

Andrzej ZIĘBIK, Marcin SZEGA, Henryk RUSINOWSKI
Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej

SYSTEMY KONTROLI BILANSÓW SUBSTANCJI I ENERGII W ELEKTROWNIACH I ELEKTROCIĘPŁOWNIACH

Streszczenie. W pracy przedstawiono algorytm komputerowego systemu kontroli bilansów substancji i energii w elektrociepłowni z wykorzystaniem rachunku wyrównawczego. Opracowany system daje możliwość korygowania wyników pomiarów oraz kontroli dotrzymania założonej dokładności pomiarów. Zamieszczono przykład obliczeniowy dla bloku ciepłowniczego elektrociepłowni zawodowej.

CONTROL SYSTEMS OF SUBSTANCE AND ENERGY BALANCES OF COMBINED HEAT-AND-POWER PLANTS

Summary. The paper presents algorithm of computer control system of substance and energy balances with application of least squares adjustment method for combined heat-and-power generating plants. In the control system of balances corrections of the measured values are determined. The calculated example concerning the heating block of combined heat-and-power generating plant has been presented.

1. Wprowadzenie

Współczesne układy pomiarowe oraz systemy akwizycji danych, w które są wyposażone maszyny i urządzenia energetyczne, stwarzają nowe możliwości dla komputerowych systemów kontroli eksploatacji elektrowni i elektrociepłowni, w porównaniu z metodami tradycyjnymi. Wyniki pomiarów są przetwarzane komputerowo przy użyciu odpowiednich modeli matematycznych w celu wyznaczenia wskaźników określających poziom eksploatacji urządzeń i maszyn energetycznych.

Podstawą modelu matematycznego systemu kontroli wskaźników eksploatacyjnych elektrociepłowni jest układ równań bilansowych kolektorów wodnych i parowych wraz z bilan-

sami kotłów i turbogeneratorów (łącznie z układami regeneracji). Wielkościami wejściowymi do systemu są pomiary eksploatacyjne. Wyniki tych pomiarów są obciążone nieuniknionymi błędami, które wynikają z niedoskonałości metod i przyrządów pomiarowych [1]. Błędy pomiarów przenoszą się na błędy wielkości obliczanych, które nie podlegają pomiarom. Skutkiem tego są niezgodności nadmiarowych, nie wykorzystanych w obliczeniach równań bilansów substancji i energii powodujących, że obliczone wskaźniki eksploatacyjne nie mogą być uznane za w pełni wiarygodne.

Nadmiar informacji daje możliwość korygowania wyników pomiarów. Uzyskuje się bowiem wtedy układ równań bilansowych zawierający więcej równań niż liczba poszukiwanych niewiadomych. Stanowi to warunek możliwości zastosowania rachunku wyrównawczego opartego na kryterium najmniejszych kwadratów zapewniającym maksimum funkcji wiarygodności w n -wymiarowej przestrzeni błędów, przy czym n jest liczbą wielkości mierzonych [2,3]. Zastosowanie rachunku wyrównawczego daje następujące korzyści:

- korektę wyników pomiarów,
- możliwość obliczenia najbardziej prawdopodobnych (najbardziej wiarygodnych) wartości wielkości nie mierzonych,
- kontrolę dotrzymania założonej dokładności pomiarów.

Dopiero po kontroli założonej dokładności pomiarów można przystąpić do obliczania eksploatacyjnych wskaźników techniczno-ekonomicznych wykorzystując skorygowane wielkości mierzone. Gwarantuje to wiarygodność kontroli poziomu eksploatacji elektrowni lub elektrociepłowni.

2. Algorytm uzgadniania bilansów substancji i energii

Działanie każdego urządzenia cieplnego, jak również sieci przesyłowych nośników energii (wody, pary) jest kontrolowane za pomocą pomiarów. Na podstawie wyników pomiarów sporządza się bilanse substancji (bilanse drobin w przypadku procesów fizycznych i bilanse pierwiastków w przypadku procesów chemicznych) oraz bilans energii. Służą one najczęściej do wyznaczenia wielkości nie mierzonych. Wyniki pomiarów i obliczeń bilansowych są następnie wykorzystywane do wyznaczenia sprawności energetycznej, strat energii oraz wskaźników techniczno-ekonomicznych w badanych procesach cieplnych. Stanowi to podstawę do oceny stanu technicznego urządzeń lub kontroli poprawności ich eksploatacji.

W technice cieplnej występuje najczęściej przypadek, że liczba wielkości nie mierzonych (niewiadomych) jest mniejsza od liczby równań bilansowych. Prowadzi to do sytuacji, że część równań bilansowych nie zostaje wykorzystana. Jeżeli do nadmiarowych równań bilansowych podstawia się wyniki pomiarów i wyniki obliczeń niewiadomych, otrzyma się w rezultacie niezgodność prawych i lewych stron równań bilansowych. Jest to wynikiem nieuniknionych błędów wielkości mierzonych i błędów obliczeń niewiadomych. Nadmiarowe równania bilansowe mogą być jednak wykorzystane do obliczenia poprawek do wielkości mierzonych i wstępnie obliczonych niewiadomych. Procedura wyznaczania tych poprawek bazująca na wykorzystaniu rachunku wyrównawczego nazywa się *uzgadnianiem bilansów substancji i energii* [2,3,4].

Algorytm uzgadniania tworzy przede wszystkim układ równań bilansów substancji i energii oraz równania sumy udziałów. Równania te nazywa się ogólnie *równaniami warunków* lub *równaniami więzów*. W klasycznej procedurze uzgadniania liczba równań warunków musi być większa od liczby niewiadomych. Przed przystąpieniem do uzgadniania należy odpowiednio przygotować układ równań warunków. Jeżeli równanie zawiera niewiadomą, która nie występuje w innych równaniach warunków, to równanie to nie może być włączone do uzgadniania. W następnym kroku należy sprawdzić wzajemną niezależność równań warunków. W celu udogodnienia praktycznego, z reguły nieliniowe równania warunków podlegają linearyzacji przez rozwinięcie w szereg Taylora [2]. Wówczas układ równań warunków przyjmuje postać [3]:

$$\Lambda : \sum_{i=1}^n a_{ki} v_i + \sum_{l=1}^u b_{kl} y_l = w_k \quad (1)$$

gdzie:

- a_{ki} - pochodna cząstkowa k-tego równania warunku podług i-tej wielkości mierzonej,
- v_i - poprawka i-tej wielkości mierzonej,
- b_{kl} - pochodna cząstkowa k-tego równania warunku podług l-tej niewiadomej,
- y_l - poprawka l-tej wstępnie wyznaczonej niewiadomej,
- w_k - niezgodność k-tego równania warunku,
- r - liczba równań warunków,
- n - liczba wielkości mierzonych,
- u - liczba niewiadomych.

Układ równań (1) zawiera więcej niewiadomych aniżeli liczba równań. Daje to możliwość narzucenia uwarunkowań na poszukiwane poprawki wielkości mierzonych. Najbardziej wiarygodne wartości poprawek v_i wynikają z maksimum funkcji wiarygodności sformułowanej w n -wymiarowej przestrzeni błędów. Sprowadza się to w klasycznej procedurze uzgadniania do warunku minimum ważonej sumy kwadratów poprawek v_i :

$$\sum_{i=1}^n m_i^{-2} v_i^2 = \min \quad (2)$$

gdzie m_i oznacza średni błąd bezwzględny i -tej wielkości mierzonej.

Relacja (2) stanowi ekstremum warunkowe. Równaniami więzów jest układ równań (1). Rozwiązanie uzyskuje się za pomocą metody nieoznaczonych czynników Lagrange'a. Wyznaczone poprawki v_i służą do kontroli założonej dokładności pomiarów. Jeżeli warunek:

$$|v_i| \leq 3|m_i| \quad (3)$$

jest spełniony dla wszystkich $i = 1, 2, \dots, n$, oznacza to, że założona dokładność pomiarów została dotrzymana.

Znana jest także uogólniona procedura uzgadniania [4], która opiera się na ocenie dokładności wstępnego oszacowania wielkości nie mierzonych. Wówczas warunek minimum ważonej sumy kwadratów poprawek obejmuje również poprawki wstępnie oszacowanych niewiadomych. Dodatkowe informacje wprowadzone przez wstępne oszacowanie niewiadomych wpływają na zwiększenie dokładności uzgadniania [6]. Dalsza analiza jest oparta na klasycznej metodzie uzgadniania.

3. Procedury systemu kontroli bilansów cieplnych elektrociepłowni z zastosowaniem rachunku wyrównawczego

W układzie cieplnym elektrociepłowni można w ogólnym przypadku wyróżnić następujące podukłady bilansowane:

- a) podukład wody uzdatnionej, w który włączone są zazwyczaj odgazowywacze niskoprężne,

- b) podukład kotłów parowych i ewentualnie wodnych,
- c) podukład turbin wraz z układem regeneracji nisko- i wysokoprężnej,
- d) podukład kolektorów par grzejnych i technologicznych,
- e) podukład wymienników ciepłowniczych.

Podukład wody uzdatnionej oraz rozplywu par technologicznych i ciepłowniczych sprowadza się często do układu równań warunków zadanych a priori w formie liniowej, nie zawierających niewiadomych. W tym przypadku dogodnie jest wykorzystać rachunek macierzowy dla zapisu algorytmu uzgadniania:

$$\mathbf{A}\dot{\mathbf{G}}=\mathbf{0} \quad (4)$$

$$\dot{\mathbf{G}}=\mathbf{L}+\mathbf{V} \quad (5)$$

$$\mathbf{V}^T\mathbf{M}^{-1}\mathbf{V}=\min \quad (6)$$

gdzie:

\mathbf{A} - macierz złożona z elementów 0, +1, -1,

$\dot{\mathbf{G}}$ - wektor strumieni czynników,

\mathbf{L} - wektor wyników pomiarów strumieni czynników,

\mathbf{V} - wektor poprawek zmierzonych strumieni czynników,

\mathbf{M} - macierz diagonalna kwadratów średnich błędów bezwzględnych pomiarów.

Z rozwiązania ekstremum warunkowe (6) przy warunku (4) można wyznaczyć wektor poprawek \mathbf{V} :

$$\mathbf{V}=-\mathbf{M}\mathbf{A}^T\left(\mathbf{A}\mathbf{M}\mathbf{A}^T\right)^{-1}\mathbf{A}\mathbf{L} \quad (7)$$

Macierz \mathbf{A} można szczególnie prosto utworzyć, jeżeli dysponuje się graficznym obrazem sieci. Można wówczas wykorzystać elementy teorii grafów. Macierz \mathbf{A} jest bowiem analogiczna jak macierz incydencji w teorii grafów.

Algorytm ogólny uzgadniania upraszcza się w przypadku jednego równania warunku bez niewiadomych. Metoda Lagrange'a sprowadza wówczas ekstremum warunkowe do rozwiązania ze względu na poprawki v_i ekstremum bezwarunkowego w postaci:

$$\sum_{i=1}^n m_i^{-2} v_i^2 + \lambda \left(\sum_{i=1}^n a_i v_i - w \right) = \min \quad (8)$$

gdzie λ - nieoznaczony czynnik Lagrange'a.

W przypadku kotłów parowych i wodnych algorytm uzgadniania stosuje się w postaci ogólnej (równania (1) i (2)). Układ równań warunków stanowią wówczas przede wszystkim równania nieliniowe bilansu pierwiastków C, S, H, O i N. Dokładny opis procedury uzgadniania znajduje się w [5]. W tej postaci jest on wprowadzony do pełnego algorytmu kontroli bilansu elektrociepłowni.

System kontroli bilansów układu ciepłownego turbiny wraz z układem regeneracji nisko- i wysokopięznej jest przedmiotem szczegółowej analizy. Dla tego przypadku opracowano zamieszczony w niniejszej pracy przykład obliczeniowy, oparty na danych z rzeczywistego obiektu jednej z krajowych elektrociepłowni.

Przykład systemu kontroli bilansu turbiny ciepłowniczej wraz z układem regeneracji i wymiennikami ciepłowniczymi

Na rys. 1 przedstawiono schemat układu turbiny upustowo-kondensacyjnej wraz z układem regeneracji i stacją wymienników ciepła. Wielkościami niewiadomymi poszukiwanymi z rozwiązania układu równań bilansowych podlegającym uzgadnianiu są strumienie par odprowadzanych do wymienników regeneracyjnych PNC2, PNC3, PWC4 i PWC5, do wymiennika ciepłowniczego oraz strumień pary wylotowej do skraplacza. Układ równań bilansowych (równań warunków) ma postać:

upust I i podgrzewacz PWC5

$$\dot{G}_4 - A_1 \dot{G}_{18} = 0 \quad (9)$$

upust II i podgrzewacz PWC4

$$\dot{G}_{5k} + A_2 \dot{G}_4 - A_3 \dot{G}_{18} = 0 \quad (10)$$

upust IV i podgrzewacz PNC3

$$\dot{G}_7 - A_4 \dot{G}_{14} = 0 \quad (11)$$

upust V i podgrzewacz PNC2

$$\dot{G}_{8p} + A_5 \dot{G}_7 - A_6 (\dot{G}_{14} - \dot{G}_{8c}) = 0 \quad (12)$$

wymiennik ciepłowniczy

$$\dot{G}_{8c} - A_7 \dot{G}_w = 0 \quad (13)$$

bilans substancji dla turbiny

$$\dot{G}_3 = \dot{G}_4 + \dot{G}_5 + \dot{G}_6 + \dot{G}_7 + \dot{G}_8 + \dot{G}_9 + \delta \dot{G}_d \quad (14)$$

bilans energii dla turbiny

$$\dot{G}_3 i_3 = \dot{G}_4 i_4 + \dot{G}_5 i_5 + \dot{G}_6 i_6 + \dot{G}_7 i_7 + \dot{G}_8 i_8 + \dot{G}_9 i_9 + \delta \dot{G}_d i_d + \frac{N_{el}}{\eta_{me}} \quad (15)$$

przy czym

$$\dot{G}_3 = \dot{G}_1 - \delta \dot{G}_z - \delta \dot{G}_{sm} \quad (16)$$

$$\dot{G}_5 = \dot{G}_{5p} + G_{5k} \quad (17)$$

$$\dot{G}_8 = \dot{G}_{8p} + \dot{G}_{8c} \quad (18)$$

gdzie:

$\dot{G}_1, \dot{G}_3, \dots, \dot{G}_9$ - strumienie pary zasilającej turbinę, par upustowych i pary wylotowej do skraplacza,

i_3, \dots, i_9 - entalpie właściwe par,

$\delta \dot{G}_d, i_d$ - strumień i entalpia pary z dławnic,

N_{el} - moc elektryczna turbozespołu,

η_{me} - sprawność elektromechaniczna turbozespołu,

$\delta \dot{G}_z, \delta \dot{G}_{sm}$ - strumień przecieków pary z zaworów i pary do smoczków,

$\dot{G}_{5p}, \dot{G}_{5k}$ - strumień pary 0,6 MPa do podgrzewacza regeneracyjnego i kolektora pary 0,6 MPa,

$\dot{G}_{8p}, \dot{G}_{8c}$ - strumień pary 0,25 MPa do podgrzewacza regeneracyjnego i wymiennika ciepłowniczego.

Wielkości pomocnicze A_1, \dots, A_7 zależne od parametrów pary i wody ujmują relacje:

$$A_1 = \frac{(1 + \zeta_r)(i_{19} - i_{17})}{i_4 - i_{20}}$$

$$A_2 = \frac{i_{20} - i_{18}}{i_5 - i_{18}}$$

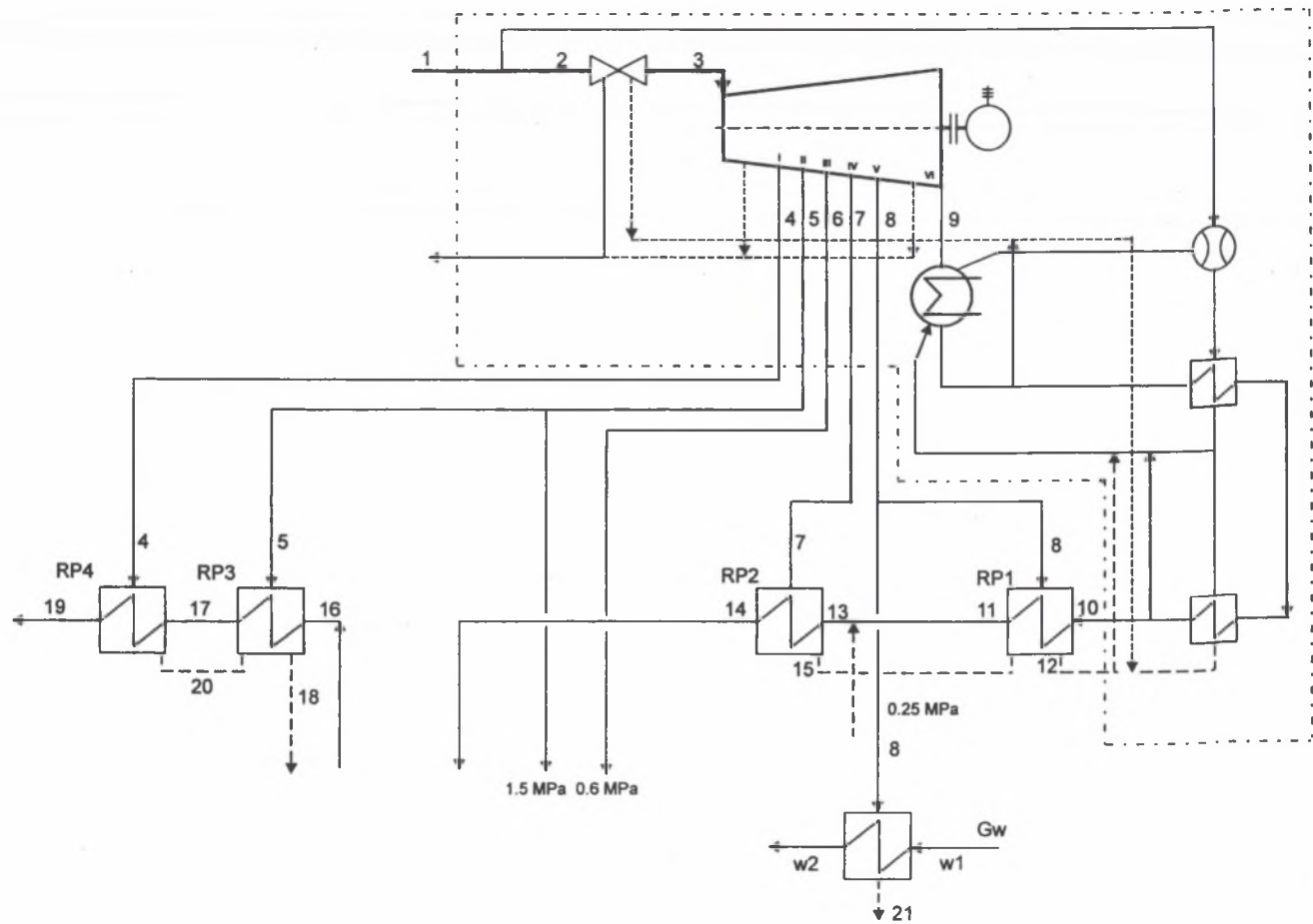
$$A_3 = \frac{(1 + \zeta_r)(i_{17} - i_{16})}{i_5 - i_{18}}$$

$$A_4 = \frac{(1 + \zeta_r)(i_{14} - i_{13})}{i_7 - i_{15}}$$

$$A_5 = \frac{i_{15} - i_{12}}{i_8 - i_{12}}$$

$$A_6 = \frac{(1 + \zeta_r)(i_{11} - i_{10})}{i_8 - i_{12}}$$

$$A_7 = \frac{(1 + \zeta_c)(i_{w2} - i_{w1})}{i_8 - i_{21}}$$



Rys.1. Schemat bilansowy turbiny z układem regeneracji oraz wymiennikiem ciepłowniczym
 Fig.1. Balance scheme of turbine with the regeneration system and heat exchanger

Tablica 1

Wyniki pomiarów i obliczeń z zastosowaniem uzgadniania bilansów substancji i energii

Wielkość mierzona	Symbol	Jednostka	Wynik przed uzgadnianiem	Wynik po uzgodnieniu	Błąd bezwzględny	Poprawka	Kontrola dokładności pomiaru
Para wysokoprężna	G1	t/h	164,0	166,7	1,64	2,748	*
Para z up. II do kolektora 1.5 MPa	G5c	t/h	1,0	1,0	0	0	
Para z up. III do kolektora 0.6 MPa	G6	t/h	0,0	0,0	0	0	
Kondensat powr. za wym. RP2	G14	t/h	141,0	140,9	1,41	-0,1136	
Woda zasilająca za RP4	G19	t/h	168,0	167,8	1,68	-0,1924	
Woda grzejna	Gw	t/h	1143,0	1103,7	57,15	-39,3025	
Moc elektryczna generatora	Nel	MW	40,0	40,0	0,04	-0,0059	
Entalpia pary do turbiny	h3	kJ/kg	3348,7	3376,2	13,0672	27,5273	**
Entalpia pary z upustu I	h4	kJ/kg	3175,9	3175,8	5,3962	-0,1039	
Entalpia pary z upustu II	h5	kJ/kg	2956,1	2955,6	7,1722	-0,4356	
Entalpia pary z upustu III	h6	kJ/kg	2829,3	2829,3	9,356	0	
Entalpia pary z upustu IV	h7	kJ/kg	2733,8	2732,1	12,5663	-1,6494	
Entalpia pary z upustu V	h8	kJ/kg	2588,3	2526,8	33,262	-61,5061	*
Entalpia pary wylotowej do skr.	h9	kJ/kg	2322,0	2234,2	36,3115	-87,7445	**
Entalpia kondensatu	h10	kJ/kg	175,8	176,0	4,1868	0,1767	
Entalpia kondensatu	h11	kJ/kg	360,2	360,0	4,1879	-0,1767	
Entalpia kondensatu	h13	kJ/kg	364,3	364,8	4,1879	0,4365	
Entalpia kondensatu	h14	kJ/kg	563,3	562,9	4,2037	-0,4398	
Entalpia wody zasilającej	h16	kJ/kg	662,4	663,2	4,2188	0,869	
Entalpia wody zasilającej	h17	kJ/kg	802,5	802,7	4,2458	0,2039	
Entalpia wody zasilającej	h19	kJ/kg	879,2	878,1	4,2678	-1,0953	
Entalpia skroplin	h12	kJ/kg	368,6	368,6	4,1889	-0,0394	
Entalpia skroplin	h15	kJ/kg	503,6	503,6	4,1967	-0,0127	
Entalpia skroplin	h18	kJ/kg	784,8	784,7	4,242	-0,0848	
Entalpia skroplin	h20	kJ/kg	874,7	874,7	4,267	-0,0069	
Entalpia skroplin	h21	kJ/kg	368,6	368,5	4,1889	-0,1087	
Entalpia wody grzejnej	hw1	kJ/kg	255,3	257,5	4,185	2,2139	
Entalpia wody grzejnej	hw2	kJ/kg	364,1	361,9	4,185	-2,2139	
Para do zaworów	dG1	t/h	1,5	1,5	0,0015	0	
Para do smoczków	dGe	t/h	0,5	0,5	0,0005	0	
Para z uszczelnień	dGp	t/h	2,5	2,5	0,0025	0	
Entalpia pary z uszczelnień	hp	kJ/kg	3000,0	2999,0	20	-0,9951	

Wielkości obliczane	Symbol	Jednostka	Wynik przed uzgadnianiem	Wynik po uzgodnieniu	Poprawka	Błąd bezwzględny
Para z up. I do wym. reg. RP4	G4	t/h	5,6	5,5	-0,101	0,4427
Para z up. IV do wym. reg. RP2	G7	t/h	12,6	12,5	-0,0563	0,4025
Para z up. V do wym. cieplown.	G8h	t/h	56,6	53,9	-2,6837	4,2202
Para z up. II do wym. reg. RP3	G5r	t/h	10,6	10,6	-0,0582	0,4865
Para z up. V do wym. reg. RP1	G8r	t/h	6,2	6,6	0,3761	0,4223
Para wylotowa do skraplacza	G9	t/h	66,9	72,1	5,2771	4,1298

gdzie:

ζ_r, ζ_c - względne straty ciepła z podgrzewaczy regeneracyjnych i z wymiennika ciepłowniczego,

i_{10}, \dots, i_{21} - entalpie właściwe wody zasilającej i kondensatu,

i_{w1}, i_{w2} - entalpie właściwe wody sieciowej.

W tablicy 1 zamieszczono wyniki pomiarów, wartości średnich błędów bezwzględnych oraz wyniki obliczeń poprawek wielkości mierzonych i wstępnie obliczonych niewiadomych. Ostatnia kolumna w tablicy 1 zawiera sygnalizację błędnego pomiaru. Brak gwiazdki oznacza, że poprawka nie przekracza średniego błędu bezwzględnego, zaś jedna gwiazdka informuje o jego przekroczeniu. Dwie gwiazdki sygnalizują o przekroczeniu podwojonego błędu, zaś trzy – o przekroczeniu potrojonego błędu średniego, co jest sygnałem, że w pomiarach popełniono błąd grubo.

Zamieszczone w tablicy 1 wyniki przeprowadzonych obliczeń kontrolnych bilansów substancji i energii turbozespołu wskazują na poprawność pomiarów eksploatacyjnych. W żadnym przypadku poprawka wielkości mierzonej nie przekracza potrojonej wartości średniego błędu bezwzględnego. Założona dokładność pomiarów została więc dotrzymana. Skorygowane wyniki pomiarów i wstępnie obliczonych niewiadomych mogą być zastosowane do obliczeń technicznych wskaźników eksploatacyjnych.

4. Wnioski

Systemy kontroli eksploatacyjnej elektrociepłowni, jak również elektrowni, są oparte na pomiarach cieplnych i bilansach substancji oraz energii. Ze względu na nieuniknione błędy pomiarów obliczone na tej podstawie wskaźniki eksploatacyjne nie są w pełni wiarygodne.

W celu zwiększenia wiarygodności systemów kontroli eksploatacji elektrociepłowni i elektrowni zaproponowano włączenie do algorytmu obliczeń procedury uzgadniania bilansów substancji i energii w celu korekty wielkości mierzonych i wstępnie obliczonych niewiadomych. Warunkiem włączenia procedury uzgadniania jest nadmiar równań bilansowych ponad liczbę poszukiwanych niewiadomych. Procedura uzgadniania oparta jest na kryterium maksymalizacji funkcji wiarygodności w rozpatrywanej przestrzeni błędów.

System kontroli bilansów substancji i energii z zastosowaniem uzgadniania umożliwia sygnalizację dotrzymania założonej dokładności pomiarów. Przekroczenie błędu maksymalnego jest sygnalizowane odpowiednim komentarzem (potrójną gwiazdką). Tylko wyniki pomiarów spełniające kryterium założonej dokładności mogą być wykorzystane do obliczeń technicznych wskaźników eksploatacyjnych.

Jeżeli występuje przypadek przekroczenia błędu maksymalnego, wskazuje to na konieczność kontroli metody pomiarowej, przyrządu pomiarowego lub sposobu obsługi tego przyrządu. Po wyeliminowaniu przyczyny błędu grubego zwykle pomiary należy powtórzyć.

Dzięki rachunkowi wyrównawczemu istnieje możliwość uratowania już wykonanych pomiarów, w których wykryto błąd grubo. Jeżeli dysponuje się odpowiednio dużą nadwyżką równań ponad liczbę niewiadomych, można przyjąć wielkość zmierzoną z błędem grubym jako niewiadomą i powtórzyć jedynie uzgadnianie.

LITERATURA

1. Brandt S.: *Statistical and Computational Methods in Data Analysis*. North Holland Publishing Company, Amsterdam, London 1970.
2. Szargut J., Kolenda Z.: *Theory of Coordination of Material and Energy Balances in Metallurgical Chemical Processes*. Archives of Metallurgy, 1968, vol. 12, nr 2.
3. Szargut J. i in.: *Rachunek wyrównawczy w technice cieplnej*. PAN-Ossolineum, Wrocław 1984.
4. Szargut J., Kolenda Z., Styrylska T.: *Justification of Measurement Results in Thermal Technology*. Proceedings of ECOS'96, Stockholm 1996.
5. Szargut J., Rusinowski H.: *Justification of Measurement Results of Combustion Processes*. Proceedings of ECOS'96, Stockholm 1996.
6. Szargut J., Ziębik A.: *Podstawy energetyki cieplnej*. PWN, Warszawa 1998.
7. Ziębik A., Szega M., Rusinowski H., Stanek W. i in.: *System kontroli bilansów substancji i energii elektrociepłowni z zastosowaniem rachunku wyrównawczego (na przykładzie Elektrociepłowni ZA Puławy)*. Materiały konferencji „Problemy badawcze energetyki cieplnej”, Warszawa 1996.

Abstract

In combined heat-and-power plants, similarly as in power stations, commonly systems of monitoring and automatic acquisition of measuring data are applied. Next these data are processed by a computer applying adequate mathematical models in order to determine the indices expressing the level of exploitation of the energy machines and equipment.

The bases of the mathematical model of controlling the exploitation indices of the heat-and-power station are a set of balance equations of substances and energy of the water and steam collectors together with the balances of the boilers and turbines (including the regeneration systems). The input data are the result of exploitation measurements. The mathematical model of controlling the exploitation indices suggested in this paper differs from conventionally applied models by the fact that it contains the condition of obtaining a surplus of measurement data. This surplus of information makes it possible to check the pre-set accuracy of measurements. In this way we get a set of balance equations containing more equations than the numbers of unknown values. Only then the least squares adjustment method may be applied. Due to measurement errors equations without unknown values do not prove true (that means the left-hand side of the equation differs from the right-hand side). Only the application of the least squares adjustment method leads to an agreement of the balance equations and consequently to a higher credibility of the calculated technical and economical indices.

In the control system of balances using the least squares adjustment method corrections of the measured values are determined. If the correction does not exceed the maximum error, the result of exploitation measurements may be considered to be correct and the obtained corrected values as a credible basis for further analysis. The control signals the situation when the correction exceeds the maximum error. Such a case must be eliminated by improving the measurements conditions.