

Stanisław WAGŁOWSKI

Instytut Energetyki

PRZEBIEGI CIŚNIENIA PARY W CZASIE AWARYJNYCH WYŁĄCZEŃ BLOKU Z RUCHU I OCENA UKŁADÓW ZRZUTOWO - ZABEZPIECZAJĄCYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono zarys programu obliczeń przebiegu ciśnienia pary w kotle w czasie awaryjnego wyłączenia bloku. Przedstawiono strukturę i podstawowe zależności opisujące dynamikę bloku oraz matematyczny opis tych urządzeń, które decydują o dokładności obliczeń. Przedstawiono ocenę działania układu zrzutowo - zabezpieczającego na przykładzie wyników obliczeń uzyskanych dla zmodernizowanego bloku 120 MW. Przedstawiono sposoby prowadzące do zwiększenia bezpieczeństwa podczas zrzutu obciążenia.

1 WSTĘP

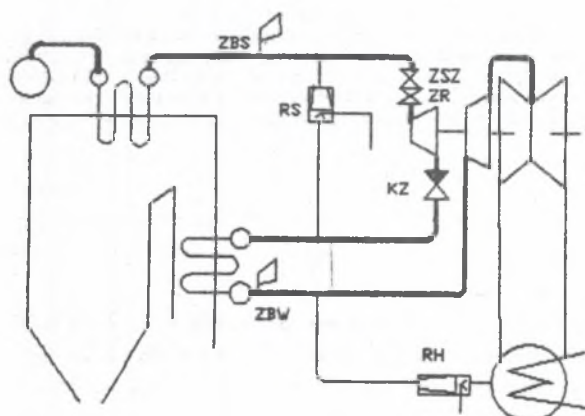
W praktyce eksploatacyjnej bloku energetycznego zdarzają się przypadki awaryjnych wyłączeń z ruchu, podczas których stacja zrzutowa do skraplacza turbiny, na skutek działania zabezpieczeń cieplnych, pozostaje w stanie zamkniętym. W tym przypadku następuje akumulacja pary w przestrzeni przegrzewacza i rurociągów pary wtórnej aż do otwarcia zaworów bezpieczeństwa zabudowanych za przegrzewaczem międzystopniowym. Może przy tym wystąpić taka kombinacja cech stacji zrzutowych, zaworów bezpieczeństwa i pojemności parowej bloku, przy której ciśnienie pary wtórnej przekroczy wartość dopuszczalną. Konieczne jest wówczas zastosowanie środków umożliwiających zmniejszenie maksymalnej wartości amplitudy ciśnienia pary.

W artykule przedstawiono sposób określania warunków, w których zagrożenie jest największe oraz opisano sposoby ograniczenia wzrostu ciśnienia pary wtórnej. Przedstawiono zarys programu umożliwiającego analityczne wyznaczenie przebiegu parametrów pary podczas zrzutu obciążenia, na podstawie którego możliwe jest dokonanie oceny poprawności rozwiązania układu zrzutowo-zabezpieczającego i stopnia bezpieczeństwa tej operacji.

2. UKŁAD ZRZUTOWO - ZABEZPIECZAJĄCY BLOKU

Schemat układu zrzutowo - zabezpieczającego przedstawia rys.1.

Zrzut obciążenia przebiega w sposób normalny, gdy po zamknięciu dopływu pary do turbiny otwierają się obie stacje obejściowe: wysokiego i średniego ciśnienia. Strumień pary świeżej kierowany jest do tzw. zimnej szyny przegrzewacza międzystopniowego przez stację RS, a w przypadku szybkiego otwarcia tej stacji zawory bezpieczeństwa zabudowane na przegrzewaczu pary świeżej nie otwierają się. Strumień pary wtórnej odprowadzany jest do skraplacza przez stację RH, której parametry są tak dobrane, że nie następuje przekroczenie wartości dopuszczalnej ciśnienia w przegrzewaczu międzystopniowym.



OZNACZENIA:

ZBS, ZBW - zawory bezpieczeństwa
 ZSZ - zawór szybkozamykający
 KZ - kłapa zwrotna

Rys. 1. Układ zrzutowo - zabezpieczający bloku

Fig. 1. Safety bypass system

Podczas zrzutu obciążenia może się zdarzyć, że układ zabezpieczeń technologicznych uniemożliwi otwarcie stacji RH. Następuje wówczas akumulacja pary w przegrzewaczu międzystopniowym, co jest powodem wzrostu ciśnienia pary wtórnej, aż do otwarcia zaworów bezpieczeństwa zabudowanych w tej części kotła. Bezpieczny przebieg zrzutu obciążenia zależy od własności dynamicznych zaworów bezpieczeństwa pary wtórnej, które muszą spełniać wyższe wymagania niż zawory bezp. pary świeżej, a błędy w ich doborze mogą spowodować niedopuszczalne przekroczenia ciśnienia pary wtórnej.

3. Kryteria oceny poprawności przebiegu zrzutu obciążenia

Podstawowym kryterium, które powinno być zawsze spełnione, jest nieprzekraczanie dopuszczalnej wartości ciśnienia pary. Za dopuszczalną wartość uznaje się liczbę równą 1,1 ciśnienia obliczeniowego.

Drugim warunkiem, od spełnienia którego zależy bezpieczeństwo kotła, jest utrzymanie temperatury metalu przegrzewacza w bezpiecznych granicach. Ograniczenie to ma związek z gwałtowną akumulacją ciepła występującą w przegrzewaczu w okresie bezprzepływowym zrzutu.

Trzecim warunkiem jest utrzymanie sił dynamicznych oddziaływających na rurociągi parowe, w szczególności rurociągi pary wtórnej podczas dużych zmian przepływu w czasie wyłączenia turbiny i akcji zaworów bezpieczeństwa.

Ważnym czynnikiem, który powinien być sprawdzany, jest amplituda naprężeń termicznych powstających w czasie otwierania stacji obejściowej wysokiego ciśnienia w elementach rurociągów zlokalizowanych za stacją.

W artykule zamieszczono szereg spostrzeżeń umożliwiających dokonanie oceny zarówno poprawności rozwiązania układu zrzutowo-zabezpieczającego z punktu widzenia maksymalnej wartości ciśnienia pary, jak również ocenę skuteczności przedsięwzięć zmierzających do ograniczenia tego ciśnienia.

4. OPIS MODELU DYNAMIKI BŁOKU I PROGRAMU OBLICZEŃ

4.1. Podstawowe równania dynamiki przepływu

Przepływ czynnika i związany z tym przebieg ciśnienia opisuje układ równań różniczkowych; ciągłości, pędu i energii. Zachowawcza forma tych równań umożliwia przedstawienie ich w postaci wektorowej. Przypadek quasi-jednowymiarowego przepływu w prostym odcinku rury opisuje równanie:

$$-\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} = S. \quad (1)$$

Dla przepływu adiabatycznego wyrazy tego równania mają następujące znaczenie:

$$W = \begin{vmatrix} RD \\ RDU \\ E \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} RD \cdot u \\ p + RD \cdot u^2 \\ u(p+E) \end{vmatrix} \quad S = \begin{vmatrix} 0 \\ LA \cdot RD \cdot u |u| \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Dla przepływu pary z równoczesną wymianą ciepła obowiązują zależności:

$$W = \begin{vmatrix} RD \\ RDU \\ E \\ TW \end{vmatrix} \quad F = \begin{vmatrix} RD \cdot u \\ p + RD \cdot u^2 \\ u(p+E) \\ 0 \end{vmatrix} \quad S = \begin{vmatrix} 0 \\ LA \cdot RD \cdot u |u| \\ (\alpha_2/d) \cdot (TW-T) \\ SI[q_1 - \alpha_2(TW-T)] \end{vmatrix}, \quad (3)$$

gdzie: RD, RD_m - gęstość czynnika, metalu, RDU - pęd, p - ciśnienie,

u - prędkość przepływu, C_m - ciepło właściwe metalu, E - energia wewnętrzna, T - temperatura czynnika, T_W - temp pow.wewn metalu, d , D - średnica wewn, zewn. rury α_2 - współczynnik przejmowania ciepła, q_1 - strumień ciepła od spalin do rury, LA - opór przepływu, $S_1 = [RO_m \cdot C_m \cdot (D^2/d^2 - 1) d/4]^{-1}$

4.2. Wybór efektywnego algorytmu różnicowego

Istnieje szereg sprawdzonych metod rozwiązywania równań adwekcji. Spośród jawnych metod zachowawczych na uwagę zasługują: metoda Laxa, Lelewier'a, jedno- i dwustopniowa Laxa-Wendroffa, skokowa i przybliżona drugiego rzędu [2]. Wybór metody ma wpływ na czas obliczeń i rozmiary koniecznej pamięci komputera. W opracowanym programie obliczeń przyjęto algorytm Laxa-Wendroffa, którego cechą szczególną jest prosta struktura i cechy zbliżone do metody drugiego rzędu.

4.3. Wymiana ciepła w przegrzewaczu pary

Występujący w równaniu (3) strumień ciepła - q_1 przekazywanego do powierzchni ogrzewalnej stanowi sumę ciepła przejmowanego na drodze konwekcji i promieniowania. W przypadku prostopadłego ułożenia węzłownic w stosunku do kierunku przepływu spalin obowiązuje zależność:

$$q_1 = \pi D [\alpha_k (TS - TW) + \alpha_r (TS^4 - TW^4)], \quad (4)$$

gdzie: TS - temperatura spalin, TW - temperatura powierzchni wewnętrznej ścianki, α_k, α_r - współczynniki przejmowania ciepła; na drodze konwekcji i promieniowania.

4.4. Opis elementów układu przepływowego bloku

Komora przegrzewacza pary

Przepływ z komory jest traktowany jako efekt izentropowego rozprężania czynnika do ciśnienia w pierwszym elemencie siatki różnicowej za komora. W tym przypadku obowiązują równania:

- energii

$$\frac{k}{k-1} \frac{p_{kp}}{RO_k} = \frac{k}{k-1} \frac{p_{j=1}}{RO_{j=1}} + \frac{u_{j=1}^2}{2}, \quad (5)$$

- stanu

$$\frac{p_k}{p_{j=1}} = \left[\frac{RO_k}{RO_{j=1}} \right]^k, \quad (6)$$

gdzie: p_k, RO_k - ciśnienie i gęstość w komorze, $u_{j=1}, p_{j=1}, RO_{j=1}$ - prędkość, ciśnienie i gęstość w pierwszym elemencie siatki k - współczynnik politropy.

Parownik

Proces akumulacji ciepła w parowniku jest wynikiem oddziaływań strumieni: pary odprowadzanej do przegrzewacza, wody zasilającej i ciepła przekazywanego do ekranów [9]

$$-\frac{dp}{dt} = C_1 u + C_2 uw + C_3 q_1, \quad (7)$$

gdzie: u, uw - prędkość pary, wody, q_1 - strumień ciepła przekazywanego do parownika, C_1, C_2, C_3 - wsp. charakteryzujące pojemność cieplną parownika.

Komora paleniskowa

Strumień ciepła do ekranów parownika wynika z bilansu ciepła dostarczanego z paliwem, powietrzem pierwotnym i wtórnym oraz ciepła zakumulowanego w przestrzeni komory paleniskowej. Wymagany jest przy tym model komory paleniskowej, którego rozwiązanie może być podstawą wyznaczenia współczynnika C_3 równania (7).

Układ młynowo - paleniskowy

Dynamika strumienia pyłu węglowego doprowadzanego do komory paleniskowej rozpoznawana jest głównie na podstawie danych pomiarowych. Materiał uzyskany w ten sposób umożliwia przedstawienie następującego uproszczonego modelu:

- młyn

$$\frac{dm}{dt} = BW_1 - BW_2, \quad (8)$$

$$BW_2 = k m L_1,$$

- przestrzeni pyłu - powietrznej młyn i rurociągów pyłowych

$$\frac{d BW_2}{dt} = (BW_2 - BW_1) / TP, \quad (9)$$

gdzie: m - masa węgla zakumulowanego w młynie, BW_1, BW_2 - strumień węgla surowego, TP - stała czasowa rurociągów pyłowych.

Stacja zrzutowo - zabezpieczająca

Strumień pary w zaworze stacji jest funkcją stopnia jego otwarcia oraz parametrów pary. Dla przepływów nadkrytycznych obowiązuje przybliżona zależność:

$$M = M_0 \frac{R_0 A}{R_{00} A_0} = M_0 \left[\frac{p}{p_0} \right]^k \frac{A}{A_0} \quad (10)$$

gdzie: M - masowy przepływ pary, A - przekrój przepływu, indeks 0 odnosi się do warunków znamionowych.

Zawór bezpieczeństwa

Przedstawiony niżej opis odnosi się do zaworu bezpieczeństwa wraz z układem sterowania. Schemat zaworu przedstawiono na rys. 2. W modelu

zaworu uwzględniono główne oddziaływania na jego elementy ruchome, dążąc do uzyskania możliwie wiernego odwzorowania dynamiki ruchu wrzeciona i strumienia pary wypływającej z rurociągów [10].

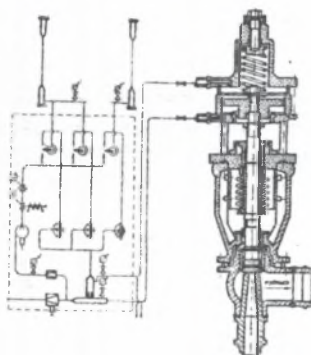
Uwzględniono następujące oddziaływania:

1. Siła wywierana przez sprężynę główną: $F_s = -k_0 - k_1 H$,
gdzie: H - położenie wrzeciona zaworu, k_0 - wstępny naciąg sprężyny
($F_s = -k_0$ dla $H = 0$), k_1 - stała sprężyny głównej

$$k_1 = \frac{\partial F_s}{\partial H} \quad (11)$$

2. Oddziaływanie sprężyny tłumiącej $F_{sT} = 0$ dla $H < L$
 $F_{sT} = -k_T (H - L)$ dla $H > L$,
gdzie: L - luz sprężyny tłumiącej, k_T - stała sprężyny tłumiącej,

$$k_T = \frac{\partial F_{sT}}{\partial H} \quad (12)$$



Rys. 2. Zawór bezpieczeństwa z układem sterowania

Fig 2. Safety valve with control system

3. Statyczne oddziaływanie ciśnienia pary $F_e = k_p p$
 k_p - czynna powierzchnia oddziaływania pary
4. Dynamiczne oddziaływanie strumienia pary

$$F_d = \frac{v}{R_0} M^2, \quad (13)$$

gdzie: R_0 - gęstość pary, M - strumień masy pary, v - współczynnik.

5. Oddziaływanie powietrza sterującego

$$F_p = p_{ow2} s_2 - p_{ow1} s_1, \quad (14)$$

gdzie: p_{ow1}, p_{ow2} - ciśnienie powietrza sterującego nad i pod tłokiem
 s_1, s_2 - czynne powierzchnie; górnej i dolnej części tłoka,

6. Zmiana ciśnienia powietrza w przestrzeni nad tłokiem wiąże się z akumulacją masy w tej objętości i może być opisana równaniem różniczkowym:

$$T_p \frac{d(p_{ow1})}{dt} + p_{ow1} = a_1 \frac{dH}{dt} + a_2 p_{ow2}, \quad (15)$$

gdzie: T_p, a_1, a_2 - współczynniki.

7. Strumień rozładujący przestrzeń powietrza nad tłokiem jest funkcją ciśnienia pow1 i pow2 oraz położenia membrany h wzmacniacza pneumatycznego. Zależność wiążąca te wielkości jest dość złożona. W uproszczeniu może być wyrażona równaniem:

$$\frac{T}{1+kb h} \frac{d(\text{pow1})}{dt} + \text{pow1} = \frac{a_1}{1+kb h} \frac{dH}{dt} - \frac{a_2 - h}{1+kb h} \text{pow2}, \quad (14)$$

$$h = \phi (p - p_0) + \psi (m_p),$$

gdzie: h - położenie membrany wzmacniacza pneumatycznego,
 m_p - strumień powietrza wpływającego ze wzmacniacza pneumatycznego
 kb, p_0 - współczynniki.

8. Siła bezwładności mas ruchomych

$$F_N = -m \frac{d^2 H}{dt^2}, \quad (15)$$

$$m = m_w + m_T + 0.5 m_s,$$

gdzie: m - masa łączna elementów ruchomych, m_w - masa wrzeciona,
 m_T - masa tłoka, m_s - masa sprężyny,

9. Siła tarcia

$$T = -\text{sign} \left(\frac{dH}{dt} \right) T_A, \quad (16)$$

gdzie: T_A - bezwzględna wartość siły tarcia.

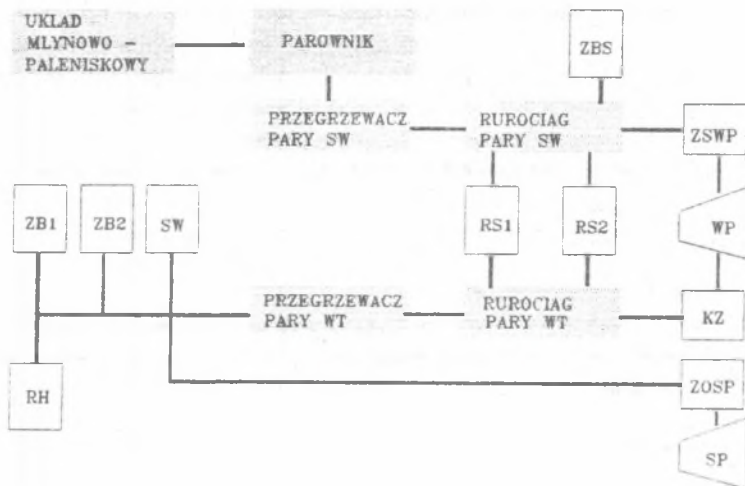
Źródłem informacji o parametrach modelu zaworu bezpieczeństwa wraz z układem powietrza sterującego są wyniki badań wykonanych na bloku nr 1 w El. Pożaniec. Umożliwiają one określenie niektórych parametrów związanych z dynamiką oraz oszacowanie, niemożliwej do określenia na drodze analitycznej, siły tarcia elementów ruchomych zaworu.

Wykorzystywany do obliczeń dynamiki zmian ciśnienia model ma strukturę przedstawioną na rys 3.

5. Ocena przebiegów ciśnienia pary wtórnej na podstawie uzyskanych wyników obliczeń

- 5.1. Znaczenie początkowego położenia zaworu regulacyjnego stacji wysokoprężnej

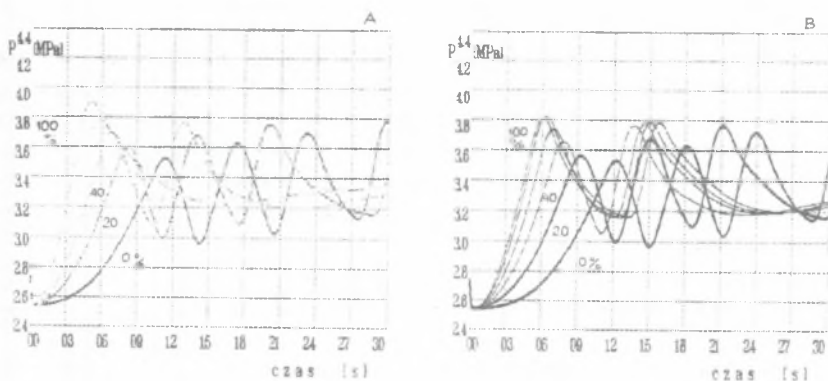
Obliczenia przebiegu ciśnienia pary po rzuceniu obciążenia z różnymi początkowymi położeniami zaworu regulacyjnego stacji RS mają znaczenie dla eksploatacji bloku. Mogą być wykorzystane do wyboru najkorzystniejszego położenia zaworu. Na rys. 6 przedstawiono kilka przebiegów ciśnienia pary przed przegrzewaczem międzystopniowym dla początkowego położenia z



Rys 3. Struktura modelu bloku

Fig 3. Schematic diagram of the simulation model

przedziału 0 - 100%. Wyniki te odnoszą się do zmodernizowanego bloku 120 MW. Z analizowanych przebiegów, różniących się czasem otwierania zasowy stacji RS (15 i 30s), wynika wniosek o celowości ustawiania zaworu regulacyjnego tej stacji w położenie środkowe.



Rys. 4. Wpływ początkowego położenia zaworu regulacyjnego stacji RS na przebieg ciśnienia pary wtórnej podczas zrzutu obciążenia
A - czas przestawiania zasowy - 15 s, B - 30 s.

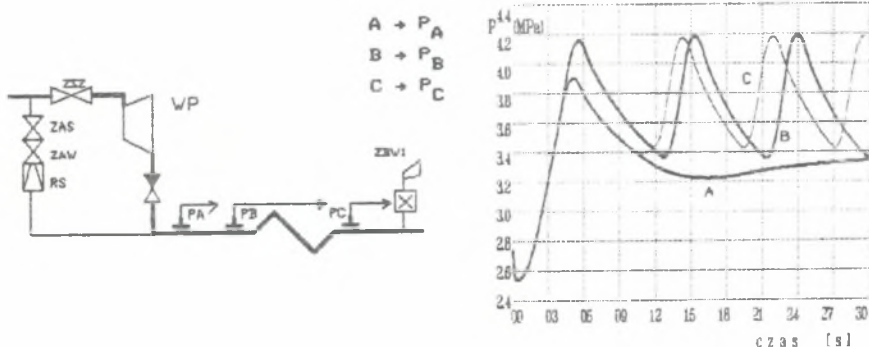
Fig. 4. Influence of bypass valve initial position upon reheat steam pressure transients
A - trip time of bypass gate valve - 15 sec, B - 30 sec.

5.2. Wpływ szybkości otwierania zasowy parowej stacji RS na przebieg ciśnienia

Przedstawiony na rys. 4 materiał prowadzi również do wniosku o niewłaściwości rozwiązania z zastosowaniem napędu zasowy parowej o dużym czasie przestawiania. W takim przypadku występuje tendencja do nieuzasadnionego zamykania zaworu bezpieczeństwa w trakcie otwierania stacji RS. Jest to oczywista nieprawidłowość popełniana przy projektowaniu układu zrzutowego, której skutki obserwuje się w formie niepoprawnych przebiegów zrzutu obciążenia w niektórych elektrowniach.

5.3. Wpływ miejsca pomiaru ciśnienia pary na działanie zaworu bezpieczeństwa

Pomiar ciśnienia pary jest niezbędny do sterowania wzmacniacza pneumatycznego zaworu. W ogólnym przypadku może to być ciśnienie w dowolnym punkcie układu. W przypadku pary wtórnej w kotle energetycznym punkt ten może być zlokalizowany w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca zabudowy zaworów lub w innym miejscu przegrzewacza i rurociągów pary wtórnej. Na rys. 5 przedstawiono kilka możliwych sposobów poboru sygnału pomiarowego i odpowiadające tym wariantom przebiegi ciśnienia pary w rurociągu dolotowym przegrzewacza.



Rys. 5. Położenia punktu pomiaru ciśnienia pary wtórnej i odpowiadające im przebiegi podczas zrzutu obciążenia

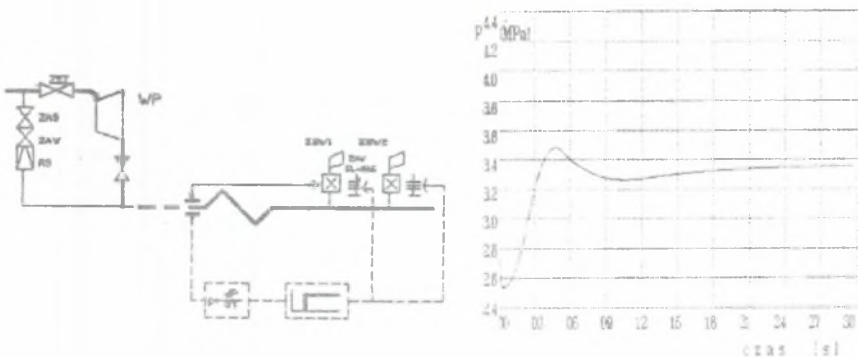
Fig 5. Location of reheat steam pressure measurement and transients effected.

międzystopniowego. Jak wynika z obliczeń, pomiar ciśnienia w miejscu odległym od zaworu bezpieczeństwa jest korzystny, ponieważ działa stabilizująco na ciśnienie pary podczas zrzutu obciążenia.

6. Przedsięwzięcia usprawniające działanie układu zrzutowo - zabezpieczającego

W celu zmniejszenia ryzyka przekroczenia dopuszczalnej wartości ciśnienia pary wtórnej lub obniżenia tej wartości, gdy przekroczenie to występuje - przewidziano dodatkowe oddziaływanie na zawory bezpieczeństwa. Stosowane w energetyce zawory typu SiZ produkcji CHEMAR Kielce umożliwiają wprowadzenie dodatkowego oddziaływania na zawór elektromagnetyczny w obwodzie powietrza sterującego. W wyniku uzyskuje się wymuszone otwarcie zaworu bez konieczności przekroczenia ciśnienia pary, przy którym zawór ten powinien się samoczynnie otworzyć. Sposób oddziaływania przedstawiono w wariantach A -D, które odnoszą się do przypadku, gdy za przegrzewaczem międzystopniowym zabudowane są dwa równoległe działające zawory bezpieczeństwa.

WARIANT A: Układ sterowania oddziałuje na zawory elektromagnetyczne umieszczone w obwodach powietrza sterującego zaworów bezpieczeństwa. Sygnał sterujący jest wytwarzany w układzie różniczkowania ciśnienia pary przed przegrzewaczem międzystopniowym. Struktura układu i uzyskane przebiegi ciśnienia przedstawia rys. 6 [7].



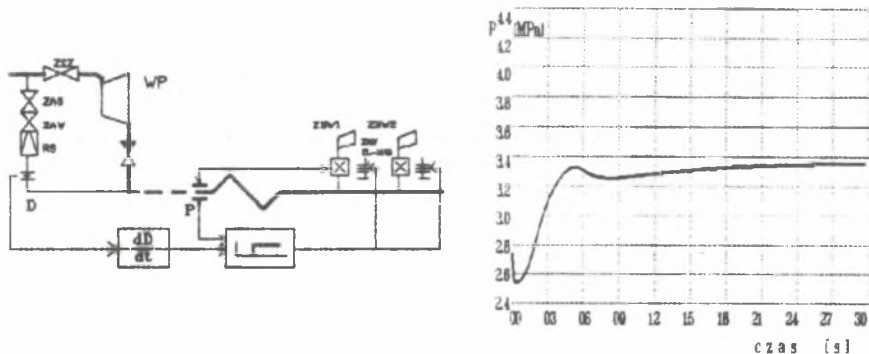
Rys. 6. Przebiegi ciśnienia pary w zmodyfikowanym układzie zrzutowo - zabezpieczającym wg wariantu A

Fig. 6. Reheat steam pressure transients in modified safety system control - WARIANT A.

WARIANT B: Sygnał sterujący zaworem elektromagnetycznym zaworów bezpieczeństwa jest tworzony w układzie różniczkowania strumienia pary w wysokoprężnej stacji obejściowej. Strukturę układu i wyniki przedstawia rys. 7 [7].

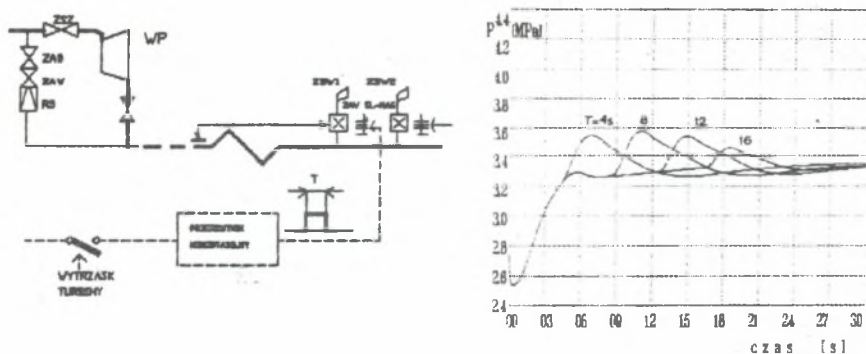
WARIANT C: Sygnał oddziaływający na jeden zawór elektromagnetyczny jest tworzony przez wykorzystanie impulsu pochodzącego z wytrząsku turbiny, którego aktywność jest podtrzymywana w układzie przerzutnika monostabilnego przez czas T sekund (rys. 8).

WARIANT D: Struktura układu jest podobna do wariantu C, z tym że oddziaływanie odbywa się na oba zawory bezpieczeństwa (rys. 9). (opis rozwiązania oparto na poz. [8]).



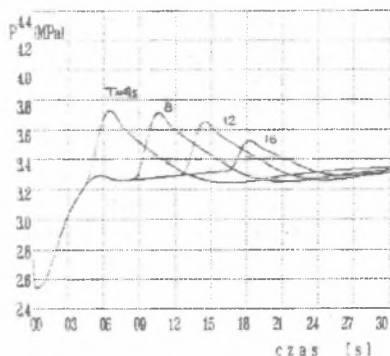
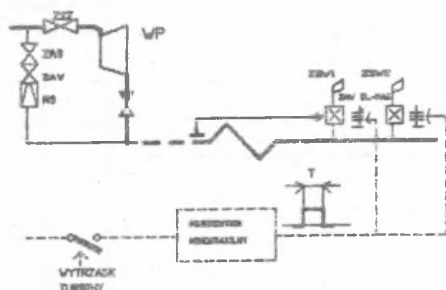
Rys. 7. Przebiegi ciśnienia pary w zmodyfikowanym układzie zrzutowo - zabezpieczającym wg wariantu B

Fig.7. Reheat steam pressure transients in modified safety system control - WARIANT B



Rys 8. Przebiegi ciśnienia pary w zmodyfikowanym układzie zrzutowo - zabezpieczającym wg wariantu C

Fig 8. Reheat steam pressure transients in modified safety system control - WARIANT C.



Rys 9. Przebiegi ciśnienia pary w zmodyfikowanym układzie zrzutowo - zabezpieczającym wg wariantu D

Fig 9. Reheat steam pressure transients in modified safety system control - WARIANT D.

Z porównania przebiegów ciśnienia wynika, że poprawny przebieg ciśnienia pary wtórnej uzyskuje się w wariantach A, B i D. Układ wg wariantu A ma uniwersalny charakter. Zabezpiecza przed wzrostem ciśnienia pary wtórnej nie tylko w czasie zrzutu obciążenia, lecz w każdej innej sytuacji ruchowej. Wariant C wymaga zainstalowania pomiaru przepływu pary przez stację RS, co w warunkach bloku 120 MW może być dyskusyjne. Wariant D ma prostą strukturę, w której nie przewiduje się aparatury analogowej. Zapewnia on również poprawny przebieg ciśnienia pary pod warunkiem, że:

- podtrzymanie impulsu pochodzącego od wytrząsku turbiny nie będzie krótsze niż 20 s.
- zawór regulacyjny stacji RS przed zrzutem będzie w położeniu środkowym.

7. Podsumowanie

Przedstawione wyniki uzyskano dla przypadku wyłączenia bloku z ruchu. Obliczenia wykonano na podstawie matematycznego opisu procesu akumulacji pary w przestrzeniach parowych kotła, rurociągów i turbiny. Komplet równań różniczkowych opisujących przepływ czynnika i wymianę ciepła wraz z warunkami początkowymi i brzegowymi stanowi model bloku przeznaczony do badania awaryjnych wyłączeń bloku z ruchu.

Wykorzystywany w obliczeniach model został zweryfikowany na podstawie badań przeprowadzonych w elektrowni. Podczas badań obiektowych stwierdzono, że istotne znaczenie dla dokładności obliczeń ma znajomość własności dynamicznych zaworów bezpieczeństwa typu SiZ, ujmujący wszystkie istotne oddziaływania, przeprowadzono również pomiarową weryfikację jego parametrów.

Podczas obliczeń różnych wariantów układu zrzutowo - zabezpieczającego poczyniono szereg spostrzeżeń dotyczących działania zaworów bezpieczeństwa i całego układu, z których najważniejsze przedstawiono niżej.

1. Dla określonej konstrukcji kotła i rurociągów parowych istnieje pewna optymalna szybkość przyrostu ciśnienia pary wtórnej, przy której jego wartość szczytowa jest najmniejsza, a działanie zaworów bezpieczeństwa jest stabilne. Szybkość ta może być dobrana przez zastosowanie odpowiedniej kombinacji napędów zaworu i zasowy stacji RS, a także początkowego położenia zaworu regulacyjnego.
2. Z badań wynika znaczenie miejsca pomiaru ciśnienia pary do sterowania zaworem bezpieczeństwa. Umieszczenie czujnika ciśnienia przed przegrzewaczem wpływa korzystnie na przebieg ciśnienia pary i jego wartość maksymalną.
3. W przypadku gdy układ zrzutowo - zabezpieczający nie zapewnia wymaganego bezpieczeństwa, tzn. następuje przekroczenie dopuszczalnej wartości ciśnienia pary wtórnej, możliwe jest zastosowanie środków usprawniających jego działanie. Przykładowe rozwiązania przedstawiono i oceniono ich skuteczność.
4. Opracowany program może być wykorzystany do badania rozmaitych wariantów układu zrzutowo - zabezpieczającego, jak również do weryfikacji poprawności wyboru ciśnienia obliczeniowego rurociągów pary i przegrzewacza kotła. Może być użyty również do doboru armatury układu zrzutowo- zabezpieczającego bloku.

Literatura

- [1] Schiesser W.E.; A Digital Simulation System for Mixed Ordinary / Partial Differential Equation Models. Mat.Konf. IFAC Gyor 1971.
- [2] Potter D.; Metody obliczeniowe fizyki. Fizyka komputerowa. PWN 1982.
- [3] Kay I.M., Nedderman R.M.; Fluid Mechanics and Heat Transfer. Cambridge University Press, 1974.
- [4] Matwiejew N.M.; Metody całkowania równań różniczkowych zwyczajnych. PWN. 1986.
- [5] RELAP 4 - A computer Programm for Transient Thermal - Hydraulic Analysis. US Atomic Energy Commission. 1973.
- [6] Wąglowski S. Eksperymentalna weryfikacja metody obliczeń awaryjnego wyłączenia bloku z ruchu. Oprac. IEn. 1988.
- [7] Wąglowski S. Układy zrzutowo-zabezpieczające bloków energetycznych i sposoby zabezpieczenia przed wzrostem ciśnienia pary. Mat.Seminarium IEn marzec 1988.
- [8] Projekt wynalazczy ZE PAK. 1988r.
- [9] Duda M, Parametryczny model matematyczny dynamiki kotła walczakowego do badań przy dużych zmianach obciążenia, Oprac.IEn 1974.
- [10] Wąglowski S. Ocena układów zrzutowo-zabezpieczających bloków energetycznych z zaworami bezpieczeństwa typu SiZ. Mat.Seminarium UBRAF Kielce, 1990.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Tadeusz CHMIELNIAK

ДИНАМИКА ДАВЛЕНИЯ ПАРА ВО ВРЕМЯ СБРОСА НАГРУЗКИ И ОЦЕНКА БАЙПАСНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЛОКА

Резюме

В статье представлено метод определения временных характеристик давления пара во время аварийного сброса нагрузки блока. Использована в этой цели математическая модель подготовлена с учетом результатов объектных испытаний, намеренных на определение его динамических свойств. Модель пароперегревателей и паровых трубопроводов создана составом дифференциальных уравнений с частными производными, связанными с главными параметрами блока через граничные условия. Особенно точно разработана модель предохранительных клапанов вместе с их системой управления, так как они значительно влияют на временные характеристики давления пара. Анализ касается случая сброса нагрузки, во время которого клапаны байпасной системы среднего давления остаются в закрытом состоянии. Амплитуда давления в этом случае принимает наибольшее значение. В статье представлено намерения давшее возможность ограничения роста давления вторичного пара путем воздействия на систему управления предохранительных клапанов. Анализ модифицированных систем управления показывает возможность получения удовлетворяющих результатов.

SIMULATION OF STEAM PRESSURE DYNAMICS AFTER LOAD REJECTION OF POWER UNIT AND BY-PASS SYSTEM ASSESSMENT

Summary

The aim of the paper is to present the analytical approach to evaluation of steam pressure transients in power unit after load rejection. The model has been built with respect to experimental trials aimed to identification of dynamic behaviour. The boiler heat exchangers and steam pipelines are represented by a set of partial differential equations concerned with the main plant variables by boundary conditions. Special attention is payed to modeling of safety valves with control system due to significant influence of its behaviour on pressure transients. The simulated reheat steam pressure transients are concerned with the case of load rejection while IP by-pass valve remains closed. It should be noticed that the amplitude of reheat steam pressure may exceeded its permissible value in this case. The paper presents some affords directed towards reduce of maximal value of reheat steam pressure. Some action on safety valve control loop are considered. The comparative analysis of modified safety valve control system clearly presents the satisfactory results obtained.