pozostających w łączności telefonicznej lub sygnalizacyjnej z kierownikiem prób.

W celu otrzymania ścisłych danych pożądane jest, aby takich parametrów jak prędkość obrotowa, czas zamykania lub otwierania się organu regulacyjnego oraz ciśnienie wody, nie ustalać wzrokowo, lecz za pomocą przyrządów samozapisujących.

Wartości wszystkich parametrów otrzymane przy odciążaniu zapisuje się w tabl. 49. Wartości te pozwalają znaleźć rzeczywiste wielkości dotyczące powiększenia się prędkości obrotowej i ciśnienia oraz ich zgodność z wielkościami zaprojektowanymi (gwarancyjnymi).

Oprócz tego o ile próby przeprowadzane są na turbozespole załączonym bezpośrednio do ogólnej sieci, w wyniku odciążenia znajdujemy wartość stopnia statyczności regulacji.

Jeżeli badany turbozespół załączony jest na opornik, to wartość stopnia statyczności regulacji znajdujemy podczas obciążania tego turbozespołu. W tym celu obciążenie powiększamy skokami (o 15 do 20%) aż do osiągnięcia pełnej mocy. Przy każdym nowym obciążeniu znajdujemy moc oraz prędkość obrotową i według tych danych wykreślamy charakterystykę układu regulacyjnego (charakterystykę regulacji) (patrz rys. 126), według której obliczamy właśnie szukany stopień statyczności regulacji turbozespołu.

Wartości parametrów znalezione przy obciążaniu zapisujemy w tablicy analogicznej do tabl. 49.

Jak wspomnieliśmy w § 35, względną zmianę prędkości obrotowej przy odciążaniu, lub obciążaniu regulujemy zmieniając czas zamykania się kierownicy przez ograniczenie skoku suwaka regulatora.

3. Robocza charakterystyka turbiny

Charakterystyka ta przedstawia moc w zależności od otwarcia kierownicy: $N = f(a_0)$. Zdejmujemy ją w ten sposób, że zmieniamy obciążenie turbiny skokami o jednakowe wartości i notujemy przy tym otwarcie kierownicy a_0 . Pomiar przeprowadzamy co najmniej dla dziesięciu punktów.

4. Próby automatycznych urządzeń turbozespołu

Unieruchomienie turbiny w przypadku jej uszkodzenia (awarii). Przy pełnej mocy turbiny obniżamy ciśnienie w olejowym zbiorniku zespołu olejowego aż do zadziałania czujnika ciśnienia awaryjnego. Notujemy przy tym czas zamykania zasuw lub zaworów znajdujących się przed turbiną.

Ogranicznik awaryjny. Sprawdzamy działanie tego ogranicznika przez umyślne naruszenie normalnego napędu regulatora odśrodkowego. Znajdujemy zmianę mocy oraz częstotliwości prądnicy. Podczas tych badań turbozespół załączony jest na opornik.

Automatyczne uruchomienie turbozespołu. Turbozespół uruchamiamy przez przesłanie impulsu elektrycznego do silnika ogranicznika otwarcia kierownicy. Znajdujemy przy tym wielkość otwarcia ogranicznika oraz czas, w którym turbozespół osiąga normalną prędkość obrotową. Rączka służąca do przełączania turbiny z regulacji ręcznej na automatyczną, umieszczona na skrzynce sterowniczej, powinna przy tym znajdować się w położeniu: „Sterowanie automatyczne”. Jeżeli w automatyce istnieje specjalne urządzenie do automatycznego rozruchu, to znajdujemy: otwarcie kierownicy w chwili ruszania turbiny z miejsca, największą prędkość obrotową oraz czas, w którym turbozespół osiąga normalną prędkość obrotową.

Automatyczne unieruchomienie turbozespołu. Sprawdzamy działanie mechanizmów. W tym celu turbozespół pracujący przy regulacji automatycznej unieruchamiamy przez przesłanie elektrycznego impulsu do silnika ogranicznika.

5. Przystawianie turbozespołu na pracę w charakterze kompensatora synchronicznego

Sprawdzamy działanie urządzeń wytłaczających wodę z komory wirnika. Znajdujemy zapotrzebowanie mocy przez turbozespół, ciśnienie w komorze wirnika, zapotrzebowanie powietrza sprężonego oraz jego ciśnienie.

6. Długotrwała ciągła praca turbozespołu obciążonego

Próba ta jest próbą kontrolną. Turbozespół powinien w tym przypadku pracować przy pełnym obciążeniu w ciągu 72 godzin, przy tym po jednej godzinie przy obciążeniach wynoszących 25% 50% oraz 75% obciążenia pełnego. Wszystkie mechanizmy powinny podczas próby pracować bez zarzutu, zaś temperatura łożyska wzdłużnego i łożysk poprzecznych, po jej ustaleniu, nie powinna przekraczać dopuszczalnych wartości, podanych przez wytwórnictwo.

§ 46. DRGANIA TURBOZESPOŁU

Przy próbach turbozespołu, jak o tym mówiliśmy w § 44, mierzymy rzucanie wału oraz drgania turbozespołu.

Rzucanie wału. W turbozespole pionowym rzucaniem tym jest zasięg poprzecznego drgania wału względem nieruchomych części kadłuba łożyska. Rzucanie wału jest spowodowane działaniem sił zaburzających. Naj-

większe rzucanie mierzone na czopie poprzecznym wału, w bezpośredniej bliskości łożyska, może równać się łącznej grubości szczeliny łożyskowej mierzonej wzdłuż średnicy. Nadmierna wielkość rzucania może być spowodowana przez następujące przyczyny: a) łączna grubość szczeliny łożyskowej jest większa od grubości dopuszczalnej, b) szerokość szczeliny pomiędzy panwią i kadłubem łożyska jest zbyt duża, c) w łożyskach gumowych — sprężyste odkształcenia panwi gumowej są zbyt duże itd. Wyszczególnione tutaj przyczyny, wywołujące zbyt duże rzucanie wału należy zlikwidować.

Drgania części wsporczych turbozespołu. Drgania te są wynikiem działania sił zaburzających i charakteryzują się periodycznymi wychyleniami części wsporczych od ich położenia normalnego. Wielkość tych wychyleń od położenia spoczynkowego czyli położenia równowagi nazywa się amplitudą drgań, zaś ilość tych drgań w jednostce czasu nazywa się częstotliwością lub częstością drgań. wreszcie równe przedziały czasu, w których drgania się powtarzają nazywamy okresem drgań.

Drgania wymuszone powstają pod wpływem sił zaburzających, którym przeciwdziałają równe co do wielkości siły restytucyjne. W tym przypadku charakter amplitudy drgań nie zmienia się. O ile częstość drgań wymuszonych odpowiada częstości drgań własnych, to amplituda drgań wymuszonych szybko powiększa się i osiąga wielkie wartości. Zjawisko to nazywa się rezonansem. Drgania rezonansowe mogą doprowadzić do pęknięcia części maszyn. Należy zauważyć, że wielkie turbozespoły, których prędkość obrotowa nie przekracza 500 obr/min zazwyczaj pracują w obszarze wystarczająco oddalonym od krytycznej prędkości obrotowej, odpowiadającej częstości rezonansowej.

W turbozespołach pionowych rozróżniamy drgania poprzeczne, odbywające się w płaszczyźnie prostopadłej do osi wału (zazwyczaj w kierunku osi X i Y) oraz drgania pionowe — wzdłuż osi wału. W turbozespołach poziomych drgania odbywające się wzdłuż osi wału nazywają się drganiami podłużnymi.

Podczas badań turbozespołu mierzy się drgania kadłuba łożyska poprzecznego turbiny oraz drgania krzyżaka nośnego prądnicy w punktach najbardziej oddalonych od zamocowania tych elementów. Pomiar przeprowadza się za pomocą wibrografu, wibrometru lub czujnika¹⁾. Zbyt wielkie drgania mogą doprowadzić do rozluźnienia fundamentu, naruszenia zamocowania poszczególnych części turbozespołu, zniszczenia materiału, z którego części te są sporządzone i do innych ujemnych zjawisk.

Doświadczalne dane otrzymane przy montażu, wyregulowywaniu oraz eksploatacji turbin wodnych produkcji Leningradzkich Zakładów Metalowych im. Stalina pozwoliły na ustalenie dopuszczalnych wartości podwójnych amplitud drgań. Wartości te, zestawione w tabl. 50, zaleca się stosować dla turbozespołów normalnie eksploatowanych.

¹⁾ Opis budowy tych przyrządów oraz postępowanie się nimi podano w książce: Wibracja wiertkalnych gidroagregatów, jejo issledowanie i ustranienje. Wyd. OrGRES. GEI. 1948 oraz w Poradniku technicznym „Mechanik” t. 1/2. PWT Warszawa 1949.

Wartości dopuszczalnych podwójnych amplitud drgań, podane w tabl. 50, dotyczą turbozespołów, których prądnice są typu parasolowego; dane te odpowiadają równaniu

$$\mu_1 = \frac{0,7}{\sqrt{n}}$$

gdzie: n — prędkość obrotowa turbozespołu, obr/min,

μ_1 — dopuszczalna podwójna amplituda drgań łożyska turbiny oraz krzyżaka prądnicy, mierzona w punkcie najbardziej oddalonym od ich zamocowania, mm.

Dla prądnic typu podwieszonoego i również dla turbozespołów pionowych podane dopuszczalne wartości podwójnych amplitud drgań odpowiadają równaniu

$$\mu_2 = \frac{0,5}{\sqrt[3]{n}}$$

gdzie: μ_2 — dopuszczalna podwójna amplituda drgań, mierzona w milimetrach na górnym końcu krzyżaka, względnie w przypadku turbin i prądnic poziomych — w miejscach podziału ich łożysk.

Dopuszczalne wartości podwójnych amplitud pionowych drgań turbozespołów pionowych powinny być mniejsze od podwójnych amplitud drgań poprzecznych tychże turbozespołów. Wartości te podano w tabl. 51.

Doświadczenia poczynione przy wyregulowaniu i eksploatacji turbozespołów wykazały, że dopuszczalne wielkości podwójnych amplitud drgań w większości przypadków są wartościami granicznymi, przy których turbozespół może przez długi czas pracować bez widocznych zakłóceń lub uszkodzeń.

Należy zauważyć, że w turbozespołach pewnych konstrukcji przy jednakowych prędkościach obrotowych sztywność części wsporczych może znacznie różnić się od normalnej. W takich turbozespołach podane wartości dopuszczalnych podwójnych amplitud w każdym przypadku wymagają uściślenia na drodze rachunkowej i doświadczalnej.

Tablica 50
Dopuszczalna podwójna amplituda poprzecznych drgań turbozespołów wodnych

Prędkość obrotowa n obr/min	Dopuszczalna podwójna amplituda drgań poprzecznych, mm			
	Turbozespoły pionowe			Turbozespoły poziome
	Turbin	Prądnice		
		Typu parasolowego	Typu podwieszonoego	
62,5	0,090	0,090	0,125	—
83,3	0,075	0,075	0,115	—
100,0	0,070	0,070	0,110	—
150,0	0,060	0,060	0,095	—
187,5	0,050	0,050	0,090	—
214,0	0,045	0,045	0,085	0,085
300,0	0,040	0,040	0,075	0,075
375,0	0,035	0,035	0,070	0,070
500,0	0,030	0,030	0,065	0,065
300,0	—	—	—	0,050
750,0	—	—	—	0,055
1000,0	—	—	—	0,050

Wykrywanie przyczyn nadmiernych drgań. W pewnych przypadkach wykrycie tych przyczyn jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym. Z tego względu jeżeli omawiana przyczyna jest wyrażona niejasno, to najlepiej jest ustalić ją w ten sposób, że kolejno wyklucza się czynniki powodujące nadmierne drgania. W tym celu przede wszystkim należy znaleźć źródło siły zaburzającej, a następnie przyczynę drgań.

Tablica 51

Dopuszczalna podwójna amplituda podłużnych drgań turbozespołów wodnych

Prędkość obrotowa obr/min	Dopuszczalna podwójna amplituda podłużnych drgań turbozespołów pionowych mm		Dopuszczalna podwójna amplituda podłużnych drgań turbozespołów poziomych mm
	Prądnice		
	Typu parasolowego	Typu podwieszonoego	
62,5	0,060	0,090	—
83,3	0,055	0,085	—
100,0	0,050	0,080	—
150,0	0,045	0,075	—
187,5	0,040	0,070	—
214,0	0,035	0,065	0,065
300,0	0,030	0,060	0,060
375,0	—	0,055	0,055
500,0	—	0,050	0,050
600,0	—	—	0,045
750,0	—	—	0,040
1000,0	—	—	0,035

Źródłem siły zaburzającej wywołującej drgania turbozespołu może być:

- 1) elektryczna część prądnicy,
- 2) mechaniczna część turbozespołu,
- 3) hydrauliczna część turbiny.

Drgania, których źródłem jest część elektryczna mogą być wynikiem: a) naruszenia symetrii indukcji magnetycznej twornika prądnicy wskutek obecności zwartych, pod względem elektrycznym, zwojów uzwojenia twornika; b) niejednakowej grubości szczeliny powietrznej pomiędzy stojanem i twornikiem; c) innych przyczyn.

Drgania, których źródłem jest mechaniczna część turbozespołu mogą powstać z różnych powodów, a mianowicie: a) dynamicznego lub statycznego niewyrównowazenia wirujących części turbozespołu; b) odchylenia linii wału turbozespołu wskutek jej załamania; c) nieprostokątnego ustawienia czopa tarczowego względem osi wału lub zbyt dużej szczeliny pomiędzy piastą czopa tarczowego i wałem; d) zakleszczenia wału w łożyskach wskutek ich

nieprawidłowego wycentrowania; e) zacierania się części wirujących w uszczelnieniach labiryntowych itp.

Drgania, których źródłem jest hydrauliczna część turbiny powstają wskutek następujących przyczyn: a) hydraulicznego niewyrównowazenia, spowodowanego brakiem symetrii części wystających, na przykład wieńca i in., omywanych przez przepływającą wodę; b) zatkaniem przez obce ciała kanałów międzyłopatkowych (w turbinach Francisa); c) kawitacyjnym stanem pracy turbozespołu; d) nieprawidłowym sprzężeniem kierownicy z łopatkami wirnika (w turbinach Kaplana); e) zbyt dużą wysokością ssania itd.

Należy zaznaczyć, że turbiny Francisa pracujące spokojnie na większej części całego zakresu eksploatacyjnego, przy pewnych obciążeniach wskutek kawitacji z reguły wykazują większe drgania, które ujawniają się nie tylko w poprzecznych drganiach części wsporczych turbozespołu, lecz również w drganiach pionowych łożyska wzdłużnego oraz pokrywy turbiny. Drgania pionowe mogą wywołać naruszenie centrowania turbozespołu wskutek — spowodowanych działaniem chwilowych sił prądu wody — trwałych odkształceń poduszek znajdujących się pod jego częściami wsporczymi oraz szereg innych niepożądanych zjawisk. W związku z tym dopuszczalne podwójne amplitudy drgań pionowych przyjmuje się mniejsze niż dopuszczalne podwójne amplitudy drgań poziomych, tak jak to widać z porównania odpowiednich wartości podanych w tabl. 50 oraz 51.

Z powyższych rozważań wynika, że bardzo często głównym zagadnieniem przy likwidowaniu drgań jest wykrycie przyczyny wywołującej te drgania. (Zauważmy, że charakter drgań można najpewniej ujawnić za pomocą oscylografu pętlicowego). Jeżeli przyczyny drgań nie udaje się wykryć bezpośrednio, to przy badaniach zalecane jest zachowanie następującego porządku. Turbozespół uruchamiamy jako silnik synchroniczny, przy czym z komory wirnika usuwamy uprzednio wodę. Jeżeli przy tym drgania zniknęły, to źródłem ich jest część hydrauliczna turbozespołu, w przeciwnym przypadku — jego część elektryczna lub mechaniczna. Które ze wskazanych dwóch źródeł jest przyczyną drgań, możemy wykryć w ten sposób, że rozsprzęgamy kołnierze wałów i uruchamiamy samą prądnicę jako silnik asynchroniczny. Jeżeli prądnica w dalszym ciągu drga, to źródłem drgań jest część elektryczna turbozespołu. Przy tym amplituda drgań może być nieco mniejsza wskutek zmniejszenia się mas wirujących z powodu odłączenia turbiny, lecz częstotliwość ich zostaje zachowana. Jeżeli natomiast drgania zniknęły, to źródłem ich jest mechaniczna część turbozespołu. Ze względu na to, że operacja rozsprzęgnięcia wałów jest skomplikowana, uciekamy się do niej jedynie w rzadkich przypadkach, gdy wyczerpano wszystkie możliwe metody wykrywania źródła drgań.

Jeżeli stwierdzono, że źródłem drgań jest elektryczna część turbozespołu, to przyczynę ich likwiduje się stosując znane metody, opisane w wytycznych wskazówkach Ministerstwa Elektrowni (w ZSRR). Jeżeli natomiast źródłem drgań jest część hydrauliczna lub mechaniczna, to w zależności od charakteru drgań przyczyną ich może być jedna z przyczyn podanych w tabl. 52.

Możliwe przyczyny wywołujące drgania turbozespołów oraz metody ich usuwania

Stan pracy turbozespołu	Charakter drgań	Przyczyny wywołujące drgania	Metody usuwania przyczyn drgań
Zródło drgań: hydrauliczna część turbiny			
Bieg luzem, prądnicą niewzbudzoną	Amplituda i częstość drgań powiększają się proporcjonalnie do wzrostu prędkości obrotowej	Brak wyważenia hydraulicznego. Stan ten spowodowany jest asymetrią wystających elementów omywanych przez wodę lub częściowym zatkanie kanałów międzyłopatkowych wirnika, względnie kierownicy	Usunąć niesymetryczne wystające elementy; wyczyścić kanały międzyłopatkowe
Bieg przy obciążeniu i ze stałą prędkością obrotową	Amplituda drgań powiększa się proporcjonalnie do obciążenia	Brak wyważenia hydraulicznego. Stan ten spowodowany jest asymetrią wylotowych przekrojów łopatek wirnika oraz przyczynami podanymi wyżej	Doprowadzić przekroje wylotowe do stanu symetrii lub postąpić jak wyżej
"	Amplituda drgań powiększa się dla pewnego zakresu obciążenia i znika wraz z jego zmianą. Drganiami towarzyszy stuk i nie normalny hałas w rurze ssawnej. Częstość drgań może się zmieniać	Turbina pracuje przy maksymalnej kawitacji	Zmniejszyć wysokość ssania. Przy zakresie obciążenia, przy którym występują drgania należy wprowadzać pod wirnik powietrze. Zmienić sprzężenie kombinatora z kierownicą
Zródło drgań: mechaniczna część turbozespołu			
Bieg luzem, prądnicą niewzbudzoną	Amplituda i częstość drgań powiększają się proporcjonalnie do wzrostu prędkości obrotowej	1. Dynamiczne lub statyczne niewyważenie wirującego układu turbozespołu 2. Złe wycentrowanie lub naruszenie wycentrowania wskutek przesunięcia części wsporczych spowodowanego ich zbyt słabym umocowaniem	1. Wirujący układ turbozespołu wyważyć dynamicznie lub części wirującego układu turbiny wyważyć statycznie 2. Ponownie wycentrować turbozespół (rozdział VII). Części wsporcze pewnie przy mocować

Stan pracy turbozespołu	Charakter drgań	Przyczyny wywołujące drgania	Metody usuwania przyczyn drgań
Zródło drgań: mechaniczna część turbozespołu			
Jak poprzednio	Amplituda drgań powiększa się przy określonej prędkości obrotowej i znika przy zmianie tej prędkości. Częstość drgań nie zgadza się z normalną prędkością obrotową turbozespołu	Prędkość obrotowa układu wirującego turbozespołu równa się lub stanowi całkowitą wielokrotność prędkości krytycznej tego układu	Podczas rozruchu należy szybko przechodzić przez obszar krytycznej prędkości obrotowej
Bieg przy obciążeniu i ze stałą prędkością obrotową	Amplituda drgań powiększa się proporcjonalnie do obciążenia, lecz ich częstość nie zmienia się	1. Złe wycentrowanie łożysk wzdłużnego lub łożysk poprzecznych 2. Krzywa linia wałów (załamanie)	1. Ponownie wycentrować 2. Należy zlikwidować ewentualne załamanie linii wałów w ich złączeniu kołnierзовym
Bieg przy obciążeniu i biegu luzem	Częstość drgań może zgadzać się lub może nie zgadzać się z prędkością obrotową turbozespołu	Części wirujące (uszczelnienia labiryntowe, łopatki itd.) zacieraają się	Należy zlikwidować zacieranie

Przyczyny drgań nie są wyczerpane w wykazie podanym w tej tablicy, gdyż drgania mogą być wynikiem działania sił zaburzających, spowodowanych różnorodnymi innymi przyczynami lub zbiegiem kilku przyczyn. Jednak zalecana metoda badania pozwala na rozwiązanie zasadniczego zagadnienia drgań, a mianowicie na wykrycie ich przyczyny przy jednoczesnej najmniejszej stracie czasu.

§ 47. DYNAMICZNE WYWAŻANIE TURBOZESPOŁU

Wskutek tego, że wymiary gabarytowe oraz ciężar układów wirujących turbozespołów są bardzo duże, nie przeprowadza się dynamicznego wyważania tych układów w wytwórniach. Równomierny rozkład mas wirujących osiągamy zazwyczaj przez statyczne wyważenie wirnika w wytwórni oraz podczas składania wirnika na miejscu montażu przez wyważenie części twornika drogą ważenia i równomiernego rozkładu mas żelaza i nabiegun-

ników. W większości przypadków takie statyczne wyważenie mas wirujących, o ile jest starannie przeprowadzone, wystarcza i z reguły nie wywołuje niedopuszczalnych drgań. Z tego powodu do wyważania dynamicznego na miejscu zainstalowania uciekamy się jedynie w tych przypadkach, w których drgania części wsporczych turbozespołu wskutek niewyważenia układu wirującego są większe od wartości dopuszczalnych.

Najwygodniejszą i najdokładniejszą metodą dynamicznego wyważania pionowych turbozespołów wodnych jest metoda „trzech rozruchów”¹⁾, polegająca na kolejnym przymocowywaniu do układu wirującego turbozespołu próbnego ciężaru. Ciężar ten przymocowuje się w trzech punktach, rozmieszczonych względem siebie pod kątem 120°. Pomiar drgań przeprowadza się przy biegu jałowym i przy normalnej prędkości obrotowej, z początku bez próbnego ciężaru, a następnie, przy każdym uruchomieniu turbiny (trzy razy) — z próbnym ciężarem. Mierzy się drgania nośnego krzyżaka prądnicy: górnego — dla prądnicy typu podwieszonoego i dolnego — dla prądnicy typu parasolowego. Pomiar wielkości drgań, tj. podwójnej ich amplitudy, który przeprowadzamy za pomocą wibrografu, wibrometru lub czujnika, należy wykonać możliwie najbliżej środka krzyżaka. Jako kierunek drgań (podłużny, poprzeczny lub pionowy) przyjmujemy ten kierunek, w którym drgania są największe.

Podstawowym założeniem jest przy tym warunek, że amplitudy drgań są proporcjonalne do wielkości sił zaburzających, a więc

$$Q : R_1 : R_2 : R_3 = \mu : \mu_1 : \mu_2 : \mu_3$$

gdzie: Q — siła zaburzająca pochodząca od niewyważonego układu wirującego i wywołująca drgania, których podwójna amplituda wynosi μ ,

R_1, R_2, R_3 — siły zaburzające, pochodzące od ciężaru próbnego, umocowanego kolejno w trzech punktach układu wirującego, rozmieszczonych pod kątem 120° względem siebie; siły te współdziałając z siłą Q wywołują drgania, których podwójna amplituda wynosi odpowiednio μ_1, μ_2 oraz μ_3 .

Wielkość ciężaru próbnego P_0 (kG) należy obrać w ten sposób, aby jego siła odśrodkowa stanowiła 0,5 do 2,5% ciężaru wirnika prądnicy G (kG), przy czym mniejszą wartość przyjmuje się dla prądnic wolnoobrotowych, zaś wartość większą — dla prądnic szybkoobrotowych. Zatem

$$(0,005 + 0,025) G = \frac{P_0}{g} r \omega^2$$

gdzie: g — przyspieszenie ziemskie = 9,81 m/sek²,

r — promień, na którym znajduje się środek masy ciężaru próbnego, m ,

ω — prędkość kątowa układu wirującego turbozespołu.

1) S. P. Timoszenko: Tiorja kolebanij w Inżyniernom diele. Gostechizdat, 1934.

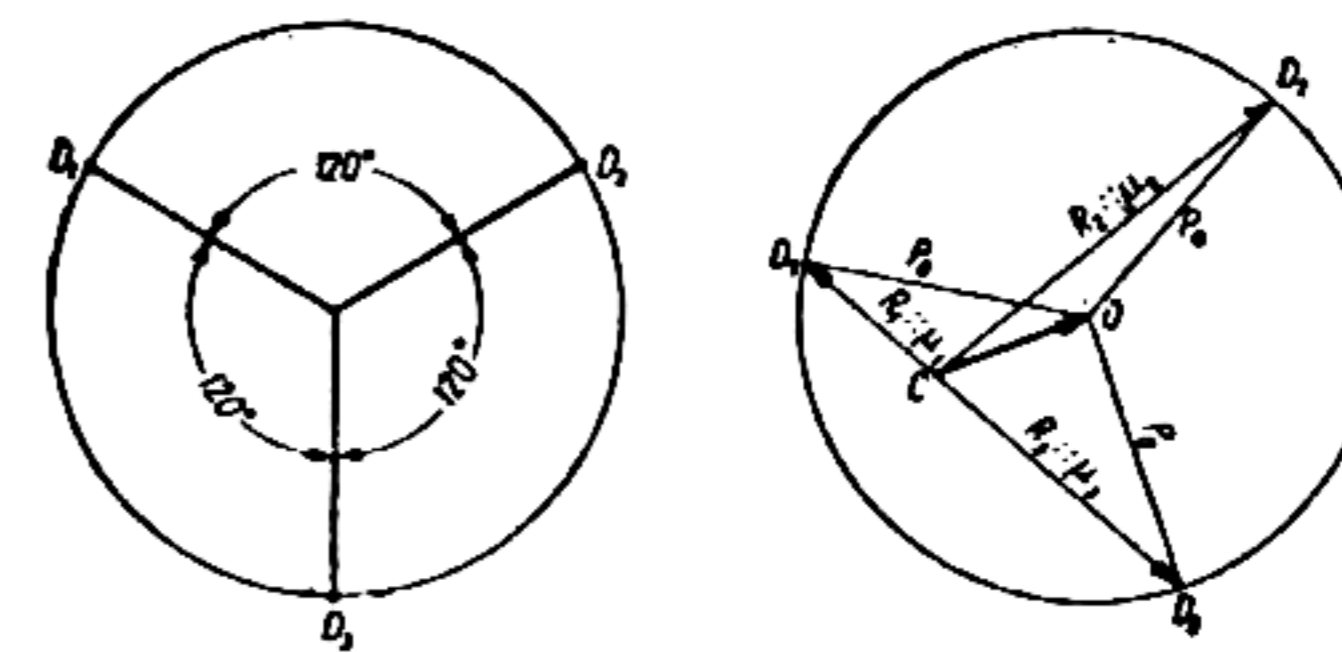
Stąd przekształcając i upraszczając otrzymujemy

$$P_0 = (0,5 + 2,5) \frac{gG}{n^2 r} \text{ kG}$$

gdzie n — prędkość obrotowa układu wirującego turbozespołu (obr/min).

1. Wyznaczanie wielkości podwójnych amplitud drgań przy przymocowanym ciężarze próbnym

Ciężar próbny przymocowuje się silnie do układu wirującego turbozespołu w punkcie D_1 , po stronie największej amplitudy drgań (u góry lub u dołu) (rys. 147) i na możliwie największym promieniu, na którym przypuszczamy, że będzie ostatecznie przymocowany ciężar wyrównujący. Następnie



Rys. 147. Schemat wyjaśniający sposób wyznaczania drgań wirującego układu za pomocą próbnego ciężaru

turbozespół uruchamia się i przy normalnej prędkości obrotowej mierzy się podwójną amplitudę μ_1 , po czym ciężar przymocowuje się w punkcie D_2 pod kątem 120° do jego pierwotnego położenia i mierzy się podwójną amplitudę drgań μ_2 . Dokładnie w ten sam sposób po przymocowaniu ciężaru w punkcie D_3 , mierzy się podwójną amplitudę drgań μ_3 .

Ciężar próbny P_0 , przymocowywany kolejno w trzech punktach D_1, D_2 oraz D_3 wywołuje — jak mówiliśmy uprzednio — siły zaburzające które łącznie z siłą Q , wynikającą z nierównoważenia układu wirującego wynoszą R_1, R_2 oraz R_3 . Pod działaniem tych sił powstają drgania, których podwójne amplitudy posiadają odpowiednio wartości μ_1, μ_2 oraz μ_3 .

Z rysunku 147 widzimy, że końce wektorów R_1, R_2 i R_3 leżą na okręgu koła, którego promień — w odpowiedniej skali — równa się ciężarowi P_0 , zaś koniec wektora nierównoważonej siły Q leży w środku O okręgu. Położenie początku wektora Q czyli punkt C wyznaczone jest przez — proporcjonalne do sił R_1, R_2 oraz R_3 — odległości od tego punktu do punktów D_1, D_2 i D_3 . Zatem w obranej skali wektor CO przedstawia kierunek oraz wielkość siły Q . W ten sposób zagadnienie sprowadza się do znalezienia tego wektora, będącego składową wszystkich trzech wypadkowych sił R_1, R_2 i R_3 , które, jak mówiliśmy uprzednio, są proporcjonalne do zmierzonych odpowiednich amplitud drgań. Zagadnienie to rozwiązujemy wykreślnie.

dynamicznym wyważaniu metodą „trzech rozruchów“ wyznaczyć miejsce umieszczenia oraz wielkość ciężaru równoważącego, bez potrzeby stosowania opisanych uprzednio wykreślonych konstrukcji.

Dobór próbnego ciężaru P_0 oraz pomiary drgań przeprowadzamy w sposób wyżej podany. Podwojoną amplitudę drgań zmierzoną bez próbnego ciężaru, oznaczamy przez μ . Trzy następne podwojone amplitudy, zmierzone przy zamocowanym próbnym ciężarze, oznaczamy również przez μ_1 , μ_2 i μ_3 , ale w odróżnieniu od dawniejszych oznaczeń, tutaj μ_1 oznacza najmniejszą, μ_2 — średnią, zaś μ_3 — największą ich wartość.

Punkty, w których zamocowano próbny ciężar oznaczamy odpowiednio przez A_1 , A_2 oraz A_3 . Znając podwojone amplitudy drgań oraz wielkości ciężaru próbnego, można za pomocą nomogramów łatwo znaleźć wielkość ciężaru potrzebnego do wyważenia układu oraz miejsce, w którym ciężar ten należy przymocować.

Kierunek tego miejsca ciężaru równoważącego wyznaczony jest przez kąt δ w stosunku do tego kierunku przymocowania ciężaru próbnego, przy którym otrzymano najmniejszą podwojoną amplitudę drgań μ_1 i w kierunku OA_2 od tego miejsca zamocowania ciężaru próbnego, które dało średnią wielkość podwojonej amplitudy drgań, tj. μ_2 .

Kąt δ znajdujemy za pomocą nomogramu podanego na rys. 149, w następujący sposób. Łączymy przede wszystkim odpowiedni punkt na skali podającej

wartości stosunku $\frac{\mu_2}{\mu_3}$ z odpowiednim punktem na skali podającej

wartości stosunku $\frac{\mu_1}{\mu_2}$ prowadząc przez te punkty linię prostą. Punkt przecięcia się tej prostej ze skalą kątów wyznacza wielkość kąta δ .

Wielkość ciężaru równoważącego znajdujemy za pomocą nomogramu pokazanego na rys. 150, jako stosunek wielkości tego ciężaru do wielkości ciężaru próbnego. Robimy to w ten sposób, że na skali

znajdujemy

punkty odpowiadające wartościom $\frac{\mu_1}{\mu}$, $\frac{\mu_2}{\mu}$ oraz $\frac{\mu_3}{\mu}$ i punkty te za pomocą linii prostych łączymy z punktami skal kątów δ , które to skale (w liczbie trzech) odpowiadają wielkościom P_1 , P_2 oraz P_3 . Wielkości te równają się stosunkom ciężaru równoważącego do ciężaru próbnego. Punkty przecięcia tych trzech prostych ze skalą K wyznaczają stosunek ciężaru równoważącego do ciężaru próbnego.

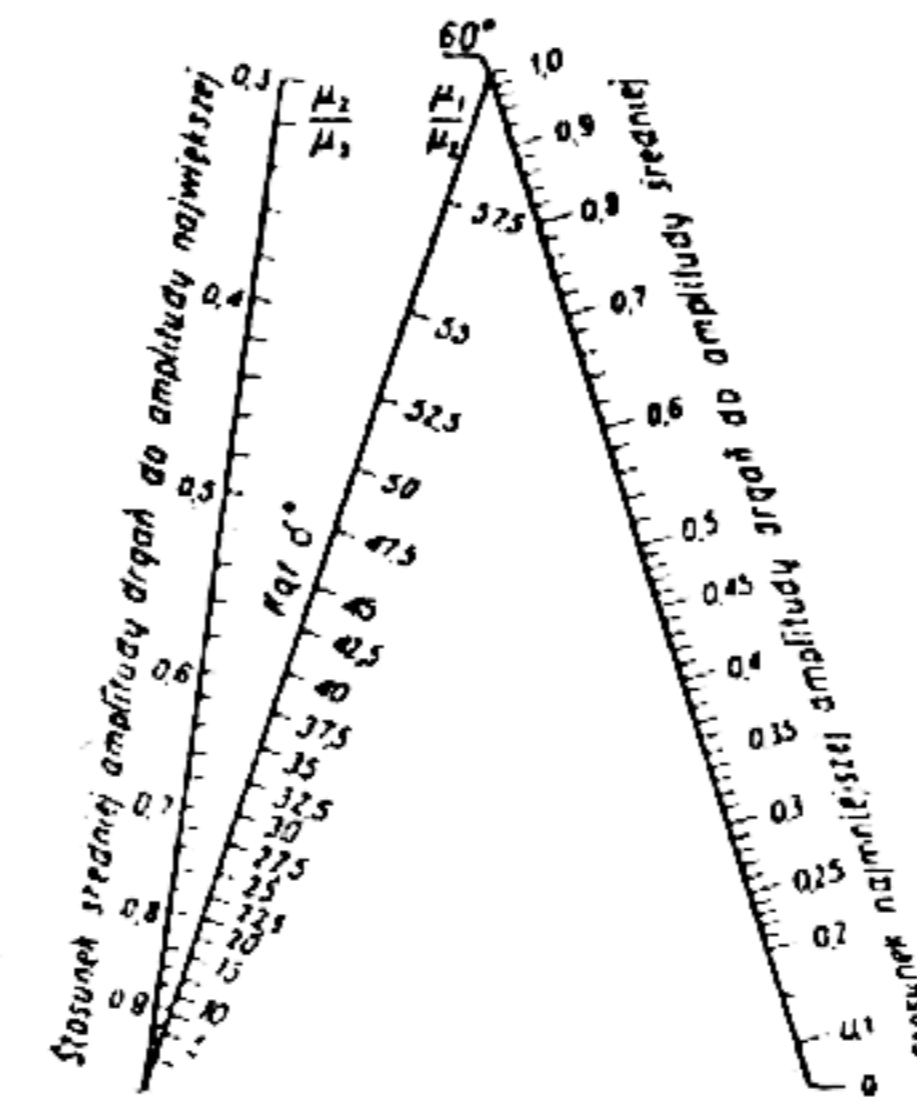
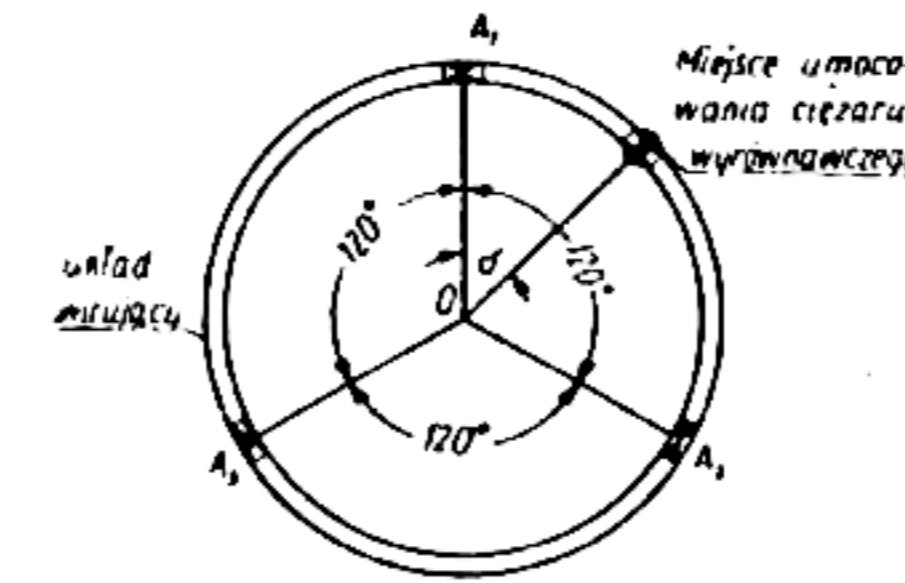
Przy wyznaczaniu wielkości ciężarów równoważących P_1 oraz P_2 według stosunków $\frac{\mu_1}{\mu}$ i $\frac{\mu_2}{\mu}$ możemy otrzymać dwa rozwiązania, tj. dwa punkty przecięcia prostej ze skalą K . W tym przypadku należy przyjąć ten punkt przecięcia, który znajduje się bliżej skali P_3 .

1) Czasopismo: Wiestnik elektropromyslności, 1944, nr 10.

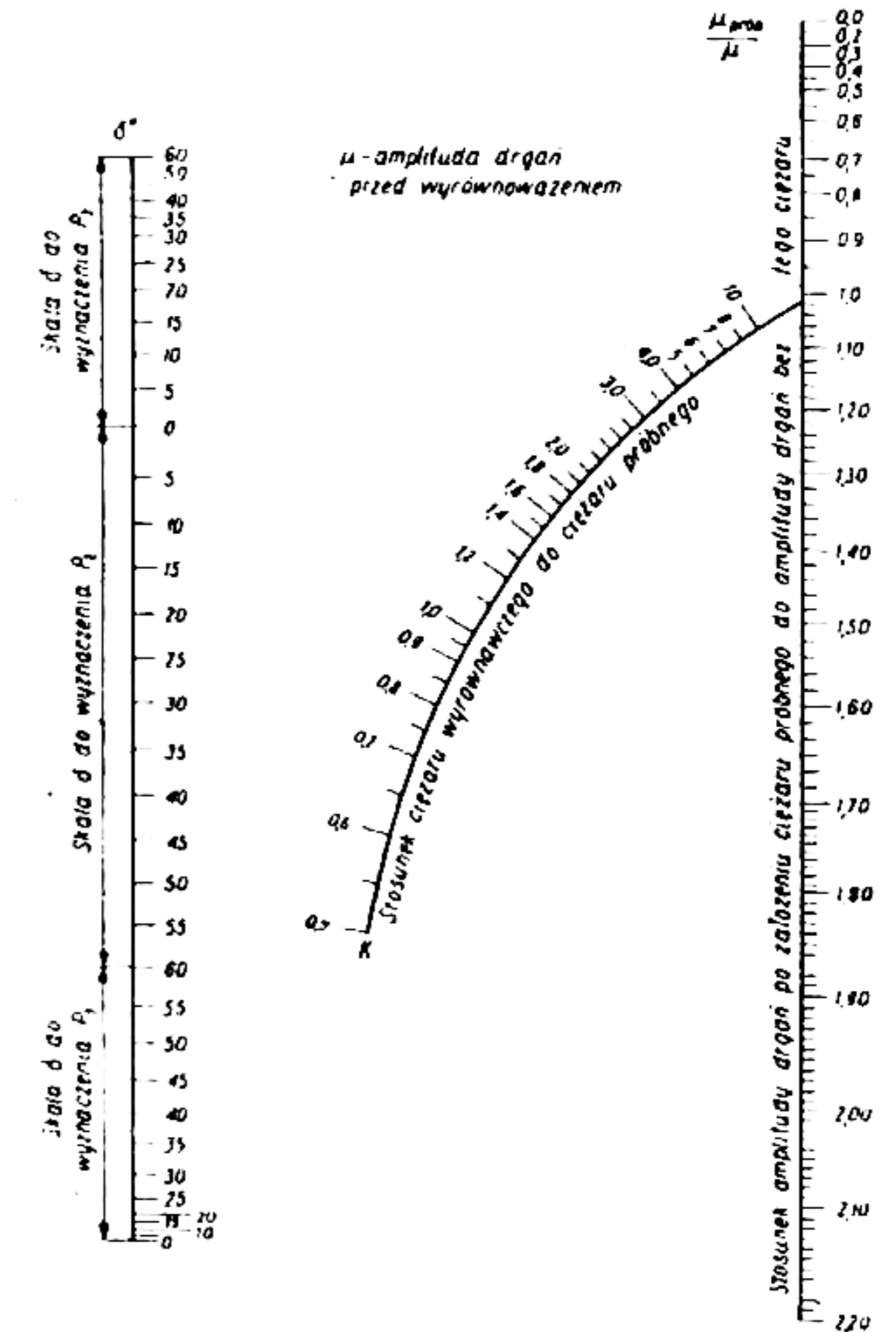
Bezwzględna wielkość ciężaru równoważącego P znajdujemy z wyrażenia

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} P_0$$

Po założeniu i przymocowaniu ciężaru równoważącego przeprowadza się sprawdzający pomiar wielkości drgań (podwojonej amplitudy). Jeżeli drgania są nadal większe od dopuszczalnych, należy ponownie powtórzyć operację wyważania, przy czym o ile twornik jest sto-



Rys. 149. Nomogram do wyznaczania miejsca umocowania ciężaru wyrównawczego



Rys. 150. Nomogram do wyznaczania wielkości ciężaru wyrównawczego

sunkowo wysoki, ciężar próbny najlepiej jest przymocować na dolnej powierzchni twornika.

Przykład. W turbozespolu o prędkości obrotowej $n = 83,3$ obr/min drga nośny krzyżak, przy czym podwojona amplituda drgań wynosi $\mu = 0,13$ mm. Z tabl. 50 widać, że wartość ta przekracza wartość dopuszczalną, tak że turbozespol wymaga wyrównowania dynamicznego. Ciężar twornika $G = 400$ T. Ciężar próbny najwygodniej jest przymocowywać w odległości $r = 3$ m od środka obrotu. Według wzoru podanego uprzednio, wielkość ciężaru próbnego wynosi

$$P_0 = 0,5 \frac{9,81 \cdot 400\,000}{83,3^2 \cdot 3} = 94 \text{ kG}$$

Podwojone amplitudy drgań przy trzech położeniach ciężaru próbnego wynoszą odpowiednio: $\mu_1 = 0,08$ mm, $\mu_2 = 0,15$ mm oraz $\mu_3 = 0,22$ mm.

Na podstawie stosunków $\frac{\mu_1}{\mu_2} = 0,533$ oraz $\frac{\mu_2}{\mu_3} = 0,682$ znajdujemy z nomogramu podanego na rys. 149, że kąt pod którym należy założyć ciężar równoważący wynosi $\delta = 36^\circ$.

Z nomogramu na rys. 150 znajdujemy następnie wielkość ciężaru równoważącego.

Mamy $\frac{\mu_1}{\mu} = 0,615$, $\frac{\mu_2}{\mu} = 1,154$ oraz $\frac{\mu_3}{\mu} = 1,69$, czemu odpowiada

$P_1 = 1,35$, $P_2 = 1,4$ i $P_3 = 1,35$.

Stąd

$$P = \frac{1,35 + 1,4 + 1,35}{3} \cdot 94 = 128 \text{ kG}$$

Wielkość ciężaru równoważącego oraz miejsce jego umocowania można wyznaczyć za pomocą przyrządu systemu inż. Kolesnika¹⁾. Przyrząd ten oparty jest na zasadzie pomiaru zmian amplitudy i fazy drgań maszyny pod wpływem założonego próbnego ciężaru. Amplitudę mierzy się za pomocą specjalnego wibrometru, a fazę drgań obserwuje się za pomocą stroboskopu, który otrzymuje impuls od tegoż wibrometru. Jednak szerokie zastosowanie tego przyrządu do dynamicznego wyważania turbozespołów wodnych ograniczone jest przez dużą częstotliwość jego drgań własnych, wskutek czego można się nim posługiwać tylko przy turbozespołach o prędkości obrotowej większej od 300 obr/min.

¹⁾ Czasopismo: Elektriczeskije stanciji, 1950. Nr 9.

Rozdział XI

OGÓLNE ZAGADNIENIA ORGANIZACJI I PLANOWANIA REMONTÓW

§ 48. PODZIAŁ, OKRESOWOŚĆ ORAZ PLANOWANIE REMONTÓW

Sprawną pracę turbozespołu wodnego osiągamy przez jego prawidłową eksploatację oraz przez wykonywanie w odpowiednim czasie napraw o wysokiej jakości. Planowe naprawy są środkiem, przy pomocy którego urządzeniu przywraca się jego techniczne własności, utracone podczas eksploatacji. Regularne przeprowadzanie planowo-zapobiegawczych napraw jest podstawą pracy bez uszkodzeń oraz wydatnego zmniejszenia czasu trwania napraw. Dla siłowni wodnej nieprzerwana i ekonomiczna praca turbozespołów stanowi zagadnienie pierwszorzędного znaczenia, ponieważ pozaplanowe przerwy ruchu zmniejszają rentowność zużytkowania energii wody i pociągają za sobą zmniejszenie ilości energii elektrycznej, dostarczanej odbiorcom przez elektrownię wodną, co przynosi ogromny uszczerbek gospodarce narodowej.

Pozaplanowe oraz złe pod względem jakościowym naprawy, lekceważące obchodzenie się z instalacją lub niewystarczające kwalifikacje personelu obsługującego, doprowadzają do tego, że nieporządki ujawniają się wówczas, gdy turbozespół jest niezdatny do użytku a jego uszkodzenia wymagają długotrwałej naprawy. Centralne miejsce w praktyce eksploatacyjnej oraz naprawczej powinny więc zajmować usiłowania mające na celu zapobieganie defektom i z tego względu personel siłowni wodnej powinien umieć nie tylko usuwać powstające defekty, lecz i zapobiegać ich występowaniu.

Wielkość oraz charakter zużywania się urządzenia turbinowego będącego w ruchu zależy od parametrów tego urządzenia oraz od czasu jego eksploatacji. Z tego względu dla przywrócenia pierwotnych własności urządzenia stosuje się różne rodzaje napraw. Każdy remont poprzedzony jest odpowiednimi oględzinami i kontrolą urządzenia, w wyniku których ustala się zakres i charakter naprawy. Istniejące rodzaje remontów można podzielić w następujący sposób: przegląd periodyczny, remont bieżący, remont główny, remont główny w zwiększonym zakresie i remont awaryjny.

Przegląd okresowy. Przeglądy (ogłędziny) te przeprowadza się nie przerywając eksploatacji, w czasie gdy turbozespół znajduje się w rezerwie. Celem tych oględzin jest sprawdzenie działania poszczególnych mechaniz-

mów, urządzeń zabezpieczających, elementów automatyzacji oraz stanu trudnodostępnych i najbardziej zużywających się mechanizmów turbiny, bez jakiegokolwiek ich istotnego demontowania. Omawiane oględziny przeprowadza się nie mniej niż dwa do trzech razy w okresie pomiędzy naprawami.

Remont bieżący. Remonty bieżące są to planowe prace mające na celu usunięcie defektów urządzenia powstałych w czasie eksploatacji, w okresie pomiędzy naprawami, jako wynik fizycznego zużycia części wymiennych, naruszenia wyregulowania poszczególnych mechanizmów, zanieczyszczenia itd. Omawiane defekty wykrywa się zazwyczaj w czasie okresowych oględzin. Ten rodzaj napraw z reguły wyklucza konieczność całkowitego zdemontowania najbardziej skomplikowanych mechanizmów oraz zdemontowania turbozespołu. Celem takich napraw jest niedopuszczenie do nieprzewidzianych postojów turbozespołu, spowodowanych nadmiernym zużyciem i rostrojeniem poszczególnych mechanizmów i urządzeń automatycznych. Z tego powodu remonty bieżące należy zaliczyć do napraw planowo-zapobiegawczych. Remonty bieżące przeprowadza się dwa do trzech razy w okresach czasu pomiędzy remontami głównymi.

Remont główny. Remonty główne są to planowe roboty mające na celu usunięcie dużych defektów urządzenia powstałych podczas eksploatacji w wyniku fizycznego zużycia głównych oraz wymiennych części, naruszenia wyregulowania mechanizmów itd. Ten rodzaj napraw zakłada doprowadzenie urządzeń do stanu zbliżonego do ich stanu pierwotnego. Zazwyczaj podczas głównej naprawy demontuje się najbardziej skomplikowane mechanizmy. Remont kapitalny z reguły przeprowadza się raz do roku.

Remont główny rozszerzony. Remonty tego rodzaju są to roboty mające na celu usunięcie dużych defektów urządzenia, powstałych w czasie eksploatacji jako wynik fizycznego zużycia urządzenia. W pewnych przypadkach łącznie z naprawą przeprowadza się modernizację urządzenia. Modernizacja jest to przebudowa urządzenia, które jakkolwiek nadaje się do użytku, jest jednak przestarzałe pod względem swoich własności techniczno-ekonomicznych. Celem takiej naprawy jest sprawdzenie stanu wszystkich mechanizmów turbozespołu, ich odbudowa i w pewnych przypadkach — rekonstrukcja poszczególnych części. Naprawy tego rodzaju zazwyczaj połączone są z demontażem turbozespołu oraz wszystkich mechanizmów i przeprowadza się je co 3 do 5 lat.

Remont pozaplanowy awaryjny. Remonty tego rodzaju są to roboty mające na celu usunięcie defektów urządzenia powstałych w wyniku jego uszkodzenia (awarii) lub usunięcie nienormalności zagrażających uszkodzeniem.

Okresy czasu pomiędzy naprawami należy ustalać uwzględniając intensywność zużywania się części każdego typu turbin (i dla każdej siłowni) szczególnie, tak aby przed naprawą zużycie nie obniżało pewności pracy instalacji. Z tego powodu okresy pomiędzy remontami różnych typów turbin wodnych w różnych siłowniach są niejednakowe.

Przy konfrontacji norm okresowości: oględzin, kontroli i napraw należy mieć na względzie co następuje:

a) należy unikać częstego demontowania bez koniecznej potrzeby mechanizmów dobrze działających, ponieważ każdy demontaż i następujący po nim montaż mogą szkodliwie odbić się na ich stanie;

b) okresy czasu pomiędzy naprawami, podczas których przewidziany jest demontaż mechanizmów, powinny być możliwie najdłuższe i powinny być związane z koniecznością techniczną uwarunkowaną zużyciem części, z doświadczeniem przy eksploatacji analogicznych urządzeń oraz z pojawieniem się jakichkolwiek bądź ujemnych oznak podczas pracy instalacji;

c) należy ze wszech miar unikać całkowitego demontowania zwłaszcza takich zespołów, jak łożysko wzdłużne, skrzynka sterownicza regulatora, elementy automatyki, wirnik turbiny Kaplana itp.

Doświadczenie wykazało, że większość instalacji turbinowych, zwłaszcza zautomatyzowanych, może przy odpowiedniej eksploatacji zadowalająco pracować przez okres do jednego roku lub dłużej, bez potrzeby przeprowadzania głównego remontu. Z tego względu przyjmuje się z reguły, że naprawy główne wykonuje się w odstępach rocznych, w okresie niskich poziomów wód w rzekach. Otóż przy takim poziomie kolejne unieruchamianie turbin nie wywołuje w siłowniach wodnych zmniejszenia produkcji energii elektrycznej poniżej normy.

Dla pewnych siłowni roczny okres pomiędzy naprawami urządzeń jest za długi. Tak na przykład o ile chodzi o siłownie pracujące przy wysokich spadach, gdy wodociek niesie znaczne ilości rumowiska, okres pomiędzy dwiema głównymi naprawami powinien być krótszy niż rok. W siłowniach zbiornikowych, w których urządzenia nie ulegają intensywnemu zużyciu się, okres omawiany może być znacznie dłuższy niż rok i praktycznie często ustala się go przy uwzględnieniu obciążenia systemu energetycznego.

Okresy remontów głównych ustala się w zależności od stopnia zużycia głównych części turbiny oraz od konieczności rekonstrukcji pewnych jej elementów. Oprócz tej zależności, w ciągu pierwszych pięciu lat eksploatacji po montażu, należy przeprowadzić główną (pełną) kontrolę, połączoną z demontażem turbozespołu, rozebraniem wszystkich mechanizmów oraz główną naprawą, tak jak to przewiduje instrukcja ИТЭ (§ 1010). Zakres robót oraz porządek okresowych oględzin opisano w rozdziale IV.

§ 49. ORGANIZACJA I NORMOWANIE PRAC REMONTOWYCH

1. Organizacja prac remontowych

Na cykl remontowy składają się następujące trzy główne fazy: przygotowanie do naprawy, wykonanie naprawy, wypróbowanie urządzenia po jego naprawie.

Przygotowanie do naprawy obejmuje następujące prace:

a) Ustalenie zakresu prac naprawczych. Zakres ten ustalamy na podstawie posiadanych danych (poprzedniej naprawy, wyników okresowych oględzin, specjalnych inspekcji i badań, zapisków w dziennikach o defektach instalacji, technicznych oraz doświadczalnych norm zużycia części) sporządzając według ustalonego formularza nr 1 instrukcji Ministerstwa Elektrowni (ZSRR)¹⁾ wykaz podający zakres oraz przedmiot robót. W wykazie tym zamieszcza się również zaplanowane środki, mające na celu usunięcie defektów. W trakcie naprawy środki te uzupełnia się i uściśla. Oprócz tego wykazu wydział techniczny elektrowni wodnej sporządza przed przystąpieniem do naprawy wykaz według formularza nr 15 instrukcji Ministerstwa Elektrowni (ZSRR) z podaniem ogólnych i technicznych wskaźników pracy turbozespołu. Analogiczne wskazówki umieszcza się w omawianym wykazie po przeprowadzonej naprawie, dzięki czemu przez porównanie mamy możliwość określenia jej jakości.

b) Przygotowanie, według uprzednio sporządzonych spisów i zgłoszeń (§ 50), potrzebnych formularzy (§ 71), narzędzi, materiałów, wyposażenia produkcyjnego, środków udźwigowych, urządzeń specjalnych oraz części zapasowych.

c) Sporządzenie harmonogramu naprawy i badania turbozespołu ze wskazaniem godzin roboczych na formularzu nr 3 instrukcji Ministerstwa Elektrowni (ZSRR); harmonogram ten powinien być uzgodniony z systemem energetycznym.

Przed rozpoczęciem robót przygotowuje się w bezpośrednim sąsiedztwie naprawianego obiektu stanowiska robocze, place naprawcze oraz składy. Tego rodzaju wszechstronne i staranne przygotowanie naprawy daje gwarancję, że czas potrzebny na jej przeprowadzenie będzie możliwie najmniejszy, zaś jakość robót wysoka.

Przebieg naprawy. Naprawę przeprowadza się w następującym porządku:

a) Bezpośrednio przed naprawą sprawdza się działanie poszczególnych mechanizmów oraz turbiny jako całości przy różnych stanach pracy i ustala się wyjściowe dane, dotyczące usytuowania części oraz zespołów. Ustalenie to przeprowadza się za pomocą znakowania, pomiarów i reperów (punktów stałych); mierzy się poza tym grubości szczelin w uszczelnieniach i w łożyskach.

b) Po przeprowadzeniu opisanego sprawdzenia i ustalenia, mechanizmy demontuje się, naprawia, montuje, instaluje oraz centruje na miejscu.

Roboty naprawcze wykonywane są przez siły robocze siłowni lub przez scentralizowane warsztaty naprawcze systemu energetycznego. Zarówno w pierwszym jak i w drugim przypadku bardzo pożądane jest, aby personel eksploatacyjny brał bezpośredni udział w naprawie. Należy zauważyć, że scentralizowanie naprawy przy odpowiedniej jej organizacji wykazuje szereg zalet, a mianowicie lepszą operatywność, w wyniku której przy pra-

¹⁾ „Normy i osnowna dokumentacja po remontach oborudowanija elektrostancij i sietiej”, Gosenergoizdat, 1945.

widlowym planowaniu napraw przez system energetyczny łatwiej jest na jednym odcinku naprawczym skupić potrzebną ilość robotników odpowiednich specjalności; lepsze zaopatrzenie w materiałowe środki naprawcze, w sprzęt ślusarski i obrabiarkowy, w narzędzia, urządzenia, przyrządy do spawania łukowego i gazowego, w środki udźwigowe, przyrządy miernicze i w środki transportowe.

Niezależnie od struktury organizacyjnej bardzo ważne jest uczestnictwo personelu wytwórni w głównych naprawach. Uczestnictwo to dzięki stałemu gromadzeniu doświadczeń wyciągniętych z napraw turbin w różnych elektrowniach wodnych, w połączeniu z technicznym doświadczeniem, osiągniętym w budownictwie turbin wodnych w wytwórni, sprzyja rozpowszechnianiu doskonalszych metod napraw. Oprócz tego uczestnictwo w naprawach personelu wytwórni stanowi ważny element w dziele badania turbin wodnych podczas ich eksploatacji, co przyczynia się do postępu w dziedzinie konstrukcji i budowy maszyn wysokiej jakości.

Badanie urządzenia po naprawie przeprowadza się według specjalnego programu, który przewiduje wypróbowanie i zbadanie poszczególnych mechanizmów poddanych naprawie i demontażowi oraz zbadanie turbozespołu jako całości.

2. Normowanie prac remontowych

Ustalenie jednostkowych norm czasowych poszczególnych operacji prac remontowych jest praktycznie bardzo skomplikowane z powodu znacznych różnic zachodzących pomiędzy poszczególnymi konstrukcjami części i mechanizmów, typami i konstrukcjami turbin oraz z powodu różnorodności środków i metod stosowanych przy przeprowadzaniu poszczególnych operacji a zależnych od wykonawczych możliwości elektrowni wodnej. Wszystko to utrudnia zastosowanie akordowego wynagrodzenia za pracę. Nie znaczy to jednak, że prac naprawczych nie normuje się.

Na podstawie doświadczeń wynikających z wielkiej ilości napraw ustalono, że najbardziej celowe jest stosowanie norm doświadczalno-statystycznych, otrzymanych na podstawie stwierdzonych rzeczywistych roboczo-godzin, wynikających z dawniej przeprowadzonych napraw wielkich części, zespołów oraz mechanizmów. Z tego powodu podczas napraw bardzo ważne jest sporządzenie harmonogramu wykonanych robót, tj. staranne ustalenie drogą chronometrażu zrealizowanych procesów technologicznych oraz rzeczywistego zużycia roboczogodzin.

Przyczynia się to do późniejszego ustalania bardziej prawidłowych norm statystycznych, uwzględniających nagromadzony materiał doświadczalny oraz do stosowania bardziej udoskonalonych narzędzi, urządzeń oraz metod pracy.

Posiadanie nagromadzonego i usystematyzowanego materiału pozwala przed przystąpieniem do naprawy na sporządzenie harmonogramu techno-

logicznego, wyszczególniającego poszczególne operacje w postaci analogicznej do harmonogramu montażu, a wskazującego ponadto ilość roboczo-godzin, uzasadnioną przez dane doświadczalno-statystyczne. Taki harmonogram przy uwzględnieniu współczynnika zmienności daje nam oprócz tego możliwość uprzedniego obliczenia ilości osób personelu naprawczego według ich specjalizacji i kwalifikacji.

Harmonogram wykonanej naprawy oprócz systematycznego polepszenia norm doświadczalno-statystycznych, stanowi dla kierownictwa energetyki podstawę przy ustalaniu terminów unieruchomienia instalacji z powodu naprawy.

W tabelicy 53 podano niektóre orientacyjne normy czasu unieruchomienia instalacji z powodu naprawy. Normy te opracował techniczny oddział Ministerstwa Elektrowni ZSRR. W każdym konkretnym przypadku terminy te koryguje się, zależnie od zakresu robót danego typu naprawy.

Tablica 53
Normy przestojów remontowych turbozespołów wodnych (dnie robocze na jeden turbozespół wraz z urządzeniami pomocniczymi)

Rodzaj turbin	Remont kapitalny o powiększonym zakresie				Doroczny remont główny	Remont bieżący (suma przestojów w ciągu roku)
	Bez wymontowania wirnika i przy ograniczonym zasięgu robót spawalniczych	wymontowanie wirnika i rozebranie łożyska wzdłużnego	Dodatek na: Roboty spawalnicze w większym zakresie (jednak bez zaspawania wirnika)	zaspawanie wirnika w większym zakresie		
1	2	3	4	5	6	7
Wielkie turbiny Francisa o średnicy wirnika 1750 mm i więcej	10 ÷ 12	do 5	do 5	5 ÷ 10	5 ÷ 10	6 ÷ 12
Średnie turbiny Francisa o średnicy wirnika od 1000 do 1750 mm	do 10	do 5	do 5	4 ÷ 9	5 ÷ 8	6 ÷ 12
Turbiny Francisa poziome	5	—	2	3	do 6	do 8
Wielkie turbiny Kaplana	15	do 10	Czas potrzebny do przeprowadzenia naprawy komory (zaspawanie, wykładzina) oraz wirnika ustala się w każdym poszczególnym przypadku		8	6 ÷ 12
Średnie turbiny Kaplana	do 13	do 6	—	do 8	6 ÷ 12	8 ÷ 14
Turbiny Peltona	do 10	—	do 3	6 ÷ 7	6 ÷ 12	—

Do środków remontu zalecamy: materiały zasadnicze i pomocnicze, narzędzia, urządzenia, wyposażenie produkcyjne i dźwigowo-transportowe, wyposażenie udźwigowe. Środki te w bardziej rozszerzonym zakresie stosuje się również przy montażu turbin (§ 8, 12, 13 i 15). Z tego względu przy sporządzaniu zestawienia środków do remontu zaleca się używać z odpowiednimi skorygowaniami tablic środków materiałowych stosowanych przy montażu.

Środki materiałowe wyszczególniono w następujących tablicach: narzędzia ogólne — tabl. 13, narzędzia elektryczne i pneumatyczne — tabl. 14, narzędzia pomiarowe i przyrządy miernicze — tabl. 15, urządzenia montażowo-produkcyjne — tabl. 16, urządzenia i narzędzia specjalne — tabl. 18, materiały zasadnicze i pomocnicze — tabl. 19, środki udźwigowe — tabl. 21, specjalne urządzenia dźwigowo-transportowe — tabl. 22.

Wymienione środki materialne przed przystąpieniem do naprawy powinny być zgromadzone w składzie materiałowym i narzędziowym. Narzędzia oraz urządzenia specjalne, dostarczone przez wytwórnię na miejsce montażu, w razie ich zużycia powinny być wykonane ponownie. Odnosi się to również do urządzeń nowych, używanych z powodzeniem podczas poprzednich napraw. Urządzenia dźwigowo-transportowe oraz środki udźwigowe należy starannie skontrolować, zgodnie z wymaganiami technicznymi (§ 15).

Przed rozpoczęciem robót należy postarać się o wykaz danych ciężarowych, dotyczących części i zespołów turbozespołu. Suwnice, wciągarki elektryczne oraz inne urządzenia dźwigowe należy przed główną naprawą obejrzyć i wypróbować (§ 8). Narzędzia pomiarowe oraz przyrządy miernicze powinny być sprawdzone według kontrolnych wzorców elektrowni wodnej lub w odpowiednich pracowniach.

Personel remontowy. Przygotowaniem oraz samą naprawą turbozespołu kieruje kierownik oddziału maszynowego. W siłowniach wyposażonych w wielkie turbozespoły, w grupie kierownika oddziału powinien znajdować się majster lub technik remontowy. Oprócz tego, zgodnie z umową zawartą z wytwórnią, w celu technicznego kierowania naprawą oraz przeprowadzenia robót regulacyjnych, w miarę potrzeby, przydziela się personel z wytwórni.

Roboty przy naprawach turbin wodnych należą do różnych specjalności, odpowiednio do których należy również organizować brygady robocze: turbinową, regulatorową, rurociągową oraz udźwigową. Oprócz tych zasadniczych brygad, w naprawie uczestniczą: spawacze do spawania łukowego i gazowego; cieśle do budowy rusztowań, pomostów i stojaków; elektrycy do przyłączania i odłączania: przewodów elektrycznych mechanizmów turbozespołu, prowizorycznego oświetlenia oraz narzędzi elektrycznych; obsługa sprężarek, której zadaniem jest zabezpieczenie dostawy powietrza sprężonego do narzędzi pneumatycznych; kowale, tokarze i frezery zatrudnieni w warsztatach naprawczych i inni.

§ 51. PLAC MONTAŻOWY ORAZ REMONTOWE STANOWISKA ROBOCZE

Wskazówki dotyczące przygotowania przed montażem (§ 11) placu montażowego oraz stanowisk roboczych w równym stopniu odnoszą się również do remontów. Dodamy tutaj tylko, że przed przystąpieniem do nich należy rozplanować na placu montażowym, zgodnie z harmonogramem robót, rozmieszczenie części oraz sprzętu naprawczego, sprecyzować dopuszczalne obciążenia poszczególnych odcinków stropów oraz zaznaczyć z tymi danymi (w postaci szkicu) personel udźwigowy oraz naprawczy. Planowanie gospodarki na placach nabiera szczególnego znaczenia w przypadku, gdy główna naprawa o rozszerzonym zakresie odbywa się w czasie, w którym sąsiednie turbozespoły są eksploatowane.

Przed przystąpieniem do naprawy należy zawczasu przygotować wyposażenie stanowisk roboczych: warsztaty stolarskie, stoły ślusarskie, imadła, skrzynie, stojaki, drabiny, pomosty; zabezpieczyć doprowadzenie elektryczności dla siły i światła, powietrza sprężonego oraz wody. Również przed przystąpieniem do właściwej naprawy rejon robót należy oddzielić za pomocą odpowiednich przegród od czynnych turbozespołów. Jeżeli składy narzędzi oraz materiałów są oddalone od naprawianego obiektu, to najlepiej jest w bezpośrednim sąsiedztwie stanowiska roboczego zbudować prowizoryczny skład, mieszczący najczęściej używane narzędzia, urządzenia oraz materiały.

Przed rozpoczęciem robót należy wyjaśnić personelowi remontowemu cele i zadania naprawy oraz zaznaczyć go z harmonogramem naprawy, z technicznymi wymaganiami, przydziałem personelu do poszczególnych odcinków robót, systemem plac, kolejnością przyjmowania robót i wreszcie określeniem ich jakości. Oprócz tego powinno się wskazać rozmieszczenie miejscowego sprzętu przeciwpożarowego oraz omówić sposoby posługiwania się tym sprzętem.

§ 52. GOSPODARKA OLEJOWA TURBOZESPOŁU

Wydzielenie w wielkich siłowniach wodnych gospodarki olejowej jako odrębnego oddziału, uwarunkowane jest zapotrzebowaniem wielkich ilości różnych rodzajów olejów oraz dużymi stawianymi im wymaganiami technicznymi. Oddział olejowy wyposaża się w zbiorniki na oleje, w aparaturę do oczyszczania olejów oraz w urządzenia do ich filtrowania. W celu przeprowadzania badań oraz analiz olejów powinna być zorganizowana w elektrowni wodnej pracownia fizyczno-chemiczna lub punkt badawczy.

Po zmontowaniu turbozespołu należy przed próbnym jego uruchomieniem napełnić olejem układ regulacyjny, zbiornik olejowy łożyska wzdłużnego oraz zbiorniki olejowe łożysk turbozespołu. Napełnianie odbywa się ze

zbiorników za pomocą pompy poprzez rurociąg dla czystego oleju, opróżnianie zaś — poprzez rurociąg oleju zużytego — do oddzielnych zbiorników. Olej zużyty poddawany jest regeneracji w celu umożliwienia jego powtórnego użycia.

Wymagania stawiane olejom oraz smarom. Układ regulacyjny, zbiornik olejowy łożyska wzdłużnego oraz łożyska poprzeczne turbozespołu napełnia się olejem marki YT lub A. Przeważnie stosuje się olej marki YT, który dzięki powiększonej lepkości oraz innym swoim własnościom zabezpiecza bardziej niezawodnie smarowanie oraz w układzie regulacyjnym daje mniejsze przecieki. Oleje turbinowe powinny odznaczać się wysokim stopniem odporności na utlenianie, ponieważ produkty utleniania sprzyjają niszczeniu krawędzi odcinających suwaków oraz naruszeniu tym samym pracy układu regulacyjnego. Stałe produkty utleniania zanieczyszczają ponadto oleje i pogarszają warunki smarowania.

Oprócz tego olej powinien odznaczać się następującymi własnościami: wysoką zdolnością deemulsyfikacji, zabezpieczającą szybkie wydzielenie wody przedostającej się do układu regulacyjnego i olejowego; małą kwasowością oraz małą zawartością popiołu; całkowitym brakiem mechanicznych zanieczyszczeń.

W tabl. 54 zestawiono dane, którym powinny odpowiadać oleje turbinowe.

Tablica 54

Oleje turbinowe i sprężarkowe

Własności fizyczno-chemiczne	Olej turbinowy (GOST 32-47)		Olej sprężarkowy GOST 1861-44	
	Λ	YT	M	T
1	2	3	4	5
Lepkość kinematyczna w temperaturze 50°, cSt	20 ÷ 23	25 ÷ 32	—	—
Lepkość w stopniach Englera w temperaturze 50° (°E)	2,9 ÷ 3,3	3,5 ÷ 4,5	—	—
Zawartość kwasów organicznych (liczba kwasowa) w mg KOH na 1 g oleju, nie więcej niż %	0,04	0,04	0,15	0,15
Zawartość osadu pozostającego po utlenieniu oleju, nie więcej niż %	0,1	0,1	—	—
Liczba kwasowa po utlenieniu (sztucznym starzeniu) w mg KOH na 1 g oleju, nie większa niż	0,35	0,35	—	—
Zawartość popiołu, nie więcej niż %	0,005	0,005	0,03	0,03
Szybkość rozwarstwiania się, nie większa niż min.	8	8	—	—
Zawartość kwasów i zasad rozpuszczalnych w wodzie	brak	brak	brak	brak
Zawartość domieszek mechanicznych, nie więcej niż %	brak	brak	0,007	0,007
Temperatura zapłonu według Brenkena, nie większa niż °C	180	180	218	240

Tablica 54 (cd)

1	2	3	4	5
Temperatura krzepnięcia, nie wyższa niż, °C	-15	-10	—	—
Próba natronowa z zakwaszeniem nie więcej niż, °B,	2	2	—	—
Przezroczystość przy 0°	przezroczysty	przezroczysty	—	—
Zawartość wody	—	—	brak	brak
Lepkość kinematyczna w temperaturze 100°, cSt	—	—	8,5 ÷ 14	15 ÷ 21
Lepkość w stopniach Englera w temperaturze 100°, °E	—	—	1,7 ÷ 2,2	2,3 ÷ 3,0
Odporność na utlenianie podług Sley'a (liczba Sley'a), nie więcej niż	—	—	20	20

U w a g i :

1. Przezroczystość oleju oznacza się w szklanej probówce o średnicy 18 do 20 mm. Olej po jego ochłodzeniu do 0° powinien być również przezroczysty.
2. Olej regenerowany bezwodny powinien odpowiadać normie oleju bezwodnego czystego.

Tablica 55

Objętość oleju potrzebna do napełnienia układu regulacyjnego turbin wodnych

Nazwa zespołu	Turbiny Francisa			Turbiny Kaplana			
	Moc, MW/średnica wirnika, m.						
	15/2,5	38,5/3,0	75/5,5	12,5/3,6	24/4,1	46/8,0	60/9,0
	MHY-4	MHY-4	MHY-7	MHY-4	MHY-4	MHY-20	MHY-27
	Objętość oleju w poszczególnych zespołach układu regulacyjnego, m³						
Zbiornik olejowy ciśnieniowy	1,6	1,6	2,5	1,6	1,6	7,0	9,5
Zbiornik zlewcy	3,6	3,6	7,0	3,6	3,6	14,3	14,3
Serwomotory kierownicy/2 szt./	0,2	0,25	0,40	0,15	0,2	0,95	1,18
Rurociągi	0,5	0,8	0,95	0,85	1,5	2,55	3,47
Serwomotory wirnika	—	—	—	0,2	0,34	2,1	2,7
Zasilacz olejowy	—	—	—	0,15	0,21	1,3	1,5
R a z e m	5,9	6,25	10,85	6,55	7,45	28,2	32,65

Do smarowania sprężarki powietrznej stosuje się olej marki M lub T. Ze względu na to, że podczas pracy sprężarki olej poddany jest działaniu podwyższonej temperatury (do 100° i więcej) oraz wysokiemu ciśnieniu, powinien on być bardziej odporny na utlenianie i wyższe temperatury.

Do smarowania pomocniczych mechanizmów turbiny oraz łożysk tocznych stosuje się smar gęsty (Tovotte'a), który powinien odpowiadać wymaganiom GOST B 1033—41 oraz smar zwany konstalin według GOST 1957—43.

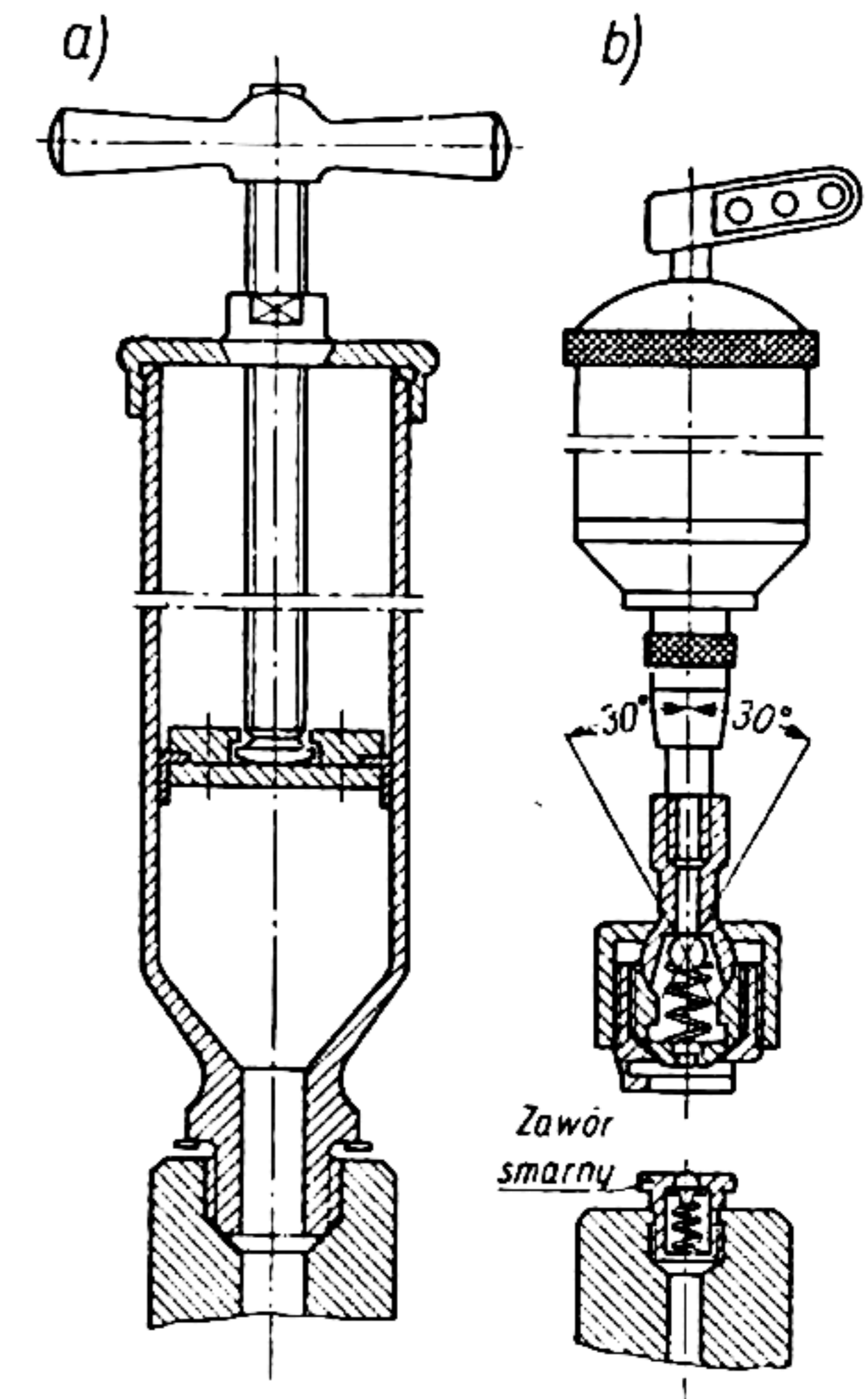
Smary gęste powinny być dostatecznie lepkie oraz powinny utrzymywać się na powierzchniach ciernych przy temperaturach występujących w czasie eksploatacji, nie powinny zawierać kwasów, tęgów, domieszek mechanicznych i wody. Smarownice do smaru gęstego napełnia się za pomocą tłocznic (rys. 151).

W celu zmechanizowania operacji napełniania zaleca się stosować zespoły do scentralizowanego smarowania smarami gęstymi, a mianowicie ręczną tłocznicę typu CPT-12E o wydajności 12 cm³/cykl z automatycznymi zasilaczami; tłocznicę o napędzie elektrycznym typu CAГ-100 lub CAГ-500 o wydajności 100 lub 500 cm³/min i o ciśnieniu do 70 kG/cm².

Ilość oleju potrzebnego do napełnienia układu regulacyjnego oraz czas jego pracy. Ilość ta powinna być podana przez wytwórnictwo dostarczającą urządzenie. Dla turbin wodnych zaopatrzonych w typowe regulatory oraz w zespoły olejowe ciśnieniowe produkcji Leningradzkich Zakładów Metalowych im. Stalina, ilości te podano w tabl. 55.

Doświadczenie wykazuje, że po pierwszym próbnym uruchomieniu turbozespołu olej zawarty w układzie regulacyjnym jest w pewnym stopniu zanieczyszczony (zawiera włókna materiałów służących do czyszczenia, pył przedostający się podczas montażu itd.) i wymaga oczyszczenia. Z tego powodu w celu wymiany oleju należy rozporządzać stuprocentowym zapasem oleju czystego, zaś olej zanieczyszczony — poddać oczyszczeniu.

Czas pracy oleju w układzie regulacyjnym zależy od pierwotnej jakości oleju, od czystości ścian układu stykających się z olejem, jakości ich powłoki ochronnej (farby odpornej na działanie oleju), jakości zabezpieczenia przed zanieczyszczaniem, regularnego oczyszczania filtrów oraz od usuwania wody z oleju. Przy właściwej eksploatacji czas pracy oleju dochodzi do 12 i 14 tysięcy godzin pracy. W układzie smarującym czas ten jest znacznie krótszy.



Rys. 151. Tłocznicę do smaru: a) do wtlaczania smaru do łożysk łopatek kierowniczych, b) do zaworów smarowych

W celu określenia jakości oleju pobieramy przed rozpoczęciem naprawy próbkę, która powinna odpowiadać przytoczonym uprzednio wymaganiom. W przeciwnym przypadku należy olej poddać regeneracji lub wymienić go na olej czysty.

Straty oleju spowodowane jego wyparowywaniem, przeciekaniem poprzez nieszczelności i wydzielaniem odstalej wody uzupełniane są przez dolewanie świeżego, czystego oleju. Uważa się, że normalna ilość oleju, którą należy dodać w ciągu roku powinna wynosić dla turbin Francisa i Peltona od 5 do 10% ogólnej ilości oleju zawartego w układzie regulacyjnym, zaś dla turbin Kaplana od 15 do 20% tejże ilości. O ile straty oleju są większe od podanych, to podczas naprawy należy wykryć i zlikwidować przyczyny nadmiernego przeciekania.

Rozdział XII

ZUŻYCIE INSTALACJI TURBINOWEJ

§ 53. ZUŻYCIE CZĘŚCI PODDANYCH TARCIU

W zespołach oraz w mechanizmach turbin wodnych najbardziej intensywnemu zużyciu ulegają panwie, wały oraz inne omówione dalej części.

Panwie łożysk poprzecznych. Łożysko poprzeczne turbiny pionowej w pierwotnym okresie jej pracy znajduje się w szczególnych warunkach. Warunki te polegają na tym, że nawet przy idealnie dokładnym dopasowaniu panwi do poprzecznego czopa wału, tarcie w omawianym okresie zachodzi głównie w pasie sąsiadującym z dolną krawędzią panwi. Jest to wynikiem ruchu krążącego wału wokół punktu jego zawieszenia (czopa wzdłużnego), podczas którego oś wału opisuje stożek, którego promień podstawy równa się grubości szczeliny łożyskowej. W ten sposób podczas pracy turbozespołu łożysko wyciera się i powierzchnia styku z wałem powiększa się coraz bardziej. Wskutek opisanego zjawiska uszkodzenia łożysk poprzecznych przeważnie zachodzą przy pierwszym uruchomieniu turbozespołu po wmontowaniu lub naprawie panwi. Aby temu zapobiec, należy podczas naprawy:

- 1) starać się o uzyskanie najmniejszej dopuszczalnej zaprojektowanej grubości szczeliny, a to w tym celu, aby w wyniku zmniejszenia podstawy stożka opisywanego przez oś wału otrzymać dużą powierzchnię roboczą;
- 2) możliwie najdokładniej dopasować panew do czopa poprzecznego, szczególnie w dolnej części łożyska;
- 3) nie dopuszczać wzdłuż łożyska do większych odchyłeń grubości szczeliny, tj. do pochylenia osi łożyska względem osi wału.

Prawdopodobieństwo pojawienia się zadziorów oraz uszkodzeń podczas pierwszego uruchamiania turbiny powiększa się w razie występowania dużych sił zaburzających, wywołujących rzucanie wału, w razie nieodpowiedniego dopływu smaru oraz złej jego jakości, w razie zbyt niskich przeciwności właściwości materiału panwi itd.

W panwiach łożysk turbin stosuje się, jak wspomniano, stop łożyskowy, gumę lub drewno preparowane (lignofoil).

Panwie ze stopu łożyskowego. Łożyska poprzeczne zaopatrzone w panwie ze stopu łożyskowego smarowane olejem, odznaczają się wielką odpornością na zużycie i przy prawidłowym ich eksploatacji mogą przez długi czas (5 do 8 lat) pracować bez ponownego wylewania tym stopem. Oznaką

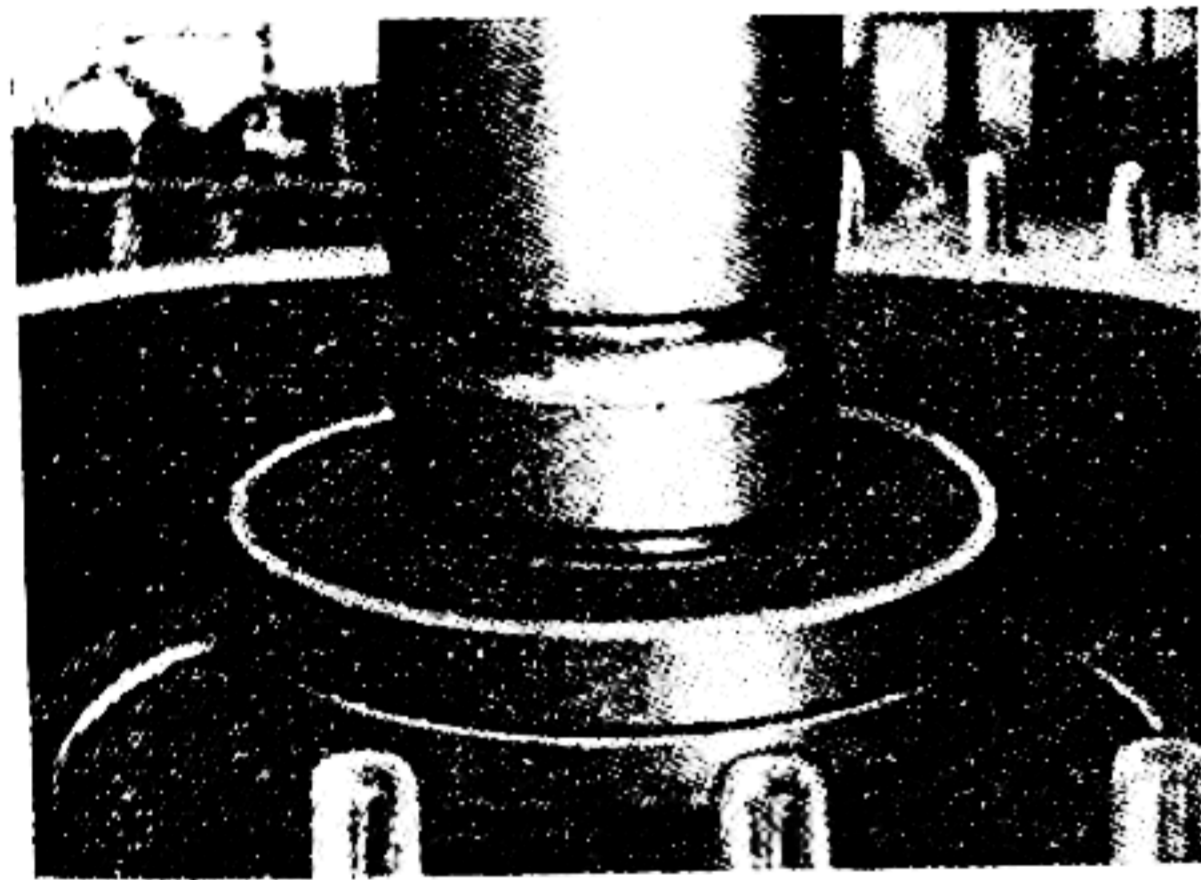
wskazującą na konieczność ponownego wylania jest powiększenie się maksymalnej projektowej grubości szczeliny więcej niż o 50%. Łożyska te znoszą krótkotrwałą pracę na sucho.

Panwie gumowe. Panwie gumowe smarowane wodą praktycznie nie wykazują zużycia nawet o ile w wodzie znajdują się twarde domieszki, jednak w przypadku tarcia suchego są bardzo nietrwałe. Praca bez smarowania nawet w ciągu najkrótszego czasu pociąga za sobą stopienie gumy. Z tych względów panwi gumowych nie naprawia się, lecz wymienia się je na nowe.

Panwie z drewna preparowanego (lignofoilu). Panwie te odznaczają się dobrą odpornością na ścieranie nawet przy znacznych naciskach jednostkowych, lecz wymagają do smarowania czystej wody, bez jakichkolwiek obcych ciał. Właściwość drewna preparowanego polegająca na pęcznieniu pod wpływem wody powoduje, że w czasie eksploatacji turbozespołu naprawy panwi wykonanych z tego drewna zdarzają się stosunkowo częściej. Doświadczenia poczynione przy eksploatacji tych nowych łożysk, jakkolwiek jeszcze niewystarczające, wykazują jednak, że budowa ich wymaga dalszego udoskonalenia¹⁾.

Należy zauważyć, że ewentualne nieznaczne i trudne do uchwycenia wzrokiem ostre rysy znajdujące się na czopie poprzecznym wału powodują bardzo szybkie zużycie drewna preparowanego. Obecność piasku w wodzie doprowadzanej do łożyska również przyspiesza zużycie tego drewna. W praktyce znane są przypadki, gdy panwie z drewna preparowanego okazały się niezdadne do użytku już po krótkotrwałej pracy. Przypuszczalnie było to wynikiem zanieczyszczenia wody smarującej, złej jakości drewna preparowanego oraz ciężkich warunków pracy turbiny.

Wały turbin wodnych. Wały te zużywają się wskutek tarcia głównie w miejscach styku z uszczelnieniem dławnicy. Intensywność zużycia powiększa się w miarę powiększania spadu, prędkości obwodowej czopa poprzecznego oraz w przypadkach zawartości stałego rumowiska w wodzie doprowadzanej do dławnicy. Na rys. 152 pokazano charakterystyczne zużycie wału turbiny pracującej pod spadem 47 m i przy 375 obr/min. Zużycie wału może być spowodowane zbyt silnym dociągnięciem dławika lub złą jakością szczeliwa znajdującego się w dławnicy. Dławik należy dociągać w ten sposób, aby poprzez dławnicę przesączało się nieco wody. Przy doborze szczeliwa należy posługiwać się tabl. 56.



Rys. 152. Czop poprzeczny wału turbiny, zużyty wskutek tarcia o szczeliwo dławnicy

1) Doświadczenie wynikające z eksploatacji i naprawy panwi łożysk poprzecznych, sporządzonych z drewna preparowanego, podane są w artykule inż. E. Szterna w czasopiśmie: Gidrotechničeskoe stroitelstwo. 1949, Nr 1.

Rodzaje i dane techniczne szczeliw stosowanych w dławnicach turbin wodnych

Dane	N a z w a s z c z e l i w a			
	Bawełna impregnowana	Termoplast	Konopie impregnowane	Amortyzacyjne z rdzeniami gumowymi
Warunki techniczne	TY Nr. 409-H	TY Nr. 1060-H	TY Nr. 415-H	-
Największe dopuszczalna ciśnienie, kg/cm^2	200	-	160	-
Największa dopuszczalna temperatura	100	-	100	-
Wygląd zewnętrzny	Sznur bawełniany, nasączony masą przeciwcierną	Masa plastyczna barwy czarnej, nasączona mieszaniną grafitową samosmarującą	Sznur sporządzony z przędzy konopnej lub jutowej, zawierająca co najmniej 35% masy przeciwcierną	Sznur o przekroju kwadratowym, spleciony z rdzeni gumowych na osnowie bawełnianej i nasączony substancją przeciwcierną
Wymiary normalne: średnica sznura okrągłego lub bok sznura kwadratowego mm	6, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25	-	8, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 32, 35, 42	-
Zastosowanie	Do uszczelnienia wałów pomp wirowych i pomp samozasysających	Nie stosuje się w turbinach wodnych. Można zalecić do uszczelnienia tłoczków siłowni kół i czopów łopatek kierowniczych	Do uszczelnienia wałów turbin wodnych	Do uszczelnienia wałów wielkich turbin wodnych

Części kierownicy. Wskutek tarcia mechanicznego zużywają się następujące części kierownicy: czopy łopatek, panwie brązowe i panwie z drewna preparowanego, skórzane oraz gumowe uszczelnienia czopów łopatek i tłoczków siłowników, brązowe tuleje czopów dźwigni i strzemion kierownicy. Z wyjątkiem czopów łopatek części tych nie naprawia się i w razie nadmiernego zużycia zastępuje się je częściami zapasowymi. Zamiast skóry stosowane jest odpowiednie tworzywo syntetyczne, a mianowicie polichlorek winylu; odpowiednio dane dotyczące tego zastosowania polichloru winylu znajdują się w literaturze¹⁾. Przy doborze skóry na pierścienie uszczelniające należy kierować się danymi umieszczonymi w tabl. 57.

Tablica 57

Skóry techniczne, stosowane w turbinach wodnych (GOST 1898-48)

Zastosowanie	Rodzaj skór	Stosowana część skóry	Rodzaj wyprawy (garbowania)	Wykończenie
a) Skóry ciężkie: Pierścienie uszczelniające tłoków, siłowników, czopów łopatek kierowniczych, wirników turbin Kaplana, tłoczków upustów jałowych, wrzecion zaworów itp.	Wolowe, bycze krowie i z jałówek	Czaprak (Krupon)	1) Roślinna 2) Chromowo-roślinna 3) Chromowa	Lico gładkie, rewers szpaltowany
b) Skóry lekkie: Skórzane wkładki sprzęgła, pierścienie uszczelniające nie poddawane zbyt wielkim ciśnieniom	Z jałówek	Cała skóra	1) Roślinna 2) Chromowo-roślinna	"

Części układu regulacyjnego. W układzie regulacyjnym największemu zużyciu wskutek tarcia ulegają następujące części:

1) Czopy przegubowych łącz przekładni. Nieznaczne powiększenie się luzów w poszczególnych ogniach przekładni, rzędu kilku setnych części milimetra, może w sumie dać jej znaczny martwy ruch. Jeżeli martwy ruch całej przekładni jest większy od dopuszczalnego, tj. od 0,5 do 0,8 mm, to należy wymienić zużyte czopy.

W nowych konstrukcjach w celu zmniejszenia tarcia w przekładniach coraz szersze zastosowanie znajdują łożyska kulkowe. Oprócz tego istnieje tendencja do przechodzenia od sztywnych przekładni, zaopatrzonych w przegruby, do przekładni giętkich, bezprzegubowych — linowych.

2) Znacznemu zużyciu ulegają wszelkiego rodzaju suwaki (suwak siłownika pomocniczego, suwak główny, suwaki ryglujące i inne). Głównie zużywają się krawędzie suwaków oraz tulei suwakowych o wymiarach przekryć rzędu 0,1 do 0,4 mm. Intensywność zużywania się krawędzi odcinają-

¹⁾ W. A. Michiejew: Nowyje konstrukcji uplotnitielej dla wysokich gidrawliczeskich dawlenij. Masziz, 1951.

cvch rośnie z częstością oscylacji suwaka. Z tego powodu podczas napraw oscylacje suwaków należy likwidować, zaś suwaki zużyte — wymienić na nowe.

3) W zaworach przelotowych, zwrotnych, bezpieczeństwa oraz w zaworach hydraulicznych wskutek tzw. stukania, zużywają się gniazda zaworów oraz grzybki. Przy naprawach grzybki powinny być dotarte do gniazd.

4) W pompach zębatych zużywają się wskutek tarcia tuleje łożyskowe czopów kół zębatych. Zazwyczaj tuleje te wymienia się na nowe. W pompach śrubowych ulegają zużyciu powierzchnie kadłuba wylane stopem przeciwnym, tuleje oraz czopy wzdłużne wirników śrubowych.

§ 54. ZUŻYCIE CZĘŚCI TURBINY WSKUTEK KAWITACJI ORAZ DZIAŁANIA RUMOWISKA ZAWARTEGO W WODZIE

Zużyciu wskutek działania kawitacji oraz rumowiska ulegają elementy omywane przez wodę. Zjawisko kawitacji powstaje w prądzie wody w tych miejscach, w których występuje dynamiczny spadek ciśnienia, tj. przeważnie u wylotu wirnika oraz w rurze ssawnej turbin reakcyjnych. Fizyczna istota kawitacji nie jest jeszcze całkowicie zbadana. Istnieje pogląd, że kawitacja jest wynikiem tworzenia się w strumieniu stref o wysokiej próżni. Gdy próżnia w turbinie osiągnie wartość bezwzględnego ciśnienia pary wodnej,



Rys. 153. Kawitacyjne wyżarcia w żeliwie (widok zewnętrzny i przekrój)

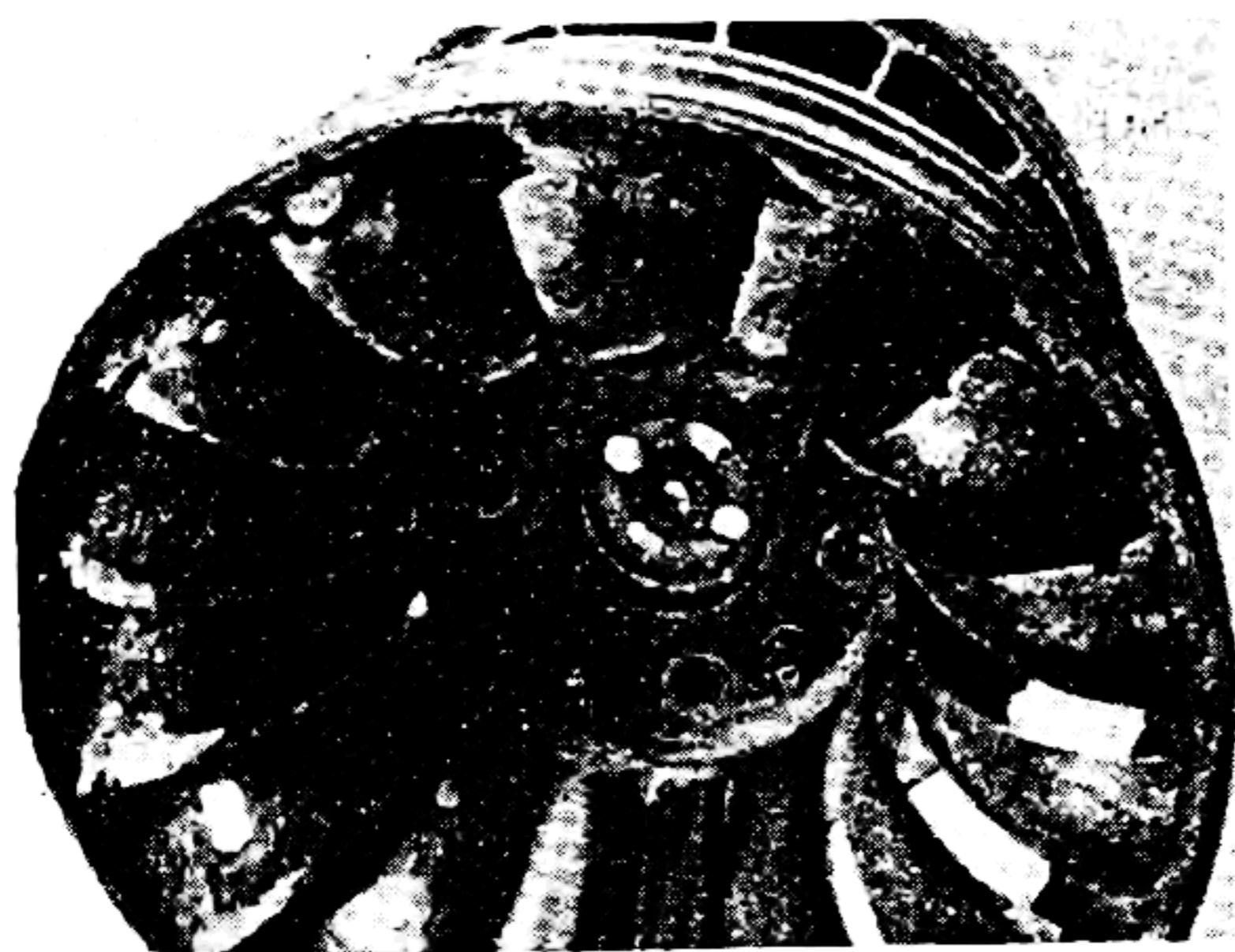
to w strefie tej mikroskopijne cząsteczki wody przeobrażają się w pęcherzyki pary, które następnie stykając się z okalającą je wodą ulegają skropleniu i są przez wodę tę wchłaniane. W utworzone w ten sposób przestrzenie wdzierają się cząsteczki wody, które zderzając się wytwarzają bardzo silne lokalne uderzenia, podobne do wybuchów.

Jeżeli opisany proces przebiega w pobliżu ścianek części turbiny, to uderzenia te działając w sposób czysto mechaniczny odrywają krawędzie powierzchniowych płytkich por, utworzonych w metalu i tym samym powiększają szorstkość ścianek. To z kolei prowadzi do jeszcze większego lokalnego zaburzenia strugi w pobliżu ścianek, do powiększenia intensywności kawi-

tacji i do postępującego coraz bardziej zniszczenia metalu. W ten sposób nadmierny spadek ciśnienia sprzyja pojawieniu się lokalnych ognisk intensywnej kawitacji, która oddziałując na ścianki danej części niszczy je drogą wyżerania. Powierzchnia wyżarta przez kawitację wyróżnia się swą szorstkością i posiada wygląd porowaty i gąbczasty (rys. 153). Wypowiadane są hipotezy, według których proces kawitacji związany jest ze zjawiskami elektrycznymi i chemicznymi.

Oprócz kawitacji lokalnej rozróżniamy kawitację szczelinową i jamową.

Kawitacja szczelinowa występuje w szczelinach, w których prędkość wody jest bardzo duża. Kawitacja ta również wyżera metal, z którego zbudowane są ścianki części turbiny nadając tym ściankom wygląd gąbczasty.



Rys. 154. Wylotowe krawędzie wirnika turbiny Francisa zniszczone przez kawitację

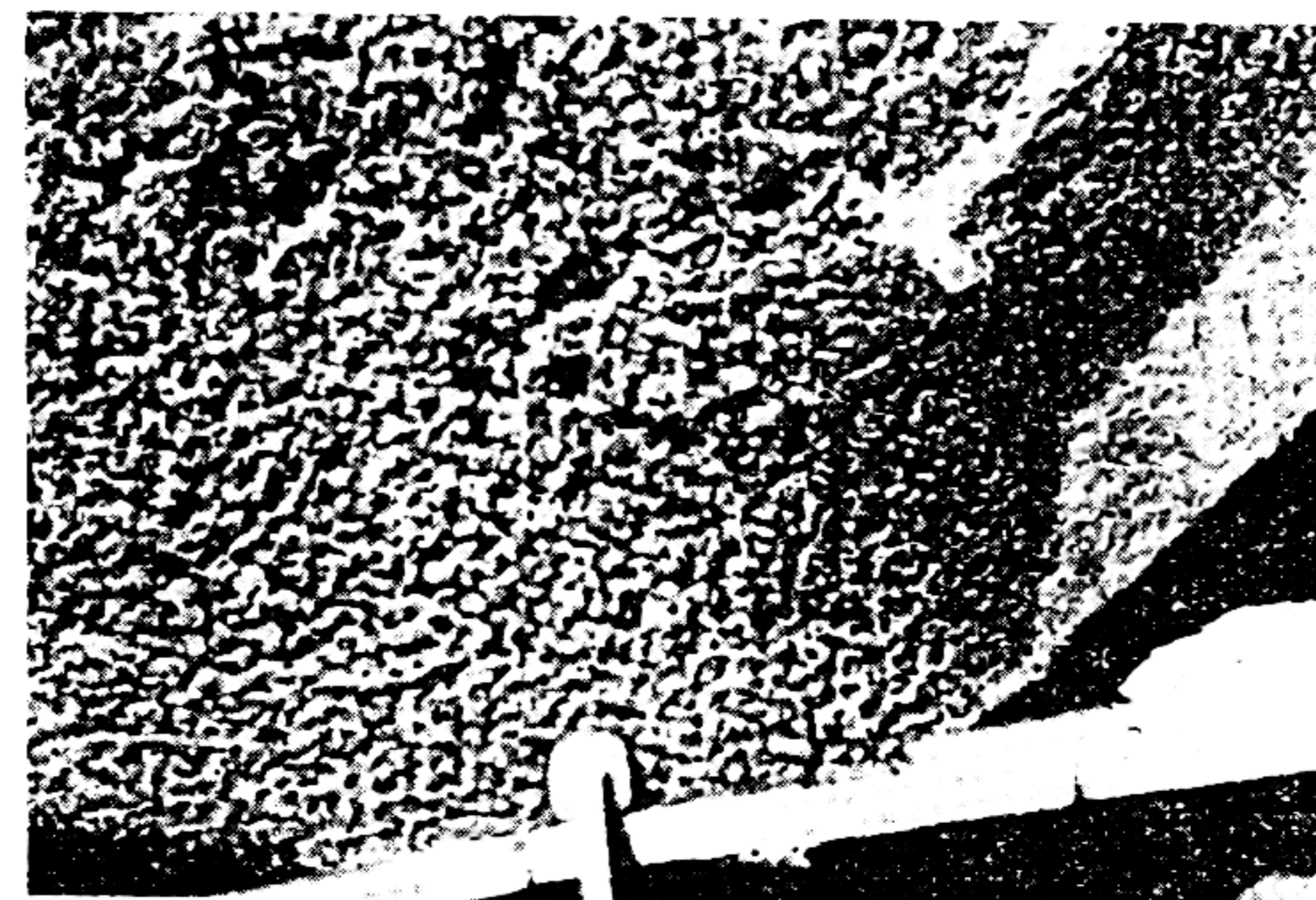
Kawitacją jamową, w odróżnieniu od kawitacji lokalnej, nazywa się zjawisko kawitacji powstające w środkowej strefie rury ssawnej. Przy określonych warunkach w strefie tej tworzy się wir obracający się z dużą prędkością naokoło osi rury. Kawitacji jamowej towarzyszą stuki i wstrząsy części współpracujących turbozespołu, wywołujące silne jego drgania. W szeregu przypadków unika się zupełnie lub częściowo nadmiernych drgań przez wpuszczanie powietrza atmosferycznego do przestrzeni pod wirnikiem, w której tworzy się wir. W turbinach Francisa najlepsze wyniki osiąga się przez wpuszczanie powietrza poprzez otwór znajdujący się w wale turbozespołu.

Intensywna kawitacja odbija się więc bardzo szkodliwie na działaniu turbozespołu: metal, z którego wykonane są ścianki elementów ulega stosunkowo szybkiemu zniszczeniu, powierzchnie pokrywające się jamami kawitacyjnymi zatrzymują strugi wody i stwarzają dodatkowe opory przy jej przepływie, wreszcie zmniejsza się sprawność oraz moc turbiny oraz powiększają się drgania przyjmując niekiedy groźny charakter.

Należy zauważyć, że chociaż zjawiska kawitacyjne w pewnym stopniu

zawsze występują, to jednak w praktyce, gdy jej zewnętrzne oznaki nie ujawniają się, sądzi się, że kawitacja nie zachodzi.

Woda przepływająca przez turbinę niesie z sobą zawsze pewną ilość ciał obcych, zwanych rumowiskiem. Rumowisko w sposób mechaniczny ściera powierzchnie elementów przepływowych, przy czym intensywność zużycia jest tym większa, im rumowisko jest twardsze (piasek, bazalt, kwarc) oraz im większe są ziarna i prędkości wody rumowisko to unoszącej. Wyniki badań laboratoryjnych podawane w literaturze wskazują, że przy takiej samej wielkości ziaren zużycie jest proporcjonalne do $3/2$ potęgi zawartości rumowiska i do spadku. Inne badania wykazują, że zużycie jest proporcjonalne do kwadratu prędkości obwodowej wirnika.



Rys. 155. Powierzchnia łopatkki wykonanej ze stali nierdzewnej, zniszczona przez kawitację

Powierzchnie zużyte na skutek działania rumowiska pokryte są zazwyczaj bruzdami, przebiegającymi równoległe do kierunku przepływającej wody. Bruzdy te mogą się przecinać wskutek zmiany tego kierunku przy różnych stanach pracy turbozespołu. O ile więc zniszczenia wywołane działaniem kawitacji charakteryzują się gąbczastą powierzchnią, będącą wynikiem odrywania się cząstek metalu, to zniszczenia wywołane działaniem rumowiska charakteryzują się bruzdami wyłobionymi na powierzchni; bruzdy te są wynikiem nacisku strumienia na powierzchnię oraz ścierania cząstek metalu przez ciała obce. Współdziałanie tych dwóch czynników przyspiesza zniszczenie metalu. Prawdopodobnie przyspieszenie to polega na tym, że powierzchnia gąbczasta łatwiej poddaje się ścierającemu działaniu rumowiska i odwrotnie, bruzdy wywołane przez rumowisko sprzyjają powstawaniu ognisk lokalnej kawitacji.

Części turbiny podlegające kawitacji oraz ścieraniu przez rumowisko. W wirnikach turbin Francisa kawitacja lokalna przeważnie niszczy niepracujące powierzchnie łopatek i powierzchnie dolnego wieńca znajdujące

się w sąsiedztwie krawędzi wylotowej (rys. 154) oraz elementy wlotowej części rury ssawnej. Należy zauważyć, że zaokrąglenia o zbyt małym promieniu oraz nierówności i szorstkość występujące w obszarze mniejszego ciśnienia sprzyjają powstawaniu ognisk lokalnej kawitacji.

Wskutek występowania kawitacji szczelinowej ulegają zniszczeniu uszczelnienia labiryntowe dolnego wieńca wirnika. Pod działaniem tej właśnie kawitacji niszczą się również grzybki jałowych upustów oraz zaworów tarczowych, przy czym proces zniszczenia przebiega głównie wtedy, gdy zawory są zamknięte i w miejscach, w których woda przesącza się poprzez nieszczelności. Zniszczeniu spowodowanemu przez kawitację szczelinową ulegają również czołowe powierzchnie łopatek kierowniczych i to wówczas, gdy kierownica jest zamknięta. Wszystkie omawiane zjawiska są szczególnie intensywne w turbinach na wysokie spadach, w których panują bardzo duże szybkości strumienia wody unoszącego poza tym z sobą rumowisko.

W turbinach Kaplana kawitacji ulegają przede wszystkim niepracujące powierzchnie łopatek oraz powierzchnie piasty i komór wirników, znajdujące się poniżej osi obrotu łopatek wirnika.

Na rys. 155 pokazano powierzchnię łopatek wyżartą wskutek działania kawitacji.

W turbinach Peltona kawitacja szczelinowa powoduje niszczenie iglic, nasadek dysz oraz zamykających powierzchni zaworów. Proces wyżerania intensywnie przebiega wtedy, gdy zawór jest otwarty, ponieważ nieznaczne ilości wody przeciekającej przez nieszczelności wystarczają, aby przed iglicą wytworzyło się niemal pełne ciśnienie. Wówczas przy najmniejszej nieszczelności dyszy woda nanosi piasek, który gromadzi się przed nasadką dyszy i ściera iglicę oraz nasadkę. Jeżeli po zamknięciu zaworu nieco otworzyć dyszę, to o ile szczelność jego powierzchni zamykających jest zadowalająca, ciśnienie przed dyszą wydatnie się zmniejszy i w wyniku tego iglica oraz nasadka nie będą się niszczyć.

W turbinach na wysokie spadach rumowisko ściera przeważnie te powierzchnie części turbiny, które znajdują się w strumieniu przepływającej wody pomiędzy zaworem i wirnikiem.

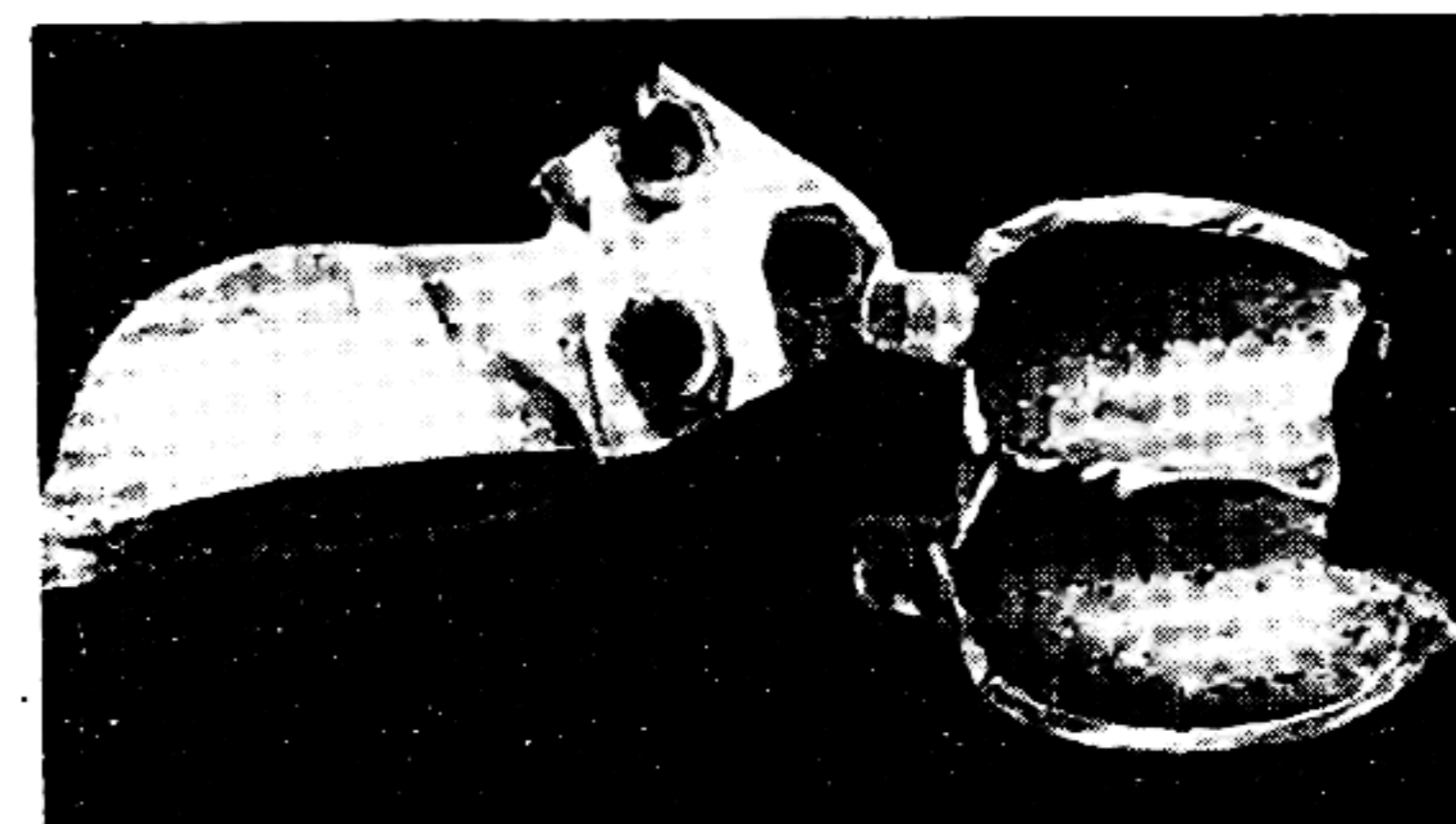
W turbinach Francisa ścieraniu przez rumowisko ulega tarcza oraz powierzchnie zamykające zaworu, łopatki i ich łożyska, pokrywa turbiny oraz

dolny pierścień kierownicy, pierścienie uszczelnień labiryntowych, wreszcie wlotowe części łopatek oraz tarcz wirnika.



Rys. 157. Uszkodzenia dolnego pierścienia kierownicy spowodowane erozyjnym działaniem rumowiska

Na rys. 156 pokazano łożysko łopatki kierowniczej, którego powierzchnia czołowa została wyżarta i następnie naprawiona przez napawanie łukiem elektrycznym. Na rys. 157 przedstawiono dolny pierścień kierownicy uszkodzony w wyniku ścierania przez rumowisko.



Rys. 158. Erozyjne zużycie łopatki wirnika turbiny Peltona; łopatka ponadto uległa złamaniu

W turbinach Peltona ścieraniu spowodowanemu przez rumowisko ulegają tarcze i powierzchnie zamykające zaworów, iglice oraz nasadki dysz, środkowe żebra, wycięcia oraz zagłębienia łopatek wirników. Duża zawartość rumowiska szybko niszczy ścianki łopatek, zmniejsza ich wytrzymałość, doprowadza do powstawania pęknięć i złamań. Na rys. 158 pokazano łopatkę (czarę), która uległa znacznemu zużyciu, a następnie złamała się.

Rys. 156. Łożysko żeliwne łopatki kierowniczej po naprawie; zniszczoną dolną czołową powierzchnię łożyska naprawiono przez napawanie za pomocą łuku elektrycznego

§ 55. MATERIAŁY ODPORNE NA ZUŻYCIE

Dane statystyczne podawane w literaturze, jak również dane otrzymane przy naprawach oraz eksploatacji turbin wykazują, że im większa jest twardość powierzchni metalu, tym lepiej przeciwstawia się on wyżeraniu przez kawitację oraz ścieraniu przez rumowisko. Blacha walcowana której powierzchnia została wzmocniona przez obróbkę za pomocą śrutu jest od 1,5 do 2 razy odporniejsza na zużycie niż odlew wykonany z tej samej stali. Materiał natapiany za pomocą elektryczności wykazuje od 3 do 4 razy większą odporność na kawitację niż stal węglowa łana, zaś odporność materiału natopionego przy użyciu specjalnych elektrod typu austenitycznego jest większa 4 do 5 razy. Z praktyki wiadomo, że miejsca pokryte metalem natopionym za pomocą elektryczności ulegają nieznacznemu niszczeniu przez kawitację, przy czym największą odporność wykazuje powierzchniowa zahartowana warstwa natopionego metalu.

Badania doświadczalne materiałów odpornych na ścieranie przez rumowisko przeprowadzone z częściami pomp ziemnych potwierdziły, że im większa jest twardość materiału, tym większa jest jego odporność na ścieranie. Twardość materiału znajduje się za pomocą diamentu przez zarysowanie nim badanej powierzchni. Jako jednostkę twardości przyjęto szerość rysy wyżłobionej na zwykłym szarym żeliwie. Ustalono, że stale węglowe marki 10, 20 oraz 40 wykazują odporność na zużycie od 3 do 4 razy większą niż żeliwo. Najlepszymi pod tym względem są stale 40 X, 65Γ, Y-8, IIX15, 55C₂, których odporność na zużycie jest od 4 do 5 razy większa niż żeliwa, zaś zahartowanie tych stali zwiększając ich twardość, powiększa jeszcze 1,5 raza odporność na zużycie. Z materiałów niemetalicznych wysoką odporność na zużycie wykazuje guma (około 20 razy większą niż żeliwo), lecz jednocześnie posiada ona pewną wielką wadę. Mianowicie na jej powierzchni pojawiają się nacięcia, spowodowane działaniem rumowiska, wskutek czego staje się ona niezdatna do użytku. Drewno preparowane jest znacznie bardziej odporne na kawitację niż żeliwo (§ 62), jednak słabo przeciwstawia się ścieraniu przez rumowisko.

§ 56. CZĘŚCI ZAPASOWE

Jednocześnie z urządzeniami wytwórnia dostarcza części zapasowe: montażowe i eksploatacyjne.

Części zapasowe montażowe przeznaczone są dla zespołów oraz dla mechanizmów, których ostateczny montaż i wypróbowanie przeprowadza się na miejscu zainstalowania. Do takich części należą: skórzane pierścienie uszczelniające (kierownicy oraz siłowników), które częściowo mogą okazać się niezdatne do użytku wskutek skurczenia się przy nasycaniu tłuszczem; wszelkiego rodzaju niemetalowe uszczelki, które podczas sprawdzania mechanizmów stają się niezdatne do użytku; szkło wskaźnika poziomu oleju

ciśnieniowego zespołu olejowego, które podlega próbie ciśnienia łącznie z olejowym zbiornikiem ciśnieniowym; sworznie bezpieczeństwa mogące ulec zniszczeniu podczas pierwszego próbnego uruchomienia, gdy strumień wody niesie z sobą ciała pływające; krzywka kombinatora, która potrzebna jest w przypadku, gdyby krzywka zaprojektowana nie odpowiadała rzeczywistym warunkom; śruby; nakrętki; kołki itp. Nazwy i ilości zapasowych części montażowych ustala wytwórnia indywidualnie dla każdej instalacji.

Części zapasowe eksploatacyjne przeznaczone są do zastępowania nimi podczas napraw tych części, których przewidywany czas pracy jest mniejszy niż czas pracy głównych części instalacji. Czas żywotności części wymiennych nie powinien być przy tym krótszy od czasu upływającego pomiędzy dwoma kolejnymi naprawami głównej instalacji. Posiadanie przez elektrownię wodną przed rozpoczęciem naprawy potrzebnych ilości części zapasowych stanowi niezbędny warunek odpowiedniego wykonania naprawy oraz niezawodnej eksploatacji.

Nazwy oraz ilości tych części zapasowych, które dostarczane są razem z urządzeniami, ustala wytwórnia dostarczająca te urządzenia, zależnie od konstrukcyjnych cech i doświadczeń poczynionych przy eksploatacji podobnych turbin. Ilości te są następnie uzupełniane na podstawie doświadczeń wpływających z eksploatacji danej turbiny.

Niektóre części zapasowe wykonywane są zazwyczaj z nadatkami, które umożliwiają podczas napraw ich ostateczną obróbkę na wymiary zgodne z wymiarami stykających się części. Tego rodzaju nadatki powodują wszakże przedłużenie czasu naprawy i niekiedy przy danej naprawie prowadzą do zaniechania wymiany części zużytych. Oczywiście powoduje to obniżenie jakości naprawy. Możemy uniknąć tych niedogodności, o ile wytwórnia wyrabia części zapasowe o stopniowanych wymiarach dopasowując je u siebie do części głównych podczas produkowania ostatecznych.

Podamy obecnie spis części zapasowych dla różnych typów turbin. Przy zamawianiu części zapasowych dla danej turbiny należy uwzględnić intensywność zużywania się części, które mają podlegać wymianie oraz ewentualność przeprowadzenia ich naprawy bez zamiany na części nowe. Tak na przykład w instalacjach na niskie spady, posiadających stosunkowo czystą wodę, łopatki kierownicze w ciągu długiego okresu eksploatacji, wynoszącego 10 do 15 lat, nie wykazują istotnego zużycia i nie wymagają wymiany, podczas gdy w instalacjach na wysokie spady, których wodocięki niosą dużą ilość rumowiska, zużycie to już w ciągu 1 do 2 lat osiąga dopuszczalną granicę.

Przy sprzyjających okolicznościach (małej wysokości ssania, braku rumowiska w wodzie, dużej odporności na zużycie wykazywanej przez materiały użyte do konstrukcji) wirniki turbin Francis'a i turbin Peltona oraz łopatki turbin Kaplana mogą nieprzerwanie pracować bez potrzeby ich wymiany wymagając tylko w poszczególnych przypadkach niewielkiego remontu, natomiast przy niesprzyjających warunkach zużycie może w ciągu

2 do 3 lat osiągnąć takie rozmiary, które nie pozwalają już na rekonstrukcję łopatek drogą ich naprawy.

Jeżeli siłownia wyposażona jest w kilka turbozespołów, to dodatkowo zamawia się takie części zapasowe, które zazwyczaj nie są dostarczane dla pojedynczego turbozespołu. Do takich części należą: pompa odwadniająca (samozasysająca), pompa olejowa wraz z jej osprzętem, (tj. z zaworami: zwrotnym, przelotowym i bezpieczeństwa), sprężarka powietrzna olejowa, podwójny filtr zaworu przelotowego, czujnik (przełącznik) ciśnienia i inne części.

Spis części zapasowych dla zespołów i mechanizmów turbin wodnych

1) **Kierownica turbiny Francisa oraz turbiny Kaplana.** Łopatki, dźwignie wraz z klinami, strzemiona wraz z tulejami, zderzaki bezpieczeństwa dla strzemion (wężyki), sworznie bezpieczeństwa, dolne oraz średnie tuleje łożyskowe czopów łopatek, pierścienie skórzane do uszczelniania czopów łopatek oraz tłoczysk siłowników, sznur gumowy do uszczelniania szczelin pomiędzy czołowymi powierzchniami łopatek i pierścieniami kierownicy, smarownice (zawory smarowe) do smaru gęstego.

2) **Kierownica turbiny Peltona.** Iglice, dysze, tuleje tłoczysk iglic.

3) **Wirnik turbiny Francisa.** Pierścienie labiryntowe górnego i dolnego wieńca wirnika, pierścienie labiryntowe pokrywy i dolnego pierścienia kierownicy, wirnik (w miarę potrzeby).

4) **Wirnik turbiny Kaplana.** Pierścienie uszczelniające łopatek: skórzane, gumowe oraz brązowe sprężynowe; łopatki (w miarę potrzeby).

5) **Wirnik turbiny Peltona.** Łopatki, śruby do ich przymocowania, kliny międzyczarkowe rozpierające, kompletny wirnik (w miarę potrzeby).

6) **Zespół łożyska poprzecznego.** Panwie (gumowe, z drewna preparowanego, ze stopu łożyskowego), szczeliwo do dławnicy, pompa do smarowania łożyska z panwiami wylanymi stopem łożyskowym, labiryntowe uszczelnienie wału.

7) **Upust jałowy.** Zapasowe pierścienie grzybka oraz gniazda, pierścienie tłoczyska grzybka, suwak oraz tuleja, sprężyna katarakty.

8) **Zawór na dopływie wody (przed turbinami).** Uszczelnienia czopów oraz kadłuba zaworu, pierścienie uszczelniające tłoczyska siłownika.

9) **Skrzynka sterownicza.** Sprężyna osiowa oraz sprężyna promieniowa, taśma regulatora odśrodkowego, drążek oraz łożyska kulkowe regulatora odśrodkowego, sprężyna tłoczyska oraz sprężyna katarakty, suwak siłownika pomocniczego, kadłub suwaka rozdzielczego, tuleja suwaka oraz suwak regulacji ręcznej, stożek mechanizmu ciernego, koło zębate oraz sprężyna mechanizmu regulacji ręcznej, podwójny filtr do oleju (komplet), ślimaki mechanizmu zmiany liczby obrotów, koła zębate mechanizmu ograniczającego otwarcie, sprężyny ogranicznika awaryjnego, mechanizmy sterowania suwakiem zatrasku siłownika oraz wskaźnikiem położenia suwaka głównego.

10) **Zespół olejowy ciśnieniowy.** Szkła wskaźnika poziomu oleju, sprężyny zaworu zwrotnego, zaworu bezpieczeństwa i zaworu przelewowego, iglice czujnika (przełącznika) ciśnienia i zaworów przelewowych, piasta oraz czop wzdłużny wirnika napędzającego śrubowej pompy olejowej, łożyska wzdłużne wirników napędzanych tejże pompy, siatki filtrów, sprężyny sprężarki powietrznej olejowej.

11) **Skrzynka kombinatora.** Suwak i kadłub suwaka, koła zębate, pierścienie skórzane uszczelniające.

Rozdział XIII

DEMONTAŻ ORAZ MONTAŻ TURBIN WODNYCH W CZASIE NAPRAW

§ 57. OGLEDZINY ORAZ USTALENIE STANU INSTALACJI TURBINOWEJ PRZED NAPRAWĄ

Przystępując do naprawy należy przede wszystkim zaznajomić się ze stanem turbozespołu i zebrane dane zestawzić z danymi, ustalonymi podczas montażu lub podczas poprzednich oględzin, kontroli i napraw. Daje to możliwość określenia robót dodatkowych, które należy wykonać poza robotami zaplanowanymi. Zaleca się, aby oględziny oraz ustalenie stanu turbiny przeprowadzać w następującym porządku:

1) Bezpośrednio przed unieruchomieniem turbozespołu sprawdzić i ustalić przy biegu jałowym oraz pod obciążeniem dane charakteryzujące pracę poszczególnych jej mechanizmów, układu regulacyjnego oraz instalacji pomocniczych.

2) Przy unieruchomionym turbozespole możliwie najdokładniej uzgodnić znak znajdujący się na wale ze znakiem umieszczonym na pokrywie łożyska; znaki te nanosi się podczas montażu turbozespołu lub podczas poprzedniej naprawy i zapisuje je w protokole (patrz rys. 66 oraz 106). Pozwala to przy tym samemu położeniu wału uzyskać porównywalne dane co do wymiarów szczelin w labiryntowych uszczelnieniach wirnika oraz w łożyskach turbozespołu, a oprócz tego — drogą pomiaru odległości pomiędzy opisanymi znakami — sprawdzić zmianę wysokości ustawienia układu wirującego turbozespołu.

3) Następnie sprawdzić i zanotować wielkość naciągu kierownicy (§ 21). Przyczynami zmniejszającymi naciąg mogą być: zużycie łopatek w miejscach ich stykania się z sobą, zużycie tulei łożyskowych czopów łopatek, zużycie kinematycznej przekładni kierownicy (tulei strzemion łopatek kierowniczych, głowic tłoczków siłowników), powiększenie szczeliny promieniowej pomiędzy pierścieniem regulacyjnym i kamieniami wskutek zużycia ostatnich, zmiana długości strzemion w czasie eksploatacji spowodowana wymianą sworzni bezpieczeństwa.

4) Skontrolować ilość oleju wypływającego ze zbiornika ciśnieniowego zespołu olejowego przy zamkniętych zaworach oraz zamkniętych zaworach

hydraulicznych i ilość ubywającego powietrza. Ostatnią ilość znajdujemy na podstawie spadku ciśnienia w zbiorniku ciśnieniowym (patrz § 43 i 44). Oprócz tego należy pobrać próbki oleju z układu regulacyjnego oraz smarującego.

5) Zmierzyć grubość szczelin w łożyskach turbozespołu oraz sprawdzić stan uszczelnień w dławicach wałów. Grubości te rejestruje się w protokole (patrz rys. 66 i 106).

6) Sprawdzić oraz ustalić stan części podwodnych turbiny. Części te należy oglądać przy każdej głównej naprawie. Turbinę po pierwszym roku eksploatacji poddaje się pełnym oględzinom, podczas których spirala oraz rura ssawna powinny być odwodnione. O ile rura ssawna pracuje normalnie, to następne jej oględziny w stanie odwodnionym należy przeprowadzać nie rzadziej niż raz na trzy lata. Jeżeli poziom dolnej wody nie zezwala na przeprowadzenie oględzin wirnika bez odwodnienia rury ssawnej, to rurę tę należy bezwzględnie odwadniać przy każdej głównej naprawie.

Na uwagę zasługuje oryginalna metoda oględzin rury ssawnej zastosowana w pewnej wielkiej elektrowni wodnej, w której zainstalowane są turbiny Francisa. Metoda ta nie wymaga uciekania się do zwykłego sposobu odwadniania, tj. do zakładania zastawek wodoszczelnych i do odpompowywania wody.

W okresie oględzin dolny poziom wody znajdował się nieco poniżej wirnika. Pod wirnikiem wybudowano pływający pomost (tratwę). Deski oraz bale potrzebne do budowy podawano poprzez wirnik. Na pomoście ulokowała się grupa specjalistów, a następnie komorę wirnika przy zamkniętej kierownicy powoli napełniano powietrzem. W miarę powiększania się ciśnienia powietrza poziom wody pod wirnikiem razem z tratwą obniżał się, co pozwoliło na dokonanie oględzin rury ssawnej. Po oględzinach ciśnienie powietrza powoli zmniejszono i tratwa z powrotem dopłynęła do wirnika. Aby zmniejszyć zużycie powietrza wszystkie szczeliny w kierownicy (szczeliny międzyłopatkowe oraz szczeliny pomiędzy czołowymi powierzchniami łopatek i pierścieniami kierownicy) były od wewnątrz zatkane sznurem, który w celu zapewnienia lepszej szczelności posmarowano smarem Tovotte'a.

7) W turbinach Francisa należy obejrzeć wirnik i zaznaczyć na szkicu osobno miejsca wyżarte pod działaniem kawitacji, osobno zaś miejsca uszkodzone wskutek ścierania przez rumowisko. W sposób analogiczny ustala się zużycie górnego pierścienia kierownicy lub pokrywy turbiny oraz dolnego pierścienia kierownicy i łopatek kierowniczych. Miejsca w których uległ zużyciu pierścień fundamentowy oraz rura ssawna zaznacza się na szkicu rozwinięcia tych części. Przy oględzinach zaworu odwadniającego spiralę sprawdza się jego skok oraz szczelność. Mierzy się szczeliny w uszczelnieniach labiryntowych wirnika. Otrzymane dane protokołuje się.

Grubości szczelin międzyłopatkowych oraz czołowych szczelin łopatek kierownicy również zapisuje się w protokole (patrz rys. 63 oraz rys. 64). Jednocześnie ustala się stan uszczelnień gumowych czołowych powierzchni łopatek (o ile w takie uszczelnienie turbina jest zaopatrzona).

Następnie opukuje się komorę spirali w celu wykrycia pustych miejsc, które mogły ewentualnie powstać wskutek rozmycia betonu przez przesączającą się wodę. O ile instalacja zaopatrzona jest w zawór umieszczony przed turbiną oraz w upust jałowy, to sprawdza się stan tych mechanizmów, ustala się rozmiary ich zużycia oraz szczelność powierzchni zamykających.

8) W turbinach Kaplana sprawdza się stan komory wirnika. Ustala się zakres robót spawalniczych przy napawaniu wyżerów kawitacyjnych. Wyżery te zaznacza się na szkicu rozwinięcia komory. Komorę opukuje się w celu wykrycia ewentualnych pustych miejsc. W razie ich ujawnienia wierce się w komorze otwory, przez które wtłacza się płynną zaprawę cementową, po czym otwory te zatyka się korkami. Należy również sprawdzić stan umocowania wymiennego członu komory; robimy to przez opukiwanie śrub mocujących oraz nakrętek. W praktyce zdarzały się wypadki, gdy nawet przy lekkim uderzeniu łby tych śrub odpadały wskutek powstania w nich pęknięć o charakterze zmęczeniowym.

Następnie sprawdza się stan łopatek oraz piasty wirnika. Miejsca wyżarte zaznacza się na odpowiednim szkicu. W razie gdy przeciekanie oleju przez uszczelnienia łopatek jest większe od dopuszczalnego (§ 52), należy uszczelnienia te naprawić stosując przy tym uprzednio opisane metody.

Co się tyczy pozostałych danych charakteryzujących stan oraz działanie mechanizmów turbozespołu przed naprawą, to dane te ustala wydział techniczny siłowni (rzucanie wału oraz drgania części współpracujących, działanie mechanizmów regulacji, zaworów, upustów jałowych, urządzeń odwadniających znajdujących się na pokrywie turbiny, przeciekanie wody poprzez nieszczelności spirali, wielkości otwarcia kierownicy oraz łopatek wirnika przy biegu luzem, czas wirowania układu wirującego po zamknięciu dopływu wody do turbiny, temperatury łożysk i in.).

§ 58. DEMONTAŻ I MONTAŻ TURBIN W PRZYPADKU REMONTÓW GŁÓWNYCH

Turbozespół demontuje się całkowicie oraz wyjmuje jego wirnik tylko w przypadku remontu o rozszerzonym zakresie. Przed przystąpieniem do demontażu należy przekonać się czy zachowały się znaki ustalające wzajemne położenie łączonych z sobą części oraz zespołów turbiny. O ile znaków takich nie ma, należy nanieść je na nowo.

Następnie należy wypuścić olej ze zbiornika łożyska wzdłużnego, ze zbiorników łożysk poprzecznych oraz z układu regulacyjnego, przy czym z siłowników olej usuwa się całkowicie (za pomocą zespołu pompowego

przeciekowego), zaś z piasty wirnika turbiny Kaplana — tylko częściowo. Z piasty tej poprzez zawór spustowy znajdujący się w dnie wirnika spuszcza się objętość oleju równą objętości wewnętrznego wydrążenia wału. W ten sposób zabezpieczamy sobie możliwość odłączenia wału od wirnika. Całą pozostałą ilość oleju zawartego w piastce można usunąć na placu montażowym po zdemontowaniu wirnika.

Demontaż przeprowadza się w kolejności odwrotnej niż montaż (patrz rozdziały IV, V i VI).

Demontaż prądnicy. Przede wszystkim odłącza się i zdejmuje prądnicę regulatora odśrodkowego wraz z bezpiecznikiem (przekąźnikiem) odśrodkowym, wzbudnicę pomocniczą, pokrywę olejowego zbiornika łożyska wzdłużnego i wzbudnicę, zaś w turbinach Kaplana — oprócz tego — zasilacz olejowy. Rury olejowe zasilacza olejowego, podobnie jak i wszystkie pozostałe rury należy bezzwłocznie po ich zdemontowaniu zabezpieczyć przed zanieczyszczeniem zatykając ich końce za pomocą drewnianych kołków lub zaślepek. Również we wszystkich mechanizmach zakłada się zaślepki na wszystkie otwory, przez które przepływa olej.

W razie konieczności zdemontowania piasty czopa tarczowego układ wirujący turbozespołu (typu podwieszonego) podnosimy na hamulcu na wysokość nieco mniejszą niż pionowe wymiary szczelin uszczelnień labiryntowych (praktycznie w granicach 8 do 12 mm), zdejmujemy następnie pierścieniową wpustkę piasty czopa tarczowego i powoli spuszcza się olej z cylindrów hamulcowych, przy czym układ wirujący opuszcza się pod wpływem własnego ciężaru i wał wysuwa się z piasty o wielkość skoku hamulca. Następnie za pomocą suwnicy zdejmujemy piastę z wału, przy czym posługujemy się śrubami z uchem lub specjalnym urządzeniem i demontujemy czop tarczowy, górne łożysko oraz krzyżaki prądnicy. Jednocześnie rozbieramy dolne łożysko prądnicy i poprzeczne łożysko turbiny.

Przed przystąpieniem do rozłączenia wałów turbiny i prądnicy, pod wirnikiem turbiny Francisa należy umieścić podkładki lub kliny, zaś wirnik turbiny Kaplana podwiesić na wieszakach w ten sposób, aby po rozłączeniu złącza kołnierzonego wał, turbiny łącznie z wirnikiem opuścił się i występ centrujący tego wału całkowicie wyszedł z wytoczenia znajdującego się w wale prądnicy. Po rozłączeniu wałów twornik prądnicy przenosi się na plac montażowy.

W pionowych turbozespołach Peltona, które zazwyczaj zaopatrzone są w jeden wał, twornik wyjmuje się razem z wirnikiem oraz z dolnym niezależnym krzyżakiem. W tym celu uprzednio należy zdjąć pokrywę osłony turbiny wraz z zespołem uszczelniającym wał. Można też wirnik odłączyć od wału i pozostawić go w komorze turbiny. W tym przypadku wyjmuje się tylko twornik wraz z wałem bez wirnika oraz dolnego krzyżaka i razem transportuje je na plac montażowy.

Demontaż mechanizmów roboczych turbiny. Przede wszystkim rozbiera się zespół łożyska poprzecznego turbiny i odłącza tłoczyska siłowników od pierścienia regulacyjnego. W turbinach Francisa demontuje się ponadto

siłowniki, ponieważ przeszkadzają one przy wyjmowaniu pokrywy turbiny. W tych turbinach Kaplana, w których górny pierścień kierownicy jest za-betonowany, o ile nie zachodzi potrzeba wyjęcia siłowników, można ich nie demontować. W turbinach Kaplana, w których górny pierścień kierownicy jest odcemowlalny, siłowniki powinny być zdemontowane wówczas, jeżeli zachodzi potrzeba wyjęcia tego pierścienia.

Kierownicę turbiny Francisa demontuje się w ten sposób, że zdejmuje się strzemiona, dźwignie, pierścień regulacyjny oraz wyjmuje się łożyska łopatek, następnie zdejmuje się pokrywę turbiny i wreszcie wyjmuje się łopatki oraz dolny pierścień kierownicy.

Wirnik turbiny Francisa wyjmuje się wraz z wałem posługując się przy tym urządzeniem do zawieszania.

Wirnik turbiny Kaplana wyjmuje się bez wału. W tym celu odcemowluje się pokrywę siłownika wirnika i razem z wałem transportuje ją na plac montażowy, na którym wał odłącza się od pokrywy i łączy się ją z urządzeniem do zawieszania. Następnie pokrywę przymocowaną do tego urządzenia ponownie przymocowuje się do cylindra siłownika i wirnik w całości transportuje się na plac montażowy, na którym ustawia się go na kozłach. Upřednio od wirnika odłącza się opływkę, dla której należy zawczasu zbudować drewnianą podłogę.

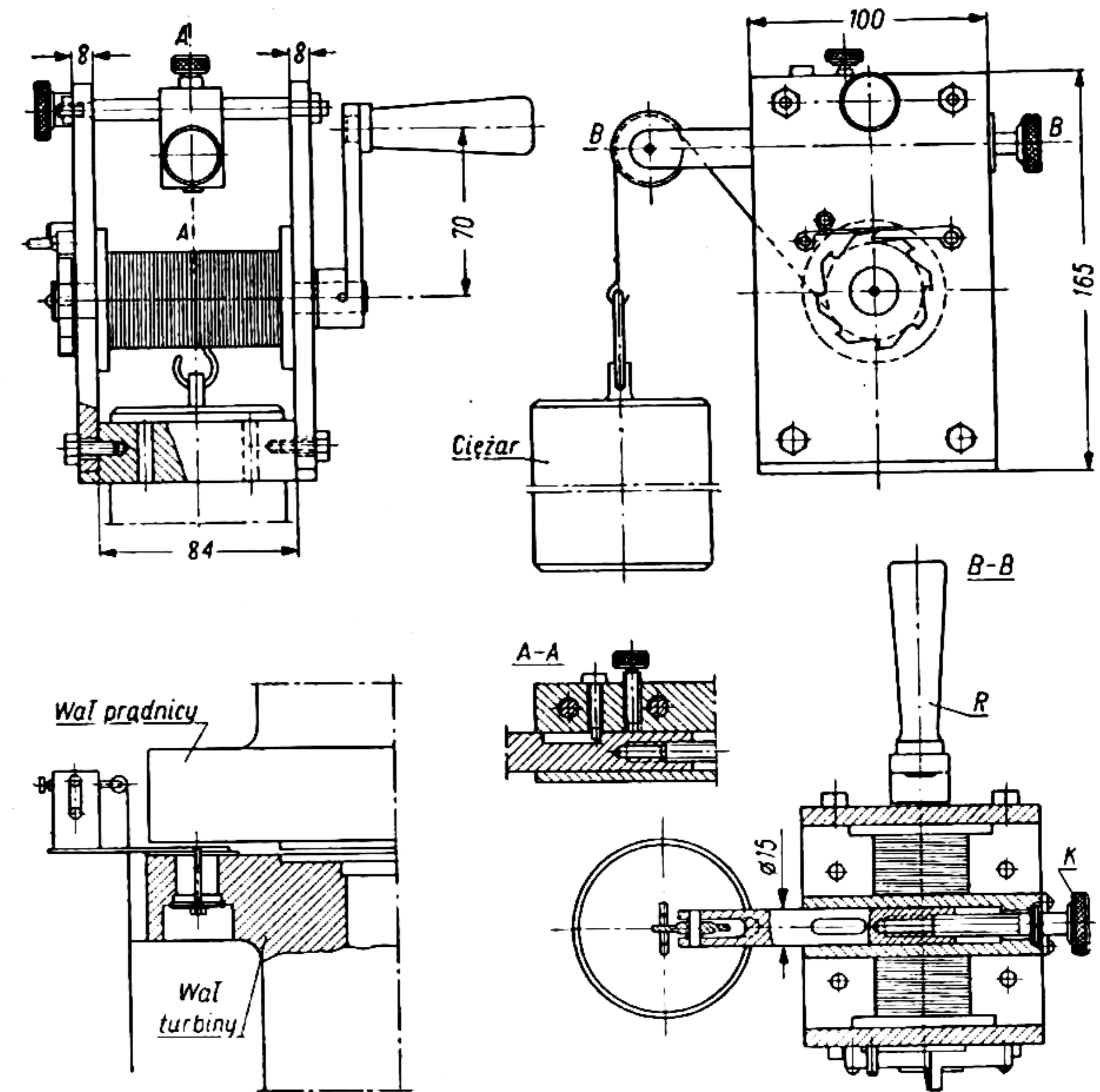
Wirnik demontuje się w kolejności odwrotnej do kolejności jego montażu (§ 27). W konstrukcjach, w których pokrywa cylindra siłownika stanowi jedną całość z wałem, wirnik wyjmuje się łącznie z wałem, o ile pozwala na to wysokość podnoszenia suwnicy. Jeżeli komora wirnika zaopatrzona jest w człon odcemowlalny, to większość robót naprawczych przeprowadza się na miejscu, bez wyjmowania wirnika.

§ 59. SPRAWDZENIE LINII WAŁÓW TURBOZESPOŁU

Jeżeli przewidujemy, że podczas naprawy turbozespół ma być ponownie centrowany, to przed jego rozebraniem należy sprawdzić stan linii wałów (patrz formularz na rys. 119). Sprawdzenie to można przeprowadzić stosując metodę czterech pionów lub metodę obrotu układu wirującego turbozespółu o 180° . Położenie linii wałów mierzymy względem pionów dwa razy: po raz pierwszy przy wmontowanych panwiach łożysk turbozespółu (prąd-nicy oraz turbiny) a następnie po raz drugi, po usunięciu tych panwi. Przy tym określamy zachodzące zmiany szerokości szczelin utworzonych przez wirnik i jego obudowę. Piony umieszcza się względem siebie co 90° i przepuszcza je pomiędzy szprychami twornika.

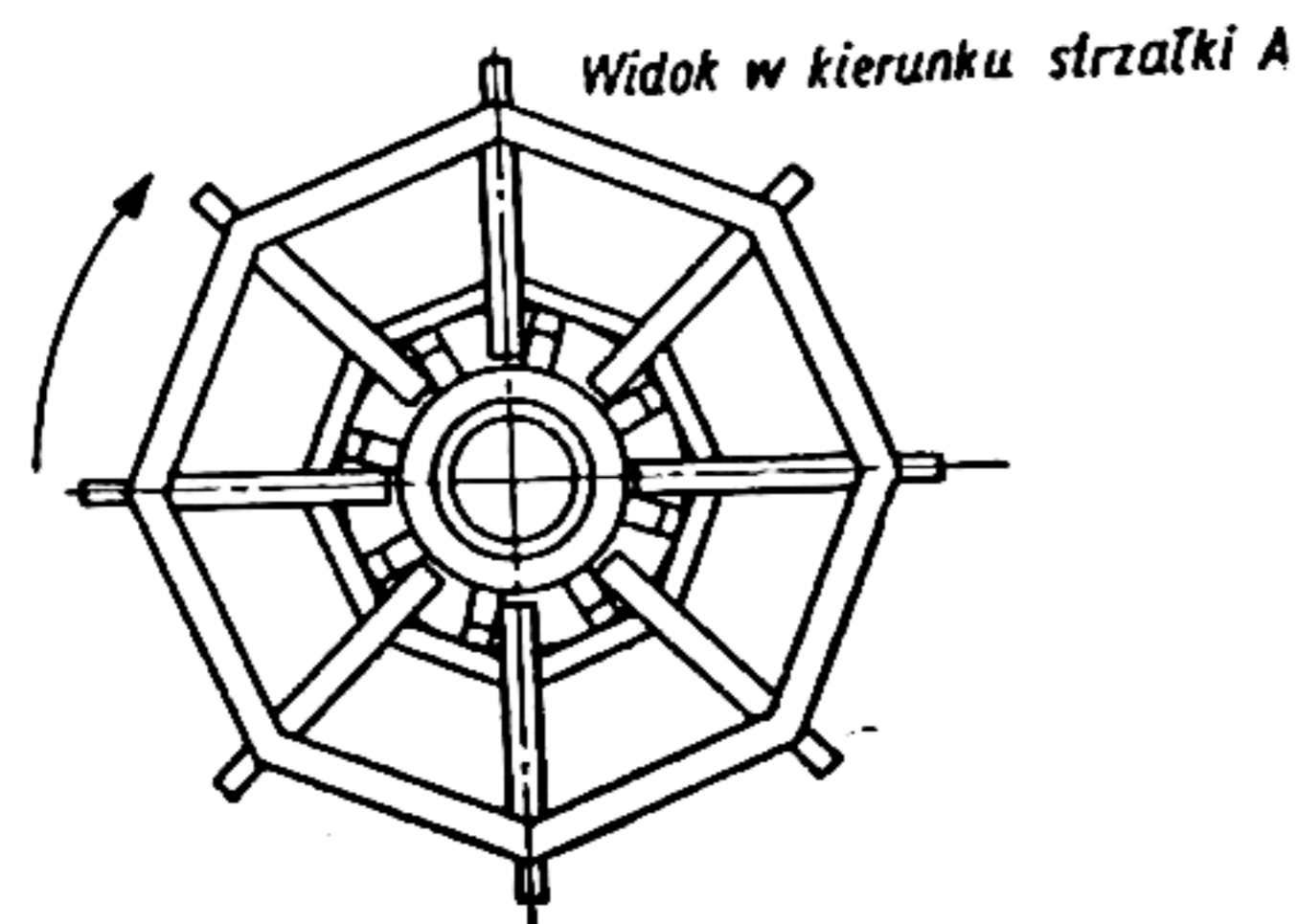
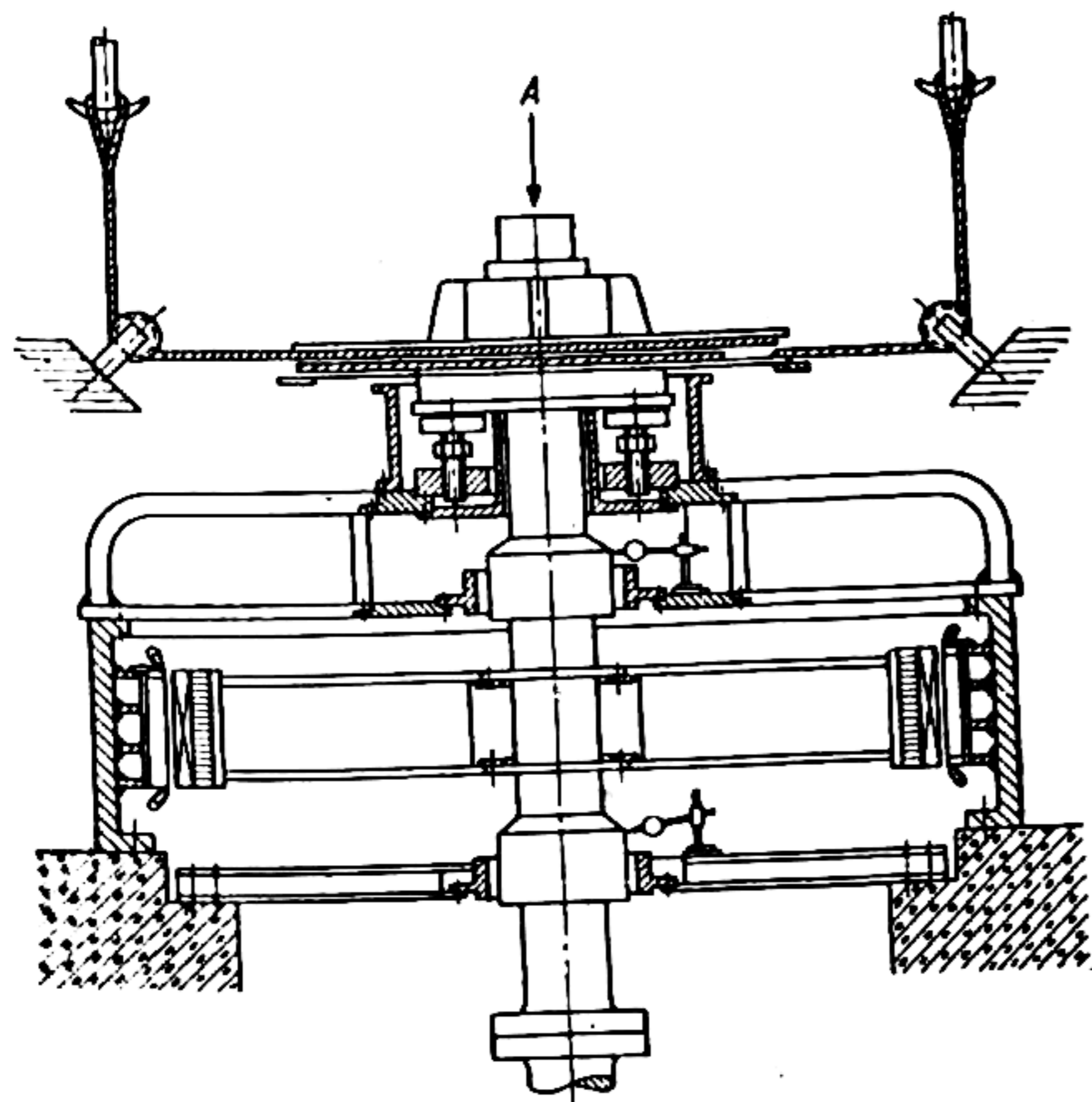
W celu ochrony strun (na których zawieszane są ciężary pionów) przed ewentualnymi zagięciami oraz dla ułatwienia ich przymocowania, należy posługiwać się urządzeniem pokazanym na rys. 159. Urządzenie to pozwala regulować długość struny przez obracanie rączki R bębna oraz zmieniać odległość struny od wału za pomocą śruby z kółkiem K. Urzą-

dzenie pozwala dalej na zawieszenie struny na wałe turbiny wtedy, gdy do wału tego przycentrowuje się wał prąd-nicy (szczegół S). Taka konieczność może zajść wówczas, jeżeli przed łączeniem wałów należy osobno sprawdzić położenie wału turbiny.



Rys. 159. Urządzenie do zawieszania pionów przy centrowaniu wałów

Bardziej dogodną i dokładną metodą sprawdzenia stanu linii wałów turbozespółu jest metoda obrotu jego układu wirującego o 180° . Jednakże daje ona charakterystykę odchylenia wałów wynikającego tylko z ich załamania, lecz nie pochylenia; pochylenie to wyznacza się za pomocą metody czterech strun. Wał obracamy za pomocą suwnicy posługując się przy tym urządzeniem pokazanym na rys. 160. Szczegóły dotyczące obracania opisano w § 31. Jeżeli konieczność ponownego wycentrowania wynika z tego, że pochylenie linii wałów stało się zbyt duże wskutek zmiany położenia budynku siłowni, to przy ustawianiu wałów w położeniu pionowym należy kierować się wskazówkami podanymi w § 39.



Rys. 160. Urządzenie do obracania układu wirującego turbozespołu przy sprawdzaniu linii wałów za pomocą czujników

Rozdział XIV

METODY NAPRAW POSZCZEGÓLNYCH CZĘŚCI TURBIN WODNYCH

§ 60. SPAWANIE, NAPAWANIE I NATAPIANIE ŁUKOWE MATERIAŁÓW STOSOWANYCH W TURBINACH WODNYCH¹⁾

Mówiliśmy już, że części omywane przez wodę przepływającą przez turbinę ulegają zużyciu i zniszczeniu pod wpływem kawitacji oraz wskutek ścierania przez cząstki stałe, zawarte w wodzie i przez nią unoszone, czyli przez tzw. rumowisko. Takie części naprawia się zazwyczaj za pomocą spawania, napawania lub natapiania łukowego, zaś przy ich nadmiernym zużyciu wymienia się je na części nowe. (W § 54 wyszczególniono części ulegające największemu zużyciu). Jeżeli powierzchnie uszkodzone są dostępne dla obróbki, to naprawia się je na miejscu, bez demontowania odpowiednich części, w przeciwnym przypadku turbozespół demontuje się częściowo lub w całości.

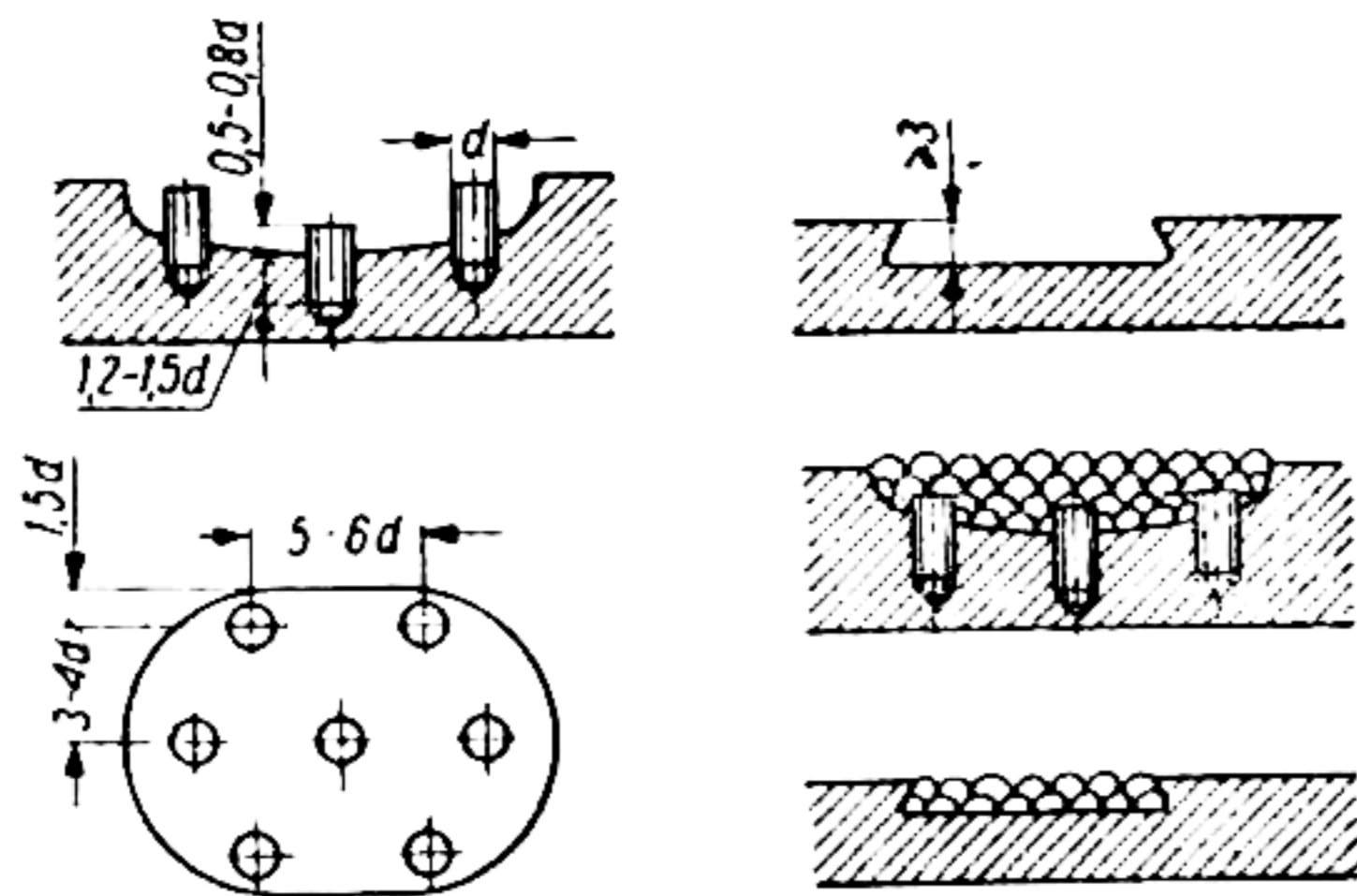
Naprawa metodami spawania, napawania lub natapiania łukowego składa się z następujących operacji: przygotowania, właściwego spawania (napawania, natapiania), oczyszczania i obróbki powierzchni.

Przygotowanie do napawania lub natapiania. Przygotowanie części stalowych lub stalowych polega na tym, że uszkodzoną powierzchnię dłutuje się aż do czystego metalu. Kontur wydłutowany nie powinien przy tym posiadać ostrych przejść i powinien być łatwo dostępny dla napawania za pomocą elektrod. Dłutowanie przeprowadza się zazwyczaj za pomocą dłut pneumatycznych. O ile przedmiot posiada pęknięcie, to w celu zapobieżenia w czasie dłutowania dalszemu powiększeniu się tego pęknięcia lokalizuje się je przez nawiercenie na jego końcach niewielkich otworków, po czym dopiero metal dłutuje się aż do całkowitego usunięcia pęknięcia.

Ponieważ części żeliwne źle się spawają względnie natapiają przy użyciu elektrod stalowych, więc ich przygotowanie do spawania (natapiania)

¹⁾ Paragraf ten oraz następne zajmują się spawaniem, napawaniem oraz natapianiem części turbin wodnych. Napawaniem nazywa się proces polegający na nakładaniu warstwy metalu na powierzchnię przedmiotu metodą spawania lub lutowania (czyli w stanie płynnym, przy czym warstwa nakładana wykonana jest z tego samego metalu co metal, z którego wykonany jest przedmiot lub różni się od niego nieznacznie. O ile metal warstwy nakładanej jest inny niż metal przedmiotu, to proces nazywa się wówczas natapianiem. (przyp. tłum.).

różni się od przygotowania części stalowych lub stalowych. Różnica polega na tym, że w pewnych przypadkach w miejsca podlegające naprawie wkręca się stalowe wkręty (rys. 161). Ilość tych wkrętów obiera się taką, aby pod względem wytrzymałościowym wystarczyły one do utrzymania warstwy natopionego metalu, na który działają siły wywołane przez strumień wody. Wkręty rozmieszcza się w szachownicę, w odstępach 5 do 6 ich średnic, przy czym odległość poszczególnych rzędów wynosi 3 do 4 średnic. Łączna powierzchnia przekroju wkrętów powinna stanowić 10 do 15% powierzchni natapianej. Stosuje się wkręty o średnicy $3/8''$, głębokość osadzenia przyjmuje się równą 1,2 do 1,5 średnicy, wysokość części wystającej 0,5 do 0,8 średnicy. Nie zaleca się stosowania drobnego gwintu. Jeżeli głębokość zużycia jest mała (5 do 6 mm) oraz powierzchnie wyżerów również niewielkie (poniżej 100 do 150 cm^2), to miejsca zużyte przygotowuje się do natapiania bez zakładania wkrętów, zaś natapianie wykonuje się za pomocą specjalnych elektrod. Krą-



Rys. 161. Wkręty stalowe wzmacniające, stosowane przy natapianiu (napawaniu) żeliwa oraz kształt miejsca uszkodzonego, przygotowanego do natapiania (napawania)

wędzie miejsca zużytego podcina się w celu lepszego z mocowania brzegów natopionego metalu z przedmiotem.

Napawanie i natapianie łukowe. Części wykonane ze stali węglowych lub staliw napawa się za pomocą elektrod sporządzonych z tego samego materiału.

Powierzchnie żeliwne (przy zastosowaniu wkrętów) natomiast natapia się zazwyczaj przy użyciu elektrod sporządzonych z miękkiej stali, tj. zawierającej niewielką ilość węgla. Niekiedy stosuje się elektrody ze stali austenitycznej lub ze stopu Monela, gdyż ich spawalność z żeliwem jest lepsza niż elektrod wykonanych ze stali zwykłej.

Po założeniu wkrętów powierzchnię natapia się za pomocą elektrod o średnicy 3 do 4 mm, w ten sposób, że z początku obtapia się co drugi lub trzeci wkręt, a następnie natapia się całą powierzchnię naprawianego miejsca, po czym natapia się następne warstwy. Natapianie należy wykonywać krótkimi ściegami przy natężeniu prądu od 110 do 220 A dla elektrod o średnicy 3 mm i od 140 do 180 A dla elektrod o średnicy 4 mm. O ile natapianie odbywa się wieloma warstwami, to poszczególne warstwy nanosić należy pod pewnym kątem względem siebie.

Niewielkie ogniska uszkodzeń można natapiać bez zakładania wkrętów. Pierwszą warstwę natapia się wówczas za pomocą elektrod miedzianych o średnicy 3 do 4 mm, pokrytych blachą oraz otulonych warstwą kredy.

Drugą warstwę natapia się używając elektrod marki YOHHH o średnicy 3 do 4 mm. Powierzchnię natapia się niewielkimi partiami w celu uniknięcia nadmiernego rozgrzewania się żeliwa, przy czym szew lekko się pobija.

Części wykonane ze stali nierdzewnej lub staliwa nierdzewnego napawa się za pomocą specjalnych elektrod (austenitycznych, nierdzewnych). Należy zauważyć, że przy spawaniu lub napawaniu staliw nierdzewnych w stanie zimnym, mogą pojawić się pęknięcia metalu. Przy tym im napawana warstwa jest grubsza, tym bardziej prawdopodobne jest występowanie niebezpiecznych pęknięć, które zresztą bardzo często trudno jest dostrzec gołym okiem. Pęknięcia są z tego powodu niebezpieczne, że podczas pracy wykazują tendencję do powiększania się. Jeżeli napawana warstwa jest cienka (3 do 4 mm), to naprawę przeprowadza się na zimno, natomiast w przeciwnym przypadku zaleca się napawać na gorąco, tj. po uprzednim nagrzananiu części napawanej. Ponieważ spawanie napawanie łukowe staliw nierdzewnych połączone z ich nagrzewaniem jest skomplikowane, operację tę wykonuje się zazwyczaj w warunkach fabrycznych.

O ile części żeliwne i stalowe spawa się, natapia lub napawa na zimno, to operację tę należy wykonywać z przerwami, aby uniknąć zbyt silnego lokalnego nagrzania, wskutek którego powstają wielkie wewnętrzne naprężenia w materiale, mogące wywołać trwałe odkształcenia oraz pęknięcia. Aby tego uniknąć miejsca bardzo wyżarte, wymagające dużej objętości natapianego lub napawanego materiału, zaleca się wypełniać blachą stalową, tak aby po jej przyspawaniu do naprawianej części otrzymać żądany kształt za pomocą jednej warstwy natopu.

Oczyszczanie powierzchni natopionej lub napawanej warstwy. Oczyszczanie to wykonuje się za pomocą dłutowania oraz za pomocą szlifowania, przy użyciu specjalnej elektrycznej lub pneumatycznej szlifierki. Powierzchniowa warstwa natopionego metalu w pewnych warunkach natapiania hartuje się, wskutek czego jej dłutowanie jest prawie niemożliwe. W tym przypadku oczyszczanie przeprowadza się tylko za pomocą szlifowania przy użyciu ściernic karborundowych. Aby dokładnie odtworzyć pierwotny kształt części poddawanej naprawie, przy oczyszczaniu natopionej warstwy używa się przymiarów (szablonów) zdjętych z natury lub sporządzonych na podstawie rysunków. Ze względu na to, że powierzchniowa warstwa natopionego metalu jest najbardziej odporna na zużycie, natapiać należy z możliwie najmniejszym naddatkiem na oszlifowanie. Na częściach żeliwnych nie można oczyszczać natopu przez dłutowanie, gdyż może to naruszyć umocowanie kołków, lecz tylko za pomocą materiałów ściernych.

Poniżej podajemy zestawienie robót spawalniczych oraz dane dotyczące niektórych rodzajów elektrod, używanych przez doświadczonych spawaczy przy naprawach części turbin wodnych. Elektrody te dały dodatnie wyniki.

Natapianie oraz spawanie części żeliwnych. Używa się zwykłych elektrod w otulinie kredowej sporządzonych z drutu ze stali węglowej (GOST 2246—43) o średnicy 3 do 4 mm. Masa otulinowa składa się z kredy oraz ze szkła wodnego. Elektrody te stosowano do natapiania części żeliwnych,

uszkodzonych przez kawitację, przy czym miejsca natapiane zaopatrywano we wkręty.

Do tych celów lepiej nadawały się elektrody austenityczne 18—8 o zawartości chromu 18% i niklu 8% otulone odpowiednią otuliną, gdyż dawały lepszą jakość natopu względnie spawu. Za pomocą tychże elektrod natapiano, bez stosowania wkrętów, żeliwne części z płytkimi uszkodzeniami (do 6 mm głębokości i o powierzchni do 150 cm²).

Części pracujące pod ciśnieniem hydraulicznym spawano na zimno za pomocą elektrod ze stopu Monela (przy niewielkich ciśnieniach) oraz za pomocą elektrod miedzianych, otulonych kredą (przy ciśnieniach do 15 kG/cm²); w ostatnim przypadku szwy przekuwano. Przy spawaniu na gorąco z nagraniem do temperatury 650 do 700°, części te spawano stosując elektrody żeliwne, otulone kredą.

Natapianie oraz napawanie części wykonanych ze stali węglowych lub staliw. Do napawania wirników turbin Francisa, wykładzin rur ssawnych, komór wirników turbin Kaplana itd. stosowano elektrody jakościowe Э-42. Materiał elektrod, skład masy otulinowej oraz warunki techniczne, którym elektrody te powinny odpowiadać podano w § 18.

Natapianie oraz napawanie części wykonanych ze stali lub staliw nierdzewnych. Do napawania na zimno używano w tym przypadku elektrod austenitycznych, przy czym stosowano metodę napawania szwami wyżarzalnymi, dającymi częściowe odpuszczenie. Do napawania części wykonanych ze stali nierdzewnej ЭЖ-2, podgrzewanych do temperatury 600 do 650°, stosowano elektrody nierdzewne ЭЖ-1 z odpowiednią otuliną. Elektrod tych używano również do napawania łopatek wirników turbin Kaplana.

§ 61. NAPRAWA WIRNIKÓW

Wirniki zużyte naprawia się zazwyczaj na miejscu, bez demontowania turbozespołu. W tym przypadku roboty dłutownicze i szlifierskie wykonuje się z pomostu, który buduje się pod wirnikiem. Miejsca pracy, w których się spawa lub szlifuje powinny być zaopatrzone w wentylację wyciągową w celu oczyszczania powietrza od powstających przy tym gazów, względnie pyłu. Oprócz tego w miejscach tych należy zainstalować oświetlenie elektryczne niskonapięciowe oraz sprzęt przeciwpożarowy. Zaleca się stosować wyłącznie narzędzia pneumatyczne, ponieważ narzędzia elektryczne (elektryczne szlifierki oraz wiertarki) wymagają do ich zasilania normalnego napięcia, co w bardzo niewygodnych warunkach pracy może doprowadzić do nieszczęśliwych wypadków. Miejsce pracy w chłodnej porze roku należy ogrzewać ale nie za pomocą piecyków elektrycznych, lecz za pomocą ogrzanego powietrza, doprowadzonego pod pomost.

Przy każdej naprawie należy likwidować wyżery kawitacyjne. Niedopuszczalne jest odkładanie likwidacji tych uszkodzeń jakkolwiek małymi by one nie były, ponieważ korozja powiększa się w czasie progresywnie.

W przypadku ujawnienia śladów nadżerów o niewielkiej głębokości (0,1 do 0,2 mm), usuwamy je przez szlifowanie, aż do otrzymania gładkiej powierzchni.

Jeżeli wyżarcia kawitacyjne usuwane są w odpowiednim czasie, to w ciągu pierwszych trzech lub czterech lat eksploatacji można pokryć za pomocą natapiania lub napawania łukowego, lub za pomocą ochronnych arkuszy blachy wszystkie miejsca, które uległy kawitacji, a tym samym uniknąć konieczności stosowania wielkich ilości natapianego (napawanego) metalu, który powoduje wówczas występowanie pęknięć, trwałe odkształcenia oraz utratę przez wirnik jego wyrównowazenia.

W turbinach na wysokie spadki, w których zniszczenia korozyjne oraz erozyjne wirnika występują bardzo intensywnie i łukowe natapianie lub napawanie wielkiej ilości metalu staje się niezbędne, w celu uniknięcia drgań spowodowanych ewentualną utratą wyrównowazenia, uciekamy się do statycznego wyrównowazenia wirnika za pomocą metody opisanej w § 67.

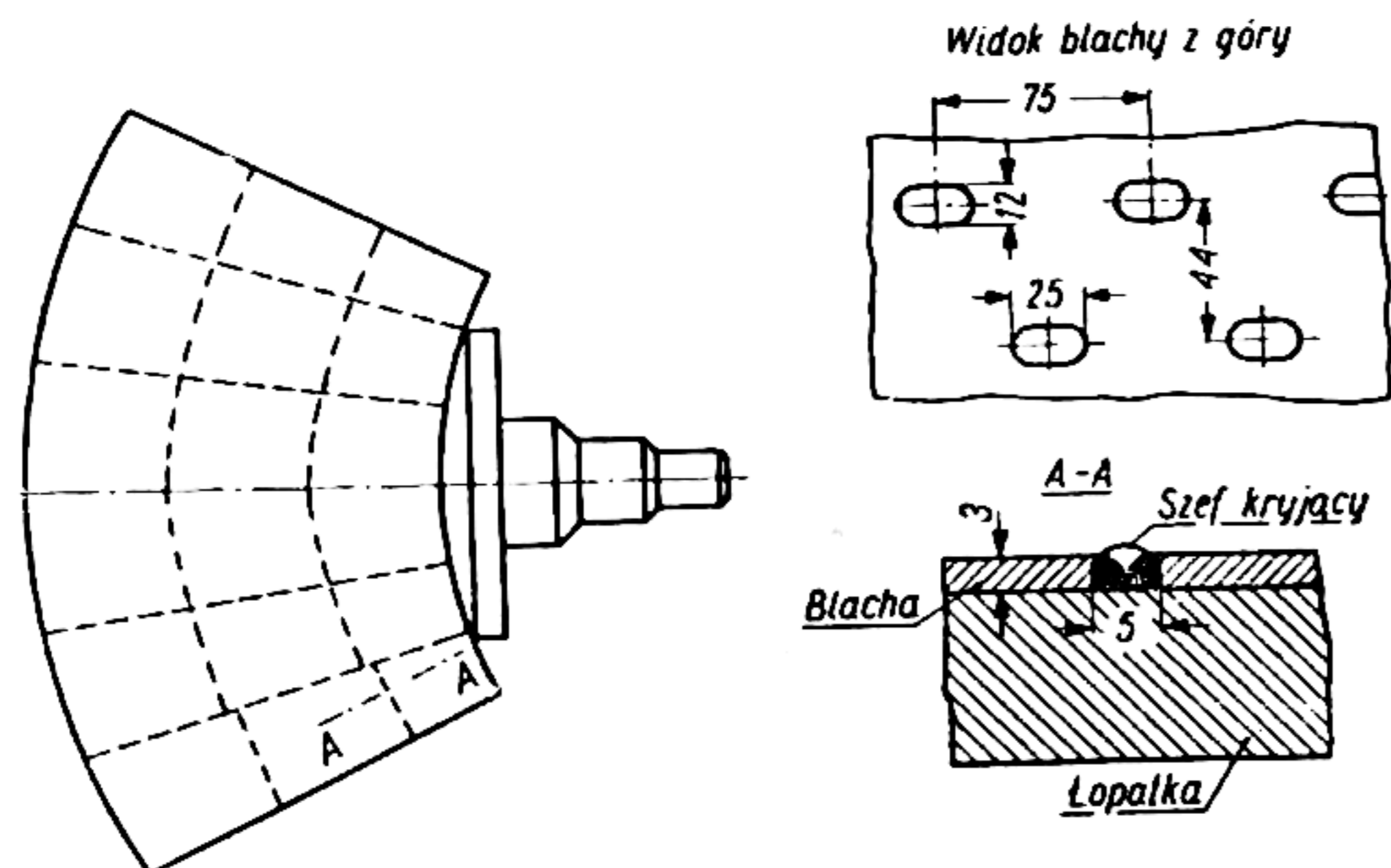
Przy naprawianiu wirników szczególną uwagę należy zwrócić na przywrócenie łopatom i wieńcom ich początkowego kształtu. W tym celu po natopieniu wyżerów dłutuje się je i szlifuje według szablonów odtwarzających kształty krawędzi wlotowych oraz wylotowych, zaś w turbinach Francisa — według szablonów podających wymiary w świetle kilku przekrojów międzyłopatkowych. Należy podkreślić, że odchylenia od właściwego kształtu wirnika mogą doprowadzić do zmniejszenia mocy, sprawności oraz do pojawienia się drgań.

Uszkodzenia czarek turbin Peltona naprawia się również za pomocą napawania łukowego i według szablonów. Ostrze czarki przy jego rekonstrukcji metodą napawania powinno znajdować się w środku czarki. Tylną niepracującą powierzchnię czarki również sprawdzamy według szablonu, ponieważ nadmierna ilość napawanego metalu może doprowadzić do zwężenia przestrzeni międzyczarkowych i tym samym do samohamowania, spowodowanego uderzeniem strumienia wody wypływającego z czarki o niepracującą powierzchnię czarki sąsiedniej, a stąd do obniżenia sprawności. Jakość przymocowania czarek do tarczy wirnika sprawdzamy przez dociskanie. Jeżeli pomiędzy czarką i tarczą istnieje luz, to należy dociągnąć śruby mocujące oraz kliny rozporcze (o ile w takowej konstrukcji jest zaopatrzona). Należy zauważyć, że w niektórych siłowniach czarki tak szybko zużywają się, że naprawia się je kilka razy w ciągu roku.

Naprawa wirników turbin Kaplana ogranicza się do natopienia lub napawania zużytych miejsc łopatek. Ponieważ łopatki tych wirników wykonywane są zazwyczaj ze staliwa nierdzewnego, więc ich naprawę należy przeprowadzać według zawczasu opracowanej technologii napawania, którą ustala się w zależności od stopnia zużycia, uwzględniając przy tym specyficzne cechy łukowego napawania staliwa nierdzewnego na zimno.

Jeżeli łopatka jest wyżarta na dużej powierzchni, to praktycznie nie można jej napawać bez uprzedniego nagrzania. Tego rodzaju uszkodzenia mogą

być naprawione na miejscu w elektrowni w ten sposób, że pokrywa się je arkuszami nierdzewnej stalowej blachy dziurkowanej o grubości 3 mm (rys. 162). Dzięki małej sztywności tych arkuszy można je łatwo dopasować na miejscu. Arkusze przypawa się do łopatki na ich obwodzie oraz w miejscach otworów (tzw. nity spawane) stosując przy tym cienkie elektrody ze stali nierdzewnej. Doświadczenia poczynione z naprawianymi tą metodą łopatkami wirników Kaplana wykonanymi ze staliwa nierdzewnego oraz z wirnikami turbin Francisa, wykonanymi ze staliwa węglowego wykazały, że blacha jest znacznie bardziej odporna na korozję.



Rys. 162. Naprawa łopatek wirnika Kaplana przez pokrycie ich dziurkowaną blachą ze stali nierdzewnej

Bardzo często po niepracującej stronie łopatek, za otworami montażowymi, stwierdzamy występowanie uszkodzeń kawitacyjnych w postaci smug. Uszkodzenia te spowodowane są wypadnięciem z omawianych otworów korków lub zaślepek.

Wirnik turbiny Kaplana powinien być demontowany możliwie najrzadziej i jedynie w razie pojawienia się takich zewnętrznych oznak jego defektów, które nie mogą być zlikwidowane poprzez odejmowalny wycinek komory. Całkowity demontaż wirnika przeprowadza się na placu montażowym, po zdemontowaniu turbozespołu.

Szczególną uwagę należy zwrócić na stan uszczelnień łopatek, stan pierścieni gumowych oraz skórzanych, podkładek pod łbami śrub, a oprócz tego na stan gumowych uszczelnień stykowych złącz cylindra siłownika z kadłubem piasty, z dnem i in. Szczeliwo, zwłaszcza guma, nawet odporna na działanie oleju, pod wpływem kwasów w nim zawartych ulega z biegiem czasu zniszczeniu. Po skontrolowaniu oraz zmontowaniu wirnika przeprowadza się hydrauliczną próbę uszczelnień łopatek stosując przy tym metody opisane w § 27.

W wielkich turbinach wymianę łopatek oraz ich naprawę przeprowadza się bez wyjmowania wirnika. W tym celu właśnie przewidziany jest odejmowalny człon komory, który pozwala na wymontowanie łopatki z wirnika. Łopatkę wyciąga się poprzez rurę ssawną lub spiralę za pomocą suwnic zainstalowanych w maszynowni i przy zasuwach (zaworach). W celu przetransportowania łopatki z komory wirnika do spirali (poprzez kierownicę), należy zdemontować dwie lub trzy łopatki kierownicze.

W turbinach Francisa oraz Kaplana w szeregu przypadków opływka odrywa się od wirnika. Aby tego uniknąć należy podczas napraw starannie ją przymocowywać szczepiając śruby lub nakrętki za pomocą spawania łukowego. W turbinach na wysokie spadły, jeżeli umocowanie opływki za pomocą śrub jest niepewne, praktykuje się przypawanie jej do wirnika przy zastosowaniu szwu ciągłego. Jeżeli opływka wykonana jest z żeliwa i posiada niewielkie wymiary, to zamiast niej należy założyć opływkę z blachy stalowej, sporządzoną na miejscu.

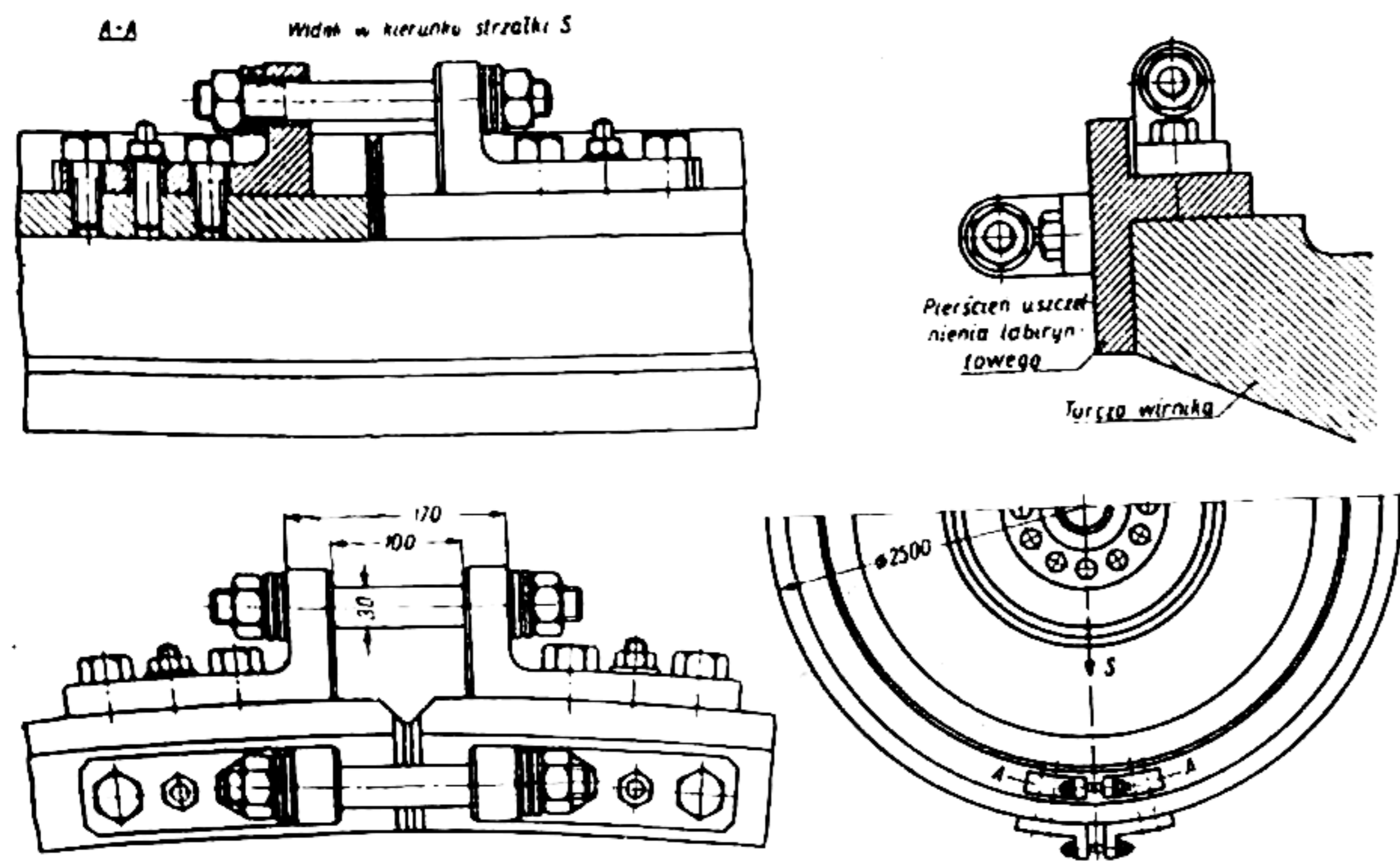
Zauważmy, że w niektórych turbinach opływki, pomimo najstaranniejszego i najpewniejszego ich przymocowania odrywają się, a niekiedy ulegają wyłamaniu. Analiza tego zjawiska wykazała, że naprężenia w ściankach opływki, spowodowane zmiennymi hydrodynamicznymi siłami prądu wody, wystarczają w pewnych warunkach do zniszczenia żeliwa. W celu zwalczania tego zjawiska zmniejsza się powierzchnię opływki. Doświadczenie laboratoryjne przeprowadzone dla dużej turbiny Kaplana wykazało, że zmiana kształtu opływki, polegająca na jej skróceniu o 20% oraz na pewnym powiększeniu stożkowatości, nie pociąga za sobą odczuwalnego zmniejszenia się sprawności turbiny, podczas gdy dzięki temu powierzchnia opływki znacznie się zmniejsza, a stąd zmniejsza się również oddziaływanie na opływkę hydrodynamicznej siły strumienia wodnego.

1. Labiryntowe uszczelnienia wirników

Jeżeli szczeliny w uszczelnieniach labiryntowych wirnika i wału wskutek zużycia stały się większe od dopuszczalnych, to wymienne pierścienie labiryntowe należy zastąpić nowymi pierścieniami zapasowymi.

W celu potania naprawy oraz skrócenia jej terminu zaleca się, aby wymiary omawianych szczelin restytuować przez kolejną wymianę wirujących i nieruchomych pierścieni labiryntowych, przy czym w pierwszej kolejności należy wymienić pierścienie wirujące. Aby móc zabezpieczyć otrzymanie wymiarów szczelin zgodnych z projektem, zewnętrzna średnica wymiennych pierścieni wirujących powinna być przy tym większa od pierścieni nieruchomych o wielkość zużycia. Dalsze zużycie likwiduje się przez wymianę pierścieni nieruchomych na pierścienie o średnicy wewnętrznej mniejszej od pierścieni wirujących o wielkość zużycia, tak aby móc uzyskać grubość szczeliny zgodną z projektem. W ten sposób przy każdej naprawie wymienia się albo pierścienie wirujące, albo nieruchome.

Pierścienie labiryntowe o średnicach większych od gabarytów kolejowych dostarczane są w odcinkach, które montuje się na wirniku i spawa w miejscach styku. Naciąganie odcinków pierścieni odbywa się przy użyciu specjalnego urządzenia (rys. 163).



Rys. 163. Urządzenie do naciągania uszczelniających pierścieni labiryntowych wirnika turbiny Francis'a

Współśrodkowość zmontowanego pierścienia labiryntowego sprawdzamy za pomocą innego specjalnego urządzenia, zaopatrzonego w czujniki (rys. 164). Podczas obracania tego urządzenia, jego środkowa część pod działaniem ciężaru wysięgnika dociskana jest do wału za pośrednictwem płyt brązowych umieszczonych w niej przeciwnie, co zabezpiecza wysoką dokładność pomiarów.

2. Naprawa wirników (przykłady z praktyki)

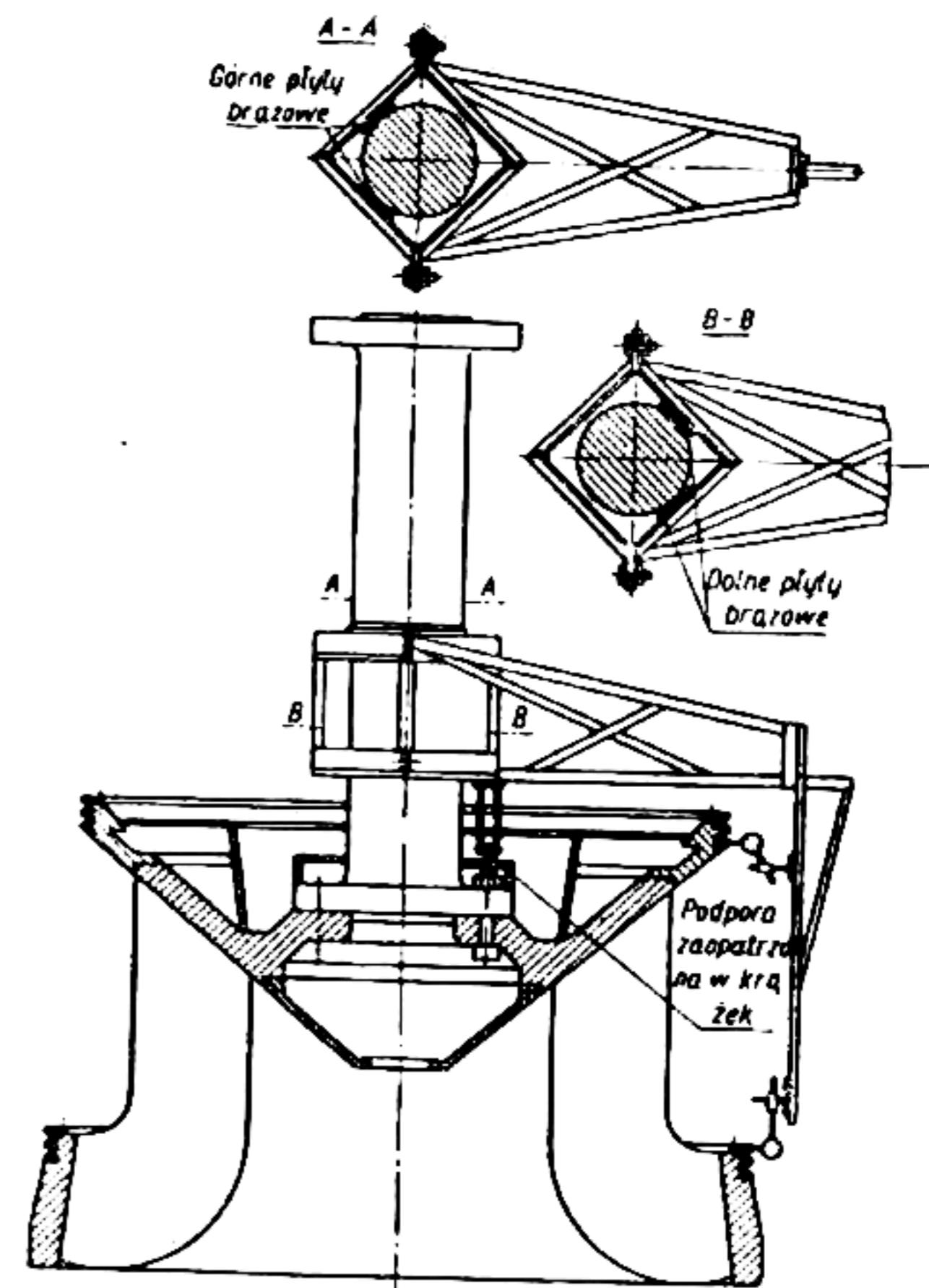
1) Po sześciu miesiącach eksploatacji turbiny Kaplana o mocy 26 000 kW i o średnicy wirnika 4,5 m okazało się, że nie pracujące powierzchnie jego łopatek na obszarze wynoszącym więcej niż połowę tych powierzchni były poważnie uszkodzone przez kawitację. Głębokość wyżerów wynosiła od 2 do 3 mm, dochodząc w niektórych miejscach do 4 i 5 mm. Łopatki wykonane ze staliwa nierdzewnego naprawiono pokrywając całą ich niepracującą powierzchnię arkuszami nierdzewnej stalowej blachy dziurkowanej o grubości 3 mm. Arkusze blachy o wymiarach 600 × 600 mm zaopatrzone

były w otwory pokazane na rys. 162. Oprócz naprawy wyżartych powierzchni należało wymienić uszczelnienia łopatek. W celu dokonania tej wymiany trzeba było jednak zdemontować oraz wyjąć wirnik z powodu braku odejmowalnego członu komory. W ten sposób wszystkie operacje dotyczące naprawy przeprowadzono na placu montażowym.

Powierzchnie wyżarte naprawiano w następujący sposób. Przede wszystkim na głębokość 3 do 4 mm wydlutowano wyżartą warstwę metalu łopatek, po czym według profilu łopatki dopasowano arkusze blachy przymocowując je prowizorycznie za pomocą zwornic. Po między poszczególnymi arkuszami pozostawiono szczeliny o szerokości 5 do 6 mm. Arkusze przypawano z początku w miejscach ich otworów (nity spawane), a następnie wzdłuż brzegów stosując przy tym szew ciągły. Odstęp między szwami mocującymi arkusze pokrywano szwem dodatkowym, tak jak pokazano na rys. 162. Stosowano przy tym elektrody Э-42-Я o średnicy 3 do 4 mm. Do oczyszczania używano tarcz karborundowych i szlifierki, a następnie powierzchnie zaspawanych miejsc wykańczano za pomocą tarcz filcowych i szmerglu w proszku.

W analogiczny sposób naprawiono łopatki wirnika drugiej turbiny, znajdującej się w tej samej elektrowni. Doświadczenie eksploatacyjne wykazało dobrą jakość spawania i wysoką odporność na korozję blachy użytej do naprawy.

2) Turbina Kaplana o mocy 30 000 kW była w eksploatacji przez osiemnaście miesięcy, po czym okazało się, że łopatki jej wirnika, wykonane ze staliwa węglowego, były w silnym stopniu zniszczone przez kawitację. Wyżery znajdowały się na nie pracującej powierzchni łopatek, w strefie poniżej osi obrotu ostatnich. Powierzchnia wyżerów wynosiła około 15 do 20% powierzchni nie pracującej. Oprócz tego okazało się, że wskutek działania kawitacji szczelinowej zostały wyżarte zewnętrzne krawędzie łopatek w tejże strefie, co doprowadziło do powiększenia szczeliny znajdującej się pomiędzy łopatkami i komorą wirnika o 4 do 6 mm ponad jej szerokość normalną.



Rys. 164. Urządzenie do sprawdzania współśrodkowości pierścieni labiryntowych względem wału

Naprawę przeprowadzono przez napawanie łopatek na miejscu, bez wyjmowania wirnika. Metal zaatakowany przez kawitację usunięto w następujący sposób. Kontur danego wyżartego pola wydłutowywano za pomocą wycinaków, po czym tych samych wycinaków użyto do wydłutowania rowków dzielących to pole na poszczególne kwadraty. Rowki służyły jako wskaźniki głębokości przy usuwaniu całej warstwy zaatakowanej. Do usuwania tego używano przecinaków. Napawanie wykonano za pomocą elektrod austenitycznych 18—8 (o zawartości chromu 18%, niklu 8% oraz węgla poniżej 0,07%), przy czym łopatki były całkowicie otwarte, co polepszyło warunki napawania w położeniu pułapowym. Średnica stosowanych elektrod wynosiła od 3 do 4 mm przy natężeniu prądu od 80 do 90 A. W tych miejscach, w których należało napawać dwie warstwy metalu, pierwszą warstwę w celach oszczędnościowych napawano przy użyciu elektrod ze stali miękkiej o zawartości węgla do 0,14%.

Zewnętrzne krawędzie łopatek napawano w ten sposób, że krawędź łopatki ukosowano pod kątem 40° do 50°, co pozwalało na wprowadzenie elektrody. Pomiedzy komorą wirnika i łopatką zakładano następnie miedzianą wkładkę o grubości równej projektowanej szczelinie, a następnie przeprowadzano napawanie. Powierzchnię napawaną oczyszczano za pomocą szlifierek pneumatycznych. Roboty wykonywane były z pomostu wybudowanego pod wirnikiem. Ponieważ przeprowadzano je zimą, więc komorę ogrzewano ciepłym powietrzem, które doprowadzano z powietrznego układu chłodzącego sąsiedniej czynnej prądnicy.

Opisana metoda naprawy wymaga wysoko kwalifikowanych dłutowników, spawaczy i szlifiery, gdyż wszystkie prace wykonywane są w położeniu pułapowym, tj. ponad głową. W czasie trzech remontów przeprowadzonych w odstępach rocznych wykryto i napawano wszystkie odcinki, które uległy kawitacji. Na podstawie obserwacji ustalono, że odporność na kawitację warstwy napawanej jest około czterech razy większa od odporności rodzimego metalu w przypadku, gdy twardość ostatniego wynosi według Brinella około 155, zaś twardość napawu — 240. Należy nadmienić, że niewielka powierzchnia napawana przy użyciu elektrod zawierających 18% chromu wykazała bardzo dużą twardość (powyżej 300 Brinella), ale pojawiły się na niej włoskowate rysy i z tego względu uznano, że omawiane elektrody nie nadają się do tego celu.

3) Naprawa wirnika turbiny Francisa o średnicy 4,7 m pracującej pod spadem 152 m. Po szesnastu miesiącach pracy okazało się, że wirnik tej turbiny został poważnie wyżarty przez kawitację, przy czym wyżery znajdowały się przy krawędziach wylotowych jego łopatek. W niektórych miejscach krawędzie te były przeżarte na wylot. Dolny wieniec wirnika był gdzieś od wewnątrz wyżarty na głębokość do 20 mm.

Wirnik wykonany był jako jedna całość ze staliwa o składzie $C = 0,32$; $Si = 0,35$; $Mn = 0,7$; $S = 0,025$; $P = 0,025\%$.

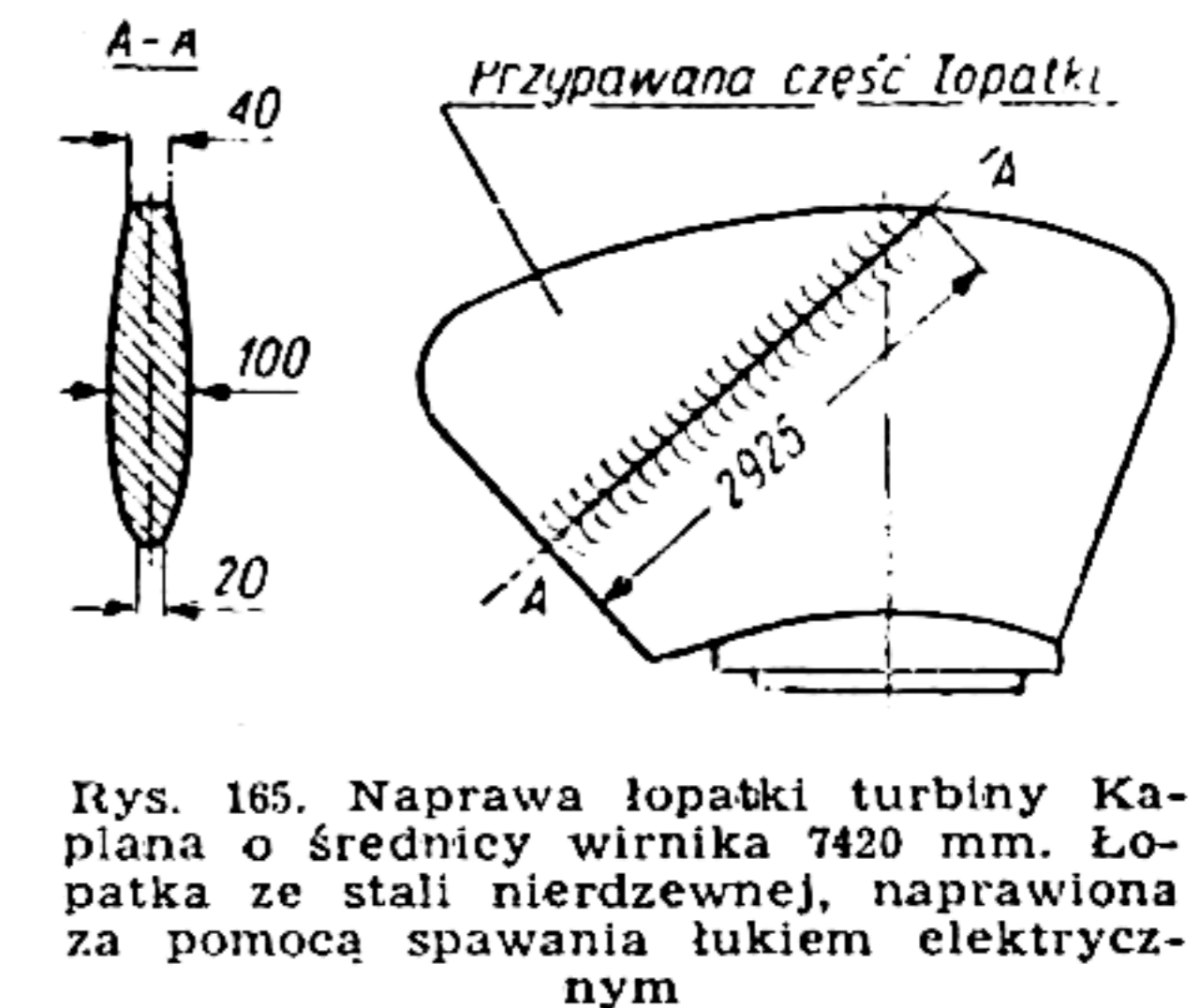
Naprawę wykonano na miejscu, bez wyjmowania wirnika, przez natopienie warstwy powierzchniowej przy użyciu elektrod austenitycznych 18—8, przy czym zawartość węgla była niższa od 0,07%. Miejsca dotknięte kawitacją wydłutowano, podobnie jak w poprzednim przykładzie. Dolne warstwy napawano za pomocą elektrod miękkich zakładając szwy równoległe i przekuwając je. Dopiero wówczas, gdy według szablonu pozostawało do napawania tylko 3 do 4 mm, наносzono ostatnią warstwę posługując się elektrodami austenitycznymi. Napawaną warstwę oczyszczano następnie przez szlifowanie. W analogiczny sposób naprawiono dalsze trzy wirniki.

W celu sprawdzenia wielkości odkształcenia wirnika podczas jego napawania, mierzono za pomocą szczelinomierza szczeliny w labiryntowych uszczelnieniach wirnika. Największe odkształcenie wynosiło 0,5 mm.

Interesujący jest wynik badania zużycia tych wirników podczas ich pracy mniej więcej w jednakowych warunkach. Jeżeli odporność na kawitację rodzimego metalu wirnika o twardości Brinella 145 przyjąć jako jednostkę, to odporność napawu otrzymanego przy użyciu miękkich elektrod o twardości 160 jest trzy razy większa, zaś napaw uzyskany za pomocą elektrod ze stali nierdzewnej o twardości Brinella 200 posiada odporność cztery do pięciu razy większą od odporności metalu rodzimego. Dane te wyliczono ze stosunku wyprodukowanej energii elektrycznej do wielkości powierzchni wyżartych w różnych materiałach.

4) Naprawa stalownego wirnika turbiny Francisa. Wirnik ten o średnicy 1200 mm, pracujący przy spadzie 60 m, został bardzo silnie zużyty pod wpływem kawitacji oraz wskutek ścierania przez rumowisko zawarte w wodzie, tak że w okresie czteroletniej eksploatacji utracił około 20% swojego pierwotnego ciężaru. Naprawę przeprowadzono przez napawanie zwykłymi elektrodami, przy czym miejsce głęboko wyżarte wypełniono wkładkami, które na całym ich obwodzie przypawano do wirnika. Grubość wkładek obierano taką, aby pomiędzy nimi i szablonem powstawała szczelina o grubości 3 do 4 mm, którą wypełniano warstwą napawaną. Przygotowanie do napawania i oczyszczania przeprowadzano stosując zwykłe metody. Wirnik po tej naprawie napawa się nieznacznie w czasie dorocznych napraw turbozespołu, przy czym używa się do tego celu zwyczajnych elektrod.

5) Naprawa łopatek wirnika turbiny Kaplana. W wirniku tym o średnicy 7420 mm podczas ostatniej wojny zostały zniszczone cztery łopatki. Ponieważ łopatki były sporządzone ze staliwa nierdzewnego ЭЖ-2, zaś odpeknięte kawały były bardzo duże (rys. 165), więc spawanie należało wykonać na



Rys. 165. Naprawa łopatki turbiny Kaplana o średnicy wirnika 7420 mm. Łopatką ze stali nierdzewnej, naprawiona za pomocą spawania łukiem elektrycznym

gorąco i w warunkach fabrycznych. Przeprowadzono to w Leningradzkich Zakładach Metalowych im. Stalina.

Przed opracowaniem technologii naprawy przeprowadzono szereg doświadczeń, które pozwoliły na obranie najbardziej celowych metod omawianej naprawy. Należy zauważyć, że spawanie tak bardzo odpowiedzialnych części sporządzonych ze staliwa nierdzewnego, przy zmiennych przekrojach spawanej spoiny i jej grubości dochodzącej do 100 mm, było wykonane po raz pierwszy w budownictwie turbin wodnych. Przebieg naprawy w ogólnych zarysach był następujący:

a) Brakujące kawałki łopatek wzięto ze zniszczonych łopatek innej turbiny i dopasowano ich profil przy pomocy szablonu.

b) Spoiny w celu przygotowania ich do spawania frezowano i dłutowano, a następnie miejsca styku szlifowano i trawiono w celu wykrycia pęknięć.

c) Kawałki łopatek mocowano z łopatką za pomocą ceowników oraz zwór i całość przeniesiono do pieca grzejnego, w którym można było wytworzyć temperaturę do 400°, podczas gdy temperatura żądana powinna była wynosić od 600 do 650°.

d) W piecu tym łopatki ustawiano w pozycji poziomej, na specjalnych podstawkach z cegły i ogrzewano je do temperatury 400°, przy czym miejsce przygotowane do spawania znajdowało się na zewnątrz pieca i było podgrzewane do temperatury 600° za pomocą ogniska umieszczonego pod łopatką, zasilanego węglem drzewnym.

e) Łopatkę spawano za pomocą prądu stałego i elektrod marki ЭЖ-1 o średnicy łącznie z otuliną 6 do 7 mm. Szwy nakładano od środka do końców spoiny ścięciem skokowo-krokowym „odwrotnym“, przy czym w ślad za spawaniem usuwany był żużel. W związku z ciężkimi warunkami pracy w pobliżu pieca spawało sześciu spawaczy, przy czym jednocześnie pracowała jedna ich para zmieniając się co 10 do 15 minut.

f) W celu zabezpieczenia możliwie najlepszych warunków skurczu spoiny, po zaspawaniu górnej jej części usuwano ceowniki mocujące, znajdujące się przy niej i odpuszczano miejsce spawane przy temperaturze 700°, po czym ochładzano je powoli w piecu.

g) Dla nałożenia dolnej warstwy spoiny łopatkę wyciągano z pieca, odwracano i ponownie do niego wkładano, przy czym ceowniki, uprzednio usunięte, przypawano i spoinę spawano w sposób wyżej opisany.

h) Po ukończeniu spawania i usunięciu tymczasowych zmocowań, łopatki były poddawane końcowej pełnej obróbce cieplnej, a mianowicie w celu usunięcia wewnętrznych naprężeń odpuszczano je przy temperaturze 740 do 750°, po czym powoli ochładzano w piecu.

i) Następnie spoiny obrabiano przez dłutowanie i sprawdzano kształt łopatek według szablonu. Jakość spawania kontrolowano przez wytrawianie uprzednio wyszlifowanych spoin oraz przez badanie kontrolnych próbek, które wycinano z łopatki. Nie stwierdzono przy tym pęknięć.

Czteroletnia eksploatacja wykazała, że spawanie było wystarczająco pewne.

§ 62. NAPRAWA KOMÓR WIRNIKÓW TURBIN KAPLANA

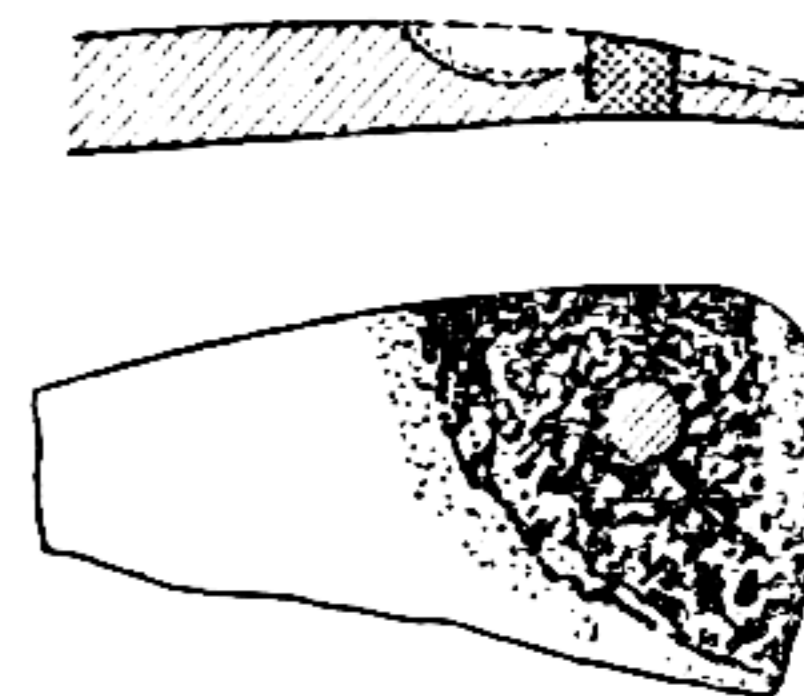
Naprawa stalowych komór wirników za pomocą napawania łukowego nie przedstawia trudności. Trudności te pojawiają się dopiero przy naprawach komór żeliwnych. Opiszemy kilka przeprowadzonych napraw tych komór.

1) **Naprawa żeliwnych komór wirników turbin Kaplana.** W jednej elektrowni wodnej stwierdzono, że komory te posiadają wyżarcia w kształcie pasa o szerokości od 200 do 250 mm znajdującego się o 100 do 150 mm poniżej osi obrotu łopatek wirnika. Wyżarcia te powiększały się wydatnie z biegiem czasu. Naprawa polegała na pokryciu miejsc wyżartych ciętą wykładziną, wskutek czego średnica komory wirnika oraz średnica samego wirnika zmniejszyły się o 20 mm. Tego rodzaju zmniejszenie średnicy wirnika (przy jego średnicy wynoszącej 7406 mm) nie odbiło się jednak na mocy turbiny. Założenie wykładziny w pierwszej komorze wymagało 44 dni kalendarzowych, natomiast w następnych komorach, dzięki doświadczeniu i wprawie spawaczy, zużyto znacznie mniej czasu. Na założenie wykładziny w czwartej i ostatniej turbinie zużyto 20 dni.

Analogiczne uszkodzenie komory wirnika w innej elektrowni naprawiono przez wstawienie łąt, sporządzonych z arkuszy blachy. Wynik takiej naprawy był jednak bardzo niezadowolający. Po ustawieniu łąt na kotwach oraz ich obpawaniu komora pękła w kilku miejscach, przy czym niektóre jej części wypadły z betonu, co spowodowało długotrwały przestój turbozespołu.

2) W pewnej pompowni po dłuższej eksploatacji wielkiej pionowej pompy śmigłowej okazało się, że na łopatkach utworzyły się głębokie wyżarcia kawitacyjne, przy czym drewniane kołki, którymi zabite były otwory montażowe znajdujące się w strefie kawitacji, pozostały nieuszkodzone (rys. 166).

W związku z tym postanowiono, że pas wyżarcia kawitacyjnych żeliwnej komory wirnika turbiny Kaplana (rys. 167) zostanie zabezpieczony przez pokrycie go drewnem preparowanym (lignofoil'em). W celach doświadczalnych wycięto z komory pewną przestrzeń uszkodzoną i wypełniono ją kawałkami drewna preparowanego mocując je za pomocą metalowej płytki (rys. 168). Oględziny po 2600 godzin pracy wykazały, że drewno to pozostało nieuszkodzone z wyjątkiem dwóch małych miejsc, podczas gdy na płycie metalowej pojawiły się ostro zarysowane wyżarcia kawitacyjne. Doświadczenie to potwierdziło wysoką odporność drewna preparowanego na kawitację, tak że w dalszym ciągu komory naprawiano przez wypełnienie pasa kawitacyjnego tym właśnie drewnem. W tym celu z uszkodzonego pasa



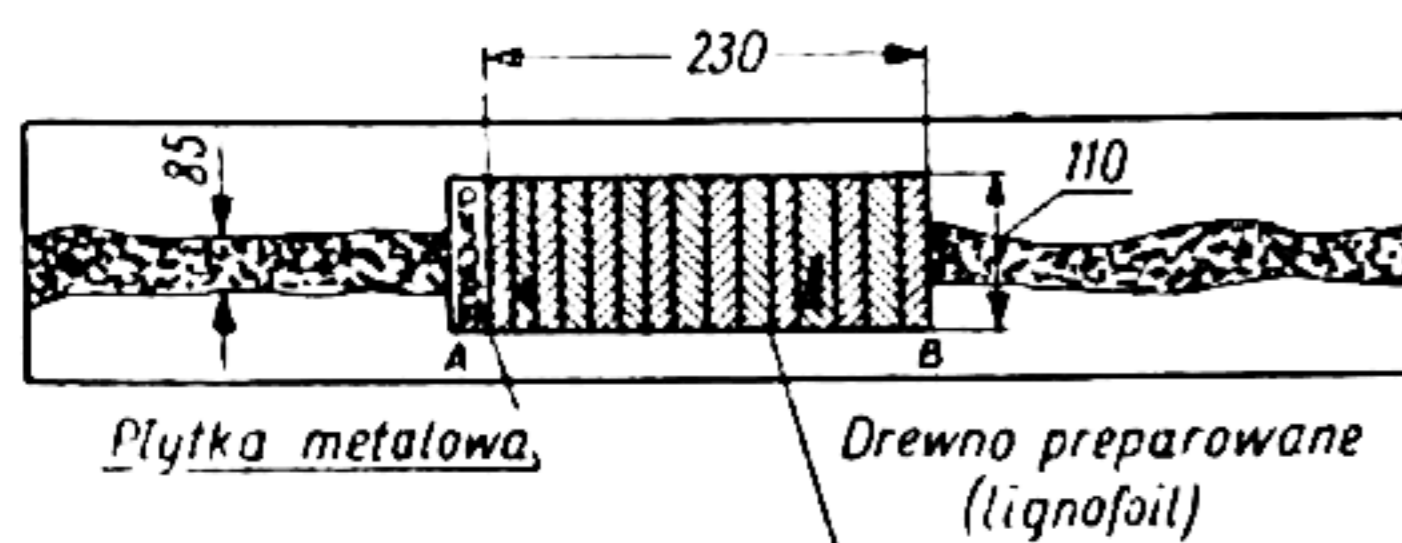
Rys. 166. Łopaska pompy śmigłowej, zniszczona przez kawitację; należy zwrócić uwagę na kołek drewniany, który ocalał pomimo, że znajdował się w strefie objętej kawitacją

usuwano metal za pomocą specjalnej obrabiarki i utworzony w ten sposób rowek w kształcie jaskółczego ogona wypełniano kawałkami drewna preparowanego, które następnie wytaczano równo z powierzchnią komory.



Rys. 167. Wyżarcia kawitacyjne żeliwnej komory wirnika

3) Żeliwna komora wirnika turbiny Kaplana została uszkodzona przez kawitację na dużej powierzchni. Naprawa polegała na założeniu wykładziny z blachy stalowej o grubości 8 mm. Komorę wytaczano za pomocą specjalnego urządzenia (rys. 169). Urządzenie to składa się z wału *W*, na którym osadzono ramię *R*, połączone ze zwykłym suportem *S* tokarki. Wał

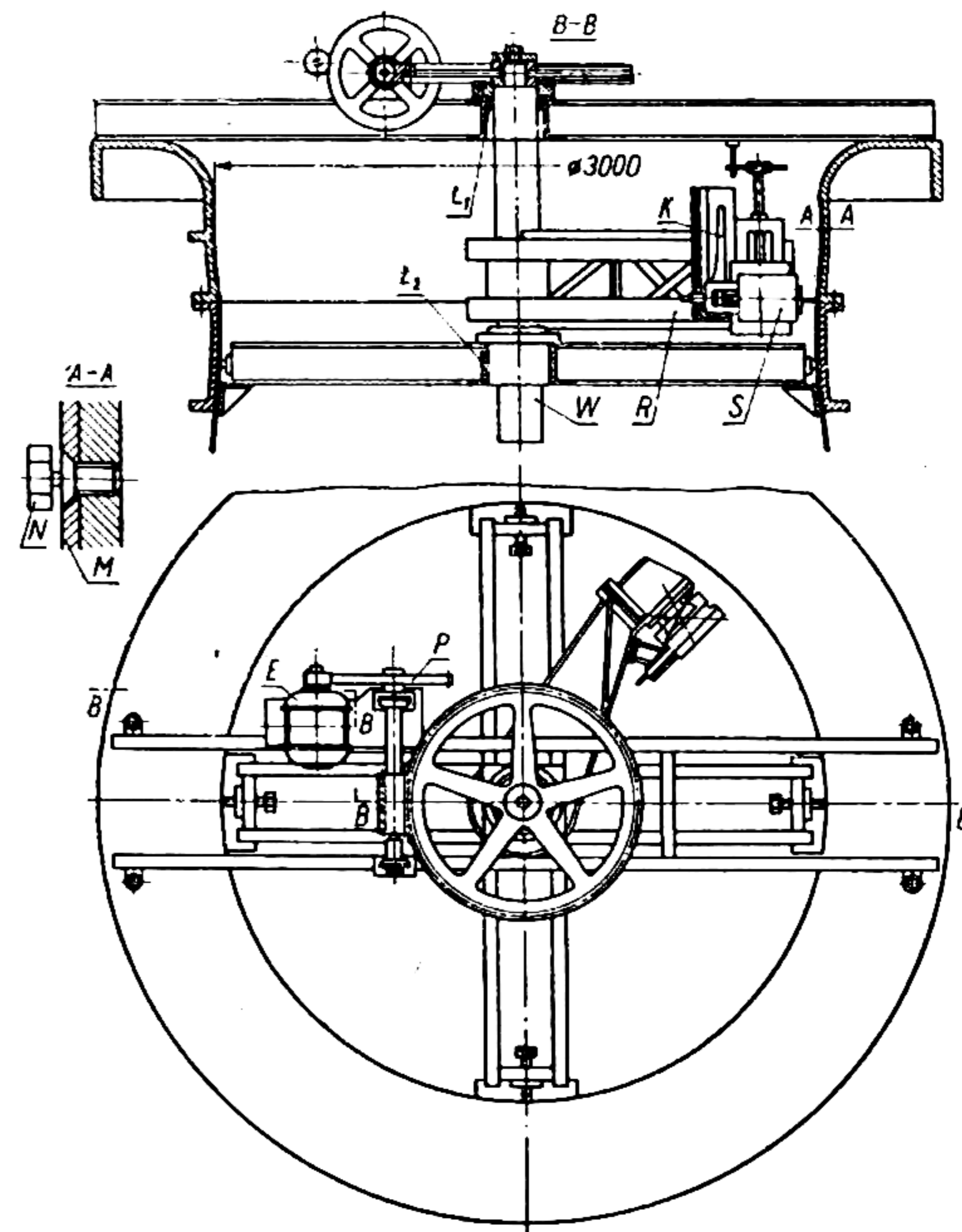


Rys. 168. Ochronna plomba z drewna preparowanego (lignofoilu), założona w wyżarciu kawitacyjnym komory wirnika (stan po 2600 godz. pracy turbiny)

może się obracać w dwóch łożyskach L_1 oraz L_2 , które wmontowane są w krzyżak górny względnie w krzyżak dolny. Silnik elektryczny *E* za pośrednictwem przekładni redukcyjnej *P* napędza wał *W*. Posuw noża odbywa się automatycznie według krzywki *K*, której promień równa się promieniowi kulistego wytoczenia komory. Do ścianek komory, po jej wytoczeniu, przymocowuje się za pomocą specjalnych wkrętów *N* wykładzinę *M*, składającą się z wytaczanych arkuszy blachy. Wkręty zaopatrzone są w gwint metryczny *M* 22. W celu zabezpieczenia wkrętów przed samoodkręcaniem się, szczepia się je z blachą za pomocą spawania łukowego.

Należy zauważyć, że eksploatacja żeliwnych komór wirnikowych, zaopatrzonych w wykładzinę w strefie sąsiadującej z wirnikiem wykazała, że łby poszczególnych wkrętów odłamują się, przy czym przelom posiada cha-

rakter zmęczeniowy, świadczący o występowaniu drgań wskutek nieściślego przylegania arkuszy blachy do komory. Okazuje się poza tym, że wkręty wykręcają się i są wyrywane następnie przez poruszające się łopatki, pomimo że ich łby szczepia się za pomocą spawania łukowego. Z tych wzglę-



Rys. 169. Przenośna wytaczarka do wytaczania komory wirnika

dów należy unikać naprawy komór polegającej na założeniu wykładziny w strefie sąsiadującej z wirnikiem, dopuszczając do stosowania tej metody w miejscach komory znajdujących się poniżej wirnika.

4) W żeliwnej komorze wirnika o średnicy 5 m po trzech latach eksploatacji stwierdzono wyżarcia kawitacyjne. Komorę tę naprawiono przez natopienie wyżerów bez demontowania wirnika. Wyżery znajdowały się

w poszczególnych miejscach poniżej osi obrotu łopatek, w pasie o szerokości 100 do 150 mm. Głębokość wyżerów dosięgała 5 do 6 mm. Miejsca wyżarte przygotowano do napawania przez pogłębienie ich wzdłuż obwodu w sposób pokazany w prawej części rys. 161. Natapianie tak obrobionych wyżerów odbywało się w dwóch warstwach. Pierwsza warstwa natapiana była elektrodami miedzianymi okręcanymi białą blachą (odległość pomiędzy poszczególnymi zwojami wynosiła od 3 do 4 mm), druga zaś za pomocą elektrod specjalnych. Miejsca o głębokości do 3 mm natapiano tylko za pomocą elektrod miedzianych, przy czym po ostygnięciu spoinę przekuwano. Spoiny nakładano tylko poziomymi warstwami. Miejsca natopione wygładzano za pomocą szlifierki i materiałów ściernych. W analogiczny sposób naprawiono żeliwną komorę wirnikową następnej turbiny. Oględziny tych komór dokonane po roku wykazały, że natopienie było dostatecznie wytrzymałe i naprawione powierzchnie nie ulegały kawitacji.

W innej elektrowni wyżery żeliwnej komory o takich samych wymiarach natapiano za pomocą elektrod specjalnych, sporządzonych z dwóch drutów stalowych o małej zawartości węgla (do 0,15%) i o średnicy 0,15 mm oraz z jednego drutu niklowego o średnicy 1,5 mm. Wszystkie trzy druty były skręcone, a następnie okręcone białą blachą i otulone otuliną kredową.

§ 63. NAPRAWA KIEROWNIC

Zakres demontażu kierownicy uwarunkowany jest zużyciem jej części oraz konstrukcyjnymi cechami turbiny. W konstrukcjach z wyjmowanymi łopatkami naprawę łożysk oraz łopatek wykonuje się bez demontowania kierownicy, zaś w konstrukcjach, w których wyjmowanie łopatek nie jest przewidziane w razie konieczności ich naprawy za pomocą spawania należy kierownicę rozebrać całkowicie, demontując pokrywę turbiny oraz siłowniki. Demontaż oraz montaż kierownicy przeprowadza się przy użyciu metod stosowanych przy montażu. Posługujemy się przy tym tymi samymi urządzeniami i narzędziami (§ 21, 23 oraz 27).

1. Łopatki kierownicze

W turbinach Francisa oraz Kaplana profil łopatek kierowniczych wskutek zużycia ulega zmianie. W wielkich turbinach łopatki te wykonywane są ze staliwa, a ich profil odtwarza się według szablonu za pomocą spawania lukowego. Tę metodę naprawy stosuje się tylko w przypadkach nieznacznego zużycia, ponieważ przy napawaniu na łopatkę grubej warstwy metalu, łopatka ulega odkształceniu i naruszona zostaje współosiowość czopów górnego oraz dolnego, co może doprowadzić do zaklinowania łopatki w łożyskach lub zupełnie uniemożliwić zamontowanie jej na właściwym miejscu.

W turbinach na wysokie spady, zasilanych wodą o znacznej zawartości rumowiska, powierzchnia łopatki kierowniczej w ciągu dwóch do trzech lat zostaje starta na głębokość od 3 do 4 mm z każdej strony. Wylotowa krawędź łopatki o pierwotnej grubości 8 do 10 mm staje się ostra i nie nadaje się do szczelnego zamykania. W takich przypadkach łopatki należy wymienić na nowe. Miejsca uszkodzone znajdujące się na czołowych powierzchniach łopatek napawa się łukiem elektrycznym, a następnie obrabia za pomocą szlifierki. Czopy łopatek przy wysokich spadach i dużej zawartości rumowiska w wodzie zużywają się wskutek jej przeciekania przez pierścienie uszczelniające. Przy zakładaniu nowych pierścieni należy się przekonać czy luz nie jest zbyt duży. Wysokość pierścienia (patrz rys. 56, szczegół C) powinna być w granicach konstrukcji możliwie największa.

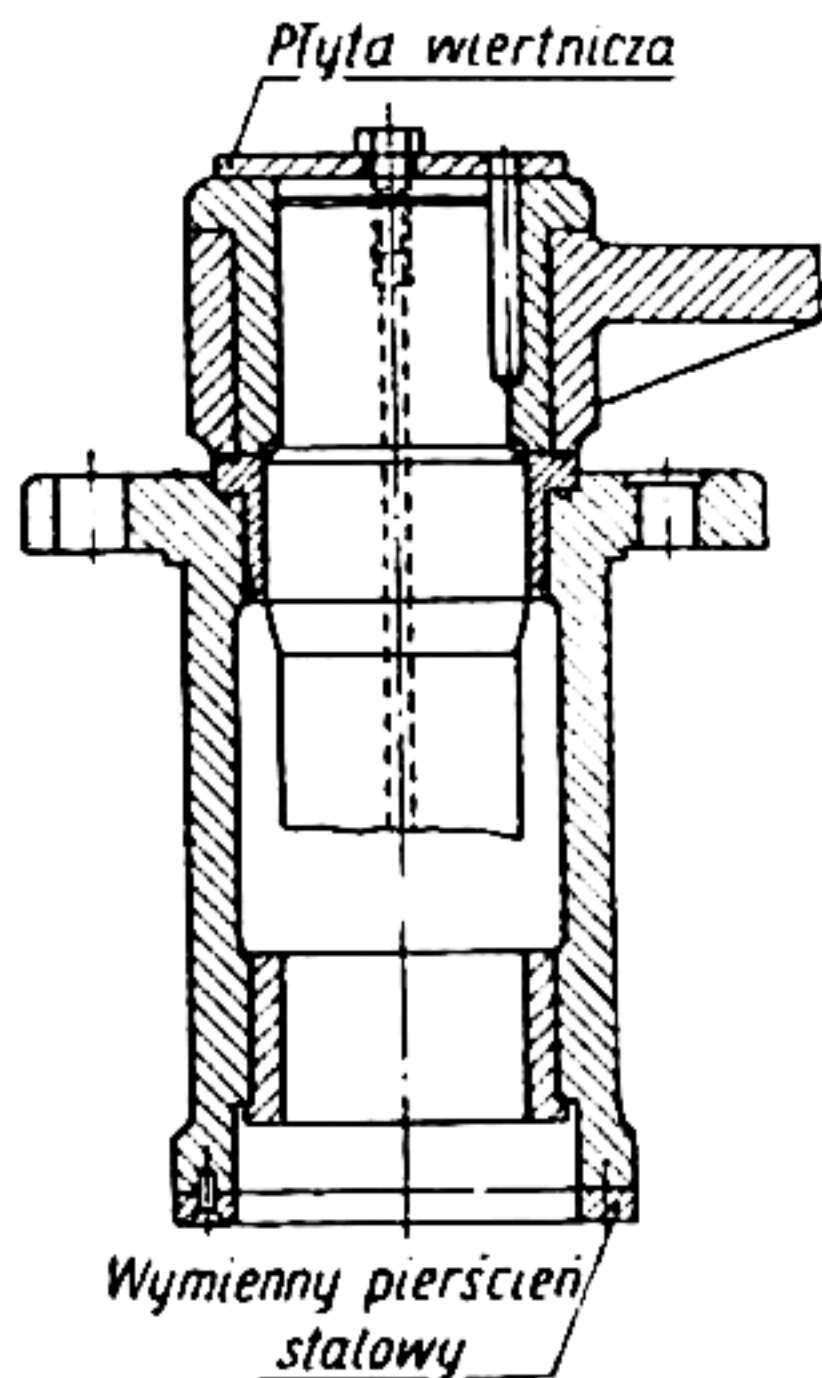
Jeżeli czopy są bardzo zużyte, to łopatki należy wymienić na nowe lub czopy napawać, a następnie sprawdzić i przetoczyć na tokarce. Aby uniknąć nadmiernego odkształcenia, poszczególne ścięgi należy napawać nie w kierunku osi, lecz naokoło czopa, nie dopuszczając przy tym do zbyt silnego rozgrzewania się.

W konstrukcjach, w których łopatki kierownicze uszczelnione są za pomocą sznura gumowego, należy sprawdzić jego stan i w razie konieczności wymienić na nowe. Sznur gumowy zakłada się do łopatek za pomocą specjalnych kleszczy. Należy wziąć pod uwagę, że średnica sznura gumowego może różnić się od jego średnicy normalnej w granicach ± 1 mm; również wymiary rowka na ten sznur mogą różnić się od zaprojektowanych wymiarów. Wskutek tego sznur nie będzie trzymać się lub też będzie zbyt luźno wchodzić w rowek, tak że nie będzie wystawać o żadaną wielkość ponad powierzchnię łopatki. Tak np. założenie sznura o średnicy 18 mm do rowka obliczonego na 16 mm wymaga stosowania dużych sił i oprócz tego sznur wystaje z rowka na wysokość od 7 do 8 mm, zamiast wymaganych 2 do 3 mm. Wskutek tego podczas eksploatacji sznur ten może być wyrwany przez przepływającą wodę z drugiej strony, o ile do tego rowka założony zostanie sznur o średnicy 15 mm, to nie będzie on wystawać ponad powierzchnię łopatki, a zatem nie będzie uszczelniać. W ostatnim przypadku w drodze wyjątku należy podłożyć pod sznur metalową podkładkę o odpowiedniej grubości.

Dokładne wzajemne doleganie łopatek osiąga się przez nieznaczną zmianę kąta ich ustawienia za pośrednictwem urządzeń regulacyjnych: nastawialnych strzemion oraz mimośrodowych sworzni w dźwigniach i w pierścieniu regulacyjnym. Za pomocą takiego regulowania można osiągnąć jednoczesne stykanie się wszystkich łopatek, lecz krawędzie łopatek mogą się przy tym nie stykać na całej swej wysokości. W tych przypadkach odpowiednią szczelność łopatek uzyskujemy przez dopiłowanie ich krawędzi wylotowych (w konstrukcjach, które nie są zaopatrzone w uszczelnienia gumowe).

W turbinach, w których łopatki nie posiadają urządzeń regulacyjnych i zamocowane są z dźwigniami za pośrednictwem klinów (patrz rys. 71),

zbyt duże szczeliny mogą być zlikwidowane w ten sposób, że wyjmuje się te kliny i po odłączeniu dźwigni od łopatek opiłowuje się krawędzie ostatnich po czym wszystkie łopatki w ich położeniu zamkniętym ściąga się za pomocą opaski lub liny; następnie rozwierca się otwory na kliny na średnicę nieco większą, a w końcu zakłada się nowe kliny o większej średnicy. Przed rozwiercaniem powinny być wyregulowane grubości szczelin pomiędzy czołowymi powierzchniami łopatek i pierścieniami kierownicy. Grubości te reguluje się za pomocą śruby, umieszczonej centralnie w czopie.



Rys. 170. Płyta wiertnicza do wiercenia otworów na kliny okrągłe

Przy zakładaniu nowych łopatek nie można bezpośrednio wiercić otworów na kliny, gdyż powierzchnie czołowe czopa i dźwigni nie leżą w jednej płaszczyźnie. W celu umożliwienia tego wiercenia stosuje się płytę wiertniczą, przymocowaną do czopa za pomocą centralnej śruby (rys. 170). Otwory wierce się po przez tę płytę, która w ten sposób stanowi dla wiertła jego prowadnicę. Wielkość naciągu kierownicy reguluje się w sposób opisany w § 21.

2. Łożyska łopatek kierowniczych

W pewnych konstrukcjach turbin na wysokie spady wskutek działania kawitacji szczelinowej oraz ścierania przez rumowisko ulegają uszkodzeniu łożyska łopatek (wykonane zazwyczaj z żeliwa), a mianowicie ich dolne powierzchnie czołowe. Naprawa takiego łożyska polega na obcięciu jego uszkodzonego końca i przymocowaniu pierścienia, sporządzonego z twardej stali (rys. 170). Niekiedy naprawę łożysk wykonuje się przez natapianie łukiem elektrycznym i następnie przetoczenie na tokarce (patrz rys. 156). Jednak taka metoda naprawy nie jest racjonalna, gdyż podczas następnych napraw nie unika się przez to natapiania oraz przetaczania.

3. Pokrywa turbiny

Pokrywa turbiny wykonana zazwyczaj z żeliwa zużywa się pod wpływem rumowiska. We współczesnych konstrukcjach turbin na wysokie spady powierzchnię pokrywy narażoną na zużycie zabezpiecza się za pomocą wymiennego pancerza sporządzonego z blachy stalowej, odpornej na ścieranie (stal nierdzewna, twarda stal węglowa itd.). Nieznaczne zużycie pancerza (na głębokość miejscami 1 do 2 mm) likwiduje się przez natopienie za pomocą łuku elektrycznego i następnie wyrównanie na miejscu za pomocą materiałów ściernych. Nie ma przy tym potrzeby demontowania pancerza.

Likwidowanie zużycia dużych powierzchni przez ich natapianie jest jednak bardzo skomplikowane z powodu zachodzącego przy tym odkształcenia pancerza i pozostającej w związku z tym niemożności jego przetoczenia na tokarce. W takich przypadkach należy pancerz wymienić na nowy, stary zaś zużytkować jako szablon przy wytaczaniu otworów na łopatki oraz przy wierceniu otworów na śruby.

W konstrukcjach, w których pokrywa turbiny wskutek działania rumowiska narażona jest na znaczne zużycie i nie posiada wymiennego pancerza ochronnego, zaleca się pancerz taki zrobić.

Pokrywy szeregu turbin, nie zaopatrzone w pancerz ochronny, co do których stwierdzono ich duże zużycie podczas eksploatacji, naprawione zostały w ten sposób, że staczano ich dolną płaszczyznę o grubość instalowanego wymiennego pancerza ochronnego (8 do 12 mm) i pancerz ten przymocowywano następnie za pomocą wkrętek. Należy zaznaczyć, że dobrze jest wykonać od razu dwa pancerze ochronne, gdyż wówczas jeden z nich mamy w zapasie.

4. Dolny pierścień kierownicy

W turbinach na wysokie spady dolny pierścień kierownicy wykonuje się ze staliwa. Zużycie jego likwidujemy przez napawanie łukiem elektrycznym i wyrównanie napawu bez potrzeby demontowania pierścienia. O ile zużycie jest jednak duże, jak np. na rys. 157, to nie zaleca się stosować tej metody i w tych przypadkach należy pierścień wymienić na nowy.

W pewnej elektrowni wodnej dolny pierścień kierownicy, wykazujący duże zużycie naprawiono w ten sposób, że miejsca zużyte napawano łukiem elektrycznym stosując przy tym zwyczajne elektrody. Krawędzie gniazd dolnych tulei łożyskowych zrekonstruowano przez wstawienie w te gniazda miedzianych wstawek i napawanie krawędzi. Następnie pierścień poddano obróbce cieplnej (odpuszczeniu) w celu usunięcia naprężeń, po czym przetoczono go na tokarce. Ten sposób przeprowadzenia naprawy nie jest jednak ekonomiczny i nie gwarantuje odpowiedniej jakości.

Przy instalowaniu nowego dolnego pierścienia kierownicy bardzo ważne jest prawidłowe usytuowanie osi gniazd dolnych tulei łożyskowych względem osi łożysk łopatek. W celu zabezpieczenia tej prawidłowości gniazda wykonane są z naddatkiem i rozłacza się je stosując metodę analogiczną do metody opisanej w § 26, zaś tuleje łożyskowe wykonuje się według wymiarów zaprotokołowanych. Aby przedłużyć czas używalności części ulegających szybkiemu zużyciu, jak np. dolnego pierścienia kierownicy, pancerza pokrywy turbiny, łopatek kierowniczych itp., należy przedsięwziąć środki zmierzające do zwiększenia odporności powierzchni narażonych na ścieranie, o ile to nie zostało już zrobione przez wytwórnictwo. Poniżej opisane są te metody zwiększania odporności, które mogą być stosowane przez własne siły robocze elektrowni wodnych.

Obróbka na zimno. Powierzchnia metalu obrobiona na zimno staje się twardsza i tym samym bardziej odporna na ścieranie. Obróbka na zimno polega w tym przypadku na poddaniu powierzchni działaniu strumienia stalowych śrucin, wyrzucanych z dyszy pod ciśnieniem 5 do 8 kG/cm² i pod kątem prostym do obrabianej powierzchni. W miarę oddalania się od kąta prostego zmniejsza się utwardzające działanie śrucin i powierzchnia ulega tylko oszlifowaniu. Śrut wylatujący z dyszy jest zbierany i ponownie użytkowany, aż do czasu widocznej utraty jego pierwotnego kształtu. Dysza powinna być umieszczona możliwie blisko obrabianej powierzchni¹⁾. Utwardzenie powierzchni osiągamy również przez jej nawalcowanie. Przy odpowiednim kształcie części nawalcowanie wykonuje się zazwyczaj na tokarce.

Hartowanie powierzchniowe za pomocą płomienia. Proces utwardzania powierzchniowego przez hartowanie polega na miejscowym szybkim ogrzaniu obrabianej powierzchni przy użyciu palnika i następnym szybkim jej ochłodzeniu za pomocą wody. W rezultacie powierzchniowa warstwa metalu hartuje się uzyskując większą twardość w porównaniu z warstwami znajdującymi się głębiej, które nie nadążają rozgrzać się do temperatury hartowania²⁾.

5. Tuleje łożyskowe czopów łopatek

Tuleje łożyskowe dolnych czopów łopatek pracują w niesprzyjających warunkach smarowania i z tego powodu zużywają się prędzej od tulei łożyskowych: średniej i górnej, które są izolowane od wody przez uszczelnienie czopa. Zapasowe tuleje łożyskowe dolnych czopów dostarczane są z nadłatkami na średnicy zewnętrznej oraz na średnicy wewnętrznej i podczas naprawy przetacza się je stosownie do rzeczywistych wymiarów gniazda oraz czopa, z uwzględnieniem skureczu przy wtłaczaniu (tabl. 37). Tuleje łożyskowe wykonuje się z brązu O1C 6-6-3 zawierającego 5 do 7% cyny, 5 do 7% cynku, 2 do 4% ołowiu, poniżej 1,3% domieszek — resztę miedzi.

Zapasowe tuleje łożyskowe dolnego czopa, wykonane z drewna preparowanego. Tuleje te dostarczane są jako półfabrykat w postaci oddzielnych prętów, których boczne powierzchnie obrobione są pod odpowiednim kątem lub — w postaci sklejoniej. Do sklejanja prętów stosuje się specjalny klej. Tuleje łożyskowe obrabia się na miejscu.

Drewno preparowane wyrabiane jest w postaci płyt o grubości 15 do 50 mm, składających się z arkuszy brzożowego forniru sklejkowego o grubości 0,3 do 0,6 mm, nasyconych roztworem specjalnych smół i sprasowanych pod ciśnieniem około 150 kG/cm² przy jednoczesnej cieplnej obróbce.

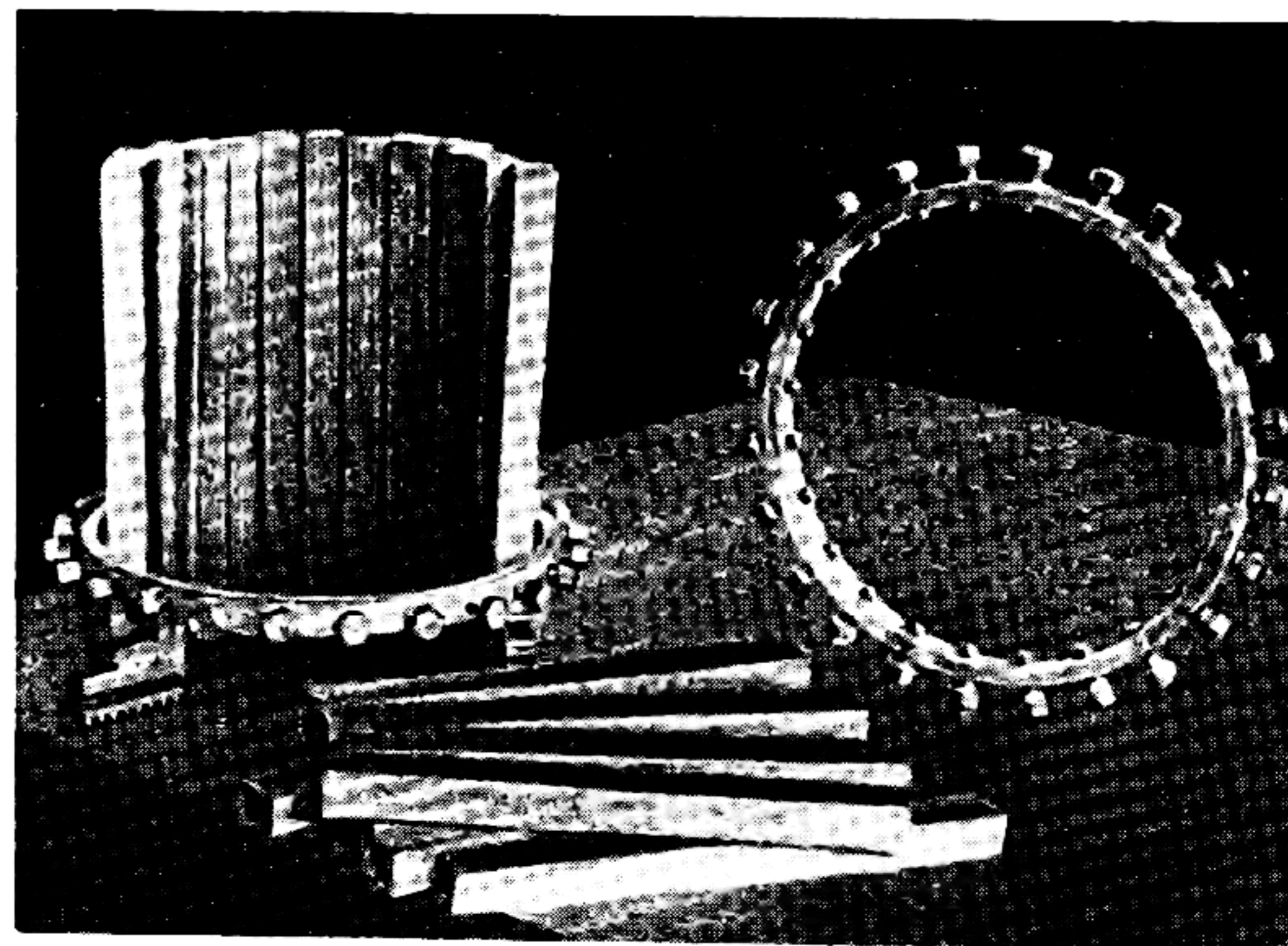
¹⁾ Wskazówki dotyczące tego rodzaju obróbki na zimno oraz sposobu stosowania odpowiedniej aparatury znajdzie czytelnik w książce: I. Kudriawcew, M. Sawerin, A. Riabczenko. Metody powierzchniowo uprzedzenia detali maszyn. Maszgiz, 1949.

²⁾ Dane dotyczące metod wykonywania prac hartowniczych i stosowanej aparatury podane są w książce: E. Gotlib: Osnovy technologii plamiennoj powierzchniowej zakalki. Maszgiz, 1948.

Na tuleje łożyskowe łopatek oraz na panwie łożyska poprzecznego turbiny stosuje się drewno preparowane marki ДСН — Б (GOST 5704-51), w którym co każde 10 do 20 warstw forniru o równoległym kierunku włókien, znajduje się jedna warstwa o włóknach biegnących pod kątem 90° do włókien tych warstw.

Półfabrykaty z drewna preparowanego należy przechowywać w warunkach wykluczających ewentualność ich zawilgocenia i wysychania. Warunki te są spełnione, o ile półfabrykaty znajdują się w pomieszczeniach zamkniętych, w których panuje temperatura normalna dla składów oraz o ile pokryte są smołą lub smarem stałym (Solidolem).

Produkcja tulei łożyskowych. Płytę z drewna preparowanego tną się na pręty za pomocą piły tarczowej, taśmowej (do drzewa lub metalu) lub na frezarce, za pomocą freza tarczowego. Frez powinien być zaopatrzony w ostrza z węglików spiekanych, gdyż zwykła stal narzędziowa pod działaniem smoły ulega szybkiemu zużyciu. Nie należy przy tym ochładzać narzędzia tnącego, gdyż płyn chłodzący sprzyja jego ślizganiu się po drewnie preparowanym i utrudnia obróbkę.



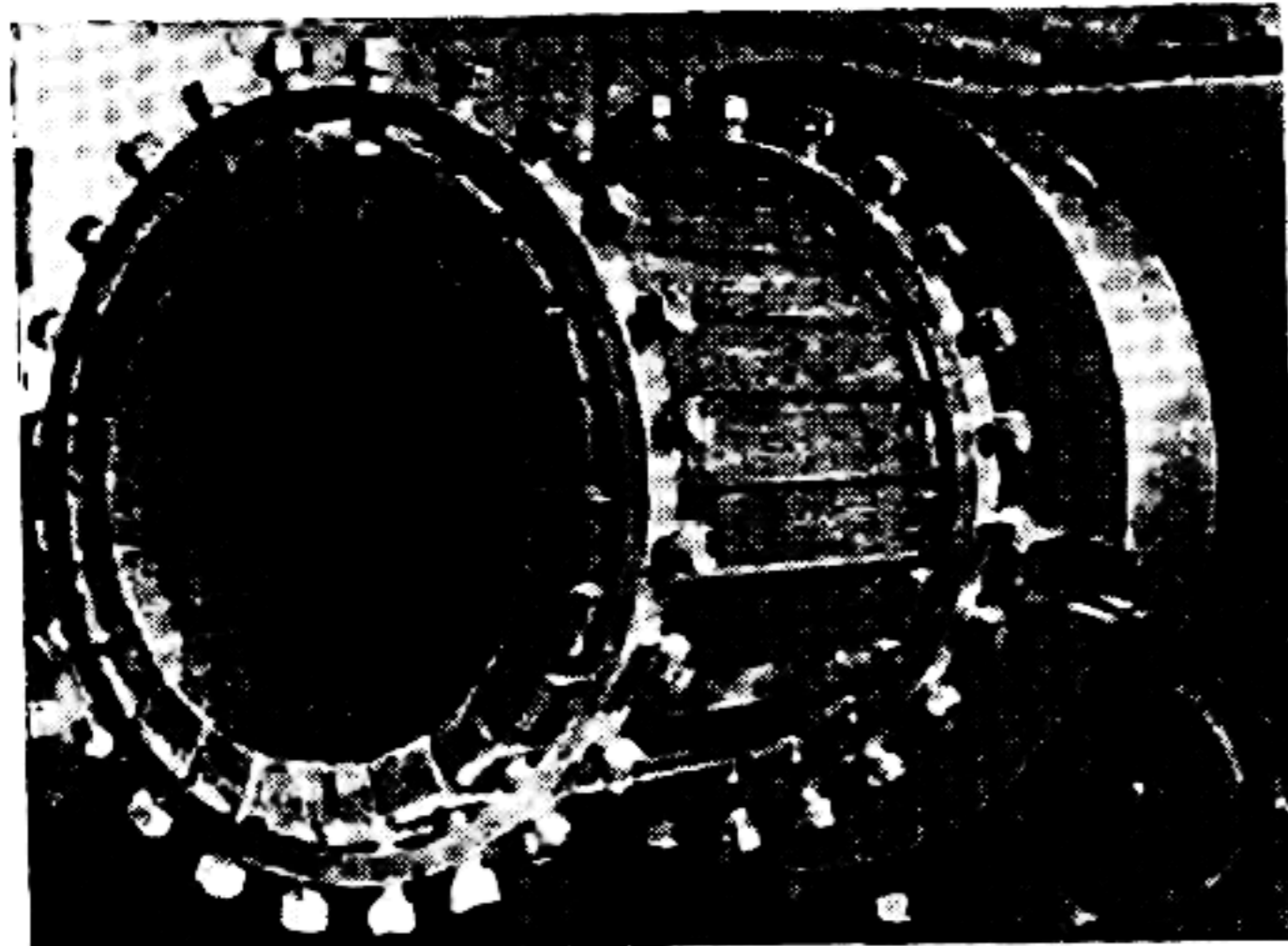
Rys. 171. Przyrząd do montowania panwi wykonanych z drewna preparowanego (lignofoilu); panwa składa się z poszczególnych prętów

Jako powierzchni roboczej drewna preparowanego można używać tylko jego powierzchni czołowych (sztorcowych). Boczne powierzchnie prętów obrabia się pod takim kątem α , aby pręty po ich złożeniu i utworzeniu z nich tulei ściśle do siebie dolegały.

Kąt ten powinien wynosić:

$$\alpha = \frac{360}{i}, \quad \text{gdzie } i \text{ — ilość prętów.}$$

Przy składaniu tulei z poszczególnych prętów oraz do jej obróbki używa się urządzenia pokazanego na rys. 171 i 172. Pręty w celu umocowania ich



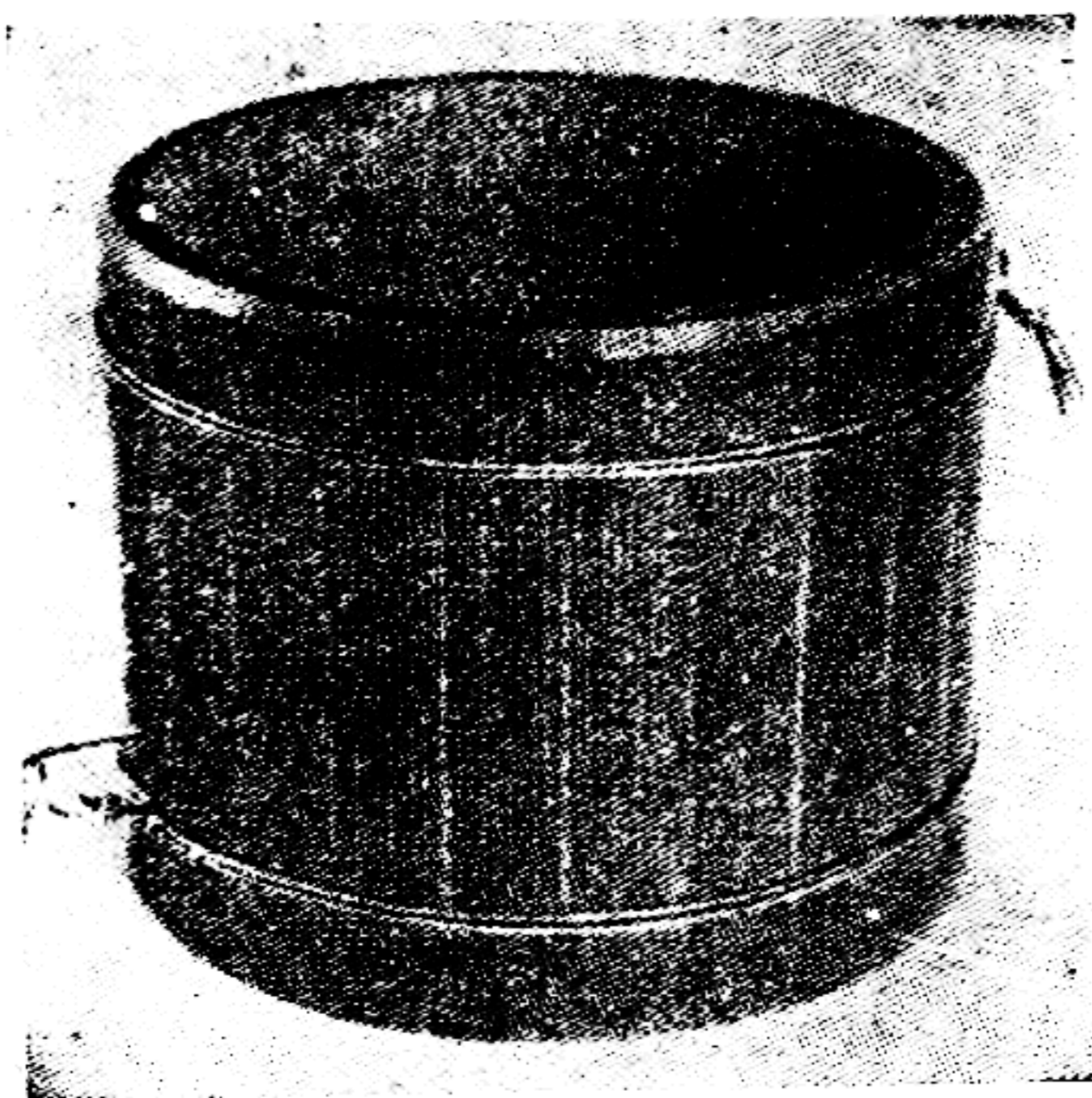
Rys. 172. Panew z drewna preparowanego podczas obróbki na tokarce

w tym urządzeniu wykonuje się z naddatkiem na długości.

Omawiane urządzenie składa się z dwóch pierścieni, zaopatrzonych w śruby służące do ściśnięcia prętów i uformowania z nich w ten sposób tulei. Ilość śrub oraz metalowych podkładek umieszczanych pod śrubami jest dwa razy większa od ilości prętów (rys. 171). Pręty po zamocowaniu ich w pierścieniach zakłada się na tokarkę (rys. 172) i obrabia zgrubnie wewnątrz

oraz zewnątrz z naddatkiem 1,5 do 2 mm na średnicy, po czym bez zdejmowania całości z tokarki, dodatkowo ściska się śrubami tak złożoną tuleję i obrabia ją na żądany wymiar.

Następnie tuleję opasuje się w dwóch miejscach drutem (rys. 173) i obcina ją tak, aby otrzymać odpowiednią długość. Przy zamocowaniu tulei w uchwycie tokarki należy pod jego szczękami umieścić odpowiednią podkładkę, ochraniającą tuleję przed odkształceniem. Tuleję obrabia się za pomocą noża posiadającego ostrza ze stali szybko tnącej lub z węglików spiekanych. W tabelicy 58 podano parametry dotyczące skrawania drewna preparowanego. Ze względu na to, że drewno to



Rys. 173. Panew przygotowana do wprasowania do łożyska

łatwo się łupie, należy możliwie jak najbardziej zmniejszyć posuw noża przy wchodzeniu na obrabianą powierzchnię, a zwłaszcza podczas wychodzenia jego z tej powierzchni.

Tuleje wtłacza się z nadmiarem 0,2 do 0,3 mm stosując zwykłe metody. Druty opasujące tuleję w miarę jej zagłębiania się w gniazdo zatrzymywane są przez jego brzeg i pod koniec wtłaczania całkowicie uwalniają tuleję. Ze względu na to, że po wtłoczeniu wewnętrzna średnica tulei jest

mniejsza od średnicy pierwotnej, należy przed wtłoczeniem wytoczyć tuleję na wymiar większy od żądanego o wielkość równą wciskowi pomnożonemu przez 1,5.

Tabela 58

Dane techniczne dotyczące skrawania drewna preparowanego (lignofollu)

Narzędzia skrawające		Prędkość skrawania m/sek	Posuw	Głębokość skrawania mm
Nazwa	Główne dane techniczne			
Piła taśmowa (do cięcia)	Podziałka zębów 6 mm przy kącie wierzchołkowym 55°; rozwarcie zębów 1 do 1,5 mm	15 do 20	1 do 2 mm/sek	—
Piła tarczowa (do cięcia)	Średnica 300 do 500 mm, grubość 2 do 5 mm, podziałka zębów 6 do 8 mm; zęby nie rozwierane	40 do 45	1 do 2 mm/sek	—
Nóż do wytaczania	Tyłny kąt skrawania 8 do 12°, przedni — 15 do 20°	2 do 4	Przy obróbce zgrubnej 0,3 do 0,5 mm/obrót; przy obróbce wykańczającej 0,1 do 0,15 mm/obrót	Przy obróbce zgrubnej 2 do 3; przy obróbce wykańczającej 0,2 do 0,3 mm/obrót

Tuleje sklejane z poszczególnych prętów obrabia się w ten sam sposób jak tuleje metalowe, jednak w celu uniknięcia odkształcenia przy zamocowywaniu w uchwycie tokarki należy wewnątrz tulei, od strony zamocowywanego końca wstawić metalową tarczę rozprężną. Średnica tej tarczy powinna być równa średnicy zatoczenia, która uprzednio wytacza się w tulei.

Przy sporządzaniu tulei z drewna preparowanego w płytach, pręty należy wycinać zgodnie ze wskazówkami zawartymi w § 64.

6. Kierownica turbiny Peltona

Zużyte iglice oraz nasadki dysz turbin Peltona wymienia się na zapasowe. Ponieważ nawet niewielkie zmniejszenie średnic iglic i nasadek spowodowane ich zużyciem pociąga za sobą znaczny spadek sprawności, turbiny, więc nie należy ich dopuszczać do dalszej eksploatacji, o ile omawiane średnice zmniejszyły się więcej niż o 1 do 1,5%. Ze względu na to, że wymiana iglic oraz nasadek nie przedstawia trudności, należy ją przeprowadzać w miarę potrzeby również w okresach pomiędzy naprawami.

Doświadczenia poczynione w czasie eksploatacji wykazały, że odporność nasadek na zużycie powiększa się znacznie, o ile ich zużyte powierzchnie napawano za pomocą łuku elektrycznego i następnie obrobiono na tokar-

ce. Do napawania używa się elektrod austenitycznych, poddających się mechanicznej obróbce za pomocą narzędzia skrawającego.

Większą odporność na zużycie powierzchni poddanych tarciu można osiągnąć przez ich azotowanie lub powierzchniowe zahartowanie prądem wysokiej częstotliwości, co jednak jest wykonalne tylko w warunkach fabrycznych.

§ 64. NAPRAWA ŁOŻYSK ORAZ WAŁÓW TURBIN WODNYCH

W wielkich turbinach wodnych stosowane są łożyska gumowe, albo łożyska sporządzone z drewna preparowanego lub łożyska wylane stopem łożyskowym. Podczas przeprowadzania naprawy należy sprawdzić wymiary szczelin łożyskowych, stan powierzchni ciernych oraz przekonać się czy stop łożyskowy przylega do panwi łożyska.

W łożysku wylanym stopem łożyskowym rzeczywista grubość szczeliny nie może przekraczać półtorakrotnej jej zaprojektowanej grubości, zaś w łożysku gumowym lub z drewna preparowanego — dwukrotnej tejże grubości. O ile rzeczywiste grubości szczelin są większe, to w takich przypadkach podczas naprawy turbiny należy naprawić również panwie i doprowadzić szczelinę łożyskową do grubości zaprojektowanej.

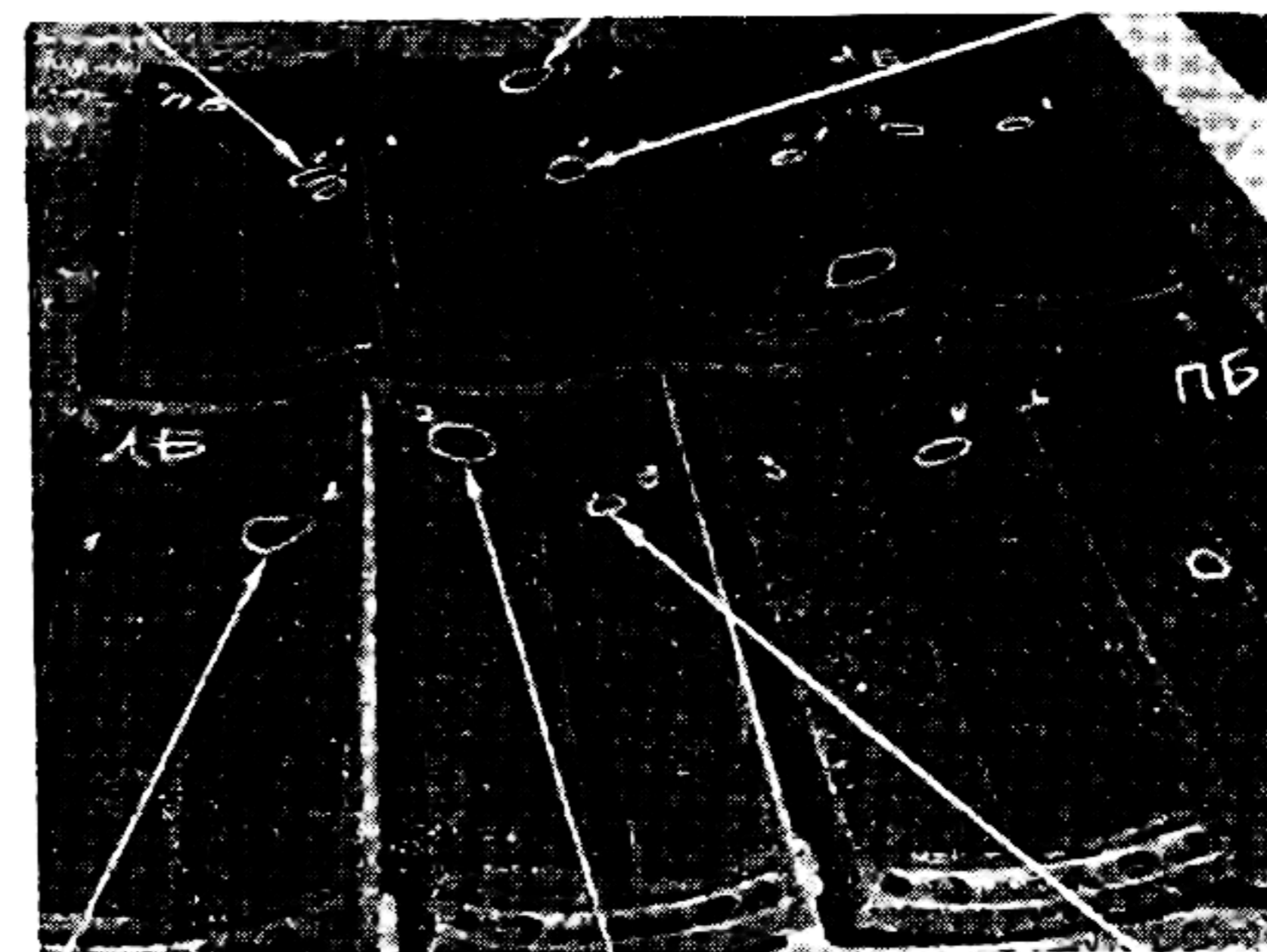
Łożyska gumowe. W przypadku zużycia lub innych defektów (zbyt duża szczelina, wielkie naddarcia, ślady spalonej gumy, odstawanie gumy od członów panwi itd.), członów panwi pokryte gumą wymienia się na nowe, zapasowe. O ile nie rozporządzamy członami zapasowymi, to szczelinę można zmniejszyć przez zmniejszenie grubości podkładek znajdujących się pomiędzy członami (w konstrukcjach, w których łożysko składa się z czterech części) lub — jako tymczasowy środek zaradczy — przez założenie podkładek z cienkiej blachy (folii) stalowej pod nagumowanymi członami panwi. Po przeprowadzeniu tej operacji należy sprawdzić za pomocą średnicówki, czy kształt panwi jest walcowo-kołowy. Pomiarów powinny być tak wykonywane, aby średnicówka przechodziła bez stosowania siły.

Jeżeli podczas naprawy turbozespół jest demontowany, to ewentualna niecyndryczność łożyska może być zlikwidowana przez „doskrobanie“ gumy, przy czym sprawdzenie tego doskrobania wykonuje się na wale. W tym celu na placu montażowym wał turbiny układa się poziomo i pokrywa go rzadkim roztworem kredy, zaś po wyschnięciu ostatniego montuje się łożysko na czopie poprzecznym wału i pokręca wokół tego czopa. Ślady pozostawione przez kredę wskazują rozmieszczenie wypukłości panwi gumowej. Wypukłości te usuwa się za pomocą drobnoziarnistego materiału ściernego posługując się przy tym szlifierką. Podczas „doskrobywania“ materiał ścierny powinien stykać się z gumą tylko przez krótki czas i bez wywierania nacisku, przy czym nie wolno dopuszczać do rozgrzewania się i powstawania ognisk spalonej gumy.

Jeżeli naprawę wykonuje się bez demontowania turbozespółu, to nie jest możliwe doskrobanie panwi. W tym przypadku można natomiast przez

wystarczającą ilość pomiarów średnicy wykryć wypukłości gumy i zlikwidować je w sposób uprzednio opisany. Nowe panwie wyłożone gumą dopasowuje się stosując analogiczne metody.

Jako przykład podamy opis naprawy panwi łożyska turbiny Kaplana o mocy 16500 kW. Uszkodzenia tej panwi, której średnica wynosiła 710 mm, zo-



Rys. 174. Uszkodzenia wykładziny gumowej członów panwi łożyska poprzecznego turbiny

stały wykryte po piętnastu miesiącach pracy turbiny i były wynikiem złej jakości grumy. Mianowicie okazało się, że pod wierzchnią warstwą gumy znajdowały się ogniska lepkiej masy. W tych miejscach, w których masa ta umieszczona była blisko powierzchni cierniej, utworzyły się lokalne zagłębienia oraz naddarcia (rys. 174). Z powodu braku zapasowych członów panwi, defekty te usunięto na miejscu przez wycięcie nożem wszystkich ognisk lepkiej masy, aż do zdrowej gumy i oczyszczenie konturów ognisk za pomocą

tarczy ścierniej. Wykryto ogółem 17 takich ognisk, których powierzchnia stanowiła łącznie około 8% powierzchni roboczej panwi. Oprócz tego stwierdzono, że w jednym członie guma odstaje wzdłuż złącza i obwodu górnej krawędzi. W celu uniknięcia porwania wykładziny gumowej przez wał, przymocowano ją do panwi za pomocą miedzianych listew o grubości 3 mm oraz za pomocą nitów. Listwy były zagłębione w wykładzinie gumowej na 2 do 3 mm poniżej jej powierzchni. Łożysko to w ciągu dwóch lat eksploatacji nie wykazało jakiegokolwiek nieprawidłowości w działaniu.

Łożyska z drewna preparowanego. Jak wiadomo drewno preparowane posiada zdolność wchłaniania wilgoci w czasie dłuższej eksploatacji oraz — o ile nie jest ściśnięte — pęcznienia, co obniża jego własności mechaniczne. Metody obróbki oraz jakość drewna preparowanego opisano w § 63. Obecnie wskażemy na pewne wymagania związane z wymianą elementów sporządzonych z tego drewna.

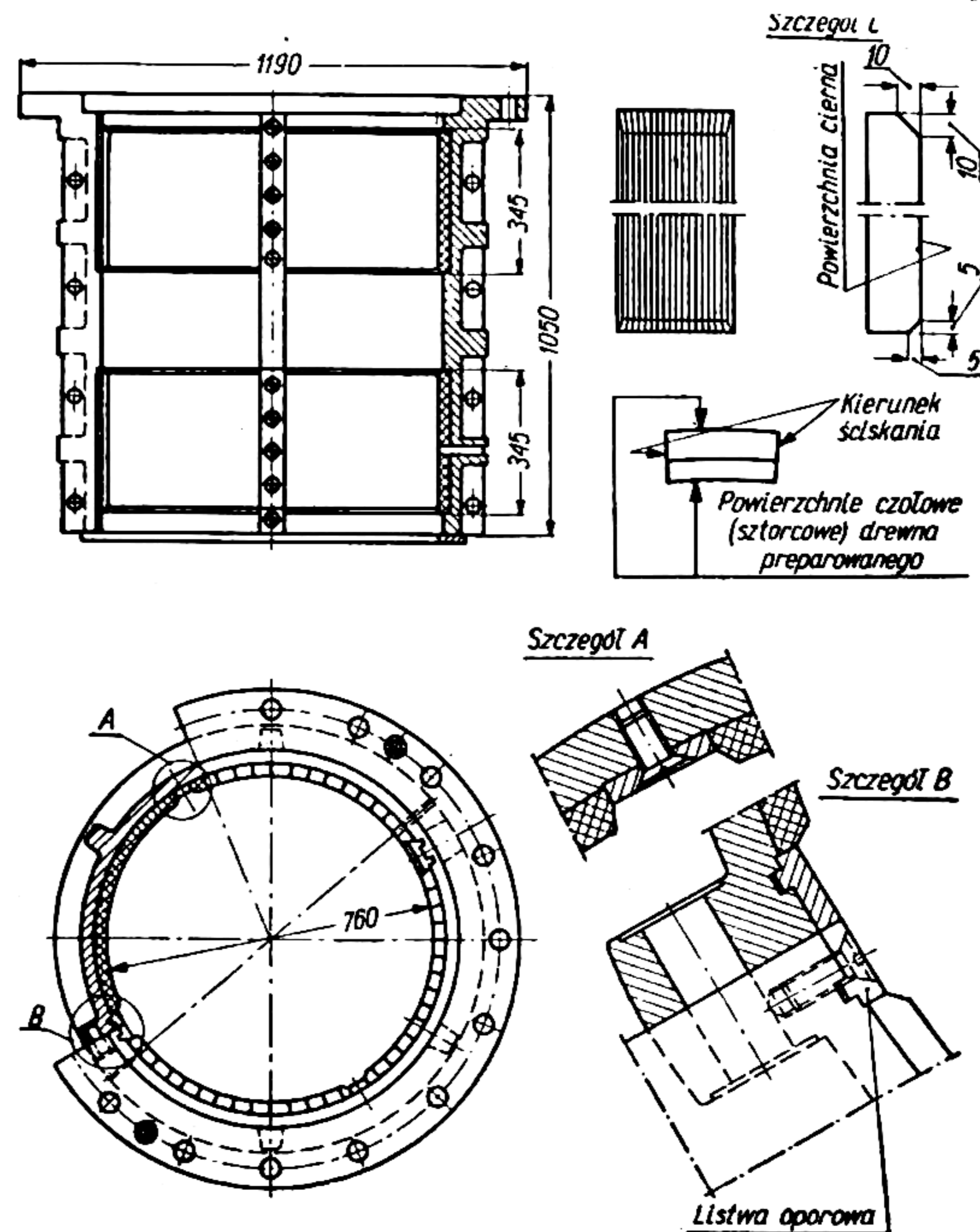
Pęcznienie drewna preparowanego znajdującego się w stanie nieściśniętym, spowodowane wchłanianiem wilgoci, dochodzi do 14 i 18% w kierunku prostopadłym do kierunku sprasowania, zaś wzdłuż włókien — do 2 i 3%; w kierunku sztorców drewno praktycznie nie pęcznieje. Wchłanianie wody przez ściśnięte drewno preparowane marki ДСП-Б wywołuje naprężenia rozpraszające, dochodzące do około 70 do 80 kG/cm².

Opisane własności drewna preparowanego powodują, że przy jego wymianie należy uwzględnić następujące wymagania: a) pręty tego drewna powinny być wycięte z płyt w ten sposób, aby powierzchnie czołowe (sztorcowe) drewna tworzyły powierzchnię roboczą (cierną) (rys. 175, szczegół C), przez co zapobiega się ewentualności zatarcia wału; b) włókna drewna preparowanego powinny być ułożone wzdłuż osi łożyska, zaś płaszczyzny styku prętów — prostopadle do kierunku sprasowania; c) drewno preparowane powinno być ściśnięte w sposób pewny, w celu uniknięcia jego pęcznienia; w tym celu stosuje się stykowe listwy oporowe, wpuszczone „na zamek” w panew (szczeł B), oraz wytoczenia w panwi w kierunku włókien drewna, na dwóch jej końcach. W pewnych konstrukcjach zamiast wytoczeń stosuje się również listwy (pierścienie) oporowe, podobne do opisanych.

Doświadczenie wykazało, że listwy oporowe bez „zamka”, przymocowane więc do panwi tylko za pomocą śrub, odrywają się podczas eksploatacji pod działaniem sił powstających w drewnie preparowanym w miarę pochłaniania przez nie wilgoci.

Drewno preparowane panwi łożyska — o ile wykazuje duże zużycie, pęknięcia, spaloną powierzchnię oraz zadziory — podlega wymianie. Przy składaniu nowych prętów z drewna preparowanego należy postarać się, aby przylegały one ściśle do siebie i do listew oporowych. Wewnętrzną powierzchnię tulei wytacza się na tokarce, a następnie doskrobuje ją według wału, stosując przy tym metodę podaną dla łożysk gumowych z tym wyjątkiem, że materiał usuwa się za pomocą skrobaków stalowych.

Łożyska wylewane stopem łożyskowym. Jeżeli szczelina łożyskowa jest zbyt duża lub warstwa stopu łożyskowego posiada defekty (wytopienie, pęknięcia, rozwarstwienia, odstawanie warstwy stopu od panwi), to panew



Rys. 175. Panwie łożyska poprzecznego turbiny wykładane drewnem preparowanym (lignofoilem)

wymienia się na zapasową lub na nowo się ją wylewa. Drobne usterki (lokalne małe nacieki, poszczególne zadziory, rysy) likwiduje się przez skrobanie; niewielkie pęknięcia znajdujące się przy brzegach stopu nawierca się w celu zlokalizowania tych pęknięć, a następnie zapawa. Ponowne wylanie łożyska może być przeprowadzone na miejscu. Do łożyska poprzecznych turbin wodnych stosuje się stop łożyskowy B—83. Należy zauważyć że stop B—16 ze względu na swoje własności techniczne również nadaje

się do łożysk tych turbin. Technologia ponownego wylewania łożysk opisana jest w specjalnych instrukcjach Ministerstwa Elektrowni ZSRR oraz w literaturze¹⁾. Tutaj wskażemy tylko na to, że w celu uniknięcia zmniejszenia się wymiarów obrzeży, za pośrednictwem których panew łożyska osadzona jest w jego kadłubie, należy zabezpieczyć ją przed opaleniem oraz utlenieniem. W tym celu obrzeża te pokrywa się grafitem.

Wały turbin. Zużyciu wskutek tarcia mechanicznego ulegają czopy poprzeczne wału znajdujące się w łożysku i dławnicy. Zadraśnięcia, rysy i ślady rdzy usuwamy za pomocą skrobaka oraz przez zeszlifowanie drobnociarnistym papierem szmerglowym. Największe zużycie czopa występuje w miejscu, w którym znajduje się dławnica i spowodowane jest zbyt silnym dociśnięciem dławika, złym smarowaniem, zanieczyszczeniem wody lub nieodpowiednią jakością użytego szczeliwa.

Naprawa wału wyrobionego w sposób podobny, jak pokazany na rys. 152, polega na jego przetoczeniu i nałożeniu ochronnej tulei. Np. wał o średnicy 360 mm, który w miejscu dławnicy był wyrobiony na szerokości 120 mm przy głębokości wyrobienia do 14 mm, naprawiono w ten sposób, że przetoczono go na tokarce aż do otrzymania dokładnego kształtu kołowo-walcowego, a następnie na czop wału nałożono tuleję składającą się z dwóch połówek, sporządzoną z blachy stalowej. Połówki umocowano przez zespawanie złącz oraz założenie wkrętów poza granicami dławnicy. Następnie tuleję przetoczono i oszlifowano na projektowaną średnicę.

W innym przypadku czop poprzeczny wału turbiny o średnicy 610 mm wyrobił się na głębokość 12 mm w miejscu, w którym znajduje się dławnica, przy czym szerokość wyrobienia wynosiła 150 mm. Naprawa również i w tym przypadku polegała na przetoczeniu i założeniu ochronnej tulei. Prace te wykonano bezpośrednio w elektrowni. Wał umieszczono mianowicie na placu montażowym w pozycji poziomej w jego własnych łożyskach, które były umocowane za pomocą belek. Następnie za pomocą silnika elektrycznego i za pośrednictwem przekładni redukcyjnej wprawiano go w ruch obrotowy, przy czym koło ślimakowe przekładni przymocowane było do czołowej powierzchni wału. Do przetaczania użyto zwykłego suportu, który zainstalowano na podstawie o konstrukcji spawanej. Po przetoczeniu wału nasadzono na niego tuleję składającą się z dwóch połówek wykonanych ze stali nierdzewnej. Połówki te spawane były wzdłuż styków, a następnie obtaczano je używając w tym celu tego samego suportu.

Opisana metoda naprawy wymagająca przetoczenia wału powoduje powiększenie naprężeń w jego przekroju o zmniejszonej powierzchni. Z tego powodu sprawę przetoczenia wału należy uzgodnić z wytwórnią, która wał dostarczyła.

We współczesnych konstrukcjach czopy poprzeczne wałów pracujących w łożyskach smarowanych wodą zaopatrzone są w miejscach dławnic w tuleje ochronne ze stali nierdzewnej. W tablicy 56 podano dane dotyczące szczeliw stosowanych w dławnicach.

§ 65. NAPRAWA MECHANIZMÓW UKŁADU REGULACYJNEGO

Podczas pierwszego remontu głównego (przeprowadzanego po raz pierwszy po montażu) należy wszystkie mechanizmy poddać sprawdzeniu, połączonemu z ich całkowitą lub częściową rozbiórką, przy czym powinien być obecny przedstawiciel wytwórni. Przy następnych remontach głównych rozbiera się mechanizmy pracujące w sposób niezadowolający i oprócz tego szereg mechanizmów odpowiedzialnych, niezależnie od jakości ich działania; celem tej rozbiórki jest przeprowadzenie profilaktycznych oględzin oraz stwierdzenie stanu części. O ile nie zachodzi ostateczna potrzeba, nie należy rozbierać mechanizmów wymagających specjalnego wyregulowania, a mianowicie: regulatora odśrodkowego, katarakty, dźwigniowej przekładni skrzynki sterowniczej, przekładników i zaworów bezpieczeństwa zespołu olejowego ciśnieniowego itp. Poniżej, osobno dla każdego zespołu układu regulacyjnego, wyszczególniono mechanizmy podlegające rozbiórce.

1. Zespół olejowy ciśnieniowy

Sprawdzeniu połączonemu z rozbiórką podlegają następujące mechanizmy: pompy olejowe, zawory przelewowe, filtry w zlewczym zbiorniku olejowym oraz filtry zaworów przelewowych.

Pompy olejowe zębate. Pompy te, zwłaszcza o wielkich wymiarach (o wydatku 16 i 25 l/sek) wykazują tendencję do zacierania się (zakleszczania). Analiza przyczyn powodujących zacieranie wykazała, że elementami pompy najbardziej narażonymi na zużycie są jej brązowe tuleje łożyskowe, które łatwo zagrzewają się. Zagrzenie tulei może być spowodowane przez różnorodne przyczyny, a mianowicie: wzrost temperatury oleju w układzie regulacyjnym, zanieczyszczenie tego oleju, naruszenie centrowania, nieodpowiednie wymiary szczelin oraz nieodpowiednie pasowania, nieprawidłowe wymiary rowków smarowych i in.

W razie występowania którejkolwiek ze wskazanych przyczyn, największa ilość ciepła wydziela się w częściach poddanych tarcia, tj. w łożyskach pompy, co doprowadza do szybkiego zagrzenia się stosunkowo cienkiej brązowej tulei łożyskowej, podczas gdy temperatura kadłuba pompy praktycznie nie ulega zmianie. Wskutek zagrzenia metal tulei powiększając swą objętość usiłuje się rozszerzyć, lecz napotyka na opór kadłuba pompy, który nie zdążył w tym czasie rozgrzać się i z tego powodu objętość tulei powiększa się na rachunek jej wewnętrznej średnicy. W miarę zmniejszania się tej średnicy zmniejsza się również grubość warstwy przepływającego oleju, który wskutek tego więcej się rozgrzewa i przekazuje nadmiar ciepła tulei, co z kolei powoduje dalsze zmniejszenie jej wewnętrznej średnicy. Nadmiar ten przekazywany jest również czopowi wału, który wskutek tego rozszerza się i powiększa swoją średnicę. Proces ten trwa aż do chwili zetknięcia się powierzchni czopa z poszczególnymi miejscami powierzchni tulei,

¹⁾ E. Władysławew: Remont gidroturbin. Gosenergoizdat, 1948.

co doprowadza do natopienia się brązu na czop i przy określonych warunkach do zatarcia łożyska. Z wyżej powiedzianego wynika, że prawidłowe wycentrowanie oraz zachowanie odpowiednich wymiarów szczeliny i rowków smarownych stanowią główne wymagania przy sprawdzaniu i naprawie pompy zębatej.

Przed przystąpieniem do rozbiórki pompy należy się przekonać, czy kołki, które ustalają położenie pokrywy względem kadłuba są odpowiednio dokładnie dopasowane. Jeżeli pasowanie to jest zbyt luźne, to bez odkręcania nakrętek należy nieco rozwiąć otwory, według wymiarów tych rozwierconych otworów sporządzić nowe kołki i dopasować je na miejscu. W ten sposób mamy pewność, że pierwotne wycentrowanie nie zostanie naruszone. Oprócz tego po zdjęciu pokrywy należy nanieść znaki na współpracujących z sobą zębach, tak aby przy montażu znaki te mogły być z sobą z powrotem uzgodnione zabezpieczając w ten sposób zazębienie się uprzednio do siebie dotartych zębów.

Jeżeli na czopie znajdują się ślady natopu brązu, to tuleje należy doskrobać. Doskrobanie to wykonuje się „na farbę“ za pomocą trzpienia sporządzonego z oszlifowanej rury, której średnica zewnętrzna i długość powinny odpowiadać średnicy i długości wału koła zębatego. Po wyjęciu kół zębatach z kadłuba pompy, powlekamy trzpień cienką warstwą farby i obracamy go kolejno w każdej parze tulei. Kadłub powinien być przy tym zmocowany i pewnie zkołkowany z pokrywami. Niekiedy skrobanie wykonuje się według wału koła zębatego, ale przy tej metodzie musimy kilka razy kolejno demontować i montować pompę, co — jak wykazało doświadczenie — często doprowadza do naruszenia centrowania, a zatem do zmniejszenia powierzchni dolegania czopów oraz do powiększenia lokalnego nacisku właściwego w tulejach.

Badania wykazały, że wielkie pompy produkcji Leningradzkich Zakładów Metalowych im. Stalina, wykonane przed 1945 r., pracują zadowolająco przy powiększeniu grubości szczelin oraz rowków smarownych w tulejach łożyskowych do 0,15 i 0,20 mm. Tymczasem grubości szczelin w tulejach łożyskowych powinny być o 0,05 do 0,1 mm mniejsze od grubości szczeliny promieniowej pomiędzy kołem zębatym i kadłubem pompy.

W niektórych elektrowniach brązowe tuleje łożyskowe pomp zastąpiono tulejami wylanymi stopem łożyskowym, przy czym szczeliny i rowki były powiększone we wskazanych granicach. Pompy tego rodzaju pracują również bez defektów. Wymiary szczelin przed i po naprawie zapisuje się w protokole. Na rys. 176 pokazano formularz odpowiedniego protokołu.

Pompy olejowe ślimakowe. Doświadczenia poczynione podczas eksploatacji tych pomp wykazały, że pracują one bardziej niezawodnie niż pompy zębate.

Jeżeli na ciernych powierzchniach ślimaków występują zadziory, to należy je usunąć przez delikatne szlifowanie pilnikiem — wykańczakiem i osetką. Wszystkie kanały powinny być przedmuchane za pomocą powietrza sprężonego, zaś części oczyszczone z brudu i wymyte. O ile powierz-

chnia osłony ślimaków (wylana stopem łożyskowym) jest zużyta jednostronnie lub na całym obwodzie, to zmniejsza to wydatek pompy oraz pogarsza stan jej pracy. W takich przypadkach naprawa polega na ponownym wylaniu osłony stopem łożyskowym (B—83 lub B—16) oraz jej wytoczeniu. Ze względu na to, że operacja ta jest skomplikowana, wykonuje się ją zazwyczaj w wtryskowni.

Elektrownia wadno	Protokół montażowy pompy zębatej do oleju	Nr protokołu																																								
<p>Grubość szczelin łożyskowych oraz wymiary rowków smarowniczych w tulejach łożyskowych</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Sprawdził:</th> <th colspan="2">Tuleja łożyskowa Nr 1</th> <th rowspan="2">Grubość szczeliny k ($d_3 - d_4$)</th> <th colspan="2">Wymiary rowka</th> </tr> <tr> <th>d_1</th> <th>d_2</th> <th>s</th> <th>g</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Sprawdził:	Tuleja łożyskowa Nr 1		Grubość szczeliny k ($d_3 - d_4$)	Wymiary rowka		d_1	d_2	s	g																														
Sprawdził:	Tuleja łożyskowa Nr 1			Grubość szczeliny k ($d_3 - d_4$)	Wymiary rowka																																					
	d_1	d_2	s		g																																					
<p>Grubość szczeliny czopowej</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>a_1</th> <th>a_2</th> <th>Grubość szczeliny a $a_1 - a_2$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			a_1	a_2	Grubość szczeliny a $a_1 - a_2$																																					
a_1	a_2	Grubość szczeliny a $a_1 - a_2$																																								
<p>Szczelina promieniowa</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Sprawdził:</th> <th colspan="2">Wewnętrzna kadłuba (b_1 lub b_2)</th> <th colspan="2">Zewnętrzna koła zębatego (b_3 lub b_4)</th> <th rowspan="2">Grubość szczeliny p ($b_1 - b_2$)</th> </tr> <tr> <th>b_1</th> <th>b_2</th> <th>b_3</th> <th>b_4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Sprawdził:	Wewnętrzna kadłuba (b_1 lub b_2)		Zewnętrzna koła zębatego (b_3 lub b_4)		Grubość szczeliny p ($b_1 - b_2$)	b_1	b_2	b_3	b_4																														
Sprawdził:	Wewnętrzna kadłuba (b_1 lub b_2)			Zewnętrzna koła zębatego (b_3 lub b_4)		Grubość szczeliny p ($b_1 - b_2$)																																				
	b_1	b_2	b_3	b_4																																						
<p>Grubość szczeliny n ($d_1 - d_2$)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>d_1</th> <th>d_2</th> <th>Grubość szczeliny n ($d_1 - d_2$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			d_1	d_2	Grubość szczeliny n ($d_1 - d_2$)																																					
d_1	d_2	Grubość szczeliny n ($d_1 - d_2$)																																								
<p>Grubość szczeliny q ($b_1 - b_2$)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>b_1</th> <th>b_2</th> <th>Grubość szczeliny q ($b_1 - b_2$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			b_1	b_2	Grubość szczeliny q ($b_1 - b_2$)																																					
b_1	b_2	Grubość szczeliny q ($b_1 - b_2$)																																								

Rys. 176. Formularz protokołu montażowego pompy zębatej do oleju

Przed przystąpieniem do montażu należy zmierzyć odpowiednie wymiary pompy i zaprotokółować je. Formularz takiego protokołu pokazano na rys. 177.

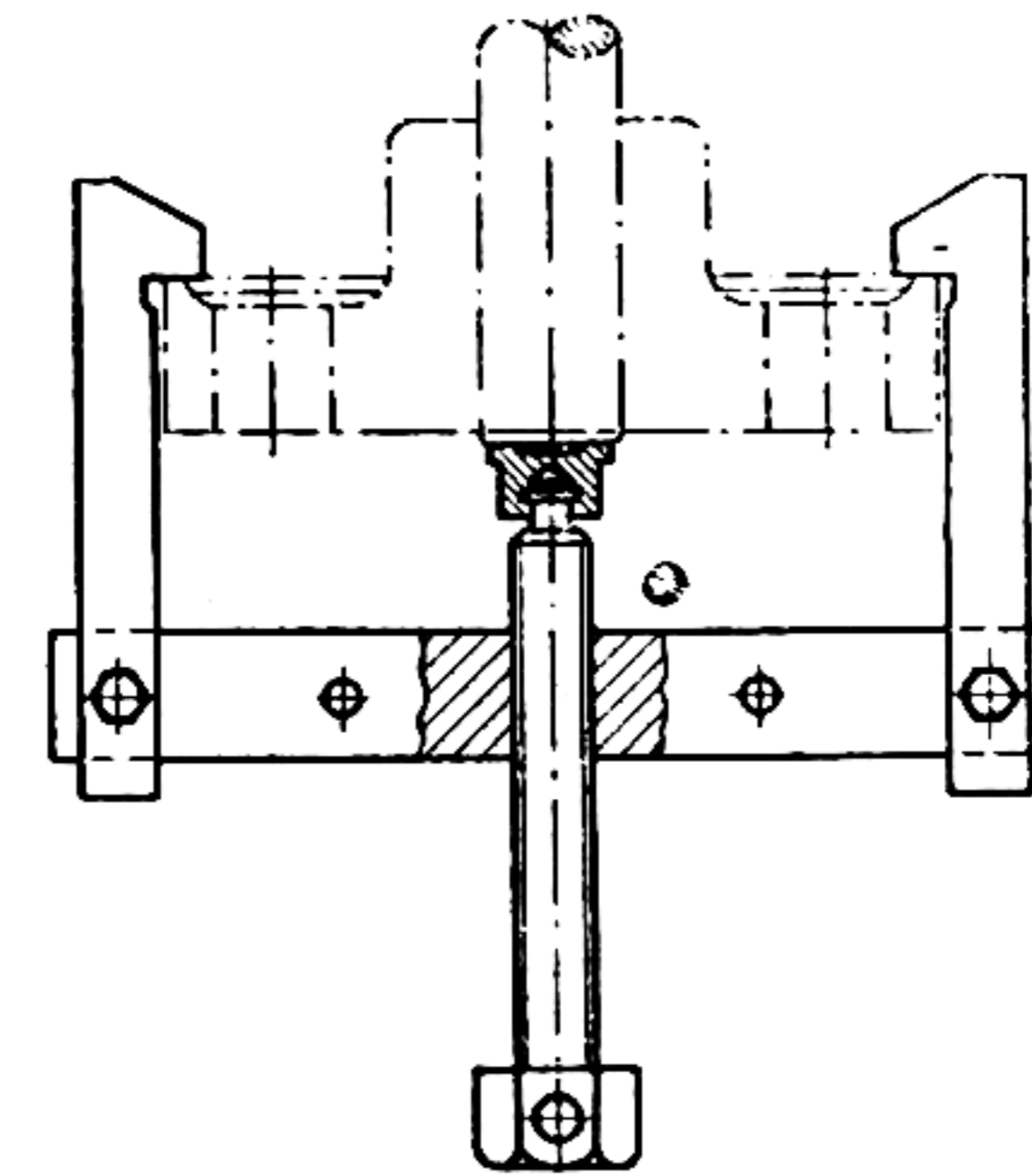
Przy uruchamianiu pompy komorę ssawną należy napęłnić olejem, co zapobiega pracy ślimaków „na sucho“ i zabezpiecza szybkie zassanie oleju podczas rozruchu. Dławik dławownicy ślimaka napędzającego należy równomiernie dociągnąć, jednak bez zbytniego wysiłku, gdyż może to spowodować

nadmierny wzrost temperatury szczeliwa w dławnicy i przedwczesne zużycie wału. Przy naprawach sprzęgła pomp zębatach i ślimakowych najlepiej jest zdejmować je za pomocą przyrządu, którego sposób użycia i wygląd pokazano na rys. 178.

	Elektrownia wodna	Protokół montażowo-naprawczy pompy ślimakowej do oleju	Nr protokołu																																	
Pomiary przeprowadzono dnia																																				
	<p style="text-align: center;">Wymiary kadłuba</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>d</th> <th>e</th> <th>f</th> <th>g</th> <th>h</th> <th>i</th> <th>j</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Przy montażu</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Po naprawach</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	Przy montażu											Po naprawach										
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j																										
Przy montażu																																				
Po naprawach																																				
Sprawdził:																																				
Zmierzył:	<p style="text-align: center;">Wymiary ślimaków</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>d₁</th> <th>d₂</th> <th>d₃</th> <th>d₄</th> <th>d₅</th> <th>d₆</th> <th>d₇</th> <th>d₈</th> <th>d₉</th> <th>d₁₀</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Przy montażu</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Po naprawach</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈	d ₉	d ₁₀	Przy montażu											Po naprawach										
		d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	d ₇	d ₈	d ₉	d ₁₀																									
Przy montażu																																				
Po naprawach																																				
Zmierzył:																																				

Rys. 177. Formularz protokołu montażowo-naprawczego pompy ślimakowej do oleju

Zawory przelewowe. W razie gdy zawór (rys. 179) przepuszcza olej, co może być wynikiem wyrobienia lub uszkodzenia gniazda lub grzybka, należy ostatecznie dotrzeć za pomocą sproszkowanego szmerglu oraz pasty szlifierskiej FOH. Jeżeli sprężyna została osłabiona podczas eksploatacji zaworu, to wymieniamy ją na nową. Wszystkie kanały w kadłubie oraz w iglicy zaworu należy starannie przedmuchać za pomocą sprężonego powietrza, zlikwidować ewentualne miejsca zatrucia na iglicy oraz na tłoku zaworu, wreszcie części zaworu oczyścić i przemyć. Przy składaniu należy sprawdzić działanie wyłącznika końcowego.



Rys. 178. Urządzenie do ściągania sprzęgła pomp

	Elektrownia wodna	Protokół montażowo-naprawczy zaworu przelewowego zespołu olejowego ciśnieniowego	Nr protokołu																				
Pomiary przeprowadzono dnia																							
	<p style="text-align: center;">Wymiary rzeczywiste mm</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>a₁</th> <th>a₂</th> <th>a₃</th> <th>a₄</th> <th>a₅</th> <th>l</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Przy montażu</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Po naprawie</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	l	Przy montażu							Po naprawie					
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	l																	
Przy montażu																							
Po naprawie																							
Sprawdził:																							
Zmierzył:																							

Rys. 179. Formularz protokołu montażowo-naprawczego zaworu przelewowego zespołu olejowego ciśnieniowego

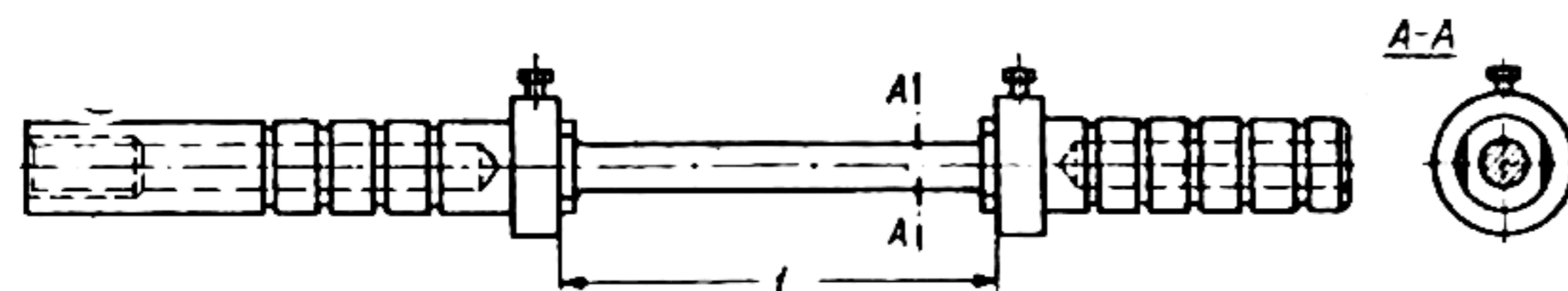
Rzeczywiste wymiary zaworów przelewowych zapisuje się w protokóle, którego formularz pokazano na rys. 179.

Filtry zespołu olejowego ciśnieniowego. Z filtrów tych usuwamy starannie brud i w przypadku ich zepsucia wymieniamy je na nowe. Jeżeli układ regulacyjny opróżniamy podczas naprawy, to należy obejrzeć powłokę ochronną wewnętrznych powierzchni ścianek zbiornika zlewczego oraz zbiornika ciśnieniowego. O ile powłoka ta jest zniszczona, należy zbiornik wewnątrz ponownie pomalować farbą odporną na działanie oleju.

2. Skrzynki sterownicze regulatora i kombinatora

Sprawdza się oraz demontuje następujące mechanizmy: suwak siłownika pomocniczego, suwaki regulatora, zawory hydrauliczne oraz filtry.

Suwak siłownika pomocniczego (patrz rys. 124). Zużycie krawędzi odcinających suwaka powoduje zmniejszenie stateczności regulacji i z tego względu podczas napraw wymienia się suwak na nowy. We współczesnych konstrukcjach regulatorów krawędzie odcinające suwaka ukształtowane są jako krawędzie „ukosowe”, co powiększa ich trwałość oraz zmniejsza przecieki oleju. Osiąga się to w ten sposób, że przesłaniające cylindryczne części suwaka wykonuje się z każdej strony dłuższe o 2 do 3 mm od okienek znajdujących się w tulei suwaka i krawędzie tych części w dwóch lub trzech miejscach ukosuje się za pomocą piły, aż do otrzymania zaprojektowanych przekryć. Łączna długość skosów powinna wynosić około 40 do 50% obwodu suwaka. Przy ukosowaniu krawędzi wygodnie jest posługiwać się urządzeniem, które składa się z dwóch pierścieni. Pierścienie te umocowuje się na suwaku odpowiednio do wymaganego wymiaru podanego w protokóle tulei (rys. 180). Tego rodzaju zmianę konstrukcyjną przeprowadza się zazwyczaj na miejscu podczas naprawy.



Rys. 180. Urządzenie do obróbki odcinających krawędzi suwaków

Suwak regulatora. W suwaku tym podobnie jak i w suwaku siłownika pomocniczego zużywają się przeważnie krawędzie odcinające, przy czym główny suwak rozdzielczy (patrz rys. 124), który wykonuje największą ilość ruchów, oraz jego tuleja zużywają się szybciej niż inne suwaki zarówno jeżeli chodzi o krawędzie, jak i o trzon. Prowadzi to do powstania poważnych przecieków i w wyniku do pogorszenia stanu pracy pompy olejowej.

Przy większym zużyciu suwak oraz tuleję z reguły wymienia się na nowe, zapasowe. W razie ich braku zużyte tuleje i suwaki o większych wy-

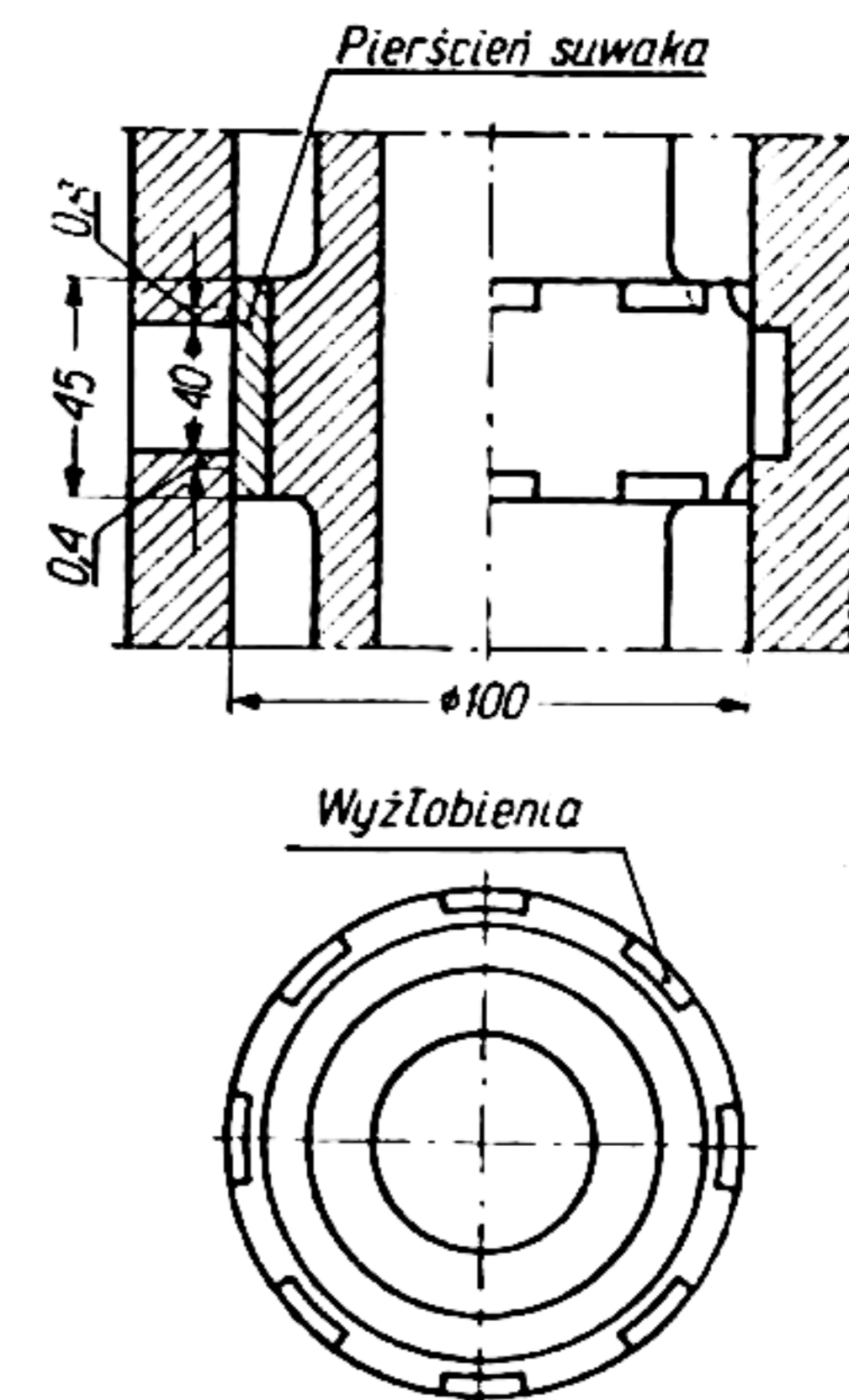
miarach można naprawić w następujący sposób. Krawędzie odcinające tulei przetacza się na tokarce aż do uzyskania na całym obwodzie ich prawidłowego kształtu, a następnie, o ile tuleja utraciła swój kształt kołowo-walcowy, tj. zowalizowała się lub stała się stożkowa, wytacza się ją wewnątrz. Suwak przetacza się na mniejszą średnicę, po czym nasadza się na niego na gorąco pierścienie, posiadające odpowiedni naddatek na średnicy (rys. 181). Następnie pierścienie te obtacza się aż do otrzymania zaprojektowanych przekryć oraz szczelin.

Podczas naprawy zaleca się, aby krawędzie odcinające suwaka regulatora wykonywać w ten sam sposób, jak krawędzie odcinające suwaka siłownika pomocniczego tj. jako krawędzie „ukosowe”. Krawędzie odcinające głównych suwaków rozdzielczych o średnicy 100 mm i więcej ukosuje się przez frezowanie ich lub spilowanie w sześciu do ośmiu miejscach na obwodzie, przy czym wysokość każdego zgrubienia (talerzyka) suwaka powinna być większa o 4 do 6 mm (czyli o 2 do 3 mm z każdej strony) od okienka w tulei, tak jak to przedstawiono na rys. 181. Rzeczywiste wymiary i przekrycia suwaka zapisuje się w protokóle. Formularz odpowiedniego protokołu pokazano na rys. 182.

Należy uwzględnić, że powiększenie przekryć suwaka oraz suwaka siłownika pomocniczego zamieszcza czułość regulatora, zaś zmniejszenie przekryć (głównie w suwaku) powiększa przecieki oleju w układzie regulacyjnym.

We współczesnym budownictwie turbin wodnych w ZSRR w celu powiększenia odporności na zużycie stosuje się środki zmierzające do powiększenia trwałości krawędzi oraz powierzchni ciernych iglic, suwaków, tulei i innych części. Radykalnym środkiem jest wykonanie tych części ze specjalnych stali stopowych z zastosowaniem azotowania powierzchni ciernych w celu uzyskania ich wysokiej twardości oraz hartowanie części za pomocą prądu wysokiej częstotliwości.

Zawory hydrauliczne. Najszybciej zużywają się powierzchnie zamykające gniazd oraz grzybków zaworów. Szczelność zaworów hydraulicznych odzyskujemy przez ich dotarcie. Docieramy przy użyciu proszku szklanego zmieszanego z olejem oraz pasty szlifierskiej IOI. Posługujemy się przy tym urządzeniem pokazanym na rys. 183. Sprężyna S, zastosowana w tym



Rys. 181. Naprawa suwaka przez nałożenie pierścieni skurczowych; krawędzie odcinające suwaka wykonano jako tzw. krawędzie „częściowe”

urządzeniu, przyczynia się do płynnego dociśnięcia grzybka zaworu Z do jego gniazda G i ułatwia pracę robotnikowi. Szczelność zaworów sprawdzamy za pomocą ciśnienia hydraulicznego lub przez nalanie nafty do wnętrza zaworu.

Elektrownia wodna	Protokół montażowo-naprawczy suwaka siłownika głównego oraz suwaka siłownika pomocniczego	Nr protokołu																																			
Pomiary przeprowadzono dnia.																																					
	<p>Rzeczywiste wymiary suwaka siłownika głównego</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>a₁</th> <th>a₂</th> <th>a₃</th> <th>b₁</th> <th>b₂</th> <th>b₃</th> <th>d₁ suwaka</th> <th>d₂ tulei</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Przy montażu</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Przed naprawą</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Po naprawie</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			a ₁	a ₂	a ₃	b ₁	b ₂	b ₃	d ₁ suwaka	d ₂ tulei	Przy montażu									Przed naprawą									Po naprawie							
	a ₁	a ₂	a ₃	b ₁	b ₂	b ₃	d ₁ suwaka	d ₂ tulei																													
Przy montażu																																					
Przed naprawą																																					
Po naprawie																																					
Sprawdził:	<p>Przekrycia suwaka siłownika głównego</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>$h_1 = h_2 \cdot \frac{a_1 - d_1}{7}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$h_2 = b_2 - h_2 - a_2$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$h_3 = a_3 - d_3 - h_3$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grubość szczeliny $d_2 - d_1$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		$h_1 = h_2 \cdot \frac{a_1 - d_1}{7}$		$h_2 = b_2 - h_2 - a_2$		$h_3 = a_3 - d_3 - h_3$		Grubość szczeliny $d_2 - d_1$																												
$h_1 = h_2 \cdot \frac{a_1 - d_1}{7}$																																					
$h_2 = b_2 - h_2 - a_2$																																					
$h_3 = a_3 - d_3 - h_3$																																					
Grubość szczeliny $d_2 - d_1$																																					
Zmierzył:	<p>Rzeczywiste wymiary i przekrycia suwaka siłownika pomocniczego (ligity)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>l₁</th> <th>l₂</th> <th>d₁ suwaka pomocniczego (ligity)</th> <th>l₂ tulei</th> <th>k₁ = k₂ $\frac{l_1 - l_2}{2}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Podczas montażu</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Przed naprawą</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Po naprawie</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			l ₁	l ₂	d ₁ suwaka pomocniczego (ligity)	l ₂ tulei	k ₁ = k ₂ $\frac{l_1 - l_2}{2}$	Podczas montażu						Przed naprawą						Po naprawie																
	l ₁	l ₂	d ₁ suwaka pomocniczego (ligity)	l ₂ tulei	k ₁ = k ₂ $\frac{l_1 - l_2}{2}$																																
Podczas montażu																																					
Przed naprawą																																					
Po naprawie																																					

Rys. 132. Formularz protokołu montażowo-naprawczego suwaka siłownika głównego oraz suwaka siłownika pomocniczego

Inne zawory (bezpieczeństwa, powietrzne, zwrotne,) w miarę potrzeby dociera się w analogiczny sposób.

Pozostałe mechanizmy regulatora, jak wspominaliśmy poprzednio, podlegają rozbiórce tylko w razie konieczności ich naprawy.

Na tym miejscu wskażemy na pewne osobliwości przy naprawach regulatorów odśrodkowych. W starych konstrukcjach tych regulatorów (z dwie-

ma sprężynami śrubowymi) najbardziej zużywają się połączenia przegubowe: ostrza i przyzmaty, wykonywane ze stali Y-8. Jeżeli wskutek zużycia tych połączeń regulator posiada martwy ruch, to ostrza należy wymienić, zaś przyzmaty dopiłować aż do otrzymania ich początkowego kształtu lub również wymienić na nowe.

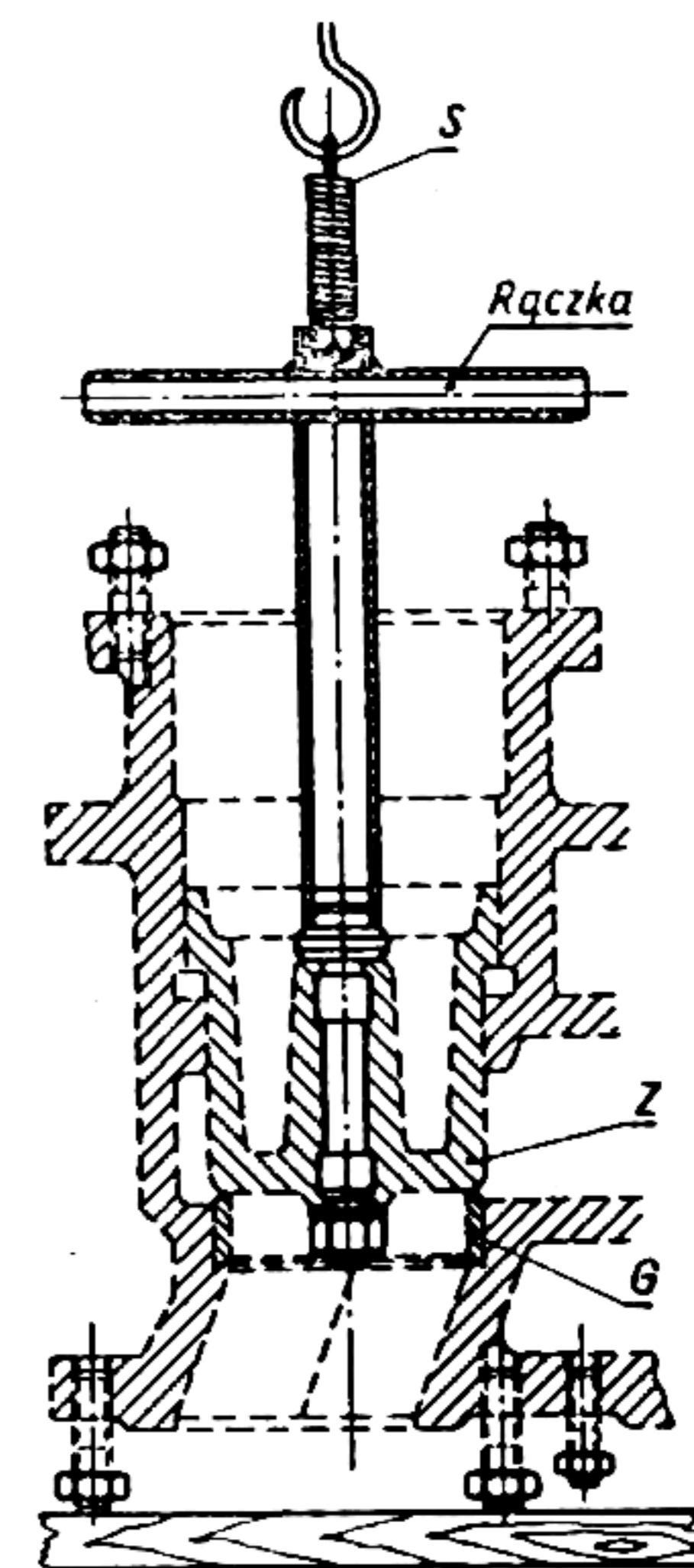
Przed rozebraniem regulatora należy dokładnie ustalić położenie nakrętek sprężyn, tak aby później przy składaniu nie naruszyć ich wstępnego napięcia, gdyż takie naruszenie może doprowadzić do zmiany charakterystyki regulatora.

W opisanym typie regulatorów odśrodkowych w celu polepszenia ich regulacyjnych właściwości wymienia się sprężyny o ośmiu zwojach, w które te regulatory są zaopatrzone, na sprężyny o sześciu i pół zwojach. Sprężyny powinny być wytarowane w wytwórni i charakterystyki ich sztywności powinny być jednakowe.

We współczesnych konstrukcjach regulatorów odśrodkowych taśmowych, instalowanych w skrzynkach sterowniczych YK (patrz rys. 124), zużyciu ulega trący się dolny koniec drążka regulatora odśrodkowego oraz kolek oporowy tego drążka, zamocowany w dźwigni. Kolek ten w razie jego dużego zużycia wymienia się na nowy, zaś koniec drążka można naprawić w ten sposób, że jego powierzchnię czołową natapia się łukiem elektrycznym, a następnie opiłowuje i szlifuje. Wielkość zużycia ustala się na podstawie konfrontacji wymiarów wysokości kółka i wystającej części drążka z wymiarami rzeczywistymi.

O stanie łożysk kulkowych w regulatorze odśrodkowym można się przekonać przez ręczne obracanie regulatora, przy czym nie powinny występować jakiegokolwiek zacierania. Jednocześnie kontroluje się bicie wrzeciona oraz drążka regulatora. Oprócz tego za pomocą czujnika mierzy się luz wrzeciona w łożysku kulkowym obracając to wrzeciono ręcznie. Łożyiska kulkowe zużyte wymienia się na nowe. Aby uniknąć uszkodzenia wrzeciona podczas zdejmowania łożyska kulkowego, w przypadku gdy łożysko to jest mocno osadzone, zaleca się podgrzewanie ostatniego przez polewanie go gorącym olejem przy jednoczesnym odizolowaniu wrzeciona za pomocą azbestu.

Jeżeli regulator odśrodkowy był rozbierany w czasie naprawy oraz wy-

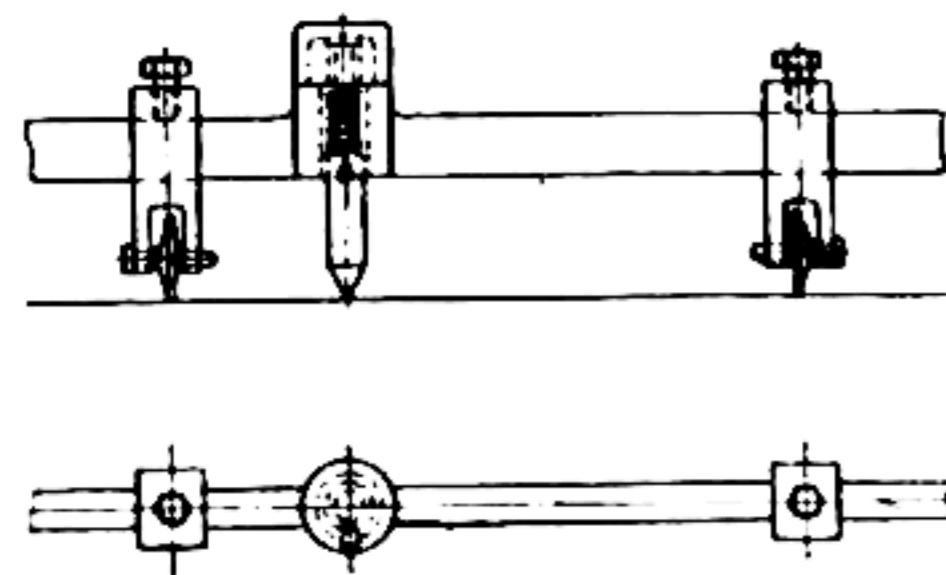


Rys. 133. Przyrząd do docierania zaworów

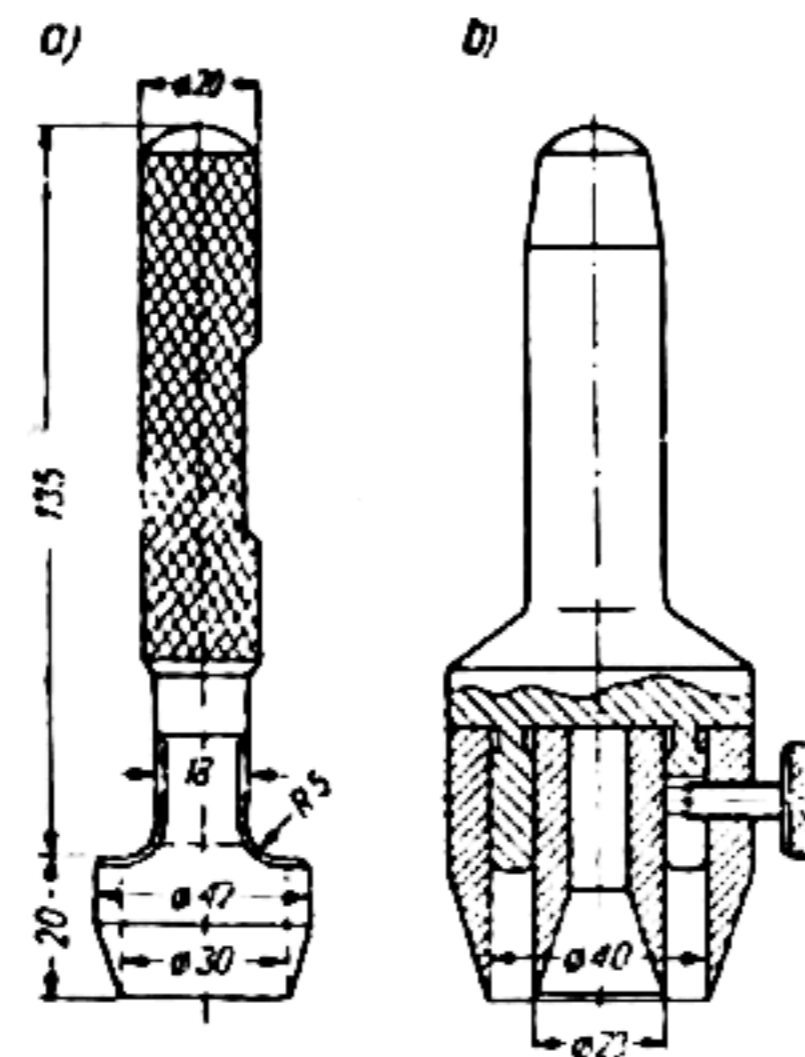
mieniano w nim części, to po zmontowaniu należy sprawdzić jego ustawienie przez zdjęcie charakterystyki (§ 35). W tym przypadku do napędzania regulatora może być użyty silnik elektryczny prądu stałego z opornikiem, który w potrzebnych granicach pozwala zmieniać prędkość obrotową silnika. Prędkość tę mierzymy za pomocą ręcznego obrotomierza. Do badania regulatora odśrodkowego o napędzie elektrycznym dogodnie jest używać urządzenia redukcyjnego, pokazanego na rys. 146.

Mechanizm izodromowy (katarakta). W mechanizmie tym najczęściej zużywa się zamykający koniec iglicy. W tym przypadku iglicę naprawia się przez napawanie jej lub wymienia się ją na nową. Martwy ruch katarakty sprawdzamy przez przesuwanie tulei w górę oraz w dół. Powrót tulei do jej środkowego położenia mierzymy za pomocą czujnika (§ 35).

W mechanizmie izodromowym tarciowo-czołowym zużyciu ulega tarcza, która stale się obraca. Największemu zużyciu ulega środek tarczy, w której w tym właśnie miejscu powstaje wgłębienie. W celu zlikwidowania tego defektu powierzchnię tarczy przetacza się aż do zniknięcia wgłębienia lub tarczę wymienia się na nową. Przy przeta-



Rys. 184. Cyrkiel nożowy do wycinania uszczelek



Rys. 185. Wycinaki do uszczelek: a) do wycinania otworów w uszczelkach, b) do wycinania całych uszczelek

czaniu lub wymianie tarczy należy baczyć, aby jej powierzchnia była ściśle prostopadła do osi obrotu. Luzy w przekładniach likwiduje się przez wymianę sworzni w połączeniach przegubowych.

W razie konieczności naprawy poszczególnego odcinka rurociągu olejowego (w celu zlikwidowania przeciekania, wymiany uszczelek itp.) należy odcinek ten odciąć od ciśnienia, wypuścić z niego olej i dopiero po tym rozebrać rurociąg.

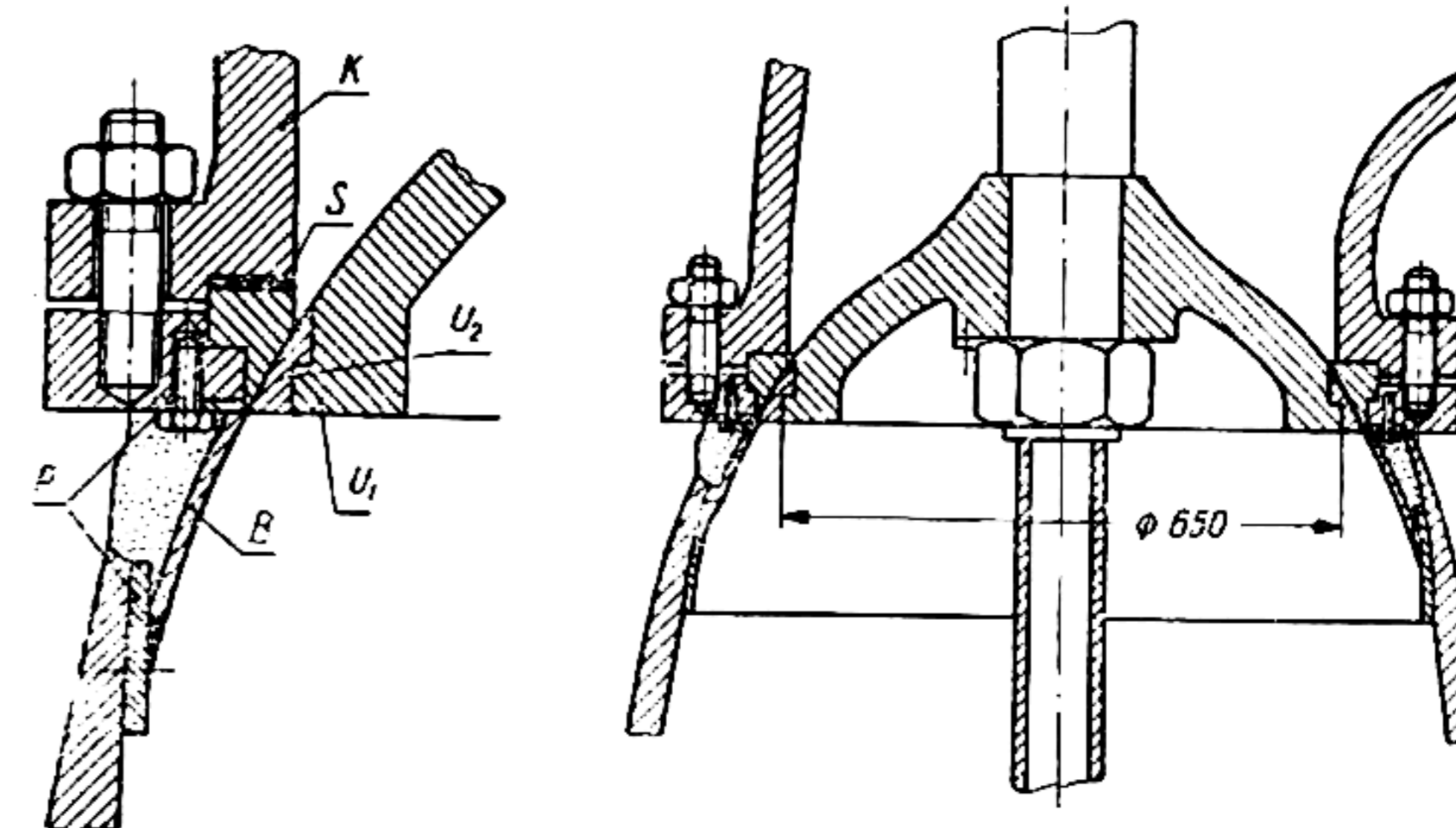
Do sporządzania uszczelek używa się cyrkla nożowego, który pozwala na jednoczesne wycinanie uszczelki po jej zewnętrznej i wewnętrznej średnicy (rys. 184). Ustawienie noży względem środka uszczelki można regulować. Otwory na śruby w uszczelce wycina się za pomocą wycinaka pokazanego na rys. 185a, zaś do wycinania całych uszczelek używamy wycinaka przedstawionego na rys. 185b.

§ 66. NAPRAWA MECHANIZMÓW POMOCNICZYCH

W upustach jałowych i w zaworach najszybciej zużywają się wymienne stalowe pierścienie uszczelniające. Zużycie to jest spowodowane głównie przez kawitację szczelinową, która występuje wówczas, gdy omawiane mechanizmy znajdują się w położeniu zamkniętym. Powstawaniu szczelin sprzyja ścierające działanie rumowiska oraz twarde cząstki, które nie dopuszczają do dokładnego dolegania pierścieni uszczelniających. Oprócz pierścieni mogą ulegać również niszczeniu przylegające do nich części.

1. Upusty jałowe

W instalacjach, w których upusty jałowe są zatopione, to znaczy w których poziom dolnej wody znajduje się powyżej upustu, wyżarcia kawitacyjne powstają bezpośrednio za upustem. Na przykład w przypadku dwóch turbin o mocy 30000 kW i 25000 kW pracujących pod spadem 139 m względ-



Rys. 186. Naprawa żeliwnego krócca upustu jałowego, uszkodzonego przez kawitację; na miejsca uszkodzone nałożono wykładzinę z blachy stalowej

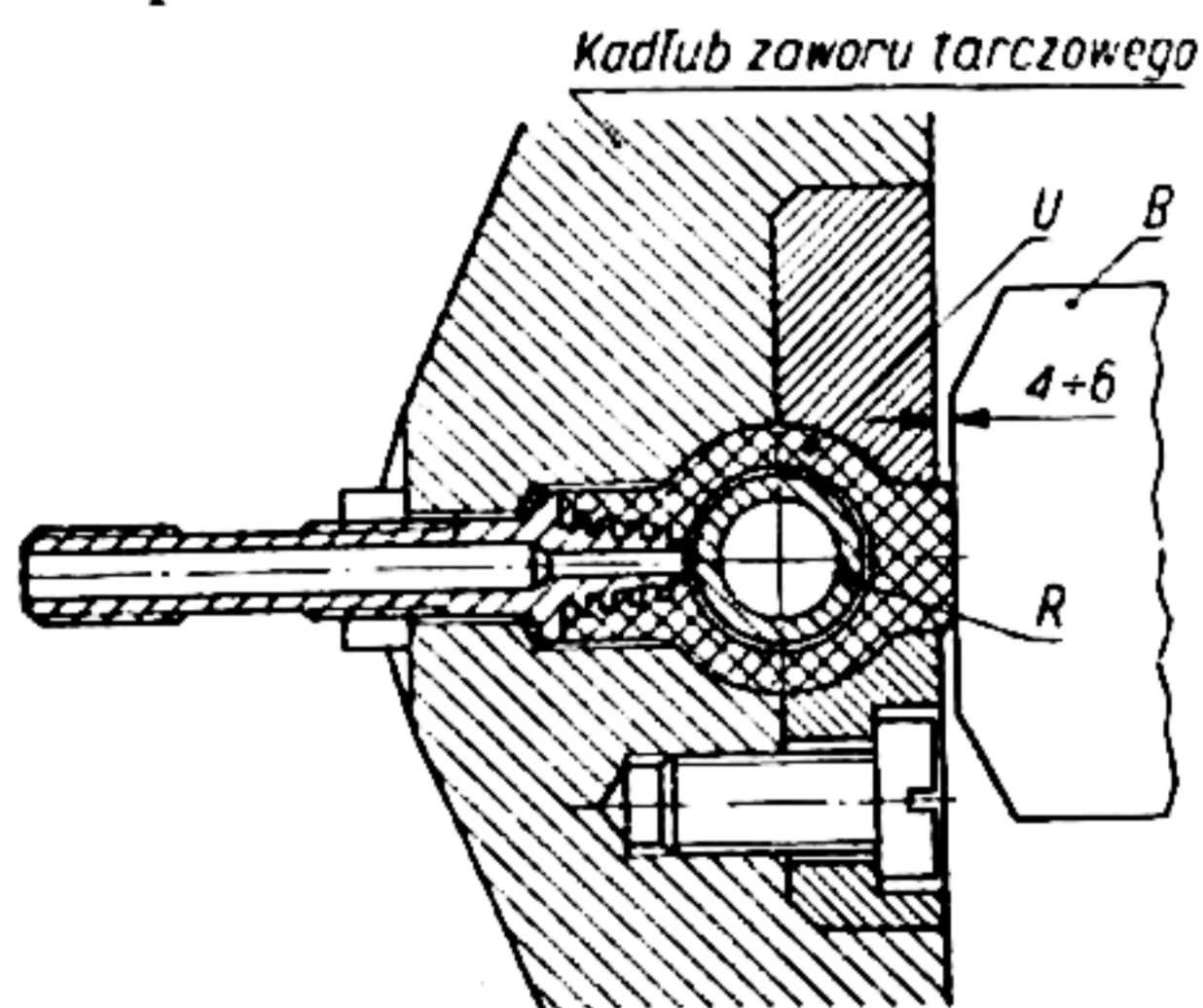
nie 169 m, ścianki krócców upustów jałowych zostały w niektórych miejscach przeżarte aż do betonu. Upusty te naprawiono przez wyłożenie żeliwnych ścianek krócca arkuszami blachy stalowej B (rys. 186). Blachę przyspawano do stalowych płaskowników P, które uprzednio zostały przykręcone do ocalałych żeliwnych ścianek krócca.

Zużyte pierścienie uszczelniające U_1 oraz U_2 , sporządzone zazwyczaj ze stali nierdzewnej, należy zastąpić przez pierścienie zapasowe lub w razie braku tych ostatnich — naprawić pierścienie stare, o ile głębokość wyżarcia nie jest większa niż 1 do 2 mm. Naprawę można wykonać w sposób niżej podany.

Pierścienie przetacza się aż do całkowitego usunięcia wyżarów kavitacyjnych, po czym przetacza się również powierzchnię osadczą górnego pierścienia U_1 , tak aby pierścień ten można było osadzić niżej o odległość potrzebną do zetknięcia się jego z pierścieniem U_2 przy zamkniętym zaworze. Po między pierścieniem U_1 i kadłubem K należy podczas montażu założyć uszczelkę metalową S o grubości równej grubości, o którą stoczono powierzchnię osadczą pierścienia U_1 .

2. Zawory tarczowe

Współczesne zawory tarczowe (motylkowe) i rurowe posiadają uszczelnienia w postaci węża gumowego U o specjalnym profilu (rys. 187). Po zamknięciu zaworu wąż nadymamy za pomocą powietrza sprężonego, wprowadzonego do jego wnętrza, wskutek czego przystaje on do zamykadła (tarczy zaworu). Podczas montażu umieszcza się w wężu odcinki rurek stalowych lub spiralne sprężyny R które podczas ruchu turbiny zapobiegają wtłoczeniu go przez wodę do jego gniazda.



Rys. 187. Uszczelnienie tarczy zaworu tarczowego względem jego kadłuba

3. Zawory rurowe

Naprawa pierścieni względnie powierzchni zamykających zaworów rurowych połączona jest z licznymi trudnościami. W niektórych siłowniach naprawa tych elementów przeprowadzana jest w ten sposób, że przetacza się powierzchnie zamykające kadłuba zaworu oraz grzybka rurowego.

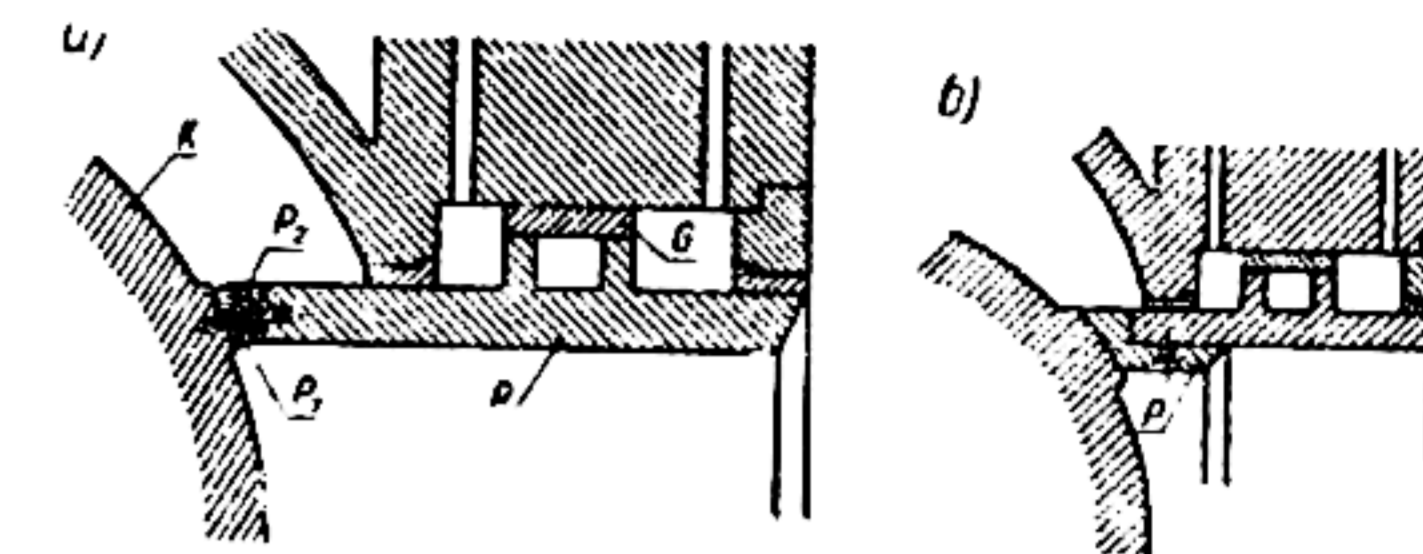
Przytoczymy kilka przykładów napraw wziętych z praktyki.

W zaworach rurowych o średnicy 1300 mm zniszczeniu uległa żeliwna powierzchnia zamykająca kulistego gniazda K oraz przyległa do niej, również żeliwna, powierzchnia uszczelniająca grzybka rurowego R , uruchamianego hydraulicznie (rys. 188a). Naprawa polegała na przetoczeniu tych powierzchni, przy czym operację tę przeprowadzono bezpośrednio w elektrowni. W tym celu zbudowano urządzenie składające się ze stalowej spawanej ramy, zaopatrzonej w dwa łożyska, w których umieszczono kuliste gniazdo zaworu i wprowadzono je w ruch obrotowy za pomocą silnika elektrycznego, poprzez odpowiednią przekładnię. Do obróbki użyto zwykłego suportu tokarki. Za pomocą opisanego urządzenia gniazdo K oraz grzybek rurowy R przetoczono aż do uzyskania czystych powierzchni zamykających.

Następnie do gniazda i grzybka przymocowano za pomocą wkrętów stalowe pierścienie uszczelniające P_1 oraz P_2 . Pierścienie te, wykonane z odpowiednimi nadatkami ich grubości, przetoczono za pomocą tego samego urządzenia.

W innym przypadku w podobnych zaworach zniszczeniu uległy tylko powierzchnie zamykające grzybków rurowych. W związku z żądanym krótkim terminem naprawy oraz z powodu skomplikowanego demontażu tego typu zaworów, postanowiono grzybki naprawić na miejscu bez demontowania zaworów. W tym celu dla każdego zaworu wykonano stalowy pierścień P (rys. 188b), składający się z poszczególnych członów. Po obcięciu zużytego końca grzybka rurowego przymocowano do tego grzybka za pomocą śrub człony pierścienia, a następnie zesparowano je ze sobą przy użyciu łuku elektrycznego. Prace te wykonano bezpośrednio w rurociągu.

W pewnej elektrowni w 1945 r. naprawiono za pomocą spawania łukowego króciec tłoczny o średnicy 1300 mm, znajdujący się pomiędzy spiralą i zaworem rurowym. Ścianka tego króćca o grubości 50 mm oraz jego kołnierz o grubości 80 mm posiadały pęknięcia promieniowe, przechodzące przez niego na wskroś. Po zwykłym przygotowaniu spoin spawano je za pomocą elektrod miedzianych, otulonych warstwą białej blachy i powleczonej zwykłą kredą. Oprócz tego dla otrzymania odpowiedniej wytrzymałości kadłub króćca ujęto w obręcz umocowaną za pomocą korków używanych do zaślepiania rur. W celu zbadania szczelności spoin oraz wytrzymałości ścianek poddano króciec próbie wodnej przy ciśnieniu 17 kG/cm², podczas gdy ciśnienie robocze wynosiło 12 kG/cm². Próba ta wykazała, że spawanie było wykonane bez zarzutu. Pięcioletnia eksploatacja turbiny zaopatrzonej w opisany króciec potwierdziła wysoką jakość tego rodzaju naprawy.



Rys. 188. Naprawa grzybka oraz gniazda zaworów rurowych

Pompy odwadniające samozasysające

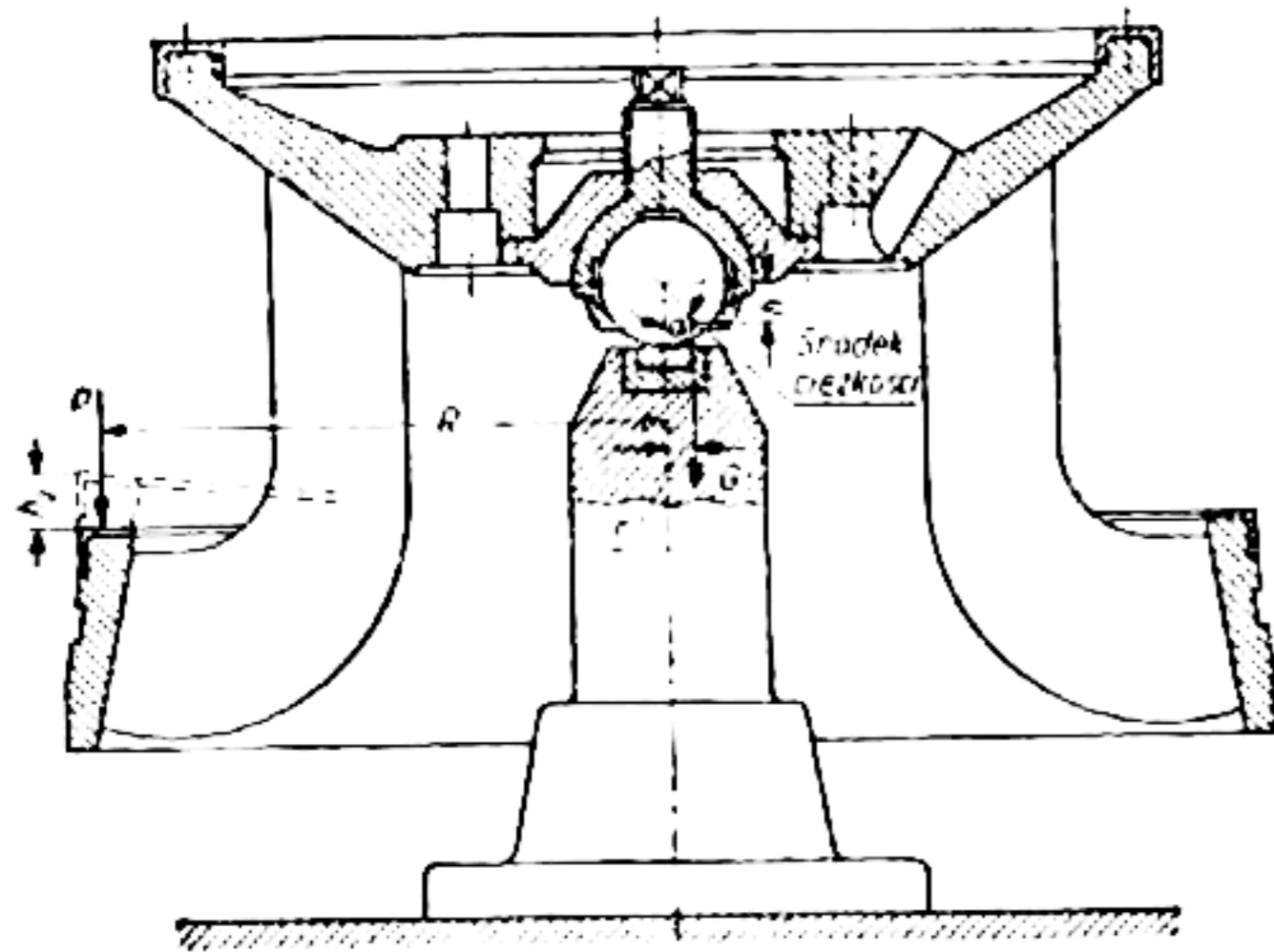
Zużycie wirnika powietrznej części pompy oraz jego tarcz pociąga za sobą powiększenie się grubości czołowych szczelin oraz obniżenie lub całkowitą utratę zdolności samozasysania. Pierwotną grubość tych szczelin można uzyskać przesuwając odpowiednio tarcze przez zmianę grubości znajdujących się pod nimi podkładek; wirnik oraz tarcze doskrobuje się przy tym starannie do siebie. Jeżeli zużycie jest duże, to tarcze wymienia się na nowe. Zużycie pierścieni uszczelniających pompy powoduje obniżenie jej sprawności. Pierścienie zużyte wymienia się na nowe. Ze względu na właściwości konstrukcyjne pompy samozasysającej, przy montowaniu i łączeniu jej z rurą ssawną należy zwrócić szczególną uwagę na stan stykających się powierz-

chmi czołowych i umieszczonych pomiędzy nimi uszczelek, ponieważ najmniejsza nieszczelność złącz powoduje zasysanie powietrza oraz przerwę w pracy pompy.

§ 67. Statyczne wyważenie wirników

Wirniki turbin wodnych mają skomplikowany kształt oraz są bardzo duże i ciężkie, co przy obróbce utrudnia zachowanie ścisłych rysunkowych wymiarów. Częstokroć materiał odlewów jest niejednorodny, a masa poszczególnych części jest nierównomiernie rozdzielona względem osi obrotu, wskutek czego podczas pracy turbiny mogą powstać niedopuszczalne drgania.

Wpływ opisanych niedokładności powstałych przy produkcji usuwa się z reguły w wytwórni przez wyważenie statyczne. Jednak w szeregu przypadków podczas montażu a zwłaszcza podczas głównej naprawy powstaje konieczność przeprowadzenia tego wyważenia bezpośrednio w elektrowni wodnej. Tak na przykład wielkie wirniki turbin Francisa, sporządzane z poszczególnych części, montuje się i wyrównoważa statycznie na miejscu ich zainstalowania. Wirniki naprawiane za pomocą łuku elektrycznego przy dużym niesymetrycznym rozmieszczeniu natopionego metalu również wy-



Rys. 189. Urządzenie do wyważania wirników turbin pionowych

ważane są statycznie w elektrowni. Jeżeli w wirniku turbiny Kaplana zakłada się nową łopatkę różniącą się w sposób istotny swym ciężarem oraz rozmieszczeniem masy od łopatki wymienianej, to również wirnik musimy wyważyć w elektrowni.

Wyważenie wirnika przeprowadza się zazwyczaj w jego położeniu roboczym. Wirniki turbin Francisa oraz Kaplana wyważa się przy użyciu metody polegającej na swobodnym odparciu wirnika za pośrednictwem kuli, umocowanej w przyrządzie do

wyważania w sposób pokazany na rys. 189. Jednym z głównych warunków dokładnego wyważenia jest prawidłowe usytuowanie środka ciężkości wirnika względem punktu jego podparcia (środku kuli).

Wyznaczenie położenia środka ciężkości metodą rachunkową jest bardzo skomplikowane. Praktycznie położenie to znajdujemy określając odległość jego h od środka kuli, przy czym postępujemy w następujący sposób.

Wirnik podpieramy za pośrednictwem kuli tak, aby jego środek ciężkości znajdował się poniżej punktu podparcia (środku kuli), a następnie na obwodzie wirnika umieszczamy ciężar P . Pod wpływem tego ciężaru wirnik przechyla się o kąt α i przyjmuje nowe położenie równowagi znajdując się

pod działaniem dwóch sił: G — ciężaru własnego i ciężaru przymocowanego do niego urządzenia do wyważania oraz ciężaru P . Warunek równowagi określa wzór

$$-PR + Gr + G\mu = 0 \quad [25]$$

gdzie:

R — ramię, na którym działa ciężar P , cm,

μ — współczynnik tarcia tocznego; wartość tego współczynnika wynosi 0,001 do 0,002 cm,

r — ramię, na którym działa ciężar G (mimośrodowość siły G), cm.

Ponieważ

$$r = h \operatorname{tg} \alpha$$

więc podstawiając tę wartość do poprzedniego wzoru i przekształcając go otrzymujemy

$$h = \frac{PR - G\mu}{G \operatorname{tg} \alpha}$$

Z rysunku wynika jednak, że

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{R}$$

gdzie H — wielkość wychylenia wirnika pod działaniem umieszczonego na nim ciężaru P . Stąd

$$h = \frac{(PR - G) R}{GH} \quad [26]$$

1. Dokładność wyważenia

Na dokładność wyważenia wpływają następujące czynniki:

a) **Czułość urządzenia służącego do wyważania.** Z wyrażenia [26] wynika, że im mniejsza jest odległość środka ciężkości układu składającego się z wirnika wraz z urządzeniem od punktu podparcia, tym mniejsza jest siła P wyprowadzająca ten układ z położenia równowagi, a więc tym wyższa jest czułość urządzenia. Jednak wiadomo, że przy $h = 0$ zachodzi stan równowagi obojętnej, zaś przy ujemnej wartości h — mamy równowagę chwiejną. Z tego powodu wartość h musi być dodatnia. Ze względów bezpieczeństwa przy wyważaniu odległość h powinna być przyjęta biorąc pod uwagę możliwe niedokładności obróbki powierzchni kuli, kamienia oraz niewłaściwy wybór wartości współczynnika tarcia tocznego. W tablicy 59 podano odległości h praktycznie wystarczające do otrzymania wysokiej dokładności w zależności od ciężaru wyważanego układu.

Czułość wyważanego układu charakteryzuje się wielkością najmniejszego ciężaru P_{min} , który po umieszczeniu na wyważanej części, tj. w tym przypadku na wirniku, na ramieniu R wyprowadza układ z położenia równowagi. Przekształcając wyrażenie [26] otrzymujemy

$$P_{min} = \frac{G(hH + R\mu)}{R^2} \quad [27]$$

Przy wyznaczaniu czułości zaleca się stosować taki ciężar P_{min} , który odchyła układ o wielkość $H = 0,5$ do 1 mm z jego pierwotnego położenia równowagi, tj. o najmniejszą wielkość nadającą się do praktycznego pomiaru.

Tablica 59
Zależność odległości h od ciężaru układu wyrównowanego G

Ciężar układu wyrównowanego G kG	Odległość h mm	
	Największa	Najmniejsza
do 5000	40	20
„ 10000	50	30
„ 50000	60	40
„ 100000	80	50
„ 200000	100	70

Na przykład w przypadku wirnika o średnicy 2000 mm i o ciężarze (łącznie z urządzeniem) wynoszącym $G = 20000$ kG przy $H = 0,1$ cm, $h = 6$ cm (patrz tablica 59) oraz dla $\mu = 0,002$ cm, należy na promieniu $R = 150$ cm przyłożyć ciężar $P_{min} = 0,8$ kG.

b) Średnica kuli. Obrona średnica kuli zależy od ciężaru wyważanego układu. Najmniejszą średnicę kuli d wyznaczamy ze wzoru

$$d = \sqrt{\frac{G}{50}} \text{ cm}$$

gdzie G , jak poprzednio, oznacza ciężar układu w kG.

c) Dokładność wycentrowania urządzenia do wyważania względem wirnika. Nieznaczące przesunięcie osi urządzenia względem osi obrotu wirnika wywołuje znaczny błąd w wyważaniu, co najlepiej unaocznia następujący przykład. Z równania [25] wynika mianowicie, że wielkość niezrównoważonego ciężaru P wynosi

$$P = \frac{(\tau + \mu) G}{R}$$

Jeżeli założymy, że mimośrodowość $\tau = 1$ mm, to dla wirnika o średnicy 3 m i ciężarze 20000 kG przy $\mu = 0,002$ cm otrzymamy $P = 13,6$ kG. Przy takim niezrównoważonym ciężarze i przy prędkości obrotowej wirnika wynoszącej 150 obr/min, powstaje zaburzająca siła odśrodkowa

$$C = \frac{P}{g} R \omega^2 = \frac{13,6}{981} \cdot 150 \frac{(3,14 \cdot 150)^2}{30^2} = 510 \text{ kG},$$

która może wywołać niedopuszczalne drgania.

d) Prawidłowe umieszczenie wirnika turbiny Kaplana na urządzeniu do wyważania. Ponieważ w wirniku turbiny Kaplana oś obrotu łopatek nie

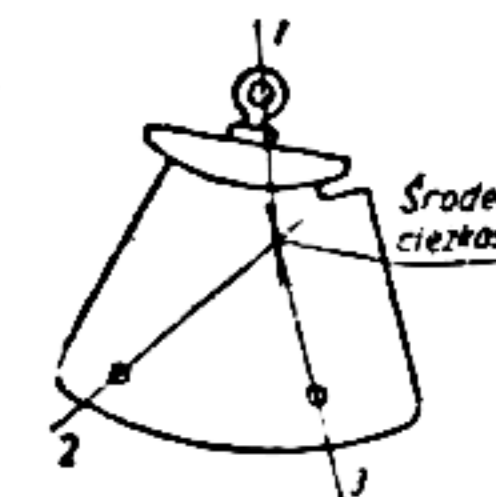
przechodzi przez ich środek ciężkości, więc przy obracaniu łopatek ulega zmianie wysokość położenia środka ciężkości układu. Tak na przykład w przypadku wirnika o ciężarze 200 T przy obróceniu jego łopatek o 37° środek ciężkości wirnika przesuwa się w kierunku pionowym o około 30 mm. W związku z tym wirniki turbin Kaplana powinny być wyważane wówczas, gdy łopatki ich znajdują się w położeniu średnim, jako najbardziej zbliżonym do ich położenia roboczego.

Jeżeli wymiary osadzeń na to pozwalają, to przy montowaniu łopatek wirnika turbiny Kaplana należy łopatki tak dobierać parami, aby wyważały się one wzajemnie, tj. aby bezwzględne wartości statycznych momentów każdej pary łopatek znajdujących się naprzeciwko siebie były do siebie zbliżone, tj. aby

$$Q_1 r_1 \cong Q_2 r_2$$

Tutaj Q_1 oraz Q_2 oznaczają ciężary łopatek, zaś r_1 oraz r_2 — odległości środków ciężkości łopatek od osi wirnika.

Położenie środka ciężkości każdej poszczególnej łopatki znajduje się w ten sposób, że łopatkę zawieszają się dwa razy, w dwóch różnych położeniach; punkt przecięcia dwóch linii pionowych przy swobodnym zawieszeniu łopatki wyznacza położenie środka ciężkości. Trzecie zawieszenie jest sprawdzeniem tego położenia (rys. 190).



Rys. 190. Wyznaczanie środka ciężkości łopatki

2. Konstrukcja urządzenia do wyważania statycznego

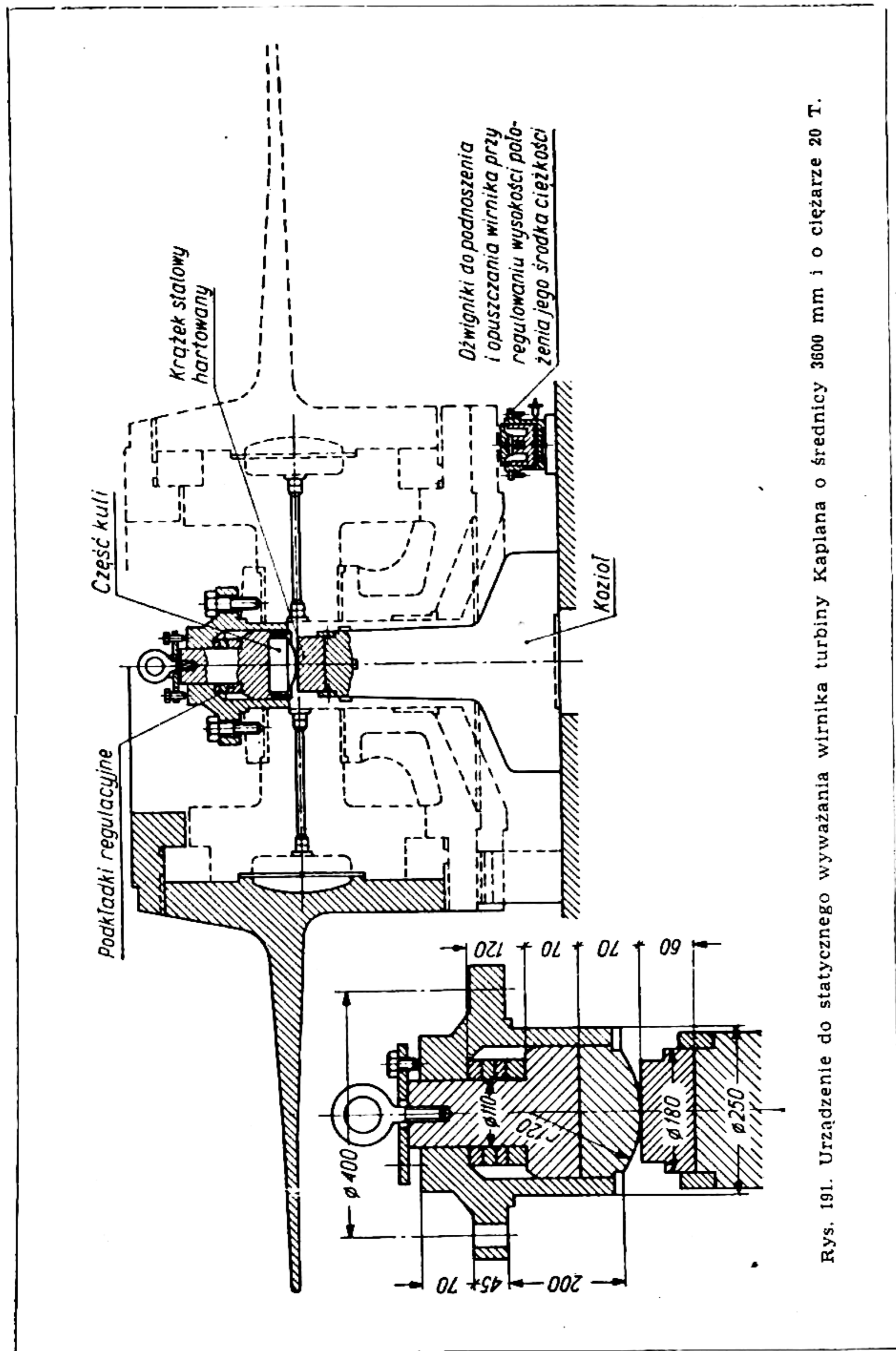
Urządzenie to składa się z kozła, w którym u góry osadzony jest stalowy hartowany krążek, tzw. kamień, o oszlifowanej górnej powierzchni, oraz z uchwyty, który przymocowuje się do wyważanego wirnika. W uchwycie umocowana jest stalowa hartowana kula. W celu umożliwienia prawidłowego ustawienia wysokości środka ciężkości układu, urządzenie zaopatrzone jest w gwint regulacyjny lub w podkładki regulacyjne (rys. 191).

W przypadku większych wyważanych mas, gdy średnica kuli jest większa od 150 do 200 mm, kulę tę można zastąpić częścią powierzchni kulistej.

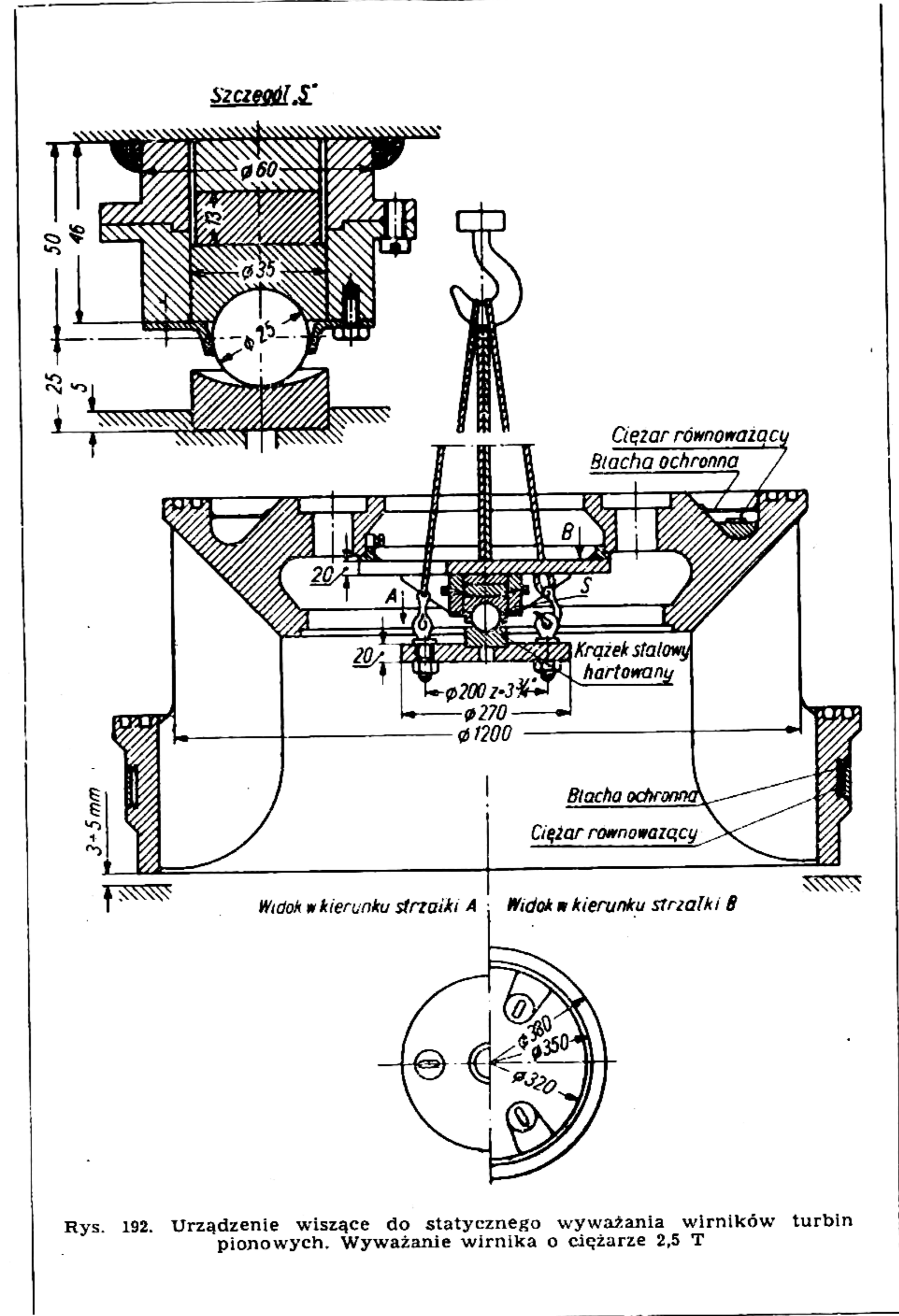
O ile mamy do czynienia z niewielkimi wirnikami, o ciężarze nie większym od 2,5 T, można stosować uproszczone urządzenie (rys. 192), które łatwo jest wykonać na miejscu. W związku z tym, że w tej konstrukcji kamień może być pochylony, powierzchnia jego powinna być kulista. Promień tej powierzchni r_p najlepiej jest przyjąć równy $1,5 d$, gdzie d — średnica kuli. Dzięki zastosowaniu kamienia o powierzchni kulistej operacja wyważania jest znacznie łatwiejsza, ale dokładność nieco się przy tym zmniejsza.

3. Umocowanie ciężaru równoważającego

Ciężar równoważający powinien być umocowany w sposób niezawodny, a dla uniknięcia sił hydrodynamicznych zaburzających wyważenie wirnika



Rys. 191. Urządzenie do statycznego wyważania wirnika turbiny Kaplana o średnicy 3600 mm i o ciężarze 20 T.



Rys. 192. Urządzenie wiszące do statycznego wyważania wirników turbin pionowych. Wyważanie wirnika o ciężarze 2,5 T

nie powinien wystawać po za jego obrys. Pożądane jest, aby ciężar był przymocowany możliwie w największej odległości od osi obrotu wirnika.

Zazwyczaj w wirnikach przewidziane jest specjalne miejsce przeznaczone do umocowania ciężaru. Tak na przykład wirniki turbin Francisa zaopatrzone są w specjalne wytoczenia, które po założeniu i przymocowaniu ciężaru przykrywa się blachą (rys. 192).

W wirnikach turbin Kaplana przewidziane są specjalne kieszenie, które po założeniu ciężaru również przykrywa się blachą.

W tych przypadkach, w których konstrukcja wirnika nie przewiduje specjalnego miejsca dla umocowania ciężaru, w wieńcach wirników wywierca się otwory, które następnie zalewa się ołowiem i zatyka korkami. O ile wirnik turbiny Francisa posiada górną osłonę piasty, to ciężar równoważący przymocowuje się pod tą osłoną.

4. Technika wyważania statycznego

1) Kozioł urządzenia do wyważania ustawia się na sztywnej płycie wsporczej. Następnie do starannie oczyszczonego wytoczenia znajdującego się w kozle wstawia się hartowany, płaski krążek, który powinien dokładnie przylegać do powierzchni tego wytoczenia. Oszlifowana powierzchnia krążka, stykająca się z kulą, powinna być ustawiona poziomo według poziomnicy, co uzyskuje się za pomocą podkładek, które umieszcza się pod podstawą kozła.

2) Uchwyt urządzenia centruje się dokładnie względem osi obrotu wirnika i przymocowuje do niego. Środek kuli powinien znajdować się powyżej przypuszczalnego środka ciężkości wirnika. Wirnik z przymocowanym do niego uchwytem opuszcza się za pomocą suwnicy z możliwie najmniejszą prędkością 3 do 4 mm/sek aż do zetknięcia się kuli ze środkiem krążka. Następnie przez powolne luzowanie liny stwierdza się stopień stateczności wirnika wspartego na krążku. Jeżeli układ jest niestateczny, to kulę za pomocą śruby lub podkładek regulacyjnych należy podnieść. Operację tę należy wykonać zachowując odpowiednie ostrożności, aby uniknąć wywrócenia się całego układu. Do opuszczania oraz podnoszenia podpartego układu pewniej jest używać dźwigników, tak jak to pokazano na rys. 191.

3) Wyznacza się środek ciężkości układu. W tym celu na obwodzie wieńca (tarczy) wirnika turbiny Francisa lub na zewnętrznej krawędzi łopatki turbiny Kaplana umieszcza się ciężar o wielkości dostatecznej do przesunięcia punktu przyłożenia tego ciężaru o odległość $H = 1$ do 2 mm, a następnie według wzoru [26] oblicza się odległość h . Jeżeli ostatnia odległość jest większa od wartości podanej w tablicy 59, to za pomocą śruby regulacyjnej lub podkładek tak ustawia się kulę, aby h osiągnęło wymaganą wartość. Następnie ciężar usuwa się.

4) Sprawdza się czułość urządzenia przez umieszczenie ciężaru P_{min} . Wielkość tego ciężaru wyznacza się z równania [27]. Wirnik (podparty) powinien przy tym odchylić się ze swojego pierwotnego położenia równowagi o wielkość $H = 0,5 \div 1$ mm.

5) Wyważa się wirnik umieszczając odpowiedni ciężar, aż do uzyskania ściśle pionowego położenia wirnika. Prawdliwość wyważenia należy sprawdzić przez obracanie wirnika o 90° , 180° , 270° i 360° na krążku, na którym jest on oparty; oś wirnika powinna przy tym zachować swoje pionowe położenie. Sprawdza się to za pomocą precyzyjnej poziomnicy, którą należy ustawić na poziomej obrobionej powierzchni wirnika, przy czym w celu kontroli poziomicy tę przedstawia się kolejno w kilka miejsc, znajdujących się w jednakowej odległości od jego środka. W czasie sprawdzania za pomocą poziomnicy, wirnik (wraz z uchwytem) powinien być podklinowany. Pionowe położenie osi wirnika można sprawdzić również za pomocą znacznika lub średnicówki, drogą pomiaru odległości obrobionej powierzchni wirnika od poziomej podstawy kozła.

6) Przymocowanie ciężaru. Jak wspomnieliśmy uprzednio, ciężar równoważący powinien być przymocowany do wirnika w niezawodny sposób i zabezpieczony od działania przepływającej wody. W celu zmniejszenia objętości tego ciężaru oraz nadania mu potrzebnego kształtu stosuje się niekiedy ołów.

Technika statycznego wyważania za pomocą urządzenia pokazanego na rys. 192 nie różni się zasadniczo od opisanej. Jest ona tylko nieco prostsza w związku z tym, że nie ma potrzeby stosowania kozła, gdyż wirnik za pośrednictwem tarczy i umieszczonego na nim krążka (kamienia) zawieszają się na haku wciągnika lub suwnicy (o ile możliwości w położeniu poziomym).

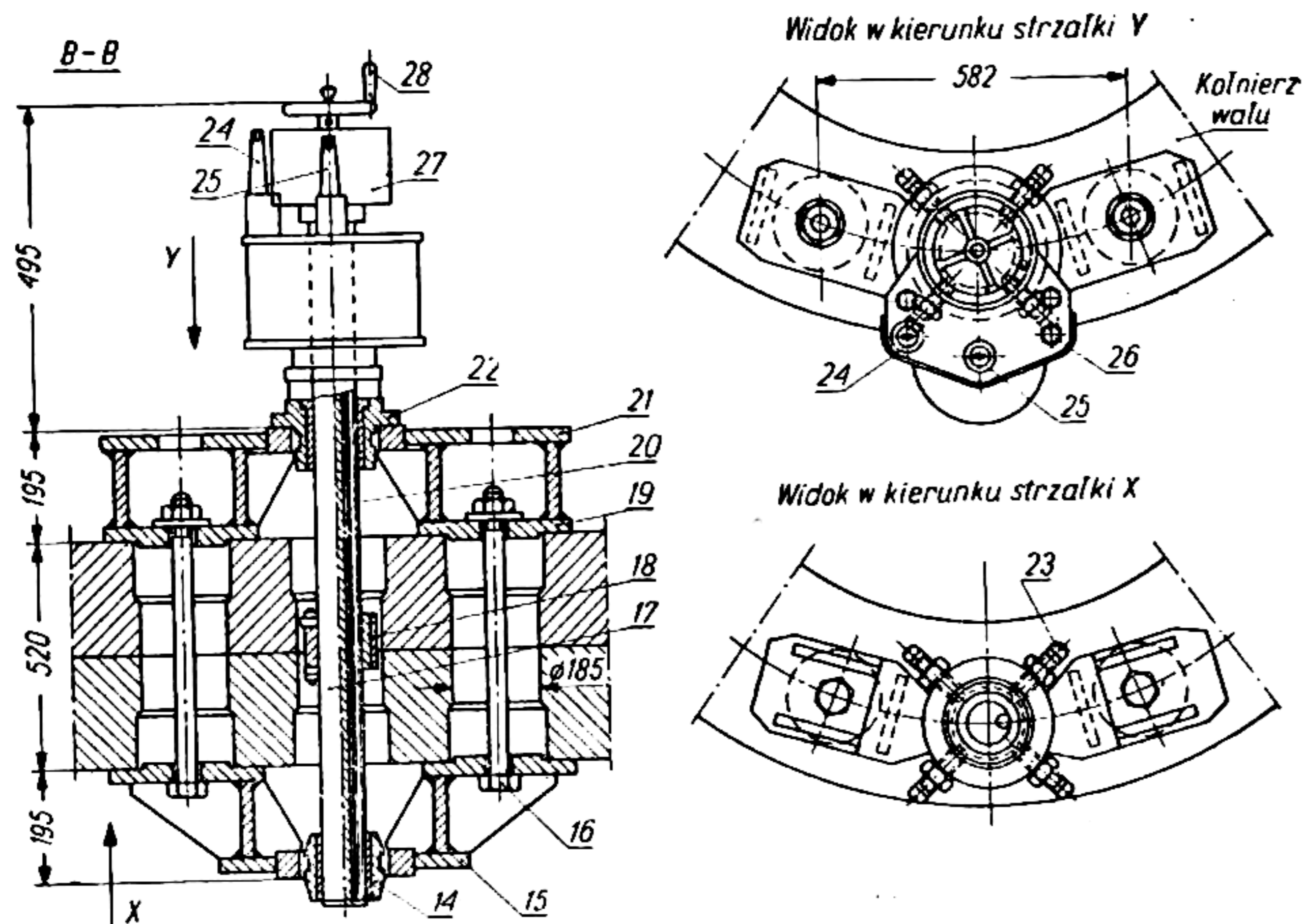
W elektrowni wodnej nie przeprowadza się zazwyczaj sprawdzającego wyrównoważania innych części turbin (opływek wirników, wirujących zbiorników olejowych itd.), gdyż z powodu ich małych mas wpływ tych części na drganie turbozespołu jest niewielki. Jednak jeżeli występują drgania niedopuszczalnie duże, w związku z którymi dodatkowo wyważa się wirnik, to o stopniu niewyrównoważenia pozostałych części wirujących możemy się przekonać przez ich pomiar kontrolny. Niewielkie niewyrównoważenie, spowodowane różną grubością ścian części, może być zlikwidowane przez usunięcie zbytecznego materiału.

Jeżeli kształt danej części znacznie odbiega od kształtu symetrycznego, przy czym jej średnice oraz ciężar są duże, to taką część najlepiej wyważyć stosując metody wyważania wirników pionowych lub poziomych, w zależności od możliwości technicznych, którymi rozporządza elektrownia.

Wyważanie elementów poziomych układów wirujących nie różni się w zasadzie od wyrównoważania statycznego wirników turbin parowych. Metody wyrównoważania tych wirników podane są w instrukcjach wskazówkach Ministerstwa Elektrowni ZSRR.

§ 68. SPRZĘGANIE WAŁU TURBINY Z WIRNIKIEM TURBINY FRANCISA

Operację sprzęgania wału turbiny z wirnikiem wykonuje się w elektrowni wówczas, gdy naprawa turbiny połączona jest z wymianą wirnika. Poza tym przeprowadzenie tej operacji jest konieczne przy montowaniu turbiny Francisa, zaopatrzonej w wirnik dzielony. Wirnik taki przedstawiono na rys. 193 b.

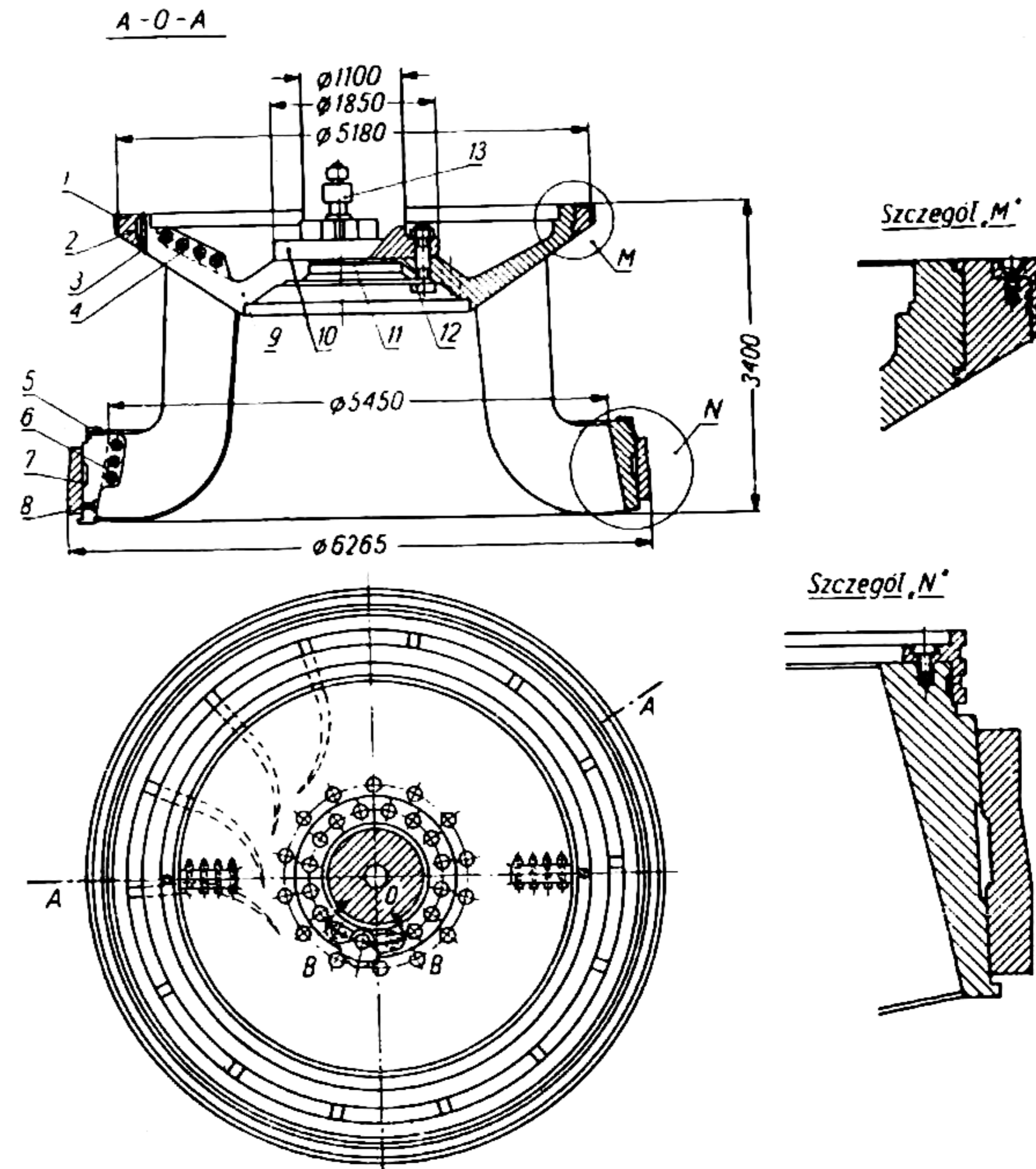


Rys. 193a. Przenośna wytaczarka do jednoczesnego wytaczania otworów w wirniku turbiny oraz w jej wale przy sprzęganiu tychże na miejscu montażu

W § 21 wskazano, że wirników dzielonych nie montuje się całkowicie w wytwórni i że obręcze skurczne nasadzane są na wirnik podczas montażu, na miejscu zainstalowania. W związku z tym jednoczesne wytaczanie otworów na śruby pasowane przeprowadza się również na montażu zamiast w wytwórni, gdyż przy nasadzaniu na wirnik obręczy skurczonych może on ulec odkształceniu oraz może być przy tym naruszona współosiowość otworów. Z tego względu omawiana operacja przeprowadzana jest na miejscu zainstalowania, po całkowitym zmontowaniu wirnika. Posługujemy się przy tym specjalną przenośną wytaczką o napędzie pneumatycznym.

W celu sprzęgnięcia wału turbiny z wirnikiem 9 ustawia się wirnik na placu montażowym na kozłach (rys. 193a i 193b), których wysokość powinna

być taka, aby można było pracować pod wirnikiem. Następnie na wirniku ustawia się wał 10, centruje go i łączy z wirnikiem za pomocą czterech do sześciu prowizorycznych śrub. Przed połączeniem należy sprawdzić zgod-



Rys. 193b. Szkic wyjaśniający sposób jednoczesnego wytaczania otworów przy sprzęganiu wirnika turbiny z jej wałem na miejscu montażu

ność wymiarów centrującego występu 11 z odpowiadającym mu wytoczeniem, znajdującym się w wirniku. Pomiedzy występem i wytoczeniem daje się zazwyczaj luz (szczelinę) 0,02 do 0,06 mm.

Jeżeli średnica występu jest mniejsza od wymaganej, to przed połączeniem należy się przekonać, czy osie wału i wirnika pokrywają się. W tym celu mierzymy grubość szczeliny pomiędzy omawianym występem i wytoczeniem, przy czym grubość ta powinna być na całym obwodzie jednakowa.

Współosiowość możemy również sprawdzić za pomocą urządzenia pokazanego na rys. 164.

Jeżeli średnica występu jest większa od wymaganej, to występ ten należy przetoczyć na tokarce. Jednak przy początkowym sprzęganiu wału z wirnikiem dzielonym może się okazać, że po nasadzeniu obręczy skurczonych 2 oraz 7 wirnik odkształcił się i centrujące wytoczenie utraciło swój kształt cylindryczny. Odkształcenie może dojść do kilku dziesiątych części milimetra. W takich przypadkach wytoczenie w wirniku należy obrobić pilnikiem lub wyskrobać według wymiaru występu, aż do otrzymania odpowiedniego pasowania, przy czym obrabia się równomiernie przeciwległe ścianki wytoczenia, aby nie naruszyć współosiowości wału i wirnika.

Otwory na śruby pasowane wytacza się za pomocą przenośnej wytaczarki 13. Wytaczarkę tę przymocowuje się w ten sposób, że na kołnierzu wału umieszcza się górną poprzeczkę 21, którą za pomocą występów 19 centruje się uprzednio w dwóch otworach, znajdujących się po obu stronach rozwiercanego otworu. Od dołu do wirnika przykładą się dolną poprzeczkę 15 i łączy ją z poprzeczką górną 21 za pomocą śrub 16. Następnie przenośną wytaczarkę, zaopatrzoną we wrzeciono wiertnicze 17, zakłada się do górnej poprzeczki w ten sposób, że jej kołnierz 22 swobodnie się na niej opiera. Za pomocą górnych śrub regulacyjnych 26, rozmieszczonych promieniowo, centruje się wytaczarkę według wytaczanego otworu, po czym dolny koniec wrzeciona wiertniczego razem z łożyskiem poprzecznym 14 ustala się za pomocą dolnych śrub regulacyjnych 23. Do wytaczania używa się noża umocowanego w suporcie 18, który przesuwa się automatycznie za pomocą śruby pociągowej 20.

Wytaczarka napędzana jest za pomocą pneumatycznej nawrotnej wiertarki CMP-20, której wrzeciono przy biegu jałowym wykonuje 330 obr/min, zaś przy pełnym obciążeniu 185 obr/min. Wytaczarka posiada dwie prędkości obrotowe: największą 25 obr/min, o ile wiertarka sprzęgnięta jest z końcem wału 25, oraz najmniejszą, wynoszącą 6 obr/min, w przypadku sprzęgnięcia z końcem wału 24. Wały zakończone są stożkami Morse'a N 4. Posuw (podłużny) noża ustawia się za pomocą kółka ręcznego i rękojeści 28, przy czym skrajne górne położenie kółka odpowiada posuwowi 0,83 mm na jeden obrót wrzeciona wytaczarki, zaś skrajne dolne — posuwowi 0,22 mm. Przy średnim położeniu kółka (na wysokość) posuw jest wyłączony.

W czasie pracy skrzynka posuwów 27 powinna być umocowana w celu uniknięcia jej obracaniu się razem z wrzecionem wytaczarki. Przy wytaczaniu zaleca się, aby ostatni wiór zdejmować nożem o możliwie najdłuższej krawędzi tnącej i przy największym posuwie. Naddatek na wytaczanie znajdujemy zakładając, że przy jednym przejściu noża zdejmuje się warstwę materiału o grubości 0,05 do 0,08 mm. Śruby pasowane 12 dostarczane są z naddatkiem na średnicy. Śruby te przetacza się i szlifuje na miejscu według zaprotokołowanych rzeczywistych średnic wytoczonych otworów, przy czym luz wynosi zazwyczaj 0,01 do 0,03 mm.

Przy zakładaniu oraz umocowywaniu śrub pasowanych stosuje się metody opisane w § 21.

Rozdział XV

REGULOWANIE ORAZ PRÓBY TURBIN WODNYCH PO REMONCIE

§ 69. EWENTUALNE NIEDOKŁADNOŚCI ORAZ ICH USUWANIE

Podczas pierwszego uruchamiania turbiny po jej zmontowaniu lub po głównym remoncie, a zwłaszcza po naprawie, w czasie której turbozespół został zdemontowany, zaś mechanizmy całkowicie rozebrane — może okazać się, że wyregulowanie turbiny jest niedokładne.

1. Drgania spowodowane ustawieniem łopatek wirnika pod kątem rozruchowym

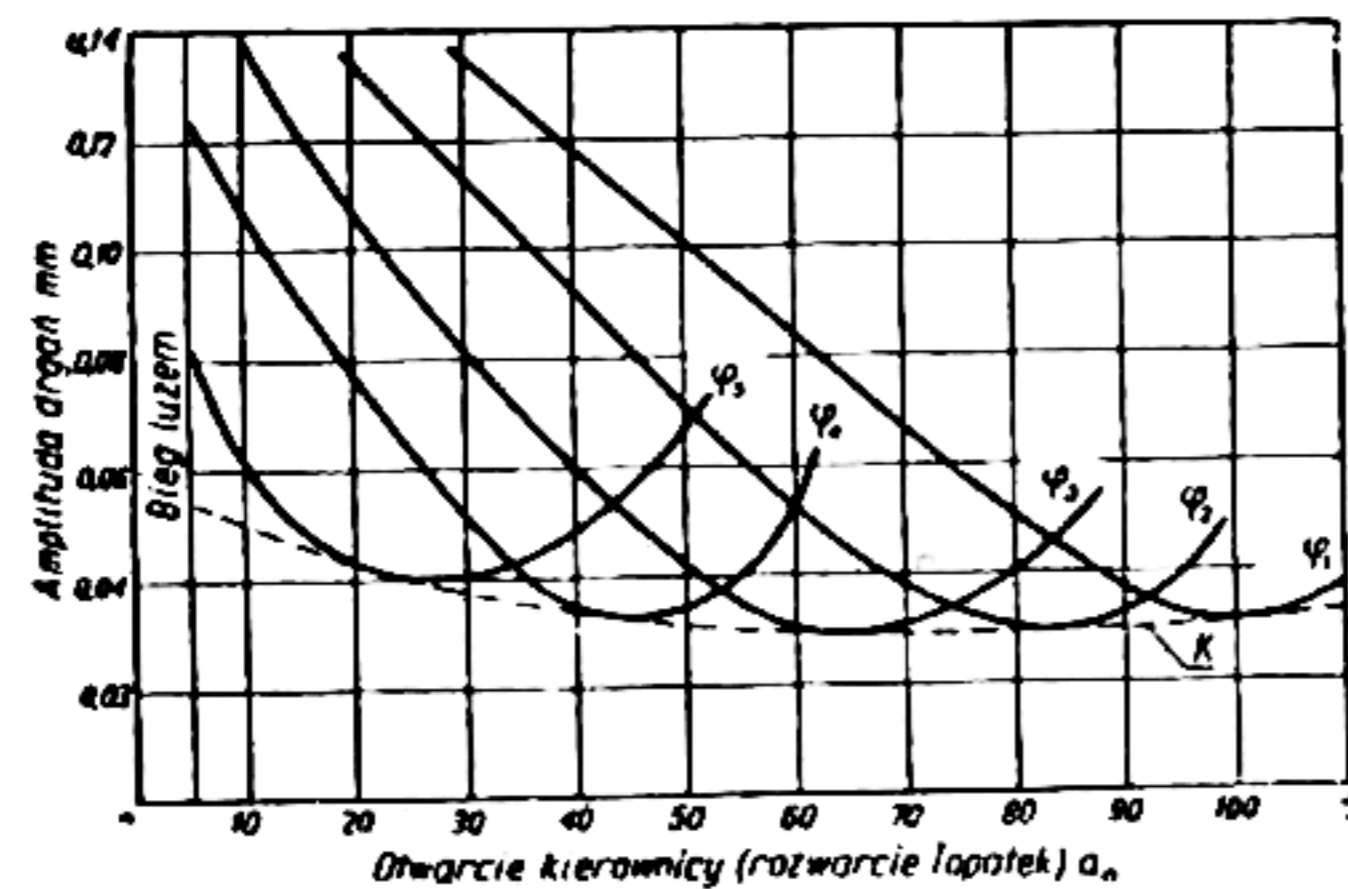
Przy uruchamianiu turbin Kaplana łopatki wirnika nachylone są pod kątem rozruchowym, zbliżonym do kąta odpowiadającego pełnemu ich otwarciu. W szeregu przypadków przy uruchamianiu występują podczas pokręcania łopatek wzmożone drgania turbozespołu, ale ponieważ są one krótkotrwałe i z reguły zanikają po sprzęgnięciu łopatek z kierownicą, uważa się, że zjawisko to jest normalne. Niekiedy jednak wielkość tych drgań staje się niedopuszczalną i niebezpieczną. W takich przypadkach zmniejszamy kąt rozruchowy, aby skrócić czas pokręcania łopatek i zapobiec występowaniu nadmiernych sił zaburzających. Należy wszakże wziąć pod uwagę, że w miarę zmniejszania kąta rozruchowego powiększa się siła osiowa w chwili ruszania turbozespołu z miejsca. Z tego powodu można uważać, że zmniejszenie kąta rozruchowego jest dopuszczalne w granicach od kąta odpowiadającego całkowitemu otwarciu łopatek aż do kąta odpowiadającego ich średniemu położeniu. Dalsze zmniejszanie kąta rozruchowego należy uzgodnić z wytwórnią, która dostarczyła turbinę.

2. Drgania spowodowane nieodpowiednim sprzężeniem łopatek wirnika z kierownicą

Powiększone drgania turbiny Kaplana mogą być następstwem nieodpowiedniego kształtu krzywej sprzężenia (zależności kombinacyjnej), co doprowadza do uderzeniowego wlotu wody na wirnik i do drgań. Najmniej-

sze drgania występują przy bezuderzeniowym wlocie wody, przy którym kierunek jej prędkości względnej jest styczny do łopatki na wlocie.

Jeżeli stwierdzono, że drgania są wynikiem nieodpowiedniego sprzężenia łopatek wirnika z kierownicą, to na podstawie wykreślenia krzywej sprzężenia przy najmniejszych drganiach można dojść do tego, że turbozespół będzie pracować spokojnie. W tym celu dla całego zakresu mocy przy różnych kątach φ nachylenia łopatek wirnika mierzymy amplitudy drgań (rys. 194). Każda krzywa wyrażająca zależność tej amplitudy od otwarcia kierownicy, dla danego kąta nachylenia łopatek φ (tzw. charakterystyka drgań) posiada swoje minimum, dla którego amplituda drgań jest najmniejsza. Krzywa K będąca obwiednią tych krzywych jest krzywą najmniejszych drgań.



Rys. 194. Zależność pomiędzy amplitudą drgań układu wirującego turbozespołu i otwarciem kierownicy (rozwarciem łopatek kierowniczych) α ; krzywa K , będąca obwiednią poszczególnych krzywych, wyznacza najmniejsze amplitudy drgań

Pomiary amplitud drgań należy przeprowadzać przy niezmiennym spadzie i wysokości ssania. Dla każdego danego kąta nachylenia łopatek zmieniamy otwarcie kierownicy tak, aby po obu stronach minimum amplitudy drgań otrzymać co najmniej dwa punkty, odpowiadające większym amplitudom. Nie należy gwałtownie zmieniać kąta nachylenia łopatek wirnika oraz otwarcia kierownicy, gdyż powoduje to powstanie nadmierne dużych drgań. Technika pomiarów amplitud drgań opisana została w § 46.

3. Drgania kawitacyjne

Turbiny Francisa, zwłaszcza te, które pracują pod wysokimi spadami, przy pewnych obciążeniach wykazują większe drgania. Są to drgania wywołane przez kawitację. Zazwyczaj unika się pracy przy tych obciążeniach i w razie powiększania się obciążenia możliwie szybko przechodzi się przez ten kawitacyjny stan ruchu. Jednak w pewnych przypadkach stan ten obejmuje szeroki zakres otwarcia kierownicy i stanowi poważną trudność

przy eksploatacji turbozespołu. W celu zmniejszenia zjawiska kawitacji oraz zmniejszenia drgań, doprowadza się powietrze z atmosfery (niekiedy pod ciśnieniem) do przestrzeni znajdującej się za wirnikiem względnie pod nim.

Do doprowadzenia powietrza służą specjalne otwory w pokrywie turbiny lub zawór albo zawory napowietrzające. Zawory te w obszarze kawitacyjnego stanu ruchu sterowane są przymusowo za pomocą krzywek w kształcie klinów. Krzywki przymocowane są do pierścienia regulacyjnego.

W braku zaworów napowietrzających, w pewnych konstrukcjach turbin na wysokie spadki powietrze doprowadzone jest pod wirnik przez wydrążenie w wale. Dlatego podczas montażu należy usunąć zaślepkę w dolnym końcu wału turbiny, aby powietrze mogło dopływać przez to wydrążenie od górnej powierzchni czołowej wału. Jeżeli powierzchnia ta jest zamknięta, np. przez podwzбудnicę, prądnice regulatora odśrodkowego, bezpiecznik (wyłącznik) odśrodkowy itd., to powietrze można doprowadzać poprzez promieniowe otwory znajdujące się w kołnierzu wału. Konstrukcję tego rodzaju zastosowano w dwóch elektrowniach wyposażonych w turbiny Francisa, pracujące pod spadami 169 m oraz 74 m. Otwory te łączą wydrążenia wału z atmosferą i w celu powiększenia ilości zasysanego powietrza wkręca się w nie rurki zagięte pod kątem 90° w kierunku wirowania wału, które polepszają warunki doprowadzania powietrza.

Ilość oraz średnicę otworów wywierconych w wale obiera się na drodze doświadczalnej, podczas wyregulowywania turbiny. Ilość doprowadzanego powietrza reguluje się za pomocą przesłon dławiących, nakręcanych na końce zagiętych rurek. W literaturze podane są wskazówki, które potwierdzają dodatnie wyniki doświadczeń z doprowadzaniem powietrza pod wirnik w celu zmniejszenia drgań¹⁾.

4. Drgania spowodowane zacieraniem się uszczelnień labiryntowych

Charakterystyczne uderzenia pod pokrywą turbiny, odpowiadające ilości obrotów lub stanowiące ich wielokrotność, świadczą o zacieraniu się uszczelnień labiryntowych. Zjawisko to może być wynikiem nieprawidłowego wycentrowania, załamania linii wałów, mimośrodowości geometrycznych osi wału i wirnika itd. Jeżeli zacieranie jest nieznaczne — co poznać można po amplitudzie drgań — to po upływie kilku godzin pracy turbozespołu biegnącego jałowo lub ze zmniejszoną prędkością obrotową, materiał uszczelnień labiryntowych ściera się w miejscu zacierania, po czym drgania powinny ustać. Jeżeli jednak drgania nie zmniejszają się, to należy otworzyć turbinę i zlikwidować przyczynę zacierania.

¹⁾ G. Ter-Akonow: Borba s iznosom gidroturbinnowo oborudowanja ot kawitacji i nanosow. Gosnergolzdatt, 1950.

5. Niestateczność regulacji automatycznej

Niestateczność regulacji automatycznej objawia się oscyłowaniem serwo-motorów kierownicy oraz związanych z nimi mechanizmów układu regulacyjnego. Ruchy oscylacyjne, jak i prędkość obrotowa turbozespołu mogą posiadać charakter regularny lub bezładny. Jak mówiliśmy, dopuszczalne oscylacje serwomotoru mogą być zawarte w granicach 1,5% jego pełnego skoku (§ 44).

Wahania mocy turbiny wywołane zmianą ciśnienia w osłonie spiralnej, w dyszy turbiny Peltona lub w rurze ssawnej powodują, że układ regulacyjny turbiny bezustannie działa. Aby móc się o tym przekonać, należy się postarać, aby obciążenie turbiny było przez pewien czas stałe. Jeżeli wówczas oscylacje układu regulacyjnego (siłownika) ustana, to stąd wynika, że przyczyną je wywołującą są wahania obciążenia. Wahania ciśnienia w osłonie spiralnej lub w rurze ssawnej kontrolujemy za pomocą odpowiednich przyrządów: manometru, wakuometru lub manowakuometru.

O ile przy jałowym biegu turbiny oraz stałym ciśnieniu przed kierownicą, regulacja automatyczna jest niedostateczna, to świadczy to o defektach w układzie regulacyjnym. Najbardziej prawdopodobne są następujące defekty:

a) Luzy lub zatarcia w przegubowych złączach przekładni wyłącznika oraz w przekładni rozdzielczego urządzenia regulatora i kombinatora.

W tym przypadku (patrz § 36) należy: sworznie przegubów wymienić na nowe, zlikwidować luz przez wyregulowanie cięgien (naciągnięcie ich) lub sprężyn (o ile układ jest w nie zaopatrzony), bacząc przy tym, aby nie wywołać zbędnego tarcia. W razie zacierania się złącz przegubowych należy z odpowiednich części przez ostrożne ich oszlifowanie usunąć ślady zatarć, tak jednak, aby nie zwiększyć istniejących lub nie stworzyć nowych luzów. Należy również sprawdzić smarowanie wszystkich przegubowych i tarcio-wych złącz dźwigni oraz innych przekładni.

b) Zatarcia, tarcie lub nieprawidłowe przekrycia w suwaku siłownika pomocniczego.

Zatarcie lub tarcie dodatkowo obciąża regulator odśrodkowy i tym samym zmniejsza jego czułość wywołując oscylację automatycznej części układu regulacyjnego. Defekty tego rodzaju likwidujemy przez dodatkowe wycentrowanie oraz przez ostrożne zeszlifowanie śladów zatarć. Szlifowanie powinno być wykonane szczególnie ostrożnie i starannie, aby nie powiększyć nadmiernie luzu pomiędzy suwakiem i jego tuleją. Oscylacje układu regulacyjnego mogą być również spowodowane przez bardzo małe lub ujemne przekrycia suwaka. W tym przypadku należy suwak wymienić.

c) Usterki w działaniu mechanizmu izodromowego (katarakty). Usterki te mogą być wywołane przez skrzywienie iglicy, zbyt małe luzy, niecałkowite napełnienie olejem lub przez nieodpowiednią jego lepkość, wreszcie przez nieprawidłowe przekrycia iglicy. Ślady zatarć należy usunąć przez ostrożne zeszlifowanie. Jeżeli temperatura otoczenia jest wysoka, to lep-

kość oleju może okazać się niewystarczająca. W tym przypadku należy wymienić olej na bardziej lepki (patrz tablica 54).

d) Zmniejszenie się czasu izodromu wskutek naruszenia pierwotnego ustawienia mechanizmu izodromowego (§ 35).

Ustawienie to restytuujemy przez odpowiednie przesunięcie rączki tego mechanizmu. Należy wziąć pod uwagę, że likwidowanie niestateczności regulacji (oscyłacji siłownika kierownicy) przy biegu luzem przez nadmierne powiększanie czasu izodromu może doprowadzić do powiększenia czasu regulacji, tj. czasu, w ciągu którego turbozespół przy zmianie obciążenia osiąga poprzednią ilość obrotów. Takie powiększenie czasu regulacji jest w pewnych warunkach niedopuszczalne, gdyż może spowodować przedłużenie procesu regulacji, co sprzyja naruszeniu częstotliwości napięcia w sieci elektrycznej.

e) Nieprawidłowe zszycie lub naciągnięcia pasa napędzającego regulator odśrodkowy.

Niedostateczne naciągnięcie lub nieprawidłowe zszycie tego pasa jest przyczyną jego ślizgania się oraz przyczyną wstrząsów wrzeczona regulatora odśrodkowego i jego drążka. Regulator odśrodkowy nie stosuje się wówczas dokładnie do prędkości obrotowej turbiny i przejmuje opisane wstrząsy oraz poślizgi, spowodowane defektami przekładni. Wszystko to wywołuje oscylacje oraz wstrząsy drążka regulatora i związanych z nim suwaków, a w ostatecznym wyniku — wszystkich mechanizmów automatycznej części układu regulacyjnego. Oscylacje te oraz wstrząsy doprowadzają w końcu do oscylacji serwomotorów kierownicy oraz prędkości obrotowej turbozespołu. W celu usunięcia opisywanych defektów należy wyregulować odpowiednio zaciąg pasa lub przesyć go, tak aby szew nie wystawał i był dostatecznie elastyczny.

f) Drgania w elektrycznym obwodzie prądnicy regulatora odśrodkowego oraz w silniku napędzającym ten regulator.

Jeżeli częstotliwość drgań układu regulacyjnego zgadza się z liczbą obrotów prądnicy regulatora odśrodkowego, to przyczyną drgań mogą być usterki w tym regulatorze, a mianowicie: zbyt duży luz pomiędzy klinem i wałkiem prądnicy, drgania prądnicy, zmienne napięcie w elektrycznym układzie łączącym prądnicę z silnikiem regulatora odśrodkowego, wreszcie niejednakowa grubość szczeliny powietrznej pomiędzy twornikiem i stojanem.

Jeżeli częstotliwość drgań układu regulacyjnego zgadza się z ilością obrotów regulatora odśrodkowego, to przyczyną drgań mogą być usterki w tym regulatorze lub w silniku napędzającym regulator. W celu wykrycia tych usterek należy (o ile to jest możliwe) prowizorycznie przyłączyć silnik regulatora odśrodkowego do prądnicy regulatora odśrodkowego sąsiedniego pracującego turbozespołu. Jeżeli wówczas drgania nie ulegną zmianie, to przyczyną ich są usterki w badanym regulatorze odśrodkowym. Prawdopodobną usterką może być zbyt duże bicie drążka regulatora odśrodkowego, przekraczające dopuszczalną wartość 0,03 do 0,04 mm. Bicie to sprawdzamy

za pomocą czujnika. Zbyt duże bicie drążka regulatora odśrodkowego może być spowodowane biciem wrzeczona tego regulatora. W tym przypadku należy regulator rozebrać i sprawdzić. Może się okazać, że pomimo iż nie stwierdzono żadnego z wymienionych defektów, to jednak układ regulacyjny nadal oscyluje i stanowi poważną przeszkodę w eksploatacji turbozespołu. W tym przypadku należy mieć na uwadze, że oscylacje mogą być zupełnie zlikwidowane lub doprowadzone do minimum przez powiększenie stopnia nierównomierności regulacji lub, jak mówiliśmy uprzednio, przez powiększenie przekryć suwaka siłownika pomocniczego. Jednak przy równoległej pracy turbozespołów, turbozespół o powiększonym stopniu nierównomierności regulacji będzie mniej czuły na zmiany częstotliwości prądu w sieci elektrycznej, tj. będzie przyjmować mniejszy udział przy rozdziale obciążenia pomiędzy turbozespoły pracujące równolegle.

6. Nieprawidłowości działania mechanizmów układu regulacyjnego, spowodowane zanieczyszczeniem oleju

Jeżeli mechanizmy układu regulacyjnego działają nieprawidłowo w początkowym okresie eksploatacji turbozespołu, tj. po jego zmontowaniu, to najbardziej prawdopodobnym tego powodem jest zanieczyszczenie oleju. Z tego względu w pierwszych dniach pracy turbozespołu należy możliwie często oczyszczać filtry olejowego zespołu ciśnieniowego, wskutek czego oczyszcza się również olej przez usunięcie z niego obcych ciał stałych. Jest godne uwagi, że nieprawidłowości działania mechanizmów w miarę oczyszczania filtrów same przez się znikają. Jednak w szeregu przypadków zanim cząsteczki ciał stałych zostaną wyłowione przez filtry, mogą one uszkodzić trące się powierzchnie oraz wywołać zatarcia mechanizmów. Pod tym względem najbardziej narażone są zawory, filtry oraz pompa ślimakowa ciśnieniowego zespołu olejowego.

Zawory. Jeżeli chodzi o zawory, to cząsteczki ciał stałych przedostawszy się pomiędzy powierzchnie zamykające zaworów: przelewowego, bezpieczeństwa, zwrotnego, hydraulicznego oraz ręcznego powodują powstawanie wgnieceń, które nie pozwalają na szczelne zamykanie się zaworów, wskutek czego powiększa się przeciekanie i pogarsza się stan pracy pomp. W takich przypadkach należy zawór rozebrać i dotrzeć.

Uszkodzenia i niedziałanie mechanizmów. W miarę zanieczyszczenia się filtru zaworu przelewowego zmniejsza się skok tego zaworu i wreszcie przestaje on działać. Aby temu zapobiec, należy filtr oczyścić oraz umyć w nafcie. Jeżeli chodzi o pompę ślimakową do oleju, to zanieczyszczenie jej kanałów odciążających może doprowadzić do zakleszczenia wirników oraz do utworzenia się zadziórów na trących się częściach tulei łożyskowych oraz czopów wzdłużnych. W pompie zębatej brud przedostający się do tulei łożyskowych powoduje powstanie zadziórów na czopie oraz na tych tulejach. Powyższym zjawiskom towarzyszy wzrost temperatury łożysk pomp oraz ich zacieranie się. W takich przypadkach należy pompę rozebrać

i defekt zlikwidować. Jeżeli zanieczyszczony jest suwak siłownika pomocniczego, to powiększa się czas regulacji i koniec końców regulacja automatyczna zostaje naruszona.

7. Nienormalna wysokość poziomu oleju oraz obniżenie się ciśnienia w zbiorniku ciśnieniowym

O ile w czasie pracy turbozespołu poziom oleju w zbiorniku ciśnieniowym podnosi się, to jest to następstwem wydostawania się powietrza poprzez nieszczelności w górnej, powietrznej części zbiornika. Należy uważać, że dopuszczalne są takie straty powietrza, przy których bez dopompowywania jego przez sprężarkę, poziom oleju w zbiorniku ciśnieniowym w czasie całej doby nie wychodzi poza górną krawędź szkła olejowskazu. Straty większe od wskazanych należy zlikwidować. Nieszczelności wykrywamy w ten sposób, że zewnętrzne złącza kołnierzone i śrubowe, znajdujące się w górnej części zbiornika ciśnieniowego powlekamy warstwą mydła rozpuszczonego w wodzie i obserwujemy, czy we wskazanych miejscach nie tworzą się bańki. W razie potrzeby należy wymienić uszczelki lub ponownie doskrobać kołnierze. Jeżeli nie zauważono, aby powietrze przedostawało się na zewnątrz, to należy rozebrać powietrzny zawór zwrotny i sprawdzić jego stan; obecność zanieczyszczeń, obcych przedmiotów lub wgnieceń na zamykających powierzchniach gniazda zaworu lub grzybka świadczy o przedostawaniu się powietrza poprzez zawór zwrotny. W tym przypadku zawór należy przemyć w nafcie i dotrzeć go aż do usunięcia wgnieceń.

Obniżanie się poziomu oleju w zbiorniku ciśnieniowym spowodowane jest zazwyczaj nadmiarem w tym zbiorniku powietrza sprężonego. Powietrze to może być zasysane z atmosfery przez pompę olejową, o ile złącza jej rury ssawnej są nieszczelne. Należy zwrócić uwagę na to, że zasysanie powietrza przez pompę olejową nie jest połączone z hałasem, tak charakterystycznym w pompach zębatych, i z tego powodu, o ile pompa zasysa niewielkie ilości powietrza, może to pozostać niezauważone. Poziom oleju może się obniżyć również w przypadku osłabienia sprężyn zaworu przelewowego lub zaworu bezpieczeństwa, przy czym jednocześnie zmniejsza się również ciśnienie oleju. W tym przypadku sprężyny należy wymienić na nowe.

8. Hałaśliwe działanie pompy

Silny hałas towarzyszący działaniu pompy może być wynikiem zasysania powietrza poprzez kołnierzone złącze rury ssawnej pompy. Zasysanie to likwidujemy przez wymianę uszczelki. Pompa może hałasować również wówczas, gdy z powodu braku oleju lub zanieczyszczenia filtrów poziom jego w zbiorniku zlewczym opada, wskutek czego rura ssawna wynurza się. W tym przypadku należy zbiornik dopełnić olejem oraz oczyścić filtry.

§ 70. REGULOWANIE ORAZ PRÓBY TURBIN WODNYCH PO NAPRAWIE

Po przeglądzie lub naprawie przeprowadza się próby w celu przekonania się o jakości remontu oraz w celu wyregulowania poszczególnych mechanizmów. Zakres sprawdzania i prób zależy od charakteru przeprowadzanego przeglądu lub naprawy. Na wszelki wypadek należy bezwzględnie sprawdzić i wyregulować działanie mechanizmów poddanych rozbiórce i montażowi. Również konieczne jest przeprowadzenie kontrolnych prób odciążania, o ile przeglądano elementy układu regulacyjnego. Po remoncie głównym, podczas którego turbozespół był całkowicie zdemontowany i większość mechanizmów regulacyjnych była rozebrana, niezbędne jest przeprowadzenie prób w najszerszym zakresie, tak jak to praktykuje się przy pierwszym uruchomieniu turbozespołu (patrz rozdział X).

W celu zapewnienia niezawodności działania oraz uniknięcia uszkodzeń, sprawdzanie, regulacja i wypróbowywanie poszczególnych mechanizmów oraz turbiny jako całości, po jej naprawie, należy przeprowadzać w tej samej kolejności, jak po montażu, a więc: przed napełnieniem urządzeń turbinowych doprowadzających wodę, po ich napełnieniu (przy turbinie unieruchomionej), w czasie biegu jałowego oraz pod obciążeniem (§ 42).

Zespoły oraz mechanizmy turbiny poddane naprawie sprawdza się, reguluje i próbuje przed i po doprowadzeniu wody, stosując przy tym metody opisane w § 43 i uwzględniając właściwości eksploatacji. Regulowanie oraz próby przy biegu jałowym przeprowadza się analogicznie do opisanych w § 44, zaś przy biegu pod obciążeniem — zgodnie ze wskazaniem wyłożonymi w § 45.

Wszystkie roboty rozruchowo-regulacyjne oraz próby powinny być realizowane według ułożonego wcześniej programu prób rozruchowych. Odpowiednie wielkości otrzymane przy próbach odciążania zapisuje się w postaci tablicy 49.

§ 71. TECHNICZNA DOKUMENTACJA MONTAŻU I REMONTÓW

Po ukończeniu montażu lub naprawy sporządza się sprawozdanie techniczne, które dla personelu eksploatacyjnego stanowi składową część metryki turbozespołu.

Techniczne sprawozdanie z montażu zawiera:

- 1) Akty, schematy oraz protokoły charakteryzujące stan, ustawienie i wyregulowanie poszczególnych części urządzenia turbinowego.
- 2) Protokoły odzwierciedlające rzeczywiste dane, dotyczące instalacji, centrowania oraz wyregulowania elementów turbiny (tabl. 60).
- 3) Protokół oględzin turbozespołu przed uruchomieniem.
- 4) Dane techniczne dotyczące olejów dla układów: regulacyjnego oraz smarującego.
- 5) Protokoły badań poszczególnych zespołów oraz turbiny jako całości.

Wykaz protokołów sporządzanych podczas montowania i naprawy turbin wodnych

N a z w a	Formularz (Numer rysunku)
Protokół kontroli ustawienia wykładziny rury ssawnej	49
Protokół kontroli ustawienia pierścienia fundamentowego oraz wykładziny stożkowej części rury ssawnej	50
Protokół kontroli ustawienia stojana, spirali i wykładziny komory turbiny	55
Protokół pomiarów grubości szczelin pomiędzy czołowymi powierzchniami łopatek kierowniczych i powierzchniami pierścieni kierownicy	63
Protokół pomiarów grubości szczelin międzyłopatkowych	64
Protokół pomiarów rozwarcia łopatek kierowniczych w zależności od wychylenia tłoka siłownika	65
Protokół pomiarów szczelin pomiędzy wirnikiem i uszczelnieniami labiryntowymi oraz pomiędzy wałem i panwiami łożyska poprzecznego	66
Protokół montażu spirali zasilającej	81
Protokół montażowy dolnego zespołu części fundamentowych turbiny Kaplana	86
Protokół montażowy górnego zespołu części fundamentowych turbiny Kaplana	90
Protokół pomiarów grubości szczelin pomiędzy wirującymi i nieruchomymi częściami turbiny Kaplana	106
Protokół kontroli linii wału turbiny i wału pośredniego	112
Protokół kontroli wycentrowania wału prądnicy z wałem turbiny	113
Protokół kontroli wspólnej linii wałów turbozespołu metodą obrotu o 180°	119
Protokół montażowy pompy zębatej do oleju	176
Protokół montażowo-naprawczy pompy ślimakowej do oleju	177
Protokół montażowo-naprawczy zaworu przelewowego instalacji olejnej ciśnieniowej	179
Protokół montażowo-naprawczy suwaka siłownika głównego oraz suwaka siłownika pomocniczego	182

6) Analiza wykonanego montażu, wyregulowania oraz prób turbiny wraz z krótką charakterystyką stanu instalacji.

7) Wykaz zmian konstrukcyjnych, poczynionych podczas montażu.

8) Wykonawczy harmonogram montażowy.

9) Dodatkowe wskazówki, dotyczące eksploatacji turbozespołu.

10) Akt odbiorczy o przyjęciu turbozespołu do eksploatacji.

Oprócz tego personelowi eksploatacyjnemu przekazuje się techniczną dokumentację wytwórni, która wykonała turbinę, a mianowicie: rysunki oraz techniczne warunki dostawy instalacji turbinowej, szczegółowe opisy, protokoły rzeczywistych wymiarów części zamiennych, protokoły prób poszczególnych mechanizmów przeprowadzone w wytwórni, metrykę turbiny, metrykę zbiornika ciśnieniowego zespołu olejowego, instrukcje dotyczące eksploatacji wraz ze schematami sterowania turbozespołem.

Techniczne sprawozdanie z remontu według wytycznych Ministerstwa Elektrowni ZSRR¹⁾ zawiera:

¹⁾ Normy i osnowna dokumentacja po remontach oborudowania elektrycznych stacji ciepłowniczych i elektrycznych sieci. Gosenergoizdat, 1945.

1) Wykaz zakresu prac remontowych wraz z techniczną charakterystyką stanu instalacji przed i po naprawie.

2) Protokoły odzwierciedlające rzeczywiste dane dotyczące instalacji, centrowania oraz wyregulowania elementów turbiny przed i po naprawie. Dane te należy zapisywać do protokołów, których formularze opracowane zostały przez Ministerstwo Elektrowni ZSRR (częściowy wykaz formularzy zawiera tablica 60), tak aby otrzymać wartości dające się porównywać, a charakteryzujące stan turbozespołu podczas montażu i danej naprawy. Oprócz tego sporządza się protokoły charakteryzujące zużycie i naprawę części podwodnych oraz poszczególnych mechanizmów instalacji turbiny.

3) Wyniki analizy olejów układu regulacyjnego i układu smarowania.

4) Protokoły prób turbozespołu oraz wyregulowania poszczególnych mechanizmów.

5) Analizę wykonanej naprawy, wyregulowania i prób turbiny wraz z następującymi załącznikami: a) wykazem poczynionych w turbinie zmian konstrukcyjnych oraz wykrytych defektów, które należy usunąć przy następnym remoncie, b) wykonawczym harmonogramem naprawy.

6) Akt przyjęcia turbiny z remontu z podaniem ogólnych danych, dotyczących pracy turbiny przed naprawą (czasu, który upłynął pomiędzy dwoma kolejnymi remontami, ilości wyprodukowanej energii elektrycznej, stanu pracy turbiny przed naprawą), jakości wykonanej naprawy oraz wskaźników działania poszczególnych zespołów i turbiny jako całości.

7) Wykaz części zapasowych, potrzebnych przy następnym remoncie.

Błędy konstrukcyjne i wykonawcze ujawnione podczas naprawy oraz również w czasie eksploatacji należy komunikować wytwórniom w celu otrzymania od nich odpowiednich instrukcji, dotyczących usunięcia tych błędów, a oprócz tego w celu dopomożenia tym wytwórniom w udoskonalaniu dostarczanych instalacji.

§72. BEZPIECZEŃSTWO PRACY PRZY MONTAŻU I REMONCIE TURBIN WODNYCH

Przed rozpoczęciem montażu lub remontu, stosownie do warunków zamierzonych robót, powinny być opracowane przepisy bezpieczeństwa pracy przy uwzględnieniu, jeżeli ta ewentualność zachodzi, jednoczesnego wykonywania robót budowlanych oraz jednoczesnej eksploatacji sąsiednich turbozespołów. Przepisy te w ZSRR muszą odpowiadać wymaganiom bezpieczeństwa pracy, zatwierdzonym przez Ministerstwo Elektrowni ZSRR oraz przez Centralny Komitet Związku Robotników Elektrowni ZSRR. Wymagania te są następujące:

1) Robotnikom inżyniersko-technicznym powinny być znane przepisy bezpieczeństwa pracy. Robotników dopuszcza się do pracy po objaśnieniu i nauczaniu metod bezpiecznego wykonywania robót, przy czym należy sprawdzić nabyte wiadomości i wydać odpowiednie zarządzenia.

2) Przy przygotowywaniu miejsc pracy należy przestrzegać wszystkich wymagań przepisów jej bezpieczeństwa, ustalonych dla danego rodzaju wykonywanej pracy. We wszystkich niebezpiecznych miejscach na terenie przeprowadzanego montażu lub remontu powinny być wywieszane na widocznych miejscach plakaty i ostrzegawcze napisy.

3) Przed rozpoczęciem robót turbina i rurociąg dopływowy powinny być odwodnione, zaś do usuwania przeciekającej wody powinny być zainstalowane nienagannie działające urządzenia odpompowujące. Kable wysokiego napięcia znajdujące się w rejonie robót powinny być wyłączone.

4) W technologicznym przebiegu montażu lub remontu powinna być zwrócona szczególna uwaga na niezawodność prowizorycznych pomocniczych urządzeń — pomostów, rusztowań, schodów, poręczy, podstaw, kozłów i in. Roboty na wysokości należy wykonywać ze szczelnego pomostu, zaopatrzonego w poręczę wysokości co najmniej 1 m oraz w deskę burtową o wysokości co najmniej 18 cm. Deski poręczowe przymocowuje się od strony wewnętrznej; górna deska poręczowa powinna być oheblowana. Nie wolno dopuszczać do skupiania się ludzi i do obciążania pomostów takimi przedmiotami, których ciężar przekracza przyjęte obciążenie.

Pomostami wykonanymi w szybie turbinowym można się posługiwać tylko po uprzednim ich przyjęciu oraz sprawdzeniu przez personel techniczny. Stan pomostów powinien być w dalszym ciągu codziennie sprawdzany, a ujawnione defekty powinny być bezzwłocznie usuwane.

O ile praca odbywa się jednocześnie na pomostach w dwóch kondygnacjach i na jednym pionie, to w celu uniknięcia ewentualności spadania przedmiotów z górnego pomostu na pomost dolny, należy pomiędzy tymi pomostami wybudować pomost ochronny lub górny pomost wykonać z dwóch warstw desek, ułożonych na krzyż.

5. Miejsca pracy niedostatecznie oświetlone światłem dziennym należy oświetlić światłem sztucznym. Miejsca nieoświetlone, znajdujące się w strefie robót, powinny być zamknięte dla przejścia za pomocą zagród o wysokości co najmniej 1 m.

Ręczne lampy przenośne powinny być zasilane z sieci o napięciu najwyższej 36 V, zaś przy pracach w miejscach wilgotnych, np. w szybie turbinowym, spirali oraz w rurze ssawnej napięcie to nie powinno przekraczać 12 V. Stałe jak również przenośne oświetlenie niskiego napięcia powinni zakładać i naprawiać tylko elektromonterzy.

6) Ręczne narzędzia należy utrzymywać w pełnej sprawności. Rączki pilników, wkrętaków, młotków, młotów kowalskich, siekier oraz innych narzędzi powinny być wykonane z mocnego drewna, jak np. dereń, buk, klon, jarzębina itp., wygładzone i w pewny sposób zmocowane z narzędziem. Narzędzia uderzeniowe: młotki, przecinaki, punktaki itp. nie powinny posiadać ostrych wąsów na powierzchniach uderzeniowych. Rozwarcie szczęk kluczy do nakrętek powinno odpowiadać wymiarom nakrętek.

Do pracy narzędziami pneumatycznymi dopuszczani są tylko robotnicy odpowiednio przyuczeni. Wężę gumowe, którymi dopływa powietrze sprę-

żone, wolno przyłączać i odłączać tylko po zamknięciu jego dopływu. Posługiwanie się narzędziami pneumatycznymi przy pracy na drabinach jest niedozwolone.

Robotnicy, którzy posługują się narzędziami przenośnymi, napędzanymi za pomocą elektryczności: elektrycznymi wiertarkami, szlifierkami i in., powinni być zaznajomieni z bezpiecznymi metodami pracy, ze środkami ochronnymi, stosowanymi przy pracy z urządzeniami elektrycznymi oraz ze sposobami udzielania pierwszej pomocy w przypadkach porażenia prądem elektrycznym. Podczas pracy wykonywanej za pomocą narzędzi elektrycznych kadłuby tych narzędzi powinny być uziemione, zaś robotnicy wyposażeni w gumowe rękawice i kalosze. Gniazda wtyczkowe służące do przyłączania omawianych narzędzi powinny się znajdować w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca pracy.

7) Środki dźwigowo-transportowe: dźwigi, mechanizmy podnoszące oraz stosowane przy nich urządzenia pomocnicze powinny odpowiadać wymaganiom i przepisom inspekcji Urzędu Dozoru Technicznego; wciągarki, liny, ciągnia, śruby z uchem, haki itp. powinny być sprawdzone i zaopatrzone w tabliczki lub oznaczenia, podające ich udźwig (§ 8 oraz 15).

8) Robotnicy zajęci na robotach przy pilnikowaniu części, ich dłutowaniu, oczyszczaniu sprężonym powietrzem, szlifowaniu, cięciu, spawaniu oraz przy ostrzeniu narzędzi otrzymują odpowiednie okulary ochronne. Miejsca, w których wykonywane są roboty spawalnicze, muszą być ogrodzone za pomocą odpowiednich zasłon. Wszystkie niebezpieczne i obracające się części maszyn, mechanizmów oraz urządzeń elektrycznych, jak: szlifierki, szlifierki przenośne, pasy napędowe, sprzęgła obrotowe, wyłączniki elektryczne itp., powinny być odpowiednio osłonięte.

9) Przy wykonywaniu robót spawalniczych przy elementach przepływowej części turbiny, tj. przy wirnikach, w komorach wirników, w rurach ssawnych, spiralach oraz w organach zamykających (zaworach), bez ich demontowania, należy zabezpieczyć na stanowiskach roboczych niezawodną wentylację wyciągową. Gniazda wtyczkowe oświetleniowe oraz wyłączniki sieci siłowej powinny być umieszczone bezpośrednio przy stanowisku roboczym, wewnątrz turbiny. Rusztowania wiszące powinny być wykonane zgodnie z projektem i obliczeniami oraz powinny być wypróbowane przy obciążeniu statycznym półtora razy większym od obciążenia roboczego. O wynikach próby należy sporządzić odpowiedni akt.

Na czas wykonywania robót w turbinie oraz w mechanizmach uruchamiających organy zamykające dopływ wody, tj. stawidła, zasuwy, zawory i kierownicę, wywiesza się ogłoszenia ostrzegawcze z napisem „Nie włączać“.

10) W czasie ruchu turbozespołu zabrania się wykonywania jakiegokolwiek bądź rodzaju napraw oraz oczyszczania jego wirujących części. Nie wolno stawać na dźwigniach i strzemionach kierownicy, na tłoczyskach siłowników oraz na innych ruchomych częściach mechanizmów. Nie wolno zbliżać się lub dotykać do elektrycznych końcówek prądnicy.