

MASZYNY I URZĄDZENIA CHŁODNICZE	N O R M A B R A N Ż O W A	BN-85
	Przemysłowe urządzenia chłodnicze	2550-08
	Parowacze do oziębiania cieczy	
	Badania	Grupa katalogowa 0489

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP

- 1.1. Przedmiot normy
- 1.2. Rodzaje i cel badań
- 1.3. Zakres stosowania normy
- 1.4. Określenia
- 1.5. Symbole i jednostki wielkości stosowanych w normie

2. WYTYCZNE OGÓLNE

- 2.1. Program badań
- 2.2. Pomiar główny i pomiar potwierdzający
- 2.3. Dobór metod pomiarowych
- 2.4. Przygotowanie do pomiarów
- 2.5. Ustalenie warunków pomiaru

3. PRZYRZĄDY POMIAROWE

- 3.1. Postanowienia ogólne
- 3.2. Przyrządy do pomiaru temperatury
- 3.3. Przyrządy do pomiaru ciśnienia czynnikaziębniczego
- 3.4. Przyrządy do pomiaru strumienia masy czynnikaziębniczego
- 3.5. Przyrządy do pomiaru strumienia masy cieczy oziębianej
- 3.6. Przyrządy do pomiaru mocy elektrycznej
- 3.7. Przyrządy pomiarowe o mniejszej dokładności

4. SPOSÓB POMIARU

5. METODY OKREŚLANIA WIELKOŚCI MIERZONYCH POŚREDNIO

- 5.1. Metody wyznaczania wydajnościziębniczej parowacza (strumienia ciepła przekazywanego w parowaczu)
 - 5.1.1. Postanowienia ogólne
 - 5.1.2. Metoda A — bilans parowacza po stronie cieczy oziębianej
 - 5.1.3. Metoda B — bilans parowacza po stronie czynnikaziębniczego
 - 5.1.4. Metoda B1 — grzejnik elektryczny na rurociągu parowym
 - 5.1.5. Metoda B2 — kalorymetr na rurociągu parowym
 - 5.1.6. Metoda B3 — pomiar nadmiaru cieczy
 - 5.1.7. Metoda B4 — bilans skraplacza działającego w obiegu badanego parowacza
- 5.2. Metoda określania głównej i maksymalnej różnicy temperatur oraz współczynnika przenikania ciepła i zredukowania strumienia ciepła

6. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

- 6.1. Opracowanie wyników badań laboratoryjnych
- 6.2. Opracowanie wyników badań w instalacji
- 6.3. Błąd maksymalny określenia wielkości mierzonych pośrednio

7. SPRAWOZDANIE Z BADAŃ

INFORMACJE DODATKOWE

Zgłoszona przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych CEBEA
 Ustanowiona przez Dyrektora Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych CEBEA
 dnia 5 kwietnia 1985 r.
 jako norma obowiązująca od dnia 1 stycznia 1986 r.
 (Dz. Norm. i Miar nr 14/1985 poz. 26)

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są rodzaje badań i metody pomiarów stosowane przy doświadczalnym wyznaczaniu wydajności żiębniczej i innych wielkości charakterystycznych parowaczy do oziębiania cieczy.

Norma dotyczy parowaczy suchych, zalanych oraz działających w obiegu pompowym przeznaczonych do oziębiania cieczy.

1.2. Rodzaje i cel badań. Rozróżnia się następujące rodzaje badań parowaczy do oziębiania cieczy:

a) wyznaczanie charakterystyk parowaczy na stanowisku umożliwiającym zmiany warunków działania w szerokim zakresie, nazywane dalej badaniami laboratoryjnymi,

b) atestacyjne, odbiorowe lub gwarancyjne prowadzone w instalacji u użytkownika, nazywane dalej badaniami parowacza w instalacji.

Celem badań laboratoryjnych parowaczy jest wyznaczenie wydajności żiębniczej i innych wielkości charakterystycznych w różnych warunkach działania parowacza w możliwie szerokim zakresie zmienności parametrów.

Dla parowaczy suchych oraz działających w obiegu pompowym wyniki badań laboratoryjnych powinny umożliwiać wyznaczenie optymalnego zakresu działania, w którym parowacz powinien być stosowany.

Badania laboratoryjne powinny być wykonywane:

— przed uruchomieniem seryjnej produkcji nowego typoszeregu wymienników dla potwierdzenia założeń projektowych lub gdy istnieje konieczność ekstrapolacji wyników na inne wielkości aparatów,

— jeśli zachodzi potrzeba weryfikacji lub modernizacji modeli i algorytmów obliczeniowych, względnie programów komputerowych służących do przewidywania wydajności żiębniczej parowacza w zależności od warunków działania,

— gdy wyniki mają stanowić podstawę do opracowania kart katalogowych zawierających charakterystykę energetyczną wymiennika.

Celem badań parowacza w instalacji jest wyznaczenie wydajności żiębniczej oraz innych wielkości charakterystycznych jego działania w warunkach przyjętych za nominalne lub w typowych warunkach, w jakich działa parowacz w danej instalacji.

Wyniki tych badań powinny stanowić podstawę dla odbioru w ruchu wymienników indywidualnie wykonanych, służyć do weryfikacji danych podawanych przez producenta dla aparatów produkcji seryjnej, umożliwiać odbiór wymienników po remontach lub naprawach gwarancyjnych oraz dostarczać danych dla ekspertów o stanie technicznym parowaczy.

1.3. Zakres stosowania normy. Norma ustala metody, sposoby i zakres pomiarów stosowane podczas badań laboratoryjnych oraz przy badaniach parowacza w instalacji, podając wymagania odnośnie wielkości mierzonych bezpośrednio oraz zależności pozwalające obliczyć wielkości mierzone pośrednio.

Metody podane w normie dla badań laboratoryjnych zapewniają dokładność wymaganą przy sporządzaniu doświadczalnych charakterystyk energetycznych wymiennika.

Metody stosowane dla badań parowaczy w instalacji charakteryzują się dokładnością wystarczającą dla warunków odbioru wymiennika w ruchu.

1.4. Określenia

1.4.1. parowacz suchy — wymiennik ciepła, w którym czynnik żiębniczy płynie w postaci wrzącej mieszaniny dwufazowej ciecz-para, przy czym z aparatu odpływa para przegrzana.

1.4.2. parowacz działający w obiegu pompowym — wymiennik ciepła, w którym czynnik żiębniczy płynie w postaci wrzącej mieszaniny dwufazowej ciecz-para, przy czym stopień jego suchości na odpływie z aparatu jest mniejszy od jedności.

1.4.3. parowacz zalany — wymiennik ciepła, w którym wrzenie czynnika odbywa się w dużej objętości. Istnieje poziom, do którego aparat powinien być napełniony cieczą, przy czym z aparatu wypływa para sucha.

1.4.4. stan pomiarowy — stan równowagi termodynamicznej stanowiska badawczego, w którym dokonuje się rejestracji wszystkich wielkości mierzonych bezpośrednio.

1.4.5. wydajność żiębnicza parowacza (strumień ciepła przekazywany w parowaczu) — ilość energii przekazywana w postaci ciepła od cieczy chłodzonej do czynnika wrzącego w parowaczu w jednostce czasu.

1.4.6. obciążenie cieplne powierzchni parowacza (zaęszczenie strumienia ciepła na zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła) — wydajność cieplna parowacza przypadająca na jednostkę pola zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła.

1.4.7. pole zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła — pole większej z dwóch powierzchni, na których następuje kontakt czynników z elementami konstrukcyjnymi stanowiącymi przeponę wymiennika.

1.4.8. główna różnica temperatur w parowaczu — średnia logarymiczna różnic temperatur cieczy oziębianej i temperatur nasycenia czynnika wrzącego na dopływie i odpływie z parowacza.

1.4.9. maksymalna różnica temperatur w parowaczu — różnica między temperaturą cieczy dopływającej do wymiennika a temperaturą nasycenia czynnika wrzącego na odpływie z wymiennika.

1.4.10. współczynnik przenikania ciepła w parowaczu — wydajność żiębnicza parowacza przypadająca na jednostkę pola zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła i odniesiona do jednostki głównej różnicy temperatur w parowaczu.

1.4.11. zredukowany strumień ciepła w parowaczu — wydajność żiębnicza parowacza przypadająca na jednostkę pola zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła i odniesiona do jednostki maksymalnej różnicy temperatur w parowaczu.

1.4.12. optymalny zakres działania parowacza suchego lub działającego w obiegu pompowym — zakres maksymalnej różnicy temperatur, w którym wartość zreduko-

wanego strumienia ciepła osiąga maksimum lub jest od niej mniejsza co najwyżej o 10%, dla danych:

- strumienia masy cieczy oziębianej w parowaczu,
- temperatury cieczy na dopływie do parowacza,
- przegrzania pary czynnika wrzącego na odpływie z parowacza lub liczby recyrkulacji.

1.4.13. przegrzanie pary czynnika ziębniczego w parowaczu suchym — różnica temperatur między temperaturą pary odpływającej z parowacza a temperaturą nasycenia czynnika ziębniczego na odpływie z aparatu.

1.4.14. liczba recyrkulacji czynnika ziębniczego w parowaczu działającym w obiegu pompowym — stosunek całkowitego strumienia masy czynnika ziębniczego w parowaczu do strumienia masy pary nasyconej suchej na odpływie z parowacza.

1.4.15. pomiar główny — pomiar, z którego wyniki przyjmuje się do obliczania wielkości charakterystycznych parowacza.

1.4.16. pomiar potwierdzający — pomiar, za pomocą którego stwierdza się, czy wynik pomiaru głównego można uznać za poprawny.

1.5. Symbole i jednostki wielkości stosowanych w normie — wg tabl. 1.

Tablica 1

Symbol	Jednostka miary	Nazwa wielkości
1	2	3
A	m^2	pole zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła w parowaczu
C_{pk}	$J/(kg \cdot K)$	średnie ciepło właściwe cieczy ochładzanej w kalorymtrze
C_{pp}	$J/(kg \cdot K)$	średnie ciepło właściwe pary czynnika ziębniczego ogrzewanej w kalorymtrze lub grzejniku
$C_{p'}$	$J/(kg \cdot K)$	średnie ciepło właściwe cieczy chłodzącej w skraplaczu
$C_{p'z}$	$J/(kg \cdot K)$	średnie ciepło właściwe cieczy oziębianej w parowaczu
h_c	J/kg	entalpia właściwa ciekłego czynnika ziębniczego na dopływie do parowacza
h_{co}	J/kg	entalpia właściwa ciekłego czynnika ziębniczego na linii nasycenia
h_{cs}	J/kg	entalpia właściwa ciekłego czynnika ziębniczego na odpływie ze skraplacza
h_p	J/kg	entalpia właściwa pary czynnika ziębniczego na odpływie z parowacza
h_{po}	J/kg	entalpia właściwa pary czynnika ziębniczego na linii nasycenia
h_{ps}	J/kg	entalpia właściwa pary czynnika ziębniczego na dopływie do skraplacza
k	$W/(m^2 \cdot K)$	współczynnik przenikania ciepła w parowaczu
n	—	liczba recyrkulacji
p_{cl}	Pa	ciśnienie absolutne czynnika ziębniczego na dopływie do parowacza

cd. tabl. 1

Symbol	Jednostka miary	Nazwa wielkości
1	2	3
p_{cn}	Pa	ciśnienie absolutne czynnika ziębniczego na odpływie z parowacza
p_{cp}	Pa	ciśnienie absolutne czynnika ziębniczego w parowaczu
p_b	Pa	ciśnienie barometryczne
p_s	Pa	ciśnienie absolutne czynnika ziębniczego na dopływie do skraplacza
Δp_z	Pa	spadek ciśnienia cieczy oziębianej w parowaczu
P_{el}	W	moc pobierania przez grzejnik elektryczny
q_{mc}	kg/s	strumień masy czynnika ziębniczego na dopływie do parowacza
q_{mk}	kg/s	strumień masy cieczy grzejnej w kalorymtrze
q_{mn}	kg/s	strumień masy czynnika ziębniczego powracającego do osuszacza
q_{mp}	kg/s	strumień masy pary suchej czynnika ziębniczego na odpływie z parowacza
q_{mw}	kg/s	strumień masy cieczy chłodzącej w skraplaczu
q_{mz}	kg/s	strumień masy cieczy oziębianej w parowaczu
t_{cd}	$^{\circ}C$	temperatura czynnika ziębniczego na dopływie do parowacza
t_{cn}	$^{\circ}C$	temperatura ciekłego czynnika ziębniczego na dopływie do osuszacza obiegu pompowego
t_{cr}	$^{\circ}C$	temperatura ciekłego czynnika ziębniczego przed zaworem rozprężnym
t_{cs}	$^{\circ}C$	temperatura ciekłego czynnika ziębniczego na odpływie ze skraplacza
t_{cn}	$^{\circ}C$	temperatura czynnika ziębniczego na odpływie z parowacza
t_{kd}	$^{\circ}C$	temperatura cieczy na dopływie do kalorymetru
t_o	$^{\circ}C$	temperatura nasycenia czynnika ziębniczego w parowaczu
t_{od}	$^{\circ}C$	temperatura nasycenia czynnika ziębniczego na dopływie do parowacza
t_{on}	$^{\circ}C$	temperatura nasycenia czynnika ziębniczego na odpływie z parowacza
t_{ps}	$^{\circ}C$	temperatura pary czynnika ziębniczego na dopływie do skraplacza
t_{wd}	$^{\circ}C$	temperatura cieczy chłodzącej na dopływie do skraplacza

cd. tabl. 1

Symbol	Jednostka miary	Nazwa wielkości
1	2	3
t_{zd}	°C	temperatura cieczy oziębianej na dopływie do parowacza
t_{zn}	°C	temperatura cieczy oziębianej na odpływie z parowacza
Δt_g	K	przyrost temperatury pary czynnika ziębniczego w kalorymetrze lub grzejniku
Δt_k	K	spadek temperatury cieczy grzejnej w kalorymetrze
Δt_m	K	główna różnica temperatur w parowaczu
Δt_{max}	K	maksymalna różnica temperatur w parowaczu
Δt_p	K	przegrzanie pary czynnika ziębniczego na odpływie z parowacza
Δt_n	K	przyrost temperatury cieczy chłodzącej w skraplaczu
Δt_z	K	spadek temperatury cieczy oziębianej w parowaczu
Φ_o	W	wydajność ziębnicza parowacza
φ_{zr}	W/(m ² · K)	zredukowany strumień ciepła w parowaczu

2. WYTYCZNE OGÓLNE

2.1. Program badań należy opracować przed adaptacją instalacji lub projektem stanowiska i powinien zawierać:

- krótki opis przedmiotu badań,
- sformułowanie i omówienie celu badań,
- określenie zakresu badań oraz wytypowanie stanów pomiarowych,
- szacunkowy rachunek błędu określenia wydajności ziębniczej parowacza i maksymalnej różnicy temperatur,
- wymagania dotyczące przedstawienia wyników.

Program badań, oprócz badań energetycznych, może przewidywać wykonanie prób specjalnych, np. ocena układu automatycznego sterowania działaniem aparatu, próby zabezpieczeń termicznych, ciśnieniowych itp. Sposób wykonania tych prób powinien być dokładnie opisany w programie badań.

Program badań laboratoryjnych parowaczy suchych i działających w obiegu pompowym powinien obejmować taki zakres zmienności maksymalnej różnicy temperatur Δt_{max} , aby zależność zredukowanego strumienia ciepła od Δt_{max} była w tym zakresie maksymalna. Maksimum to powinno być poszukiwane odpowiednio przy określonych programem wartościach, przeegrzaniu pary czynnika ziębniczego lub liczby recyrkulacji.

Dla badań parowacza w instalacji program badań powinien zawierać także zbiór wymagań w stosunku do instalacji, w której zamontowany jest badany aparat.

Zaleca się, aby program badań opracowany był przez wykonawcę badań na podstawie wytycznych zalecającego badania.

2.2. Pomiar główny i pomiar potwierdzający. Wykonując pomiar wydajności ziębniczej parowacza należy podczas każdego stanu pomiarowego wykonać rejestrację wszystkich wielkości mierzonych bezpośrednio potrzebnych dla obliczenia wartości wydajności ziębniczej dwoma niezależnymi od siebie sposobami.

Jeśli pomiar główny i pomiar potwierdzający cechuje podobna dokładność i pewność określenia wydajności ziębniczej parowacza, jako ostateczny wynik można przyjąć wartość średnią arytmetyczną wyników otrzymanych z pomiaru głównego i potwierdzającego.

2.3. Dobór metod pomiarowych dla badań:

— laboratoryjnych pomiar główny należy przeprowadzić metodą A lub B (dla badań parowacza w obiegu pompowym zamiast metody B można stosować metodę B3), a pomiar potwierdzający można wykonać jedną z pozostałych metod przedstawionych w rozdz. 5 z uwzględnieniem podanych zastrzeżeń,

— parowacza w instalacji pomiar główny można wykonać metodą A lub B, względnie dla badań parowaczy w obiegu pompowym także metodami B1, B2 lub B3.

Pomiar potwierdzający powinien być wykonany jedną z metod pozostałych, przy czym o ile pomiar główny wykonany został metodą B1 lub B2, to pomiar potwierdzający nie może być wykonany żadną z tych dwóch metod.

Przy badaniach w instalacji parowacza w obiegu pompowym, gdy pomiar główny wykonywany jest metodą A i mierzony jest strumień masy czynnika ziębniczego na dopływie do parowacza q_{mc} , dopuszcza się pominięcie pomiaru potwierdzającego jeśli:

- istnieje możliwość wykonania pomiaru strumienia masy cieczy chłodzonej dwoma niezależnymi przyrządami,
- pomiar spadku temperatury cieczy oziębianej jest także wykonany dwoma niezależnymi metodami.

2.4. Przygotowanie do pomiarów. Instalacja badana powinna być szczelna oraz wypełniona czynnikiem obiegowym bez domieszek gazów nieskraplających się oraz innych domieszek.

Sprawdzenie szczelności instalacji należy przeprowadzić wg PN-72/M-04601 p. 4.8.2 i 4.8.3 oraz wg PN-77/M-04605 p. 3.1.

Czystość czynnika obiegowego powinna zapewniać możliwość korzystania z procedur obliczeniowych lub tablic własności fizycznych i termodynamicznych z błędem nieprzekraczającym 1% dla wartości parametrów na linii nasycenia.

Gdy zachodzi wątpliwość czy czynnik wypełniający instalację jest wystarczająco czysty, należy pobrać jego próbkę, a następnie używając naczynia Dewara sprawdzić jego temperaturę nasycenia w warunkach atmosferycznych i porównać z danymi tablicowymi. Różnica temperatury nasycenia nie powinna przekraczać 0,3K.

Parowacz podczas badań powinien być wyposażony w izolację termiczną nieprzepuszczającą wilgoci z otoczenia do powierzchni aparatu.

2.5. Ustalenie warunków pomiaru. Pomiary wydajności parowacza, bez względu na rodzaj badań, należy wykonywać w stanie równowagi termodynamicznej układu. Układ znajduje się w stanie równowagi termodynamicznej, o ile zmiany wartości poszczególnych wielkości mierzonych w ciągu 1 h nie przekraczają:

- ciśnienie czynnika ziębniczego na dopływie i odpływie z parowacza 0,002 MPa,
- temperatura czynnika ziębniczego przed zaworem rozprężnym 0,5K,
- temperatura pary na odpływie z parowacza suchego 1,0K,
- temperatura cieczy chłodzonej na dopływie do parowacza 0,3K,
- spadek temperatury cieczy chłodzonej w parowaczu 0,1K,
- strumień masy czynników około 2% aktualnie mierzonej wartości.

3. PRZYRZĄDY POMIAROWE

3.1. Postanowienia ogólne. Przed przystąpieniem do prowadzenia pomiarów i po ich zakończeniu wszystkie przyrządy pomiarowe powinny być sprawdzone zalegalizowanymi przyrządami kontrolnymi.

Zaleca się stosowanie przyrządów rejestrujących oraz przystosowanych do automatycznego zbierania danych z czujników pomiarowych.

3.2. Przyrządy do pomiaru temperatury powinny mieć czujniki o kształcie i wymiarach umożliwiających na umieszczenie ich w tulejkach cienkościennych lub bezpośrednio w rurociągu z uszczelnieniem dławikowym.

Dla pomiaru temperatury cieczy oziębianej przed wymiennikiem łączna niepewność pomiarowa wynikająca z klasy przyrządu i błędu czujnika nie powinna być większa niż 0,1K.

Różnice temperatur, których wartości używane są do sporządzenia bilansów powinny być mierzone bezpośrednio przy pomocy układów do pomiaru różnicy temperatur z dokładnością nie mniejszą niż 0,05K.

Przyrosty temperatur obu czynników w kalorymetrze i pary w grzejniku (metody B1 i B2) powinny być mierzone z dokładnością nie mniejszą niż 0,1K.

Do pomiaru powyższych temperatur, szczególnie w przypadku badań laboratoryjnych, należy unikać termometrów szklanych, poza przypadkiem stosowania specjalnych układów z termometrami Beckmana.

Pozostałe temperatury należy mierzyć z dokładnością do:

- dla badań laboratoryjnych 0,3K,
- dla badań w instalacji 1K.

3.3. Przyrządy do pomiaru ciśnienia czynnika ziębniczego. Wymagania dotyczące dokładności pomiaru ciśnienia czynnika ziębniczego na dopływie i odpływie z parowacza zależą od rodzaju czynnika i zakresu temperatur działania parowacza.

Dla najczęściej stosowanych czynników ziębnicznych, tj. R12, R22, R502, NH₃ i temperatur wrzenia około -40°C, dokładność przyrządów powinna wynosić:

- dla badań laboratoryjnych 0,001 MPa,
 - dla badań w instalacji 0,003 MPa,
- przy temperaturach wrzenia wynoszących około 0°C:
- dla badań laboratoryjnych 0,003 MPa,
 - dla badań w instalacji 0,008 MPa.

Dla innych czynników lub zakresów działania wymaganą dokładność pomiaru ciśnienia czynnika ziębniczego należy przyjmować tak, aby wartość dopuszczalnego błędu ciśnienia powodowała błąd określenia temperatury nasycenia nie większy niż:

- dla badań laboratoryjnych 0,3K,
- dla badań w instalacji 0,6K.

Do pomiarów ciśnienia czynnika ziębniczego zaleca się stosowanie dokładnych laboratoryjnych manometrów z rurką Bourdona'a. Jednak z uwagi na wymaganą wysoką dokładność, szczególnie dla niskich ciśnień, mogą być stosowane przy zachowaniu ostrożności manometry cieczowe.

3.4. Przyrządy do pomiaru strumienia masy czynnika ziębniczego powinny zapewniać dokładność:

- dla badań laboratoryjnych 2%,
- dla badań w instalacji 5%.

Strumień masy czynnika ziębniczego najwygodniej jest mierzyć w fazie ciekłej przed zaworem rozprężnym używając do pomiaru zwęzek pomiarowych wg PN-65/M-53950, rotametrów lub innych przepływomierzy lub naczyń pomiarowych.

3.5. Przyrządy do pomiaru strumienia masy cieczy oziębianej powinny zapewniać dokładność:

- dla badań laboratoryjnych 1%,
- dla badań w instalacji 3%.

Strumień masy cieczy oziębianej może być mierzony przy użyciu zwęzek pomiarowych wg PN-65/M-53950, rotametrów albo innych przepływomierzy lub metodą wagową lub objętościową.

3.6. Przyrządy do pomiaru mocy elektrycznej. Moc grzejnika elektrycznego stosowanego przy metodzie B1 należy mierzyć z dokładnością nie mniejszą niż 2% wartości mierzonej.

3.7. Przyrządy pomiarowe o mniejszej dokładności, jak w 3.2 ÷ 3.6 można stosować pod warunkiem, że maksymalny błąd określenia wydajności ziębniczej obliczony wg wzoru (2) nie przekroczy wartości podanych w rozdz. 6.

4. SPOSÓB POMIARU

Po uruchomieniu instalacji lub stanowiska badawczego należy układ doprowadzić do stanu pomiarowego porównując zmiany poszczególnych parametrów w czasie z parametrami dopuszczalnymi.

Dla badań laboratoryjnych poszczególne stany pomiarowe nie muszą być realizowane w dokładnie ustalonych punktach zakresu badań, natomiast powinny równomiernie pokrywać obszar zmienności parametrów działania, w którym ma zostać wykonana charakterystyka wymiennika.

Dla badań w instalacji stan pomiarowy należy ustalić tak, aby poszczególne parametry działania przyjęły wartości zadane w warunkach odbiorowych, gwarancyjnych lub warunkach nominalnych dla instalacji.

Jeśli stanowisko lub instalacja badawcza wyposażona jest w przyrządy pomiarowe z rejestracją ciągłą, podczas badań parowacza w instalacji należy wykonać w ciągu 1 h trzy rejestracje każdego stanu pomiarowego, podczas badań laboratoryjnych wystarczy wykonać dwie rejestracje w odstępie 30 min.

Gdy brak przyrządów z rejestracją ciągłą konieczne jest, bez względu na rodzaj badań, wykonanie co najmniej pięciu rejestracji wielkości mierzonych w ciągu 1 h.

Jako wartość zmierzoną przyjmuje się zawsze średnią arytmetyczną ze wszystkich wartości danej wielkości odczytanych dla określonego stanu pomiarowego.

5. METODY OKREŚLANIA WIELKOŚCI MIERZONYCH POŚREDNIO

5.1. Metody wyznaczania wydajności ziębniczej parowacza (strumienia ciepła przekazywanego w parowaczu).

5.1.1. Postanowienia ogólne. Niezależnie od zastosowanej metody wyznaczania wydajności ziębniczej parowacza oraz od typu parowacza powinny być mierzone następujące parametry działania:

- temperatura cieczy oziębianej na dopływie do parowacza t_{zd} ,
- temperatura cieczy oziębianej na odpływie z parowacza t_{zw} ,
- spadek ciśnienia cieczy oziębianej w parowaczu Δp_z ,
- temperatura ciekłego czynnika ziębniczego przed zaworem rozprężnym t_{cr} , (na dopływie do parowacza t_{cd} — dla parowacza w obiegu pompowym),
- temperatura czynnika ziębniczego na odpływie z parowacza t_{cw} ,

— ciśnienie absolutne czynnika ziębniczego na dopływie do parowacza p_{cd} ,

— ciśnienie absolutne czynnika ziębniczego na odpływie z parowacza p_{cw} ,

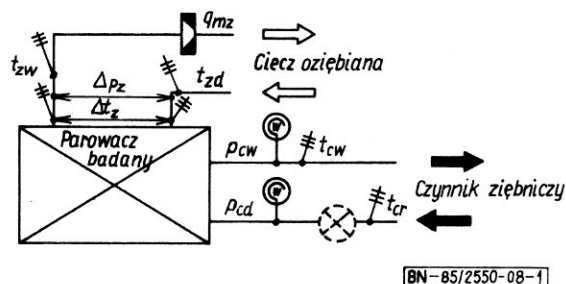
— ciśnienie barometryczne p_b .

Ciśnienie absolutne p_{cd} , p_{cw} , p_{cp} można wyznaczyć jako sumę ciśnień manometrycznego i barometrycznego.

Dla parowacza zalanego niezależnie od zastosowanej metody należy mierzyć ciśnienie absolutne czynnika ziębniczego w parowaczu p_{cp} i wtedy można pominąć pomiary ciśnień p_{cd} i p_{cw} .

W przypadku braku możliwości bezpośredniego pomiaru ciśnienia p_{cp} , wartość jego należy obliczyć jako średnią arytmetyczną ciśnień p_{cd} i p_{cw} .

5.1.2. Metoda A — bilans parowacza po stronie cieczy oziębianej — wg rys. 1.



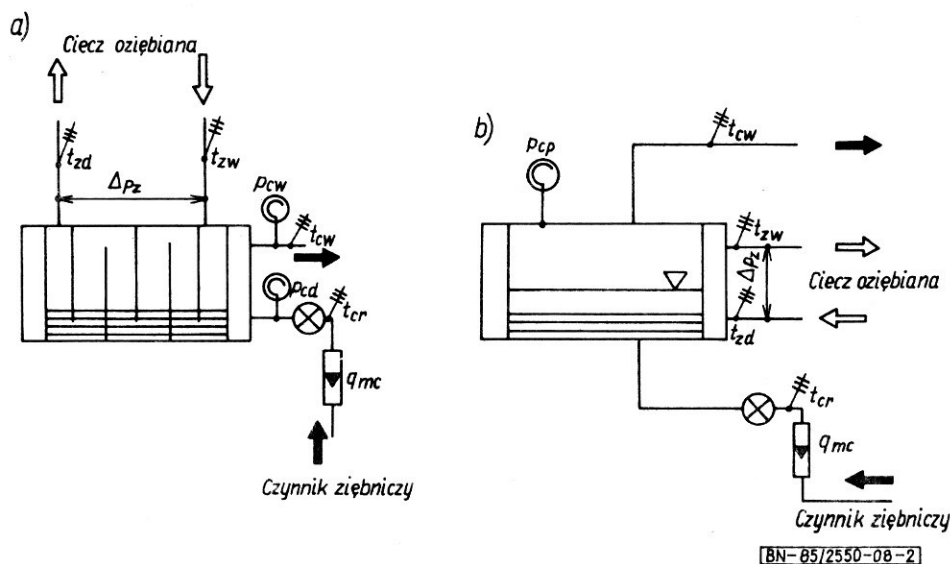
Rys. 1. Schemat układu pomiarowego dla metody A

Określenie wydajności ziębniczej metodą A wymaga dodatkowo pomiarów:

- strumienia masy cieczy oziębianej w parowaczu q_{mz} ,
- spadku temperatury cieczy oziębianej w parowaczu Δt_z .

Metoda A może być stosowana bez ograniczeń dla wszystkich trzech typów parowaczy.

5.1.3. Metoda B — bilans parowacza po stronie czynnika ziębniczego — wg rys. 2.

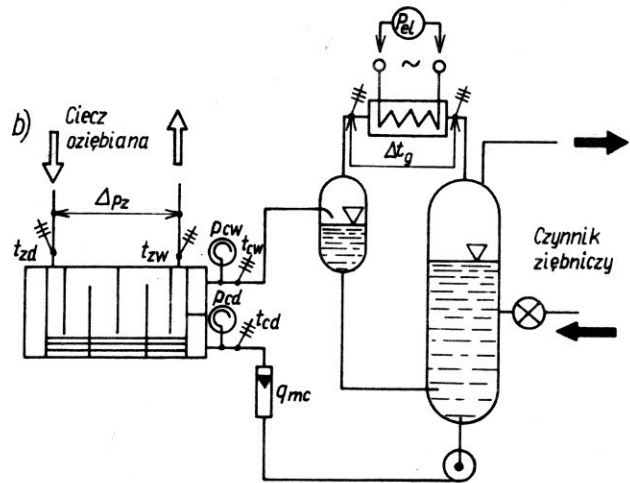
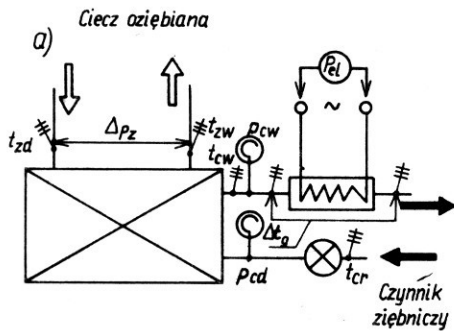


Rys. 2. Schemat układu pomiarowego dla metody B
a) parowacz suchy, b) parowacz zalany

Określenie wydajności ziębniczej metodą B wymaga dodatkowo pomiaru strumienia masy czynnika ziębniczego q_{mc} .

Metoda B może być stosowana tylko dla parowaczy suchych i zalanych.

5.1.4. Metoda B1 — grzejnik elektryczny na rurociągu parowym — wg rys. 3.



BN-85/2550-08-3

Rys. 3. Schemat układu pomiarowego dla metody B1
a) parowacz suchy lub zalany, b) parowacz w obiegu pompowym

Metoda B1 może być stosowana dla wszystkich typów parowaczy, przy czym zaleca się używanie jej do badań parowaczy w obiegu pompowym, gdzie nie można stosować metody B.

Stosowanie metody B1 wymaga umieszczenia na rurociągu parowym zbiornika względnie odcinka wyposażonego w grzejnik elektryczny, przy czym projektując grzejnik należy pamiętać, że temperatura powierzchni grzejnika stykającej się z czynnikiem ziębniczym nie może przekraczać temperatury $70 \div 90^\circ\text{C}$ oraz, że opory przepływu pary przez grzejnik powinny być nie większe niż 1000 Pa.

Dla badań parowacza w obiegu pompowym należy w instalację wbudować dodatkowy oddzielnik cieczy, jak na rys. 3b).

Przy metodzie B1 należy mierzyć dodatkowo:

- przyrost temperatury pary czynnika ziębniczego płynącej przez grzejnik Δt_g ,
- moc elektryczną dostarczaną do grzejnika P_{el} ,
- strumień masy czynnika ziębniczego na dopływie do parowacza q_{mc} (tylko dla badań parowacza w obiegu pompowym).

5.1.5. Metoda B2 — kalorymetr na rurociągu parowym. Metoda B2 jest odmianą metody B1 i może być stosowana podobnie jak metoda B1.

Różnica między nimi polega na tym, że w metodzie B2 grzejnik elektryczny zastąpiony jest kalorymetrem, w którym czynnikiem grzeijnym jest ciecz o dobrych i znanych dokładnie własnościach cieplnych.

Dla określenia wydajności ziębniczej metodą B2 należy dodatkowo mierzyć:

- przyrost temperatury pary czynnika ziębniczego w kalorymetrze Δt_g ,

- strumień masy cieczy grzeijnym w kalorymetrze q_{mk} ,
- spadek temperatury cieczy grzeijnym w kalorymetrze Δt_k .

5.1.6. Metoda B3 — pomiar nadmiaru cieczy — wg rys. 4.

Metoda B3 może być stosowana wyłącznie przy badaniach parowacza w obiegu pompowym. Jej stosowa-

nie wymaga zainstalowania dodatkowego oddzielnika cieczy z poziomowskazem, przy czym musi być on umieszczony dostatecznie wysoko względem osuszacza, by wysokość słupa czynnika ziębniczego wystarczała na pokonanie oporów przepływomierza zamontowanego między oddzielnikiem cieczy a osuszaczem.

Dla określenia wydajności ziębniczej metodą B3 należy dodatkowo mierzyć:

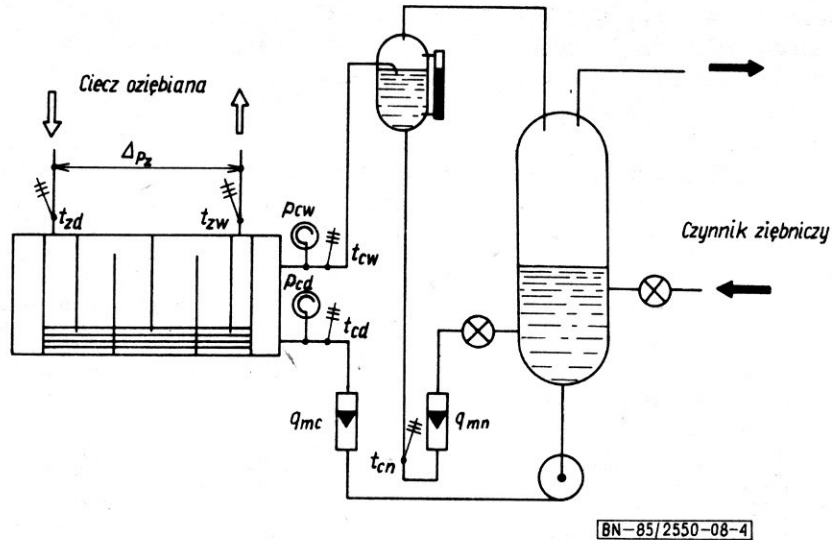
- strumień masy ciekłego czynnika ziębniczego na dopływie do parowacza q_{mc} ,
- strumień masy cieczy czynnika ziębniczego powracającego do osuszacza q_{mn} ,
- temperaturę cieczy powracającej do osuszacza t_{cn} ,
- poziom cieczy w oddzielniku dla kontroli, czy układ pomiarowy działa prawidłowo.

5.1.7. Metoda B4 — bilans skraplacza działającego w obiegu badanego parowacza — wg rys. 5.

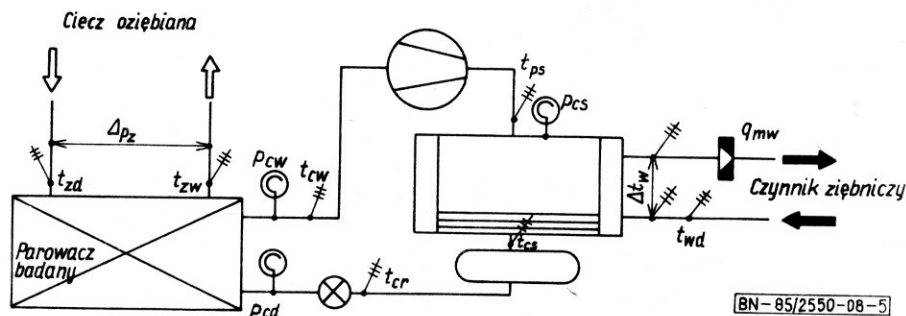
Metoda B4 może być stosowana wyłącznie do badań parowaczy suchych i zalanych, gdy parowacz badany znajduje się jako jedyny parowacz w obiegu jedno-stopniowym, w którym zainstalowany jest skraplacz chłodzony cieczą jako jedyny skraplacz w tej instalacji. Warunki takie bardzo często spełnione są w zblokowanych agregatach ziębniczych.

Dla określenia wydajności ziębniczej parowacza metodą B4 należy mierzyć dodatkowo:

- strumień masy cieczy chłodzącej skraplacza q_{mw} ,
- przyrost temperatury cieczy chłodzącej w skraplaczu Δt_w ,
- temperaturę cieczy chłodzącej na dopływie do skraplacza t_{wd} ,
- temperaturę pary czynnika ziębniczego na dopływie do skraplacza t_{ps} ,



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego dla metody B3



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego dla metody B4

- temperaturę ciekłego czynnikaziębniczego na odpływie ze skraplacza t_{cs} ,
- ciśnienie absolutne czynnikaziębniczego na dopływie do skraplacza p_s .

5.2. Metoda określania głównej i maksymalnej różnicy temperatur oraz współczynnika przenikania ciepła i zredukowanego strumienia cieczy. Wzory służące do obliczeń tych wielkości podano w tabl. 2, przy czym do

wzorów określających współczynnik przenikania ciepła oraz zredukowany strumień ciepła należy wstawić wartość Φ_0 otrzymaną z obliczenia wykonanego dla pomiaru głównego.

Jeśli pomiar główny i pomiar potwierdzający charakteryzują się podobną dokładnością określenia wydajności, można do dalszych obliczeń przyjąć średnią arytmetyczną wartości otrzymanych za pomocą powyższych metod.

Tablica 2. Zestawienie zależności potrzebnych do obliczeń wydajnościziębniczeparowacza i innych wielkości mierzonych pośrednio

Lp.	Wielkość określana	Symbol	Jednostka miary	Sposób określenia	Typ parowacza, dla którego zależność ma zastosowanie	Metoda pomiaru, dla której zależność jest używana
1	2	3	4	5	6	7
1	Entalpia właściwa ciekłego czynnikaziębniczego na dopływie do parowacza	h_c	$\frac{J}{kg}$	$f(t_c)$ lub $f(t_{cd})$ dla obiegu pompowego — otrzymana z tablic własności termodynamicznych lub ze zbioru, czy procedury w bibliotece danych EMC	wszystkie typy	A, B, B1, B2, B3, B4
2	Entalpia właściwa pary czynnikaziębniczego na odpływie z parowacza	h_p	$\frac{J}{kg}$	$f(t_{cw}, p_{cw})$ — otrzymana jak w lp. 1 kol. 5	suchy i zalany	A, B, B1, B2, B4
3	Entalpia właściwa pary czynnikaziębniczego na linii nasycenia	h_{po}	$\frac{J}{kg}$	$f(t_{cw})$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5	w obiegu pompowym	A, B1, B2, B3

cd. tabl. 2

Lp.	Wielkość określana	Symbol	Jednostka miary	Sposób określenia	Typ parowacza, dla którego zależność ma zastosowanie	Metoda pomiaru, dla której zależność jest używana
1	2	3	4	5	6	7
4	Entalpia właściwa ciekłego czynnika żiębniczego na linii nasycenia	h_{co}	$\frac{J}{kg}$	$f(t_{od})$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5	w obiegu pompowym	A, B1, B2, B3
5	Entalpia właściwa pary czynnika żiębniczego na dopływie do skraplacza	h_{ps}	$\frac{J}{kg}$	$f(t_{ps, ps})$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5	suchy i zalany	B4
6	Entalpia właściwa ciekłego czynnika żiębniczego na odpływie ze skraplacza	h_{cs}	$\frac{J}{kg}$	$f(t_{cs})$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5	suchy i zalany	B4
7	Ciepło właściwe a) cieczy oziębianej w parowaczu b) cieczy chłodzącej w skraplaczu c) cieczy ochładzanej w kalorymetrze d) pary czynnika żiębniczego ogrzewanej w kalorymetrze lub grzejniku	C_{pz} C_{pw} C_{pk} C_{pp}	$\frac{J}{kg \cdot K}$	$f(t_{z, b}, \Delta t_z)$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5 $f(t_{w, d}, \Delta t_w)$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5 $f(t_{k, l}, \Delta t_k)$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5 $f(t_{c, v}, \Delta t_c)$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5	wszystkie typy	A B4 B2 B1, B2
8	Temperatura nasycenia czynnika żiębniczego na dopływie do parowacza	t_{od}	$^{\circ}C$	$f(p_{od})$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5	suchy i w obiegu pompowym	A, B, B1, B2, B3, B4
9	Temperatura nasycenia czynnika żiębniczego na odpływie z parowacza	t_{ow}	$^{\circ}C$	$f(p_{ow})$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5	suchy i w obiegu pompowym	A, B, B1, B2, B3, B4
10	Temperatura nasycenia czynnika żiębniczego w parowaczu	t_o	$^{\circ}C$	$f(p_{op})$ — otrzymana jak w lp. 1, kol. 5	zalany	A, B, B1, B2, B4
11	Strumień masy pary suchej czynnika żiębniczego na odpływie z parowacza	q_{mp}	$\frac{kg}{s}$	$q_{mp} = \frac{q_{mz} \cdot C_{pz} \cdot \Delta t_z}{h_p - h_c}$ $q_{mp} = q_{mc}$ $q_{mp} = \frac{P_{el}}{C_{pp} \cdot t_g}$ $q_{mp} = \frac{q_{mk} \cdot C_{pk} \cdot \Delta t_k}{C_{pp} \cdot \Delta t_g}$ $q_{mp} = q_{mc} - q_{mn}$ $q_{mp} = \frac{q_{mw} \cdot C_{pw} \cdot \Delta t_w}{h_{ps} - h_{cs}}$	suchy i zalany suchy i zalany wszystkie typy wszystkie typy w obiegu pompowym suchy i zalany	A B B1 B2 B3 B4
12	Wydajność żiębnicza parowacza	Φ_o	W	$\Phi_o = q_{mz} \cdot C_{pz} \cdot \Delta t_z$ $\Phi_o = q_{mp} (h_p - h_c)$ $\Phi_o = q_{mp} [(h_{po} - h_{co}) + n(h_{co} - h_c)]$	wszystkie typy suchy i zalany w obiegu pompowym	A B, B1, B2, B4 B1, B2, B3
13	Liczba recyrkulacji	n	—	$n = \frac{q_{mc}}{q_{mp}}$	w obiegu pompowym	B1, B2, B3
14	Przegrzanie pary czynnika żiębniczego na odpływie z parowacza	Δt_p	K	$\Delta t_p = t_{cw} - t_{ow}$	suchy	A, B, B1, B2, B4

cd. tabl. 2

Lp.	Wielkość określana	Symbol	Jednostka miary	Sposób określenia	Typ parowacza, dla którego zależność ma zastosowanie	Metoda pomiaru, dla której zależność jest używana
1	2	3	4	5	6	7
15	Główna różnica temperatur w parowaczu	Δt_m	K	$\Delta t_m = \frac{t_{ow} - t_{od} + \Delta t_z}{\ln \frac{t_{zd} - t_{od}}{t_{zd} - t_{ow} - \Delta t_z}}$ $\Delta t_m = \frac{\Delta t_z}{\ln \frac{t_{zd} - t_o}{t_{zd} - t_o - \Delta t_z}}$ gdzie: $\Delta t_z = t_{zd} - t_{zw}$ dla metod B, B1, B2, B3, B4	suchy i w obiegu pompowym	A, B, B1, B2, B3, B4
16	Maksymalna różnica temperatur w parowaczu	Δt_{max}	K	$\Delta t_{max} = t_{zd} - t_{ow}$	suchy i w obiegu pompowym	A, B, B1, B2, B4
17	Współczynnik przenikania ciepła w parowaczu	k	W/(m ² ·K)	$k = \frac{\Phi_o}{A \cdot \Delta t_m}$	wszystkie typy	A, B, B1, B2, B3, B4
18	Zredukowany strumień ciepła w parowaczu	φ_{zr}	W/(m ² ·K)	$\varphi_{zr} = \frac{\Phi_o}{A \cdot \Delta t_{max}}$	suchy i w obiegu pompowym	A, B, B1, B2, B4

6. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

6.1. Opracowanie wyników badań laboratoryjnych powinno obejmować:

- obliczenie wydajności ziębniczej parowacza,
 - obliczenie innych wielkości charakterystycznych parowacza,
 - opracowanie statystyczne wyników pomiarów w postaci analizy regresji (np. metodą najmniejszych kwadratów),
 - analizę błędów zakończoną oszacowaniem przedziału ufności lub przynajmniej podaniem współczynnika korelacji i odchylenia standardowego,
 - oszacowanie błędów maksymalnych.
- Przy prowadzeniu badań laboratoryjnych parowaczy zaleca się opracowanie wyników przy użyciu komputera.

6.2. Opracowanie wyników badań w instalacji. Badanie parowacza w instalacji, które zwykle odbywa się w kilku lub nawet jednym stanie pomiarowym, wymaga rzetelnej analizy błędów maksymalnych.

Dla każdej wielkości mierzonej bezpośrednio należy obliczyć błąd średni kwadratowy (δ_{pom}) wg wzoru

$$\delta_{pom} = \sqrt{\delta_{met}^2 + \delta_{prz}^2 + \delta_{cz}^2 + \delta_{odcz}^2} \quad (1)$$

w którym:

- δ_{pom} — błąd pomiaru,
- δ_{met} — błąd metody,
- δ_{prz} — błąd wynikający z klasy przyrządu,
- δ_{cz} — błąd wynikający z dokładności czujnika,
- δ_{odcz} — błąd popełniony przy odczycie na przyrządach wskaźnikowych.

Za błąd określenia własności termodynamicznych dla czynników powszechnie stosowanych można przyjąć 1% wartości.

6.3. Błąd maksymalny określenia wielkości mierzonych pośrednio $\delta Y(x_1, x_2, \dots, x_n)$ należy obliczyć wg wzoru

$$\delta Y(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\partial Y(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial Y(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial Y(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} dx_n \quad (2)$$

w którym:

- $Y(x_1, x_2, \dots, x_n)$ — wielkość mierzona pośrednio,
- x_1, x_2, \dots, x_n — wielkości mierzone bezpośrednio, przy użyciu których obliczana jest wartość Y ,
- dx_1, dx_2, \dots, dx_n — błąd pomiaru wielkości x_1, x_2, \dots, x_n określany wg wzoru (1).

Wstępny rachunek błędów należy przeprowadzić przed podjęciem badań, w czasie formułowania programu badań.

Błąd maksymalny wyznaczenia wydajności ziębniczej parowacza dla metody głównej nie powinien przekraczać:

- dla badań laboratoryjnych $\pm 5\%$,
- dla badań w instalacji $\pm 10\%$.

Błąd maksymalny określenia wydajności ziębniczej parowacza dla metody potwierdzającej nie powinien przekraczać:

- dla badań laboratoryjnych $\pm 8\%$,
- dla badań w instalacji $\pm 15\%$.

Różnica wyników obliczenia wydajności ziębniczej parowacza dla jednego stanu pomiarowego na podstawie pomiaru głównego i potwierdzającego nie powinna przekraczać:

- dla pomiarów laboratoryjnych $\pm 7\%$,
- dla pomiarów w instalacji $\pm 12\%$.

7. SPRAWOZDANIE Z BADAŃ

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- a) dane ogólne:
 - datę, miejsce, wykonawcę badań,
 - stwierdzenie, że badania zostały wykonane zgodnie z BN-85/2550-08,
 - czas rozpoczęcia i zakończenia oraz czas trwania pomiarów,
 - opis przedmiotu badań zawierający wszystkie istotne parametry konstrukcyjne potrzebne do obliczeń cieplnych i przepływowych aparatu wykonywanych przy użyciu zależności literaturowych,
 - typ aparatu, nazwę, numer fabryczny,
 - rodzaj czynnikaziębniczego i cieczy oziębianej;
- b) warunki pomiarów:
 - temperaturę cieczy oziębianej na dopływie do parowacza,
 - strumień masy (lub prędkość w określonym przekroju) cieczy oziębianej,
 - ciśnienie absolutne czynnikaziębniczego na odpływie z parowacza,
 - temperaturę ciekłego czynnikaziębniczego na dopływie do parowacza,
 - przegrzanie pary czynnikaziębniczego na odpływie z aparatu dla parowaczy suchych lub liczbę recyrkulacji dla parowaczy działających w obiegu pompowym;
- c) opis zastosowanych metod pomiarów i zbiór zależności użytych do obliczeń:

- metodę pomiaru głównej wydajnościziębniczej,
- metodę pomiaru potwierdzającego;
- d) wykaz wielkości mierzonych i przyrządów pomiarowych z podaniem ich klasy dokładności, działki elementarnej i zakresu;
- e) wyniki pomiarów wszystkich wielkości mierzonych bezpośrednio dla każdego zarejestrowanego stanu pomiarowego;
- f) wyniki obliczeń wielkości mierzonych pośrednio dla każdego zarejestrowanego stanu pomiarowego oraz źródła własności fizycznych i termodynamicznych czynników;
- g) ocenę otrzymanych rezultatów i wnioski;
- h) wartości maksymalnych błędów określenia wydajności w pomiarach głównym i potwierdzającym;
- i) imię i nazwisko wykonującego pomiary i obliczenia.

W sprawozdaniu z badań laboratoryjnych należy dodatkowo zamieścić statystyczne opracowanie wyników podając postać zależności użytej do aproksymacji, współczynniki regresji, odchylenie standardowe, współczynnik korelacji, ewentualnie przedział ufności dla otrzymanego wyniku.

Sprawozdanie z badań laboratoryjnych powinno także zawierać graficzną ilustrację otrzymanych zależności, a przede wszystkim dla parowaczy suchych i działających w obiegu pompowym wykresy wydajnościziębniczej i zredukowanego strumienia ciepła w funkcji maksymalnej różnicy temperatur oraz opinię dotyczącą zalecanego zakresu maksymalnej różnicy temperatur, w jakim aparat powinien być stosowany.

K O N I E C

INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę — Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych CEBEA, Kraków.

2. Normy związane

PN-72/M-04601 Warunki bezpieczeństwa w instalacjach chłodniczych
 PN-77/M-04605 Chłodnictwo. Próby szczelności urządzeń chłodniczych o napełnieniu czynnikiem powyżej 5 kg

PN-65/M-53950 Pomiar strumienia przepływu płynów za pomocą zwężek

3. Autorzy projektu normy — dr inż. Krzysztof Pakoński, mgr inż. Włodzimierz Skwirtniański — Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych CEBEA, Kraków.