

Ryszard PRZYBYLSKI

Politechnika Łódzka

Lech KOMOROWSKI

Biuro Studiów i Projektów

Energetycznych "Energoprojekt"

OPTIMALIZACJA UKŁADÓW CIEPLNYCH W GOSPODARCE SKOJARZONEJ

Streszczenie. Dotychczasowe metody projektowania układów ciepłych w gospodarce skojarzonej nie zapewniają doboru optymalnych układów. Stosowane metody optymalizacji częściowej odznaczają się niejednocześnieścią określania poszukiwanych parametrów i struktury układu. W pracy przedstawiono metodę kompleksowej optymalizacji dającej możliwość wyznaczania optymalnych rozwiązań zadań projektowych obejmujących układy ciepłe elektrociepłowni.

Oznaczenia

- m - liczba elementów użytkowego zbioru ograniczeń funkcyjnych
 t - kolejny rok okresu obliczeniowego ($t = 0, 1, \dots, m_v$ lub $t = 0, 1, \dots, m_w$)
 u_m - numer kolejny punktu obliczeniowego w rozwiązaniu możliwym ($u_m = 1, 2, \dots, z_m$)
 v - numer kolejny etapu budowy elektrociepłowni ($v = 1, 2, \dots, d$)
 w, w_m - numer kolejny rozwiązania dopuszczalnego ($w = 1, 2, \dots, x$) i możliwego ($w_m = 1, 2, \dots, y$)
 x - liczba rozwiązań dopuszczalnych
 A - użytkowy zbiór zmiennych wejściowych ($A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_f\}$)
 A_k, A_{ko} - użytkowy i ogólny zbiór zmiennych wejściowych kontrolowanych
 A_{kt}, A_{kto} - użytkowy i ogólny zbiór zmiennych wejściowych kontrolowanych technicznych
 A_n, A_{no} - użytkowy i ogólny zbiór zmiennych wejściowych niekontrolowanych
 B, B_o - użytkowy ($B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p\}$) i ogólny ($B_o = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p\}$) zbiór zmiennych decyzyjnych
 Γ, Γ_o - użytkowy ($\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m\}$) i ogólny ($\Gamma_o = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{m_0}\}$) zbiór ograniczeń funkcyjnych

- Θ - zbiór problemów (wydzielonych z zadania projektowego) do rozwiązania w procesie optymalizacyjnym ($\Theta = \{v_1, v_2, \dots, v_D\}$)
 K - zbiór rozwiązań możliwych zadania projektowego ($K = \{x_1, x_2, \dots, x_y\}$)
 Λ - zbiór rozwiązań dopuszczalnych zadania projektowego ($\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_x\}$)
 Ξ - przestrzeń decyzji możliwych
 Φ, Φ_0 - użytkowy ($\Phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_g\}$) i ogólny ($\Phi_0 = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_g\}$) zbiór dolnych ograniczeń obszarowych
 Ψ, Ψ_0 - użytkowy ($\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_g\}$) i ogólny ($\Psi_0 = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_g\}$) zbiór górnych ograniczeń obszarowych
 Ω_0 - ogólny zbiór ograniczeń zmiennych decyzyjnych ($\Omega_0 = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_z\}$)

1. WSTĘP

Wytwarzanie energii w gospodarce skojarzonej ciepłno-elektrycznej z natury odznacza się dużą ekonomicznością, jednak ten samodziśny, korzystny efekt jest zmniejszany przez niedostatki występujące w procesie kształtowania układów ciepłych elektrociepłowni. Wynika to stąd, że projektanci tych układów ciągle jeszcze stosują w swych działaniach takie zasady, jak np. przyjmowanie kryterium najwyższej sprawności lub najnowszej techniki, pomijając kryteria ekonomiczne. Od lat takie postępowanie było krytykowane w pracach Kopeckiego, Mareckiego [10] i innych autorów; wskazywano drogi postępowania, lecz w praktyce projektowej nie nastąpiły znaczące zmiany. Tradycyjne podejście do tego zagadnienia można było tolerować dawniej, gdy wytwarzane moce były małe, a paliwo łatwo dostępne i tanie. Przy obecnej sytuacji paliwowej i energetycznej, a także ekonomicznej w Polsce oraz w innych krajach, dotychczasowe metody projektowania układów ciepłych muszą ulec zmianie. Jest to pilne zadanie, jeśli uwzględni się planowany rozwój energetyki krajowej do 2000 roku; w następnym dziesięcioleciu planuje się zainstalowanie 27 bloków BC 50, 20 bloków BC 100 oraz budowę wielu małych elektrociepłowni przemysłowych. Przewiduje się także pobieranie ciepła z układów z blokami kondensacyjnymi dużej mocy z elektrowni klasycznych i jądrowych.

2. STAN BADAŃ OPTYMALIZACYJNYCH UKŁADÓW CIEPŁNYCH

Badania naukowe dotyczące układów ciepłych elektrociepłowni można ująć w dwie podstawowe grupy:

- 1) badania, których przedmiotem są jedynie parametry układu;

2) badania, których przedmiotem są zarówno parametry, jak i struktura układu powiązane z nakładami kapitałowymi na budowę elektrociepłowni i jej kosztami bieżącymi.

Dotychczasowe badania koncentrują się głównie na zagadnieniach objętych pierwszą grupą i w zasadzie dotyczą parametrów pracy już istniejących układów. Badania objęte drugą grupą są związane przede wszystkim z projektowaniem układów, a ich wyniki są wykorzystywane głównie w fazie procesu inwestycyjnego. Badania objęte pierwszą jak i drugą grupą są trudne z powodu złożoności układu cieplnego i jego powiązań z innymi układami elektrociepłowni oraz z systemami energetycznymi: ciepłowniczym i elektroenergetycznym. Badania objęte drugą grupą należą do bardziej odpowiedzialnych, wymagających szczególnie głębokich analiz i rozważań; z tego zapewne powodu problematyka ujęta w tej grupie znajduje odbicie tylko w nielicznych pracach, a jeśli chodzi o pogłębione prace naukowo-badawcze, a więc ujmujące zagadnienie kompleksowo - okazuje się, że prac takich brak.

W dotychczasowej praktyce krajowej i zagranicznej, właśnie ze względu na złożoność zagadnienia, badania układów cieplnych prowadzi się w oparciu o optymalizację częściową [1, 2]. Jej główną cechą i zarazem wadą jest niejednoczesność określania poszukiwanych parametrów i struktury badanego układu. Badania ograniczają się jedynie do wybranego fragmentu układu cieplnego, przy jednoczesnym traktowaniu wartości wielu parametrów oraz dużych fragmentów struktury jako stałych. Ze względu na wzajemne powiązania zmiany wprowadzone w jednym punkcie układu oddziałują na pozostałe punkty tego układu, a więc także na parametry i strukturę przyjęte jako stałe. Zatem znalezione wartości parametrów i ustalona struktura układu, podobnie jak i przyjęte stałe wartości parametrów i stała struktura, nie są optymalne; tak więc i rozwiązanie zadania projektowego nie będzie optymalne. W wyniku stosowania optymalizacji częściowej uzyskuje się jedynie rozwiązanie quasi-optymalne - mniej lub bardziej zbliżone do rozwiązania optymalnego. Skutki są znane z praktyki; po krótkim okresie eksploatacji nowej elektrociepłowni pojawia się wiele pomysłów racjonalizatorskich mających na celu udoskonalenie układu.

Jednak optymalizacja częściowa znajduje od dawna szerokie zastosowanie w procesie ustalania układów cieplnych elektrowni i elektrociepłowni, a także w ostatnich latach jest ona narzędziem wykorzystywanym w badaniach tych układów. Stosowanie optymalizacji częściowej jest skutkiem braku odpowiednich metod kompleksowej optymalizacji układu, czyli metod pozwalających na jednoczesne ustalanie wszystkich poszukiwanych parametrów wraz z poszukiwaną strukturą układu.

Ustalenie metody kompleksowej optymalizacji układu cieplnego jest zagadnieniem bardzo trudnym, dotychczas nie rozwiązany i uważany za niemożliwe do rozwiązania, przy czym opinie dotyczą układów elektrowni kon-

densacyjnych, a wiadomo, że układy ciepłne elektrociepłowni są bardziej złożone. Także monografia [8], choć zbliżona tematycznie, nie rozwiązuje problemu kompleksowej optymalizacji układów ciepłych elektrociepłowni, gdyż dotyczy ona głównie elektrowni jądrowych w mniejszym zakresie klasycznych, a w odniesieniu do elektrociepłowni wykazuje wiele ograniczeń, uproszczeń i niedostatków, uniemożliwiających praktyczne wykorzystanie pracy.

Podsumowując, można stwierdzić, że w każdej dziedzinie nauki i techniki istnieją problemy do pewnego czasu nie rozwiązane - nie oznacza to jednak, że są one nierozwiązywalne. Sytuację w odniesieniu do układów ciepłych elektrociepłowni trafnie ujęto w [9] stwierdzając, że nienowoczesność rozwiązań wynika z braku odpowiedniego zaplecza badawczego i projektowego; poza nielicznymi pracami studialnymi nie prowadzono dotychczas prac badawczych obejmujących całość problemów zaopatrzenia w energię ciepłą, a także wyboru optymalnych systemów dla różnych warunków lokalnych.

3. NOWA METODA BADAWCZA

Założono, że poszukiwana metoda będzie dostosowana do nowoczesnych rozwiązań, a więc będzie służyć do wyznaczania optymalnego układu ciepłego elektrociepłowni (UCE) wyposażonej w bloki ciepłownicze (BC). Założono także, że jako podstawę rozważań przyjmie się najbardziej rozwiniętą strukturę układu ciepłego, tak aby po odpowiednim uproszczeniu przez usunięcie zbędnych członów odpowiadała ona mniej złożonym układom ciepłym w elektrowniach lub siłowniach przemysłowych i to zarówno w systemie blokowym, jak i kolektorowym.

Formułując tę metodę [5, 6] przyjęto, że rozważania dotyczą pracy UCE w warunkach ustalonych (normalnych), obejmujących cały przewidywany zakres obciążeń.

Utworzona metoda badawcza składa się z dwóch części. Pierwsza obejmuje budowę ogólnego modelu matematycznego blokowego UCE, zwanego dalej ogólnym modelem matematycznym lub modelem ogólnym. Natomiast w drugiej części ustalono proces poszukiwania i tworzenia rozwiązań różnych zadań projektowych (ZP) obejmujących blokowy UCE.

3.1. Ogólny model matematyczny

Ogólny model matematyczny UCE zbudowano wykorzystując właściwości blokowe układu ciepłego. Podstawowe człony tego modelu tworzą:

- funkcja celu,
- ogólny zbiór zmiennych wejściowych A_0 ,
- ogólny zbiór zmiennych decyzyjnych B_0 ,
- ogólny zbiór ograniczeń zmiennych decyzyjnych Ω_0 .

Wobec ograniczonej liczby rozwiązań blokowego UCE ogólne zbiory wymienionych wielkości będą zbiorami skończonymi. Można zatem ustalić i zdefiniować poszczególne elementy tych zbiorów w odniesieniu do skończonej liczby rozwiązań blokowego UCE. Podstawowe człony modelu ogólnego ustalono na podstawie ogólnego zbioru informacji, zawierającego dane techniczne i ekonomiczne o układach cieplnych elektrociepłowni i elektrowni.

3.1.1. F u n k c j a c e l u

Wybór lub wręcz zbudowanie odpowiedniej postaci funkcji celu, zwanej inaczej funkcją-kryterium lub funkcją kryterialną, jest jednym z początkowych i zarazem podstawowych etapów pracy w budowie modelu optymalizacyjnego; jest to celowe i ważne w każdym modelu optymalizacyjnym dotyczącym techniki, a szczególnie w modelu dotyczącym energetyki. Nie wprowadzając szerszych i szczegółowych rozważań wystarczy zwrócić uwagę na fakt, że energetyka znajduje się w grupie najbardziej kapitałochłonnej gałęzi gospodarki pod względem zapotrzebowania na środki trwałe uwięzione na stosunkowo długie okresy, a zatem wyznaczanie optymalnych rozwiązań systemów lub układów może być prowadzone jedynie w oparciu o kryteria ekonomiczne.

Postać funkcji celu musi spełniać pewne wymagania. Jak wiadomo, ponoszenie nakładów oraz uzyskiwanie efektów odbywa się w pewnym czasie, który należy uwzględnić przy wyznaczaniu postaci funkcji celu i postaci jej poszczególnych elementów. Jednocześnie wartości poszczególnych elementów rachunku ekonomicznego muszą zależeć od zmiennych wejściowych i zmiennych decyzyjnych, które razem z ograniczeniami są określone w modelu optymalizacyjnym. Jest to podstawowe wymaganie, jakie muszą spełniać postacie matematyczne wzorów służących do obliczania tych elementów.

Aczkolwiek funkcję celu tworzą trzy podstawowe elementy: nakłady kapitałowe, koszty bieżące, wielkość produkcji w ujęciu wartościowym, to jej postać matematyczna może być różna. Podobnie wartości elementów podstawowych mogą być w różny sposób uwzględniane w obliczeniach funkcji celu.

W Polsce stosuje się obecnie dwie podstawowe postacie funkcji celu, określone jako:

- metoda minimalnych kosztów rocznych,
- metoda wskaźników efektywności inwestycji.

Metoda kosztów rocznych (opracowana przez były Komitet Elektryfikacji Polski PAN w 1960 r.), aczkolwiek stosowana jako funkcja celu w wielu publikacjach i pracach naukowo-badawczych, nie znalazła jednak zastosowania jako oficjalne, urzędowo zatwierdzone i obowiązujące w całej gospodarce kryterium ekonomiczne.

Obecnie stosowana metoda wskaźników efektywności [14] jest wynikiem ewolucji wielu metod badania ekonomicznej efektywności inwestycji, stosowanych dotychczas w Polsce. Ma ona zatem swą genezę w doświadczeniach z poprzednich metod i kryteriów oceny, a jednocześnie jest wynikiem bogatej dyskusji prowadzonej także na łamach wydawnictw naukowych i fachowych.

Począwszy od roku 1976, kiedy to J. Szargut [12] krytycznie ocenił obowiązującą metodę wskaźników efektywności inwestycji, aż do serii publikacji na łamach "Inwestycji i Budownictwa" w 1984 i 1985 r., podobnie oceniających znaną uchwałę Rady Ministrów i zarządzenie Przewodniczącego Komisji Planowania z 1974 roku, mimo wykazanych niedoatków tych aktów prawnych nie wprowadzono żadnych zmian w tych obowiązujących do dziś dokumentach. Zatem przy podejmowaniu konkretnych decyzji gospodarczych, w tym dotyczących także energetyki, obowiązuje postać funkcji celu wynikająca jednak z metody wskaźników efektywności. Z tego też względu metoda ta jest wykorzystywana wprost do budowy kryterium optymalizacji, np. [11] lub w postaci zmodyfikowanej, obejmującej wartości parametrów ekonomicznych i postaci niektórych wzorów.

Wielu wybitnych znawców przedmiotu porównuje obie wymienione metody, dążąc do wykazania pewnej zbieżności tych metod. I tak, np. Marecki [10], zauważył, że jeśli postać funkcji celu będzie stanowić stosunek kosztów rocznych do wielkości produkcji wyrażonej w jednostkach naturalnych, to postać jej będzie identyczna z postacią (10) w [14]; w obu przypadkach otrzymuje się średni jednostkowy koszt produkcji w ciągu odpowiednich okresów obliczeniowych.

Z kolei Szargut [12], [13] zaleca stosowanie różnicowej formuły wskaźnika efektywności określonej wzorem (3) w [14], przy jednoczesnym ograniczeniu stosowania postaci ilorazowej (1) i (2) w [14] jako wielkości pomocniczej do oceny opłacalności pojedynczego rozwiązania.

Ponieważ niniejsza praca dotyczy szerszego zagadnienia i była wykonywana z myślą o szybkim wykorzystaniu w procesie projektowania, z konieczności utworzono tutaj postać funkcji celu [3] na podstawie obowiązującej metody wskaźników efektywności inwestycji. Jednocześnie jednak należy podkreślić, że takie wielkości jak okres obliczeniowy czy stopa dyskontowa potraktowano w pracy jako zmienne wejściowe niekontrolowane, a więc mogą one przyjmować dowolne wartości - zawsze dane przed rozwiązaniem zadania projektowego. Także uzyskane rozwiązanie jest analizowane łącznie z przyjętymi wartościami tych zmiennych.

3.1.2. O g ó l n e z b i o r y z m i e n n y c h w e j ś c i o w y c h, d e c y z y j n y c h i o g r a n i c z e ń

Drugim, po funkcji celu, utworzonym członem modelu matematycznego jest ogólny zbiór zmiennych wejściowych A_0 [7]. Określenie "zmienne wejściowe" przyjęto dla wielkości, których wartości są znane przed rozwiązaniem zadania projektowego. W zbiorze zmiennych wejściowych wyodrębniła się wielkość, których wartość jest stała w trakcie ustalania rozwiązań zadania projektowego i zmienne te nazwano zmiennymi wejściowymi niekontrolowanymi. Na wartości tych zmiennych nie ma żadnego wpływu poszukujący rozwiązań. Są to np.: charakterystyka zapotrzebowania mocy i energii cieplnej oraz mocy i energii elektrycznej, charakterystyka paliwa, lokalizacja elektrociepłowni, okres obliczeniowy, stopa dyskontowa, ceny zakupu paliwa, ceny zbytu energii.

Pozostałe wielkości objęte zbiorem A_0 stanowią zmienne wejściowe kontrolowane. Ich wartości są ustalane przed każdym wariantem rozwiązania; prowadzący badania może więc w pewnym stopniu wpływać na ich ustalenie. Do wielkości tych zaliczono między innymi: stałą strukturę UCE, liczbę zatrudnionych, założenia i ceny kosztorysowe, rozłożenie nakładów.

W celu ujednoczenia matematycznego, a także ułatwienia przy ustalaniu użytecznych zbiorów zmiennych wejściowych dokonano dalszego podziału ogólnego zbioru tych zmiennych na zmienne statyczne obejmujące wielkości stałe w całych rozpatrywanych okresach obliczeniowych; oraz zmienne dynamiczne określające wielkości zmienne w tych okresach.

Kolejny człon ogólnego modelu matematycznego blokowego UCE stanowią zmienne decyzyjne. Obejmują one poszukiwane wielkości projektowe wynikające z różnych zadań projektowych. Są to wielkości z zakresu:

- struktury UCE, do których można zaliczyć: typ, moc, sprawność; parametry technologiczne i konstrukcyjne oraz liczbę maszyn, urządzeń, bloków ciepłowniczych oraz połączenia rurociągowie między nimi;
- parametrów układu cieplnego (stanu i strumieni masy czynników oraz mocy w różnych punktach tego układu).

Ze wszystkich wielkości stanowiących zmienne decyzyjne utworzono ogólny zbiór B_0 , przy czym odrębnie rozpatrzono zmienną decyzyjną określającą liczbę bloków ciepłowniczych w elektrociepłowni oraz każdy układ składowy bloku (USB). Dla każdego USB ustalono też ogólną strukturę zawierającą ograniczenia struktury tych układów.

Ważnym członem modelu ogólnego są ograniczenia zmiennych decyzyjnych, ponieważ z jednej strony zapobiegają one nadmiernej liczbie możliwych rozwiązań, z drugiej zaś - dla już przyjętych możliwych rozwiązań wyznaczają obezar dopuszczalnych wartości zmiennych decyzyjnych. Wartości poszczególnych ograniczeń wynikają najczęściej z potrzeby zapewnienia: możliwości realizacji fizycznej UCE, niezawodności jego pracy, wzajemnej zgodności USB i UCB, zgodności UCE z pozostałymi układami elektrociepłowni, możliwości produkcji lub importu maszyn i urządzeń, uniknięcia stosunkowo wysokich nakładów kapitałowych i kosztów bieżących, spełnienia warunków wynikających z wartości zmiennych wejściowych.

Ze wszystkich ograniczeń poszukiwanych wielkości projektowych utworzono ogólny zbiór ograniczeń zmiennych decyzyjnych Ω_0 , w którym wyodrębniono ograniczenia obszarowe (nierównościowe) oraz ograniczenia funkcyjne (równościowe). Wartości ograniczeń obezarowych są liczbami określającymi granice poszczególnych parametrów UCE, a także granice innych wielkości, których wartość można wyrazić liczbowo. Ograniczenia przedstawiające zależności funkcyjne między zmiennymi wejściowymi a zmiennymi decyzyjnymi tworzą ogólny zbiór ograniczeń funkcyjnych Γ_0 .

Do określenia ograniczeń funkcyjnych konieczne było zbudowanie ogólnej struktury układu cieplnego bloku (UCB); Składa się on z ogólnych struktur układów składowych bloku (USB). Następnie wyodrębniono zamierzo-

ne fragmenty układu cieplnego (tzw. węzły bilansowe) oraz oznaczono poszczególne przepływy czynników. Przygotowana w ten sposób ogólna struktura UCB stanowiła podstawę do określenia ogólnego zbioru Γ_0 . Poszczególne jego elementy utworzono w formie równań, spośród których wyodrębniono bilanse strumieni masy i strumieni energii oraz właściwości maszyn, urządzeń i instalacji.

3.2. Proces poszukiwania i tworzenia rozwiązań

Proces poszukiwania i tworzenia rozwiązań stanowi drugą część metody badawczej i dotyczy tylko takich zadań projektowych, które zawierają problemy o charakterze naukowo-badawczym. Z tych też względów używany w pracy termin "projektowanie" jest rozumiany jako proces twórczy.

Oczywiście proces poszukiwania i tworzenia rozwiązań może dotyczyć jedynie konkretnego zadania projektowego. Tym niemniej można zbudować pewien ogólny algorytm poszukiwania i tworzenia rozwiązań dla różnych zadań ZP i dla różnych zbiorów A_n , przy jednoczesnym wykorzystaniu ogólnego modelu matematycznego układu UCE.

Używane wcześniej w pracy pojęcie "ogólne zbiory" (zmiennych wejściowych, zmiennych decyzyjnych, ograniczeń) dotyczą podstawowych członów ogólnego modelu matematycznego blokowego układu UCE, zwanego także modelem ogólnym. Natomiast pojęcie "użytkowe zbiory" obejmuje analogiczne wielkości wynikające z konkretnego zadania ZP.

3.2.1. A n a l i z a z a d a n i a p r o j e k t o w e g o

Analiza zadania ZP obejmuje szereg czynności wstępnych, zawsze poprzedzających właściwy proces poszukiwania jego rozwiązania optymalnego. Sformułowanie zadania ZP jest pierwszą czynnością; oczywiście musi być ono tak sformułowane, aby do znalezienia jego rozwiązania można było zastosować stworzoną metodę badawczą. W pewnych jednak przypadkach odmiennie sformułowane zadanie projektowe można poprzez odpowiednią jego modyfikację sprowadzić do wymagań metody. Modyfikacja może polegać np. na uściśleniu zakresu, jednoznacznym i wyraźnym wydzieleniu układów cieplnych bloku.

Stosownie do treści i zakresu zadania ZP podany jest jednocześnie *ex ante* zbiór A_n . Charakterystyki poszczególnych elementów zbioru A_n powinny być ustalone w zakresie podanych dla analogicznych elementów zbioru A_{n0} . Ponadto w ramach analizy zbioru A_n należy dokonać krytycznej oceny wartości bezwzględnych elementów tego zbioru oraz sprawdzić ich wzajemną zgodność i jednoznaczność. Zatem analiza elementów zbioru A_n powinna pozwolić z jednej strony na pełne określenie ich charakterystyki, z drugiej strony - na wyeliminowanie oczywistych niedokładności w ocenie ich wartości.

Mając prawidłowo określone zadanie ZP i pełną charakterystykę elementów zbioru A_n , można przystąpić do wydzielenia i formułowania problemów, które należy rozwiązać w procesie optymalizacyjnym, aby uzyskać właściwe rozwiązanie całego zadania ZP. W trakcie formułowania tych problemów wykorzystuje się ogólny model matematyczny układu UCE, a szczególnie funkcje celu, zbiory B_0 i Ω_0 . Sformułowane problemy tworzą zbiór Θ , w których liczba elementów będzie zależała głównie od zakresu i stopnia złożenia rozpatrywanego zadania ZP. Z tego względu można jedynie przewidywać, że sformułowane problemy mogą dotyczyć całego układu UCE lub tylko jego części, a więc np. jednego lub kilku układów UCB. Wreszcie mogą dotyczyć tylko struktury lub tylko parametrów czynnika, względnie jednocześnie struktury i parametrów w jednym, w kilku lub w wielu punktach układu UCE.

3.2.2. Rozwiązania możliwe

Po sprawdzeniu, że model zapewni rozwiązanie problemów objętych zbiorem Θ , można rozpocząć właściwy proces poszukiwania i tworzenia rozwiązań tych problemów, a zatem i zadania ZP. Pierwszą czynnością w tym procesie jest tworzenie koncepcji rozwiązań. Aczkolwiek do tworzenia tych koncepcji wykorzystuje się ogólny model matematyczny, to jednak są one wynikiem pierwszej czynności twórczej w tym procesie. Stosownie do sformułowanych problemów i przy uwzględnieniu wartości elementów zbioru A_n można utworzyć na podstawie modelu ogólnego różne koncepcje, przy czym do dalszych rozważań przyjmuje się te, które jednocześnie rozwiązują zadanie ZP i których realizacja fizyczna jest możliwa. Konieczność spełnienia przez koncepcje tych dwóch warunków zmniejsza zakres rozważań teoretycznych, a także liczbę rozwiązań przewidywanych do szczegółowego rozpatrzenia.

Stosownie do utworzonych koncepcji rozwiązań ustala się użytkowy zbiór zmiennych decyzyjnych B oraz charakterystykę elementów użytkowych zbiorów ograniczeń Φ i Ψ . Do określenia zbioru B jako charakterystyki elementów zbiorów Φ i Ψ wykorzystuje się ogólne zbiory odpowiednio B_0 , Φ_0 i Ψ_0 . Wartości ograniczeń obzarowych dolnych i górnych, ujętych w zbiorach odpowiednio Φ i Ψ , wyznaczają przestrzeń decyzji możliwych Ξ , która w szczególności jest p-wymiarową przestrzenią euklidesową. Zatem poszczególne zmienne decyzyjne $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ są współrzędnymi przestrzeni Ξ i mogą przyjmować wartości jedynie z określonych przedziałów należących do tej przestrzeni.

Ogólny model matematyczny umożliwia poszukiwanie rozwiązań optymalnych układu UCE przy zastosowaniu metod optymalizacji statycznej. Natomiast przedmiotem optymalizacji prowadzonej w oparciu o ten model będzie poszukiwanie ekstremu globalnego z ograniczeniami [3].

Aczkolwiek istnieje bardzo wiele matematycznych metod optymalizacji statycznej, to jednak właściwości modelu układu UCE ograniczają wybór do metod bezpośrednich (bezgradientowych), wymagających jedynie obliczenia

wartości samej funkcji celu. Metody bezpośrednio obejmują szereg różnych metod optymalizacyjnych, występujących najczęściej w literaturze pod nazwami: metody systematyczne, metody losowe, poszukiwanie obszaru wzdłuż współrzędnych, metody kombinowane. Dalsza analiza przydatności a zarazem możliwości zastosowania poszczególnych metod wykazuje, że najbardziej odpowiednie będą metody systematyczne, a wśród nich metoda systematycznego przeszukiwania zbiorów dopuszczalnych wartości zmiennych decyzyjnych (MSP). Metoda optymalizacyjna MSP posiada szereg zalet ogólnych, do których można niewątpliwie zaliczyć prostotę i brak wymagań odnośnie do matematycznej postaci funkcji celu i ograniczeń funkcyjnych. Funkcje te nie muszą być różniczkowalne ani nawet ciągłe, zaś przestrzeń decyzji dopuszczalnych może być wielospójna. Przyjmując tę metodę w procesie poszukiwania i tworzenia rozwiązań optymalnych różnych zadań ZP należy jednocześnie uwzględnić specyfikę układu UCE oraz właściwości jego modelu matematycznego.

Postępowanie w myśl metody MSP rozpoczyna się od ustalenia z góry wartości, jakie mogą przyjmować zmienne decyzyjne. W tym celu określone przedziały wartości tych zmiennych dzieli się na części w sposób w zasadzie dowolny. Najczęściej jednak dokonuje się podziału na równe przedziały elementarne. Gotowość podziału na przedziały elementarne ma istotny wpływ na długość procesu optymalizacyjnego i na wartość funkcji celu; wzrost gęstości związku zwiększa długość, lecz jednocześnie wzrasta dokładność określenia wartości funkcji celu. W wyniku dokonanego podziału uzyskuje się następujące zbiory dopuszczalnych wartości poszczególnych zmiennych decyzyjnych należących do zbioru B :

$$\beta_1 = \{ \beta_1^1, \beta_1^2, \dots, \beta_1^{k_1} \},$$

$$\beta_2 = \{ \beta_2^1, \beta_2^2, \dots, \beta_2^{k_2} \},$$

.....

$$\beta_p = \{ \beta_p^1, \beta_p^2, \dots, \beta_p^{k_p} \}.$$

W rezultacie takiego postępowania zmienne decyzyjne $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ przyjmują wartości dyskretne, a zatem i liczba tych wartości jest skończona.

Tworząc następnie wszystkie kombinacje ustalonych wartości zmiennych decyzyjnych otrzymuje się zbiór rozwiązań możliwych K , którego elementy są jednocześnie punktami w przestrzeni \square . Wobec skończonej liczby wartości zmiennych decyzyjnych także zbiór rozwiązań możliwych jest skończony.

3.2.3. Rozwiązania dopuszczalne

Kolejnym etapem w procesie poszukiwania i tworzenia rozwiązań jest ustalenie zbioru rozwiązań dopuszczalnych, a więc takich, które spełniają wszystkie ograniczenia. Poszukiwanie rozwiązań dopuszczalnych będzie także odbywało się w przestrzeni Ξ , wśród rozwiązań możliwych objętych zbiorem

Z poprzednich rozważań wynika, że rozwiązania możliwe na pewno spełniają ograniczenia obszarowe, natomiast nie wszystkie muszą spełniać ograniczenia funkcyjne, które w szczególności obejmują:

- bilanse strumieni masy i strumieni energii dla wydzielonych węzłów wewnętrznych i całych układów UCB,
- właściwości poszczególnych maszyn, urządzeń i instalacji.

Jednak każde rozwiązanie możliwe, które spełnia także ograniczenia funkcyjne i warunki określone w 3.2.4, jest rozwiązaniem dopuszczalnym. Sprawdzenia, które z rozwiązań możliwych spełniają ograniczenia funkcyjne, dokonuje się na podstawie użytkowego zbioru tych ograniczeń Γ . Przedtem jednak należy ustalić charakterystykę elementów użytkowego zbioru A_{kt} . Przy ustalaniu elementów zbioru Γ oraz charakterystyki elementów zbioru A_{kt} wykorzystuje się także ogólne zbiory - odpowiednio Γ_c i A_{kto} . Ponadto zbiory Γ i A_{kt} muszą być przygotowane dla u_m -tego punktu obliczeniowego objętego w_m -tym rozwiązaniem możliwym dla a_m -tego bloku w roku t v -tego etapu. Cykliczność powtarzania tych operacji można przedstawić w algorytmie w postaci pętli indukcyjnych, ponieważ liczby powtórzeń w poszczególnych pętlach są z góry określone.

Wprowadzone dla poszczególnych rozwiązań możliwych punkty obliczeniowe pozwalają na sprawdzenie poprawności tych rozwiązań w różnych warunkach pracy w ciągu całego roku, np. przy obciążeniach minimalnych i maksymalnych w okresie ogrzewniczym i letnim, przy awaryjnym wyłączeniu niektórych urządzeń. Ustalając następnie punkty obliczeniowe dla każdego roku, objętego okresem obliczeniowym, uzyskuje się zapewnienie prawidłowości rozwiązań w całym tym okresie.

3.2.4. Analiza wyników

Przedmiotem analizy są z jednej strony wartości bezwzględne wielkości oznaczone przez x_1, x_2, \dots, x_n , otrzymane w rezultacie obliczeń wykonanych za pomocą EMQ, natomiast z drugiej strony - ocena i porównanie tych wartości w świetle przyjętych wartości zmiennych decyzyjnych. Analizie poddaje się wyniki uzyskane dla wszystkich punktów obliczeniowych poszczególnych rozwiązań możliwych. Jeśli choć w jednym z punktów obliczeniowych rozpatrywanego rozwiązania uzyskane wartości wielkości x_1, x_2, \dots, x_n nie mieszczą się w ograniczeniach obszarowych, odpowiadających tym wielkościom, to dane rozwiązanie zostaje wyeliminowane.

W przypadku uzyskania prawidłowych wyników we wszystkich punktach obliczeniowych rozpatrywanego rozwiązania sprawdzeniu podlegają jeszcze dwa warunki, a mianowicie: czy znaleziono pełne rozwiązanie zadania ZP oraz czy realizacja tego rozwiązania jest możliwa. Oczywiście jeśli jeden z tych warunków lub oba nie są spełnione - rozpatrywane rozwiązanie jest także wyeliminowane.

Rozwiązania spełniające wszystkie wymienione warunki tworzą zbiór rozwiązań dopuszczalnych Λ , który oczywiście zawsze zawarty jest w zbiorze K czyli $\Lambda \subset K$.

3.2.5. Obliczanie wartości funkcji celu

Obliczenia wartości funkcji celu (nakładów kapitałowych, wielkości i wartości produkcji oraz kosztów bieżących) dla wszystkich rozwiązań dopuszczalnych ujętych w zbiorze Λ można dokonać w oparciu o odpowiednie zależności matematyczne, które wobec ograniczonego zakresu niniejszej pracy nie zostaną podane. Z tych też względów nie podaje się algorytmu obliczania wartości tych elementów funkcji celu.

Mając ustalone wartości wszystkich elementów funkcji celu można przystąpić do obliczenia jej wartości wg [3], oczywiście oddzielnie dla każdego rozwiązania ujętego w zbiorze Λ . Po obliczeniu wartości funkcji celu określa się niepewność rozwiązań. Zestawienie wartości funkcji celu oraz niepewności dla wszystkich rozwiązań ujętych w zbiorze Λ zamyka cykl obliczeniowy procesu optymalizacyjnego.

3.2.6. Wybór rozwiązania

Zbiór wartości funkcji celu, obliczonych dla poszczególnych rozwiązań dopuszczalnych ujętych w zbiorze Λ , stanowi podstawę do oceny i porównania tych rozwiązań, a następnie wyboru rozwiązania optymalnego zadania ZP, czyli posiadającego ekstremalną wartość funkcji celu. W ten sposób dokonany wybór rozwiązania optymalnego w zasadzie automatyczny; jest teoretycznie słuszny, lecz nie zawsze może stanowić wybór rozwiązania najlepszego. Wynika to głównie z faktu, że na wybór rozwiązania zadania ZP może mieć wpływ wiele czynników, których nie można lub bardzo trudno można wyrazić w formie wymiernej w matematycznej postaci funkcji celu. Ponadto należy uwzględnić wpływ niepewności rozwiązań. Dlatego też należy dodatkowo zbadać przede wszystkim te rozwiązania, dla których wartość funkcji celu jest zbliżona do wartości ekstremalnej.

Dokonując następnie, dla wybranych w ten sposób rozwiązań, krytycznej oceny ich cech niewymiernych i porównując z cechami rozwiązania optymalnego, można ostatecznie wybrać rozwiązanie zadania ZP z przeznaczeniem do realizacji, zwane dalej rozwiązaniem realizacyjnym. Oczywiście, jeśli w wyniku tak dokonanej oceny innych rozwiązań żadne z nich nie okaże się lepsze, to rozwiązaniem realizacyjnym będzie wtedy wcześniej wybrane rozwiązanie optymalne.

Wybór rozwiązania optymalnego zadania ZP kończy proces optymalizacyjny, natomiast ustalenie rozwiązania realizacyjnego zadania ZP zamyka proces poszukiwania i tworzenia jego rozwiązań.

4. WNIOSKI

1. Utworzona metoda badawcza jest nowym narzędziem w badaniach optymalizacyjnych układów cieplnych w gospodarce skojarzonej.

2. Do zalet metody należy przede wszystkim zaliczyć:

- kompleksowość i uniwersalność,
- uzależnienie rozwiązań technicznych od elementów rachunku ekonomicznego,
- dużą wrażliwość na zmiany wprowadzone w kolejnych rozwiązaniach rozpa-trywanego zadania projektowego,
- możliwość wykorzystania emc,
- możliwość określania niepewności rozwiązań zadania projektowego,
- łatwość stosowania.

3. Metoda badawcza ma szerokie możliwości zastosowania, zwłaszcza do rozwiązywania problemów naukowo-badawczych powstających głównie przy:

- ustalaniu struktury i parametrów układów cieplnych,
- określaniu konstrukcji maszyn i urządzeń,
- badaniu istniejących układów cieplnych w celu ich usprawnień.

Metodę można wykorzystywać we wszystkich fazach i stadiach okresu przygotowania budowy lub rozbudowy elektrociepłowni, a więc w fazie programowania (badania i studia przedprojektowe), a następnie w projektowaniu (konceptje, założenia techniczno-ekonomiczne, projekt techniczny).

4. Przewiduje się, że stosowanie przedstawionej metody badawczej przyniesie znaczne, wymierne korzyści gospodarcze dzięki:

- tworzeniu autentycznie nowych, optymalnych rozwiązań UCE, zamiast "przypadkowych" lub jedynie "lepszyc" od dotychczas stosowanych,
- prawidłowemu dostosowaniu rozwiązań konstrukcyjnych maszyn i urządzeń do warunków pracy w badanym UCE,
- zwiększeniu poprawności podejmowanych decyzji w odniesieniu do rozwoju UCS,
- zwiększeniu efektywności budownictwa elektrociepłowni,
- zapobieganiu nieprawidłowościom dostrzeganym dopiero w eksploatacji,
- wprowadzeniu za pomocą tej metody usprawnień istniejących układów,
- wzrostowi konkurencyjności krajowych maszyn i urządzeń, bloków ciepłowniczych i całych elektrociepłowni na rynkach zagranicznych,
- zwiększeniu efektywności pracy twórczej w badaniach nad układami cieplnymi w energetyce.

LITERATURA

- [1] Andrużczenko A.I.: Termodynamiczne obliczenia optymalnych parametrów elektrowni ciepłych. WNT, Warszawa 1965.
- [2] Chiantore G. i in.: Optimizing a regenerative steam-turbine cycle. "Transactions of the ASME, series A. Journal of Engineering for Power" 1961; nr 4.
- [3] Komorowski L., Przybylski R.: Funkcja celu w procesie optymalizacji układów ciepłych elektrociepłowni. "Zeszyty Naukowe PŁ s. "Ciepłone Maszyny Przepływowe" nr 91 1985.
- [4] Komorowski L.: Poszukiwanie i tworzenie rozwiązań układów ciepłych elektrociepłowni z blokami ciepłowniczymi. Zesz. Nauk. PŁ s. "Ciepłone Maszyny Przepływowe" nr 91, 1985.
- [5] Komorowski L.: Optymalizacja układów ciepłych elektrociepłowni wyposażeń w bloki ciepłownicze. Praca doktorska, Politechnika Łódzka 1983.
- [6] Komorowski L.: Nowa metoda badawcza układów ciepłych elektrociepłowni. "Energetyka" nr 10, 1985.
- [7] Komorowski L.: Zmienne wejściowe w badaniach optymalizacyjnych układów ciepłych elektrociepłowni. "Biuletyn Techniczny Elektrownie i Elektrociepłownie" nr 3-4, 1985, nr 1 1986.
- [8] Kompleksna optymalizacja ciepłowniczych systemów. Praca zbiorowa. Otwietstwiennyj redaktor Popyrin L.S. Nauka, Nowosibirsk 1976.
- [9] Marecki J., Cherubin W., Rozada J.: Stan i prognozy rozwoju systemów ciepłowniczych. "Postępy Techniki Jądrowej" nr 2 1977.
- [10] Marecki J.: Gospodarka skojarzona ciepłno-elektryczna. Wyd. 2. WNT, Warszawa 1980.
- [11] Portucha J.: Optymalizacja struktury układu ciepłego siłowni parowych. Archiwum Energetyki nr 1 1972.
- [12] Szargut J.: Optymalizacja stopnia doskonałości procesu w świetle obowiązujących zasad oceny efektywności ekonomicznej. Gospodarka Paliwami i Energią nr 11 1976.
- [13] Szargut J.: Analiza termodynamiczna i ekonomiczna w energetyce przemysłowej. WNT, Warszawa 1983.
- [14] Ocena ekonomiczna efektywności inwestycji i innych zamierzeń rozwojowych. Zbiór przepisów. PWE, Warszawa 1974.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОСИЛОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ
 ВЫРАБОТКИ ТЕПЛА И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Р е з ю м е

Известные в настоящее время методы проектирования теплосиловых систем не обеспечивают подбора оптимальных систем. Применяемые методы частичной оптимизации отличаются несодновременностью определения неизвестных параметров и структуры системы. В работе предложен метод комплексной оптимизации теплосиловых систем ТЭЦ. Представлены общая математическая модель и процесс поисков и образования решений задач. Метод даёт возможность определения оптимальных решений различных теплосиловых систем.

THE OPTIMIZATION OF HEAT SYSTEMS
OF COGENERATING PLANTS

Summary

The former calculation methods of heat systems of cogenerating plants do not ensure the selection of optimum systems. The applied methods of partial optimization are conspicuous by the lack of simultaneity of qualifying the sought for parameters and the structure of the systems. A method of complex optimization has been presented. The general mathematical model and the process of searching for the optimum solutions have been featured. The method enables the optimization of various heat systems.

Wstępnie. Praca zawiera przegląd parametrycznych sposobów
rozwiązania układów ciepłychch, poprzedzony próbą ich systematyzacji i
wprowadzeniem jednolitego systemu energetyczno-technologicznego. Wykorzystanie
skrajnych wartości osiągniętych przez układ ich energetyzacji nie
wystarcza i w celu praktycznego wyznaczenia i doboru parametrów
dotyczy zastosowania próby systemy i wartościach parametrów technologicznych
oraz energetycznych przy zastosowaniu jednolitego systemu
układów, jak też określenia wskaźników ich efektywności.

1. WPROWADZENIE

Wzrost udziału układów ciepłychch w systemach jest równoznaczny z
wzrostem udziału w nich energii elektrycznej. Wzrost ten spowodowany jest
niekiedy koniecznością dostarczenia energii elektrycznej, w szczególności w
zakładach przemysłowych.

- produkcja ciepła technologicznego (parowa i gorąca woda),
- produkcja energii elektrycznej.

Wzrost, że głównym efektem działania układów ciepłychch jest
zwiększenie produkcji, a energia elektryczna stanowi jeden z efektów
obrotowych.

Ważnym czynnikiem energetycznym układów ciepłychch są:

- wytwarzanie ciepła technologicznego (parowa i gorąca woda) lub produkcja
energii elektrycznej, przy czym w zależności od rodzaju produktu
w sposób skrajny (np. energia elektryczna) może być wykorzystana do
produkcji ciepła technologicznego i odwrotnie, w celu uzyskania energii
elektrycznej może być wykorzystana energia cieplna, a nawet pro-
dukt technologiczny, np. w postaci energii cieplnej.
- skrajne wartości parametrów energetycznych.
- skrajne wartości parametrów energetycznych, np. w postaci
energii elektrycznej, a w szczególności w postaci energii elektrycznej.