

Zbigniew Jankowski, Łukasz Kurpisz

Instytut Techniki Ciepłej
Politechniki Warszawskiej

KONCEPCJA OPTIMALIZACJI UKŁADÓW ZASILANIA BLOKÓW ENERGETYCZNYCH

W artykule przedstawiono koncepcję optymalizacji podstawowych parametrów układów zasilania. Omówiono główne problemy związane z projektowaniem i eksploatacją tych układów w blokach dużej mocy, przedstawiając przegląd literatury tego tematu. Ustalono zakres decyzyjny optymalizacji oraz kryterium oceny. Opisano koncepcję algorytmu obliczeń umożliwiającego wariantową optymalizację różnorodnych układów.

1. WPROWADZENIE

Aktualny rozwój siłowni ciepłych oparty na tendencji wzrostu mocy jednostkowej bloków sprawia, że coraz większego znaczenia nabiera zagadnienie właściwego zaprojektowania układu zasilania. Układ ten jest jedną z najważniejszych instalacji siłowni, której zadaniem jest stałe pokrycie zapotrzebowania wody przez generator pary oraz ciągłe uzupełnianie ubytków czynnika związanych z jego stratami. Najbardziej charakterystycznymi cechami takich układów, projektowanych dla bloków dużej mocy są [5]:

- ograniczanie liczby pomp roboczych,
- wzrost prędkości obrotowych pomp i zwiększanie wysokości podnoszenia przypadającej na jeden stopień,

- zastępowanie napędów elektrycznych napędami turbinowymi.

Tendencja do ograniczania liczby pracujących jednostek wiąże się z ewolucją konstrukcji pomp zasilających, polegającą głównie na zmniejszaniu liczby stopni. Uzyskany dzięki temu znaczny wzrost niezawodności i możliwość pracy bez remontu w okresach 120-150 tysięcy godzin spowodował, że w większości rozwiązań stosowane są bądź dwie pompy po 50% wydajności bez rezerwy, bądź jedna pompa o 100% wydajności w połączeniu z niewielką pompą rozruchowo-rezerwową. Należy podkreślić, że zmniejszanie liczby pomp roboczych związane jest ze wzrostem mocy jednostkowych, które osiągają często wartości przekraczające 10 MW. Pociąga to za sobą znaczący przyrost entalpii czynnika przepływającego przez pompę i wiąże w sposób oczywisty parametry układu zasilania ze sprawnością siłowni. Oddziaływanie to jest tym większe, im bliżej kotła znajduje się pompa. Tym samym, istotny staje się problem struktury układu zasilania.

Wysoka niezawodność urządzeń, zwłaszcza w siłowniach jądrowych, była głównym czynnikiem, który zapoczątkował stosowanie pomp szybkoobrotowych o konstrukcji zapewniającej zachowanie właściwych luzów promieniowych pomiędzy elementami wirującymi a nieruchomymi w całym zakresie pracy. Mimo niewątpliwych zalet takich rozwiązań, cechujących się mniejszymi gabarytami i kosztami eksploatacji, stwarzają one szereg problemów, do których w pierwszym rzędzie należy zaliczyć trudności z zapewnieniem odpowiednich warunków na ssaniu. Wymagana nadwyżka antykawitacyjna rośnie bowiem wraz ze wzrostem prędkości obrotowej i w większości przypadków konieczne ciśnienie na wlocie do pompy nie może być zagwarantowane przez geometryczną wysokość napływu. Ponieważ niezawodność pompy ściśle wiąże się z możliwością wystąpienia kawitacji, szczególnie ważna staje się analiza warunków pracy układu napływowego. Najbardziej niekorzystne sytuacje mogą występować w przypadkach nagłych zrzutów obciążenia, przy których następuje wstrzymanie dopływu pary do wszystkich wymienników regeneracyjnych, w tym i do odgazowacza, przy jednoczesnej pracy kotła przez krótki czas z pełną wydajnością. Występujące wtedy zasilanie stacji odgazowania chłodnym kondensatem pociąga za sobą spadek ciś-

nienia w zbiorniku wody zasilającej, którego wartość i zmiany w czasie powinny być możliwie dokładnie określone.

Zastosowanie na szeroką skalę napędów turbinowych spowodowane zostało w głównej mierze trudnościami wykonawczymi dużych silników elektrycznych o mocy przekraczającej 15 MW. Wprowadzenie pomocniczej turbiny napędowej do układu zasilania sprawia, że staje się on integralną częścią schematu cieplnego wraz z wszystkimi konsekwencjami tego faktu. Odprowadzenie części pary na napęd pompy zasilającej z jednej strony pociąga za sobą wzrost wydajności kotła, jego urządzeń pomocniczych oraz wymiarów przewodów parowych, a tym samym i wzrost nakładów inwestycyjnych na te urządzenia, z drugiej zaś powoduje zmniejszanie przepływu pary przez część niskorępną turbiny głównej, co upraszcza konstrukcję jej ostatnich stopni i zmniejsza stratę wylotową.

Opisane wyżej powiązania są przedmiotem licznych analiz mających na celu sformułowanie zasad prawidłowego projektowania i eksploatacji układów zasilania. Uwzględnienie przy ich realizacji ograniczeń stawianych przez projektantów i wymagań użytkowników przyczynić się może do wyeliminowania błędów projektowych stwarzających trudności zwłaszcza podczas rozruchu bloku i w początkowej fazie jego eksploatacji.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

Zagadnienia projektowania i doboru optymalnych parametrów układów zasilania nie doczekały się do chwili obecnej kompleksowych opracowań uwzględniających całość aspektów wykonawczych i eksploatacyjnych. Liczne publikowane w prasie artykuły na ten temat mają charakter fragmentaryczny, dotyczący tylko wybranych parametrów, bądź odnoszą się do konkretnych rozwiązań, co nie pozwala na uogólnienie wyników, bądź opierają się na założeniach trudnych do przyjęcia w warunkach krajowych.

W literaturze najszerszej potraktowany jest dobór układu napędowego pomp zasilających. Zagadnieniu temu, szczególnie aktualnemu w latach sześćdziesiątych, poświęcono wiele miejsca.

W ZSRR ukazał się cykl artykułów W. Ryżkina [19÷22] omawiający różnorodne typy układów napędowych, w których przedstawiono metodykę obliczania ich efektywności. Ponadto należy wymienić publikacje W. Iwanowa [3] dotyczącą wyboru napędu przy pracy bloku z ciśnieniem poślizgowym, B. Orłowa [8], w której rozważono możliwość zastosowania turbin czołowych, a w szczególności A. Ryssa [18] gdzie problem doboru napędu omówiono w sposób najbardziej kompleksowy.

Istotną trudnością, jaka występuje przy korzystaniu z powyższych źródeł jest to, że większość autorów uwzględnia wpływ zmian parametrów układu zasilania na sprawność cieplną bloku i posługuje się metodą tzw. "współczynników jakości ciepła". Metoda ta szczegółowo opisana w monografii M. Szczepietielnikowa [17] w Polsce jest mało znana i dlatego praktyczne wykorzystanie wyprowadzanych zależności nie jest możliwe bez dodatkowych, obszernych uzupełnień.

Dostępna w kraju literatura zachodnia na temat doboru napędu jest znacznie uboższa, przy czym w większości dotyczy ona ogólnych rozważań, w których prezentowane są tylko wyniki obliczeń techniczno-ekonomicznych bez podawania konkretnych zależności. Nieco bardziej szczegółowe dane można znaleźć w pracy R. Gaggioliego [23], w której zamieszczono obliczenia kosztów przy porównaniu układu z dwoma pompami po 50% wydajności napędzanych silnikami elektrycznymi z układem jednej pompy 100% wydajności z napędem turbinowym.

Należy podkreślić, że w publikacjach dotyczących doboru napędu bardzo często przyjmuje się szereg założeń upraszczających, umożliwiających wyodrębnienie tego problemu z kompleksu zagadnień dotyczących całego układu zasilania. W pierwszym rzędzie uproszczenia takie dotyczą pominięcia wpływu położenia upustu, z którego zasilana jest turbina napędowa, oraz wpływu typu napędu na wielkość strat wylotowych. Przyjmując tego rodzaju założenia i uwzględniając jedynie podstawowe straty przesyłu energii należy się liczyć ze znacznymi błędami otrzymywanych wyników, co w wielu przypadkach może dawać zasadniczo błędny pogląd odnośnie optymalności rozpatrywanych wariantów.

Ponieważ problem wyboru pomiędzy napędem elektrycznym a turbinowym dla bloków dużej mocy jest w zasadzie rozstrzygnięty, omawiana tematyka sprowadza się aktualnie do poszukiwania najbardziej efektywnych typów turbin napędowych (np. turbiny upustowo-przeciwprężne) oraz optymalnej struktury układu określonej przez liczbę i miejsce pomp w schemacie cieplnym, położenie upustu zasilającego turbinę napędową, sposób odprowadzenia pary wylotowej itp. Dane dotyczące rozwiązywania tych problemów są bardzo fragmentaryczne i praktycznie brak jest opracowań odnośnie optymalizacji całego zestawu parametrów. Zagadnienie struktury układów zasilania w literaturze radzieckiej [24-28] najbardziej szczegółowo zostało omówione w artykule E. Kina [25], gdzie wyprowadzono podstawowe zależności pozwalające na określenie optymalnego umiejscowienia pomp zasilających w układzie regeneracji oraz ciśnienia w odgazowывaczu. Z publikacji zachodnich należy wymienić pozycje [27,28], w których rozpatrzono jednak jedynie termodynamiczne aspekty problemu.

W Polsce w latach 1960-1975 wykonano w Energoprojekcie oraz Energopomiarze szereg opracowań dotyczących układów zasilania [2,29,30,31]. Dotyczą one projektowanych dawniej bloków 120 i 200 MW oraz bloku 500 MW. Podstawowym ich celem była ocena wyników badań tych bloków oraz zestawienie wytycznych odnośnie rozwiązywania najczęściej występujących problemów, z którymi mogą się spotkać projektanci tego rodzaju urządzeń. Wytyczne te, opierające się na zebranych doświadczeniach eksploatacyjnych, nie mogą jednak zastąpić kompleksowej analizy, jaka może zostać wykonana tylko przy zastosowaniu metod optymalizacyjnych z wykorzystaniem emc.

Próbie takiej analizy podjął M. Pawlik w szeregu publikacjach [9-16], w których szczegółowo omówiono całokształt zagadnień, wypełniając lukę występującą w polskiej bibliografii odnośnie układów zasilania. Efektem tej działalności była praca habilitacyjna [9] opublikowana w 1980 roku. W pracy tej przeprowadzono kompleksową analizę wpływu różnorodnych czynników decydujących o optymalnych parametrach układu zasilania, przy wykorzystaniu jako kryterium oceny rocznych kosztów wytwarzania energii elektrycznej. Na przykładzie bloku 725 MW

dokonano optymalizacji parametrów dolotowych, wylotowych oraz prędkości obrotowej turbin napędowych różnych typów, struktury układu i umiejscowienia pomp zasilających w układzie regeneracji, układu napływowego i parametrów przewodów ssawnych. Poszczególne zagadnienia rozpatrywane są niezależnie od siebie, co umożliwiło autorowi wyprowadzenie stosunkowo prostych zależności pozwalających na ich bezpośrednie wykorzystywanie w praktyce projektowej.

3. ZAKRES DECYZYJNY OPTIMALIZACJI

Z dokonanego przeglądu literatury wynika, że przy projektowaniu układu zasilania należy rozwiązać szereg problemów, do których przede wszystkim należy zaliczyć ustalenie:

- 1) struktury i podstawowych parametrów napędu,
- 2) minimalnej objętości czynnika w zbiorniku wody zasilającej,
- 3) geometrii układu napływowego,
- 4) dopuszczalnych spadków ciśnień w przewodach ssawnych dla całego zakresu obciążeń bloku,
- 5) minimalnego przepływu czynnika przez pompę,
- 6) przepływu czynnika przez układ odciążenia siły osiowej i uszczelnienia pompy,
- 7) obrotów krytycznych agregatu.

Zagadnienia wymienione w punktach 5-7 dotyczą ściśle samej konstrukcji pomp zasilających i ich rozważenie nie leży w zakresie niniejszej pracy. Problemy 2-4 wiążą się z doborem właściwych warunków pracy na ssaniu pomp, co ma podstawowe znaczenie dla ich eksploatacji, ale mogą być one rozpatrywane w oderwaniu od całego bloku z uwzględnieniem jedynie informacji o pracy odgazowycza w całym zakresie zmiany obciążeń. Z tego powodu uznano za celowe rozpatrzenie tych zagadnień w dalszych pracach z tej dziedziny.

Za sprawę pierwszoplanową uznano zespół problemów objętych punktem 1. Celowe wydaje się wyodrębnienie wśród nich zagadnień doboru:

- 1) miejsca pompy w układzie regeneracji,
- 2) typu turbiny napędowej,
- 3) parametrów dolotowych pary zasilającej turbinę napędową,
- 4) sposobu odprowadzenia pary wylotowej.

Rozstrzygnięcie tych problemów może być dokonane w sposób skuteczny poprzez optymalizację wariantową, prowadzoną w odniesieniu do szeregu struktur zbudowanych na bazie wstępnie określonego projektu bloku lub w przypadku modernizacji w oparciu o istniejący schemat cieplny.

4. KRYTERIUM OCENY

Podstawą do sformułowania wskaźnika jakości wariantu są obowiązujące w elektroenergetyce zasady oceny efektywności ekonomicznej inwestycji i zamierzeń rozwojowych [1,4]. Przy jego budowie celowe wydaje się nadanie mu takiej formy, jaka uwzględniałaby zmiany kosztów tylko tej części bloku, która podlega wariantowym przekształceniom. W szczegółowych obliczeniach można wykorzystywać procedury opracowane w Instytucie Techniki Ciepłej PW w oparciu o dane z ZAMECH-u zamieszczone w pracy [32].

Wychodząc z tych przesłanek przyjęto następujący wskaźnik jakości wywodzący się z formuły względnej oceny efektywności:

$$F = \frac{I(r + s) + K_T}{N_e T} + K_p \quad [\text{zł/kWh}] \quad (1)$$

gdzie:

- I - wartość nakładów inwestycyjnych,
- r - stopa dyskontowa,
- s - średnia stawka amortyzacji,
- K_T - średnia roczna wartość kosztów remontów (bez paliwa, amortyzacji oraz oprocentowania kosztów stałych),
- N_e - efekt użytkowy wyrażony mocą netto bloku,
- T - roczny czas użytkowania mocy netto,
- K_p - jednostkowe koszty paliwa (na jednostkę energii elektrycznej netto).

Odnosnie kosztu K_T przyjmuje się, że nie zawiera on żadnych składników nie związanych ściśle z częścią cieplną bloku i równy jest kosztom remontów kapitalnych i bieżących

$$K_T = a I \quad (2)$$

gdzie a - współczynnik rocznych kosztów remontów.

Jednostkowy koszt paliwa można określić jako

$$K_p = K_w \frac{1}{\eta W_u} \quad (3)$$

gdzie:

K_w - koszt jednostki masy paliwa,

W_u - wartość opałowa paliwa,

η - sprawność turbozespołu wraz z kotłem.

Ostatecznie kryterium jakości można zapisać następująco:

$$F = \frac{I p}{Q \eta T} + \frac{K_w}{\eta W_u} \quad (4)$$

gdzie:

$$p = r + s + a,$$

Q - moc cieplna kotła.

Przy doborze optymalnych rozwiązań układów zasilania jako zmienne decyzyjne powyższej funkcji można przyjąć:

- wartość nakładów inwestycyjnych I ,
 - sprawność turbozespołu wraz z kotłem η ,
- i równanie (4) zapisać w postaci

$$F = \frac{1}{\eta} (C_1 + C_2 I) \quad (5)$$

gdzie C_1, C_2 - stałe

$$C_1 = \frac{K_w}{W_u}, \quad C_2 = \frac{p}{Q T}$$

Biorąc pod uwagę fakt, że dla różnych możliwych rozwiązań układów zasilania zmienna będzie tylko ta część kosztów bloku, która jest związana z elementami podlegającymi wariantowym przekształceniom, koszt nakładów inwestycyjnych dla wariantu podstawowego I^0 i porównywanego I można wyrazić następująco:

$$\left. \begin{aligned} I^0 &= K_S^0 + K_Z^0 \\ I &= K_S^0 + K_Z \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

gdzie:

K_S^0 - koszty stałe części cieplnej bloku w wariacie podstawowym z pominięciem elementów układu zasilania podlegającym wariantowaniu (równe dla wszystkich wariantów),

K_Z^0, K_Z - koszty elementów podlegających wariantowaniu w wariacie podstawowym i porównywanym,

i wówczas

$$I - I^0 = K_Z - K_Z^0 = dI \quad (7)$$

Zgodnie z powyższym, obliczając wartość funkcji F w wariacie porównywanym przy określonym wskaźniku efektywności w wariacie podstawowym F^0 , dla dostatecznie małych co do wartości różnic

$$d\eta = \eta - \eta^0$$

$$dI = K_Z - K_Z^0$$

można całkowitą różnicę funkcji dla wariantu porównywanego i podstawowego

$$\Delta F = F - F^0$$

zastąpić jej różniczką zupełną

$$\Delta F \cong dF = \frac{\partial F}{\partial I} dI + \frac{\partial F}{\partial \eta} d\eta \quad (8)$$

Otrzymuje się zatem

$$\Delta F = -\frac{1}{(\eta^0)^2} (C_1 + C_2 I^0) (\eta - \eta^0) + \frac{C_2}{\eta^0} (I - I^0) \quad (9)$$

co można także zapisać w postaci względnej

$$\overline{\Delta F} = -\overline{\Delta \eta} + \frac{C_2 I^0}{C_1 + C_2 I^0} \overline{\Delta I} \quad (10)$$

gdzie:

$$\overline{\Delta F} = \frac{F - F^0}{F^0}, \quad \overline{\Delta I} = \frac{I - I^0}{I^0}, \quad \overline{\Delta \eta} = \frac{\eta - \eta^0}{\eta^0} \quad (11)$$

5. KONCEPCJA ALGORYTMU OBLICZEŃ

W postaci ogólnej problem optymalizacji układu zasilania przyjęto wg [6] jako poszukiwanie n wymiarowego wektora zmiennych decyzyjnych \bar{x}^{opt} , który spełnia warunki nierównościowe oraz równania

$$\varphi_j(\bar{x}) \leq 0: j = 1, 2, \dots, m_n \quad (12)$$

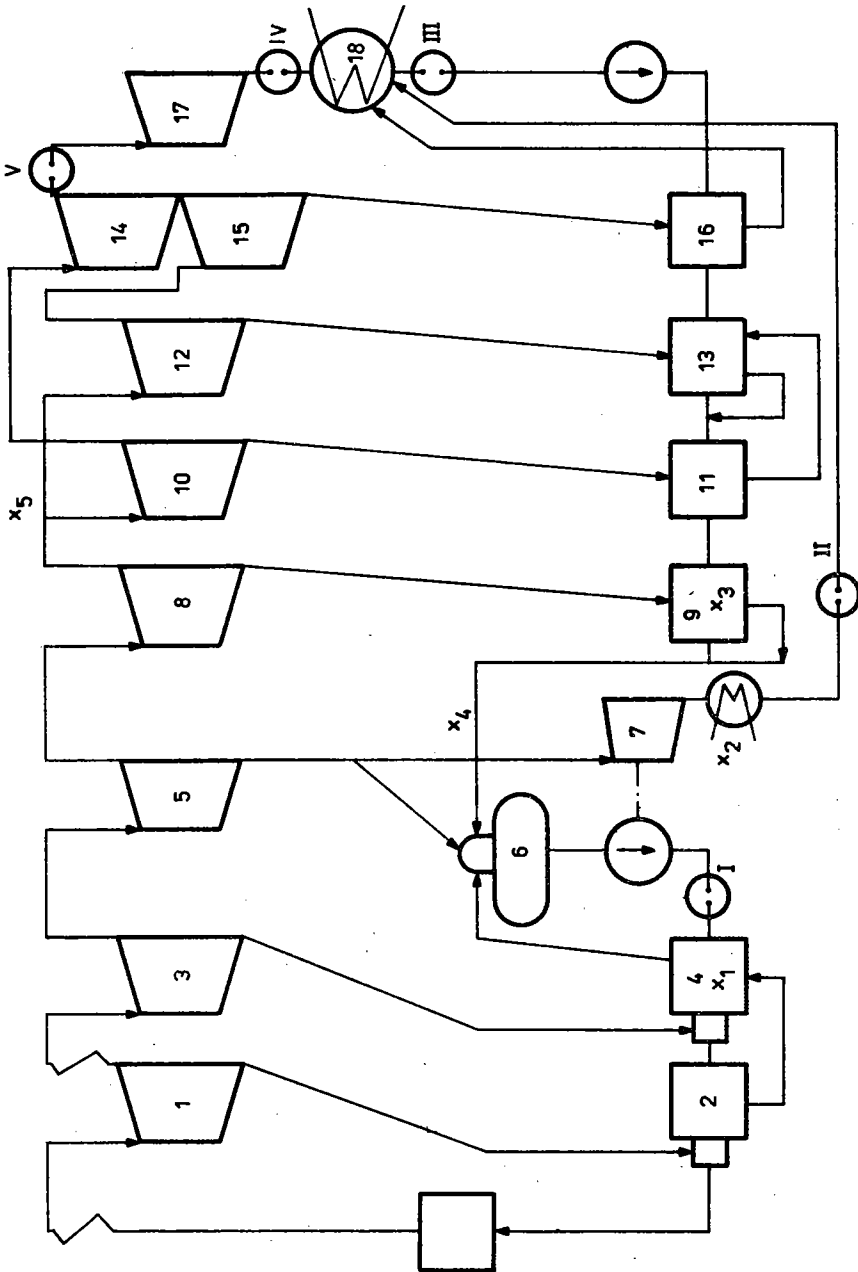
$$\psi_j(\bar{x}) = 0: j = 1, 2, \dots, m_r \quad (13)$$

i dla którego funkcja celu $F(\bar{x})$ przyjmuje wartość ekstremalną. W tak sformułowanym problemie nierówności (12) reprezentują ograniczenia podyktowane względami technicznymi, a równania (13) są równaniami stanu. Numeryczne rozwiązanie zadania polega na opracowaniu algorytmu obliczającego wartości funkcji $\varphi(\bar{x})$, $\psi(\bar{x})$ oraz $F(\bar{x})$, przy czym cały układ dzieli się na szereg mniejszych części, tzw. węzłów bilansowych połączonych ze sobą zgodnie z jego rzeczywistą strukturą. Szczegółowe uwagi dotyczące opisu sporządzania równań stanu podano w pracy [6].

Przy modelowaniu układów zasilania jako węzły bilansowe można przyjąć:

- grupę stopni turbiny,
- grupę stopni turbiny wraz z przyporządkowanym podgrzewaczem regeneracyjnym,
- odgazowywacz wraz z pompą zasilającą,
- skraplacz wraz z pompą kondensatu,
- turbinę pomocniczą.

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowo schemat bloku 360 MW z zaznaczonymi węzłami bilansowymi ponumerowanymi według kolejności wykonywania obliczeń.



Rys.1. Schemat połączeń międzywęzłowych (oznaczenia wg opisu w tekście)

Grupę zmiennych decyzyjnych w tym przypadku dla każdego wariantu mogą stanowić:

- x_1 - powierzchnia podgrzewacza wysokoprężnego za pompą zasilającą,
- x_2 - ciśnienie w skraplaczu turbiny pomocniczej,
- x_3 - powierzchnia podgrzewacza niskoprężnego przed odgazowaczem,
- x_4 - entalpia kondensatu przed odgazowaczem,
- x_5 - współczynnik rozprywu strumienia pary z części SP do części NP turbiny.

Dla tak przyjętego modelu układu algorytm minimalizacji funkcji można wykorzystać do bilansu masy i energii bloku. Wówczas oprócz zbioru ograniczeń (12) należy określić równania (13) dla przyjętych tzw. "punktów zszyc" (rys.1). Dla rozważanego przykładu w punktach tych należy zapewnić:

- równość temperatur w punkcie I,
- równość ciśnień w punkcie II,
- równość temperatur w punkcie III,
- równość ciśnień w punkcie IV,
- równość ciśnień w punkcie V.

W przedstawionym schemacie można wyróżnić dwa podstawowe typy węzłów:

- grupa stopni turbinowych,
- odbiornik pary.

Wielkości charakteryzujące ich powiązania pokazano na rys.2, na którym cyfry oznaczają kolejność wykonywania obliczeń.

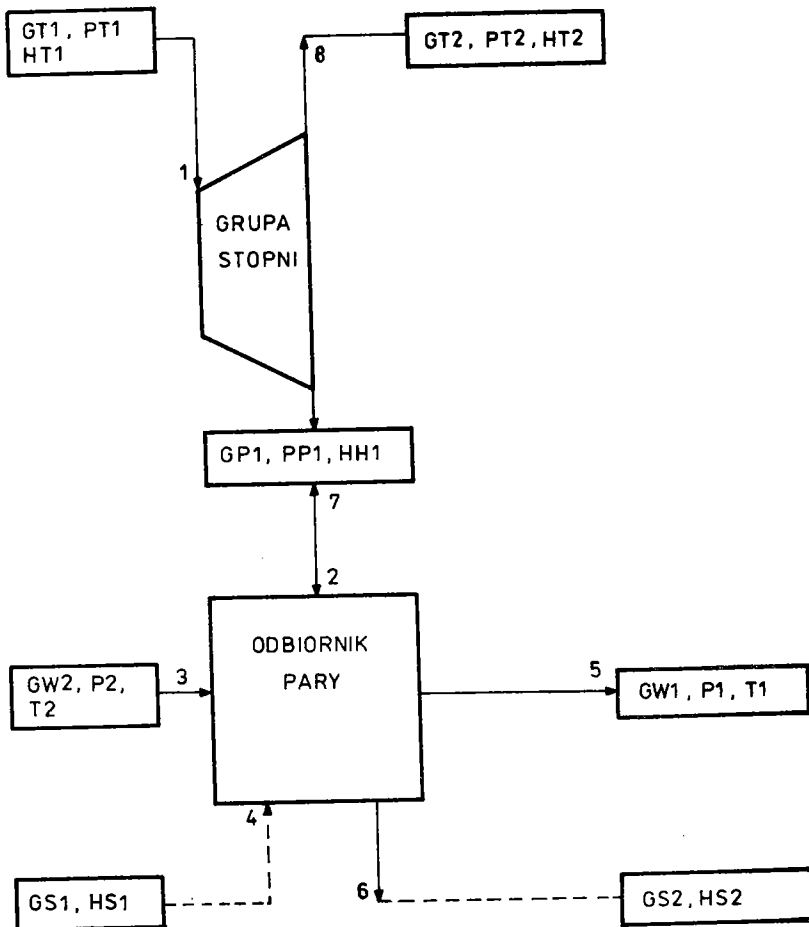
W procesie optymalizacji wyróżniono trzy podstawowe bloki:

- grupy stopni turbiny,
- uogólnionego odbiornika pary (podgrzewacz, odgazowacz, skraplacz),
- funkcji celu i ograniczeń.

Kolejność wykorzystywania poszczególnych bloków ilustruje rys.3.

W trakcie obliczeń turbiny głównej poszukiwane są następujące wielkości wykorzystywane w obliczeniach układu zasilania:

- parametry pary w każdym z upustów regeneracyjnych,
- natężenie przepływu oraz parametry pary płynącej do skraplacza,

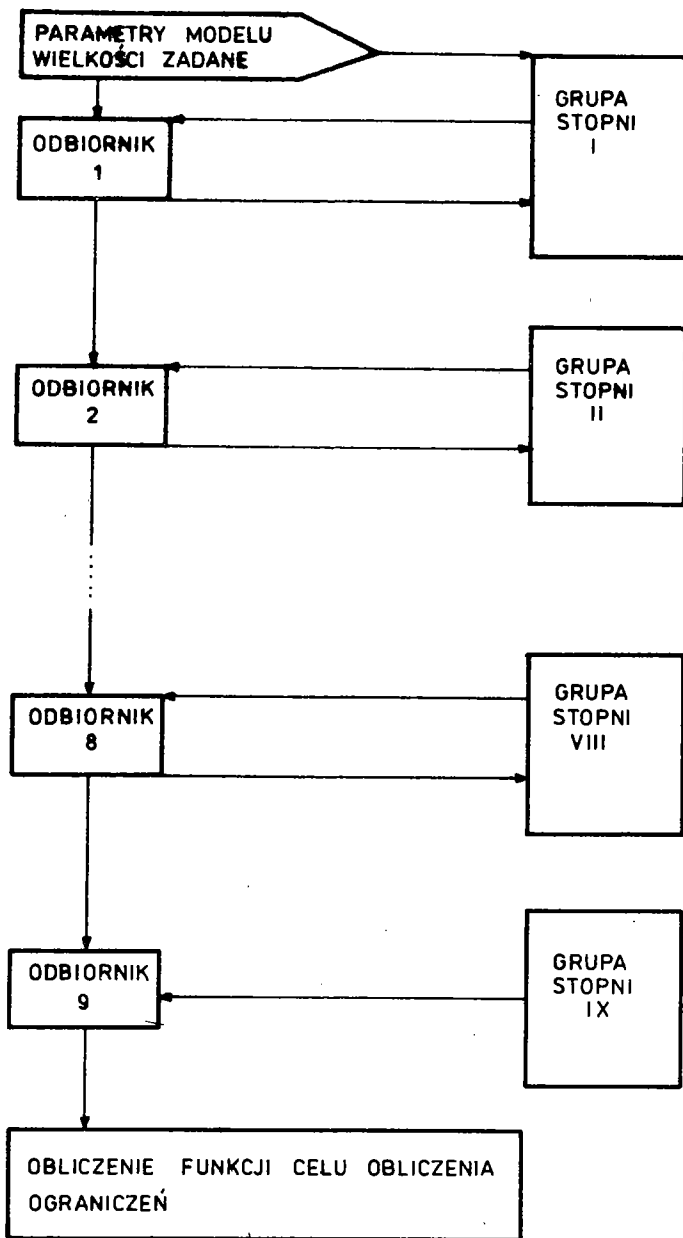


Rys.2. Węzeł bilansowy - grupa stopni turbiny wraz z przyporządkowanym odbiornikiem pary (oznaczenia wg opisu w tekście)

- moc brutto turbozespołu,
- natężenie przepływu pary wypływającej z uszczelnień końcowych kadłubów turbiny.

Obliczenia te prowadzone są w oparciu o parametry wynikające z konstrukcji i osiągnięć turbiny w znamionowych warunkach pracy przy zadanych:

- parametrach pary na wlocie do turbiny,
- natężeniu przepływu pary na wlocie do turbiny,
- temperaturze pary na wylocie z przegrzewacza międzystopniowego.



Rys.3. Proponowany schemat obliczeń układu zasilania

Koncepcję modelu matematycznego oparto na przykładzie turbiny 18K360 produkowanej w ZAMECH-u na licencji firmy BBC. Z uwagi na przeznaczenie modelu zostały poczynione następujące założenia:

- układ przepływowy turbiny dzieli się na grupy stopni, w których natężenie przepływu pary dla zadanych warunków pracy jest stałe,
- w części WP turbiny nie wyróżnia się stopnia regulacyjnego,
- w żadnym stopniu grupy w rozpatrywanych warunkach nie występują nadkrytyczne prędkości przepływu pary.

Wobec powyższego zależność ciśnienia pary przed i za grupą stopni od natężenia przepływu można opisać prawem Flugela

$$\frac{GT1}{GT1N} = \sqrt{\frac{T1N}{T1}} \sqrt{\frac{PT1^2 - PT2^2}{PT1N^2 - PT2N^2}} \quad (14)$$

gdzie:

$GT1, T1, PT1, PT2$ - natężenie przepływu i parametry termodynamiczne pary dla rozpatrywanej grupy stopni w warunkach obliczeniowych,

$GT1N, T1N, PT1N, PT2N$ - natężenie przepływu i parametry pary w warunkach odmiennych od obliczeniowych.

Przyjmując

$$\frac{T1N}{T1} \approx 1$$

równanie (14) można zapisać jako

$$\frac{GT1}{GT1N} = \sqrt{\frac{PT1^2 - PT2^2}{PT1N^2 - PT2N^2}} \quad (15)$$

Podstawowym zadaniem modelu matematycznego odbiornika pary jest umożliwienie dokonania bilansu masy i energii. W odniesieniu do podgrzewacza regeneracyjnego zadanie to można sformułować następująco:

Przy zadanych:

- parametrach pary grzejnej na wlocie (PP1, HP1),
- natężeniu przepływu czynnika ogrzewanego na wylocie (GW2),

- natężeniu przepływu i entalpii doprowadzanych skroplin (GS1, HS1),
- temperaturze czynnika ogrzewanego na wylocie (T2) należy wyznaczyć wielkości:
- natężenie przepływu czynnika ogrzewanego na wlocie (GW1),
- natężenie przepływu pary grzejnej na wlocie (GP),
- natężenie przepływu skroplin na wylocie (GS2).

6. UWAGI KOŃCOWE

Podstawowe przesłanki, sprawiające, że dobór optymalnego rozwiązania układu zasilania ma szczególne znaczenie i musi być dokonany we wstępnym etapie projektowania siłowni, to:

- ciągła praca bloku zależna jest bezpośrednio od funkcjonowania układu zasilania,
- zużycie energii na napęd pomp zasilających stanowi dominującą pozycję w bilansie potrzeb własnych siłowni,
- koszty układu zasilania wraz z urządzeniami pomocniczymi rzutują na znaczną część nakładów inwestycyjnych,
- typ pompy zasilającej jej umiejscowienie i rodzaj napędu wpływają na sprawność cieplną bloku,
- struktura układu zasilania ma bezpośredni wpływ na konstrukcję i pracę innych elementów bloku, jak: wymienniki regeneracyjne, skraplacz, przegrzewacz międzystopniowy, zasilanie potrzeb własnych.

Zadanie doboru może być rozwiązane przez optymalizację wariantową prowadzoną w odniesieniu do różnorodnych struktur schematu cieplnego przy zastosowaniu algorytmu, którego koncepcję budowy przedstawiono powyżej. Dla rozwiązania występującego każdorazowo zadania bilansowego proponuje się wykorzystanie metod optymalizacyjnych, a dla oceny poszczególnych wariantów - kryterium jakości wariantu opisane w punkcie 4.

Przy budowie konkretnego programu komputerowego, przeznaczonego do optymalizacji układów zasilania, za najbardziej celowe należy uznać zastosowanie opracowanego w Instytucie Badań Jądrowych programu MINCON. Posiada on postać uniwersalnego

modułu, który współpracuje z dostarczonym przez użytkownika podprogramem obliczającym wartości funkcji φ_j , ψ_j i F dla dowolnie wybranych wartości zmiennych \bar{x} .

BIBLIOGRAFIA

- [1] Branżowe wytyczne w sprawie metod oceny ekonomicznej efektywności inwestycji produkcyjnych w energetyce. Zbiór przepisów. PWE, Warszawa 1974.
- [2] Greła J., Rudziński E., Bonin J.: Zagadnienie poprawnego doboru układów zasilania wodą dużych bloków energetycznych. Opracowanie Energopomiaru, Gliwice 1968.
- [3] Iwanow W.A., Zaskawskij S.A.: K wyboru racionalnowo tipa turbopriwoda nasosa pri skolzjaszczim naczialnom dawlenii para. Izv. Wuzow Energietika 4/1972.
- [4] Jankowski Z.: Pompy zasilające bloków energetycznych. Technika Zagraniczna 7/1978.
- [5] Jankowski Z., Kurpisz Ł., Prokop A.: Modelowanie układów zasilania dla potrzeb doboru podstawowych parametrów pomp zasilających. Opracowanie ITC PW, Warszawa 1983.
- [6] Kurpisz Ł., Jankowski Z., Kulig M., Urbaniec K.: Optymalizacja układu regeneracji bloku dużej mocy. Biuletyn Informacyjny ITC PW 60/1982.
- [7] Ocena ekonomicznej efektywności inwestycji i innych za-
mierzeń rozwojowych. PWE, Warszawa 1974.
- [8] Orłow G.G., Nikitin W.J.: Ispolzowanie priedwkluczennoj
turbiny dla priwoda pitatelnowo nasosa. Izv. Wuzow Ener-
gietika 6/1973.
- [9] Pawlik M.: Optymalna struktura pomp zasilających dużych
bloków energetycznych. Rozprawy Naukowe Pol. Łódzkiej
28/1980.
- [10] Pawlik M.: Optymalizacja układów pomp zasilających w
elektrowniach blokowych. Zeszyty Naukowe Pol. Łódzkiej -
Elektryka 43/1973.
- [11] Pawlik M.: Wybór optymalnych parametrów początkowych po-
mocniczej turbiny napędowej. Archiwum Energetyki 3-4/1978.
- [12] Pawlik M.: Parowe napędy pompy zasilającej dla bloku
300 MW. Energetyka 9/1966.
- [13] Pawlik M.: Wpływ pompy zasilającej na moc i sprawność
bloku. Energetyka 6/1966.
- [14] Pawlik M.: Wybór napędu wstępnych pomp zasilających dla
bloków energetycznych dużej mocy. Zeszyty Naukowe Pol.
Łódzkiej 43/1973.
- [15] Pawlik M.: Analiza celowości zastosowania turbin upusto-
wo-kondensacyjnych do napędu pomp zasilających. Energety-
ka 6/1974.

- [16] Pawlik M.: Kombinowany parowo-elektryczny napęd pomp zasilających. Zeszyty Naukowe Pol. Łódzkiej 53/1976.
- [17] Rubinstein J.M., Szczepielnikow M.J.: Rasczet wlijanija izmienienii w tiepłowej scheme na ekonomicznost elektrostancji. Energija, Moskwa 1969.
- [18] Ryss A.G., Ozieran T.I.: Wybor napora i tipa priwoda busternych pitatielnych nasosow. Tiepłoeniergiatika 9/1966.
- [19] Ryzkin V.A., Wołkow E.P.: Issledowanije tipa priwoda pitatielnowo nasosa tiepłofikacjonnoj turboustanowki s promieżutocznym pieriegriewom para. El. Stancji 9/1963.
- [20] Ryzkin V.A.: Issledowanije tipa priwoda pitatielnowo nasosa kondensacjonnoj turboustanowki. Izv. Vuzov Energetika 12/1963.
- [21] Ryzkin W.A., Wołkow E.P.: Obszczeje issledowanije energetycznej efektiwnosti tipow priwoda pitatielnych nasosow moszcznych elektrostancji. Tiepłoeniergiatika 10/1963.
- [22] Ryzkin W.A., Kuzniecowa A.M.: O wlijaniju pitatielnowo nasosa na kpd turboustanowki. Tiepłoeniergiatika 2/1964.
- [23] Gaggioli R.A., Fehring T.H.: Economic analysis of boiler feed pump drive alternatives. Combustion 1/1978.
- [24] Aminow R.Z., Chrustalew W.A.: Wybor optimalnowo cziszka nasosow dla moszcznych paroturbinielnych błokow. Tiepłoeniergetika, wyp 2. Mińsk 1972.
- [25] Kin E.A.: Rasczet optimalnowo razmieszczienija pitatielnowo nasosa w scheme regeneratiwnowo podogriewa pitatielnoj wody. Izv. Wuzow Energetika 6/1960.
- [26] Munnis J.A.: One full size boiler feed pump or two small ones. Electrical World 20/1968.
- [27] Haywood R.W.: Split pump versus single pump. Combustion 10/1957.
- [28] Haywood R.W.: Thermodynamic study of the number and positioning of the feed pumps in the feed train of a regenerative steam cycle. Proc. of the Instn. of Mech. Eng. vol. 171/1957.
- [29] Wójcik M.: Zebranie danych dotyczących doboru pomp wody zasilającej dla dużych elektrowni parowych. Opracowanie Energopomiaru, Gliwice 1963.
- [30] Gądek Z., Rabka R.: Układ pomp wody zasilającej bloku 500 MW. Opracowanie Energoprojektu Katowice, 1970.
- [31] Dereziński J.: Ocena rozwiązań agregatów pomp wody zasilającej i jej wpływ na wybór konkretnych typów agregatów i na dobór układu dla bloku 500 MW. Opracowanie Energoprojektu Warszawa, 1973.
- [32] Prawdzik E., Smyk A., Portacha J.: Optymalizacja wybranych parametrów obiegu cieplnego siłowni klasycznej z dużymi turbinami kondensacyjnymi. Opracowanie ITC PW, tom 2 "Moduły składowe", Warszawa 1982.

КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМ ПИТАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БЛОКОВ

А н н о т а ц и я

В работе приводятся принципы оптимизации основных параметров схем питания. Оговариваются главные проблемы проектирования и эксплуатации этих схем для энергетических установок большой мощности. Дается обзор литературы на эту тему. Определяются пределы целесообразности решений, касающихся оптимизации, а также критерии оценки. Описывается концепция алгоритма вычислений, дающего возможность осуществления вариантной оптимизации различных схем.

A CONCEPTION OF OPTIMIZATION OF A LARGE STEAM TURBINE
UNIT FEED TRAIN

S u m m a r y

The paper presents a conception of optimization of a feed train basic data. The main problems of the projecting and maintenance are described. The scope of optimal decisions and the form of the objective function are proposed. Consequently the lagorithm of the variant optimization calculations is developed.