

BN

BN-72/1332-01

TURBINY WODNE

WYMAGANIA I BADANIA ODBIORCZE



WYDAWNICTWA NORMALIZACYJNE WARSZAWA

ENERGETYKA	NORMA BRANŻOWA		BN-72
	Turbiny wodne		1332-01
	Wymagania i badania odbiorcze		
			Grupa katalogowa VI 09

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są wymagania i badania odbiorcze dotyczące turbin wodnych.

1.2. Zakres stosowania normy. Postanowienia normy należy stosować do turbin wodnych:

- a) reakcyjnych — Francisa, Śmigłowych, Kaplana, Deriaza,
 b) akcyjnych — Peltona,
 c) turbin odwracalnych (pompo-turbin) w pracy turbinowej.

1.3. Pojęcia i oznaczenia

Lp.	Symbol	Pojęcie	Określenie	Jednostka miary w układzie	
				MKS	SI
1	2	3	4	5	6
1	F	Przekrój strumienia wody	powierzchnia przekroju poprzecznego strumienia wody prostopadłego do ogólnego kierunku przepływu	m ²	m ²
2	F_a	Przekrój wlotowy do turbiny	a) w elektrowniach o swobodnym zwierciadle wody powierzchnia przekroju obierana bezpośrednio przed turbiną; w porozumieniu stron zainteresowanych można obrać ją powyżej krat wlotowych b) w elektrowniach, w których woda doprowadzana jest rurociągiem, powierzchnia przekroju określona w porozumieniu zainteresowanych stron w pobliżu spirali poniżej zaworów zabezpieczających	m ²	m ²
3	F_b	Przekrój wylotowy z turbiny	a) w turbinach reakcyjnych powierzchnie przekroju określa się w porozumieniu stron zainteresowanych na wylocie z rury ssawnej, jest ona prostopadła do kierunku wypływu wody; b) w turbinach akcyjnych powierzchnię przekroju wylotowego przyjmuje się jako nieograniczenie wielką	m ²	m ²
4	H	Spad użyteczny	wg BN-65/0300-01; sposób obliczenia dla poszczególnych typów turbin przedstawiają rys. 1 : 4	m	m
5	H_n	Spad nominalny	wg BN-65/0300-01	m	m
6	H_0	Spad statyczny	różnica między poziomami wody górnej i dolnej przy natężeniu przepływu równym zeru	m	m
7	H_g	Spad gwarantowany	spad netto podany przy dostawie turbiny, pod którym turbina przy określonym przepływie osiąga gwarantowaną moc i sprawność	m	m
8	H_s	Wysokość ssania	różnica wysokości między charakterystycznym miejscem turbiny a poziomem dolnej wody; sposób określania wysokości ssania dla różnych typów turbin pokazano na rys. 5	m	m
9	N_s	Moc surowa	moc odpowiadająca przepływowi i spadowi użytecznemu H $N_s \rightarrow \frac{\gamma Q H_n}{102}$ gdzie γ — ciężar właściwy	kW	kW

Instytut Energetyki

Ustanowiona przez Ministra Górnictwa i Energetyki dnia 31 maja 1972 r.
 jako norma obowiązująca w zakresie badań odbiorczych od dnia 1 stycznia 1973 r.
 (Dz.Norm. i Miar nr 15/1972 poz. 32)

cd. tablicy

Lp.	Symbol	Pojęcie	Określenie	Jednostka miary w układzie	
				MKS	SI
1	2	3	4	5	6
10	N	Moc użyteczna	moc na wale turbiny, na którą sumują się następujące składniki a) moc na zaciskach prądnicy, b) straty mechaniczne i elektryczne prądnicy, c) w przypadku wspólnych łożysk części strat w łożyskach ustalonych dla prądnicy, d) straty w przekładniach mechanicznych i straty koła hamachowego, e) moc pochłonięta przez bezpośrednio napędzane maszyny pomocnicze; jeżeli stosuje się hamowanie, moc podaną w poz. a) i straty w poz. b) należy zastąpić wynikami pomiarów przeprowadzonych za pomocą hamulca	kW	kW
11	N_g	Moc gwarantowana	moc, na którą turbina została zamówiona przy spadzie H_n i prędkości obrotowej nominalnej	kW	kW
12	Q	Przełyk	n_n — sekundowa objętość wody łącznie ze stratami szczelinowymi i w dławnicach, wyłączając ilość wody zużywaną do chłodzenia prądnicy, łożysk turbozespołu i maszyn pomocniczych	m ³ /s	m ³ /s
13	Q_g	Przełyk gwarantowany	przełyk turbiny przy gwarantowanych wielkościach spadu, mocy i prędkości obrotowej	m ³ /s	m ³ /s
14	Q_f	Przełyk biegu jałowego	wg BN-65/0300-01	m ³ /s	m ³ /s
15	Q_r	Natężenie przepływu	ilość wody przepływająca w jednostce czasu przez dany przekrój rzeki lub urządzenia doprowadzającego lub odprowadzającego wodę		
16	a	Położenie przyrządu pomiarowego	wysokość niwelacyjna określająca odległość w pionie przyrządu mierniczego od miejsca pomiaru	m	m
17	c	Średnia prędkość przepływu		m/s	m/s
18	c_a	Średnia prędkość na wlocie do turbiny	średnia prędkość przepływu w przekroju pomiarowym na wlocie do turbiny	m/s	m/s
19	c_b	Średnia prędkość na wylocie z turbiny	średnia prędkość przepływu w przekroju pomiarowym na wylocie turbin	m/s	m/s
20	e	Błąd pomiaru	odchyłka od rzeczywistej wielkości, jaka powinna wynikać z pomiaru, powstała wskutek niedokładności przyrządu mierniczego lub wskutek warunków, w jakich pomiar był wykonany	%	%
21	e_g	Odchyłka gwarancyjna	różnica między wielkością gwarantowaną a wielkością uzyskaną z pomiarów	%	%
22	e_c	Odchyłka całkowita	—		
23	f	Dopuszczalna odchyłka błędu	odchyłka zawarta w ustalonym pasie tolerancji błędu	%	%
24	g	Przyspieszenie ziemskie	—	m/s ²	m/s ²
25	h_b	Wysokość odpowiadająca ciśnieniu barometrycznemu	—	m	m
26	h_c	Wysokość kinetyczna	$h_c = \frac{c^2}{2g}$	m	m
27	h_p	Wysokość ciśnienia	$h_p = \frac{p}{\gamma}$	m	m
28	h_{str}	Strata spadu	strata spadu między przekrojami $a-a$ i $b-b$	m	m
29	n	Liczba obrotów	prędkość obrotowa	obr/min	obr/min
30	n_{max}	Maksymalna liczba obrotów	maksymalna przejściowa liczba obrotów	obr/min	obr/min

cd. tablicy

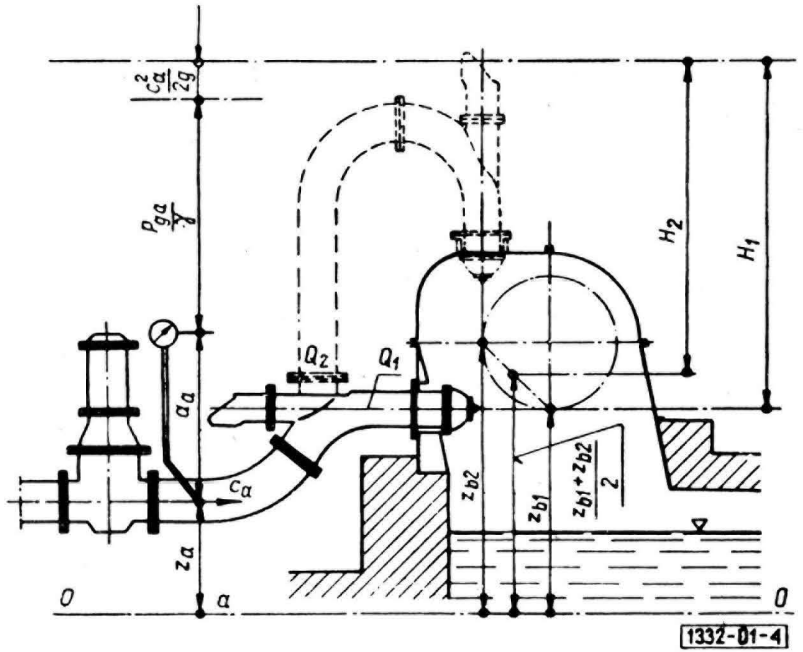
Lp.	Symbol	Pojęcie	Określenie	Jednostka miary w układzie	
				MKS	SI
1	2	3	4	5	6
31	n_n	Nominalna liczba obrotów	wg BN-65/0300-01	obr/min	obr/min
32	n_0	Liczba obrotów przy biegu jałowym	liczba obrotów turbiny, jaka stabilizuje się przy wzbudzonej, lecz nie obciążonej prądnicy po jej odłączeniu od sieci	obr/min	obr/min
33	n_r	Rozbiegowa liczba obrotów turbiny	maksymalna ustalona liczba obrotów turbiny po zdjęciu całego obciążenia przy maksymalnym otwarciu kierownicy i po wyłączeniu regulacji automatycznej	obr/min	obr/min
34	n_1	Początkowa liczba obrotów	liczba obrotów przed zmniejszeniem obciążenia	obr/min	obr/min
35	n_s	Wyróżnik szybkości turbiny	wg BN-65/0300-01	obr/min	obr/min
36	p	Ciśnienie w dowolnym punkcie		kG/cm ²	N/m ²
37	p_a	Ciśnienie na wlocie do turbiny		kG/cm ²	N/m ²
38	p_b	Ciśnienie na wylocie z turbiny		kG/cm ²	N/m ²
39	p_{bar}	Ciśnienie atmosferyczne (barometryczne)		kG/cm ²	N/m ²
40	p_p	Wskazania manometru		kG/cm ²	N/m ²
41	p_{max}	Maksymalne ciśnienie przejściowe	maksymalne ciśnienie występujące przy nagłej zmianie określonego obciążenia	kG/cm ²	N/m ²
42	p_0	Ciśnienie statyczne	Ciśnienie przy zamkniętej kierownicy ($Q = 0$)	kG/cm ²	N/m ²
43	δ	Trwała zmiana liczby obrotów	$\delta = 100 \frac{n_0 - n_1}{n_n}$	%	%
44	β_{max}	Względna maksymalna przejściowa zmiana liczby obrotów	maksymalna przejściowa zmiana liczby obrotów wyrażona w procentach w odniesieniu do początkowej liczby obrotów $\beta_{max} = 100 \frac{n_{max} - n_1}{n_1}$	%	%
45	γ	Ciężar właściwy	ciężar właściwy wody lub solanki	kG/cm ³	N/m ³
46	z	Wysokość położenia punktu pomiarowego	wysokość położenia punktu pomiarowego nad dowolnie obranym poziomem	m	m
47	ζ_{max}	Względna maksymalna przejściowa zmiana ciśnienia	przejściowa zmiana maksymalnego ciśnienia statycznego w wyniku nagłej zmiany określonego obciążenia $\zeta_{max} = 100 \frac{p_{max} - p_0}{p_0}$	%	%
48	z_w	Położenie zwierciadła wody	wysokość położenia zwierciadła wody nad poziomem morza lub innym dowolnie obranym poziomem odniesienia	m	m
49	η_g	Sprawność gwarantowana		%	%
50	η_t	Sprawność turbiny	stosunek mocy oddawanej mierzonej na wale turbiny do mocy surowej	%	%
51	η_{tw}	Średnia ważona sprawność turbiny	sprawność średnia ważona obliczana arytmetycznie z pojedynczych wartości sprawności η_1, η_2, η_3 odpowiadających mocom lub przepłykom gwarantowanym oraz współczynników ważonych: $w_1, w_2, w_3 \dots$ określonych dla tych mocy lub przepłyków za pomocą wyrażenia: $\eta_{tw} = \frac{w_1 \eta_1 + w_2 \eta_2 + w_3 \eta_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$	%	%
52	η_{ta}	Średnia arytmetyczna sprawność turbiny	średnia ważona sprawność turbiny określona wzorem podanym pod lp. 50 z warunkiem, że: $w_1 = w_2 = w_3 = \dots = 1$	%	%

Rys. 4. Turbina Peltona: a) jednodyszowa, b) dwudyszowa

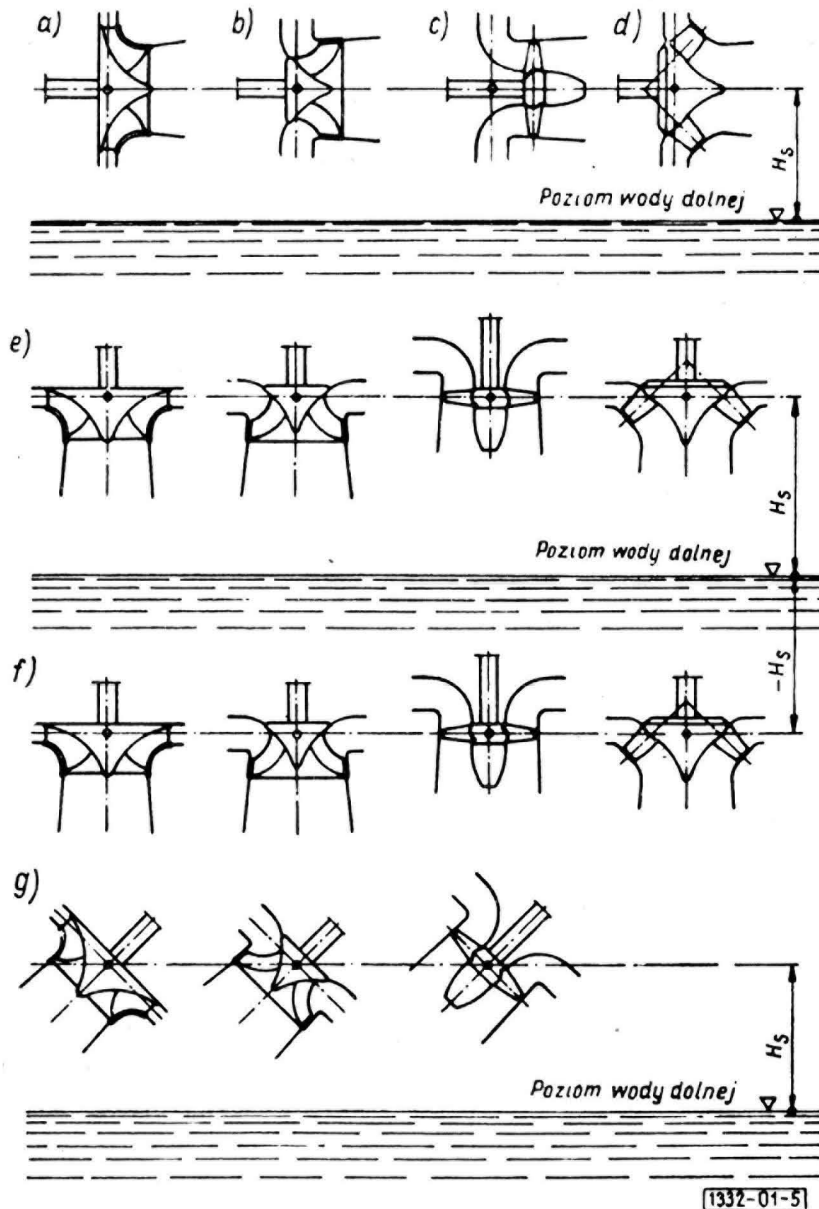
$$a) H_1 = (z_a + a_a - z_{b1}) + 10 \frac{P_{ga}}{\gamma} + \frac{c_a^2}{2g}$$

$$b) H_2 = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} (z_a + a_a - z_{b1}) +$$

$$+ \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} (z_a + a_a - z_{b2}) + 10 \frac{P_{ga}}{\gamma} + \frac{c_a^2}{2g}$$



1332-01-4



1332-01-5

Rys. 5. Określenie geometrycznej wysokości ssania H_s : a) turbina Francis wolnobieżna, b) turbina szybkoobrotowa Francis, c) turbina Kaplana i Śmigłowa, d) turbina Deriaza, dla typu a)÷e), g) wysokość ssania jest dodatnia, dla typu f) wysokość ssania jest ujemna

1.4. Normy związane

PN-72/E-06000 Maszyny elektryczne wirujące. Ogólne wymagania i badania

BN-65/0300-01 Turbiny wodne. Pojęcia i określenia

2. WYMAGANIA

2.1. Zasady ogólne. Wszystkie wymagania podlegające sprawdzeniu przy badaniach odbiorczych powinny być uzgodnione między dostawcą i odbiorcą.

Jeżeli w umowie nie postanowiono inaczej, obowiązuje zakres wymagań podanych w niniejszej normie.

Dostawca nie ponosi odpowiedzialności za wielkość spadku oraz natężenia przepływu, od których są zależne moce lub inne wymagane wielkości, nawet gdyby ich pomiar był wykonywany przez dostawcę lub jego przedstawiciela.

W przypadku użycia prądnicy do pośredniego pomiaru mocy, badanie prądnicy i jej urządzeń pomocniczych należy włączyć do pomiarów odbiorczych. Pomiaru te należy wykonać wg PN-72/E-06000.

2.2. Wymagania ogólne

2.2.1. Moc. Turbina powinna wytwarzać moc co najmniej równą wielkościom określonym uprzednio jako moce gwarantowane przy odpowiednich, ustalonych spadach i nominalnej liczbie obrotów. Gwarancje mogą być podane dla różnych wielkości spadku użytecznego.

2.2.2. Sprawność turbiny nie powinna być niższa od wartości ustalonej jako gwarantowana.

Gwarancje sprawności mogą odnosić się do mocy i przelików, różnych obciążeń i przelików częściowych przy zachowaniu jednej z następujących sprawności:

a) sprawności średniej ważonej w określonym obszarze obciążeń lub przelików,

b) sprawności średniej arytmetycznej w określonym obszarze obciążeń lub przelików,

c) sprawności średniej planimetrycznej w określonym obszarze obciążeń lub przelików.

Wymienione gwarancje powinny być określone dla różnych wielkości spadku użytecznego.

2.3. Wymagania dodatkowe

2.3.1. Rozbiegowa liczba obrotów. Pomierzona wartość liczby obrotów rozbiegowych powinna być niższa od wartości zagwarantowanej przy określonym spadzie.

2.3.2. Maksymalna przejściowa liczba obrotów. Pomierzona wartość maksymalnej przejściowej liczby obrotów powinna być niższa od wartości zagwarantowanej.

2.3.3. Przejściowe ciśnienie maksymalne i minimalne. Pomierzona wartość ciśnienia przy nagłych zmianach obciążenia turbiny powinna być niższa od wartości zagwarantowanej, a pomierzona wartość ciśnienia minimalnego powinna być wyższa od wartości zagwarantowanej.

2.3.4. Erozja kawitacyjna. Wielkość erozji kawitacyjnej należy określać dla uzgodnionej liczby godzin pracy turbiny, w określonych granicach mocy, temperatury wody i poziomu wody dolnej. Wielkość erozji kawitacyjnej określa się:

a) wartością ubytku wagowego danego elementu turbiny,

b) głębokością wżerów,

c) wielkością zniszczonej powierzchni.

Pomierzone wartości nie powinny przekraczać wartości zagwarantowanej.

2.3.5. Szczelność kierownicy. Sposób sprawdzenia szczelności kierownicy powinien być uzgodniony w umowie. Jeżeli nie ustalono inaczej, szczelność powinna być co najmniej taka, aby po otwarciu wszystkich zamknięć przed turbiną i zluźowaniu hamulców, wirnik nie zaczął się obracać w ciągu 10 min.

2.4. Okres gwarancji. Jeżeli w umowie nie ustalono inaczej, gwarancja powinna obowiązywać w okresie nie mniejszym niż 12 i nie większym niż 24 miesiące. Okres gwarancyjny powinien zaczynać się z chwilą przekazania turbozespołu do eksploatacji wstępnej.

2.5. Tabliczka znamionowa. Turbina powinna mieć przymocowaną w widocznym miejscu czytelną tabliczkę znamionową z następującymi danymi:

Nazwa wytwórcy

Rok budowy Nr fabryczny

Spad nominalny $H_n =$ m,

Przebieg nominalny $Q_n =$ m³/s,

Moc turbiny $N =$ kW,

Nominalna liczba obrotów $n_n =$ obr./min.

2.6. Warunki przeprowadzania pomiarów

2.6.1. Jakość wody. Woda nie powinna zawierać ciał stałych np. gałęzi, liści, traw mogących zmniejszyć i zniekształcić przepływ wody w turbinie.

2.6.2. Poziom wody w czasie trwania pomiarów. Dla turbin reakcyjnych poziom wody dolnej nie powinien obniżyć się poza maksymalną dopuszczalną wysokość ssania podaną w umowie.

W przypadku turbin Peltona poziom dolnej wody nie powinien podnieść się ponad wysokość określoną umową.

2.6.3. Natężenie przepływu (przebieg)

2.6.3.1. Zasady ogólne. Pomiar przepływu lub przebiegu w zależności od warunków należy wykonywać:

a) przy dużych natężeniach przepływu metodą:

— roztworu soli,

— ciśnienie - czas (Gibsona),

- rozpuszczalnika,
- pomiaru młynkami,

b) przy małych natężeniach przepływów, poza poprzednio wymienioną dodatkową metodą:

- przelewów,
- wagową lub objętościową.

W przypadkach warunków nie uwzględnionych w niniejszej normie można zastosować inne metody, jeżeli obie zainteresowane strony wyrażą na nie zgodę.

2.6.3.2. Warunki pomiarów przepływu. Metoda roztworu soli powinna być stosowana jedynie w przypadku przepływów (burzliwych) nie ustalonych.

Metoda Gibsona powinna być stosowana w przypadku pomiarów w przewodach zamkniętych o dowolnym stałym lub zmiennym przekroju.

Metoda rozpuszczalnika powinna być stosowana dla długich odcinków kanałów otwartych i zamkniętych.

Pomiar młynkami należy przeprowadzać tylko w stanie ustalonego przepływu w czasie trwania pomiaru przy średnicach rurociągu większych od 1,2 m. Pomiar młynkami ustawionymi krzyżowo wykonuje się w rurociągach mających średnice większe od 1,4 m lub od czternastu średnic młynka. W przypadku wystąpienia zakłóceń przepływu lub spadów, pomiar powinien być powtórzony.

Metoda wagowa lub objętościowa powinna być stosowana w przypadku małych przepływów turbin. Mają one najczęstsze zastosowanie (ze względu na dużą dokładność) przy pomiarach laboratoryjnych, przy badaniach modelowych oraz w przypadkach małych elektrowni.

2.6.3.3. Warunki szczegółowe dotyczące stosowania poszczególnych metod pomiarów przepływów wymienionych w 2.6.3.1 — wg załącznika 1.

2.6.4. Spad

2.6.4.1. Zasady ogólne. We wszystkich elektrowniach wodnych powinien być dokładnie oznaczony podstawowy reper wysokościowy oraz repery pomocnicze służące do niwelacji poziomów zwierciadła wody i niwelacji manometrów.

Odczyty poziomów wody w celu określenia spadów wykonuje się dopiero po ustaleniu się stanu ruchu turbiny. Spad powinien być utrzymany podczas pomiarów możliwie bez żadnych zmian. Odczyty należy przeprowadzać w regularnych odstępach czasu w liczbie co najmniej pięciu dla każdego obserwowanego punktu.

2.6.4.2. Wybór punktów pomiarowych. Przy wyborze punktów pomiarowych należy uwzględnić następujące warunki:

- przepływ powinien być ustalony, bez lokalnych zakłóceń,
- powierzchnia przekroju użytego do określenia średniej prędkości wody powinna być łatwa do pomiaru i dokładnie określona.

W przypadku gdy swobodne zwierciadło wody nie jest dostępne na wlocie lub wylocie z turbiny należy przewidzieć studzienki umożliwiające dokonania pomiarów. Średnica studzienki lub bok kwadratu stanowiącego powierzchnię jej poprzecznego przekroju powinny wynosić co najmniej 300 mm. Przewody lub kanały łączące przekrój pomiarowy ze studzienką powinny być prostopadłe do jej ścianki bocznej zaopatrzone w płytki dziurkowane o średnicach otworów 3,5 mm. Płytki należy umieszczać w ścianie przewodu na wysokości przekroju pomiarowego w ten sposób, aby uniknąć jakiegokolwiek wpływu prędkości wody. Sposób powiązania studzienki z przekrojem pomiarowym przedstawia rys. Z2-3.

2.6.4.3. Warunki pomiaru spadów. Odchylenie spadów nie powinno być większe od $\pm 10\%$ wielkości spadów nominalnego (podanego w umowie), jeżeli rzeczywista liczba obrotów n jest utrzymywana zgodnie z zależnością

$$\frac{n}{n_n} = \sqrt{\frac{H}{H_n}}, \text{ gdzie } n_n \text{ i } H_n \text{ są wielkościami nominalnymi}$$

podanymi w umowie zaś n i H wielkościami otrzymanymi w czasie przeprowadzania badań. Jeżeli wskaźniki nie pozwalają na to, aby liczba obrotów była tak utrzymywana, by można było dostosować się do odchylenia spadów $\pm 3\%$, wówczas dopuszcza się, po wspólnym uzgodnieniu, korektę wyników prób dla odchylenia spadów (liczby obrotów) posługując się krzywymi z badań modelowych. W przypadku dysponowania dostateczną liczbą wielkości gwarantowanych dla różnych spadów, odpowiednie wielkości spadów i odpowiadające wartości mocy i sprawności można wyznaczyć przez interpolację.

Dla danego przekroju pomiarowego zaleca się wykonanie dwóch studzienek po jednej z każdej jego strony.

Jeżeli zwierciadło wody jest dostępne, ale jego powierzchnia niespokojna, należy w czasie przeprowadzania badań odbiorczych zainstalować komory kompensacyjne w wykonaniu podobne do studzienek.

2.6.4.4. Ciśnienie należy mierzyć w przekrojach pomiarowych uwzględniając warunki podane w 2.6.4.2.

Przekrój pomiarowy powinien znajdować się w prostoliniowym odcinku przewodu, co najmniej 5 średnic przed i 2 średnice za przekrojem pomiarowym.

2.6.5. Pomiar mocy. Wymagania poddawane sprawdzaniu przy badaniach odbiorczych uwzględniają moc znamionową przy parametrach znamionowych w zakresie uzgodnionym między dostawcą i nabywcą. Pomiar mocy (jeżeli to jest możliwe) należy wykonywać na zaciskach prądnicy. W innych przypadkach moc mierzoną powinna uwzględniać straty między punktem podłączenia przyrządów pomiarowych a zaciskami prądnicy.

W czasie badań prądnica powinna pracować z napięciem bardzo bliskim napięcia nominalnego a w przypadku maszyny prądu przemiennego z częstotliwością nominalną i współczynnikiem mocy równym jedności. Jeżeli

tych warunków nie można dotrzymać w obliczeniach strat i mocy oraz w określeniu błędu, należy uwzględnić wszystkie wynikające różnice.

2.6.6. Liczba obrotów. Liczba obrotów powinna być mierzona bezpośrednio na wale turbiny, w tym samym czasie co odczyt momentu obrotowego.

Jeżeli moc turbiny określana jest z pomiaru mocy na zaciskach prądnicy, wystarczy sprawdzić liczbę obrotów turbiny korzystając z okresomierza tablicowego w chwili, gdy obciążenie systemu jest stałe. Okresomierz powinien być sprawdzony z okresomierzem wzorcowym.

3. BADANIA

3.1. Zasady ogólne

3.1.1. Termin wykonania badań. Badania odbiorcze powinny być przeprowadzone przed upływem okresu gwarancyjnego. Okres gwarancyjny zaczyna się z chwilą przekazania turbozespołu do eksploatacji po odbyciu 72-godzinnej ruchu próbnego.

3.1.2. Wykonawca badań. Badania odbiorcze powinny być przeprowadzane w obecności przedstawicieli dostawcy i nabywcy. Nabywca po uzgodnieniu z dostawcą powinien powierzyć przeprowadzenie badań odbiorczych właściwym instytucjom lub osobom fizycznym uprawnionym do prowadzenia tego rodzaju działalności. Obsługa urządzeń podczas badań należy do obowiązków dostawcy i prowadzona jest na jego odpowiedzialność.

3.1.3. Program badań

3.1.3.1. Uzgodnienia wstępne. Przed rozpoczęciem badań dostawca i nabywca powinni uzgodnić w formie protokołu wstępnego następujące dane:

- zakres badań i przypuszczalny czas trwania pomiarów,
- liczbę i numery kolejne zespołów podlegających badaniom,
- metody pomiaru i stosowane przyrządy,
- warunki ruchu turbiny w czasie badań,
- dokumenty normalizacyjne będące podstawą zamierzonych badań,
- zasady przeliczania wyników pomiarów i tablice stosowane przy przeliczeniach,
- inne szczegóły wymagające uzgodnienia.

3.1.3.2. Organizacja badań. Prowadzący badania opracowuje program badań, który uzgadnia z dostawcą i nabywcą. Do jego dyspozycji powinien być oddany komplet dokumentacji technicznej oraz świadectwo wzorcowania przyrządów pomiarowych.

Prowadzący badania w porozumieniu z przedstawicielem nabywcy określa początek i koniec badań.

Personel pomocniczy (wykonujący odczyty) podlega prowadzącemu badania.

Prowadzący badania obowiązany jest do informowania prowadzącego ruch turbozespołu o zmianach wielkości mierzonych oraz powinien udostępnić mu zestawienia ważniejszych wielkości mierzonych. Prowadzący badania ponosi odpowiedzialność za całość przeprowadzonych prac oraz sporządza sprawozdanie końcowe.

3.1.4. Przygotowanie turbiny do badań. Przed przystąpieniem do badań odbiorczych (maksimum na 2 dni) należy dokonać przeglądu turbiny.

Przygotowanie do badań powinno obejmować:

- sprawdzenie kompletności wyposażenia,
- pomiarzenie i oznaczenie odpowiednimi podziałkami uwidaczniającymi różne położenia, otwarcie łopatek kierowniczych lub iglicy a w przypadku turbin Kaplana i Deriaza położenia łopatek wirnika,
- oczyszczenie (w razie potrzeby) łopatek,
- uzupełnienie brakujących punktów pomiarowych oraz sprawdzenie wymiarów i stanu urządzeń pomiarowych (jak np. zwężki pomiarowej),
- sprawdzenie czy nie występują zatarcia w częściach czynnych turbiny,
- zaślepienie rurociągów nie używanych w czasie badań odbiorczych.

Przygotowanie turbiny do badań odbiorczych stwierdza dostawca.

3.1.5. Pomiary wstępne. Sprawdzenie przekrojów i długości przewodów turbinowych między punktami pomiaru i przyrządami powinno być przeprowadzane przed przystąpieniem do uruchomienia turbozespołu dla dokonania badań.

3.1.6. Stan przyrządów. Wszystkie przyrządy pomiarowe stosowane do badań powinny mieć ważne zaświadczenie wzorcowania wydane przez instytucję do tego upoważnioną.

Po dokonaniu pomiarów przyrządy powinny być ponownie sprawdzone chyba, że dostawca z nabywcą uzgodnili inaczej.

Gdy porównanie tych sprawdzeń wykazuje różnicę przekraczającą granice przyjęte przez instytucję wzorcowującą, a w umowie nie ustalono inaczej, dokładność przyrządu należy ustalić przyjmując średnią arytmetyczną obu wskazań.

W przypadku kwestionowania przez jedną ze stron dokładności wskazań poszczególnych przyrządów, należy zakwestionowane przyrządy sprawdzić w upoważnionej do tego instytucji. Przyrządy rejestrujące lub liczniki mogą być stosowane jedynie do przybliżonej kontroli chwilowych wartości wielkości mierzonych.

3.1.7. Odczyty są wykonywane w ustalonych regularnych przedziałach czasu lub na sygnał podany jednocześnie wszystkim odczytującym.

Przy wykonywaniu odczytów jednoczesnych na każdym stanowisku pomiarowym w równych odstępach czasu, do obliczeń wyników należy brać średnią arytmetyczną pomiarów.

Podziałki otwarcia kierownic i kątów pochylenia łopatek wirnika (turbiny Kaplana i Deriaza) powinny być łatwo dostępne dla personelu biorącego udział w pomiarach. Zanotowane dla każdego pomiaru wskazania uwidocznione na podziałkach można przyjmować za wyniki pomiarów.

Przed rozpoczęciem pomiarów należy zebrać i przygotować krzywe wzorcowania i tabele poprawek wszystkich przyrządów używanych w pomiarach.

3.1.8. Oględziny końcowe po przeprowadzeniu prób.

Po wykonaniu pomiarów należy sprawdzić całość przewodów hydraulicznych piezometrów dla upewnienia się, że nie zostały one pozatykane i nie ma w nich ciał obcych.

3.1.9. Postępowanie w przypadku sprzeczności lub powtarzania prób. Po zakończeniu prób wyniki analizują obie zainteresowane strony wyliczając reprezentatywne wyniki (jeszcze prowizoryczne) przed zwolnieniem zespołu biorącego udział w pomiarach. Jeżeli powstanie różnica zdań lub niezgodność poglądów, która może być stwierdzona tylko na piśmie, strona nie zgadzająca się lub nie akceptująca wyników ma prawo do przeprowadzenia nowych badań.

Jeżeli nie można osiągnąć uzgodnienia co do przeprowadzenia nowych badań, różnicę poglądów należy przedstawić niezainteresowanemu arbitrowi uznanemu przez obie strony.

3.2. Pomiar przelyku należy przeprowadzać zgodnie z załącznikiem 1.

3.3. Pomiar poziomu swobodnego zwierciadła wody. Poziom swobodnego zwierciadła wody przed wlotem do turbiny powinien być mierzony poniżej krat wlotowych. W kanale odpływowym poziom wody należy mierzyć u wylotu z rury ssawnej. Jeżeli to nie jest możliwe, można w tym celu wykorzystać przekrój w rurze ssawnej w bezpośrednim sąsiedztwie jej wylotu lub przekrój otwarty w kanale odprowadzającym wodę tuż za wylotem rury ssawnej.

W turbinach bez rur ssawnych przekrój wylotowy powinien być określony w umowie.

Pomiar poziomu wody w danym przekroju powinien być dokonywany co najmniej w dwóch punktach, przy czym za poziom rzeczywisty należy przyjmować średnią wartość z obu odczytów.

Spad należy mierzyć za pomocą

- wskaźników płytowych,
- wskaźników kołcowych,
- wskaźników pływakowych,
- lat.

W przypadku gdy przekroje pomiarowe są niedostępne, pomiar poziomu zwierciadła wody powinien być przeprowadzony przy użyciu manometrów różnicowych lub sprężonego powietrza.

Pomiar poziomu wody należy przeprowadzać wg załącznika 2.

3.4. Pomiar ciśnienia. Należy przewidzieć 4 punkty pomiarowe symetrycznie rozmieszczone na obwodzie przewodu. Powinny one być tak usytuowane, aby przewody łączące je z manometrami nie były zapowietrzane ani też zatykane zanieczyszczeniami. Z uwagi na powyższe, manometry nie powinny być łączone przewodami z górnymi lub dolnymi partiami przewodów turbinowych.

Dopuszcza się zainstalowanie dwóch punktów pomiarowych leżących naprzeciwko siebie. Za wysokość pomiarową przyjmuje się wtedy środek przekroju pomiarowego.

Otwory punktów pomiaru ciśnienia w ścianie przewodu (rurociągu) powinny być wykonane o średnicy $d \ 3 \div 6$ mm i minimalnej długości $l \ 6 \div 12$ mm. Otwór powinien być wywiercony prostopadle do ściany przewodu, a jego krawędź od wewnątrz przewodu dokładnie powinna być zaokrąglona promieniem $r = \frac{d}{4}$ lub ścięta. Sposób wykonania otworu wg załącznika 3 (rys. Z3-1).

Punkty pomiarowe należy dobierać tak, aby co najmniej 250 mm przed i 100 mm za przekrojem pomiarowym powierzchnia przewodu była gładka i równoległa do kierunku przepływu.

W celu umożliwienia indywidualnego pomiaru ciśnienia w każdym punkcie pomiarowym, przewody łączące punkty pomiarowe z manometrem powinny być tuż przy manometrze zaopatrzone w odpowiednie zamknięcia. Sposób podłączenia przewodów łączących punkty pomiarowe z manometrem — wg załącznika 3 (rys. Z3-2). W przypadku gdy stosuje się przewód obwodowy łączący punkty pomiarowe, należy przewidzieć zawór między każdym punktem pomiarowym a przewodem zbiorczym. Sposób wykonania połączenia — wg załącznika 3 (rys. Z3-3).

Przewody łączące punkty pomiarowe z manometrami powinny biec stale ku górze bez załamań i zwężeń.

W celu umożliwienia usuwania z przewodów powietrza należy umieścić w najwyższym punkcie układu przewodów zawory odpowietrzające. Przewody należy sprawdzić dokładnie na szczelność. Jeżeli w czasie pomiaru zaobserwuje się nieszczelności, należy pomiar niezwłocznie przerwać, a powstałe uszkodzenia usunąć.

W bezpośrednim sąsiedztwie manometru powinien być ustalony reper dla określenia położenia przyrządu.

Pomiar ciśnienia należy przeprowadzać wg załącznika 3.

3.5. Pomiar podciśnienia powinien być przeprowadzany w przypadku gdy rury ssawne nie zostały wykonane poprawnie. Pomiar ten należy wykonać metodami podanymi w 3.4. Dla punktu pomiarowego należy wywiercić otwór o średnicy 6 mm.

Przewody łączące punkt pomiarowy z przyrządem powinny być całkowicie wypełnione wodą lub powietrzem (jeżeli powietrze jest używane do pomiaru) i powinny być przezroczyste dla bezpośredniej obserwacji

poziomów wody. Powietrze wydzielające się z wody oraz powietrze dostające się z zewnątrz powinno być usuwane przez częste płukanie przewodów w okresie między pomiarami, w celu utrzymania odpowiedniej temperatury wody, równej temperaturze wody w przewodzie turbinowym.

Do łączenia manometrów mogą być stosowane również przewody giętkie, przy czym nie powinny ulegać one zgnieceniu pod wpływem ciśnienia atmosferycznego.

3.6. Pomiar mocy

3.6.1. Metody pomiaru mocy na wale turbiny

a) bezpośrednio za pomocą hamulców (mechanicznych, hydraulicznych, elektrycznych) lub dynamometru skrętnego,

b) pośrednio w przypadku gdy turbina jest lub może być sprzężona z prądnicą; wtedy do zmierzonej mocy na zaciskach prądnicy należy dodać wszelkie straty elektryczne i mechaniczne.

Próby sprawności i mocy dla turbin Kaplana i Deriaz należy przeprowadzać bez współpracy krzywek ustalających położenie łopatek kierownicy i łopatek wirnika. Dla każdego położenia łopatek i różnych stopni otwarcia kierownicy zbliżonych do wartości prawidłowych należy przeprowadzić serię co najmniej pięciu pomiarów. Uzyskany wykres z tych pomiarów wskazuje najkorzystniejsze sprzężenie. Próby te mogą być też przeprowadzane w postaci „prób wskaźnikowych” wykorzystując jedynie względne skorygowanie wartości sprawności. Jeżeli optymalne sprzężenie (położenie) łopatek wirnika zostało najpierw określone metodą prób wskaźnikowych, wówczas każda seria pomiaru może być zredukowana z pięciu do trzech punktów pomiarowych. Po obopólnym uzgodnieniu, próby można przeprowadzać z załączonymi krzywkami.

3.6.2. Metoda pośrednia polega na wykorzystaniu prądnicy jako elementu do pomiaru mocy, przy czym jej straty mocy określone powinny być przez:

— pomiar strat mocy przy zastosowaniu metody wybiegu,

— pomiar straty mocy przy zastosowaniu metody kalorymetrycznej.

3.6.3. Metoda bezpośrednia

— pomiarze mocy za pomocą hamulca; jest to możliwe dla małych turbin, a dla dużych turbin tylko wtedy, jeżeli nie przewiduje się ich połączeń z prądnicami,

— pomiarze mocy dynamometrem skrętnym.

Pomiar mocy należy wykonywać wg załącznika 4

3.6.4. Pomiar strat. Przy przeprowadzaniu prób prądnicy w elektrowni, turbinę należy odłączyć od prądnicy. Jeżeli to nie jest możliwe, można dopuścić bieg jałowy turbiny w powietrzu z występującymi tylko stratami wentylacyjnymi.

Pomiar strat należy wykonywać wg załącznika 5.

3.7. Zużycie wody przez urządzenia potrzeb własnych powinno być określone w umowie i sprawdzone w czasie prób odbiorczych.

Woda niezbędna do pracy prądnicy, maszyn pomocniczych lub chłodzenia łożysk nie powinna być dodawana do wody zużytej bezpośrednio przez turbinę. Jeżeli woda ta jest pobierana poniżej przekroju, w którym mierzy się przelęg turbiny, należy w czasie prób pomierzyć ją osobno i odjąć od przelęgu obliczonego na podstawie pomiarów w przekroju głównym.

3.8. Sprawność

3.8.1. Sprawność prądnicy — wg PN-72/E-06000.

3.8.2. Sprawność turbiny powinna być wyznaczana:

— z zależności $\eta_t = \frac{102 N}{\gamma Q H}$ po zmierzeniu Q , H i N ,

— metodą termodynamiczną wg załącznika 6.

Metodę termodynamiczną zaleca się stosować w szczególności do spadów powyżej 150 m. W korzystnych przypadkach może ona być również zastosowana dla spadów od 100 m i większych, jeżeli to zastosowanie uzgodniono między nabywcą turbiny i jej dostawcą.

3.8.3. Postępowanie przy zastosowaniu sprawności ważonych. Jeżeli gwarancje opierają się na sprawnościach ważonych określających różne znaczenie ekonomiczne różnym wartościom mocy i przelęgów, wówczas należy przyjąć ten sam sposób postępowania i ten sam stopień dokładności dla wszystkich pomiarów indywidualnych, a nie tylko dla tych wartości, dla których ustala się sprawności ważne i odpowiednie moce.

3.9. Liczba obrotów

3.9.1. Pomiar liczby obrotów do bezpośredniego określenia mocy. Jeżeli określa się moc turbiny mierząc moment obrotowy hamulcem lub dynamometrem skrętnym, liczbę obrotów należy mierzyć precyzyjnym obrotomierzem. Może to być zespół obrotomierz-chronometr lub układ dający średnią zmierzonej liczby obrotów w regularnych odstępach czasu sekundomierzem, względnie elektronowym licznikiem obrotów.

3.9.2. Zmiana liczby obrotów w wyniku zmiany obciążenia turbiny. Maksymalną chwilową zwykłą liczbę obrotów n_{max} jaka powstaje w wyniku całkowitego odciążenia turbiny gdy jego moc N zostanie zredukowana gwałtownie do zera ($N = 0$), określa się wychodząc z liczby obrotów n_1 turbozespołu.

Wobec tego, że zmiana liczby obrotów zależy od zmian położenia elementów regulujących ilość doprowadzanej wody na wirnik turbiny, zmianę liczby obrotów należy rejestrować równolegle ze zmianą położenia tych urządzeń regulujących.

3.9.3. Przyrządy pomiarowe. Dla rejestrowania chwilowych liczb obrotów należy używać przewzorcowanego

obrotomierza. Obrotomierz powinien mieć małą bezwładność tak, aby mógł rejestrować poprawnie zmieniające się liczby obrotów w czasie przeprowadzanego pomiaru. Zaleca się stosowanie obrotomierzy elektrycznych samorejestrujących.

3.10. Zmiana ciśnienia w wyniku nagłej zmiany obciążenia turbiny

3.10.1. Wielkość zmian ciśnienia w przewodzie zasilaającym turbiny zależy od prędkości zamykania urządzeń regulujących dopływ wody i z tych przyczyn należy rejestrować zarówno przebieg zmieniającego się ciśnienia jak i samą szybkość zamykania tych urządzeń, na które również wpływ wywiera zmiana ciśnienia.

Maksymalne ciśnienie chwilowe p_{max} wyznacza się z ciśnień występujących podczas operacji zamykania dopływu wody, gdy określone obciążenie N turbiny jest zredukowane do $N = 0$.

3.10.2. Przyrządy pomiarowe. Rejestrację ciśnień przeprowadza się za pomocą manometrów sprężynowych. Jeżeli mierzone ciśnienie jest bardzo duże, manometr powinien być wyposażony w sprężyny wstępnie napięte. Częstotliwość własna przyrządu powinna być co najmniej 3 do 4 razy większa od częstotliwości zmian mierzonych ciśnień.

Zaleca się bezpośrednie przyłączenie przyrządu pomiarowego do rurociągu a to dla uniknięcia opóźnień i powiększania bezwładności na skutek działania tarcia w przewodach. Jeżeli przyrządu nie można dołączyć bezpośrednio, przewód łączący powinien być bardzo krótki. Przewód łączący powinien być poza tym prosty bez zagięć, metalowy. Dopuszcza się stosowanie tensometrów z odpowiednimi układami wzmacniającymi i pomiarowymi.

3.11. Dopuszczalne odchylenia wartości mierzonych. Pomiaru należy przeprowadzać przy stałym spadzie, stałej mocy, stałej liczbie obrotów, nieruchomych łopatkach kierownicy i wirnika z zachowaniem niżej podanych granic (liczonych w odniesieniu do wartości średnich parametrów):

- | | |
|--------------------------|-------------|
| a) zmiana spadu | $\pm 1,0\%$ |
| b) zmiana mocy | $\pm 1,5\%$ |
| c) zmiana liczby obrotów | $\pm 0,5\%$ |

3.12. Szczelność kierownicy w turbinie reakcyjnej należy określać wielkością szczelin między powierzchniami czołowymi łopatek kierowniczych a powierzchniami omywanymi wodą pierścienia dolnego i górnego kierownicy oraz wielkością szczelin występujących między sąsiednimi łopatkami przy zamkniętej kierownicy. Przy ustalaniu wielkości szczelin siła działająca od strony siłowników powinna być równa zeru. Pomiaru należy wykonać za pomocą szczelinomierzy.

4. PRZELICZANIE WYNIKÓW POMIARÓW I WYZNACZANIE TOLERANCJI

4.1. Przeliczanie wyników na warunki gwarancyjne. Jeżeli pomiary są przeprowadzone zgodnie z warunkami podanymi w rozdz. 2 i 3, wyniki mogą być sprowadzone do warunków gwarancyjnych.

Przy przeliczeniach należy stosować następujące równania:

$$Q_g = Q \left(\frac{H_n}{H} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$N_g = N_t \left(\frac{H_n}{H} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\eta_g = \eta_t = \frac{102 N}{\gamma Q H}$$

Jeżeli spadek otrzymany z pomiaru H odchyła się od dopuszczalnych granic w stosunku do spadku gwarantowanego H_n , to liczbę obrotów można przeliczyć na liczbę obrotów dla warunków gwarantowanych wg równania

$$n_n = n \left(\frac{H_n}{H} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Równanie to może mieć zastosowanie przy zachowaniu powyższych warunków do obliczenia nominalnej liczby obrotów n_n .

4.2. Błąd pomiaru. Przy zachowaniu warunków normy można przyjąć, że średni całkowity błąd przy obliczaniu wartości η_t powinien być zawarty w granicach między $\pm 1\%$ i $\pm 2\%$. Wielkość spodziewanego sumarycznego błędu z pomiarów powinna być określona w umowie z uwzględnieniem przewidzianych metod pomiarowych. Przy porównywaniu wyników prób odbiorczych z wielkościami gwarantowanymi, należy uwzględnić stopień niepewności pomiarów (błędu) η_t . Wartość przypuszczalnego błędu ustala się przy określaniu η_t oceną przypuszczalnego błędu pomiaru każdej mierzonej wielkości.

Błędy pomiarów należy obliczyć dopiero po zebraniu wszystkich wyników pomiarów. Odnoszą się one tylko do pomiarów, a nie do efektów pracy turbiny.

4.3. Porównanie z wielkościami gwarancyjnymi

4.3.1. Zasady ogólne. W przypadku elektrowni o zmiennych spadach, gwarancje dotyczące N i η_t ustala się wielokrotnie dla kilku spadów H_n .

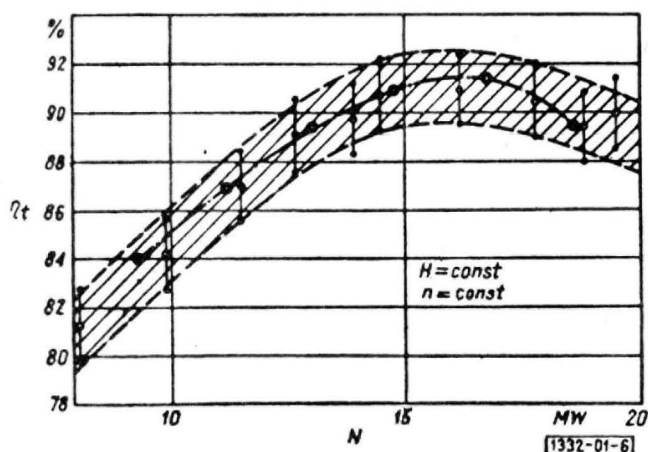
W takim przypadku krzywa gwarancyjna dla średniego spadu prób H_{sr} może być wyznaczona przez interpolację. Umożliwia to zaniechanie dobierania liczby obrotów n_n do różnych spadów użytecznych H co upraszcza i ułatwia przeprowadzenie prób odbiorczych.

4.3.2. Sprawność turbiny (η_t) pomierzoną przedstawia się w funkcji mocy turbiny N odniesioną do spadu nominalnego (gwarantowanego) lub spadu średniego H_g .

Sposób wyrażenia tej zależności podano na rys. 6.

Dla każdego punktu pomiarowego rysowuje się na wykresie odcinek pionowy (w celu uwzględnienia błędu pomiaru). Końce górne i dolne odcinków pionowych łączy się między sobą linią ciągłą. W ten sposób powstaje pasmo wykresu sprawności turbiny. Wszystkie punkty sprawności znajdujące się wewnątrz pasma zachowują ważność.

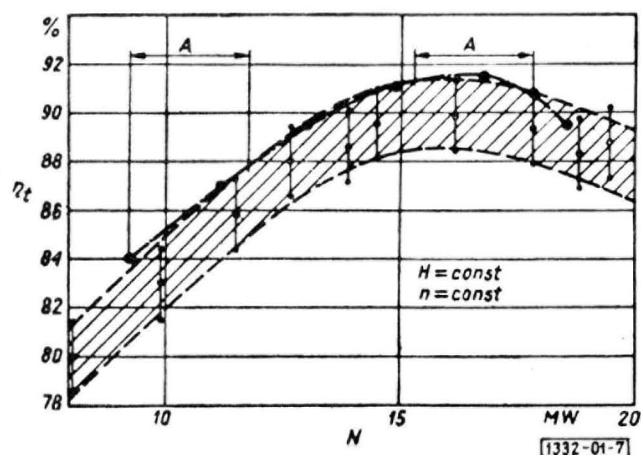
Jeżeli krzywa sprawności tak pomierzona tworzy pasmo, w którym krzywa gwarancyjna w całości jest zawarta wewnątrz pasma to dla tego spad gwarancję uważa się za spełnioną.



Rys. 6. Porównanie wartości pomierzonych z gwarantowanymi. Krzywa gwarancyjna znajduje się wewnątrz pasma błędu pomiaru

Jeżeli krzywa sprawności gwarantowanych w całości lub częściowo znajduje się powyżej górnej linii pasma sprawności pomierzonych, gwarancja w tych strefach nie została spełniona.

Warianty spełnienia warunków gwarancyjnych w odniesieniu do sprawności turbiny przedstawia rys. 7 i 8.

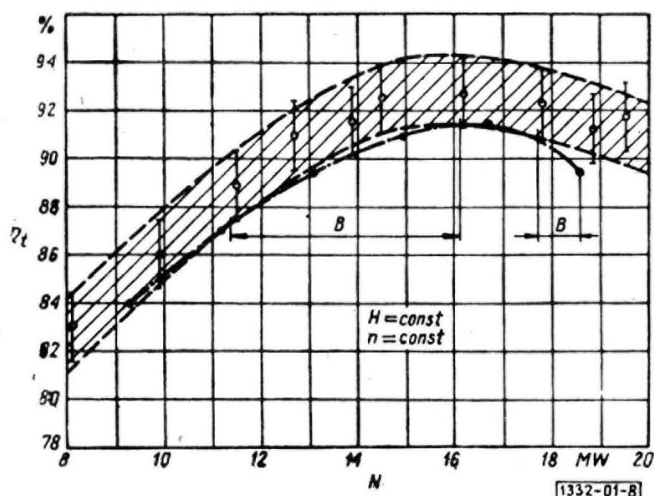


Rys. 7. Porównanie wartości pomierzonych z gwarantowanymi. Krzywa gwarancyjna znajduje się częściowo powyżej pasma błędu pomiaru (A)

Tę samą zasadę stosuje się w przypadku gdy sprawność jest gwarantowana w funkcji przepływu.

Wszystkie punkty pomiaru, które znajdują się poza pasmem sprawności należy uznać za nieważne.

Jeżeli jedna czwarta punktów z pomiaru jest nieważna, całość pomiarów jest nieważna, gdyż nie spełnia warunków dokładności prób określonych niniejszą normą.



Rys. 8. Porównanie wartości pomierzonych z gwarantowanymi. Krzywa gwarancyjna znajduje się częściowo poniżej pasma błędu pomiaru (B)

4.3.3. Sprawdzenie rozrzutu punktów pomiarów przez sprawdzenie wartości przepływu Q i mocy N do stałego spadku użytecznego H w funkcji otwarcia kierownicy. Należy wyrazić moc w funkcji przepływu. W tym celu wykreśla się linie przedstawiające średnie wartości uzyskane z różnych pomiarów i porównuje się przebiegi trzech krzywych wyrażających następujące zależności $Q = f_1(a_0)$, $N = f_2(a_0)$ i $N = f_3(Q)$, korygując je aż do pełnej zgodności między nimi.

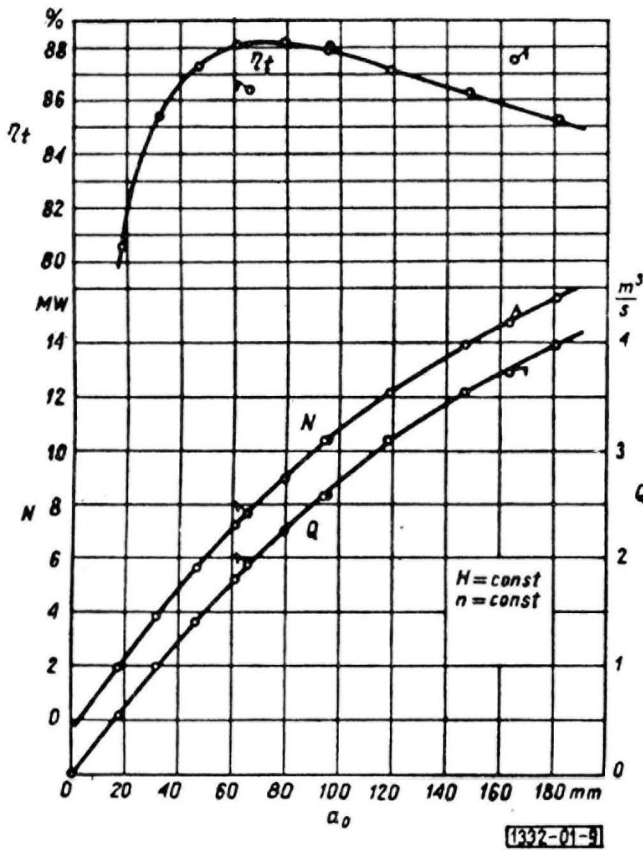
Ze wzoru wg 4.1. oblicza się sprawność dla poszczególnych punktów wzdłuż tych krzywych wyjściowych a następnie wykreśla się krzywą sprawności w funkcji mocy.

4.4. Tolerancja poszczególnych pomiarów

4.4.1. Przepływ

	błąd pomiaru e_Q
a) pomiar młynkami	
— w kanałach otwartych	$\pm 1,5\%$
— w przewodach wlotowych do turbin oraz w przewodach rurowych o średnicy od 1,20 m do 1,50 m	$\pm 1,2\%$
— w przewodach o średnicy powyżej 1,50 m	$\pm 1,0\%$
b) pomiar na przelewie bez bocznej kontrakcji	$\pm 1,5\%$
c) pomiar zbiornikiem	$\pm 0,3\%$
d) pomiar metodą ciśnienie-czas	$\pm 1,0\%$

- e) metoda roztworu soli $\pm 1,0\%$
 f) metoda rozpuszczalnika w przewodzie $\pm 1,5\%$



Rys. 9. Krzywe otrzymane na podstawie pomiarów w funkcji otwarcia kierownicy a_0

4.4.2. Zwierciadło wody. Pomiar różnych poziomów h (w m) między dwoma swobodnymi zwierciadłami wody (nie dotyczy przelewów):

- | | | |
|--|---|----------------------|
| a) pomiar za pomocą igły,
pływaką,
sprężonego
powietrza | } | błąd e_H |
| | | $\pm \frac{1}{h} \%$ |
| b) pomiar płytą,
łatą | } | $\pm \frac{5}{h} \%$ |

4.4.3. Ciśnienie

- | | |
|---|------------------------|
| a) manometr z ciężarem | błąd e_p |
| b) manometr rtęciowy (h w m) | $\pm 0,1 \%$ |
| c) manometr sprężynowy, wzorcowany na miejscu | $\pm \frac{0,1}{h} \%$ |
| | $\pm 0,5 \%$ |

4.4.4. Moc

- | | |
|---|--------------|
| a) pomiar momentu i prędkości obrotowej | błąd e_N |
| b) pomiar mocy na zaciskach prądnicy | $\pm 1,0 \%$ |
| — prądnicy prądu stałego | $\pm 1,0 \%$ |
| — prądnicy prądu zmiennego | $\pm 0,8 \%$ |

Zależnie od metody pomiaru strat w prądnicy i w przypadku pomiaru bocznikami dla dużych natężeń prądu (przy prądzie stałym) e_N może być większe.

4.4.5. Spad. Możliwy błąd e_H oblicza się z dużym przybliżeniem wychodząc z przypuszczalnego błędu pomiaru poziomu e_h , przypuszczalnego błędu ciśnienia e_p i ciężaru właściwego γ , wg wzoru

$$e_H = \frac{(e_h \cdot h) + (e_p \cdot \frac{p}{\gamma})}{h + \frac{p}{\gamma}}$$

4.4.6. Sprawność. Przypuszczalny błąd określenia sprawności e_η ustala się wychodząc z przypuszczalnych wielkości błędów pomiarów indywidualnych:

$$e_\eta = \pm \sqrt{e_{Q^2} + e_{H^2} + e_{N^2}}$$

Dla starannie przeprowadzonych pomiarów w normalnych warunkach przypuszczalny błąd pomiaru sprawności turbiny η_t może być utrzymany w granicach od $\pm 1,0\%$ do $2,0\%$.

Dla spadów powyżej 150 m błąd pomiaru przy określaniu sprawności metodą termodynamiczną nie powinien być większy od $e = \pm 1,5\%$.

4.4.7. Liczba obrotów

- | | |
|--|---------------|
| a) obrotomierz wzorcowany | błąd e_n |
| b) obrotomierz elektryczny samorejestrujący precyzyjny | $\pm 0,25 \%$ |
| | $\pm 0,1 \%$ |

5. SPRAWOZDANIE KOŃCOWE

5.1. Przygotowanie sprawozdania. Sprawozdanie końcowe sporządza kierownik pomiarów. Sprawozdanie sporządzone w postaci projektu, przedstawia się do akceptacji nabywcy i dostawcy turbiny w celu uzyskania zgody obu stron odnośnie przeprowadzonych pomiarów, obliczeń i otrzymanych wyników z badań. Różnice zdań dotyczące poszczególnych punktów powinny być uzgodnione między obu stronami mającymi w tym przypadku jednakowe uprawnienia.

5.2. Treść sprawozdania końcowego. Sprawozdanie końcowe powinno zawierać następujące dane:

- cel pomiarów i prób,
- odpisy wszystkich uzgodnień dotyczących prób,
- spis personelu biorącego udział w pomiarach,
- opis badanej jednostki turbinowej i szczegóły dotyczące jej pracy oraz obciążeń którym była poddana do chwili rozpoczęcia pomiarów i prób,
- odpis danych fabrycznych z tabliczki znamionowej turbiny oraz sprawności i mocy gwarantowanych w umowie,
- opis przyrządów stosowanych w pomiarach i przeprowadzonych wzorcowania,

— opis dotyczący przyrządów do pomiaru mocy, spadu i przelików,

— opis metod stosowanych w czasie pomiarów i prób,

— przykład obliczeń, co najmniej jednego pomiaru pojedynczego z wymienieniem wszystkich szczegółów poczynając od danych wyjściowych do wyników końcowych,

— codzienne sprawozdania z przebiegu pomiarów i prób,

— wykres z pojedynczej serii pomiarów (wykresy prędkości pomierzonych młynkami; wykresy ciśnienia w funkcji czasu),

— określenie przypuszczalnego błędu pomiarów dla każdej serii pomiarów jak i przypuszczalnego błędu dla wyników ostatecznych otrzymywanych z zestawienia wyników z poszczególnych serii pomiarów; (wszystkie niekorzystne dla pomiarów okoliczności jakie mogły w trakcie ich przeprowadzania zaistnieć powinny być dokładnie przedstawione),

— zestawienie wszystkich serii pomiarów, uwzględniające wyniki obliczeń spadów, przelików oraz wartości odniesione do wielkości podanych w umowie, tj. spadów H_n , sprawności η_a , przeliku Q i mocy turbiny N , jak również wyniki pomiarów mocy elektrycznej i określenia sprawności prądnicy, powinno być wykonane w następującym układzie:

Końcowe wyniki pomiarów

Właściciel (użytkownik)

Elektrownia

Próby sprawności turbiny nr

Wykonane w dniach

przez

od do

Wyznaczanie mocy i sprawności turbiny

Próba nr	Data i godzina	Otwarcie kierow- nicy	Przelik turbiny	Spad użytecz- ny	Moc su- rowa dys- ponowa- na	Moc elektry- czna prąd- nicy (gene- ratora)	Sprawność prądnicy (ge- neratora) lub straty	Moc tur- biny	Spraw- ność tur- biny	Wyniki przy spa- dzie nominalnym H_n	
		a_0	Q	H	N_s	N_{gen}	η_{gen}	N	η_t	przelik	moc turbiny
		mm	m ³ /s	m	kW	kW	%	kW	%	m ³ /s	kW

KONIEC

METODY POMIARÓW PRZĘŁYKU

1. Metoda roztworu soli (ekranu solnego)

1.1. Zasada metody. W metodzie tej wykorzystano zasadę, że rozpuszczona w wodzie sól zwiększa jej przewodność elektryczną, a wprowadzony do rurociągu roztwór soli w postaci chmury, przemieszczający się wraz z wodą płynącą w rurociągu nie miesza się z nią.

Z przejścia chmury roztworu między dwoma układami elektrod oraz z objętości rurociągu między tymi elektrodami wylicza się wielkość przęłyku.

1.2. Przygotowanie roztworu. Roztwór przygotowuje się w otwartym zbiorniku przez stałe mieszanie. Koncentracja roztworu zależy od wymagań przyrządu rejestrującego stężenie od 120 g/l do 3 g/l. Przy stosowaniu tej metody, należy używać filtra zabezpieczającego przed przedostawaniem się nierozpuszczonych grudek soli do przewodów zasilających rurociąg.

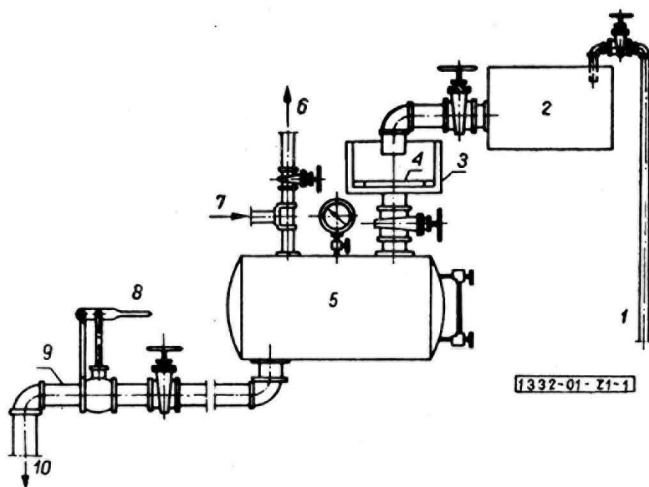
1.3. Wykonanie oznaczania

1.3.1. Przygotowanie do oznaczania. Przed napełnieniem przewodu turbinowego urządzenia służące do wprowadzenia mieszanki powinny być przemyte, wyregulowane i wypróbowane. Głównie należy zwrócić uwagę czy zawory wprowadzające solankę otwierają się jednocześnie i zamykają się dostatecznie szybko. Zawory działające niesprawnie należy wymienić. Należy również sprawdzić izolację elektrod i przewodów elektrycznych.

1.3.2. Przeprowadzenie oznaczania. Roztwór soli wprowadzany jest do przewodu zasilającego turbinę wodą, systemem rurek (jak na rys. Z1-1), zapewniających jego wprowadzenie w postaci wąskiego ekranu ustawionego prostopadle do osi przewodu. Ciśnienie wprowadzanego roztworu powinno być większe o co najmniej 2,5 kG/cm² od ciśnienia panującego w przewodzie. Rurki wprowadzające roztwór do rurociągu turbinowego powinny być w miarę możliwości krótkie i tak ustawione, aby nie zachodziła obawa powstawania poduszek powietrznych.

W przewodzie turbinowym na drodze przepływu solanki ustawia się dwa lub kilka zespołów elektrod.

Pierwszy zespół elektrod powinien być umieszczony w odległości co najmniej 4 średnic przewodu turbinowego (4 maksymalnych wymiarów poprzecznego przekroju przewodu) od płaszczyzny wprowadzenia solanki. Drugi zespół elektrod powinien być umieszczony co najmniej o dalsze 4 średnice rurociągu turbinowego (lub 4 maksymalne wymiary poprzecznego przekroju przewodu) od pierwszego zespołu elektrod lecz nie więcej niż 15 m. Odcinek przewodu od płaszczyzny wprowadzania solanki aż do miejsca ustawienia drugiego zespołu elektrod powinien mieć stałą powierzchnię przekroju (niezmienną średnicę) lub być odcinkiem,



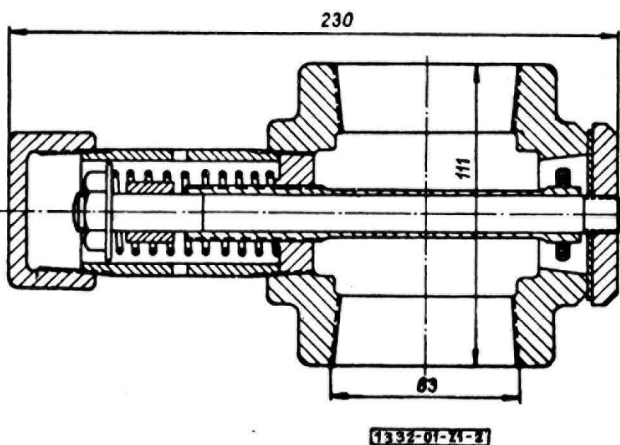
Rys. Z1-1. Układ zbiorników i przewodów do roztworu soli stosowany w metodzie ekranu solnego

1 — doprowadzenie wody, 2 — pudło drewniane, 3 — zbiornik mieszanki, 4 — filtr, 5 — zbiornik ciśnieniowy, 6 — połączenie z atmosferą, 7 — doprowadzenie powietrza, 8 — szybko działający zawór odcinający, 9 — króciec, 10 — przewód doprowadzający roztwór do zaworu wstrzykującego

w którym poprzeczne przekroje zmieniają się w sposób ciągły. Jeżeli jednak na odcinku wybranym znajdują się łuki (zagięcia) długość ich powinna być uwzględniona przy obliczaniu minimalnych odległości.

W takim przypadku powinien być spełniony dodatkowy warunek umieszczania całkowitej długości łuku w obrębie odcinka pomiarowego.

Zawory na doprowadzeniu solanki powinny mieć sprężyny wytwarzające przeciwcisnienie rzędu 0,36 kG/cm², co pozwoli na dokładne zamykanie zaworów i zabezpiecza przed wyciekaniem roztworu (rys. Z1-2).

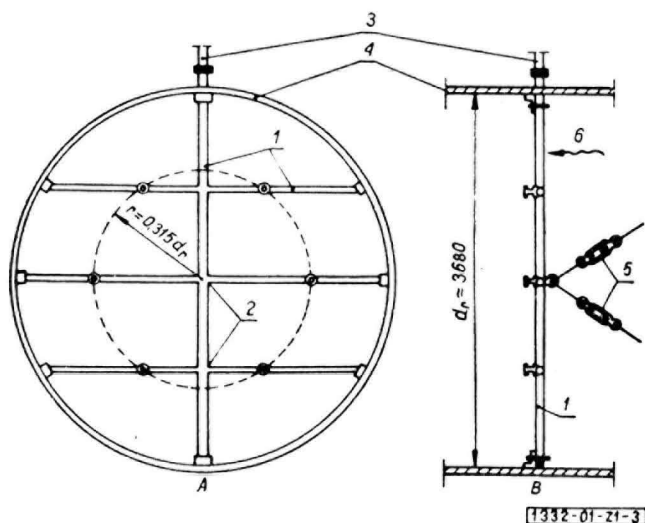


Rys. Z1-2. Przekrój zaworu wprowadzającego roztwór soli

Zawory powinny być rozmieszczone symetrycznie w stosunku do przekroju tak, jak na rys. Z1-3.

Jeden zawór nie powinien obsługiwać więcej niż 2 m² poprzecznego przekroju przewodu turbinowego w pla-

szczyźnie wprowadzania solanki. W jednym przekroju kołowym nie może być mniej niż 4 zawory. Zawory wprowadzające solankę powinny być umieszczone w środku przekroju przewodu w kształcie kwadratu tak, aby zasilaly równe powierzchnie. W przewodach o przekrojach kołowych, w których mają być zainstalowane 4 zawory powinny być one rozmieszczone symetrycznie na okręgu koła o średnicy 0,63 średnicy rurociągu.



Rys. Z1-3. Urządzenie wtryskujące solankę; A — widok od wody dolnej: 1 — układ przewodów wtryskujących, 2 — złącza spawane, 3 — przewód zasilający, 4 — rurociąg zasilający, 5 — rzymskie nakrętki napinające, 6 — kierunek przepływu wody; B — widok wzdłuż osi rurociągu: średnica rurociągu $d_r = 3,65$ m, powierzchnia przekroju rurociągu $F = 10,5$ m², liczba zaworów wtryskujących 6, powierzchnia przekroju przypadająca na jeden zawór 1,75 m²

Po napełnieniu przewodu turbinowego zaleca się przeprowadzenie pomiaru oporności każdej elektrody między prętami (wzajemnej) oraz między elektrodą a ziemią. Ma to na celu upewnienie się czy instalacja działa prawidłowo. Dla odpowiednio dobranego przetyku przeprowadza się zastrzyki próbne z solanką, głównie dla ustalenia właściwej jej gęstości, ciśnienia w zbiorniku, określenia czasu otwarcia zaworów (powinien on wynosić około 1s) napięcia elektrod, czułości przyrządu rejestrującego i zakresu jego wychyleń dla otrzymania odpowiednio wyraźnego i dużego wykresu przepływu solanki.

Dolną granicę prędkości wewnątrz przewodu turbinowego C dla otrzymania dostatecznie dokładnych wyników określa się w m/s, wg wzoru

$$c = 0,2gd_r \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)$$

gdzie:

- g — przyspieszenie ziemskie, m/s²,
- d_r — średnica przewodu turbinowego, m,
- γ_s — ciężar właściwy solanki, kG/cm³,
- γ_w — ciężar właściwy wody, kG/cm³.

Przeście roztworu przez miejsca położenia elektrod i czas przepływu rejestruje się graficznie.

Wartość natężenia przepływu otrzymuje się dzieląc objętość przewodu zawartą pomiędzy płaszczyznami elektrod przez czas przejścia masy roztworu soli (czas średni) między elektrodami. Natężenie przepływu powinno być mierzone metodą różnicową (między dwoma płaszczyznami elektrod). Pomiar natężenia przepływu wykorzystujący objętość zawartą między przekrojem w którym wprowadza się roztwór soli oraz jedną płaszczyzną elektrod może być zastosowany w przypadku zawarcia takiego porozumienia między stronami.

Przekroje poprzeczne przewodu turbinowego i odległość między płaszczyznami elektrod należy pomierzyć z dokładnością umożliwiającą określenie objętości wyćinka z błędem nie większym niż 0,2%. Do tego celu nie mogą być wykorzystywane rysunki techniczne. Mogą one jedynie posłużyć do weryfikacji dokonanych obmiarów na istniejących przewodach.

Do ustalenia dokładnego czasu można użyć zegarów elektrycznych lub sprężynowych, które w czasie trwania prób powinny być w sposób ciągły wzorcowane, przy czym wskazania nie mogą być obarczone większym błędem niż 0,05%.

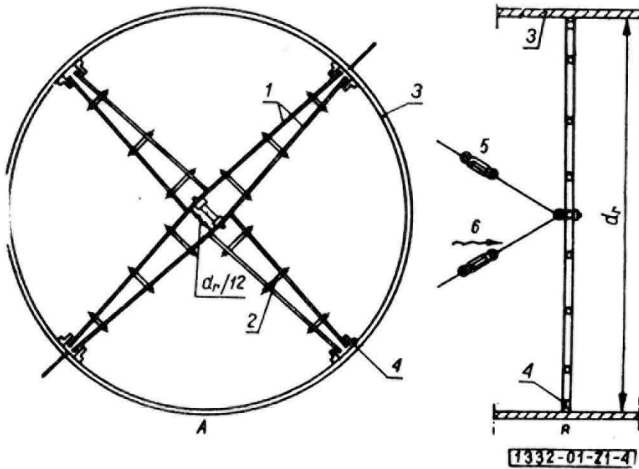
Czas przejścia solanki między dwoma zespołami elektrod w przypadku użycia konwencjonalnych przyrządów rejestrujących, nie może być przy maksymalnym przetyku krótszy od 9 sekund. Przy zastosowaniu oscylografów krótsze czasy są dopuszczalne po uzgodnieniu stron zainteresowanych.

1.3.3. Elektrody powinny dawać w przybliżeniu takie same przewodności dla takich samych powierzchni przekroju przewodu zasilającego. W przewodzie kołowym lub prostokątnym można to osiągnąć dzieląc przekrój na równe części i umieszczać w ich środkach elektrody.

Elektrody mogą być dwóch typów, równoległe lub wygięte i powinny obejmować cały przekrój pomiarowy. W przekrojach prostokątnych mogą być stosowane wyłącznie elektrody równoległe. Należy je umieszczać w środku każdego jednakowego co do rozmiarów pasma przekroju w liczbie 9 lub 11 (liczba nieparzysta jest wskazana).

W przewodach o przekroju kołowym, elektrody równoległe składające się ze zwykłych prętów mogą być stosowane z tym, że powinny być również umieszczone w środku każdego pasma o jednakowej powierzchni. Zaleca się stosowanie nieparzystej liczby elektrod. Można stosować również elektrody zbieżne jak na rys. Z1-4, tworzące w rzeczywistości dwa ramiona przecinające się pod kątem prostym. W danym przypadku rozstęp między elektrodami ustala się tak, aby ich przewodności w przybliżeniu były jednakowe dla przekrojów pierścieni o tej samej powierzchni. Dla każdego przekroju pomiarowego należy stosować po dwa zespoły elektrod, z których każda składa się z pary prętów.

W środku przewodu odstęp między prętami powinien wynosić $1/12$ średnicy przewodu. Odstęp ten zmniejsza się liniowo od środka przewodu w kierunku jego ścianki i w sąsiedztwie jej nie może być on mniejszy niż $1/100$ wewnętrznej średnicy przewodu. Końce elektrod nie powinny znajdować się bliżej od ścianki przewodu niż $1/100$ jego średnicy wewnętrznej.



Rys. Z1-4. Układ elektrod; A — widok od wody górnej: 1 — elektrody, 2 — usztywnienie z materiału izolującego, 3 — przewód zasilający, 4 — wsporniki z materiału izolującego, 5 — izolatory, 6 — linki napinające, 7 — kierunek przepływu wody; d_r — średnica rurociągu (pomierzona), B — widok z przekroju X-X

Ramową konstrukcję elektrod należy wykonać tak, aby wytrzymała napór wody i drgania. Dla zabezpieczenia konstrukcji przed jej złusowaniem stosuje się od strony górnej cięgna napinające. Elektrody należy dobrze odizolować od siebie i ścianek przewodu materiałami izolującymi o dużej wytrzymałości mechanicznej i odpowiednio wysokiej oporności elektrycznej.

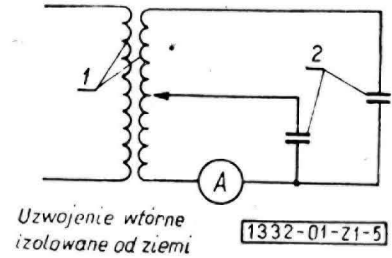
Wszystkie powierzchnie elementów konstrukcji oprócz samych elektrod należy pokryć farbą izolacyjną łącznie z końcami i powierzchniami zewnętrznymi samych elektrod. Tak samo należy pokryć lakierem izolacyjnym cięgna, wsporniki elektrod i ściany przewodu w odległości 1 m od elektrod.

Połączenia między elektrycznym układem pomiarowym a elektrodami powinny być możliwie krótkie. Wszystkie przewody elektryczne znajdujące się wewnątrz rurociągu turbinowego powinny być dobrze izolowane i pewnie przymocowane. Najlepiej jest do tych celów stosować przewody kabelkowe. Pręty elektrod łączy się na przemian równolegle do przyrządu rejestrującego, którym może być amperomierz lub oscylograf zgodnie z rys. Z1-5 i Z1-6.

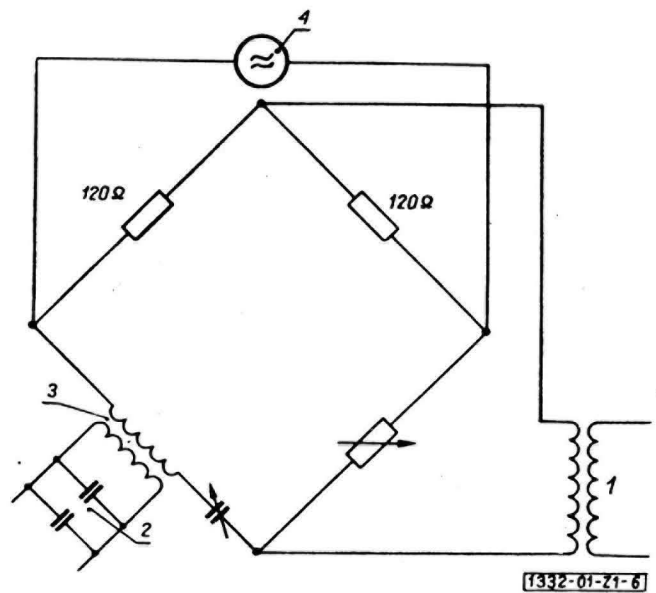
W obu przypadkach zaleca się izolowanie obu części układu elektrycznego od ziemi.

Okres tłumienia przyrządu rejestrującego nie powinien być dłuższy od 1,5s lub $1/5$ czasu przejścia roztworu, przy czym podany okres tłumienia odnosi się do najkrótszego okresu czasu przejścia. Zaleca się stosowanie oscylografów piszących lub o rejestracji fotograficznej

a to dlatego, że umożliwiają one stosowanie niskoprocentowej solanki a ich okres drgań naturalnych nie tłumionych jest bardzo niski.



Rys. Z1-5. Obwód z amperomierzem rejestrującym A — amperomierz rejestrujący, 1 — transformator, 2 — elektrody

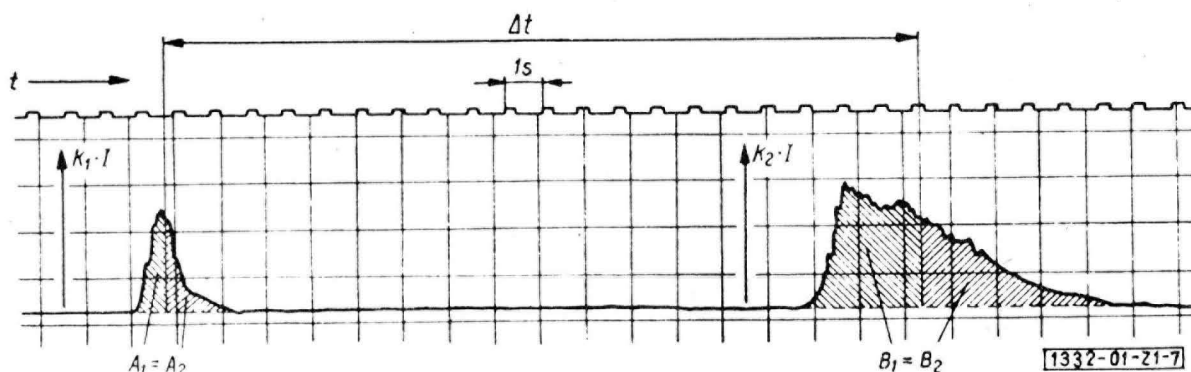


Rys. Z1-6. Obwód z oscylografem rejestrującym 1 — oscylator 2500 Hz, 2 — elektrody równoległe, 3 — przekładnik o impedancji w uzwojeniu pierwotnym 120 Ω, a we wtórnym zmiennej 50, 25 i 10 Ω, 4 — oscylograf

1.4. Wynik. Każda próba powinna składać się co najmniej z 5 zastrzyków solanki, a do obliczenia przełyku wykorzystuje się średni czas przepływu wyliczony z 5 pojedynczych czasów obserwacji.

Wielkość przełyku jest określana w ten sposób, że dzieli się objętość odcinka przewodu turbinowego zawartego między zespołami elektrod przez średni czas przepływu solanki. Wykres rejestracji przejścia solanki przez płaszczyznę każdego zespołu elektrod powinien być rysowany w prostokątny układ współrzędnych czas — natężenie prądu jak na rys. Z1-7.

Do analizy jest wykorzystywana tylko część wykresu leżąca powyżej natężenia prądu przepływającego przez obwód rejestrujący przed rozpoczęciem pomiaru. Czas średni przejścia solanki mierzy się w sekundach między środkami ciężkości obu powierzchni otrzymanych w każdym pomiarze wykorzystując przy tym podstawę czasu przyrządu rejestrującego.



Rys. Z1-7. Typowa krzywa z pomiaru za pomocą roztworu soli; Δt — czas przejścia mierzony między środkami ciężkości pól (zakreskowanych), K_1, K_2 — podziałki, A_1, A_2, B_1, B_2 — połowy powierzchni impulsów

Jeśli krzywe nie są wykreślone w układzie współrzędnych prostokątnych przed ustaleniem środka ciężkości należy je do takiego układu sprowadzić.

2. Metoda ciśnienie — czas (Gibsona)

2.1. Zasada metody. Metoda ta opiera się na prawach Newtona dotyczących ilości ruchu i zachowania energii.

Na podstawie tych zasad ustala się związek zachodzący między zmianą ciśnienia i prędkością masy wody będących funkcją powstających w czasie zmian ruchu fal ciśnienia.

Wynik otrzymuje się na podstawie wykresu ciśnienie-czas (prostego lub różnicowego):

a) Wykresy proste powstają przez zapis zmian ciśnienia między płaszczyzną pomiaru ciśnienia a przekrojem wlotowym do turbiny lub też pierwszym przekrojem swobodnym. Na zmiany ciśnienia oddziałują wszystkie zmiany poziomu wody na doprowadzeniu, komorze wyrównawczej a także w innych urządzeniach jeżeli są takie, w których występuje swobodne zwierciadło wody z uwzględnieniem także zmiany ciśnienia na skutek strat tarcia i zmiany kierunku przepływu w przekroju przewodów itp. (zmiana momentu ilości ruchu).

b) Wykresy różnicowe powstają w wyniku obserwacji ciśnienia między dwoma przekrojami pomiaru ciśnienia bezpośrednich punktów o swobodnym zwierciadle wody a zmiany ciśnienia powstają wyłącznie na skutek strat tarcia, zmian kierunku przepływu przekroju przewodów itp. (zmiana momentu ilości ruchu). W ten sposób eliminuje się wpływ tarcia w przewodzie i zmian poziomów wody na doprowadzeniu i komorze wyrównawczej jeżeli istnieją poza odcinkiem obserwowanym.

2.2. Warunki stosowania metody

a) W przewodach o przekroju kołowym odległość między przekrojami pomiarowymi nie może być mniejsza niż 9 m lub co najmniej 2 średnice przewodu. (W danym przypadku decyduje większa odległość). Iloczyn $L \cdot c_a$ nie może być mniejszy od $18,6 \text{ m}^2/\text{s}$ gdzie c_a oznacza średnią prędkość przepływu wody w przekroju

pomiarowym w m/s przy pracy turbiny pod pełnym obciążeniem a L jest długością odcinka przewodu wykorzystywanego w pomiarach.

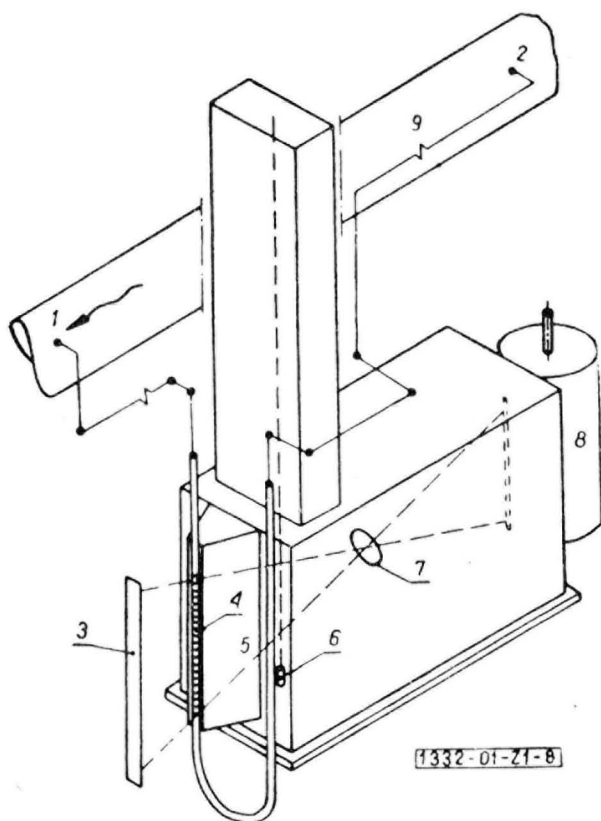
b) W przewodach o przekroju prostokątnym, takich jak wielodzielne wloty turbinowe lub wloty do spiral, odległość między dwoma przekrojami pomiarowymi dla metody różnicowej nie powinna być mniejsza niż 18 m, lub dwa razy większa od największego wymiaru przekroju poprzecznego (decyduje wymiar większy). Iloczyn $L \cdot c_a$ nie może być mniejszy od wartości $37,2 \text{ m}^2/\text{s}$ gdzie c_a jest prędkością średnią w m/s przy pracy turbiny pod pełnym obciążeniem a L długością przewodu objętego pomiarami w m.

We wlotach wielokrotnych (dzielonych) wykresy ciśnienie-czas są identyczne i wykreśla się jednocześnie dla każdego poszczególnego przekroju.

c) Ubytki wody przez kierownicę lub inny element instalacji turbinowej powinny być mierzone osobno przy zamkniętej kierownicy. Ubytki wody w czasie pomiarów nie powinny przekraczać 5% przepływu nominalnego i należy je określać z dokładnością 0,2% całkowitego przepływu.

d) Powierzchnie przekrojów badanych oraz odległości od tych przekrojów dla określenia wielkości f (stała przewodu) należy mierzyć bezpośrednio na przewodzie z dokładnością 0,2%. Rysunki techniczne mogą być wykorzystane tylko do sprawdzenia obmiarów.

e) Do pomiaru ciśnienia wykonywanego w przekroju pomiarowym o dwu punktach, należy używać rurek o średnicach wewnętrznych co najmniej 9 mm. Umieszcza się je w przekroju pomiarowym naprzeciw siebie i łączy się odpowiednim przewodem. Od przewodu wychodzącego z poszczególnego przekroju prowadzi się z kolei przewody do obu końców rurki o kształcie litery U (manometru Gibsona, którego schemat pokazano na rys. Z1-8). W przewodach o przekroju kołowym punkty pomiaru ciśnienia umieszcza się pod kątem 45° do osi poziomej przewodu turbinowego i łączy się je odpowiednim przewodem łączącym. W przewodach turbinowych prostokątnych, punkty pomiarowe umieszcza się na ścianach pionowych.



Rys. Z1-8. Schemat przyrządu Gibsona

1 — sonda ciśnienia dolnej wody, 2 — sonda ciśnienia górnej wody, 3 — źródło światła, 4 — rurka szklana manometru, 5 — rurka nierdzewna manometru, 6 — wahadło, 7 — soczewka, 8 — taśma papierowa światłoczuła nawinięta na bęben, 9 — rurociąg (turbiny)

f) Wszystkie punkty pomiaru ciśnienia należy łączyć z oddzielnym zaworem, umożliwiającym niezależny pomiar ciśnienia dla każdego punktu z osobna. Ściany przewodu turbinowego w pobliżu otworów pomiarowych muszą być gładkie i równoległe do strug przepływającej wody, co najmniej na długości 450 mm powyżej i 150 mm poniżej punktu pomiarowego. Otwory pomiarowe o średnicy nie mniejszej niż 9 mm należy wykonać starannie bez występow i ostrych krawędzi, najlepiej jest zaokrąglić je promieniem 1,5 mm lub lekko ścieć ostre krawędzie. Rurka piezometryczna do pomiaru ciśnienia nie może wystawać z otworu do wewnątrz a jej oś musi być prostopadła do ściany przewodu i mieć niezmienną średnicę co najmniej na podwójnej długości w stosunku do wymiaru otworu.

g) Wszystkie połączenia muszą być szczelne a przewody pomiarowe przepłukane i sprawdzone przed rozpoczęciem pomiarów. Odczyty na piezometrach sprawdza się przed i po pomiarach porównując je z pomiarami wody podczas postoju turbiny (woda w przewodzie turbinowym nie może płynąć). Jeżeli jakiś punkt pomiarowy w trakcie pomiarów daje wyniki nieprawidłowe wskazując ciśnienie inne od ciśnienia początkowego, odpowiadającego pierwotnemu poziomowi wody zmniejszonemu o straty hydrauliczne w przewodzie, należy odszukać przyczynę błędnych wskazań i usunąć ją lub dany punkt pomiarowy wyeliminować.

h) Dla uzyskania odpowiedniej dokładności wykresu ciśnień Gibsona, rozkłady prędkości w przewodzie turbinowym, długość prostoliniowego odcinka tego przewodu oraz wskazania ciśnień w otworach pomiarowych powinny być takie, aby w żadnym z punktów pomiarowych odczyty nie różniły się pomiędzy sobą więcej niż 20% wartości kinetycznej słupa wody w stosunku do średniej wartości odczytów punktów pomiarowych w danym przekroju.

Średnia odczytów pary punktów leżących na przeciw siebie nie może różnić się od pozostałej pary więcej niż 10% wartości wysokości kinetycznej.

2.3. Wykonanie pomiaru. Dane do wykresu uzyskuje się przez stopniowe zamykanie kierownicy (iglicy) ruchem ciągłym rejestrując graficznie zmienność ciśnienia na taśmie przyrządu Gibsona.

Przyrząd (rys. Z1-8) fotografuje na taśmie światłoczułej przesuwającej się ruchem jednostajnym, wychylenia wywołane zmianą ciśnienia górnego menisku słupa rtęci w manometrze w kształcie litery U. Postępowanie przy odtwarzaniu wykresu jest następujące.

Najpierw wykreśla się linię AA, zwaną linią działania, przedstawiającą na wykresie poziom menisku rtęci w szklanej rurce przyrządu w warunkach pracy przed rozpoczęciem zamykania kierownicy. Jeżeli położenie menisku nie jest stałe, linię AA wyznacza się jako średnią z maksymalnych i minimalnych położenia menisku. Wykreśla się również linię F, zwaną linią statyczną, rozpoczynającą się w punkcie odpowiadającym położeniu menisku rtęci w rurce szklanej przyrządu, w stanie ustalonym po zamknięciu kierownicy. Zwykle linia ta pokrywa się z linią odpowiadającą średniej wahań przebiegu PP. Linię średnią otrzymuje się po wykreśleniu obwiedni — krzywych GG i HH i wyznaczając ich oś. Linię pionową KM, oznaczającą koniec wykresu ustala się następująco:

a) mierzy się odległość poziomo wzdłuż linii statycznej, poczynawszy od jej przecięcia się w punkcie V z narastającą gałęzią krzywej pierwszej oscylacji po rozpoczęciu zamykania kierownicy aż do jej przecięcia się w punkcie R z opadającą częścią tej krzywej,

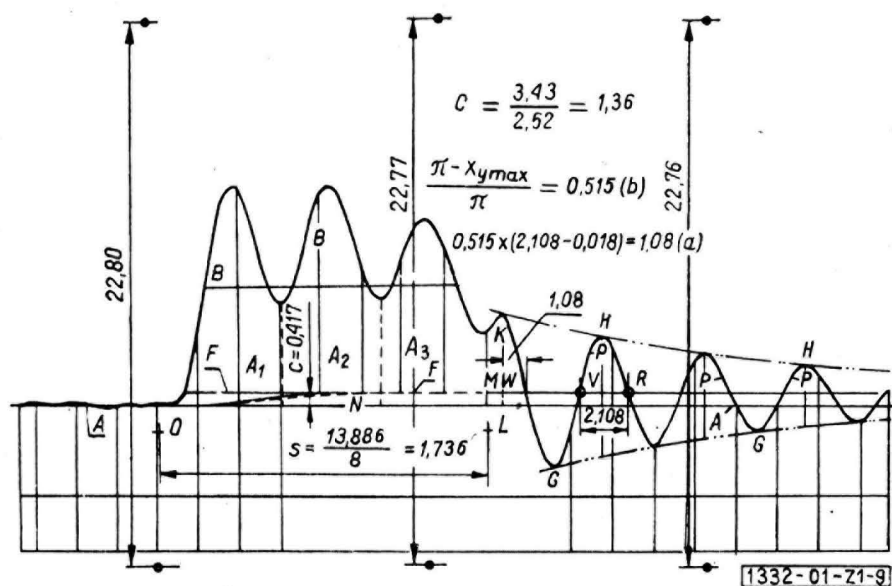
b) od pomierzonej wielkości odejmuje się korektę szczelinową,

c) następnie dokonuje się pomiaru wysokości amplitud dwóch sąsiadujących oscylacji, powyżej linii statycznej i oblicza się stosunek c wysokości (amplitud) oscylacji jak na rys. Z1-9.

d) wyznacza się wielkości $\frac{\pi - X_y}{\pi}$ tak, jak na rys. Z1-10,

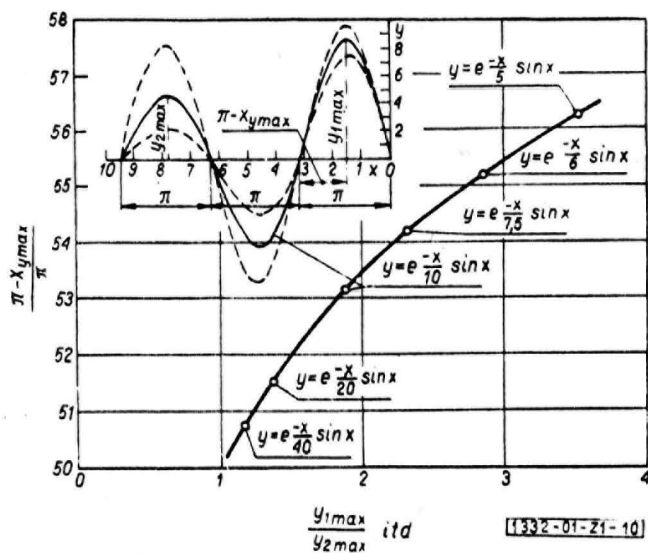
a następnie mnoży się tę wartość przez wielkość otrzymaną w b).

Wartości otrzymane w punktach a), b) i c) podane są na rys. Z1-9. Tak otrzymaną odległość odkłada się na linii statycznej poczynawszy od punktu W, w którym linia statyczna przecina się z opadającą częścią wykresu, co ma miejsce przy zamykaniu kierownicy



Rys. Z1-9. Przykład wykresu ciśnienie-czas

a — wartość do określenia granicy wykresu, b — rząd harmonicznej (patrz rys. Z1-10), c — stosunek między wysokościami fali



Rys. Z1-10. Analiza fal harmonicznich tłumionych. Krzywa uwidaczniająca poziomą odległość między punktem przecięcia a linią pionową przechodzącą przez wierzchołek fali ($\pi - X_{y_{max}}$).

aż do pewnego punktu M . Po wykonaniu opisanych czynności wykreśla się pionową linię MK . Ta linia wyznacza koniec wykresu.

Uwzględnienie strat ciśnienia i wyznaczenie wysokości dynamicznej na wykresie otrzymuje się, dzieląc wykres na kilka części a następnie metodą „kroczków” wyznacza się wielkości zmiany strat i wysokości kinetyczne w trakcie zamykania kierownicy. W każdej chwili zamykania kierownicy, stosunek dowolnej części powierzchni wykresu netto od jego początku do całej powierzchni netto równa się stosunkowi prędkości zmniejszonej w tej chwili do prędkości początkowej.

Wykres dzieli się na małe powierzchnie elementarne A_1, A_2, A_3 itp. Wykreśla się również oś próbną ONM oznaczoną na rys. Z1-9 linią kreskowaną. Każda z tych powierzchni elementarnych powyżej linii ONM jest

planimetrowana. Każda z tych powierzchni pozwala określić korekcję szczelinową.

Tablica Z1-1 ilustruje jak należy przeprowadzać pomiary i obliczenia wykresu w systematyczny sposób:

a) wielkości umieszczone na początku tablicy mają charakter objaśniający i nie wymagają wyjaśnień,

b) pierwsze pięć kolumn tablicy oznaczają:

kolumna 1-symbole określające elementarne powierzchnie A_1, A_2, A_3 itp.,

kolumna 2-wysokość każdej pionowej elementarnej powierzchni pomnożona przez jej szerokość rzeczywistą (szczelinę) daje korekcję szczelinową.

Można skonstruować podziałkę umożliwiającą bezpośrednie odczytywanie powierzchni korekcji szczelinowej; w takim przypadku u góry kolumny słowa „wysokość dla” można opuścić,

kolumna 3-odczyt z planimetrowania każdej elementarnej powierzchni.

Otrzymuje się dostatecznie dokładne pomiary powierzchni stosując planimetr o dokładności $1/4000$. Planimetr ten może być nastawiony w podziałkę $1/2$. Wówczas wykonuje się dwa niezależne pomiary powierzchni w celu wyeliminowania błędów przypadkowych i utrzymania żądanej dokładności. Suma różnic między dwoma niezależnymi pomiarami, po pierwszym uregulowaniu, daje średnią obu pomiarów powierzchni,

kolumna 4-różnica odczytów planimetru,

kolumna 5-średnia powierzchnia każdego odcinka wykresu i korekcja szczelinowa, którą jak już wspomniano odejmuje się dla otrzymania powierzchni netto,

c) sumaryczne wartości kolumny 6 otrzymuje się sumując kolejno powierzchnie netto podane w kolum-

nie 5. Po dodaniu ostatniej cząstkowej powierzchni wynik jest powierzchnią netto wykresu ponad założoną linię odtworzenia. W pierwszej próbie nie ma potrzeby sprawdzania sum powierzchni małych, pomiarem całej powierzchni. Dopiero po wykonaniu przeliczeń i wykreśleniu ostatecznej linii odtworzenia (odzysku), mierzy się planimetrem całą powierzchnię wykresu.

Pomiary sprawności metodą Gibsona

Fabryka Turbina nr Data

Użytkownik Próba nr

Przyrząd nr Manometr nr Kolumna nr $K =$

Współczynnik przewodności $f =$ Strata szczelinowa $q =$ m^3/s

$$A_L = \frac{qfS}{K} = \dots\dots\dots \text{m}^2$$

Skala wykresu ciśnienie-czas: Pionowa 1 mm = m

Pozioma $s =$ m

$b_y + b_r$ $c =$ m

szerokość dla korekcji szczelinowej = mm

Tablica Z1-1. Tablica pomocnicza do zapisywania wyników i obliczeń przy próbie sprawności metodą ciśnienie-czas

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Części krzywej		Pomiary planimetrem				Wyznaczenie linii odzysku		
Numer pomiaru	Wysokość dla korekcji szczelinowej			Powierzchnia częściowa (korekcja szczelinowa)	Suma			
		Odczyty	Różnice	Powierzchnia netto	A	r	$(1-r)$	$(1-r)^2 \times C$
A_1								
A_2								
A_3								
A_4								
A_5								
A_6								
A_7						... = A_T		
						... = A_L		
						... = $A_T + A_L$		
Powierzchnia całkowita					$\times$ Korekcja papieru — = .. $\text{m}^2 = A$			

$$Q = \frac{KA}{FS} = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{ucieczki } q = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{całkowite } Q = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{s}$$

Część brutto powierzchni wykresu otrzymana przez odtworzenie strat spad i wysokości kinetycznej musi być wyeliminowana przyjmując, że wartość szcztkowa strat spad i wysokości kinetycznej jest równa:

$$h(1-r)^2$$

gdzie:

$$r = \frac{a}{A_T + A_L},$$

h — suma strat spad i wysokości kinetycznych zarejestrowanych na wykresie ciśnienie-czas,

a — powierzchnia netto wykresu pomierzona aż do danej elementarnej powierzchni x
($a = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_x$)

A_T — powierzchnia netto całkowita wykresu dla wszystkich powierzchni elementarnych do x
 $A_T = \sum (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_x)$

A_L — powierzchnia wykresu odpowiadająca przeciekowi wody

$$A_L = \frac{qfS}{k}$$

q — objętość sekundowa przecieków przez urządzenia zamykające wlot do turbiny wykorzystane dla podwyższenia ciśnienia w m^3/s ,

f — stała przewodu nazywana współczynnikiem przewodu; jeżeli przewód ma stały przekrój,

$$\text{to } f = \frac{L}{F},$$

L — odległość w metrach obu płaszczyzn pomiarowych ciśnienia dla wykresów różnicowych, mierzona w osi przewodu,

F — powierzchnia przekroju przewodu, m^2 ,

k — $\frac{g}{y}$ — stała przyrządu pomiarowego,

g — przyspieszenie ziemskie uwzględniające szerokość geograficzną i wysokość ponad poziomem morza miejsca pomiaru, m/s^2 ,

y — wysokość pionowa w cm na wykresie odpowiadająca 1 m spadku ciśnienia w przewodzie turbinowym (ta stała cechowana jest niezmienna i wynika ze sposobu instalacji układu pomiarowego),

S — stała czasowa wykresu (pozioma długość w cm odpowiadająca 1 s).

Jeżeli wartość h jest mała, co ma miejsce, gdy przekrój pomiarowy górny i dolny są jednakowe a wówczas wartości h , są takie same w obu przekrojach, linia odtworzenia (odzysku) może być wykreślona z dostateczną dokładnością na oko i podział powierzchni wykresu na odcinki elementarne może być opuszczony lub co najmniej ograniczony do sprawdzenia jednego lub dwóch punktów.

2.4. Wyniki pomiarów. Przelyk Q może być wyliczony w m^3/s ze wzoru

$$Q = \frac{k \cdot A_d}{S \cdot f} + q$$

w którym A_d — ostateczna powierzchnia netto wykresu po ustaleniu linii odtworzenia (odzysku) przez planimetrywanie i skorygowana przez szerokość szczeliny i kontrakcji lub dylatacji druku wykresu, m^2 .

Powierzchnia wykresu ciśnienie-czas jest jedynie pomiarem przelyku rzeczywiście zatrzymanego (odciętego). Jeżeli w dalszym ciągu jakaś ilość wody przepływa po zamknięciu kierownicy turbiny lub innego urządzenia odcinającego, należy ją pomierzyć osobno i wprowadzić do obliczeń w celu otrzymania przelyku jaki był w chwili, gdy rozpoczęto zamykanie dopływu. Przecieki mierzy się w takich samych warunkach jakie występowały przy zamknięciu w czasie pomiarów.

W przypadku, gdy przecieki są małe nie popełni się większego błędu zakładając przy obliczeniu przelyku na podstawie wykresu, że prędkość wody w przewodzie turbinowym jest równa zero. Przecieki dodaje się wprost do przelyku wyliczonego z wykresu.

Jeżeli przewód nie ma przekroju równomiernego, współczynnik f otrzymuje się w wyniku całkowania elementarnych długości odniesionych do przekroju

$$f = \frac{1}{F} \int_0^L dl$$

gdzie l — odległość mierzona wzdłuż przewodu, m.

3. Pomiar przelyku młynkami

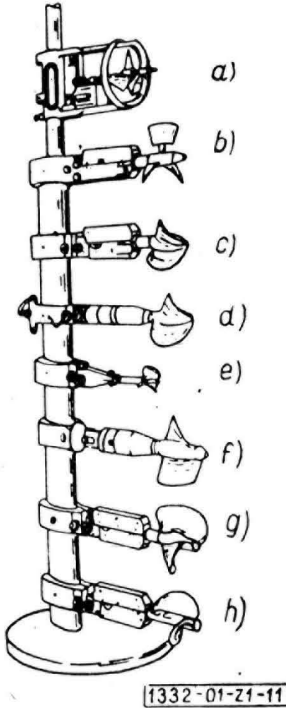
3.1. Zasada pomiaru polega na rozmieszczeniu młynków w przekroju pomiarowym kanału, mierzących prędkość przepływającej wody w miejscach ich ustawienia.

3.2. Przygotowanie do pomiaru

3.2.1. Typy młynków. Należy używać młynki dostosowane do ciowego kierunku przepływu, o sygnalizacji elektrycznej. Młynek musi być odpowiednio ułożony i tak wykonany, aby zmiany temperatury i małe zanieczyszczenia unoszące się w wodzie nie wpływały na jego pracę. Maksymalna zewnętrzna średnica młynka zazwyczaj powinna przekraczać 100 mm. Przy przeprowadzaniu pomiarów w rurociągach o średnicy mniejszej niż 2 m dopuszcza się do pomiaru przy ściankach rurociągu młynki o średnicach 50 ÷ 80 mm.

Młynek może być wyposażony w skrzydełko sterujące nastawiające go do kierunku strug przepływającej wody.

3.2.2. Montaż młynków. Młynki należy ustawiać osi równoległe do kierunku przepływu lub do osi kanału mocując je na odpowiednich wspornikach jak na rys. Z1-11, wykluczających zmianę ich położenia i zmniejszających drgania do minimum.



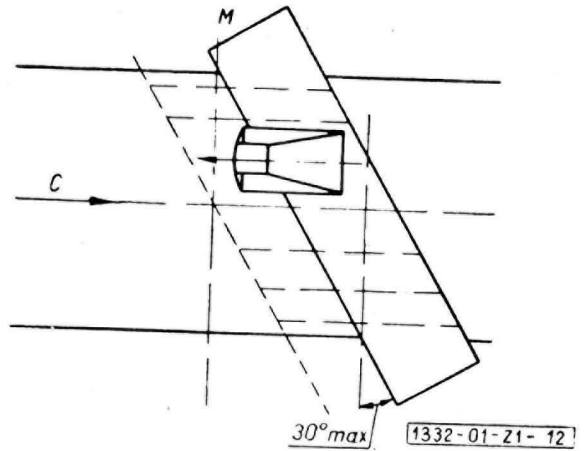
Rys. Z1-11. Typy młynków dla przepływu osiowego i ukośnego:

a) młynek skrzydełkowy Stoppani z pierścieniem o średnicy 120 mm i średnicy młynka 90 mm, b) młynek Ott'a z 3 skrzydełkami o średnicy 120 mm. Podane młynki są wygodne jeżeli stosuje się je do pomiarów w wodzie czystej. Zawodzą w przypadkach obecności w wodzie zanieczyszczeń w postaci traw, liści itp. Młynek (a) powinien być umieszczony w dogodnym przekroju pomiarowym, j) młynek Ott'a z łopatkami profilowanymi o średnicy 100 mm, d) młynek Dumas (Neyrpic) z łopatkami profilowanymi o średnicy 100 mm, e) mikromłynek Ott'a z łopatkami profilowanymi o średnicy 50 mm, f) młynek Amslera z łopatkami profilowanymi o średnicy 130 mm.

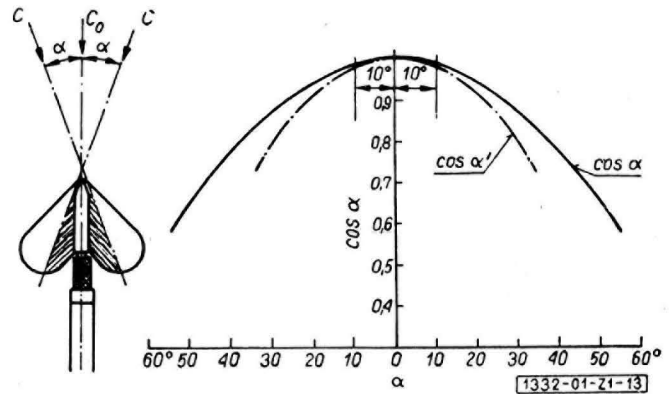
Uwaga: typy a)÷f) są dogodne przy osiowym przepływie wody (rys. Z1-13), kąt α w granicach $\pm 10^\circ$,

g) młynek Ott'a z łopatkami profilowanymi o średnicy 125 mm typ F, dostosowany do przepływu ukośnego w granicach $\pm 20^\circ$, h) młynek Ott'a z łopatkami profilowanymi o średnicy 100 mm typ A, dostosowany do przepływu ukośnego, kąt w granicach $\pm 45^\circ$.

Jeżeli lokalne warunki nie pozwalają na ustawienie osiowe młynków można je ustawić ukośnie tak jak pokazano na rys. Z1-12. Oś pojedynczych młynków M powinna być jednak równoległa do osi kanału. Ten układ można stosować tylko wtedy, kiedy powyżej i poniżej przekroju pomiarowego kanał ma niezmienny przekrój zapewniający utrzymanie niezmienną prędkości wody. Kąt osi schodkowego ustawienia młynków nie może przekroczyć 30° .



Rys. Z1-12. Układ schodkowy młynków o przekroju pomiarowym M nie prostym do kierunku przepływu wody C lub osi kanału albo rurociągu



Rys. Z1-13. Porównanie krzywej wzorcowania z funkcją cosinus przy przepływie wody pod kątem α do osi skrzydełka; c — prędkość wody napływającej pod kątem α do osi młynka, c_o — składowa prędkości c , prostopadła do przekroju pomiarowego (równoległa do osi młynka) stąd $\cos \alpha = \frac{c_o}{c}$

W rzeczywistości młynek rejestruje prędkość c_o' , dla której

$$\cos \alpha' = \frac{c_o'}{c}$$

3.2.3. Liczba młynków i ich rozmieszczenie powinna być ustalona w zależności od wielkości, kształtu i cech przekroju pomiarowego. W kanale otwartym o przekroju prostokątnym lub trapezowym (F) liczbę punktów pomiarowych (Z) oblicza się z następujących zależności:

$$24\sqrt[3]{F} < Z < 36\sqrt[3]{F}$$

gdzie F — powierzchnia przekroju pomiarowego, m^2 .

Przy pomiarach w rurociągu turbinowym z zainstalowanym krzyżakiem stałym i młynkach o średnicy 100 mm liczba Z młynków na każdym ramieniu powinna wynosić:

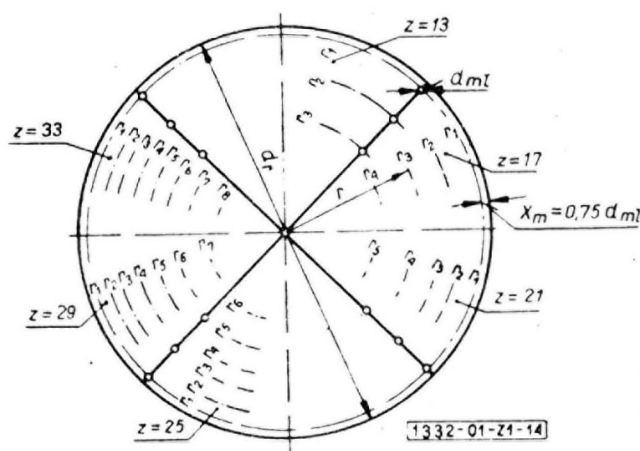
$$4\sqrt{\frac{1}{2}d_r} < Z < 5\sqrt{\frac{1}{2}d_r}$$

gdzie d_r — jest wewnętrzną średnicą rurociągu w metrach.

Minimalna liczba młynków pomiarowych dla całego przekroju pomiarowego powinna wynosić 13 niezależnie od rodzaju konstrukcji wsporczej młynków. Jeden młynek powinien być umieszczony w osi przewodu. Tablica Z1-2 i rys. Z1-14 przykładowo ilustrują liczbę i rozkład punktów w kołowym przekroju pomiarowym.

Tablica Z1 — 2

$z = 4Z + 1$	d_r mm	x	r_1	A							
				r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	
13	1200 ÷ 2400	$0,75d_{ml}$	$d_r/2 - x$	0,816	0,577						
17	2200 ÷ 3200		$d_r/2 - x$	0,866	0,707	0,500					
21	2900 ÷ 4500		$d_r/2 - x$	0,894	0,775	0,632	0,447				
25	3800 ÷ 5500		$d_r/2 - x$	0,912	0,816	0,707	0,577	0,408			
29	5000 ÷ 7000		$d_r/2 - x$	0,926	0,845	0,756	0,655	0,535	0,378		
33	6300 ÷ 8500		$d_r/2 - x$	0,936	0,866	0,791	0,707	0,613	0,500	0,354	



Rys. Z1-14. Rysunek i tablica (patrz tekst) doboru liczby młynków przy pomiarze natężenia przepływu w rurociągu. Rozmieszczenie (młynków) punktów pomiarowych; z — liczba wszystkich młynków łącznie z młynkiem środkowym, d_r — średnica wewnętrzna rury, d_{ml} — średnica młynka, x_m — odległość osi młynka od ścianki rury, r — odległość od środka rury do osi młynka.

3.2.4. Wzorcowanie i kontrola młynków. Młynki powinny być wzorcowane w tym samym układzie w jakim będą użyte do pomiarów odbiorczych. Zaleca się wzorcować młynki ustawiając ich osie pod kątem 10° w stosunku do kierunku prędkości wody (wózka holującego młynki w wodzie stojącej). Wszelkie zniekształcenia po wzorcowaniu młynków można kontrolować za pomocą specjalnych form gipsowych lub metalowych. W dniu wzorcowania kształty form powinny wiernie odpowiadać kształtom młynków i mieć naniesioną datę wzorcowania. Tarcie w łożyskach młynków i ich stan powinien być sprawdzany przed i po pomiarach.

3.2.5. Rozkład punktów pomiarowych. W strefach największych zmian prędkości, tj. w pobliżu ścian ka-

nału, dna kanału, zwierciadła wody, punkty pomiarowe należy zageścić. Między osią młynka a ściankami lub zwierciadłem wody należy zachować następujące odległości:

- minimalna 0,75 średnicy młynka,
- maksymalna 0,20 m.

Młynek zajmujący najwyższe położenie powinien

być całkowicie zanurzony jednak możliwie blisko zwierciadła wody. Należy zwrócić uwagę, aby stan zwierciadła wody nie wpływał na pracę młynka.

3.2.6. Czas trwania pomiaru w każdym położeniu młynka nie może być mniejszy niż 2 min. Jeśli prędkość wody podlega określonym pulsacjom, pomiar w czasie wydłuża się tak, aby obejmował on co najmniej dwa okresy pulsacji.

3.2.7. Dokładność pomiaru

a) dokładność pomiaru czasu powinna wynosić 0,05%, jeżeli stosuje się jednocześnie kilka młynków, ich wskazania mogą być rejestrowane (chronografem) zegarem elektrycznym lub licznikami,

b) liczba obrotów młynków niezależnie od metody powinna być mierzona z dokładnością $\pm 0,1\%$.

3.3. Warunki stosowania metody. Młynki mogą być stosowane do pomiarów przy ukośnym przepływie wody z zachowaniem następujących warunków:

a) młynki zostaną do takich pomiarów odpowiednio dostosowane przez ich wywzorcowanie w takich samych warunkach,

b) maksymalny kąt kierunku napływu wody względem osi młynka nie może przekroczyć 10° .

Normalne młynki przy odchyleniu ich od osi kierunku przepływającej wody o $\pm 10^\circ$ pozwalają dokonywać pomiaru prędkości z błędem $\pm 1\%$ zmieniającym się wg funkcji cosinusa kąta odchylenia.

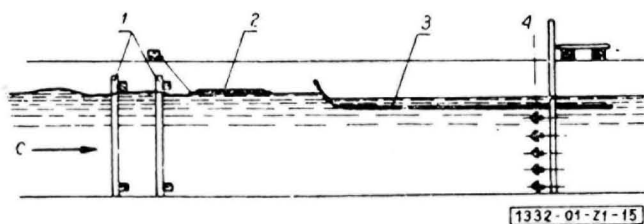
Produkowane są młynki, które ustawiają się samoczynnie. Popelniany błąd przy pomiarach prędkości tymi młynkami również wynosi $\pm 1\%$ i zmienia się wg funkcji cosinusa kąta odchylenia. Stosując samonastawne młynki należy zwrócić specjalną uwagę, aby ramy i

wsporniki, do których mocowane są młynki nie wpływały ujemnie na dokładność ich pracy.

W przypadku pomiarów w kanale otwartym przekroje prostokątne lub trapezowe powinny mieć następujące minimalne wymiary: szerokość minimalna $b = 0,8$ m lub osiem średnic młynka, minimalna głębokość wody $t = 0,8$ m lub osiem średnic młynka. Ściany kanału powinny być względem siebie równoległe a jego dno powyżej przekroju pomiarowego w miarę możliwości poziome do długości co najmniej 2 m. Ścianki kanału powyżej i poniżej przekroju pomiarowego powinny być wolne od wszelkiego rodzaju przeszkód mogących wywoływać zakłócenia w przepływie wody. Osie młynków powinny być równoległe do kierunku przepływu wody a płaszczyzna przekroju pomiarowego prostopadła do tego kierunku. Jeżeli warunki lokalne nie pozwalają na spełnienie tego warunku, młynki można ustawić schodkowo jak na rys. Z1-12. Nie dopuszcza się jakichkolwiek przecieków wody między przekrojem pomiarowym a wlotem lub wylotem turbiny.

Urządzenia poprawiające warunki przepływu wody, takie jak kraty, tratwy pływające itp. jeżeli są stosowane, należy ustawiać co najmniej 3 m powyżej przekroju pomiarowego. Mogą one służyć nie tylko do poprawienia rozkładu prędkości wody w przekroju pomiarowym lecz równocześnie ułatwiać dokładny pomiar głębokości wody w kanale.

W elektrowniach niskiego spadku, przekrój pomiarowy może być zlokalizowany w budowlach urządzeń wprowadzających wodę do turbiny. W takich przypadkach należy mieć pewność, że przepływ w całym przekroju jest osiowy, instalując specjalne prowadnice na wlotach tych budowli jak na rys. Z1-15 i Z1-16.

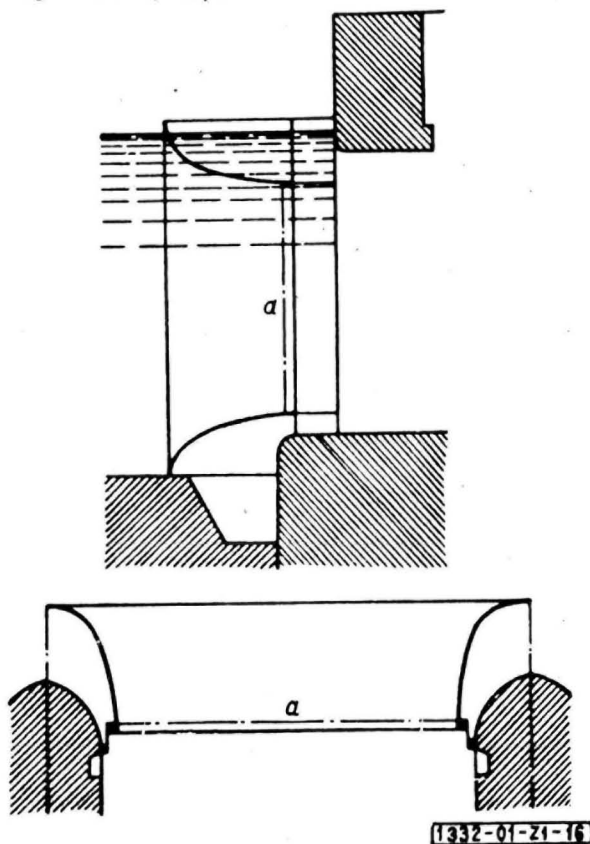


Rys. Z1-15. Urządzenia do uspokajania zwierciadła wody w kanale otwartym: 1 — kraty, 2 — tratwa, 3 — płyta zatopiona, 4 — przekrój pomiarowy

Pomiarów natężeń przepływu w przewodach ukośnych zbieżnych należy unikać, gdyż nie można uwzględnić wszystkich błędów jakie mogą w tych pomiarach powstawać. Jeżeli jednak do takich pomiarów musi dojść, należy stosować wyłącznie młynki samonastawne zgodnie z 3.3b).

3.4. Ograniczenia prędkości. Ograniczenia pomiaru prędkości wody wynikają tylko z możliwości montażu młynków w przewodach zgodnie z zaleceniami podanymi przy rys. Z1-11. Nie wolno ekstrapolować krzy-

wej wzorcowania młynka. Prędkość średnia $c = \frac{Q}{F}$ w określonym przekroju pomiarowym nie może być mniejsza niż 0,4 m/s.



Rys. Z1-16. Pomiarowy wlot doprowadzający wodę do turbiny w elektrowni niskospadowej; a — przekrój pomiarowy

3.5. Rozkład prędkości. Należy dążyć do tego, aby rozkład prędkości w przekroju pomiarowym był możliwie ujednolicony. Rozkład prędkości należy sprawdzić jeszcze przed rozpoczęciem pomiarów. Jeżeli rozkład jest wyraźnie nieregularny, szczególnie w kanałach otwartych lub w budowlach urządzeń wlotowych, należy go poprawić przez ustawienie specjalnych kierownic, zatopionych prowadnic, krat uspokajających, tratw uspokajających itp. aż do uzyskania wymaganej jednorodności rozkładu prędkości.

Nie wolno przeprowadzać pomiarów młynkami w przekrojach, w których występują zawirowania wody lub zmiana kierunku jej przepływu, nawet gdy młynki są zaopatrzone w urządzenia sygnalizujące zmianę kierunku obrotów.

3.6. Pulsacja. Aby można było uchwycić ewentualne pulsacje prędkości wody zaleca się stosować młynki sygnalizujące każde 20 a nawet lepiej 10 obrotów.

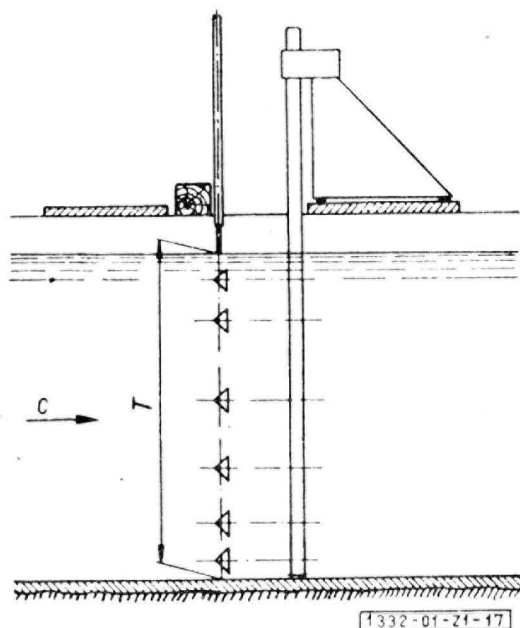
3.7. Wykonanie pomiaru

3.7.1. Zasady ogólne. Pomiar prędkości dla określania przeliku należy wykonać w całym przekroju pomiarowym. Nie wolno obliczać prędkości średniej, a następnie przeliku wychodząc z jednego (pojedynczego) po-

miaru prędkości w przekroju pomiarowym. Jeżeli przewód dzieli się na kilka sekcji, to natężenie przepływu określa się dla każdej sekcji oddzielnie i niezależnie.

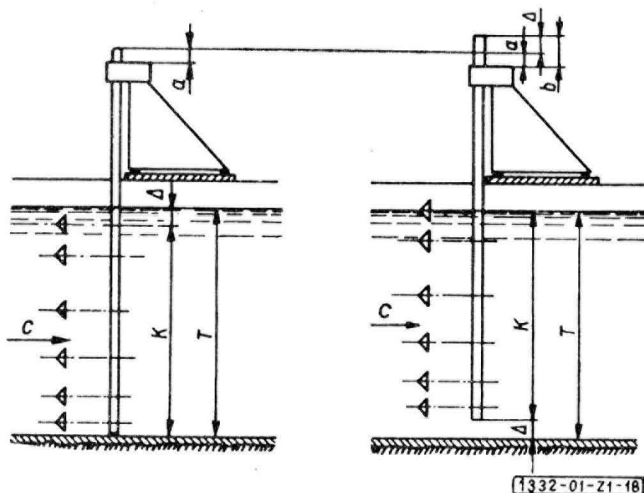
3.7.2. Zwierciadło wody w przekroju pomiarowym służy równocześnie do mierzenia głębokości wody w kanale. Głębokość wody mierzy się w krótkich odstępach czasowych przez cały okres trwania pomiaru. Zmienność głębokości wody w przekroju pomiarowym nie powinna być większa niż $\pm 1,0\%$ głębokości średniej.

Pomiar głębokości wody może być wykonywany za pomocą pręta będącego jednocześnie kołcem pomiarowym jak na rys. Z1-17 albo za pomocą drążka, na



Rys. Z1-17. Pomiar poziomu wody kołcem (szpilką)
c — kierunek przepływu wody, T — całkowita głębokość wody w przekroju pomiarowym

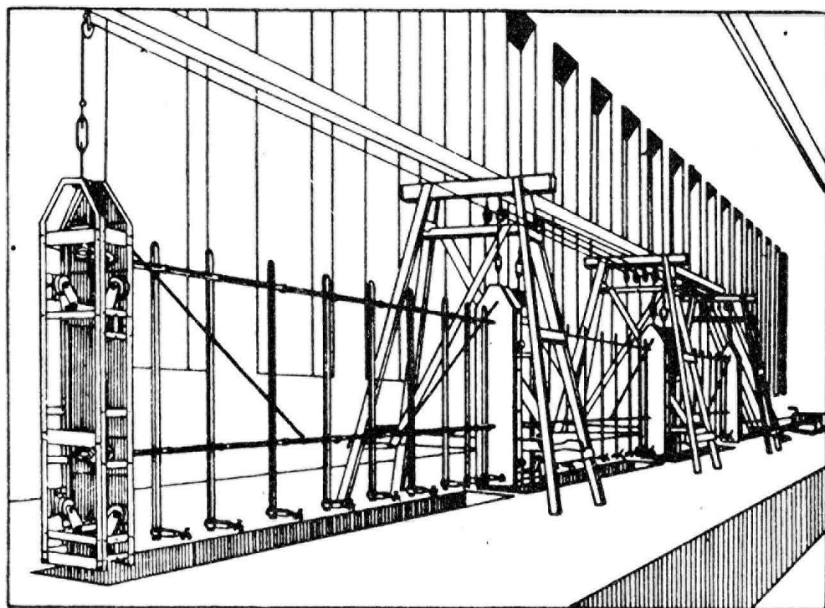
którym osadzone są młynki pomiarowe przez jego podniesienie do położenia, w którym oś górnego młynka pokrywa się ze zwierciadłem wody jak na rys. Z1-18. Wszelkie zmiany prędkości średnich należy kontrolować podczas pomiaru na jednym lub jednocześnie kilku młynkach.



Rys. Z1-18. Pomiar poziomu wody młynkiem górnym poprzez wyciąganie drążka

K — odległość stopy tyczki pomiarowej od osi górnego młynka
Δ — odległość osi górnego młynka od powierzchni wody

3.7.3. Jednoczesny pomiar wieloma młynkami przy większych wymiarach przekrojów pomiarowych jest korzystny, ponieważ skraca się znacznie czas pomiaru. W zależności od warunków lokalnych pomiar można wykonywać umieszczając młynki na jednej linii w pionie lub poziomie jak na rys. Z1-19.



Rys. Z1-19. Rama nośna młynków pomiarowych na wlocie do dużych turbin pracujących pod niskimi spadami (typ Bitterli)

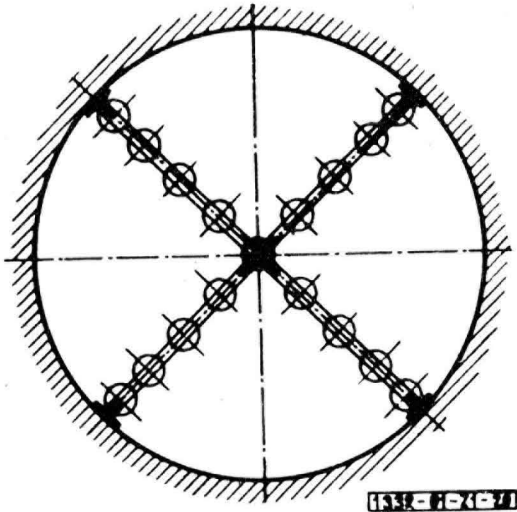
3.7.4. Pomiar. Przekrój pomiarowy powinien być umieszczony na prostym odcinku rurociągu co najmniej 20 jego średnic od najbliższej jego krzywizny przed przekrojem pomiarowym i 5 średnic rurociągu za przekrojem. Odejsie od tej zasady jest możliwe jedynie po uprzednim dokładnym zbadaniu przepływu w projektowanym przekroju pomiarowym.

Średnią średnicę rurociągu ustala się na podstawie średniej arytmetycznej 6 pomierzonych średnic. Pomiar na dwóch średnicach do siebie prostopadłych może być uznany za wystarczający tylko wtedy, jeżeli wyniki pomiarów nie różnią się od siebie więcej niż $\pm 2\%$ wartości średniej.

Jeżeli odległości zagięć na rurociągu od przekroju pomiarowego są mniejsze od wartości podanych wyżej, strony zainteresowane w porozumieniu ze sobą mogą ustalić wyższe granice błędu pomiaru przeliku lub przeprowadzić pomiary umieszczając młynki na większej liczbie średnic niż dwóch.

Przy wykonywaniu pomiaru należy stosować następujące układy pomiarowe:

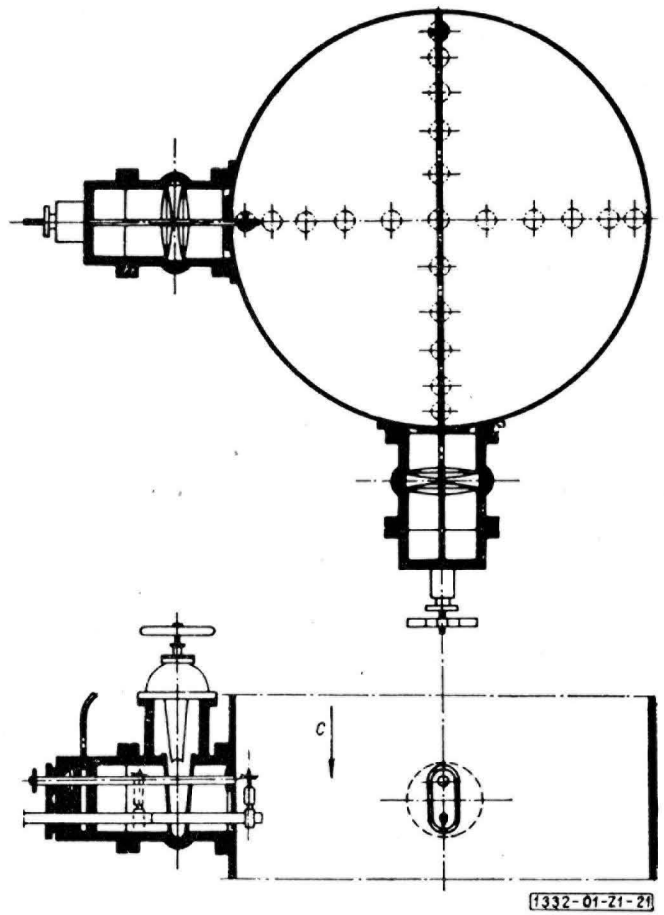
- pomiar zespołem młynków umieszczonych na stałe w rurociągu — wg rys. Z1-20,
- pomiar jednym młynkiem z użyciem zaworu sterowanego Dufora — wg rys. Z1-21,
- pomiar jednym lub kilkoma młynkami przesuwanymi na stałym drążku.



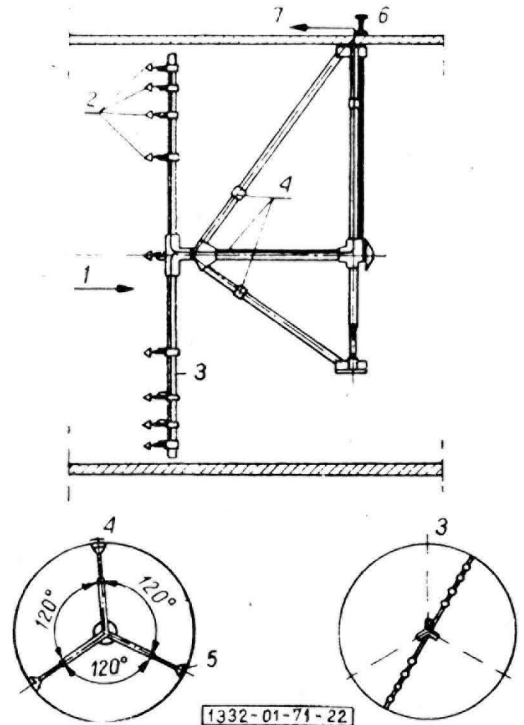
Rys. Z1-20. Krzyżakowa rama nośna osadzona w rurociągu na stałe z zespołem młynków

Jeżeli warunki lokalne nie pozwalają na wykorzystanie jednego z podanych wyżej układów pomiarowych, obie strony mogą się umówić odnośnie pomiaru stosując pojedynczy młynek umieszczony na drążku i przesuwający się wzdłuż osi lub z drążkiem odchylonym pod pewnym kątem, pozwalającym na pomiar zbliżony do pomiaru na dwóch średnicach rurociągu.

Inny układ pomiarowy pokazano na rys. Z1-22. Wspornik umożliwia obrót ramienia z umieszczonymi na nim młynkami.



Rys. Z1-21. Pomiar tylko jednym młynkiem na dwóch osiach prostopadłych do siebie



Rys. Z1-22. Urządzenie z obrotowym ramieniem i osadzonymi na nim młynkami

1 — kierunek przepływu wody, 2 — młynek, 3 — ramię obrotowe, 4 — wspornik trójramienny, 5 — uchwyty mocujące, 6 — sterowanie ramienia obrotowego, 7 — przewody elektryczne prowadzące do chronografu

3.8. Wyniki

3.8.1. Obliczanie prędkości średnich. Interpretacja pomiarów młynkowych powinna być przeprowadzana graficznie używając do całkowania planimetru. Wyniki analizy graficznej należy sprawdzić arytmetycznie. Stosowane do tego celu papieru milimetrowego nie jest wskazane ze względu na małą jego dokładność. Należy przewidzieć skurcz papieru. Planimetr należy sprawdzić przed i po planimetrowaniu. Należy stosować planimetr liniowy z krążkiem. Skale należy tak dobrać, aby całkowanie graficzne miało tę samą dokładność jak pomiar czasu, długości, głębokości i prędkości. Doświadczenie poucza, że najkorzystniejsze skale to te, które dają wykresy zbliżone do kwadratu o bokach od 150 do 200 mm.

3.8.2. Strefa brzegowa. Pomiaru w kanałach otwartych lub wlotach do turbin gdy burzliwość przepływu jest dostateczna, co zwykle ma miejsce, ekstrapolacja krzywej prędkości od ostatniego punktu pomiarowego aż do ścianki przewodu przebiega według następującej zależności

$$c_x = c_1 \left(\frac{a_x}{a} \right)^{\frac{1}{n}}$$

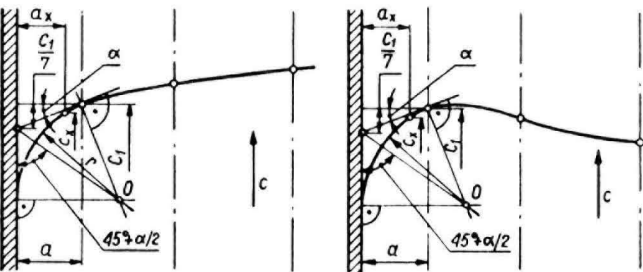
- gdzie:
- c_x — prędkość w strefie ekstrapolacji w odległości a_x od ścianki,
 - c_1 — prędkość pomiarowa najbliższej ścianki znajdującej się w odległości a od niej.

Wykładnik n zazwyczaj wynosi 7 (może się wahać od 5 do 10).

Jeżeli pomiary prędkości wykonane rurką Pitot lub innymi przyrządami wykażą wyraźną różnicę w stosunku do przyjętej wartości $n = 7$ należy dobrać bardziej odpowiednią liczbę na n .

Obliczanie może być uproszczone stosując metodę graficzną zgodnie z rys. Z1-2 lub prostym całkowaniem, w danym przypadku w strefie brzegowej prędkość średnią oblicza się z zależności

$$c_{xm} = \left(\frac{n}{n+1} \right) c_1$$



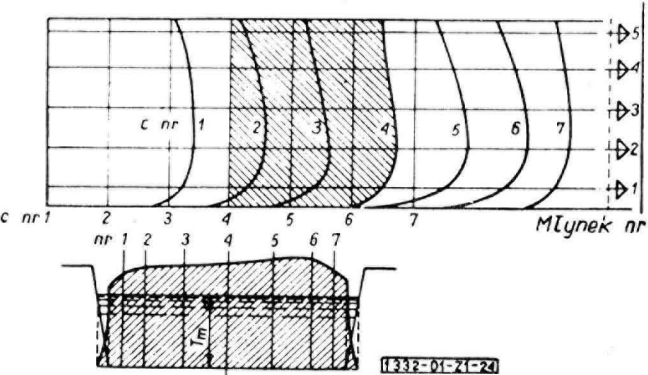
Rys. Z1-23. Metoda graficzna wyznaczania prędkości w strefie brzegowej przekroju pomiarowego

Pomiary w rurociągach lub kanałach zamkniętych — prędkości należy ustalać wg 3.8.1.

3.8.3. Przebieg całkowania dla kanałów zamkniętych lub otwartych o przekroju trapezowym. Pierwsze całkowanie przeprowadza się wzdłuż linii pionowej lub poziomej w zależności od tego, wzdłuż której linii przeprowadzano pomiar prędkości. Na przykład, jeżeli pomiar wykonano na linii pionowej, przelyk wylicza się wg wzoru (rys. Z1-24)

$$Q = \int_0^b db \int_0^t c dt$$

gdzie b oznacza największą szerokość przekroju, a t głębokość wody w kanale.

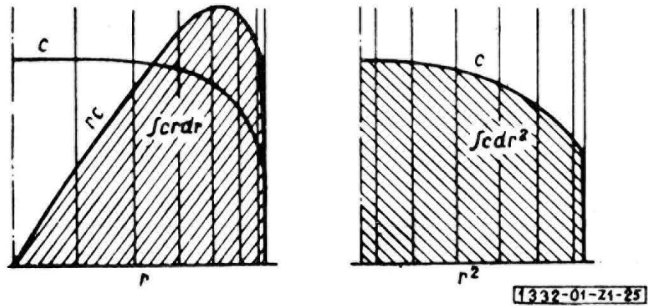


Rys. Z1-24. Przykład pomiarów młynkami w kanale otwartym o przekroju trapezowym. Kolejność całkowania wykresnego; c — wykresy prędkości dla kolejnych przekrojów

3.8.4. Przewody zamknięte o przekroju kołowym.

Obliczenie przelyku należy wykonywać graficznie za pomocą jednej z dwóch następujących metod przyjmując dla współrzędnych (rys. Z1-25):

- albo iloczyn $c \cdot r$ w funkcji odległości r między punktem pomiarowym a środkiem przekroju,
- albo prędkość c w funkcji r^2 (odległości r).



Rys. Z1-25. Przykład pomiarów młynkami w rurociągu o przekroju kołowym. Wykreślna metoda całkowania

Ewentualne różnice między wyliczonymi przelykami podanymi dwoma metodami wykreślnymi nie powinny przekraczać 1%. Wartość średnia obu pomiarów jest przyjmowana za przelyk rzeczywisty.

3.8.5. Pomiar przez bezpośrednie całkowanie (stosowany w przekrojach pomiarowych budowli urządzeń wlotowych). Zastosowanie metody bezpośredniego całkowania, polegającej na przesuwaniu ramy z młynkami w przekroju pomiarowym ze stałą prędkością jest trudne i wymaga bardzo kosztownych urządzeń.

Pod tym względem nie przewyższa ona metod klasycznych. Wyjątek mogą stanowić pomiary w dużych elektrowniach o bardzo dużych przełykach. W przypadku stosowania jej zaleca się otrzymane wyniki porównywać z wynikami metod uprzednio opisanych.

4. Metoda rozpuszczalnika

4.1. Zasada metody. Metoda polega na stałym wprowadzaniu do przewodu ustalonej ilości roztworu o znanym składzie chemicznym i określonej koncentracji, a następnie pomiarze końcowego stężenia po jego wymieszaniu.

4.2. Przygotowanie roztworu. Do oznaczania stosuje się następujące roztwory:

- a) chlorek sodu o koncentracji końcowej 2 mg/l,
- b) dwuchlorek sodu o koncentracji końcowej 0,2 mg/l.

Roztwór ten powinien być wykonywany w stężeniu rzędu 10^{-8} .

4.3. Wykonanie oznaczania

4.3.1. Przygotowanie do oznaczania. Miejsce wprowadzenia roztworu należy dokładnie zbadać, czy nie występują wokół niego prądy mogące unosić roztwór w przeciwnym kierunku.

Przed wprowadzeniem roztworu do przewodu należy go dokładnie wymieszać.

4.3.2. Oznaczanie. Ilość wprowadzonego roztworu powinna być niezmienna w czasie, kontrolowana i mierzona.

Przełyk Q można wyliczyć z następującej zależności

$$Q = q \cdot \frac{c_1 - c_2}{c_2 \cdot c_0}$$

w której:

- q — stężenie wprowadzanego roztworu,
- c_0 — koncentracja składnika chemicznego w wodzie doprowadzanej do turbiny,
- c_1 — koncentracja składnika chemicznego w roztworze wprowadzanym,
- c_2 — koncentracja składnika chemicznego w wodzie zmierzonej.

W trakcie pomiarów należy regularnie pobierać próbki:

— wody doprowadzanej do turbiny (przemysłowej) w odległości co najmniej 3 średnic powyżej punktu wprowadzenia roztworu,

— mieszaniny wody (przemysłowej) i roztworu skoncentrowanego poniżej punktu wprowadzania roztworu.

W tym przypadku należy kontrolować jednorodność mieszaniny,

— roztworu wprowadzanego, przy czym czyni się to tylko na początku i końcu poszczególnego pomiaru.

Próbki pobiera się w sposób ciągły, w co najmniej 5 punktach (umieszczonych w środkach jednakowych odcinków przekroju), w czasie nie krótszym niż 5 min. Zaleca się do obliczenia przełyku stosować metodę „rozcieńczeń porównawczych”. Polega ona na porównaniu pobranych próbek z próbkami wody pobranej powyżej punktu wprowadzenia roztworu i zmieszanej z próbką właściwą.

Metoda nie wymagająca wyznaczania absolutnego stężenia próbek umożliwia stosowanie metod kolorymetrycznych i tym samym wyeliminowania poważnych stałych błędów pomiaru.

4.4. Wynik. Próbki powinny wykazać, że w każdym punkcie poboru a także w całym przekroju pomiarowym roztwór jest jednorodny i nie zmieniający się w czasie trwania pomiaru.

Dla każdego pomiaru wykreśla się krzywą stężenia poniżej punktu wprowadzania roztworu. Krzywa jest wykreślana w następującym układzie współrzędnych; czas odmierza się na osi odciętych, natomiast przełyk (natężenie przepływu) na osi rzędnych. Praktycznie powinna ona mieć stałą wysokość w tym czasie, kiedy stężenie roztworu było jednakowe. Wartość liczbowa tego stężenia powinna być podstawiona do wzoru na obliczenie przełyku.

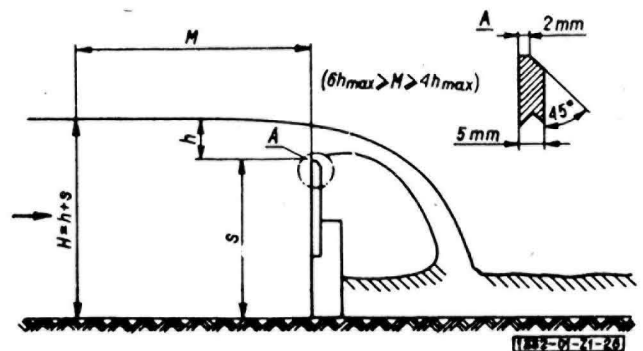
5. Pomiar przełyku przelewem

5.1. Zasada pomiaru. Metoda polega na wykorzystaniu zależności między wysokością strumienia na przelewie a natężeniem przepływu.

5.2. Warunki stosowania metody

a) Ścianka czołowa, tj. próg przelewu powinien być wykonany z metalu nierdzewnego o grubości około 5 mm.

b) Górna pozioma krawędź progu o szerokości 2 mm powinna być gładka i ścięta od strony zewnętrznej pod kątem 45° jak to pokazano na rys. Z1-26.



Rys. Z1-26. Wymiary przelewu mierniczego
s — wysokość progu przelewu, h — wysokość strumienia przelewowego

c) Wysokość progu przelewu s od dna koryta przeprowadzającego wodę nie powinna być mniejsza od podwójnej maksymalnej wysokości strumienia przelewowego h .

Należy zapewnić pełne napowietrzenie przelewającego się strumienia.

d) Ciśnienie powietrza pod przelewającym się strumieniem powinno być równe lub bardzo zbliżone do ciśnienia atmosferycznego.

e) Powierzchnia otworów napowietrzających nie może być mniejsza od 0,5% powierzchni otrzymanej z iloczynu szerokości przelewu przez wysokość krawędzi przelewowej nad dnem kanału odprowadzającego wodę z przelewu.

Przelew powinien być tak dobrany, aby przy największym przeliku turbiny były zachowane wymiary:

szerokość przelewu	$b > 0,25 \text{ m}$
wysokość krawędzi przelewowej	$s > 0,30 \text{ m}$
wysokość strumienia na przelewie	$h < 0,75 \text{ m}$
prędkość dopływającej wody	$c < 0,45 \text{ m/s}$

Zaleca się stosować przelewy miernicze prostokątne bez kontrakcji bocznej.

W czasie pomiarów należy zwrócić uwagę, aby przelewająca się struga wody nie przylegała do powierzchni progu i aby przepływ jej przez krawędź przelewową był spokojny. Równoległe boczne ścianki i dno koryta przelewu powinny być gładkie. Próg przelewu ustawia się prostopadłe do ścian bocznych i dna koryta.

Przelew umieszcza się zwykle poniżej turbiny zapewniając regularny i spokojny przepływ wody w jego korycie. Umieszczając przelew w kanale odprowadzającym wodę spod turbiny należy go ustawić w takiej odległości, aby pęcherze porywanego powietrza wydzieliły się przed wpłynięciem wody na przelew. W razie potrzeby należy zastosować urządzenia uspakajające w celu uzyskania możliwie równoległego do ścian bocznych i dna koryta przepływu oraz równomiernego rozkładu prędkości w jego poprzecznych przekrojach. Niestojące zwierciadło wody, wiry, asymetria przepływu powinny być korygowane prostownikami, płytami pływającymi itp.

Koryto doprowadzające wodę na próg przelewu powinno być proste o jednostajnym przekroju (bez prostowników i innych urządzeń uspakajających) na długości wynoszącej co najmniej $20h_{\max}$ przed progiem i $5h_{\max}$ za nim. Na całym tym odcinku pochylenie dna powinno być nieznaczne (0,005). W razie potrzeby można przewidzieć urządzenia odpiaszczające tak wykonane, aby nie zakłócały dopływu wody do koryta przelewu.

5.3. Wykonanie pomiaru. Wysokość strumienia przelewającej się wody mierzy się w odległości od 4 do 6 maksymalnych jego wysokości od krawędzi przelewu. Dla pomiaru tej wysokości ustala się następującą liczbę punktów pomiarowych zwierciadła wody, równomiernie rozmieszczonych na szerokości przelewu.

Szerokość przelewu	Liczba punktów pomiarowych
$b < 2 \text{ m}$	2
$2 \text{ m} < b < 6 \text{ m}$	3
$b > 20 \text{ m}$	co najmniej 4

Przed i po wykonaniu pomiarów kontroluje się zero przyrządu pomiarowego (pływak, kołec itp.). Pomiary wysokości strumienia na przelewie na jego szerokości nie mogą różnić się więcej niż 0,5%. Dla obliczenia przeliku należy wykorzystać średnią arytmetyczną wszystkich pomierzonych wysokości.

Pomiary poziomu wody mogą być realizowane również za pomocą limnigrafów bezpośrednio lub umieszczonych w studzienkach pomiarowych z boku koryta, połączonych przewodami o otworkach od 8 do 5 mm średnicy. Wykonuje się kilka odczytów w regularnych odstępach czasu w celu sprawdzenia czy przepływ jest ustalony.

5.4. Wynik. Przelik Q oblicza się w m^3/s ze wzoru Poleni

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

w którym:

μ — współczynnik,

b — szerokość przelewu, m,

h — wysokość strumienia na przelewie, m.

6. Pomiar przeliku metodą wagową i objętościową

6.1. Zasada pomiaru polega na gromadzeniu wypływającej wody z turbiny w zbiorniku w ciągu dokładnie określonego czasu a następnie ważeniu jej i wyliczaniu przeliku.

6.2. Wymagania. Metodę objętościową należy stosować tylko w przypadku znanej objętości zbiornika.

Wzorcowanie małych zbiorników najlepiej jest przeprowadzać wprowadzając do nich ściśle zważone ilości wody. Duże zbiorniki lepiej jest wzorcować przez dokonywanie dokładnych obmiarów. Ścianki zbiorników powinny być dostatecznie sztywne, aby objętości dla różnych stanów ich napełnienia odpowiadały wartościom obliczeniowym. Poziomy wody są określane piezometrami ($\varnothing \geq 20 \text{ mm}$), limnimetrami o odwróconym kołcu, pływakami lub łatami. W dużych zbiornikach poziom wody należy jednocześnie mierzyć w kilku punktach.

Ze szczególną starannością należy sprawdzać czy:

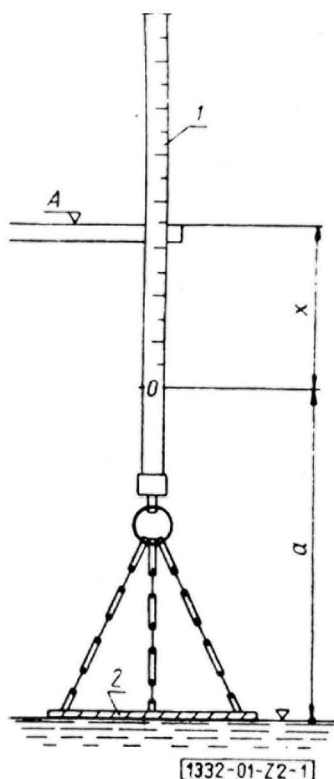
— nie występują odkształcenia ścian zbiorników (dla zbiorników małych),

— na wyniki pomiarów nie ma wpływu opad deszczu, wiatr, przecieki wody, infiltracja wody (w dużych zbiornikach).

METODY POMIARU POZIOMU SWOBODNEGO ZWIERCIADŁA WODY

Metody pomiarowe

1. Wskaźnik płytowy składa się z płyty metalowej zawieszanej na taśmie stalowej jak na rys. Z2-1. Może on być stosowany do określania poziomu wody w przekroju pomiarowym w nawiązaniu do pomocniczego reperu danego poziomu.



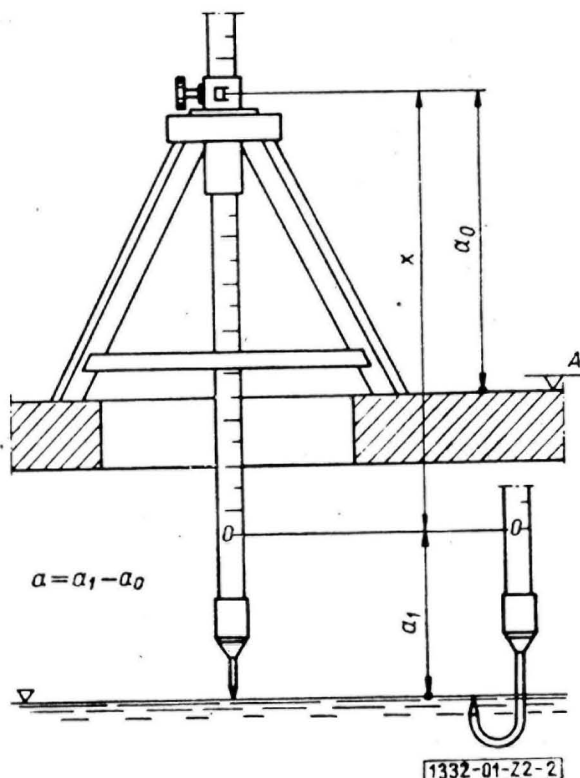
Rys. Z2-1. Płyta pomiarowa poziomu zwierciadła wody od stałego reperu *A*

a — wymiar stały, *I* — pręt lub taśma stalowa pomiarowa, 2 — płyta metalowa, *x* — wartość zmienna

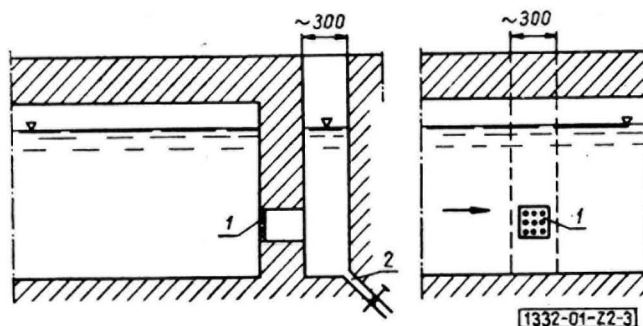
2. Wskaźnik kolcowy (wskaźnik zakończony kolcem lub hakim kolcowym — odwrócony kolec ku górze) — wg rozwiązania pokazanego na rys. Z2-2 dla ustalenia poziomu spokojnej wody na przykład w studzienkach pomiarowych i kompensacyjnych jak na rys. Z2-3.

3. Wskaźniki pływakowe dokładnie wywzorcowane i w dobrym stanie są zalecane gdy poziom wody jest zmienny. Minimalna średnica pływaka powinna wynosić 200 mm. Czułość takiego urządzenia pływakowego powinna wynosić około 5 mm, po poruszeniu go z położenia równowagi ręką.

Pływak o średnicy 200 mm nadaje się do zastosowania w komorze kompensacyjnej o przekroju kwadratowym, której bok wynosi 250 mm co odpowiada przy wykorzystaniu do tego celu wnętrza zastawkowych największym wymiarem.



Rys. Z2-2. Drażek pomiarowy poziomu wody z kolcem prostym i zagiętym, *A* — reper stały

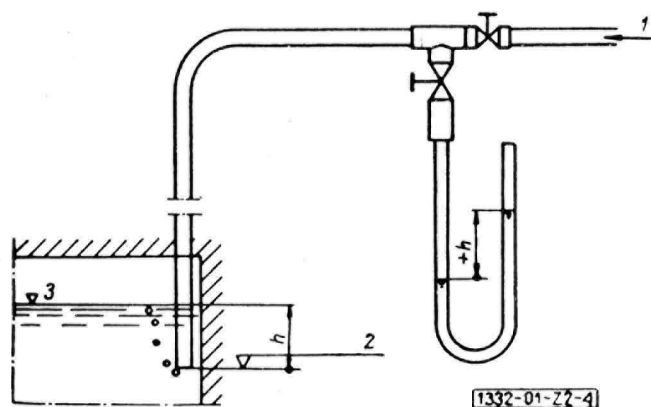


Rys. Z2-3. Studzienka pomiarowa

1 — płytka z otworami tłumiącymi, 2 — zawór pływający

4. Łaty ruchome przyłożone do ścianki przekroju pomiarowego mogą być stosowane w przypadkach spadów większych niż 10 m.

5. Pomiar za pomocą sprężonego powietrza. Swobodny poziom wody może być również określony za pomocą sprężonego powietrza znajdującego się wewnątrz rurki pod ciśnieniem. Jeden koniec rurki jest połączony z małą sprężarką lub zaworem redukcyjnym mającym połączenie z komorą sprężonego powietrza. Drugi koniec w odpowiedni sposób jest zanurzony poniżej mierzonego poziomu wody jak na rys. Z2-4. Straty ciśnienia w przewodzie doprowadzającym powietrze zmieniają wyniki, wobec tego powinny one być możliwie małe



Rys. Z2-4. Pomiar swobodnego zwierciadła wody w miejscu niedostępnym

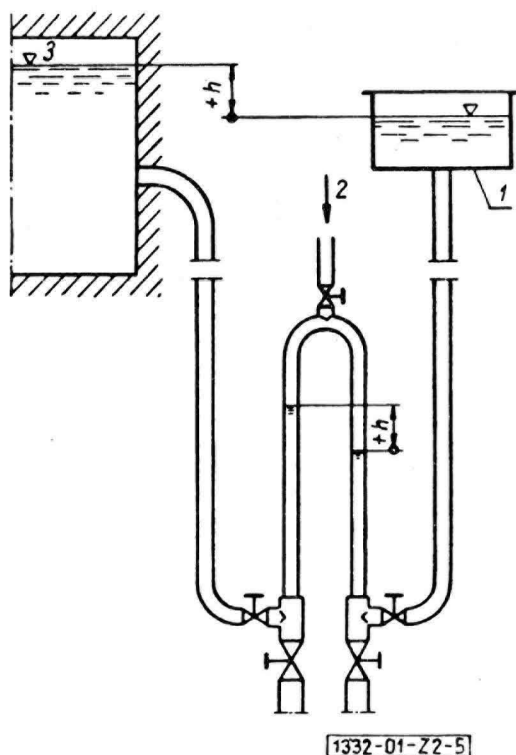
1 — sprężone powietrze, 2 — zakończenie przewodu na znanym poziomie, 3 — poziom mierzony

(mniej niż 5 mm). Z podanego powodu przewody należy stosować o możliwie dużych średnicach, bardzo krótkie, redukując ilość przepływającego przez przewody powietrza do minimum. Tego rodzaju pomiar można stosować tylko w spokojnej wodzie, w przeciwnym przypadku wpływy dynamiczne poważnie zniekształcałyby wyniki pomiarów.

6. Pomiar swobodnego zwierciadła wody w miejscach niedostępnych można wykonywać przy wykorzystaniu pomocniczego zbiornika porównawczego i manometrów różnicowych w kształcie odwróconej litery U. W takim przypadku jedno ramię manometru różnicowego jest połączone ze zbiornikiem porównawczym napełnionym wodą, w którym poziom wody jest stały. Jeżeli mierzony poziom wody znajduje się powyżej manometru, woda znajdująca się w górnej części rurki U jest wypchnięta sprężonym powietrzem jak na rys. Z2-5.

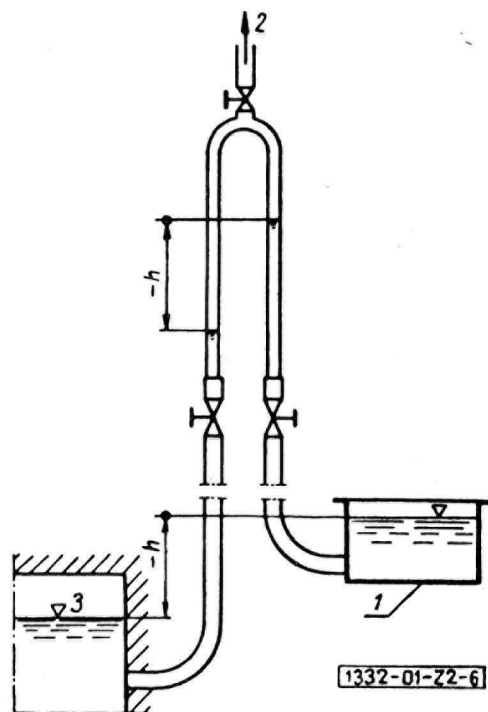
Natomiast w przypadku kiedy poziom wody mierzony jest poniżej manometru, poziomy w obu ramionach rurki są unoszone przez wytworzenie częściowej próżni jak na rys. Z2-6.

Przewody manometru powinny być tak wykonane, aby można było łatwo usuwać bańki powietrzne i utrzymywać stałą temperaturę. Powinny one być na tyle szczelne, aby nie powstawała możliwość dostawania się powietrza w tych partiach manometru, w których panuje ciśnienie niższe od otoczenia.



Rys. Z2-5. Pomiar wyżej położonego swobodnego zwierciadła wody w miejscach niedostępnych

1 — zbiornik z poziomem odniesienia, 2 — sprężone powietrze w manometrze różnicowym, 3 — poziom mierzony, h — różnica poziomów

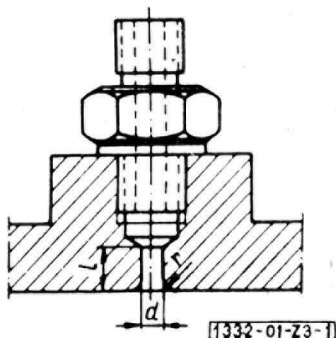


Rys. Z2-6. Pomiar niżej położonego swobodnego zwierciadła wody w miejscach niedostępnych

1 — zbiornik z poziomem odniesienia, 2 — połączenie z pompą próżniową, 3 — poziom mierzony

METODY POMIARÓW CIŚNIEŃ

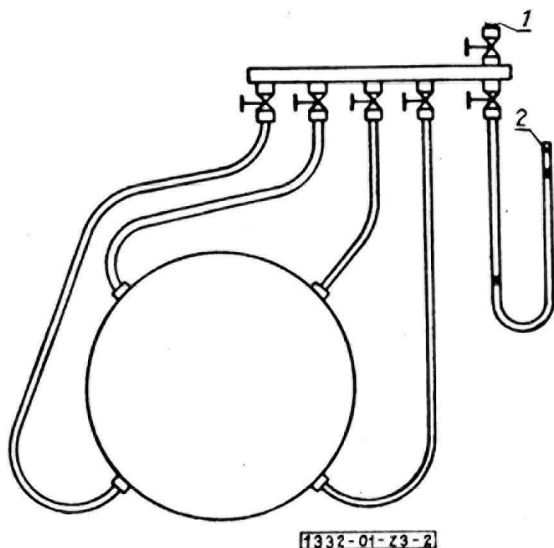
1. Dołączenie aparatów do punktu pomiarowego. Punkty pomiaru ciśnienia na obwodzie przekroju pomiarowego powinny być wybierane (tak samo, jak dla studzienek pomiarowych) w takich miejscach aby można było zlikwidować wpływ prędkości wody. Dołączenie rurek pomiarowych do rurociągów roboczych należy wykonać zgodnie z rys. Z3-1, natomiast rozmieszczenie i wy-



Rys. Z3-1. Punkt pomiaru ciśnienia

$$d = 3 \div 6 \text{ mm}, l \geq 2d \geq 6 \div 12 \text{ mm}, r \leq \frac{d}{4}$$

prowadzenia do manometrów powinny odpowiadać rozwiązaniom podanym na rys. Z3-2 lub Z3-3.

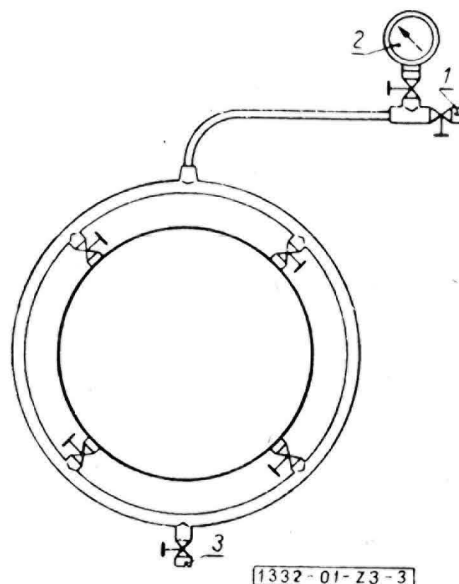


Rys. Z3-2. Połączenie punktów pomiarowych ciśnienia z manometrem, oddzielnymi przewodami

1 — odpowietrzanie, 2 — manometr

2. Przyrządy do pomiaru ciśnienia

2.1. Manometry cieczowe są stosowane do pomiarów stosunkowo małych ciśnień. Średnica rurki manometru cieczowego powinna wynosić nie mniej niż 12 mm, a w przypadku użycia rtęci, rurka może mieć średnicę 8 mm.

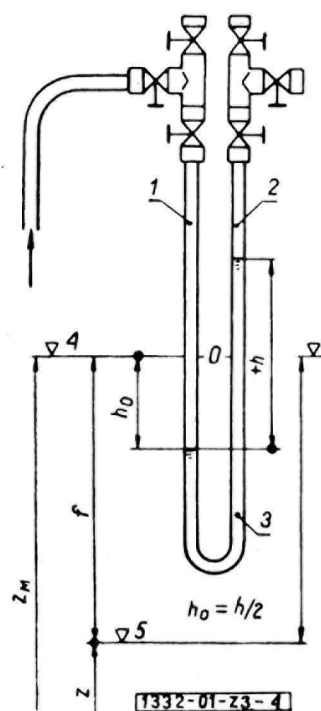


Rys. Z3-3. Połączenie punktów pomiarowych ciśnienia z manometrem, zbiorczym przewodem obwodowym

1 — odpowietrzanie, 2 — manometr, 3 — odpowiedzenie

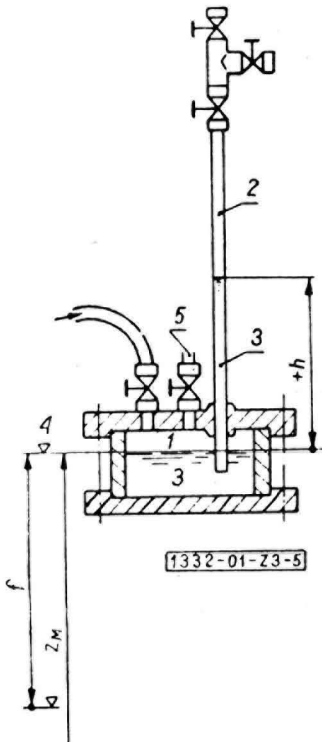
Manometry rtęciowe dzielimy na:

a) manometr w kształcie litery U, gdzie wysokość słupa rtęci w obu ramionach czyta się jednocześnie jak to widać na rys. Z3-4.



Rys. Z3-4. Manometr różnicowy rtęciowy, rurka U
1 — woda, 2 — powietrze, 3 — rtęć, 4 — punkt zerowy, 5 — poziom punktu pomiarowego

b) zbiornik z rurką pionową — w tym układzie wystarcza odczytać wysokość słupa rtęci w rurce pionowej; nieznaczne wahania rtęci w zbiorniku uwzględnia się współczynnikiem, który jest bliski jedności, przy czym współczynnik wyprowadza się ze stosunku przekrojów rurki i zbiornika. Średnica zbiornika powinna być co najmniej 10 razy większa od średnicy pionowej rurki. Układ taki przedstawia rys. Z3-5.



Rys. Z3-5. Manometr różnicowy rtęciowy ze zbiornikiem

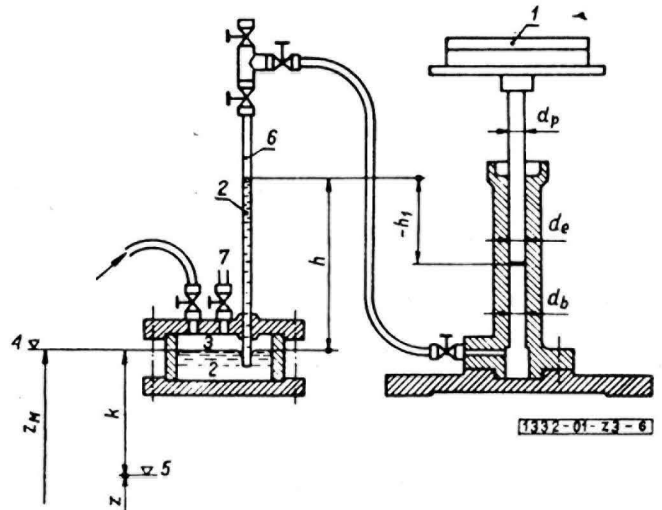
1 — woda, 2 — powietrze, 3 — rtęć, 4 — punkt zerowy, 5 — płuczką

c) manometr w kształcie litery U — wzorcowany; Odczyt wysokości słupa rtęci przeprowadza się tylko w jednym z ramion rurki wygiętej w kształcie U, w drugiej części zmianę położenia słupa rtęci (przekrój tej części jest 10 razy większy od przekroju rurki w której dokonuje się właściwego odczytu) mierzy się osobną podziałką.

Dla wszystkich tych przyrządów należy stosować rtęć czystą oczyszczoną w określonych odstępach czasu.

Jedną z metod oczyszczania jest mieszanie rtęci z powietrzem wprowadzonym od strony wody oddzielającej rtęć.

2.2. Manometr ciężarowy może składać się z tłoczka lub tłoczka różnicowego. Średnica efektywna d_e w pierwszym rozwiązaniu jest równa średniej wartości średnicy otworu cylindra tłoczka d_b i tłoczka d_p . Schemat takiego układu pomiarowego podano na rys. Z3-6.



Rys. Z3-6. Manometr ciężarowy, połączony z manometrem rtęciowym zbiornikowym

1 — ciężar G, 2 — rtęć, 3 — woda, 4 — punkt zerowy, 5 — poziom punktu pomiarowego, 6 — przewód olejowy, 7 — kurek płuczeki

Jeżeli wielkość

$$\frac{d_b - d_p}{d_b + d_p} \leq 0,1\%$$

wówczas bez dalszego sprawdzania przyjmujemy

$$d_e = \frac{d_p + d_b}{2}$$

Podane wielkości należy sprawdzać przed rozpoczęciem pomiarów. Sprawdzanie manometru ciężarowego pozwala pośrednio wyznaczyć jego średnicę efektywną w całym zakresie pomiarowym, poprzez wywzorcowanie w porównaniu z manometrem cieczowym.

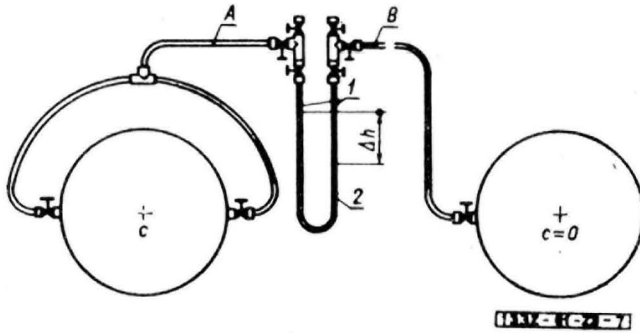
Tarcie między tłokiem a jego obudową można praktycznie wyeliminować powolnym obrotem tłoka.

W przypadkach, gdy typ ten nie może być stosowany samodzielnie należy go połączyć szeregowo z manometrem rtęciowym.

2.3. Manometr sprężynowy. Do bezpośrednich prób odbiorczych dopuszczalne jest stosowanie manometrów sprężynowych o dużej dokładności i odpowiednio ułożonej wskazówce. Należy koniecznie taki manometr wywzorcować drogą porównania z odczytem na manometrze rtęciowym a także porównując identyczność położenia z manometrem ciężarowym. Optymalny zakres pomiarów manometrem sprężynowym waha się w granicach od 50 do 70% jego podziałki. Jak wspomniano manometry sprężynowe powinny być wzorcowane drogą porównania z odczytami uzyskanymi w warunkach odpowiadających warunkom pomiarów przeprowadzonych za pomocą manometrów ciężarowych i to zarówno przed jak i po wykonaniu prób.

2.4. Manometry różnicowe. W przypadku elektrowni wodnej wyposażonej w kilka rurociągów zasilających

poszczególne turbiny, ciśnienie w przekroju pomiarowym badanej turbiny może być ocenione przez ustalenie spadku ciśnienia w stosunku do ciśnienia w rurociągu niepracującej turbiny. Różnica ciśnień w obu rurociągach może być określona rurką w kształcie litery *U* wypełnioną rtęcią, co przedstawia rys. Z3-7 lub taką samą rurką odwróconą wypełnioną cieczą lżejszą od wody (układ ten można stosować gdy różnice ciśnień nie są duże), a co pokazano na rys. Z3-8.

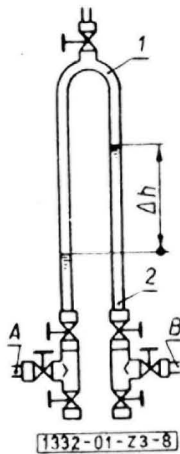


Rys. Z3-7. Manometr różnicowy rtęciowy

1 — woda (γ), 2 — rtęć (γ_{Hg})

$$H_1 + \frac{c^2}{2g} = (\gamma_{Hg} - \gamma) \Delta h$$

H_1 — strata spadku między ujęciem a przekrojem pomiarowym.



Rys. Z3-8. Manometr różnicowy z przewodem w kształcie odwróconej litery *U*

1 — powietrze (γ_a), 2 — woda (γ)

$$H_1 + \frac{c^2}{2g} = (\gamma - \gamma_a) \Delta h$$

H_1 — strata spadku między ujęciem a przekrojem pomiarowym

W tym przypadku jako cieczy manometrycznej można użyć toluenu o ciężarze właściwym $0,867 \text{ kG/dm}^3$ albo też powietrza (sprężonego) z odpowiednio dobranym ciężarem właściwym.

Strata spadku powinna być bezwzględnie uwzględniona. Wartość jej można ustalić mierząc różnicę poziomów wody na wejściu do obu rurociągów turbinowych.

3. Urządzenia amortyzujące. Gdy ciśnienie jest zmienne (występują pulsacje) mogą istnieć trudności w prze-

prowadzaniu prawidłowego odczytu na manometrze. W celu ułatwienia odczytów stosuje się amortyzację wahań. Wymaga to jednak kilku zabiegów i ostrożności. Urządzenia amortyzujące działające prawidłowo i działające na zasadach oporu wynikającego z lepkości cieczy, powinny być całkowicie symetryczne i mieć jednakową wartość oporu w obu kierunkach działania cieczy. Układ taki można zrealizować rurką kapilarną lub specjalnym zaworem kurkowym z łatwym opróżnieniem z cieczy.

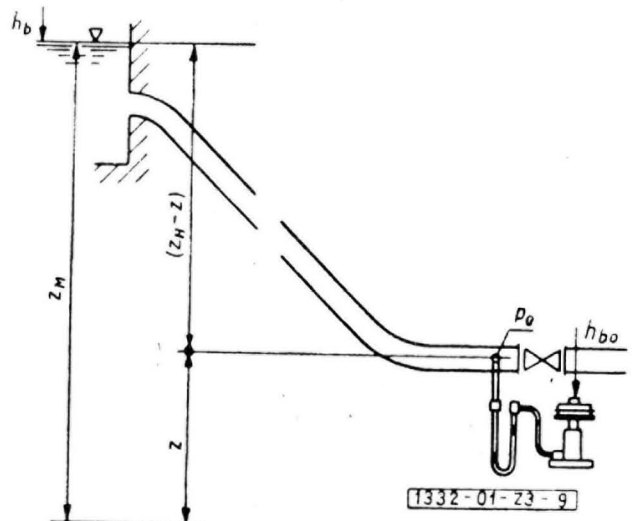
W przypadku stosowania manometrów sprężynowych i występowaniu pulsacji zaleca się w przewodach łączących manometr z punktem pomiarowym wprowadzenie komory powietrznej lub innego urządzenia tłumiącego uderzenia hydrauliczne.

4. Wzorcowanie manometrów

4.1. Porównanie odczytów z ciśnieniem statycznym.

Przed i po przeprowadzeniu prób odbiorczych należy sprawdzić wskazania manometrów z ciśnieniem statycznym p_0 . Porównania takiego dokonuje się przy braku przepływu wody przez przekrój pomiarowy tj. dla $Q = 0$. Przy określaniu ciśnienia p_0 należy pamiętać o różnicy ciśnienia atmosferycznego między poziomami wody górnej a położeniem manometru. Przy bardzo wysokich spadach należy również uwzględnić ściśliwość wody.

Ciśnienie statyczne p_0 , w kG/cm^2 , działające na manometr w punkcie położonym na wysokości z metrów nad poziomem morza oraz ciśnienie barometryczne h_{b0} (mm słupa rtęci) dla określonego górnego poziomu wody znajdującego się na wysokości z_H metrów nad poziomem morza i panującego na tej wysokości ciśnienia barometrycznego h_b (mm słupa rtęci) można obliczyć ze wzoru (patrz: rys. Z3-9).



Rys. Z3-9. Obliczenie ciśnienia p_0

$$p_0 = \frac{\gamma}{10} (z_H - z) + \Delta p_0$$

$$\text{gdzie: } \Delta p_0 = 1,3546 \frac{(h_b - h_{b0})}{1000} + 0,1 \int_z^{z_H} \gamma(\rho) dz$$

Jeżeli obliczenia odnoszą się do miejsca, w którym z może mieć 3000 m n.p.m. przy temperaturze wody 10°C i $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ należy uwzględnić poprawkę Δp_0 w funkcji $(z_H - z)$ podaną w tablicy Z3.

Tablica Z3

z	0	1000	2000	3000
$z_H - z$	$\Delta p_0, \text{ kG/cm}^2$			
200	-0,0147	-0,0114	-0,0094	-0,0071
400	-0,0088	-0,0031	0,0020	0,0061
600	0,0178	0,0263	0,0335	0,0399
800	0,0651	0,0769	0,0856	0,0940
1000	0,1327	0,1464	0,1582	0,1686
1200	0,2212	0,2371	0,2512	0,2634
1400	0,3298	0,3486	0,3645	0,3788
1600	0,4595	0,4804	0,4986	0,5146
1800	0,6095	0,6328	0,6530	0,6709
2000	0,7802	0,8057	0,8279	0,8475

Dokładność wyznaczenia p_0 przede wszystkim zależy od dokładności z jaką wyznaczono z i z_H . Wychodząc z p_0 i wartości p pomierzonych w czasie pomiarów dla różnych wartości Q , strata spadku H_t może być wyznaczona w funkcji Q :

$$H_t + \frac{v^2}{2g} = \frac{10}{\gamma} (p_0 - p)$$

4.2. Porównanie z innymi przyrządami pomiarowymi.

Manometry sprężynowe powinny być sprawdzone w całym zakresie ich podziałki z przyrządami o większej dokładności takimi jak np. manometry ciężarowe

Załącznik 4
do BN-72/1332-01

METODY POMIARU MOCY

1. Pomiar bezpośredni

1.1. Pomiar za pomocą hamulców (mechanicznych, hydraulicznych lub elektrycznych).

Tego rodzaju pomiary wymagają dokładnego określenia:

- liczby obrotów wału,
- długości ramienia dźwigni hamulca,
- wskazań urządzeń wagowych hamulca.

Hamulec należy montować tak, aby siły osiowe i promieniowe oddziałujące na łożyska wału turbiny były minimalne. Energia zużywana na pokonywanie tarcia w łożyskach na skutek występowania sił dodatkowych nie może być brana w rachubę przy obliczaniu sprawności turbiny.

Jeżeli turbina jest o wale pionowym, hamulec nie powinien wywoływać momentów gnących na wale turbiny.

Należy zwrócić uwagę, aby płyn chłodzący hamulec nie wywoływał dodatkowych momentów na wale turbiny. Jeżeli tak jest należy to uwzględnić przy obliczaniu mocy turbiny.

Hamowanie mechaniczne na wale pośrednim, napędzanym pasem lub paskami klinowymi, do celów pomiarowych jest niedopuszczalne.

Należy dążyć do jednoczesnego odczytywania wskazań obciążeń hamulca i pozostałych mierzonych wielkości.

1.2. Pomiar dynamometrem skrętnym. Dynamometr skrętny może składać się ze specjalnego urządzenia wprowadzanego w wał turbiny i przewidziany przy jej

zamawianiu lub być wprost odcinkiem wału, na którym dokonuje się pomiaru kąta skręcenia wału, pod wpływem przenieszonego momentu.

W obu przypadkach przyrząd należy wywzorcować i sprawdzić jego działanie przed rozpoczęciem prób i po ich zakończeniu. Jeżeli jest to możliwe wzorcowanie należy przeprowadzać na turbinie w elektrowni.

2. Metoda pośrednia. W metodzie tej prądnica sprzężona z turbiną odgrywa rolę nie tylko elementu pochłaniającego moc, lecz równocześnie pomiaru mocy.

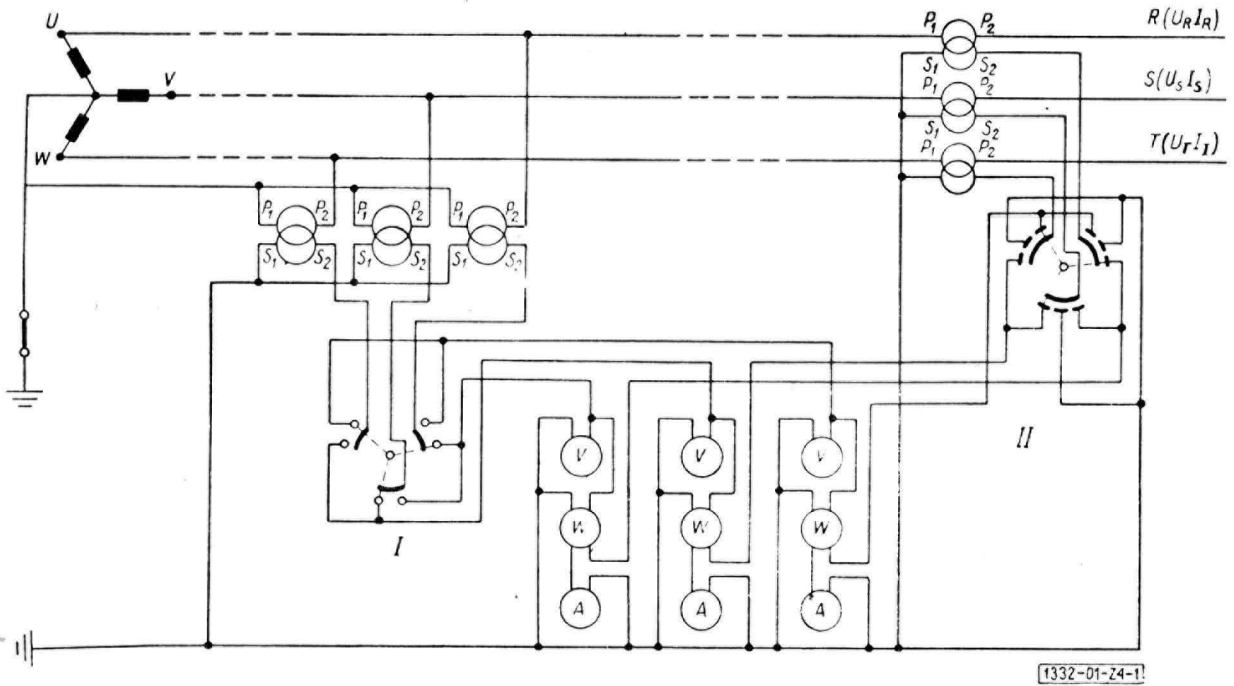
Z tych powodów jego sprawność powinna być dokładnie określona w tych samych warunkach obciążenia, napięcia, współczynnika mocy, obrotów i temperatury, jakie występują w czasie przeprowadzania prób na turbinie. Wobec tego jego sprawność może się różnić od sprawności prądnicy badanej w znormalizowanych warunkach.

Sprawność prądnicy elektrycznej powinna być określona przez pomiar pośredni, polegający w zasadzie na pomiarze sumarycznych strat maszyny i przyjęciu, że straty są różnicą między pochłoniętą mocą mechaniczną a oddaną elektryczną. Wyznaczanie strat całkowitych dokonuje się mierząc lub obliczając oddzielnie poszczególne rodzaje strat, a następnie je sumując.

Moc należy mierzyć watomierzami i licznikami energii klasy 0,2 z ekranowaniem i wywzorcowanych według uwag podanych dalej w tekście normy. Przekładniki również muszą być klasy 0,2.

Jeżeli prądnica ma wyprowadzony punkt zerowy połączony z siecią lub uziemiony, obowiązuje stosowanie trzech watomierzy względnie trzech liczników, jak to przedstawia schemat na rys. Z4-1.

W przypadku dużych zmian temperatur, zaleca się (szczególnie dla liczników) umieszczenie przyrządów w osłonach cieplnych utrzymujących stałą temperaturę. Oprócz mocy na zaciskach mierzy się napięcie, prądy



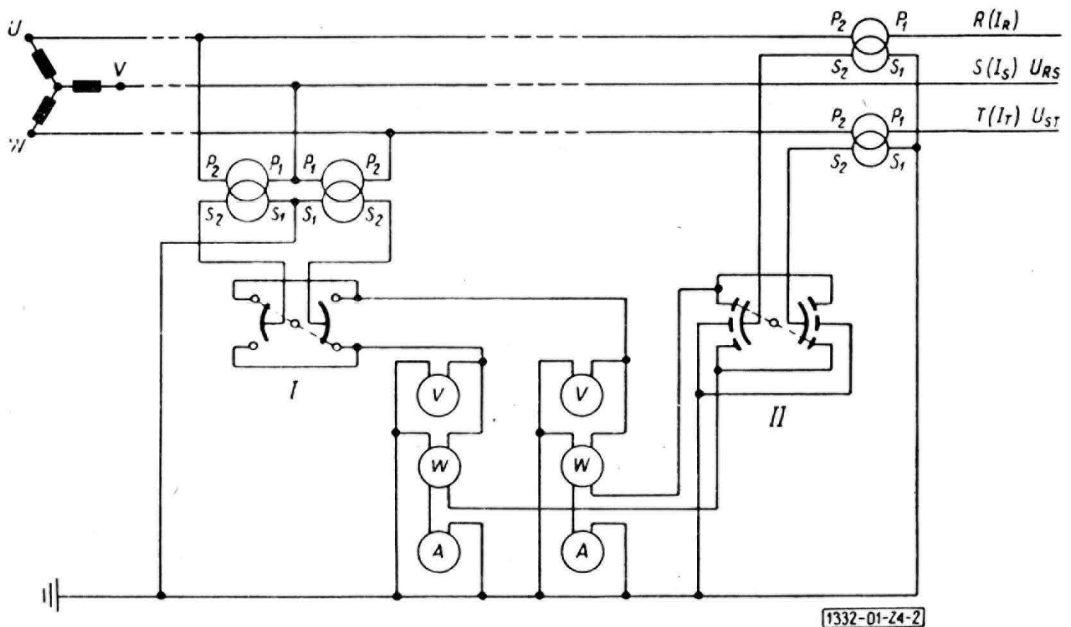
Rys. Z4-1. Pomiar mocy na zaciskach prądnicy metodą trzech watomierzy

I — przełącznik napięcia, II — przełącznik natężenia, UVW — zaciski prądnicy, I_R, I_S, I_T — prądy fazowe, U_{RS}, U_{ST} — napięcia międzyprzewodowe, P_1, P_2, S_1, S_2 — zaciski wtórne przekładników prądowych i napięciowych

W przypadku gdy punkt zerowy prądnicy jest wyprowadzony, lecz w czasie prób nie połączony z siecią lub uziemiony można przeprowadzać pomiary trzema watomierzami (licznikami) lub dwoma watomierzami (licznikami). Zaleca się jednak stosować trzy watomierze. Jeżeli punkt zerowy nie jest wyprowadzony, należy stosować metodę dwóch watomierzy w układzie pokazanym na rys. Z4-2.

fazowe, napięcie i natężenie prądu wzbudzenia za pomocą odpowiednio dokładnych przyrządów. Podobnie należy mierzyć temperaturę w kanałach powietrza chłodzącego stojan oraz inne wielkości niezbędne do określania strat i mocy maszyny podczas pomiarów odbiorczych (gwarancyjnych).

W przypadku przeprowadzania pomiarów przyrządami bezpośredniego odczytywania, liczbę odczytów



Rys. Z4-2. Pomiar mocy na zaciskach prądnicy metodą dwóch watomierzy

I — przełącznik napięcia, II — przełącznik natężenia

uzależnia się od czasu trwania próby i zmian mocy. Zaleca się dokonywanie jednoczesnych odczytów watomierzy. Jeżeli pomiary realizuje się licznikami energii, należy je stosować jednocześnie z watomierzami o bezpośrednim odczytywaniu kontrolującym pracę liczników. Czas pracy przyrządów rejestrujących mierzy się licznikami sekund lub innymi przyrządami pomiaru czasu z dokładnością 0,1%.

Moc należy mierzyć w tym samym czasie, w którym mierzy się przepływ turbiny.

W czasie przeprowadzania pomiarów na turbozespolu należy przeprowadzać częste porównanie wskazań kilku przyrządów w celu upewnienia się czy ich wskazania są prawidłowe.

W przypadku zaistniałych różnic we wskazaniach lub jakichś niepewności należy przeprowadzić ponowne

wzorcowanie, niezwłocznie po zakończeniu danej serii pomiarów.

Wobec wymagania dużej dokładności przyrządów elektrycznych (łącznie z przekładnikami) nie dopuszcza się używania do prób odbiorczych przyrządów tablicowych. Z tych samych względów używane do pomiarów w czasie prób odbiorczych przekładniki powinny być osobno przygotowanymi aparatami, które nie mogą współdziałać w zasilaniu przyrządów ruchowych i zabezpieczeń maszyn. Można odejść od tej zasady, po uzgodnieniu obu stron i wykorzystywać przekładniki ruchowe jeżeli stwierdzi się, że ich klasa jest odpowiednia, wskazania prawidłowe, stan dobry, wystarczające obciążenie oraz, że uzyskane wyniki będą tak samo dokładne jak przy użyciu osobnych aparatów przeznaczonych wyłącznie do pomiarów odbiorczych

Załącznik 5
do BN-72/1332-01

POMIARY STRAT

1. Straty w łożysku nośnym i łożyskach prowadzących należy określać przez pomiar ilości cieczy chłodzącej i różnicy jej temperatur. Przy braku bezpośrednich pomiarów straty zostaną określone, po uzgodnieniu obu stron przez porównanie lub obliczenie w oparciu o istniejące wzory.

2. Straty wentylacyjne zamachowych kół odkrytych. Straty wentylacyjne koła zamachowego odkrytego można obliczyć wg wzoru

$$N_w = 0,35n^3 d_z^5 \left(1 + 1,8 \frac{b}{d_z}\right) \cdot 10^{-9}$$

w którym:

- N_w — straty wentylacyjne, kW,
- n — liczba obrotów, obr/min,
- d_z — zewnętrzna średnica koła zamachowego, m,
- b — szerokość wieńca koła zamachowego.

3. Straty w przekładniach. Straty mocy w przekładniach pośredniczących między turbiną a generatorem i głównych urządzeniach pomocniczych powinny być w miarę możliwości przedmiotem osobnych pomiarów, realizowanych w warunkach zbliżonych do warunków prób odbiorczych turbiny. Można na przykład wyznaczyć straty w przekładni zębatej, łożysku nośnym, łożysku prowadzącym itp. pomiarem ilości ciepła odprowadzanego przez olej smarujący (lub wodę chłodzącą olej) i otaczające powietrze.

4. Poprawki przy określaniu strat

4.1. Straty tarcia i wentylacyjne

$$N_w = \frac{\gamma_a}{g} K_w n^3 D^5 \cdot 10^{-6}$$

gdzie:

$\frac{\gamma_a}{g}$ — masa właściwa powietrza (0,132 kg/m³ przy 20°C)

K_w — współczynnik określony próbami, zależy od rodzaju turbiny

n — liczba obrotów turbiny, obr/min,

D — średnica charakterystyczna wirnika.

Współczynnik K_w można określić w następujący sposób:

A) Turbiny Kaplana (łopatki wirnika w położeniu zamkniętym)

$$(K_w)_K = \frac{0,04}{n^{0,2} \cdot D^{0,4}} \text{ do } \frac{0,05}{n^{0,2} \cdot D^{0,4}}$$

B) Turbiny Francis (bez zwilżania labiryntów)

$$(K_w)_F = \frac{1}{n^{0,2} \cdot D^{0,4}} \cdot \left[0,2 + 0,03 \left(\frac{n_s - 140}{100} \right)^2 \right]$$

gdzie:

$n_s = \frac{n \cdot N_t^{0,5}}{H^{1,25}}$ — wyróżnik szybkobieżności turbiny,

N_t — moc turbiny przy jej maksymalnej sprawności, KM,

H — spód użyteczny (netto) turbiny, m,

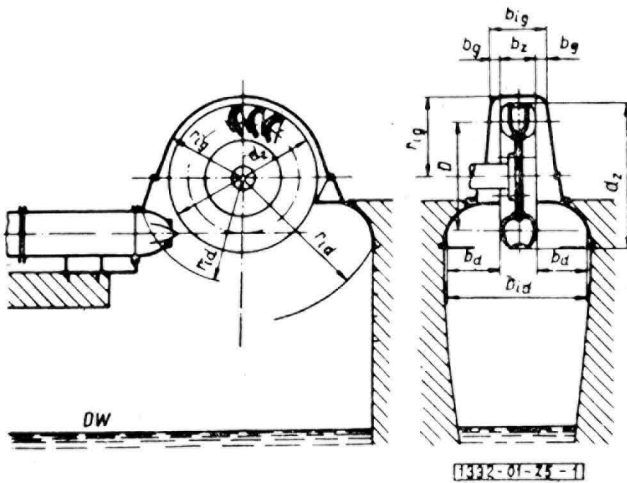
n — liczba obrotów turbiny, obr/min.

W pewnych przypadkach dla turbin Kaplana i Francis, straty wentylacyjne obracającego się wirnika w powietrzu można zastąpić mierzac moc pobraną przez obracający się wirnik w wodzie przy zamkniętej kierownicy. Moc pobraną w tych warunkach można określić

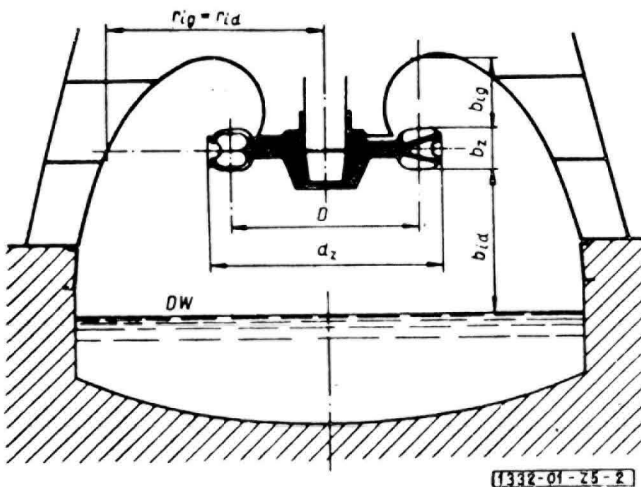
mierząc moc na zaciskach prądnicy (pracującej jako silnik) i odejmując jej straty własne.

Następnie uwzględniając różnicę ciężaru właściwego i lepkości kinematycznej wody i powietrza. Straty wirnika w powietrzu oblicza się dzieląc otrzymane straty w wodzie przez 500.

C) Turbina Peltona. Wymiary charakterystyczne przyjmuje się do obliczeń wg schematów podanych na rys. Z5-1 i Z5-2.



Rys. Z5-1. Wymiary obudowy turbiny Peltona o wale poziomym r_{1g} — odległość od osi turbiny szczytu pokrywy górnej, r_{1d} — odległość od osi turbiny do dolnej wody ewentualnie do końca zaokrąglenia dolnej części obudowy, b_{1g} oraz b_{1d} — szerokość obudowy części najwyższej lub najniższej, D — średnica charakterystyczna wirnika turbiny, d_z — maksymalna średnica wirnika, b_d , b_g — odległość między wirnikiem a obudową w części górnej lub dolnej, b_z — szerokość łopatek wirnika DW — lustro dolnej wody



Rys. Z5-2. Wymiary obudowy turbiny Peltona o wale pionowym $r_{1g} = r_{1d}$ — mierzone w osi poziomej wirnika, b_{1g} — mierzone na linii pionowej odległej od osi obrotu wirnika o $\frac{D}{2}$, b_{1d} — praktycznie mierzone do zwierciadła dolnej wody

Dla wirników odlewanych wraz z łopatkami:

$$(K_w)_{P_0} = 0,01 + 12,40 \left(\frac{b_z}{d_z} \right)^4$$

Dla wirników z łopatkami mocowanymi do tarczy wirnikowej

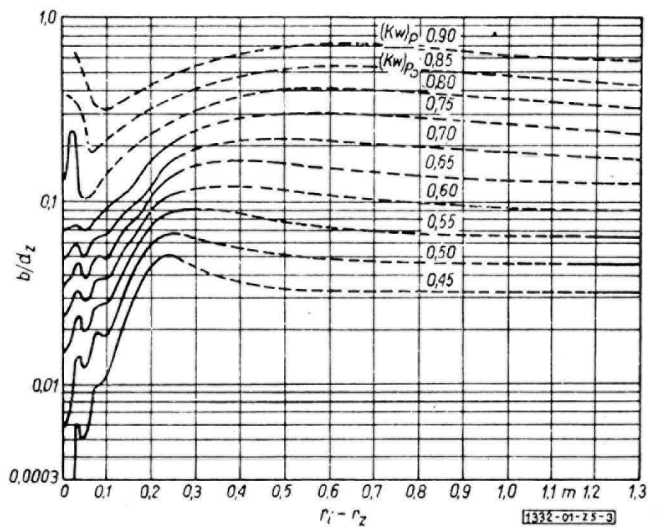
$$(K_w)_{P_0} = 0,035 + 0,25 \left(\frac{b_z}{d_z} \right)$$

gdzie:

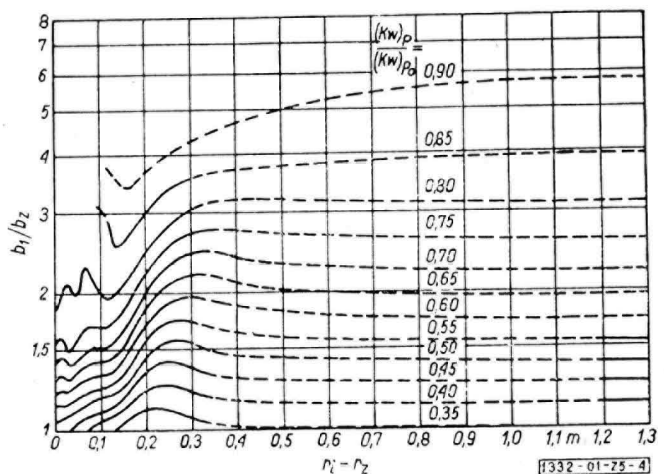
b_z — maksymalna zewnętrzna szerokość łopatki, m,

d_z — maksymalna zewnętrzna średnica wirnika, m.

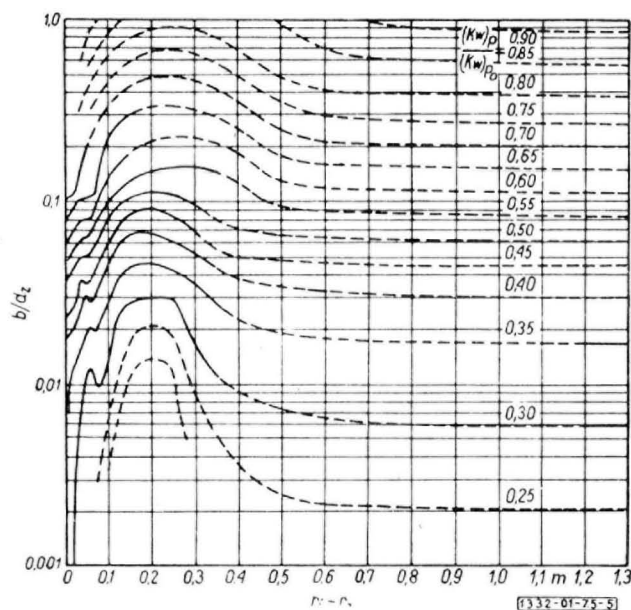
Odpowiednie wartości współczynników do obliczeń należy odczytać z wykresów podanych na rys. Z5-3 ÷ Z5-6.



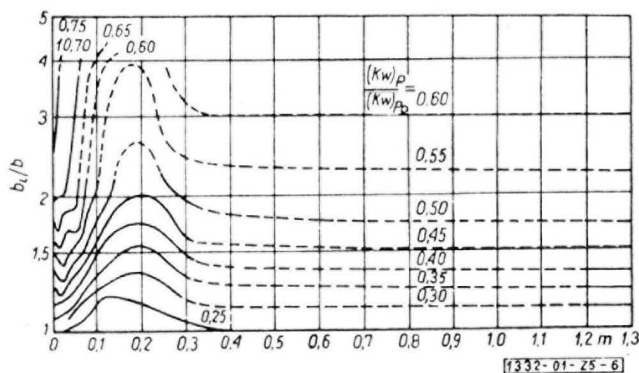
Rys. Z5-3. Wpływ obudowy turbiny na wirnik odlewany wraz z łopatkami — wartości mierzone, — — — wartości ekstrapolowane, w obu przypadkach podano wartości dla $(K_w)_P : (K_w)_{P_0} = \text{const}$



Rys. Z5-4. Wpływ obudowy turbiny na wirnik odlewany wraz z łopatkami — wartości mierzone, — — — wartości ekstrapolowane w obu przypadkach podano wartości dla $(K_w)_P : (K_w)_{P_0} = \text{const}$



Rys. Z5-5. Wpływ obudowy turbiny na wirnik z łopatkami przymocowanymi do jego tarczy — wartości mierzone, — — — wartości ekstrapolowane; w obu przypadkach podano wartości dla $(K_w)_P : (K_w)_{P_0} = \text{const}$



Rys. Z5-6. Wpływ obudowy turbiny na wirnik z łopatkami przymocowanymi do jego tarczy — wartości mierzone, — — — wartości ekstrapolowane; w obu przypadkach podano wartości dla $(K_w)_P : (K_w)_{P_0} = \text{const}$

Straty wirnika poruszającego się w zamkniętej obudowie oblicza się z powyższych wzorów mnożąc je przez współczynnik $(K_w)_P : (K_w)_{P_0}$ mniejszy od jedności.

4.2. Straty tarcia w łożysku nośnym prądnicy wywołane masą wirnika turbiny należy obliczyć w kW wg wzoru

$$N_a(r+t) = (G_r + G_t) f \cdot c_{sr} \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}$$

gdzie:

G_r — masa części wirujących prądnicy,

G_t — masa wału i wirnika turbiny,

c_{sr} — średnia prędkość obwodowa bieżnika łożyska.

Jeżeli tak określona strata ma być rozdzielona proporcjonalnie do obciążeń G_r oraz G_t działających na wspólne łożysko nośne prądnicy i turbiny, to przyjmuje się, że straty wynoszą dla prądnicy:

$$N_{br} = \frac{G_r}{G_r + G_t} \cdot N_b(r+t)$$

a dla turbiny

$$N_{bt} = \frac{G_t}{G_r + G_t} \cdot N_b(r+t)$$

Straty w dławnicach wału turbiny można pominąć.

4.3. Straty tarcia w poprzecznych łożyskach turbiny

$$N_{ob} = \frac{1,6\eta \cdot n^2 \cdot d^3 \cdot l}{\delta} \cdot 10^{-4} \text{ kW}$$

gdzie:

η — lepkość oleju, kg s m^{-2} ,

d — średnica czopa, m,

l — długość czopu, m,

δ — luz całkowity w łożysku mierzony na średnicy, m.

Załącznik 6
do BN-72/1332-01

TERMODYNAMICZNA METODA WYZNACZANIA SPRAWNOŚCI TURBINY

1. Zasady ogólne. Metodę termodynamiczną zaleca się stosować dla spadów powyżej 150 m. W korzystnych wypadkach może być stosowana do 100 m i wyżej po uzgodnieniu między użytkownikiem turbiny a jej dostawcą.

Podstawowy wzór tej metody opiera się o prawo zachowania energii

$$h_u = \Delta \left(h_t + \frac{U}{g} \right) \dots \dots \dots (I)$$

gdzie:

h_u — spadek efektywnie zamieniony przez wirnik na energię mechaniczną,

h_t — całkowity spadek w przekroju rurociągu lub kanału w stanie ustalonym,

$\frac{U}{g} = \frac{1}{g} \cdot U(\theta, p)$ — energia bezwładności na jednostkę

masy wody, wielkość odpowiadająca wysokości słupa wody w temperaturze θ i przy ciśnieniu p ,

$\Delta \left(h_t + \frac{U}{g} \right)$ — różnica $\left(h_t + \frac{U}{g} \right)$ między dwoma przekrojami przed i za turbiną.

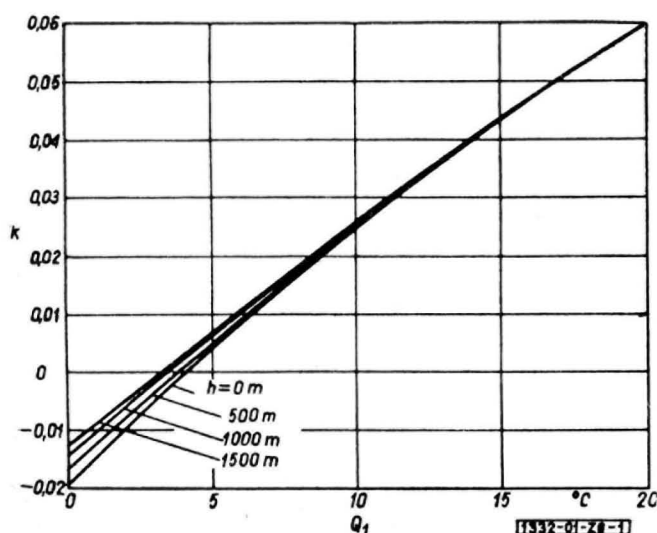
Zależność (I) zakłada, że nie ma wymiany ciepłej z otoczeniem między obu przekrojami. Jeżeli woda będzie pobrana z przewodu zasilającego turbinę i doprowadzana bez wymiany energetycznej z otoczeniem do kalorymetru E , przy temperaturze θ_1 , pod ciśnieniem h_{p1} na wysokości (rzędnej) z_1 i jeżeli poziom dolnej wody o temperaturze θ_2 znajduje się na wysokości z_2 a różnica energii kinetycznej w E_1 i kanale odprowadzającym jest do pominięcia, otrzymamy następujący wzór:

$$h_u = h_{p1}(1-k) + z_1 - z_2 - \frac{j_e}{g} (\theta_2 - \theta_1) \dots\dots(II)$$

gdzie:

k — współczynnik zależny od h_{p1} oraz θ_1 podany na wykresie (rys. Z6-1),

$\frac{j_e}{g}$ — energia cieplna wody odniesiona do jednostki masy i temperatury.



Rys. Z6-1. Metoda termodynamiczna pomiaru sprawności — wartości współczynnika k w funkcji temperatury wody górnej θ_1 (°C)

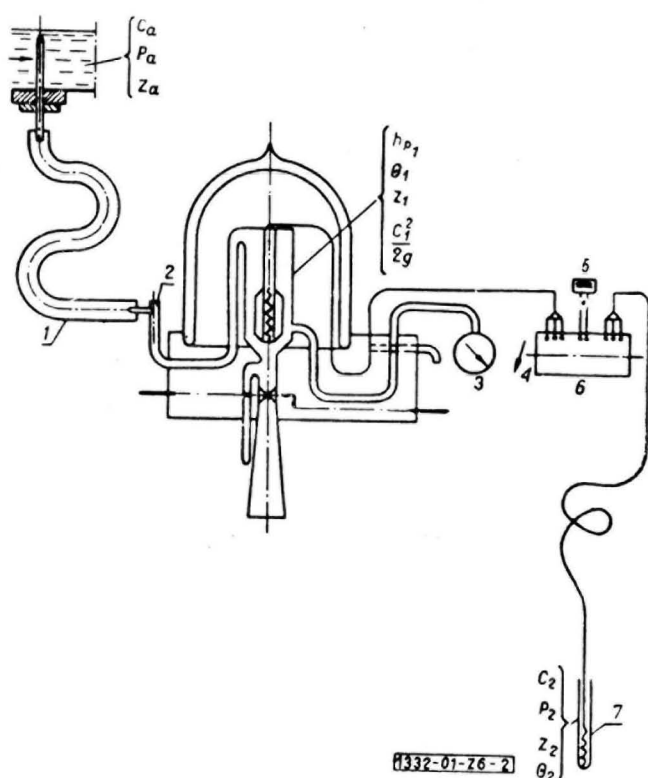
Jeżeli H jest spadem użytecznym, to sprawność hydrauliczna turbiny może być wyrażona:

$$\eta_h = \frac{h_u}{H}$$

Jak wiadomo sprawność hydrauliczna nie uwzględnia strat mechanicznych w łożyskach, dławnicach itp. Z podanego względu straty te należy obliczyć i uwzględnić dla ostatecznej oceny sprawności gwarantowanej.

2. Praktyczne sposoby pomiaru h_u . Najskuteczniejszy sposób pomiaru h_u podano na schemacie rys. Z6-2. Woda pobrana z przewodu zasilającego turbinę jest doprowadzana przez zawór redukcyjny o regulowanym stopniu redukcji i szczelnie cieplnie izolowanym prze-

wodzie do kalorymetru, w którym znajduje się czujnik pomiaru temperatury z platynowym opornikiem.



Rys. Z6-2. Schemat oprzyrządowania do pomiaru sprawności metodą termodynamiczną

1 — przewód poboru wody górnej, 2 — regulacyjny zawór rozprężający, 3 — manometr, 4 — potencjometr, 5 — galwanometr, 6 — mostek Wheatstone'a, 7 — czujnik oporowy w kanale dolnej wody, c_a, p_a, z_a — wartości w punkcie poboru wody, c_2, p_2 — prędkości wody i ciśnienie w kanale dolnej wody

Czujnik oporowy porównuje się z oporem identycznego czujnika zanurzonego w kanale dolnej wody za pomocą mostka Wheatstone'a. Regulację mostka przeprowadza się przed pomiarami zanurzając obie elektrody oporowe w tej samej wodzie o identycznej temperaturze. Następnie stratę spadku reguluje się zaworem o obwodzie izolowanym termicznie, aż do uzyskania w nim temperatury identycznej z temperaturą w kanale odpływowym, co stwierdza się powrotem mostka do stanu równowagi (brak wychylenia galwanometru).

Przyrząd można wywzorcować tak, że równowaga mostka nastąpi z dokładnością pomiaru wysokości od 0,2 do 0,4 m. Wobec tego wzór (II) przybierze postać:

$$h_u = h_{p1}(1-k) + (z_1 - z_2)$$

W praktyce wielkość h_1 odpowiadająca $\theta_2 - \theta_1 = 0$ jest pomijalna z braku wychylenia się galwanometru mostka. W ten sposób uzyskuje się interpolację liniową i nie trudno ustalić jest kilka wartości h_{p1} odpowiadających niewielkim dodatnim i ujemnym odchyleniom galwanometru.

Należy sprawdzić stateczność równowagi mostka, sprawdzając okresowo jego zero w czasie przeprowadzania pomiarów. Normalnie klasa sond oporowych oraz

samemu mostkowi powinna umożliwić uzyskanie czułości odpowiadającej odchyłkom mniejszym od 0,2 m słupa wody.

Wykorzystując ten sam przyrząd (mostek) do pomiaru h_{p1} oraz H eliminuje się błąd wzorcowania. Pobierana ilość wody powinna być taka, aby wymiana termiczna z otoczeniem objawiała się bardzo nieznacznymi odchyłkami temperatury. Pobór wody w ilości 0,4 l/s można łatwo uzyskać i powinien on wystarczyć przy dobrej izolacji termicznej urządzeń.

Niemniej jednak nawet w tych warunkach jest rzeczą konieczną porobić pewne poprawki dla h_u aby wziąć pod uwagę fakt, że energia wymieniana z atmosferą nie jest całkiem pomijalna. Ta poprawka może być ustalona zmieniając ilość pobieranej wody i zakładając, że ta poprawka jest dowolnie proporcjonalna do ilości pobieranej wody.

Pobór wody przed turbiną należy dokonywać sondą pomiarową kinetyczną (jej otwór powinien być skierowany w kierunku napływającej wody). Doświadczenie wskazuje również, że pomiar h_u jest w małym stopniu uzależniony od punktu poboru wody. Na to mogą mieć wpływ zawirowania powstające na przykład w wyniku obecności zaworu motylkowego znajdującego się powyżej miejsca w którym jest zainstalowana sonda do poboru wody. Normalnie zaleca się umieszczenie punktu poboru wody w odległości $1/7$ średnicy rurociągu od jego ściany bocznej.

Przekrój pomiarowy w kanale odprowadzającym wodę spod turbiny powinien być umieszczony w takiej odległości aby nastąpiło dokładne wymieszanie cząsteczek wody o różnej temperaturze co jest wynikiem różnej pracy wykonanej przez poszczególne strugi wody w samej turbinie.

Ta odległość nie może być zbyt wielka, gdyż może zająć wymiana ciepła między wodą wypływającą z turbiny a obudową kanału odprowadzającego. Zwykle w turbinach Francis'a sondę umieszcza się u wylotu rury ssawnej, natomiast w turbinach Peltona w odległości od 5 do 15 m od zagłębienia gromadzącego spływającą wodę z wirnika turbiny.

Poza tym zaleca się zbadanie pomiarem w kilku punktach różnic temperatur w różnych przekrojach kanału doprowadzającego wodę spod turbiny i wybrania do prób takiego miejsca przekroju, w którym temperatura wody jest najbardziej zbliżona do średniej.

Pomiary mogą być zakłócone zmianą temperatury wody odprowadzanej do turbiny (nagrzanie rurociągu promieniami słonecznymi, pobór wody zasilającej z kilku ujęć o różnej temperaturze i nie wymieszaniu się w sposób dostateczny wody w punkcie jej poboru itp.).

Z podanych powodów należy badać temperaturę pobieranej wody kontrolując ją termometrem z dokładnością do $1/10^\circ\text{C}$. Przy stwierdzeniu regularnej zmiany temperatury (kilka dziesiętnych stopnia na godzinę) można wprowadzić poprawkę uwzględniającą czas przepływu wody od miejsca jej poboru i sondy oporowej górnej z jednej strony oraz z tym samym punktem poboru a sondą oporową dolną.

W niekorzystnych warunkach (rurociągi poddane działaniu słońca) można przeprowadzać pomiary nocą w okresie minimalnych dobowych temperatur wody.

Doświadczenie wskazuje, że nie ma obaw co do wymiany ciepła między wodą krążącą w turbinie a otoczeniem wywołujących widoczne błędy. Jedynie w turbinach Peltona należy zwrócić baczniejszą uwagę czy w przekroju pomiarowym dolnym nie występują silne prądy powietrza.

INFORMACJE DODATKOWE do BN-72/1332-01

Zalecenie Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej — Publikacja nr 41, wydanie drugie, 1963 r.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP

- 1.1. Przedmiot normy
- 1.2. Zakres stosowania normy
- 1.3. Pojęcia i oznaczenia
- 1.4. Normy związane

2. WYMAGANIA

- 2.1. Zasady ogólne
- 2.2. Wymagania ogólne
 - 2.2.1. Moc
 - 2.2.2. Sprawność turbiny
- 2.3. Wymagania dodatkowe
 - 2.3.1. Rozbiegowa liczba obrotów
 - 2.3.2. Maksymalna przejściowa liczba obrotów
 - 2.3.3. Przejściowe ciśnienie maksymalne i minimalne
 - 2.3.4. Erozja kawitacyjna
 - 2.3.5. Szczelność kierownicy
- 2.4. Okres gwarancji
- 2.5. Tabliczka znamionowa
- 2.6. Warunki przeprowadzania pomiarów
 - 2.6.1. Jakość wody
 - 2.6.2. Poziom wody w czasie trwania pomiarów
 - 2.6.3. Natężenie przepływu (przełyk)
 - 2.6.4. Spad
 - 2.6.5. Pomiar mocy
 - 2.6.6. Liczba obrotów

3. BADANIA

- 1. Zasady ogólne
 - 3.1.1. Termin wykonania badań
 - 3.1.2. Wykonawca badań
 - 3.1.3. Program badań
 - 3.1.4. Przygotowanie turbiny do badań
 - 3.1.5. Pomiary wstępne
 - 3.1.6. Stan przyrządów
 - 3.1.7. Odczyty
 - 3.1.8. Oględziny końcowe po przeprowadzeniu prób
 - 3.1.9. Postępowanie w przypadku sprzeczności lub powtarzania prób
- 3.2. Pomiar przełyku
- 3.3. Pomiar poziomu swobodnego zwierciadła wody
- 3.4. Pomiar ciśnienia
- 3.5. Pomiar podciśnienia
- 3.6. Pomiar mocy
 - 3.6.1. Metody pomiaru mocy na wale turbiny
 - 3.6.2. Metoda pośrednia
 - 3.6.3. Metoda bezpośrednia
 - 3.6.4. Pomiar strat
- 3.7. Zużycie wody przez urządzenia potrzeb własnych
- 3.8. Sprawność
 - 3.8.1. Sprawność prądnicy
 - 3.8.2. Sprawność turbiny
 - 3.8.3. Postępowanie przy zastosowaniu sprawności ważonych

3.9. Liczba obrotów

- 3.9.1. Pomiar liczby obrotów do bezpośredniego określania mocy
- 3.9.2. Zmiana liczby obrotów
- 3.9.3. Przyrządy pomiarowe
- 3.10. Zmiana ciśnienia w wyniku naglej zmiany obciążenia turbiny
 - 3.10.1. Wielkość zmian ciśnienia
 - 3.10.2. Przyrządy pomiarowe
- 3.11. Dopuszczalne odchylenia wartości mierzonych
- 3.12. Szczelność kierownicy

4. PRZELICZANIE WYNIKÓW POMIARÓW I WYZNACZANIE TOLERANCJI

- 4.1. Przeliczanie wyników na warunki gwarancyjne
- 4.2. Błąd pomiaru
- 4.3. Porównanie z wielkościami gwarancyjnymi
 - 4.3.1. Zasady ogólne
 - 4.3.2. Sprawność turbiny (η_t)
 - 4.3.3. Sprawdzenie rozrzutu punktów pomiarów przez sprawdzenie wartości przełyku Q i mocy N do stałego spadu użytecznego H w funkcji otwarcia kierownicy
- 4.4. Tolerancja poszczególnych pomiarów
 - 4.4.1. Przełyk
 - 4.4.2. Zwierciadło wody
 - 4.4.3. Ciśnienie
 - 4.4.4. Moc
 - 4.4.5. Spad
 - 4.4.6. Sprawność
 - 4.4.7. Liczba obrotów

5. SPRAWOZDANIE KOŃCOWE

- 5.1. Przygotowanie sprawozdania
- 5.2. Treść sprawozdania końcowego

Załącznik 1. METODY POMIARÓW PRZĘŁYKU

- 1. Metoda roztworu soli (ekranu solnego)
 - 1.1. Zasada metody
 - 1.2. Przygotowanie roztworu
 - 1.3. Wykonanie oznaczania
 - 1.4. Wynik
- 2. Metoda ciśnienie-czas (Gibsona)
 - 2.1. Zasada metody
 - 2.2. Warunki stosowania metody
 - 2.3. Wykonanie pomiaru
 - 2.4. Wyniki pomiarów
- 3. Pomiar przełyku młynkami
 - 3.1. Zasada pomiaru
 - 3.2. Przygotowanie do pomiaru
 - 3.3. Warunki stosowania metody
 - 3.4. Ograniczenie prędkości

- 3.5. Rozkład prędkości
- 3.6. Pulsacja
- 3.7. Wykonanie pomiaru
- 3.8. Wyniki
- 4. Metoda rozpuszczalnika
 - 4.1. Zasada metody
 - 4.2. Przygotowanie roztworu
 - 4.3. Wykonanie oznaczania
 - 4.4. Wynik
- 5. Pomiar przeliku przelewem
 - 5.1. Zasada pomiaru
 - 5.2. Warunki stosowania metody
 - 5.3. Wykonanie pomiaru
 - 5.4. Wynik
- 6. Pomiar przeliku metodą wagową i objętościową
 - 6.1. Zasada pomiaru
 - 6.2. Wymagania

Załącznik 2. METODY POMIARU POZIOMU SWOBODNEGO ZWIERCIADŁA WODY

Metody pomiarowe

- 1. Wskaźnik płytowy
- 2. Wskaźnik kołcowy
- 3. Wskaźniki pływakowe
- 4. Łaty
- 5. Pomiar za pomocą stężonego powietrza
- 6. Pomiar swobodnego zwierciadła wody w miejscach niedostępnych

Załącznik 3. METODY POMIARÓW CIŚNIEŃ

- 1. Dołączenie aparatów do punktu pomiarowego
- 2. Przyrządy do pomiaru ciśnienia
 - 2.1. Manometry cieczowe
 - 2.2. Manometr ciężarowy
 - 2.3. Manometr sprężynowy
 - 2.4. Manometry różnicowe
- 3. Urządzenie amortyzujące
- 4. Wzorcowanie manometrów
 - 4.1. Porównanie odczytów z ciśnieniem statycznym
 - 4.2. Porównanie z innymi przyrządami pomiarowymi

Załącznik 4. METODY POMIARU MOCY

- 1. Pomiar bezpośredni
 - 1.1. Pomiar za pomocą hamulców
 - 1.2. Pomiar dynamometrem skrętnym
- 2. Metoda pośrednia

Załącznik 5. POMIARY STRAT

- 1. Straty w łożysku nośnym i łożyskach prowadzących
- 2. Straty wentylacyjne zamachowych kół odkrytych
- 3. Straty w przekładniach
- 4. Poprawki przy określaniu strat

Załącznik 6. TERMODYNAMICZNA METODA WYZNACZANIA SPRAWNOŚCI TURBINY

- 1. Zasady ogólne
- 2. Praktyczne sposoby pomiaru h_u