

Paweł Skowroński

Instytut Techniki Ciepłej

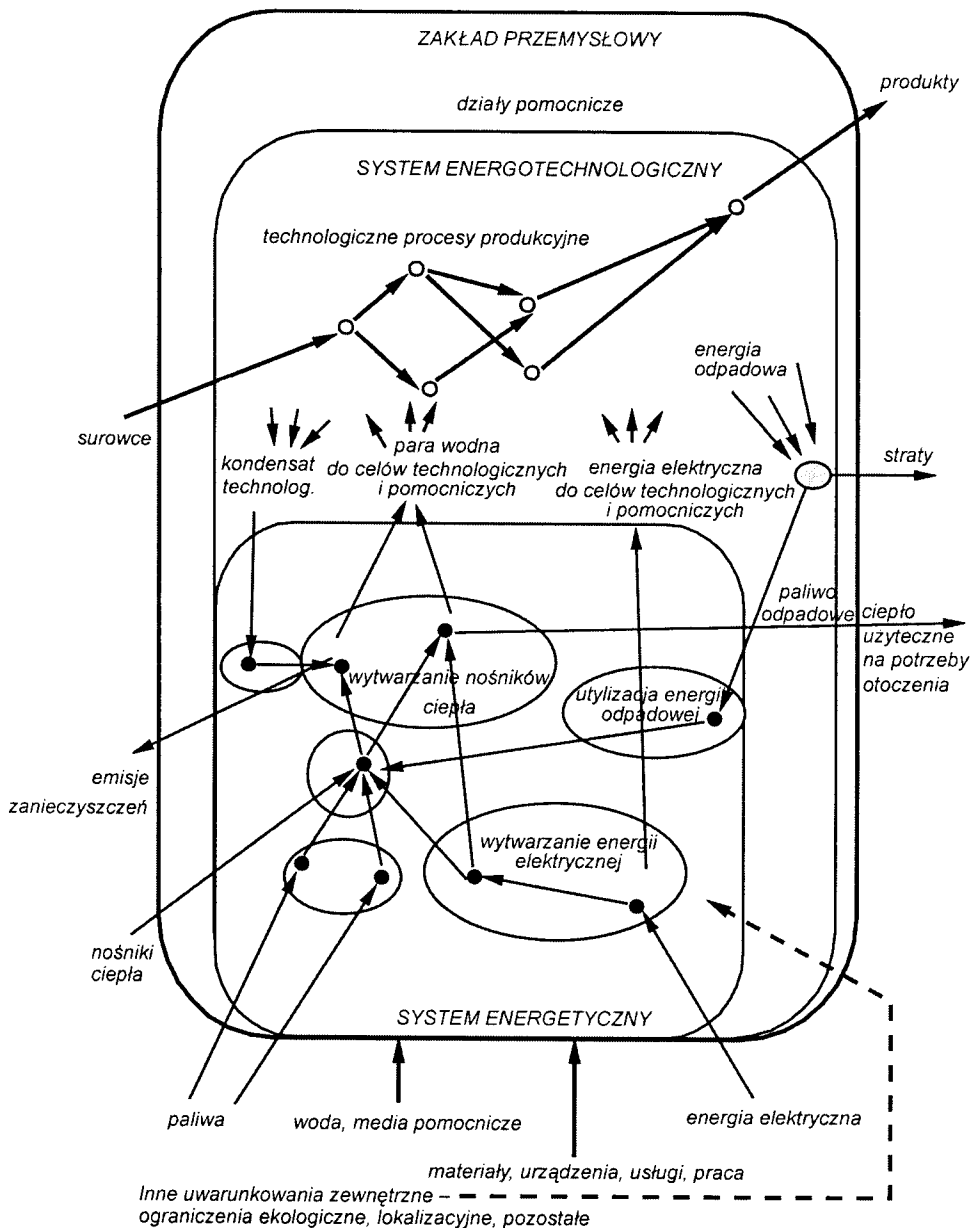
WYBÓR KONCEPCJI MODERNIZACJI PRZEMYSŁOWYCH UKŁADÓW ENERGETYCZNYCH – UWAGI METODYCZNE

W artykule przedstawiono metodykę opracowywania koncepcji modernizacyjnych przemysłowych instalacji energetycznych. Zwrócono szczególną uwagę na systemowy charakter powiązań między instalacją energetyczną, technologicznymi procesami produkcyjnymi i otoczeniem przedsiębiorstwa. Omówiono szereg szczególnych problemów związanych między innymi z pozyskiwaniem danych, prognozowaniem zapotrzebowania na nośniki energii, doбором kryteriów oceny i jego parametrów oraz z wykonywaniem obliczeń symulacyjnych pracy systemu energetycznego o różnych strukturach i przy różnych obciążeniach.

WSTĘP

W zakładzie przemysłowym realizowane są liczne procesy związane z pozyskiwaniem lub wytwarzaniem nośników energii, ich przetwarzaniem, użytkowaniem w procesach produkcyjnych i do celów pomocniczych oraz ewentualnym przekazywaniem części wytwarzanych nośników poza zakład. Uporządkowany ciąg tych wzajemnie powiązanych procesów wraz z urządzeniami, w których są one dokonywane, można wyróżnić z otoczenia i określić mianem lokalnego – zakładowego systemu energetycznego. Otoczeniem tego systemu jest sam zakład przemysłowy, do którego dany układ energetyczny przynależy, a także szerzej – otoczenie tego zakładu. Zależności między zakładowym systemem energetycznym a jego otoczeniem są różnorokie i obustronne. Zarządzanie systemem energetycznym stanowi istotę gospodarki energetycznej w zakładzie przemysłowym.

Celem funkcjonowania zakładowego systemu energetycznego jest dostarczenie określonego typu nośników energii (energii elektrycznej, pary, gorącej wody, sprężonego powietrza, czynników chłodniczych i innych), o określonych parametrach jakościowych, w określonym czasie, w określonej ilości i w określonych miejscach zakładu. Istotną jest odpowiednia niezawodność dostaw nośników,



Rys. 1. Modelowy schemat struktury powiązań zakładowego systemu energetycznego

których właściwe użytkowanie warunkuje realizację założonych zadań w instalacjach produkcyjnych oraz czynności innych działów, niezbędnych do właściwego funkcjonowania przedsiębiorstwa. Instalacje energetyczne zakładu są zasilane z zewnątrz paliwami, energią elektryczną, wodą, mediami pomocniczymi. Dzięki temu wytwarzane są na potrzeby zakładu nośniki ciepła i energia

elektryczna z własnych generatorów. W systemie wykorzystywane być mogą paliwa odpadowe i inne strumienie energii odpadowej odprowadzane z procesów produkcyjnych. Oprócz użytkowych nośników energii, odbieranych na potrzeby zakładu przemysłowego z zakładowego systemu energetycznego, odprowadzana jest do otoczenia energia odpadowa i substancje szkodliwe, które w większości powodują zanieczyszczenie środowiska. Tylko część z nich może być utylizowana. Niektóre przemysłowe układy energetyczne zasilają również otoczenie zakładu w użytkowe nośniki energii, najczęściej w gorącą wodę lub w parę grzewczą. Przykładowe modelowe powiązania między zakładowym systemem energetycznym, a jego bliższym i dalszym otoczeniem zilustrowano na rys. 1.

1. MOTYWY MODERNIZACJI ZAKŁADOWEGO SYSTEMU ENERGETYCZNEGO

Gospodarowanie energią w przedsiębiorstwie jest oceniane w kontekście:

- pełnego i niezawodnego zaspokajania obecnych i prognozowanych potrzeb energetycznych zakładu,
- kosztów wytwarzania nośników energii na potrzeby zakładu,
- spełnienia innych uwarunkowań zewnętrznych, zwłaszcza ograniczeń wynikających z ochrony środowiska.

Wynikiem takiej oceny może być wniosek o potrzebie modernizacji zakładowego systemu zasilania w nośniki energii.

Pełne i niezawodne zasilanie instalacji produkcyjnych i działów pomocniczych jest, jak stwierdzono wcześniej, podstawowym celem gospodarki energetycznej w zakładzie. Wymagana jest odpowiednia liczba, niezawodność, dyspozycyjność czasowa, wydajność, dynamika zmian obciążenia i akumulacyjność własnych urządzeń energetycznych lub zewnętrznych źródeł energii, dostosowane do charakterystycznych wartości poboru nośników do celów produkcyjnych, częstości i wielkości zmian tego poboru oraz jednoczesności zapotrzebowania na różne nośniki energii. W związku z tym, prace nad rozwojem zakładowej gospodarki energetycznej są podejmowane jeśli:

- istniejący system nie zapewnia pokrycia aktualnego lub prognozowanego szczytowego zapotrzebowania mocy linii produkcyjnych i działów pomocniczych,
- istniejący system nie zapewnia dostawy nośników o aktualnie wymaganych parametrach (ciśnieniach, temperaturach),
- dynamika zmian poboru mocy przez technologiczne instalacje produkcyjne powoduje okresowe trudności z zapewnieniem właściwych parametrów dostarczanych nośników energii,

- ze względu na niedostateczną dyspozycyjność i niezawodność wyeksploatowanych urządzeń energetycznych lub brak rezerwowania w systemie zasilania nośnikami energii, mają miejsce straty w produkcji na liniach technologicznych.

Jeśli instalacje energetyczne stanowią integralną część układów technologicznych i własność przedsiębiorstwa, to nośniki energii przekazywane na potrzeby produkcyjne i pomocnicze warunkują uzyskanie przychodów ze sprzedaży wytwarzanych produktów, ale same przychodów tych nie przynoszą. System energetyczny zakładu może samodzielnie generować przychody ze sprzedaży nośników energii wytwarzanych w dodatkowych ilościach ponad potrzeby własne zakładu, jeśli istnieje możliwość ich sprzedaży odbiorcom zewnętrznym. Powszechnie jednak przemysłowe instalacje energetyczne są postrzegane jako miejsca ponoszenia kosztów. Na koszty funkcjonowania zakładowego systemu energetycznego składają się:

- koszty dostawy paliw, obejmującej ich zakup od dystrybutora, transport i wyładunek,
- koszty zakupu energii elektrycznej z sieci lokalnego Zakładu Energetycznego,
- koszty zakupu nośników ciepła ze źródeł zewnętrznych,
- koszty pozyskania mediów pomocniczych, takich jak m.in. woda i chemikalia do jej uzdatniania, sorbent siarki, gazy techniczne i inne,
- koszty płac obsługi,
- koszty materiałów, części zamiennych i urządzeń wykorzystywanych przy remontach i konserwacji układów energetycznych,
- koszty związanych usług obcych,
- opłaty za użytkowanie środowiska,
- inne koszty, w tym koszty finansowe i amortyzacja.

Koszt wytwarzania nośników na potrzeby własne może być pomniejszony o wspomniane dochody ze sprzedaży dodatkowych ilości wytwarzanej energii na potrzeby otoczenia zakładu.

Możliwość redukcji łącznych kosztów zasilania instalacji produkcyjnych i działów pomocniczych w nośniki energii jest jednym z głównych motywów podejmowania zmian w gospodarce energetycznej zakładu. Brana jest także pod uwagę możliwość obniżenia kosztów realizacji samych procesów produkcyjnych, dzięki zastosowaniu technologii gwarantujących wyższą niezawodność zasilania w nośniki energii. Koszt niedostarczenia energii do celów produkcyjnych jest bowiem istotnie wyższy od kosztu jej wytwarzania. Zmiany w systemie energetycznym mogą mieć charakter techniczny, gdy następuje remont lub wymiana urządzeń energetycznych, organizacyjny, gdy określane są np. nowe harmonogramy pracy urządzeń (również odbiorników energii) lub handlowy, gdy ulegają zmianie umowy na dostawy paliw lub energii od dostawców zewnętrznych lub umowy na sprzedaż nośników energii do otoczenia.

Trzecią wymienioną wcześniej kategorią czynników stymulujących modernizację zakładowych instalacji energetycznych są zmiany przepisów prawnych dotyczących użytkowania środowiska naturalnego, instytucjonalne ograniczenia emisji zanieczyszczeń związanych z wytwarzaniem nośników energii, ich przetwarzaniem i przesyłaniem, fizyczne ograniczenia możliwości składowania odpadów stałych, poboru wody na potrzeby technologiczne i inne zewnętrzne uwarunkowania.

2. ETAPY OPRACOWYWANIA KONCEPCJI MODERNIZACJI

Opracowanie koncepcji modernizacji stanowi podstawę dalszych szczegółowych planów rozwojowych, w tym projektów technicznych, finansowych i szerzej – inwestycyjnych. Podział na etapy studium wyboru właściwego kierunku rozwoju zakładowych instalacji energetycznych wynika z funkcji, jakie spełniają one w przedsiębiorstwie, ich powiązań z innymi instalacjami i wzajemnych relacji tych obiektów, które na ten system energetyczny się składają. Z pewnym uproszczeniem można wymienić następujące etapy prac – etapy procesu decyzyjnego [1].

1. Określenie aktualnych i prognozowanych potrzeb energetycznych zakładu i otoczenia zakładu oraz ustalenie warunków, które muszą być spełnione po zakończeniu modernizacji i ograniczeń, którym rozwój systemu będzie podlegał (w tym warunków wynikających z przepisów dotyczących ochrony środowiska, ograniczeń w dostępności paliw, ograniczeń lokalizacyjnych, ograniczeń inwestycyjnych i innych).
2. Ocena aktualnego stanu gospodarki energetycznej zakładu, w tym stanu technicznego urządzeń i określenie możliwego samoistnego rozwoju sytuacji.
3. Wybór kryterium oceny efektywności planowanej modernizacji. Określenie parametrów takiego kryterium.
4. Sformułowanie zbioru możliwych wariantów modernizacji.
5. Ocena rozważanych wariantów.
6. Analiza porównawcza i wybór koncepcji rozwoju.
7. Weryfikacja wybranej koncepcji modernizacji.

3. PROBLEM DOBORU DANYCH

Wybór koncepcji rozwoju opiera się na analizie olbrzymiego zbioru różnorodnych danych. Dane te dotyczą zapotrzebowania na energię, technologii wytwarzania i przetwarzania nośników energii, cen paliw, nakładów inwestycyjnych,

kosztów pracy, dostępności środków finansowych, ograniczeń ekologicznych i wielu innych zagadnień. Od wiarygodności tych informacji zależy poprawność wyniku studium modernizacji systemu energetycznego [2]. Część z informacji to dane o zdeterminowanych wartościach. W tej grupie mogą być ujęte między innymi wielkości dotychczasowego zużycia energii, charakterystyki techniczne zainstalowanych urządzeń, charakterystyki alternatywnych, klasycznych metod przetwarzania energii, aktualne ceny paliw i surowców. Niektóre z informacji mogą mieć charakter probabilistyczny, jak przykładowo wartości współczynników dyspozycyjności i niezawodności, prognozowane zapotrzebowania energii. Oddzielną grupę założeń stanowią informacje niepełne dotyczące między innymi zmian rynku paliw, rynku surowców i produktów, efektów postępu technicznego – m.in. [1, 3].

W toku kolejnych etapów prac musi być dokonywana analiza i selekcja informacji. Uważa się, że nie są znane skuteczne metody takiej selekcji. Wybór opiera się w praktyce na intuicji i doświadczeniu zespołu badawczego. Pod uwagę brana jest istota, dostateczność, aktualność i dokładność pozyskiwanych informacji [2]. Zwraca się uwagę na możliwe przyczyny błędów, jak nadmierna agregacja i uśrednianie wskaźników, błędy pomiarowe, uproszczenia przy budowie modeli – głównie linearyzacja, błędy obliczeń [2, 4].

Ujęcie w analizie danych o charakterze probabilistycznym lub danych niepełnych istotnie utrudnia proces sformułowania, analizy i wyboru koncepcji rozwojowych. Podejście takie jest możliwe, zwłaszcza z zastosowaniem narzędzi numerycznych. Występować mogą jednak trudności w interpretacji uzyskanych wyników. W praktyce, biorąc pod uwagę nieokreśloność dużej części podstawowych danych, studia nad metodami rozwoju wykonuje się wariantując nie tylko technologiczne, organizacyjne lub handlowe koncepcje zmian funkcjonowania zakładowego systemu energetycznego, lecz także:

- przyjmując do rozważań warianty zmian zapotrzebowania na energię,
- badając wpływ wyników na zmienność wybranych parametrów (np. elastyczność cenową), [5, 6, 7].

4. OKREŚLENIE AKTUALNYCH I PROGNOZOWANYCH POTRZEB ENERGETYCZNYCH

Przedmiotem rozważań jest zdefiniowanie potrzeb energetycznych przedsiębiorstwa wynikających z realizowanych procesów produkcyjnych i warunków funkcjonowania działów pomocniczych. W bilansie ujmowane są również potrzeby zewnętrznych odbiorców energii. Są to zatem strumienie energii wysyłane poza ustaloną granicę zakładowego systemu energetycznego (rys. 1). Analiza dotyczy:

- wszystkich typów nośników energii wytwarzanych lub przekazywanych za pośrednictwem zakładowego systemu energetycznego, różniących się formą transportowanej energii lub parametrami jakościowymi – składem chemicznym, stanem skupienia, ciśnieniem, temperaturą;
- potrzeb energetycznych w chwili obecnej i przyszłości;
- szczytowych zapotrzebowań mocy, rocznych zapotrzebowań energii, zmienności sezonowej, tygodniowej, dobowej zapotrzebowania na energię, w pewnych wypadkach również zmienności w krótszych okresach, dynamiki zmian zapotrzebowania mocy, niezawodności dostaw;
- współzależności poboru różnych nośników energii.

Aktualny stan zapotrzebowania opisuje się na podstawie znajomości tego co istotnie zaszło i zachodzi w zakładzie, co jest ujęte w zbiorach danych dotyczących zakupu energii z zewnątrz, produkcji własnej i zaistniałego zużycia. Należy jednak, w miarę możliwości wziąć pod uwagę również to, co nie nastąpiło lecz mogło się zdarzyć i co jest nieokreślone [1]. Przykładem może być wpływ warunków pogodowych na zapotrzebowanie na energię.

Perspektywiczne bilanse energii są opracowywane wyłącznie na podstawie informacji o charakterze probabilistycznym lub niepełnych. Z tego powodu rozważane są zwykle warianty zmian zapotrzebowania na poszczególne nośniki. Prognozowane zużycie energii jest funkcją wielu zmiennych – oddziaływań, a błąd prognozowanego zapotrzebowania energii zwiększa się z czasem. Pod uwagę brane są przewidywane:

- zmiany asortymentu i wielkości produkcji,
- plany wyłączania z eksploatacji starych urządzeń produkcyjnych i instalowania nowych,
- zmiany wskaźników energochłonności produkcji w aktualnej technologii, spowodowane z jednej strony np. zmianą organizacji produkcji, modernizacją technologii, ogólną poprawą warunków eksploatacji, a z drugiej starzeniem się urządzeń, zmianami własności surowców.

Zmiany wskaźników energochłonności można opisać matematycznie jako funkcję dotychczasowego trendu. Należy wziąć przy tym pod uwagę fakt, że czynniki stymulujące w przeszłości zmiany energochłonności, mogą mieć w przyszłości inny wpływ [2].

W opisie zapotrzebowania określane są, jak wspomniano, pobory mocy maksymalne i średnie w okresach zapotrzebowania energii. W pewnych wypadkach istotna jest również dynamika zmian zapotrzebowania i wymagana niezawodność dostaw. Należy jednak uznać, że metody umożliwiające skuteczne uwzględnienie problemu niezawodności dostaw i postępujących z czasem zmian dyspozycyjności eksploatowanych urządzeń, w studiach nad koncepcjami modernizacji przemysłowych systemów energetycznych, nie zostały dotychczas wypracowane. W wykonywanych opracowaniach koncepcyjnych zagadnienia niezawodności maszyn i całych układów są albo pomijane, albo uwzględniane

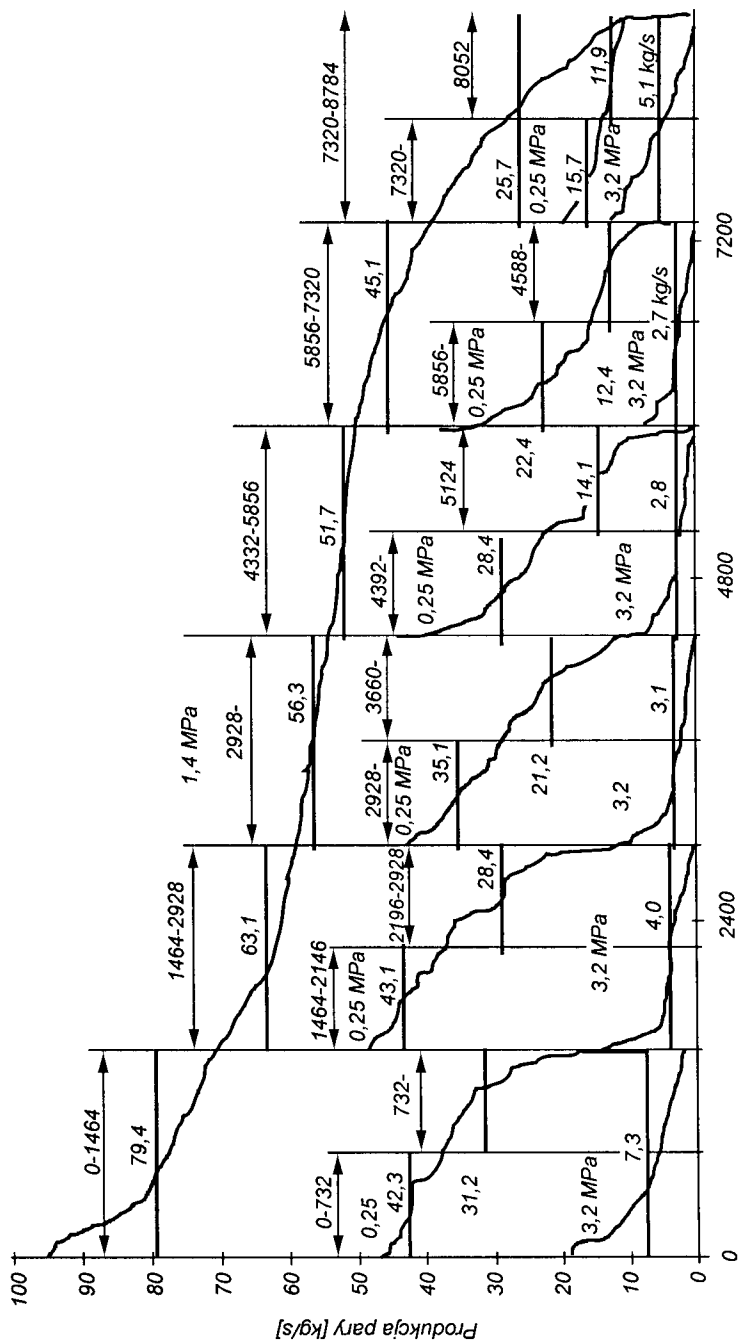
w obliczeniach symulacyjnych rozważanych systemów według subiektywnych założeń co do czasów wyłączeń poszczególnych urządzeń i jednoczesności ich gotowości do pracy.

W ocenie poszczególnych wariantów modernizacji znaczenie ma m.in. przewidywane zużycie przez zakładowy system energetyczny paliw, energii elektrycznej i mediów pomocniczych pobieranych z otoczenia, w celu zaspokajania potrzeb energetycznych w wydziałach produkcyjnych i w działach pomocniczych. Na ogólną sprawność dostawy użytkowych nośników energii ma wpływ bieżące obciążenie zakładowego systemu energetycznego, w tym jednoczesność odbioru nośników różnych form energii i o różnych parametrach. Przy różnych stanach zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii różne są sprawności poszczególnych urządzeń i zmienne są potrzeby i możliwości utrzymania ich w ruchu.

Uwzględnienie bardzo dużej różnorodności stanów zapotrzebowania na nośniki energii przekazywane z zakładowego systemu energetycznego, dla aktualnego zapotrzebowania i wariantów prognozy potrzeb energetycznych oraz dla każdego z wybranych dalej wariantów rozwoju badanego układu, jest w praktyce niemożliwe. W szczególnych przypadkach, gdy pobór nośników energii do różnych celów jest w pełni niezależny, stosowana być może metoda probabilistycznej kompozycji wykresów uporządkowanych. W instalacjach technologicznych zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii są jednak zawsze w pewnym stopniu wzajemnie zależne. Określenie prawdopodobieństwa wystąpienia tych zależnych zdarzeń jest pracochłonne, a ze względu na brak dostatecznych danych często niemożliwe.

W związku z tym, w realizowanych pracach studialnych, przyjmuje się najczęściej od kilku do kilkunastu charakterystycznych stanów zapotrzebowania, występujących w wybranym do analizy okresie. Zwykle okresem tym jest rok. Określany jest przy tym czas trwania poszczególnych charakterystycznych stanów zapotrzebowania w badanym okresie. Dla poszczególnych lat, których dotyczy analiza opracowywane są oddzielne tego typu zestawienia. Przykład zdefiniowania charakterystycznych stanów zapotrzebowania na parę grzewczą o trzech różnych ciśnieniach zilustrowano na rys. 2.

W prezentowanym tu przykładzie stwierdzono, że zapotrzebowanie na jeden z nośników (parę o ciśnieniu 1,4 MPa) jest istotnie większe od zapotrzebowania na inne nośniki. Sporządzono uporządkowany wykres zapotrzebowania na parę 1,4 MPa, następnie ustalono średnie wartości poboru tej pary w sześciu przedziałach czasu i dla każdego z tych przedziałów ustalono uporządkowany pobór pary o ciśnieniach 3,2 MPa i 0,25 MPa. Ponieważ stwierdzono dużą zmienność poboru pary o niskim ciśnieniu, dla każdego z wyróżnionych stanów średniego poboru pary 1,4 MPa określono po dwa średnie stany zapotrzebowania pary 0,25 MPa. Możliwe byłoby oczywiście wyróżnienie większej liczby charakterystycznych stanów obciążenia co sprzyjałoby poprawieniu dokładności obliczeń, lecz istotnie zwielałoby ich czasochłonność.



Rys. 2. Przykład doboru charakterystycznych stanów zapotrzebowania na różne nośniki energii (para o ciśnieniach 3,2 MPa, 1,4 MPa i 0,25 MPa)

Właściwy dobór liczby wybieranych do analizy charakterystycznych stanów obciążenia systemu poborem poszczególnych nośników energii jest kolejnym problemem, któremu powinny zostać poświęcone oddzielne studia. Na podstawie dotychczasowej praktyki można stwierdzić, że zwiększanie liczby rozważanych stanów obciążenia systemu:

- jest bardzo istotne w przypadku, gdy dla różnych stanów zapotrzebowania różne są potrzeby i możliwości utrzymania w ruchu poszczególnych urządzeń (zwłaszcza turbin upustowo-przeciwprężnych),
- wpływa na poprawę dokładności oceny wariantu, dzięki uwzględnieniu zmiennych z obciążeniem charakterystyk urządzeń (kotłów, turbin, generatorów, silników), lecz poprawa ta jest zwykle porównywalna z błędem pomiarów opartych na określonych charakterystykach sprawnościowych,
- zwiększa pracochłonność i czas wykonywania badań.

5. INWENTARYZACJA STANU I WARIANT ODNIESIENIA

Określenie aktualnego stanu systemu stanowi kolejny etap prac, którego celem jest zebranie informacji pozwalających na sformułowanie scenariusza samodzielnego rozwoju sytuacji w przypadku, gdy nie zostałyby podjęte planowane działania modernizacyjne. Do takiego scenariusza (nazywanego dalej wariantem stagnacji) odnoszone są pozostałe zdefiniowane warianty rozwojowe systemu. Zebrane powinny zostać dane umożliwiające oszacowanie w dalszych krokach analizy wielkości charakteryzujących wariant stagnacji według przyjętego kryterium oceny. W zbiorze tych danych są zawarte:

- charakterystyki stanu technicznego poszczególnych, podstawowych zainstalowanych urządzeń – ich wydajności trwałe i maksymalne, parametry generowanych nośników energii, ograniczenia ciśnieniowe i temperaturowe, charakterystyki sprawnościowe,
- charakterystyki organizacji pracy zakładowego systemu energetycznego, zwłaszcza praktyki obciążania poszczególnych urządzeń,
- plany remontów średnich i kapitalnych wraz z nakładami, gwarantujących utrzymanie istniejących urządzeń w eksploatacji, z uwzględnieniem m.in. oceny stanu części ciśnieniowych – walczaków, komór, ekranów, pęczków konwekcyjnych, kadłubów turbin, wirników, fundamentów oraz urządzeń pomocniczych (kominów, wentylatorów, skraplaczy, chłodni).

Informacje zbierane są na podstawie badań bilansowych i sprawnościowych poszczególnych urządzeń, wyników pomiarów zużycia podstawowych elementów, pozyskiwanych z badań ruchowych lub w wyniku specjalnych badań pomiarowych.

6. KRYTERIUM OCENY

Wybór kryterium efektywności modernizacji ma umożliwić wzajemne porównanie rozważanych wariantów rozwoju. Kryterium oceny może wyrażać różne cele, m.in. ekonomiczne, ekologiczne, techniczne. W praktyce za podstawowe kryterium przyjmuje się kryterium finansowe, rzadziej rozumiane szerzej kryterium ekonomiczne. Możliwa jest, chociaż rzadko w praktyce stosowana, optymalizacja wielokryterialna polegająca na założeniu stosownych wag poszczególnych kryteriów lub ich hierarchizacji.

Forma finansowego lub ekonomicznego kryterium efektywności może być zróżnicowana. Zwykle wyznaczana jest wartość nie jednego lecz kilku wybranych wskaźników efektywności inwestycji [8, 9]. Dobór tych kryteriów zależy także od celów ich dalszego wykorzystywania. Inne kryteria są istotne z perspektywy zarządzania przedsiębiorstwem, a inne wyznacza się dla instytucji zewnętrznych, które współfinansują realizację procesu inwestycyjnego.

Ponieważ wszystkie rozważane warianty modernizacji zakładowego systemu energetycznego, w tym również wspomniany wcześniej wariant stagnacji, mają skutkować zapewnieniem pokrycia tego samego zapotrzebowania na energię, i wszystkie mają podlegać wzajemnemu porównaniu i porównaniu z efektami eksploatacji systemu rozwijającego się samoistnie, to można uznać, że dla oceny każdego z tych wariantów są istotne nie tyle same wartości poszczególnych składników kosztów, lecz różnice między tymi składowymi charakterystycznymi dla danego wariantu i dla wariantu odniesienia, jakim jest wariant stagnacji. Można zatem, na przykład, szacować wartość inwestycji w pewnym wariantcie, ale formalnie istotna jest różnica w nakładach inwestycyjnych między porównywanymi koncepcjami. Kryterium finansowe nie będzie wyrażać rentowności całych nakładów inwestycyjnych przewidywanych do poniesienia w danym wariantcie modernizacji, lecz jedynie rentowność nakładów poniesionych dodatkowo w stosunku do kwot wymaganych w wariantcie stagnacji. Takie podejście umożliwia ominięcie wielu problemów związanych z oszacowaniem wartości nośników dostarczanych z zakładowego systemu energetycznego do procesów produkcyjnych i do działów pomocniczych. Nośniki te można wartościować, jeśli są one dostępne na zewnętrznym względem zakładu rynku energii. Własnej produkcji energii elektrycznej można przypisać wartość unikniętego kosztu zakupu tej energii z sieci zakładu energetycznego, uwzględniając w rachunku opłaty za rezerwowanie mocy. Wartość energii w nośnikach ciepła, sprzedawanych na rzecz odbiorców zewnętrznych, określa natomiast cena sprzedaży. Nie można jednak jednoznacznie określić wartości ekonomicznej strumieni pary przekazywanych na potrzeby technologii. Wartość ta jest dla realizacji procesu produkcyjnego taka sama, chociaż możliwe do wyznaczenia jednostkowe koszty generacji pary technologicznej byłyby w różnych wariantach rozwoju systemu różne.

W kryterium finansowym, o charakterze dynamicznym, istotny jest przewidywany czas ponoszonych nakładów i uzyskiwanych przychodów. Dla każdego z rozważanych wariantów sporządzona być musi taka charakterystyka.

W celu określenia wartości kryterium wymagana jest znajomość wartości zmiennych charakteryzujących poszczególne warianty rozwoju oraz wartości parametrów funkcji kryterialnej, które od tych wariantów nie zależą. Do takich parametrów kryterium ekonomicznego należą prognozowane wartości:

- cen paliw, energii elektrycznej, materiałów i surowców pozyskiwanych z otoczenia zakładu,
- jednostkowych kosztów obsługi,
- stawek podatków i odpisów obowiązkowych,
- opłat za gospodarcze użytkowanie środowiska,
- stopy dyskonta, w której ujęta jest miara ryzyka inwestycyjnego,
- inne.

Wartości te są funkcjami czasu, a relacje między nimi mogą się zmieniać, mimo pominięcia w analizie wpływu inflacji.

7. SFORMUŁOWANIE MOŻLIWYCH KONCEPCJI MODERNIZACJI

Zbiór rozważanych wariantów rozwoju zakładowego systemu energetycznego powinien być sformułowany tak, aby:

- każdy z wariantów gwarantował spełnienie zakładanych celów funkcjonowania systemu co do zasilania zakładu w nośniki energii o określonych parametrach i z określoną niezawodnością oraz aby były jednocześnie spełnione przewidywane ograniczenia w funkcjonowaniu systemu (ekologiczne, lokalizacyjne, inwestycyjne, dostępności paliw, kadrowe),
- ujęte zostały wszystkie możliwe koncepcje inwestycji,
 - w dotychczas eksploatowane urządzenia (remonty lub modernizacje tych urządzeń), w tym dopuszczalne koncepcje redukcji układu,
 - polegających na rozbudowie układu,
- ujęte zostały również rozwiązania techniczno-organizacyjne polegające na zmianie sposobu eksploatacji istniejącego systemu energetycznego – próbie jego eksploatacji w sposób bliższy optymalnemu.

W praktyce proponowane rozwiązania mogą dotyczyć:

- modernizacji istniejących układów przez:
 - wprowadzenie układów do bieżącej optymalizacji pracy systemu,
 - wycofania części urządzeń,
 - doposażenia instalacji w układy kontrolne umożliwiające utrzymanie długotrwałej żywotności (bloki ograniczeń termicznych),

- modernizacji podstawowych urządzeń – przebudowy palenisk kotłów (węglowych na gazowe, wymiany palników na niskoemisyjne), remontu układów łopatkowych w turbinach parowych, modernizacji skraplaczy i innych,
 - wprowadzania nowych, nie stosowanych dotychczas w zakładzie technologii, a zwłaszcza:
 - kotłów fluidalnych, kotłów gazowych,
 - układów parowych na wyższe parametry pary świeżej,
 - układów gazowych lub gazowo-parowych, zintegrowanych funkcjonalnie z istniejącymi urządzeniami energetycznymi lub pracującymi jako niezależne źródła nośników energii,
 - utylizacji paliw odpadowych i odpadowych strumieni energii.
- Przedmiotem modernizacji o charakterze technicznym jest zatem:
- zmiana struktury układu energetycznego,
 - dobór wielkości (wydajności) eksploatowanych urządzeń,
 - dobór parametrów pracy układu.

Elementem każdego z wariantów modernizacji, o określonym zakresie technicznym lub organizacyjnym, jest wybór sposobu sfinansowania inwestycji oraz propozycja harmonogramu jej realizacji.

Liczba wariantów modernizacji, możliwych do sformułowania zgodnie z powyższymi wymaganiami, może być duża. Pracochłonność wyboru wariantów można ograniczyć dokonując dekompozycji zakładowego systemu energetycznego na ciąg podsystemów i rozważając oddzielnie możliwości ich rozwoju. Na przykład, w klasycznych przemysłowych układach energetycznych wyróżniona być może kotłownia kolektorowa, maszynownia oraz układy utylizacji energii odpadowej, których rozwój można rozważać do pewnego stopnia niezależnie.

8. OCENA WARIANTÓW

W celu dokonania oceny dowolnego wariantu modernizacji określone być muszą warunki jego realizacji i wielkości charakteryzujące jego pracę w kolejnych prognozowanych latach eksploatacji. W przypadku kryterium ekonomicznego szacowane są w tych latach:

- nakłady inwestycyjne,
- zużycia paliw i mediów pomocniczych,
- zakup energii ze źródeł obcych,
- koszty konserwacji i remontów,
- wymagane zatrudnienie,
- inne wielkości ujęte jako zmienne w przyjętym kryterium oceny.

Koszty inwestycyjne określane są na podstawie specyfikacji zakresu przewidywanej modernizacji, oparte na znanych przykładach realizacji inwestycji w podobnych technologiach i skali. Podobnie, zwykle metodami wskaźnikowymi ustalane jest prognozowane zatrudnienie oraz koszty konserwacji i remontów. Szczególnemu wyróżnieniu podlegać mogą koszty remontów średnich i kapitalnych ponoszone w cyklach kilkuletnich.

Zużycie paliw i związane z tym zużycie mediów pomocniczych ma, obok kosztów inwestycyjnych, zwykle największe znaczenie dla ostatecznej oceny wariantu modernizacji systemu energetycznego. Zużycie to jest szacowane za pomocą modeli symulacyjnych, rzadziej optymalizacyjnych, zmodernizowanego systemu.

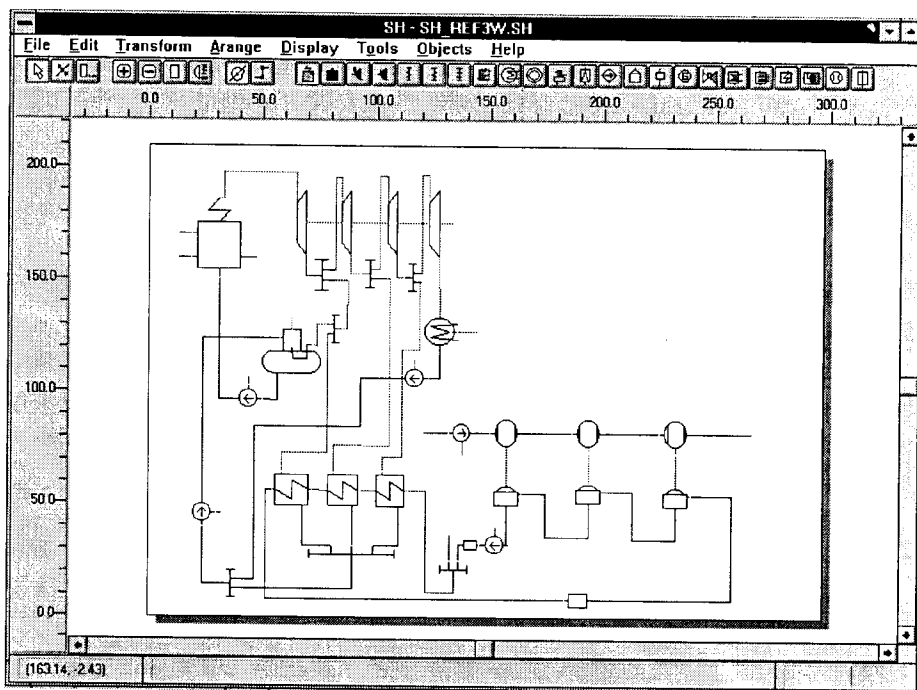
Modele symulacyjne są opracowywane na podstawie założonej struktury zmodernizowanego systemu. Charakterystyka techniczna przewidzianych do eksploatacji urządzeń stanowi wraz z określonym wcześniej zapotrzebowaniem na nośniki energii zbiór danych wejściowych do obliczeń. Modele mogą być budowane z wykorzystaniem wspomagających te czynności programów numerycznych, takich jak ASPEN, GT-MASTER lub opracowany w ITC PW pakiet programów SH/PATH/SYM/OPTY [10, 11, 12]. Procedura graficzna umożliwia zapis struktury modelowanego systemu na ekranie monitora (rys. 3), wprowadzenie do pamięci komputera danych dotyczących charakterystyk technicznych poszczególnych urządzeń, a następnie zapis struktury w postaci numerycznej. Kolejne procedury wykorzystujące numeryczny zapis struktury systemu, tworzą zapis zbioru nieliniowych zależności algebraicznych składających się na model matematyczny układu w stanie ustalonym, określają sposób rozwiązania tego układu równań i realizują obliczenia.

Należy tu wspomnieć, że w ostatnich latach następuje rozwój metod modelowania neuronowego, które jest przydatne szczególnie tam, gdzie ze względu na złożoność procesów fizycznych, nie ma możliwości ich analitycznego opisu matematycznego.

Obliczenia symulacyjne wykonywane są dla każdego z rozważanych wariantów modernizacji i dla każdego z prognozowanych stanów zapotrzebowania nośników energii, z uwzględnieniem dyspozycyjności czasowej poszczególnych urządzeń. Uzyskane wyniki podlegają agregacji, w celu ustalenia rocznego zużycia paliw i mediów pomocniczych oraz produkcji energii, zwłaszcza produkcji energii elektrycznej. Bilans energii elektrycznej jest zwykle domykany zakupem niedoborów energii z sieci ZE.

Modele optymalizacyjne mogą znaleźć zastosowanie m.in. do określania najlepszego rozdziału obciążenia pomiędzy urządzenia lub instalacje pracujące równolegle, do ustalenia najlepszych, zmiennych w czasie doby, wartości produkcji energii elektrycznej na członach kondensacyjnych turbin parowych oraz od optymalizacji innych parametrów pracy układu.

Wyznaczenie wartości zmiennych ujętych w kryterium oceny umożliwia wyznaczenie jego wartości, porównanie z innymi rozważanymi wariantami modernizacji i ostateczny wybór najlepszej koncepcji rozwoju.



Rys. 3. Przykład okna procedury graficznej SH wspomagającej zapis modeli systemów energetycznych

9. PODSUMOWANIE

W prezentowanym zarysie metodyki poszukiwania najlepszych koncepcji rozwoju przemysłowych układów energetycznych, istotny jest systemowy charakter użytkowania energii w przemyśle – współzależność funkcjonowania systemu energetycznego, procesów technologicznych i otoczenia zakładu przemysłowego. Należy podkreślić, że ocena i wybór rozwiązań uznawanych ostatecznie za najlepsze, realizowany jest w warunkach niepewności, wynikającej zwykle z niedostatecznej liczby danych, ich niedostatecznej dokładności i wiarygodności.

Uznawana za podstawową, ocena finansowa projektu modernizacji nie powinna być zawężona wyłącznie do wyznaczenia wartości przyjętego kryterium, lecz uzupełniona badaniami jego elastyczności.

Podstawowe znaczenie, dla sprawnego wykonania tego typu analiz, ma zastosowanie nowoczesnych narzędzi numerycznych, zwłaszcza oprogramowania wspomagającego proces modelowania systemów energetycznych i realizacji obliczeń symulacyjnych lub optymalizacyjnych z użyciem tych modeli.

Zagadnienia poruszone w artykule nie wyczerpują zbioru problemów związanych z opracowywaniem koncepcji modernizacji przemysłowych systemów energetycznych. Wskazano jednak, że przedmiotem dalszych studiów nad metodami opracowywania tych koncepcji powinny być między innymi:

- łatwe do praktycznego stosowania sposoby uwzględnienia ograniczonej niezawodności i zmiennej w czasie dyspozycyjności eksploatowanych urządzeń,
- dobór liczby wybieranych do analizy charakterystycznych stanów obciążenia systemu poborem poszczególnych nośników energii,
- wspomaganie w definiowaniu możliwych do rozważenia wariantów modernizacji, a następnie wstępnej redukcji liczby wariantów poddawanych analizie,
- optymalizacji harmonogramów realizacji etapów przyjętej koncepcji modernizacji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bojarski W.: Podstawy metodyczne oceny efektywności w systemach energetycznych. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wyd. PAN, Warszawa 1979.
- [2] Matczewski A.: Zarządzanie gospodarką energetyczną w przedsiębiorstwie przemysłowym. Zagadnienia wybrane, WNT, Warszawa 1985.
- [3] Popczyk J.: Modele probabilistyczne w sieciach elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1991.
- [4] Radwański E., Skowroński P., Twarowski A.: Problemy modelowania systemów energotechnologicznych. Instytut Techniki Ciepłej PW, Warszawa 1993, wyd. I.
- [5] Skowroński P. (kier. zespołu) i zespół: Analiza techniczno-ekonomiczna rozwoju elektrociepłowni w Z.A. Tarnów S.A., opracowanie Fundacji „Energetyka dla Siebie i Przyszłości”, Warszawa 1997 (opracowanie nie publikowane).
- [6] Skowroński P. (kier. zespołu) i zespół: Studium możliwości technicznych i opłacalności ekonomicznej modernizacji elektrociepłowni w Z.A. „Puławy”. etap I–IV, EPiD, Warszawa 1997–1998 (opracowanie nie publikowane).
- [7] Skowroński P. (kier. zespołu) i zespół: Koncepcja techniczno-ekonomiczna systemu ciepłowniczego miasta Jasła – założenia rozwojowe, z uwzględnieniem źródeł przemysłowych, PROEKO Warszawa 1998 (opracowanie nie publikowane).
- [8] Behrens W., Hawranek P.M.: Poradnik przygotowania przemysłowych studiów feasibility. Wyd. UNIDO, wyd. II, Warszawa 1993.
- [9] Skowroński P., Kiryk S.: Zestawienie metod i mierników oceny ekonomicznej procesu inwestycyjnego. Wytyczne do algorytmu, opracowanie wewnętrzne Instytutu Techniki Ciepłej PW, Warszawa 1997.
- [10] Skowroński P., Bujalski W.: Optymalizacja systemów energotechnologicznych. Koncepcja automatyzacji obliczeń, III Konferencja „Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej”, Warszawa, grudzień 1997.

- [11] Skowroński P., Kiryk S.: Automatyizacja obliczeń symulacyjnych układów cieplnych, III Konferencja „Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej”, Warszawa, grudzień 1997.
- [12] Skowroński P., Pancewicz K., Twarowski A., Bujalski W.: Procedura komputerowego zapisu struktur systemów energotechnologicznych, III Konferencja „Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej”, Warszawa, grudzień 1997.

ELABORATION OF MODERNIZATION CONCEPTS FOR INDUSTRIAL ENERGY SYSTEMS – METHODOLOGY REMARKS

Summary

The aim of an energy system in an industrial enterprise is to deliver at a defined place and time, defined amounts of energy carrier of defined form and quality for technological purposes and for the auxiliary departments of the enterprise. The reasons for which the energy system should be modernized are the inability to satisfy the energy needs of the enterprise or its surrounding, the possibility of reducing the costs of the energy carrier delivery, or the externally defined conditions of the operating system (i.e. emission limits). In elaborating a concept for the modernisation of an industrial system one should outline the present and foreseen demand for energy, the present technical condition of the system and applied mode of the system operation, assume the probable development of the situation, and if no important changes in the system are made, define the probable limitations of the system development (such as emission limits, fuel deficit, and others), choose the criterion of valuation, define a set of possible variants of the system modernization, consider these variants and choose the best one. These stages of the study are discussed in this paper. The study is based on information which is given with some probability or is incomplete. Especially difficult is data collection for the elaboration of energy demand prognosis and the parameters of the criterion function, if the function is a financial one. To estimate the criterion value for particular variants of the system modernization one should simulate the operation of the modernized system for different conditions of the system load. Computations are done with the use of specialized numerical software. The ways in which typical system loads are chosen and the reliability of the system which is taken into account can, however, be unobvious and should be the topic of future research.