

JERZY KASZPER, ANDRZEJ MATCZEWSKI

Katedra Elektroenergetyki

NOWA METODA WYZNACZANIA JEDNOSTKOWYCH KOSZTÓW WYTWARZANIA
NOŚNIKÓW ENERGII NA PRZYKŁADZIE ELEKTROCIĘPŁOWNI

Streszczenie. Metoda niniejsza umożliwia analizę i ocenę gospodarki energetycznej zakładów przemysłowych istniejących, modernizowanych lub projektowanych w oparciu o wskaźniki energetyczne.

Wyodrębniono pięć poziomów, określających fazy gospodarowania energią. Pierwsze dwa, obejmujące przemiany energetyczne, są wspólne dla całego zakładu, pozostałe trzy - obejmujące wprowadzenie energii do procesów produkcyjnych - łączą się z tymi procesami. Ułożono tablice przepływów nośników, które są podstawą do wykonania bilansów energii i egzergii oraz do obliczenia kosztów nośników w dowolnym punkcie procesu. Podano, ułożony na podstawie tablic, układ równań kosztów, dostosowany do rozwiązania na maszynie cyfrowej.

Omówienie metody uzupełniono przykładem obliczenia jednostkowych kosztów pozyskania energii dla elektrociepłowni przemysłowej jednego z kombinatów chemicznych.

W p r o w a d z e n i e

Ocena gospodarki energią w zakładach przemysłowych opiera się w chwili obecnej na wskaźnikach fizykalno-technicznych. Zadaniem tych wskaźników jest ustalenie jednostkowego zużycia energii w jej różnych formach i postaciach na jednostkę gotowego wyrobu lub półwyrobu oraz określenie sprawności energetycznej przemian prowadzonych w obrębie zakładu.

Charakterystyczną cechą przemysłowych procesów przemian energii jest to, że są one w dużej ilości przypadków procesami wielocelowymi, w których wytwarza się więcej niż jeden produkt w gospodarce nie rozdzielonej, a ponadto są one wzajemnie powiązane, tzn. w każdym z procesów zużywa się produkty pozostałych.

Podstawowym instrumentem umożliwiającym uchwycenie tych związków są bilanse energetyczne, zadaniem których jest wierne i pełne przedstawienie od strony fizycznej występujących w układzie stosunków energetycznych. Prawidłowo opracowane bilanse energetyczne powinny charakteryzować się następującymi cechami:

- kompleksowością układu, poprzez uwzględnienie w jak najpełniejszym zakresie poszczególnych stopni procesów technologicznych,
- przejrzystością i czytelnością układu,
- porównywalnością bilansów sporządzonych w różnych punktach organizacji gospodarczej,
- możliwością wykorzystania ich do oceny gospodarki energetycznej z ekonomicznego punktu widzenia.

Opis metody

W omawianej metodzie wyznaczania jednostkowych kosztów wytwarzania nośników energii, opracowanej w latach 1962-1967 przez zespół pracowników Katedry Elektrowni Politechniki Śląskiej [1] [2], [3] i inne), zastosowano - spełniający powyższe cechy - ramowy układ bilansu, w którym poszczególne fazy gospodarowania energią przedstawia się na następujących poziomach bilansowania [1]:

- poziom A - zasilania: obejmuje składowanie, wzbogacanie i transport nośników dostarczonych z zewnątrz,
- poziom B - przemian energii: obejmuje przemiany surowców i wtórnych nośników energii na inne, wymagane przez proces nośniki energii oraz transformację parametrów nośników emisji,
- poziom C - użytkowania energii: obejmuje przekazywanie nośników energii i surowców energetycznych urządzeniom bezpośrednio je użytkującym,
- poziom D - energii użytecznej: obejmuje energię wprowadzaną do procesów w postaci finalnej, tj. pracy mechanicznej, światła, ciepła i dźwięku,

poziom E - energii wykorzystanej: odpowiada minimalnemu nakładowi energii niezbędnemu dla uzyskania końcowego produktu.

Dla zachowania ciągłości przepływu strumienia energii istnieje konieczność zlokalizowania pewnych faz gospodarowania energią pomiędzy odpowiednimi podstawowymi poziomami bilansów.

Tak więc pełny model bilansu energetycznego przedstawia się następująco:

poziom A: faza I_1 - składowanie,

faza I_2 - transport w obrębie składowiska,

faza I_3 - wzbogacanie;

poziom B: faza II_1 - transport pomiędzy poziomami A i B,

faza II_2 - przemiany energii, na które może składać się kilka szeregowych procesów;

poziom C: faza III_1 - przesył wtórnych nośników energii pomiędzy poziomami B i C,

faza III_2 - przemieszczanie surowców energetycznych pomiędzy poziomami A i C;

poziom D: faza IV_1 - wprowadzenie energii do procesów produkcyjnych,

faza IV_2 - właściwe procesy produkcyjne.

Liczba pionów bilansu uzależniona jest od ilości procesów prowadzonych w obrębie rozpatrywanego zakładu.

W większości powszechnie stosowanych metod oceny gospodarki energetycznej zakładu przemysłowego prace sprowadzają się do wykonania energetycznych bilansów procesów technologicznych.

W omawianej metodzie bilanse energetyczne uzupełnia się bilansami masowymi oraz egzenergetycznymi nośników i procesów przemian. Podyktowane to było tym, iż jak wiadomo, bilanse energii obrazują rozływ energii zawartej w użytkowanych przez zakład nośnikach energii jedynie pod względem ilościowym, traktując wszystkie postacie energii równorzędnie. Nie odzwierciedlają tym samym zachodzących zmian jakości energii w poszczególnych fazach gospodarowania, w wyniku zmian parametrów fizycznych i chemicznej struktury nośników. Natomiast bilanse egzenergetyczne, w których uwzględnia się wpływ otoczenia na przebieg pro-

cesów, różnicują pod względem jakości poszczególne rodzaje przemian i nośniki energii, umożliwiając tym samym wykrycie i dokonanie oceny przyczyn zmniejszających doskonałość procesów. Dają więc informacje odnośnie możliwości ich poprawy.

Chcąc wyznaczyć jednostkowe koszty wykorzystania poszczególnych nośników energii, trzeba posłużyć się układem równań kosztów rocznych, liczba których jest równa liczbie rozpatrywanych procesów, zaś liczba niewiadomych jednostkowych kosztów wytwarzania jest równa liczbie wytwarzanych nośników energii, ale z reguły większa od liczby równań. Zaznaczyć należy, że koszty te zmieniają swą wartość przy każdej zmianie warunków odpowiadających fazom gospodarowania energią. Wynika stąd zasadniczy wniosek, że układ kosztów powinien odpowiadać układowi, w jakim zestawia się poszczególne rodzaje bilansów. Ponadto, dla pełniejszego obrazu struktury kosztów, dokonano umownego ich podziału na zmienne i stałe według następujących założeń:

- koszty zmienne obejmują zakup surowców i nośników energetycznych i zależą ściśle od wielkości produkcji,
- do kosztów umownie stałych zaliczono amortyzację, remonty i konserwację urządzeń, płace, utrzymanie ruchu i usługi obce.

Analiza strat energii w procesach technologicznych wskazuje na ich powiązanie z parametrami nośników oraz z zastosowanymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi urządzeń, a co za tym idzie - z kosztami poniesionymi na wybudowanie i utrzymanie tych urządzeń.

Stąd też w obliczeniach dokonano powiązania bilansu energii z zestawieniem kosztów umownie stałych. Podobne korelacje występują pomiędzy stratami energii a kosztami zakupionych surowców i nośników energetycznych, czyli konieczne i tu staje się powiązanie bilansu energetycznego z zestawieniem kosztów zmiennych.

Praktyczne wykonanie obliczeń jednostkowych kosztów wytwarzania nośników w poszczególnych punktach procesu produkcyjnego, przy spełnieniu wymienionych warunków, jest jednak w większości przypadków zadaniem dość złożonym z uwagi na liczne zaopłnienia. Konieczne było więc opracowanie układu tablic bilansowych umożliwiającego zastosowanie elektronicznych maszyn cyfrowych.

Tablice bilansowe i układ równań kosztów

Tablice opracowano na wzór znanych w ekonomii tablic przepływów międzygałęziowych (tablice Leontieffa). Wypełnia się je wynikami obliczeń wartości produkcji i zużycia nośników energii w poszczególnych procesach w okresie podlegającym bilansowaniu, np. jednego roku. W wiersze tablicy wpisuje się najpierw nośniki produkowane, pamiętając, aby kolejność tych nośników odpowiadała logicznie schematowi przepływu. Po wyczerpaniu listy nośników produkowanych, wpisuje się w dowolnej kolejności nośniki zakupywane z zewnątrz. Ponadto w tablicy wpisuje się odpowiednie wartości kosztów umownie stałych i zmiennych.

Tablice te są podstawą ułożenia układu równań kosztów, przy czym każdej kolumnie odpowiada jedno równanie wytwarzania. Zasadą jest, że globalny koszt nośnika lub nośników produkowanych w danym procesie równa się sumie kosztów nośników zużywanych oraz kosztu umownie stałego w tym procesie. Ponieważ koszty nośników, wytworzonych w jednych procesach, a zużywanych w innych, są również niewiadome, dochodzi się do układu równań, przy czym ilość ich odpowiada - jak już wspomniano - ilości procesów.

Dotychczasowa praktyka obliczeniowa wykazała, że jeśli liczba wytwarzanych nośników energii jest większa niż 6, obliczenia należy wykonywać za pomocą maszyn cyfrowych.

Metoda rozwiązywania układu równań

Przeprowadzone obliczenia wykonywano wyłącznie za pomocą maszyn cyfrowych, stosując program O13-IV-6 ST, oparty na metodzie Gaussa, z wyborem maksymalnego elementu [4].

Rozwiązanie układu równań liniowych typu:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1^1, b_1^2$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2^1, b_2^2$$

$$\dots$$

$$a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n^1, b_n^2$$

gdzie:

b_j^m - oznacza wyrażenie wolne,

m - ilość wariantów zestawów wyrazów wolnych przy tych samych lewych stronach równań,

sprowadza się do realizacji postępowania eliminacyjnego prostego i odwrotnego.

Wspomniany program opracowany jest dla elektronicznej maszyny cyfrowej "Odra 1013". Można go stosować do rozwiązywania układu równań, gdy $n \leq 56$ oraz $n + m \leq 64$ przy rozwiązywaniu bez sprawdzenia oraz $n \leq 51$ i $n + m \leq 64$ - przy rozwiązaniu ze sprawdzeniem (n - ilość równań, m - ilość kombinacji wyrazów wolnych).

Przykład

Poniżej przedstawiono tok obliczeń jednostkowych kosztów wytwarzania nośników energii na przykładzie procesu technologicznego elektrociepłowni przemysłowej pracującej w jednym z kombinatów chemicznych i wytwarzającej: energię elektryczną, parę technologiczną i wodę gorącą. Rozważany obiekt podzielono na 9 podprocesów technologicznych. Schemat przepływu nośników energii dla rozpatrywanego przykładu podano na rys. 1.

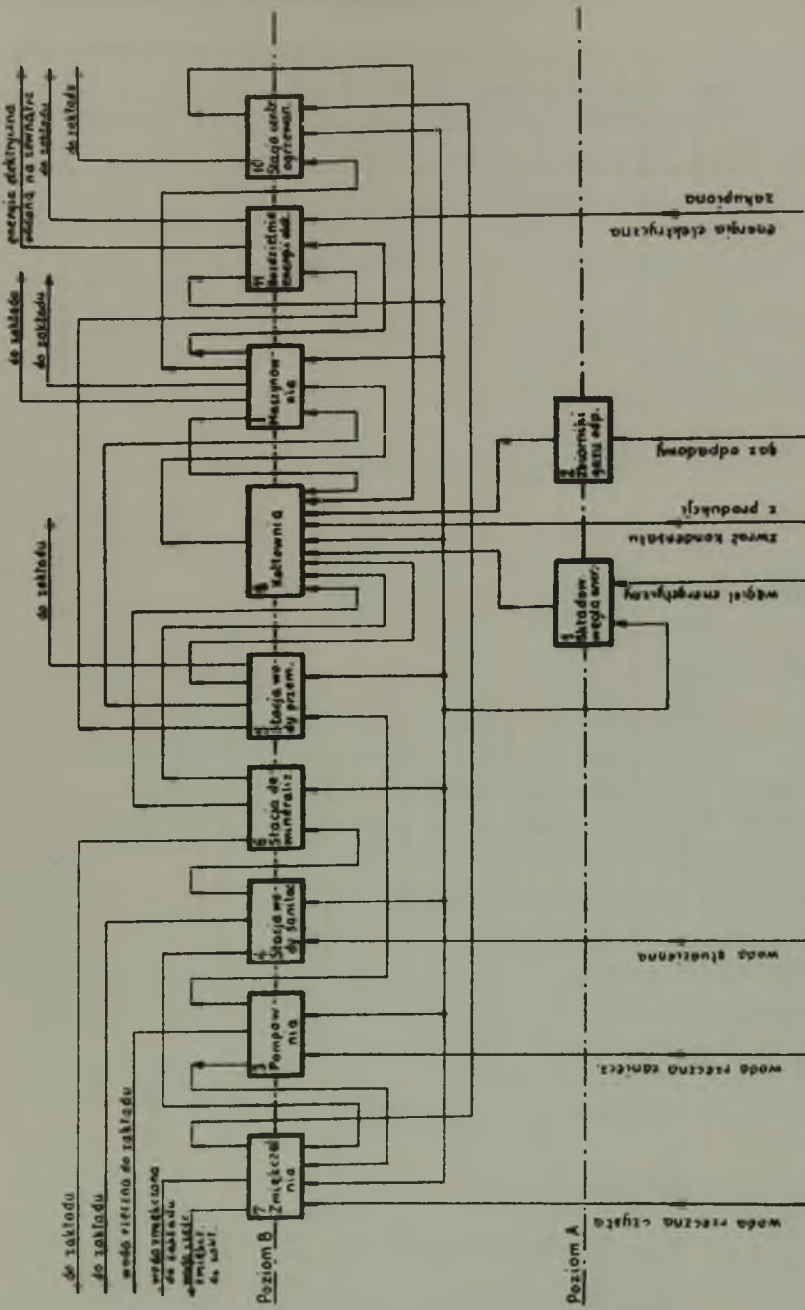
W procesie technologicznym bierze udział 25 nośników, w tym 7 zakupionych z zewnątrz. Całość wielkości bilansowych ujęto w tablicach bilansowych, z których jedną w zapisie ogólnym załączono poniżej (tabl. 1). Ułożony na jej podstawie układ równań posiada następującą postać:

$$1. \quad 18^{m_1} \cdot k_{18} + C_{24} + K_1 = M_1 \cdot k_1$$

$$2. \quad C_{25} + K_2 = M_2 \cdot k_2$$

$$3. \quad 18^{m_3} \cdot k_{18} + K_3 = M_3 \cdot k_3$$

$$4. \quad 18^{m_4} \cdot k_{18} + K_4 = M_4 \cdot k_4$$



Rys. 1. Schemat rozpiływu nośników energii w elektrowni przemy-
sławej

Tablica 1

Nośniki energii	Jednostka miary	Produkcja lub zakup z zewnątrz	POZIOMA		Wprowadzono do procesów przemysłowych	B O L O M								Kotłownia	Maszynownia	Stacja centralnego ogrzewania	Rozdział energia elektryczna	Oddano na zewnątrz
			1	2		3	4	5	6	7	8	9	10					
			Węgiel energetyczny	Zbiorniki gazu odpadowego		Stacja wody sanitacyjnej	Pompiwnia	Stacja wody przemysłowej	Stacja demineralizacji	Zmiękczenia								
1 Węgiel energetyczny		M ₁																
2 Gaz odpadowy		M ₂																
3 Woda z pompowni		M ₃																
4 Woda sanitarna		M ₄																
5 Woda przemysłowa		M ₅																
6 Woda zdemineralizowana		M ₆																
7 Woda popłuczna		M ₇																
8 Woda zmiękczona		M ₈																
9 Woda czysto zmiękczona		M ₉																
10 Para świeża		M ₁₀																
11 Para 15 atn		M ₁₁																
12 Para 6 atn		M ₁₂																
13 Para 1,5 atn		M ₁₃																
14 Energia elektryczna z maszyn		M ₁₄																
15 Woda zasilańca		M ₁₅																
16 Woda gorąca		M ₁₆																
17 Kondensat z c o		M ₁₇																
18 Energia elektryczna z rozdziału		M ₁₈																
19 Energia elektryczna		M ₁₉																
20 Woda rzeczna z wyjątkiem		M ₂₀																
21 Woda studzienna		M ₂₁																
22 Woda rzeczna zanieczyszczona		M ₂₂																
23 Zwrot kondensatu z prod.		M ₂₃																
24 Węgiel energetyczny		M ₂₄																
25 Gaz odpadowy		M ₂₅																
Opaltem zużyte energii																		
Koszty umowne stałe																		
			K ₁	K ₂		K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅

Tablica 2

Lp	Nazwa nośnika	Jedn.	Wartości kosztów		
			zmiennych	stałych	całkowitych
1.	węgiel energetycz.	zt/kg	0,193110	0,002824	0,195934
2.	gaz odpadowy	zt/Nm ³	0,280037	0,002860	0,282864
3.	woda z pompowni	zt/kg	0,000033	0,000028	0,000062
4.	woda sanitarna	"	0,000126	0,000418	0,000544
5.	woda przemysł.	"	0,000084	0,000218	0,000302
6.	woda zde-mineraliz.	"	0,000307	0,006511	0,006819
7.	woda popłuczna	"	0,000307	0,006511	0,006819
8.	woda zmiękczona	"	0,000081	0,001516	0,001597
9.	woda część zmiękczona	"	0,000081	0,001516	0,001597
10.	para świeża	"	0,036681	0,009412	0,046093
11.	para 15atn	"	0,037011	0,013250	0,050262
12.	para 6atn	"	0,030219	0,010819	0,041038
13.	para 1,5atn	"	0,023736	0,008497	0,032234
14.	energia elek z maszynow.	zt/kWh	0,123487	0,044208	0,167695
15.	woda zasilająca	zt/kg	0,005762	0,002063	0,007825
16.	woda gorąca	"	0,002962	0,001872	0,004835
17.	kondensat z c.o.	"	0,002043	0,001291	0,003334
18.	energia elek z rozdzielni	zt/kWh	0,189412	0,061158	0,250570

5. $3^m_5 \cdot k_3 + 18^m_5 \cdot k_{18} + K_5 = M_5 \cdot k_5$
6. $4^m_6 \cdot k_4 + 18^m_6 \cdot k_{18} + K_6 = (M_6 + M_7) \cdot k_{6-7}$
7. $18^m_7 \cdot k_{18} + 3^m_7 \cdot k_3 + 4^m_7 \cdot k_4 + K_7 = (M_8 + M_9) \cdot k_{8-9}$
8. $(6^m_8 + 7^m_8) \cdot k_{6-7} + 5^m_8 \cdot k_5 + 1^m_8 \cdot k_1 + 18^m_8 \cdot k_{18} +$
 $+ 15^m_8 \cdot k_{11-15} + 17^m_8 \cdot k_{16-17} + 2^m_8 \cdot k_2 + C_{23} + K_8 =$
 $= M_{10} \cdot k_{10}$
9. $5^m_9 \cdot k_5 + 10^m_9 \cdot k_{10} + 18^m_9 \cdot k_{18} + K_9 =$
 $= (M_{11} + M_{12} + M_{13} + M_{14} + M_{15}) \cdot k_{11-15}$
10. $13^m_{10} \cdot k_{11-15} + 18^m_{10} \cdot k_{18} + 8^m_{10} \cdot k_8 + K_{10} = M_{16} \cdot k_{16} +$
 $+ M_{17} \cdot k_{16-17}$
11. $5^m_{11} \cdot k_5 + 14^m_{11} \cdot k_{14} + C_{19} + K_{11} = M_{18} \cdot k_{18}$

Charakterystyczny jest fakt, że obliczone dla analizowanej elektrociepłowni proponowaną metodą koszty nośników od strony ich pozyskania (tabl. 2) różnią się, i to niekiedy dość znacznie, od kosztów obliczonych metodą tradycyjną, a w szczególności od tzw. kosztów uznaniowych. Najwyraźniej dostrzec to można w dziale gospodarki wodnej. Dla zobrazowania rzędu różnicowości porównano obliczone jednostkowe koszty całkowite egzerccji z kalkulowanymi w zakładzie kosztami wytwarzania brutto (tabl. 3).

Widoczne różnice, np. w przypadku wody zdemineralizowanej i wody popłucznej, są wynikiem przyjmowania w arkuszach kalkulacyjnych kosztu wody popłucznej jako pewnego procentu wody zdemineralizowanej. Natomiast wartości uzyskane z obliczeń omawianą metodą dla obu nośników są równe; jest to jednak prawidłowy wynik, gdyż zgodnie z ideą tej metody koszt pozyskania jednost-

Tablica 3

Nośniki energii	Jednostka	Jedn. koszt całk. egzergii	Kalkulowany koszt wytw. brutto
Woda sanitarna	zł/10 ³ t	544	689,55
Woda zdemine- raliz.	"	6819	7072,98
Woda popłuczna	"	6819	4949,00

ki energii w procesie przemiany wielocelowej jest jednakowy dla wszystkich nośników biorących udział w tym procesie. Również problem wyceny kosztu pary z maszynowni stosowanymi w praktyce metodami - w świetle wyników uzyskanych z obliczeń - może budzić wątpliwości. Przyjmuje się bowiem, że koszt tej pary jest niższy od kosztu pary uzyskiwanej bezpośrednio z kotłowni. Natomiast w obliczonym przykładzie uzyskano jednostkowy koszt egzergii pary upustowej wyższy od jednostkowego kosztu egzergii uzyskiwanej z kotłowni o około 15%, co można uznać za w pełni logiczne, gdyż para ta obciążona została kosztami stałymi i zmiennymi maszynowni. Podobnie przedstawia się sprawa ustalenia kosztów energii elektrycznej wyprodukowanej w maszynowni.

Uwagi końcowe

Założenia metody wyznaczania jednostkowych kosztów pozyskania energii i egzergii zawartej w nośnikach energii występujących w procesach przemysłowych opracowane zostały przez zespół pracowników Katedry Elektrowni Politechniki Śląskiej w latach 1962-1967. W następnych latach wykonano szereg ocen gospodarki energetycznej zakładów różnych branż, takich jak: huta surowcowa, kopalnia, zakłady chemiczne, koksownia i elektrociepłownia przemysłowa. Uzyskane wyniki przedstawiono na sympozjum zorganizowanym przez Katedrę i SITPH w listopadzie 1969 r.

Opierając się na doświadczeniach uzyskanych z prac i uwagach pracowników przemysłu, można stwierdzić, iż:

1. Przedstawiona metoda umożliwia w ramach technicznych możliwości obiektu obliczenie jednostkowych kosztów nośników dla dowolnej liczby założonych wielkości produkcji.
2. Dzięki obliczeniu globalnych kosztów prowadzenia procesów energii i egzergii nośników dla danych faz gospodarowania - można zlokalizować największe zawyżenia jednostkowych kosztów wytwarzania, a w konsekwencji - wskazać kierunki podejmowania niezbędnych prac celem poprawy jakości danego procesu, czy też zwiększenia oszczędności w gospodarce materiałowej itp.
3. Oparcie analizy o bilanse masowe, energetyczne i egzergetyczne, przy odpowiednim sformułowaniu kryterium podziału kosztu w procesie wielocelowym w gospodarce nierozdzielonej, rozszerza zakres stosowalności metody; obejmuje ona bowiem także obliczenia robocze i analizy wykonywane dotychczas przy dużym nakładzie pracy przez służby ekonomiczne przedsiębiorstw.
4. W zakładach o praktycznie niezmiennym schemacie technologicznym i określonych w miarę dokładnie, dla pewnego okresu perspektywicznego, zmianach produkcji, metoda niniejsza pozwala planować koszty roczne w tym okresie oraz analizować wpływ zmian wartości i struktury kosztów umownie stałych na jednostkowe koszty wytwarzania nośników.
5. Ze względu na uniwersalność, tablice bilansowe mogą być wykorzystane do bilansu pozyskania i przemian energii w ramach branży przemysłowej, a także w skali kraju, i służyć następnie do określenia optymalnych lokalizacji produkcji w poszczególnych zakładach.

LITERATURA

- [1] Nehrebecki L.: "Zasady oceny gospodarki" GPIE 1966/1.
- [2] Dobrzańska I.: "Wyznaczanie jednostkowych kosztów wytwarzania energii w zakładach przemysłowych" GPIE 1967/4.
- [3] Dobrzańska I., Kaszper J., Matczewski A., Nehrebecki L.: "Metodyka sporządzania bilansów paliwowo-energetycznych dla przemysłowych procesów przemian". Katedra, Elekrowni Politechniki Śląskiej Gliwice 1966.
- [4] Janiszewski K.: Koreferat do opracowania pt. "Metoda oceny gospodarki energetycznej zakładów przemysłowych" Konferencja SITPH listopad 1969.

НСННЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВА ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ТЕПЛОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Р е з ю м е

Обособлено пять балансных уровней, определяющих фазы энергохозяйства. Для этих уровней составлено таблицы, где столбцы соответствуют отдельным процессам, а графы всем посетителям. Получается система уровней, которая подлежит решению при помощи электронных счетных машин. Получаем удельные постоянные и переменные стоимости носителей в отдельных фазах технологического процесса.

Распределение стоимости носителей, изготовленных в сопряжении процесса, производится соответственно их энергии.

Описанный метод дает возможность вычислить однообразным способом большое число показателей для обеих групп, для промпредприятия любой отрасли. Следовательно он универсальный. Он дает тоже возможность наблюдения хода потока готовых значений энергии и сопряженного с ним потока готовых значений энергии и соответствующего потока готовых постоянных издержек.

В дальнейшей части представлено пример использования этого метода для тепловой электростанции.

NEW METHOD OF ASCERTAINING UNIT PRODUCTION COSTS
OF ENERGY CARRIERS, PRESENTED BY EXAMPLE
OF ANALYSIS AN INDUSTRIAL HEAT AND POWER GENERATING PLANT

S u m m a r y

By the method, analysis and estimation of energy economy in existing or subject to tron, as well as projected, industrial plants can be carried - out on the basis of available - energy (exergie) factors. Five stages were distinguished which correspond to five stages of energy control. The first and the second stages concerning conversion of energy, deal with energy control of the whole plant, while the remainder three stages are concerned with introduction of the particular kinds of energy to production processes.

Flow Balance Sheats for particular carriers were developed on the basis of which energy and exergie balances can be drawn, and energy carrier costs calculated for any point of a production process. Based on the tables, unit costs equations were given, suitable for solving by computer.

In the discussion of the method, an exemple of calculation of unit production costs of particular kinds of energy for industrial heat and power generating plant of a chemical combine was given.