

WŁADYSŁAW NOWAK
ALEKSANDRA BORSUKIEWICZ-GOZDUR*
ROKSANA MAZUREK

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Katedra Techniki Ciepłej
Szczecin

Energetyczna ocena efektywności pracy elektrociepłowni gazowo-parowej z organicznym układem binarnym

Przedstawiono analizę porównawczą efektywności wykorzystania spalin odlotowych turbiny gazowej do zasilania kilku różnych układów parowych z wykorzystaniem substancji organicznych jako czynników obiegowych. Przeanalizowano jednoobiegową elektrociepłownię parową, pracującą z wodą sieciową jako medium roboczym oraz jej sprzężenie cieplne za pomocą wymiennika typu skraplacz-parowacz z organicznym układem binarnym, w którym obieg górny zasilany jest wodą z elektrociepłowni, zaś w obiegach układu binarnego krążą odpowiednio dobrane czynniki organiczne. Opisano pracę oraz omówiono algorytm i wyniki obliczeń dla czynników organicznych, których zastosowanie pozwala na uzyskanie najlepszych efektów poprawy pracy elektrociepłowni gazowo-parowej współpracującej z układem binarnym, w odniesieniu do elektrociepłowni gazowo-parowej z jednoobiegowym układem parowym.

1 Wprowadzenie

W Katedrze Techniki Ciepłej Politechniki Szczecińskiej wykonano kompleksową analizę porównawczą efektywności wykorzystania odpadowego nośnika ciepła w postaci spalin odlotowych turbiny gazowej do zasilania kilku różnych układów parowych przy wykorzystaniu substancji organicznych jako czynników obiegowych. Przeprowadzone badania dotyczyły możliwości podwyższenia efektywności pracy elektrociepłowni parowej wodnej poprzez sprzężenie jej cieplnie z układem binarnym za pomocą wymiennika typu skraplacz-parowacz. Siłownia górna

*E-mail: aborsukiewicz@zut.edu.pl

układu binarnego zasilana jest wodą z elektrociepłowni natomiast czynnikami obiegowymi, w obydwu obiegach siłowni binarnej są substancje organiczne.

Zastosowanie organicznej układy binarnego, w którym obieg dolny sprzężono cieplnie z obiegiem środkowym, pozwala na zwiększenie wykorzystania odpadowego nośnika ciepła w odniesieniu do jednoczynnikowej siłowni parowej, pod kątem zmniejszenia strumienia ciepła odprowadzanego do dolnego źródła ciepła, co korzystnie wpływa na poprawę sprawności pracy, powstałej w wyniku tego sprzężenia instalacji trinarnej. Uzyskanie tego rodzaju efektów energetycznych jest możliwe dzięki zmniejszeniu strumienia czynnika organicznego obiegu dolnego.

Korzystne efekty uzyskane w wyniku połączenia organicznej siłowni binarnej z siłownią parową w elektrociepłowniach lub elektrowniach zachęciły do przeprowadzenia badań dotyczących możliwości wykorzystania tego typu rozwiązań w istniejących elektrociepłowniach z zainstalowanym blokiem gazowo-parowym i regeneracją ciepła w celu zwiększenia efektywności ich pracy. Podstawę badań stanowiła instalacja elektrociepłowni z zainstalowanym blokiem gazowo-parowym z jednoobiegową siłownią parową.

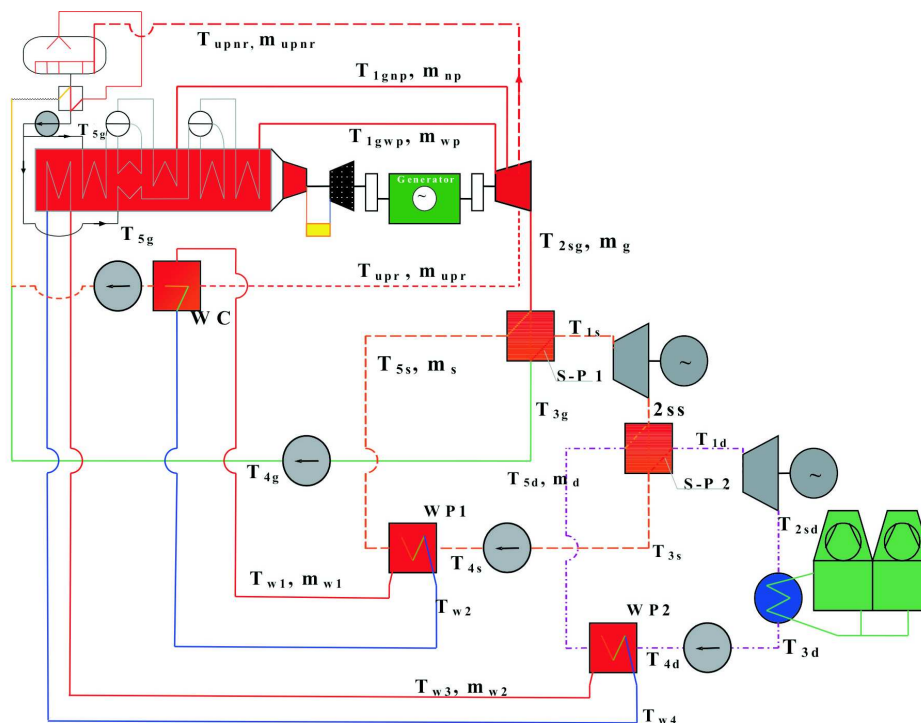
2 Elektrociepłownia gazowo-parowa pracująca z organiczną siłownią binarną

W celu wykonania analizy porównawczej efektywności pracy trinarnej siłowni gazowo-parowej, będącej wynikiem zastąpienia jednoobiegowej instalacji parowej organiczną siłownią binarną, przeprowadzono obliczenia cieplno-przepływowe dla obu typów rozwiązań siłowni, pozwalających na uzyskanie kalorycznych i termicznych parametrów ich pracy, umożliwiających porównanie obu rodzajów instalacji. Obliczenia wykonano przy założeniach, że siłownie pracują według obiegu Clausiusa-Rankine'a oraz przy porównywalnych wielkościach doprowadzanego strumienia ciepła i w porównywalnych warunkach odprowadzania ciepła. Analizie poddano kilka rodzajów instalacji odbioru energii, z zainstalowanym blokiem gazowo-parowym, złożonym z turbiny gazowej, kotła odzysknicowego i turbin parowych, w których jako czynniki robocze zastosowano wodę lub odpowiednio dobrane substancje organiczne. Przykładowy schemat elektrociepłowni gazowo-parowej współpracującej z organiczną siłownią binarną zilustrowano na rys.1

We wszystkich rozwiązaniach elektrociepłowni gazowo-parowej sprzężonej z organiczną siłownią binarną (wariant A, B, C) zastosowano dziewięć połączeń odpowiednio dobranych substancji organicznych, jak:

1. toluen+benzen,
2. R141b+izobutan,
3. heksan+benzen,
4. cisbuten+metanol,
5. R245ca+heksan,
6. cykloheksan+metanol,
7. cis-buten+toluen,
8. R245ca+benzen,
9. R141b+metanol.

Wszystkie warianty siłowni trinarnej, zilustrowanej na rys.1, oparto na jednym rozwiązaniu układu trójczynnika, w którym siłownię górną, pracującą z wodą jako czynnikiem obiegowym, sprzężono cieplnie z siłownią środkową, pracującą z czynnikiem organicznym, za pomocą wymiennika typu skraplacz-parowacz (S-P1), w którym para wypływająca z turbiny o temperaturze T_{2sg} i strumieniu \dot{m}_g skraplając się, przekazuje strumień ciepła (\dot{Q}_{S-P1}^{g-s}) do odparowania czynnika środkowego obiegu, a następnie jest kierowana do kotła odzysknicowego.



Rysunek 1. Schemat elektrociepłowni gazowo-parowej pracującej z organiczną siłownią binarną (siłownia trinarne)

Po odparowaniu w wymienniku typu (S-P1) i rozprężeniu w turbinie parowej do stanu T_{2ss} , czynnik środkowego obiegu o strumieniu \dot{m}_s , płynie do drugiego wymiennika typu skraplacz-parowacz (S-P2), będącego sprzężeniem cieplnym środ-

kowego i dolnego obiegu C-R. Ulegający skraplaniu w tym wymienniku czynnik środkowego obiegu oddaje odpowiedni strumień ciepła (\dot{Q}_{S-P2}^{s-d}) do odparowania czynnika (\dot{m}_d) dolnego obiegu. Po skropleniu czynnik siłowni środkowej jest kierowany do przeciwprądowego wymiennika ciepła (WP1) – gdzie pobierając ciepło od wody zasilającej (T_{wz1}), ogrzanej w wymienniku ciepłowniczym (WC) zasilanym parą pobieraną z regulowanego upustu turbiny (T_{upr}), jest podgrzewany od temperatury T_{4s} do T_{5s} – a stąd kierowany do wymiennika S-P1. Czynnik dolnego obiegu po odparowaniu w wymienniku S-P2 i rozprężeniu w turbinie do stanu T_{2sd} oddaje w skraplaczu ciepło do otoczenia, skąd za pomocą pompy jest transportowany do drugiego wymiennika przeciwprądowego (WP2), w którym odbierając ciepło od wody (T_{wz4}) jest podgrzewany do temperatury T_{5d} i ponownie odparowany w wymienniku S-P2.

3 Założenia do obliczeń i analizy

Analizę oparto na założeniach, że oba rodzaje instalacji są zasilane parą produkowaną w kotle odzysknicowym na dwóch poziomach ciśnień: parą o wysokim ciśnieniu 9,1 MPa i temperaturze 540 °C oraz parą o niskim ciśnieniu 0,6 MPa i temperaturze 219 °C. Przyjęto również jednakową temperaturę wody wypływającej z drugiego wymiennika przeciwprądowego (WP2), równą $T_{w5} = 45$ °C, gdyż jej wielkość zależy od temperatury kondensatu $T_{3d} = 42$ °C wypływającego ze skraplacza chłodzonego za pomocą chłodni wentylatorowej. W wariantach A, B i C instalacji założono różne wartości temperatur odparowania czynników organicznych środkowego i dolnego obiegu (T_1) siłowni trinarnej równe odpowiednio:

$$\text{A: } T_{1s} = 130 \text{ °C, } T_{1d} = 63 \text{ °C;}$$

$$\text{B: } T_{1s} = 130 \text{ °C, } T_{1d} = 107 \text{ °C;}$$

$$\text{C: } T_{1s} = 146 \text{ °C, } T_{1d} = 88 \text{ °C.}$$

4 Algorytm obliczeń

W badaniach porównawczych efektywności pracy rozpatrywanych siłowni, głównym elementem analizy było obliczenie wielkości sprawności oraz strumienia ciepła odprowadzonego do dolnego źródła ciepła z jednoczynnikowego jak i trinarne-go obiegu Clausiusa-Rankine'a z wodą i odpowiednimi połączeniami czynników organicznych. Badania przeprowadzono dla każdego wariantu siłowni, wynikającego z założonych sposobów zasilania obiegu siłowni binarnej i przyjętych wartości temperatur odparowania substancji organicznych oraz rodzaju połącze-

nia czynników wymieniających ciepło w sprzężonych obiegach C-R. Algorytm obliczeń został przedstawiony w pracy [2].

5 Wyniki obliczeń

Najkorzystniejszy wyniki, pod względem poprawy efektywności pracy, uzyskano dla wariantu C siłowni trinarnej. Przykładowe wyniki obliczeń dla tego wariantu przedstawiono w tab. 1. Wyniki obliczeń dla pozostałych wariantów dostępne są w pracy [2].

Tabela 1. Wyniki obliczeń dla najkorzystniejszych połączeń czynników organicznych siłowni trinarnej

Obieg C-R		Jednoczynnikowy	Górny	Środkowy	Dolny	Trinarny (G+Ś+D)
Parametr		woda	woda	cykloheksan	metanol	1)
Q_d	[MW]	86,8	11,40	11,40	3,81	63,12
Q_{S-P1}	[MW]		26,33	26,33		
Q_{S-P2}^{s-d}	[MW]		30,65	30,65	30,65	
Q_w	[MW]	54,7			30,28	30,28
N_{C-R}	[MW]	32,1	7,09	7,09	4,17	32,83
η_{C-R}	[%]	37,02	18,8	18,8	12,1	52,0
		woda	woda	toluen	benzen	2)
Q_d	[MW]	86,8	47,9	89,24	6,38	63,21
Q_{S-P1}	[MW]		26,33	26,33		
Q_{S-P2}^{s-d}	[MW]			29,41	29,41	
Q_w	[MW]	54,7			31,61	31,61
N_{C-R}	[MW]	32,1	21,58	5,84	4,19	31,61
η_{C-R}	[%]	37,02	45,04	16,57	11,7	50,0
		woda	woda	heksan	benzen	3)
Q_d	[MW]	86,8	47,9	15,23	7,05	70,19
Q_{S-P1}	[MW]		26,33	26,33		
Q_{S-P2}^{s-d}	[MW]			32,47	32,47	
Q_w	[MW]	54,7			34,9	34,9
N_{C-R}	[MW]	32,1	21,58	9,09	4,62	35,29
η_{C-R}	[%]	37,02	45,04	21,9	11,7	50,3

6 Analiza wyników i wnioski końcowe

Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń stwierdzono, że najkorzystniejsze efekty poprawy pracy instalacji trinarnej można uzyskać dzięki zastosowaniu połączeń substancji organicznych przedstawionych w tab. 1. Wykorzystanie tych substancji pozwala uzyskać większe sprawności siłowni trinarnej na tle pozostałych czynników oraz dzięki jednoczesnemu wprowadzeniu dodatkowego obiegu dolnego umożliwia wyraźne zmniejszenie strumienia ciepła odprowadzonego do dolnego źródła ciepła, co wpływa na wyraźne zwiększenie efektywności pracy instalacji trinarnej w stosunku do rozwiązań elektrociepłowni z jednoczynnikową siłownią parową oraz umożliwia bardziej racjonalne wykorzystanie odpadowego nośnika ciepła w postaci spalin odlotowych turbiny gazowej.

Praca wpłynęła do redakcji w sierpniu 2008 r.

Literatura

- [1] www.rzeszow.ec.pl
- [2] Mazurek R.: *Ocena efektywności pracy zespołu turbiny gazowej zasilającej jednoobiegową siłownię parową lub siłownię trinarą (z trzema obiegami) pracujących w porównywalnych warunkach*. Praca magisterska, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2007.

Assessment of energy effectiveness of a combined gas-steam heat and power plant with an organic binary cycle

S u m m a r y

In the paper, a comparative effectiveness analysis of using gas turbine exhaust gases for powering a few different vapour cycles with organic substances as working fluids is presented. The analysis concerns the combined heat and power plant, in which water is used as a working medium and the thermal coupling of this cycle with an organic binary cycle by using condenser-evaporator type of heat exchanger is considered. In this solution, the upper cycle is supplied by water from a combined heat and power plant, whereas in binary cycles appropriately selected organic substances circulate. In the paper, the operation of the combined heat and power plant is described and an algorithm as well as the results of calculations are presented for such organic fluids which enable obtaining the best effects of improving the operation of the gas-steam combined heat and power plant with a binary cycle, with references to the gas-steam combined heat and power plant with one steam cycle.