

Franciszek STRZELCZYK

Instytut Elektroenergetyki

Politechnika Łódzka

ZASTOSOWANIE ZIMNYCH NACZYŃ KONDENSACYJNYCH W UKŁADACH ZABEZPIECZEN OD PRZEKROCZENIA POZIOMU WODY W WALCZAKU KOTŁA

Streszczenie. W referacie porównano charakterystyki statyczne naczyń zimnych i naczyń zaczepowych. Wykazano, że pomimo bardziej nieliniowej charakterystyki statycznej naczynia zimnego w warunkach eksploatacyjnych w układach z naczyniami zimnymi otrzymuje się znacznie mniejsze błędy temperaturowe (rys.5), a tym samym w warunkach rzeczywistych działanie zabezpieczeń z naczyniami zimnymi jest bardziej selektywne niż z naczyniami zaczepowymi. Podano sposób instalowania naczyń zimnych do identyfikacji awaryjnych stanów poziomu w walczaku kotła (rys. 6).

1. WSTĘP

Utrzymanie wymaganego poziomu wody w kotle jest jednym z podstawowych warunków prawidłowej eksploatacji kotła. Niski poziom wody w walczaku może spowodować zmniejszenie lub zanik przepływu wody w obiegu cyrkulacyjnym kotła [1] i tym samym pogorszenie chłodzenia rur parownika - ich uszkodzenie na skutek przegrzania. Zbyt wysoki poziom w walczaku powoduje zmniejszenie objętości pary nad lustrem wody i pogorszenie warunków separacji pary w walczaku. Wówczas duża wilgotność pary powoduje przenoszenie soli z walczaka i osadzenie się ich w turbinie.

Stosowane układy zdalnego pomiaru poziomu wody w walczakach kotłów działają na zasadzie pomiaru różnicy Δp hydrostatycznych ciśnień wody oraz pary w pomiarowym kondensacyjnym naczyniu odniesienia i w walczaku. Również na zasadzie różnicy ciśnień działa sygnalizacja (syg.) oraz pobudzanie zabezpieczeń kotła w przypadku awaryjnych stanów poziomu wody w walczaku: minimalnego (MIN) i maksymalnego (MAX). Mierzone wartości różnicy ciśnień Δp są przetwarzane za pomocą przetworników pomiarowych na inny analogowy sygnał ciągły lub w przypadku zabezpieczeń awaryjnych (po przekroczeniu pewnej wartości poziomu) na sygnał dyskretny - pobudzający zabezpieczenia technologiczne kotła.

Sygnal ciągły jest wykorzystywany do rejestracji oraz w układzie automatyki zasilania kotła wodą, aby utrzymać stały poziom wody, określony jako normalny poziom wody NPW.

Przykładowe wartości poszczególnych poziomów dla kotła OP-650, odniesione do NPW, podano na rys. 6.

Pod względem konstrukcyjnym tzw. pozawalczakowe naczynia odniesienia dzieli się na trzy grupy: zimne, gorące oraz zaczepowe (z łamanym plusem). W układach pomiarowych z naczyniami gorącymi jest najprostsza struktura układu korekcji wpływu zmian gęstości wody i pary jako funkcji ciśnienia p . Jednak ze względu na zjawisko odparowania wody stanowiącej słup odniesienia oraz duże błędy temperaturowe, naczynia te są obecnie zaniechane. Naczynia zimne ze względu na silną nieliniowość ich charakterystyki pomiarowej w funkcji ciśnienia są stosowane dla kotłów przemysłowych (dla niskich ciśnień). Tak w układach automatyki, jak i układach zabezpieczeń technologicznych najbardziej są rozpowszechnione naczynia zaczepowe, których charakterystyki pomiarowe można dosyć łatwo formować przez zmianę rzędnej wyprowadzenia rurki sygnałowej z komory nagrzewania (rys. 1b).

W referacie porównano cechy naczyń zimnych (w warunkach statycznych) na tle naczyń zaczepowych, wykazując że istnieją możliwości stosowania naczyń zimnych w układach zabezpieczeń kotła od przekroczenia awaryjnych stanów poziomu wody w walczaku.

2. CHARAKTERYSTYKA STATYCZNA UKŁADU POMIAROWEGO

Pomiar poziomu jest przeprowadzany przy następujących założeniach dotyczących kondensacyjnych naczyń odniesienia:

- spełnione są warunki konstrukcyjne, określające wymiary naczyń odniesienia i ich położenie względem NPW w walczaku, dla których wyznaczono obliczeniową charakterystykę pomiarową,
- temperatura wody t_w w zimnym naczyniu odniesienia i w części nieogrzewanej rurki sygnałowej naczynia zaczepowego, jest równa temperaturze obliczeniowej t_{wo} (przyjmuje się $t_{wo} = 40^{\circ}\text{C}$), czyli

$$t_w = t_{wo}, \text{ a gęstość wody } \rho_w = \rho_w(p, t_{wo}), \quad (1)$$

- podczas normalnej pracy w walczaku nad wodą o gęstości ρ' znajduje się para o gęstości ρ'' , czyli woda nie zawiera pęcherzy pary. Zatem stopień suchości pary pod lustrem wody

$$x = 0, \quad (2)$$

- w części ogrzewanej naczynia zaczepowego panuje taki sam stan nasycenia, jak w walczaku - woda ma temperaturę nasycenia t_n , czyli

$$t_w = t_n, \text{ a jej gęstość } \rho_w = \rho^*. \quad (3)$$

W warunkach rzeczywistych założenia określone równaniami (1)+(3) mogą być niespełnione. Może wystąpić przechłodzenie skroplin w naczyniu zaczepowym. W wodzie pod lustrem w walczaku na skutek wadliwie działających urządzeń separacyjnych lub w przypadku kotła z podgrzewaczem wody z częściowym odparowaniem pojawia się para i występuje mieszanina parowo-wodna o gęstości ρ_m . Wówczas gęstości wody w naczyniach odniesienia i walczaku przyjmują odpowiednio wartości:

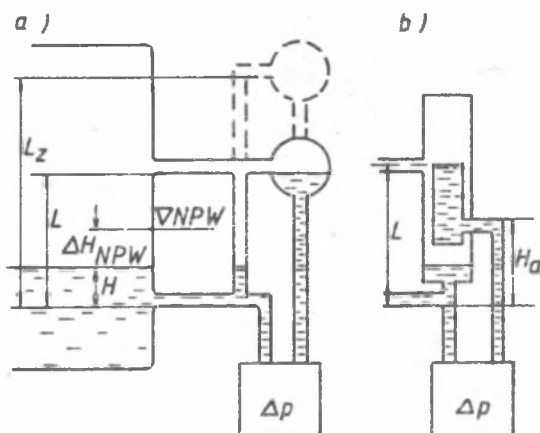
$$\rho_{w1} = \rho_w(p, t_{w0} + \Delta t_w) \neq \rho_w, \quad (1a)$$

$$\rho_m = \rho_w(p, x) < \rho_w, \quad (2a)$$

$$\rho_1' = \rho_w(p, t_n + \Delta t_n) > \rho_w, \quad (3a)$$

gdzie: $\Delta t_w = t_w - t_{w0}$ - różnica między rzeczywistą t_w i obliczeniową t_{w0} temperaturą wody,

$\Delta t_n = t_w - t_n$ - niedogrzew wody (przechłodzenie skroplin) w naczyniu zaczepowym ($\Delta t_n \leq 0$).



Rys. 1. Uproszczone schematy hydrostatycznych naczyń odniesienia: a) naczynie zimne, b) naczynie zaczepowe

Fig. 1. Simplified schematic diagrams of hydrostatic reference vessels: a) cold vessel, b) catch vessel

Charakterystyka statyczna układu pomiarowego naczynie odniesienia - walczak zależy od przyjętego układu współrzędnych. Dla układu współrzędnych, w którym oś odciętych pokrywa się z dolną wewnętrzną tworzącą króćca wodnego (rys.1), układ pomiarowy jest opisany ogólnym równaniem:

$$\frac{\Delta p}{\rho} = L_z (\rho_1' - \rho''') + H_a (\rho_{w1} - \rho_1') - H (\rho_m - \rho'''), \quad (4)$$

gdzie: H - poziom lustra wody w walczaku,

$H_a = a L$ - różnica wysokości wyprowadzenia rurki sygnałowej z komory nagrzewania naczynia zaczepowego (rys. 1b),

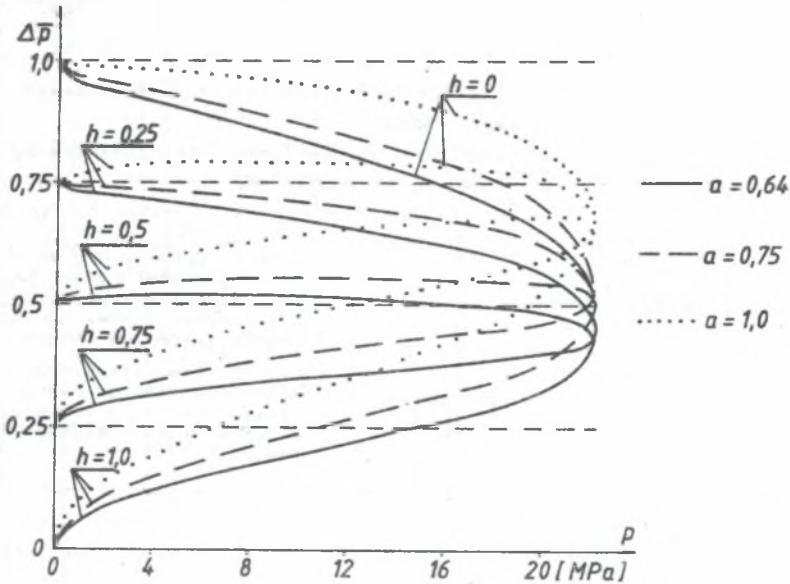
L_z - różnica wysokości położenia zwierciadła wody w zimnym naczyniu odniesienia w stosunku do tworzącej króćca wodnego (rys.1a),

- L - rozstń króćców wodnego i parowego, równy różnicy wysokości położenia zwierciadła w zaczepowym naczyniu odniesienia w stosunku do tworzącej króćca wodnego,
 g - przyspieszenie ziemskie.

Parametr a ogólnie charakteryzuje konstrukcję naczynia odniesienia:

- $a = 1$ - naczynie zimne,
 $0 < a < 1$ - naczynie zaczepowe.

Parametr a w stosowanych układach pomiarowych w zakresie ciśnień do 15 MPa przyjmuje wartości około 0,7.



Rys. 2. Charakterystyki statyczne naczyń pomiarowych $\Delta \bar{p} = f(p, a)$ jako funkcje ciśnienia p i parametru konstrukcyjnego a naczynia

Fig. 2. Static characteristics of measuring vessels $\Delta \bar{p} = f(p, a)$ as a function of the pressure p and the constructional parameter a of the vessel

Równanie (4) w jednostkach względnych przyjmuje postać:

$$\bar{\Delta p} = \frac{\Delta p}{\Delta p_{\max}} = l_z \frac{\rho_i' - \rho'''}{\rho_{\text{wot}}} + a \frac{\rho_{\text{w1}} - \rho_i''}{\rho_{\text{wot}}} - h \frac{\rho_{\text{m}} - \rho'''}{\rho_{\text{wot}}}, \quad (4a)$$

gdzie: $\Delta p_{\max} = g L \rho_{\text{wot}}$ (5)

$$l_z = \frac{L_z}{L}, \quad a = \frac{H_a}{L} \quad \text{i} \quad h = \frac{H}{L} \quad - \text{odpowiednie}$$

wartości odniesione do odległości między króćcami pomiarowymi

(dla naczynia zaczepowego $l_z = 1$, dla naczynia zimnego $a = 1$),

przy czym: $\rho_{\text{wot}} = \rho_w(p_{\text{ot}}, t_{\text{wo}})$ - gęstość wody w warunkach otoczenia - w zimnym stanie kotła.

Na rys. 2 przedstawiono charakterystyki statyczne naczyń pomiarowych w zależności od wartości parametru a dla $l_z = 1$.

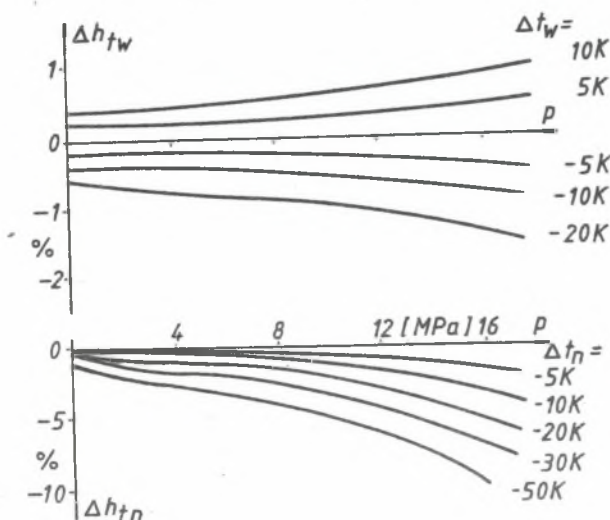
3. BŁĘDY UKŁADU POMIARU POZIOMU WYNIKAJĄCE Z NIESPEŁNIENIA WARUNKÓW OBLICZENIOWYCH

Błędy układu pomiaru poziomu wynikają z niedotrzymania warunków umownie nazwanych warunkami obliczeniowymi, dla których wykonano charakterystykę pomiarową. Błędy wynikające z niedotrzymania warunków konstrukcyjnych omówiono szczegółowo w pracy [2]. Błędy wynikające z niespełnienia warunków (1) ÷ (3) są określone wzorem [3]:

$$\Delta h = h_p - h = -a \frac{\rho_{w1} - \rho_w}{\rho' - \rho''} - (1-a) \frac{\rho'_1 - \rho'}{\rho' - \rho''} - h \frac{\rho' \times \rho''}{\rho' - \rho'' + \rho''}, \quad (6)$$

gdzie: h_p - odniesiona do odległości L wartość pomierzonego poziomu,
 h - odniesiona wartość rzeczywistego poziomu.

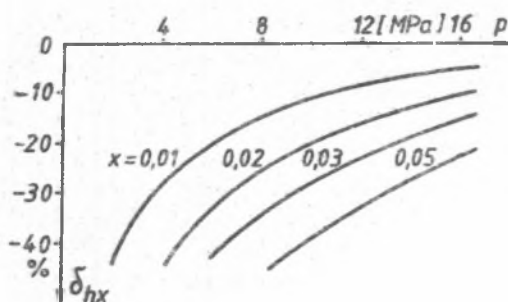
Pierwszy składnik (Δh_{tw}) błędu Δh we wzorze (6) wynika z niespełnienia warunku (1) (dla naczynia zimnego $a = 1_z$), drugi składnik (Δh_{tn}) - warunku (3), a trzeci składnik (Δh_x) - warunku (2).



Rys.3. Błędy pomiaru poziomu wynikające z niespełnienia warunków temperaturowych w układzie z naczyniem: a) zimnym, b) zaczepowym; Δt - przechłodzenie skroplin w naczyniu zaczepowym Δt - różnica między rzeczywistą t i obliczeniową t_w temperaturą wody w naczyniu zimnym

Fig.3. Measuring errors of the level resulting from non-fulfilment of temperature conditions in the system with: a) cold vessel, b) catch vessel; Δt - overcooling of the condensate in the catch vessel, Δt - difference between the real t and analytical t_w temperature of water in the cold vessel

Na rys. 3 przedstawiono charakterystyki bezwzględnych błędów temperaturowych, a na rys.4 charakterystyki błędów względnych - odniesionych do rzeczywistej wartości poziomu h - wywołanych zawartością pary pod lustrem wody w walczaku.



Rys.4. Względny błąd pomiaru poziomu wynikający z zawartości pary x pod lustrem wody w walczaku

Fig.4. Relativ measuring error of the level resulting from the content x of steam under the water surface in the drum

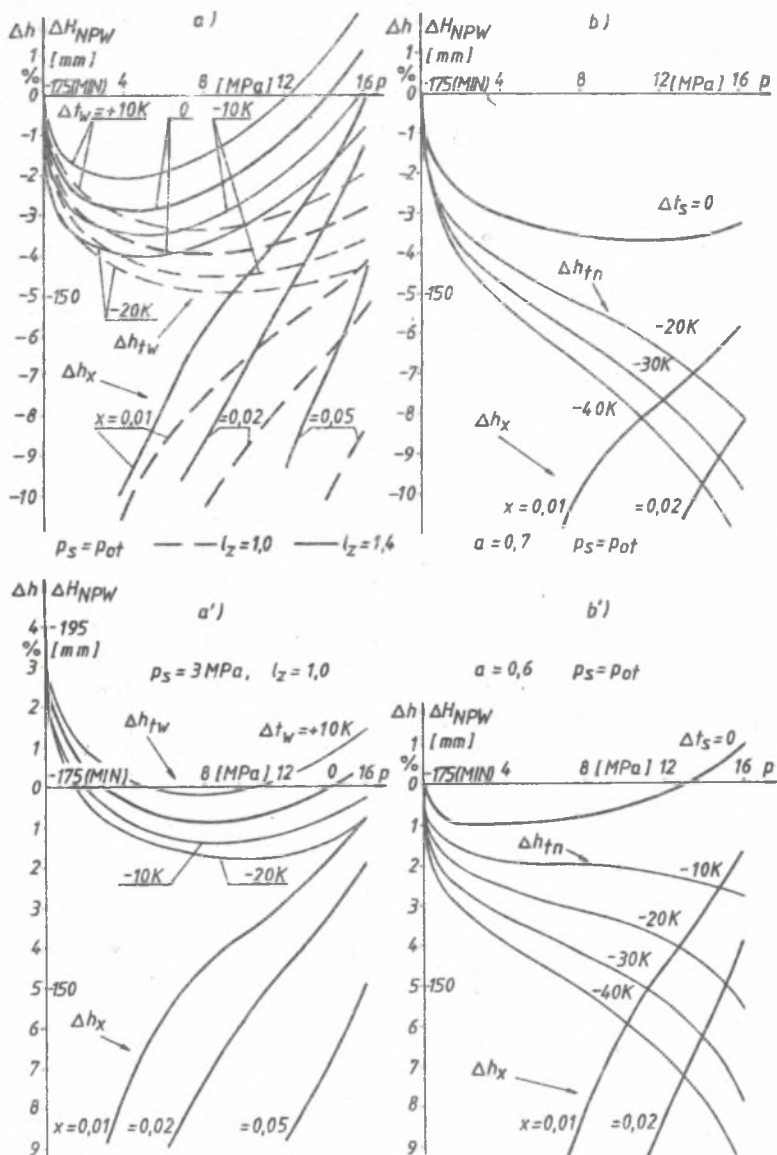
4. PARAMETRY NACZYŃ ODNIESIENIA W UKŁADACH ZABEZPIECZEŃ KOTŁA

W układach zabezpieczeń kotłów identyfikacja awaryjnych stanów MIN lub MAX odbywa się z wykorzystaniem przetworników pomiarowych, w których nie ma układów korekcji wpływu zmian ciśnienia, aby nie wprowadzać dodatkowych elementów zwiększających awaryjność zabezpieczeń kotła. Przesunięcie dźwięgni w czujniku różnicy ciśnień (np. komora Bartona) powoduje mechaniczne oddziaływanie na zestyki w obwodzie elektrycznym. Przeto zachodzi potrzeba takiego ukształtowania charakterystyki układu pomiarowego, aby wartość różnicy ciśnienia Δp , dla zadanej wartości poziomu MIN lub MAX, w jak najmniejszym stopniu zależała od zmian ciśnienia w całym zakresie zmian obciążenia kotła począwszy od stanu zimnego kotła.

W przypadku naczynia zaczepowego tak jest dobrany parametr a , aby płaską charakterystykę układu pomiarowego otrzymać dla $h = 0,5$. Wówczas króćce pomiarowe są tak wyprowadzone z walczaka do tego naczynia, aby wysokość $h = 0,5$ naczynia znajdowała się na wysokości poziomu awaryjnego MIN lub poziomu MAX [4].

W przypadku naczynia zimnego najbardziej płaską charakterystykę otrzymuje się dla $h \approx 0,25$ (rys.2) i tę właściwość można wykorzystać w układach do identyfikacji stanów awaryjnych [3,5].

Jeżeli układ pomiarowy będzie wzorcowany dla wartości ciśnienia $p = p_s$, wówczas dla innej wartości ciśnienia p wskazania układu z zimnym naczyniem odniesienia będą obarczone błędem wynikającym z nieliniowości charakterystyki pomiarowej.



Rys.5. Błędy pomiaru w układzie zabezpieczeń od przekroczenia wartości poziomu MIN układu z naczyniami zimnymi a) i naczyniami zaczepowymi b) dla różnych parametrów konstrukcyjnych naczyń (l_z, a) i różnych wartości ciśnienia p_s wzorcowania układu

Fig.5. Measuring errors in the system of protection from exceeding the MIN level of the system with a) cold vessels and b) catch vessels for their different constructional parameters (l_z, a) and different values of the pressure p_s of system colibration

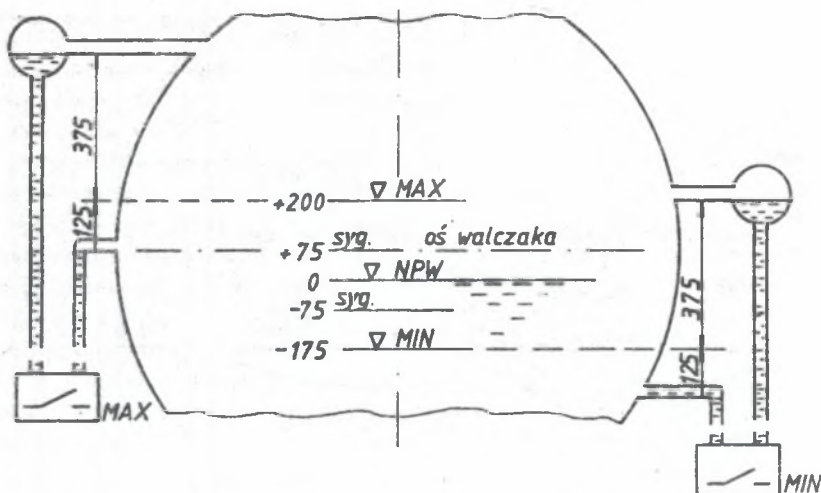
Błąd podstawowy wynikający z nieliniowości charakterystyki układu walczak-naczynie odniesienia na podstawie wzoru (4a) dla układu z naczyniem zimnym ($a = l_z$) wyniesie:

$$\Delta h = l_z \left(\frac{\rho_w - \rho''}{\rho' - \rho''} \right)_s - \frac{\rho_w - \rho''}{(\rho' - \rho'')_s} + h \left[\frac{\rho' - \rho''}{(\rho' - \rho'')_s} - 1 \right]. \quad (7)$$

Indeksem s oznaczono wartości dla ciśnienia wzorcowania p_s . Jeżeli układ jest wzorcowany w warunkach otoczenia, wówczas

$$\rho_w = \rho'' = \rho_{\text{wot}}, \text{ a } \rho'_s = 0.$$

Na rys. 5 porównano błędy Δh przetwarzania układów z naczyniem zimnym (rys. 5a) oraz zaczepowego (rys. 5b), wynikające z nieliniowości charakterystyk pomiarowych (wzór (7)) oraz niedotrzymania warunków temperatury i termodynamicznych (wzór (6)).



Rys.6. Uproszczony schemat zainstalowania naczyń zimnych do identyfikacji awaryjnych stanów poziomu w walczaku kotła, jeżeli ciśnienie wzorcowania przetwornika różnicy ciśnień wynosi $p_s = 3$ MPa

Fig.6. Simplified schematic diagram of installing cold vessels for identification of emergency level states in the boiler drum, if the calibration pressure of the pressure-difference converter is $p_s = 3$ MPa

Przyjęcie dla naczynia zaczepowego wartości parametru $a = 0,6$ zapewnia najmniejszy błąd nieliniowości - błąd przetwarzania wynosi $\Delta h = \pm 1\%$, ($\Delta h = \pm 5$ mm w przypadku $L = 500$ mm). Jednak dla tego typu naczyń odniesienia występują bardzo duże błędy temperaturowe.

Układ pomiarowy z naczyniem zimnym, wzorcowany dla warunków otoczenia ($\rho_w = \rho_{\text{wot}}$), daje błąd przetwarzania $\Delta h = 0 + -4\%$ (dla $l_z = 1$) oraz $\Delta h = -3 + +1\%$ dla $l_z = 1,4$. Aby zmniejszyć błąd nieliniowości w przedziale ciśnień $p = 2 + 16$ MPa do wartości $\Delta h = \pm 1\%$ wzorcowano przetwornik różnicy ciśnień przy ciśnieniu $p_s = 3$ MPa. W tym przypadku dla zimnego stanu kotła $\Delta h = +4\%$.

Na osi rzędnej na rys. 5 naniesiono również skalę wyrażoną w mm jako poziom wody odniesiony do NPW (rys. 6).

Nawet skrajnie duże zmiany temperatury wody w naczyniu zimnym w zakresie $\Delta t_w = -20 \div +10$ K wywołują stosunkowo małe błędy temperaturowe, w porównaniu z naczyniem zaczepowym, w którym przechłodzenie skroplin $\Delta t_n = -30$ K należy uważać za często występujące [1].

Ponieważ naczynia są tak ustawione względem poziomów awaryjnych MIN oraz MAX, że dla naczyń zimnych $h = 0,25$, a dla naczyń zaczepowych $h = 0,5$, więc również błędy wynikające z zawartości pary pod lustrem wody, dla naczyń zimnych są mniejsze (wzór (6)).

Na rys. 6 przedstawiono uproszczony schemat zainstalowania naczyń zimnych do identyfikacji awaryjnych stanów poziomu MIN oraz MAX kotła OP-650b.

5. WNIOSKI

Przedstawiona analiza w niniejszym referacie oraz w pracach [3,5], wskazuje na możliwość wykorzystania zimnych naczyń odniesienia w układach zabezpieczeń kotła od przekroczeń dopuszczalnych odchyłek poziomu. Prace te potwierdzają omówiony w [6] bardzo duży wpływ zawartości pary pod lustrem wody w walczaku na selektywne działanie zabezpieczeń.

LITERATURA

- [1] Habryka A.: Wpływ poziomu wody w walczakach kotłów parowych na pewność ruchową bloków energetycznych (na podstawie badań "Energopomiaru Gliwice"). Materiały konferencji naukowo-technicznej "Pomiary przepływów i poziomów w energetyce". Energopomiar-Gliwice 1986.
- [2] Kostro K.: Błędy statyczne części hydrostatycznej układów pomiaru poziomu wody w walczaku kotłów energetycznych opartych o kondensacyjne naczynia poziomowe. Materiały konferencji jak w pracy [1].
- [3] Strzelczyk F.: Hydrostatyczny zdalny pomiar poziomu wody w walczaku kotła, Pomiary, Automatyka, Kontrola, 1984 nr 3.
- [4] Wilczyński Z.: Układ dla zabezpieczenia kotłów parowych od przekroczenia dopuszczalnych odchyłek poziomu wody w walczaku. Patent PRL nr 86973.
- [5] Strzelczyk F.: Analiza błędów układów hydrostatycznego zdalnego pomiaru poziomu wody w zbiorniku ciśnieniowym, Archiwum Energetyki 1989, nr 3.
- [6] Wilczyński Z.: Wpływ zawartości pary pod lustrem wody w walczaku na działanie zabezpieczenia od przekroczeń dopuszczalnych odchyłek poziomu, Energetyka 1982, nr 7.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Tadeusz CHMIELNIAK

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНЫХ КОНДЕНСАЦИОННЫХ СОСУДОВ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ
ОТ ПРЕВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАНЕ КОТЛА

Резюме

В применяемых до сих пор системах защиты энергетических котлов от аварийных состояний уровня воды в барабане котла, используется как правило зацепные уравнильные сосуды.

Требованную статическую характеристику системы с зацепным сосудом можно получить относительно просто путем изменения ординаты вывода сигналовой трубки из камеры обогрева (рис. 1б).

В эксплуатационных условиях, из-за переохлождения конденсата образующего уравнильный столб, в измерительных системах с этими сосудами выступают большие ошибки измерения уровня, т.н. температурные ошибки $\Delta h_{тп}$ (рис. 3б). Кроме того в условиях внезапных изменений давления происходит испарение воды уравнильного сосуда.

В реферате сравнивается статическая характеристика холодных и зацепных сосудов. Доказано, что хотя статическая характеристика холодного сосуда более нелинейная, в эксплуатационных условиях с этими сосудами получается гораздо меньше температурные ошибки (рис. 5). Поэтому в реальных условиях действие защиты с холодными сосудами более селективное чем с зацепными сосудами.

В результате представлено способ установки холодных сосудов для идентификации аварийных состояний уровня воды в барабане котла (рис. 6).

THE APPLICATION OF COLD CONDENSATION VESSELS IN THE SYSTEMS
OF PROTECTION FROM EXCEEDING THE WATER LEVEL IN THE BOILER DRUM

Summary

In the power boiler protection systems for emergency water level states in the boiler drum used hitherto catch reference vessels have been used. The static characteristics required of the system with a catch vessel can relatively easily be achieved by the change of the ordinate of the signal pipe outlet from the heating chamber (Fig. 1b).

In service conditions, due to the overcooling of the condensate being the reference system, big errors in measuring the level, the so called temperature errors $h_{тп}$ occur. Moreover, in the case of rapid changes in pressure, evaporation of water from the reference vessel takes place.

In the paper, the static characteristics of cold and catch vessels have been compared. It has been proved that, in spite of the more non-linear static characteristics of the cold vessel, considerably smaller temperature errors (Fig. 5) are obtained in service conditions in the systems with cold vessels, there by the operation of protection systems with cold vessels is more selective than with catch vessels in real conditions.

In the paper, the method of installing cold vessels for identification of emergency level states in the boiler drum has been presented (Fig. 6).