

Joachim KOZIOŁ, Wiesław GAZDA

CHARAKTERYSTYKA ENERGETYCZNA AMONIAKALNEJ ZIĘBIARKI ABSORPCYJNEJ

Streszczenie. Przedstawiono wyniki obliczeń uzyskanych na podstawie modelu matematycznego amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej przeznaczonej do wykorzystania energii odpadowej. Określono wpływ wahań parametrów eksploatacyjnych w urządzeniu technologicznym (źródle energii odpadowej) na warunki pracy ziębiarki.

ENERGY CHARACTERISTIC OF THE AMMONIA ABSORPTION REFRIGERATOR

Summary. In the paper the results of calculations obtained using mathematical model of the ammonia absorption refrigerator predestinated for utilization of waste energy are presented. The effect of fluctuation of operation parameters in technology installation being the source of waste energy on the ammonia absorption refrigerator action conditions is simulated.

ENERGETISCHE KENNENGLEICHUNG EINER AMMONIAK - ABSORPTIONS - KÄLTEANLAGE

Zusammenfassung. Die auf Basis des mathematischen Modells einer Ammoniak - Absorption - Kälteanlage erhalten Berechnungsergebnisse wurden vorgestellt. Einfluß der Schwankungen der Betriebsparametern auf Arbeitseffekte wurden analysiert.

1. WSTĘP

Amoniakalna ziębiarka absorpcyjna może być wykorzystywana w układach do utylizacji średnio- i niskotemperaturowej energii odpadowej [1 + 9]. Średnio- i niskotemperaturowa energia odpadowa pozostająca do dyspozycji jako źródło napędu np. amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej charakteryzuje się zmiennością parametrów eksploatacyjnych [8]. W związku z tym należy dysponować odpowiednim narzędziem umożliwiającym określenie wpływu

zmienności parametrów na efekty użyteczne ziębienia. Korzystnie jest do tego celu zastosować model matematyczny przystosowany do obliczeń komputerowych.

W pracy [10] przedstawiono model matematyczny ziębiarki absorpcyjnej określany przez równania przepływu ciepła, równania bilansu energii poszczególnych elementów układu ziębiarki oraz zależności opisujące właściwości roztworu roboczego amoniakalnej lub bromolitowej ziębiarki absorpcyjnej przy stałych parametrach eksploatacyjnych i zmiennych parametrach konstrukcyjnych.

Model matematyczny służący do symulacji komputerowej pracy systemów sorpcyjnych jako całości (głównie dla celów poznawczych procesów i obiegów sorpcyjnych) oraz poszczególnych elementów tych systemów został obszernie omówiony w [11, 12]. Została tam ponadto podana metoda optymalizacji a priori (tzn. w czasie ich projektowania) obiektów na przykładzie urządzeń sorpcyjnych. Przykładową optymalizację przeprowadzono dla amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej o wydajności ziębniczej $\dot{Q}_p = 100$ kW. Funkcja celu miała charakter techniczno-ekonomiczny. Zastosowany model jest modelem statycznym, tzn. dotyczy stałych parametrów eksploatacyjnych.

Model matematyczny grzejno-ziębniczego urządzenia absorpcyjnego z wodnym roztworem bromku litu przedstawiono w [13]. Schemat ideowy urządzenia zastąpiono schematem strukturalnym opisanym zależnościami analitycznymi. Zależności te uzupełnione ograniczeniami wynikającymi z zasad działania obiegu oraz zależnościami określającymi właściwości wodnego roztworu bromku litu tworzą model. Został on przystosowany do badań wpływu parametrów eksploatacyjnych i konstrukcyjnych na efekty działania ziębiarki. W szczególności model pozwala na określenie możliwej do uzyskania temperatury skraplania w zależności od temperatury parowania oraz temperatury wody ogrzewającej wężownicę i chłodzącej absorber. Analogiczny model opracowano w [14].

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki uzyskane z obliczeń numerycznych przeprowadzonych na podstawie opracowanego modelu matematycznego amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej przystosowanej do utylizacji energii odpadowej [15].

Struktura modelu jest analogiczna do podanej w [11] z uwzględnieniem ograniczeń podanych w [13]. Celem modelu było określenie charakterystyki energetycznej ziębiarki absorpcyjnej.

Charakterystyka określa wpływ warunków eksploatacji urządzenia energetycznego na uzyskiwane dzięki niemu efekty użyteczne. W przypadku ziębiarki absorpcyjnej przystosowanej do wykorzystania energii odpadowej parametrami eksploatacyjnymi są głównie: temperatura wody doprowadzonej do wężownicy oraz temperatura otoczenia. Temperatura wody ogrzewającej wężownicę wynika z procesu technologicznego (źródła energii odpadowej). Temperatura

otoczenia determinuje zazwyczaj warunki chłodzenia skraplacza, absorbera, deflegmatora oraz ma wpływ na temperaturę ziębnika (wody lub solanki) przepływającego przez parowacz.

2. CHARAKTERYSTYKA AMONIAKALNEJ ZIĘBIARKI ABSORPCYJNEJ

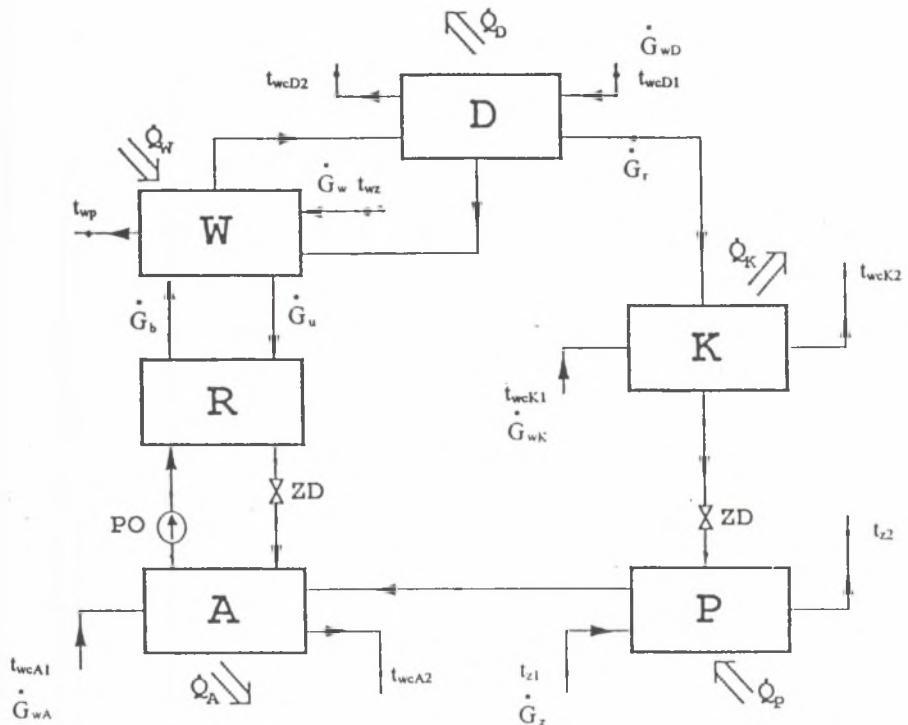
2.1. Przyjęte założenia i ich dyskusja

W Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej w Gliwicach opracowano model matematyczny amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej zasilanej gorącą wodą podgrzewaną w kotle odzyskowym współpracującym z piecem przemysłowym. W czasie przeprowadzonych rozważań przyjęto następujące założenia:

1. obieg ziębiarki jest jednostopniowy,
2. poszczególne elementy ziębiarki (rys. 1), w których zachodzi wymiana ciepła, traktuje się jako przeciwprądowe wymienniki ciepła,
3. współczynnik przenikania ciepła w warniku jest stały, w absorberze i skraplaczu jest zależny od strumienia wody chłodzącej, w parowaczu zaś od strumienia przepływającego czynnika ziębnionego tzw. ziębnika,
4. czynnik roboczy opuszcza deflegmator jako para nasycona sucha ($x = 1$) czystego czynnika roboczego,
5. czynnik roboczy opuszcza skraplacz jako ciecz w stanie nasycenia,
6. maksymalna temperatura par czynnika roboczego oraz minimalna temperatura roztworu bogatego są stałe i niezależne od warunków eksploatacyjnych,
7. temperatura wody chłodzącej jest wyższa o 3 K od temperatury mokrego termometru, wynikającej ze względnej wilgotności powietrza i temperatury otoczenia (przyjęto względną wilgotność $\varphi = 60 \%$),
8. temperatura ziębnika doprowadzonego do parowacza jest proporcjonalna do temperatury otoczenia,
9. pomija się opory przepływu czynników w rurociągach i aparatach z wyjątkiem oporu między warnikiem i absorberem,
10. rozpatruje się wielowariantowe, ale ustalone przypadki pracy ziębiarki,
11. w poszczególnych wymiennikach ciepła pomija się straty ciepła do otoczenia.

Obieg jednostopniowy (zał. 1) jest najczęściej stosowanym obiegiem ziębiarek absorpcyjnych stosowanych do wykorzystania energii odpadowej. Ponieważ w elementach ziębiarki (poza rekuperatorem) zachodzą przemiany fazowe, przyjęcie sposobu przepływu czynników (zał. 2) nie odgrywa tak ważnej roli. Z wyżej podanych przyczyn istotne znaczenie ze względu na opory przepływu ciepła mają współczynniki wnikania ciepła po stronie wody chłodzącej (w skraplaczu i absorberze), ziębnika w parowaczu. Przy jakościowej

organizacji obciążenia warnika (tzn. przy stałym strumieniu wody grzejnej) można przyjąć (zał. 3), że występująca w nim wartość współczynnika przenikania ma wartość stałą. Różnicować powinno się natomiast współczynnik przenikania ciepła w strefie podgrzewania i odparowania roztworu w warniku.



Rys. 1. Schemat amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej: A – absorber, D – deflegmator, K – kondensator, P – parowacz, PO – pompa, R – rekuperator, W – warnik, ZD – zawór dławiący, Q_W – strumień ciepła napędowego (użyłowanego ciepła odpadowego), Q_A , Q_D , Q_K – strumień ciepła odprowadzonego z absorbera, deflegmatora i skraplacza, Q_P – wydajność ziębnicza

Fig. 1. The scheme of ammonia absorption refrigerator: A – absorber, D – rectifier (partial condenser), K – condenser, P – evapenator, PO – pump, R – recuperator, W – generator, ZD – exansion value, Q_W – driving heat flux (utylised wasted heat), Q_A , Q_D , Q_K – rejected heat flux, Q_P – cooling capacity

Założenie 4 stanowi istotne uproszczenie, gdyż właściwości pary roztworu amoniaku w okolicy $g = 1$ ulegają ze zmianą g wyraźnym zmianom (o około 5 ÷ 7 %). Przyjęcie tego założenia wydaje się być dopuszczalne w kontekście celów, jakim ma służyć model.

Spełnienie założeń 5, 6 można uzyskać przez zastosowanie odpowiedniego układu automatycznej regulacji pracy pomp cyrkulacyjnych, pomp wody chłodzącej i pomp ziębnicza.

Temperatura otoczenia ma niewątpliwie duży wpływ na temperaturę czynników chłodzących elementy ziębiarki. Przyjęte konkretne uproszczenia (zał. 7, 8) są przybliżeniem rzeczywistych procesów.

Udział pracy pompowania związanej z pokrywaniem oporu przepływu nie przekracza 0,1% energii napędowej dostarczonej do warnika (zał. 9).

Ograniczenie (zał. 11) strat ciepła do otoczenia można uzyskać przez odpowiednie zaizolowanie elementów ziębiarki.

Dane wejściowe w obliczeniach stanowią następujące parametry:

a) określające konstrukcyjne powierzchnie przepływu ciepła:

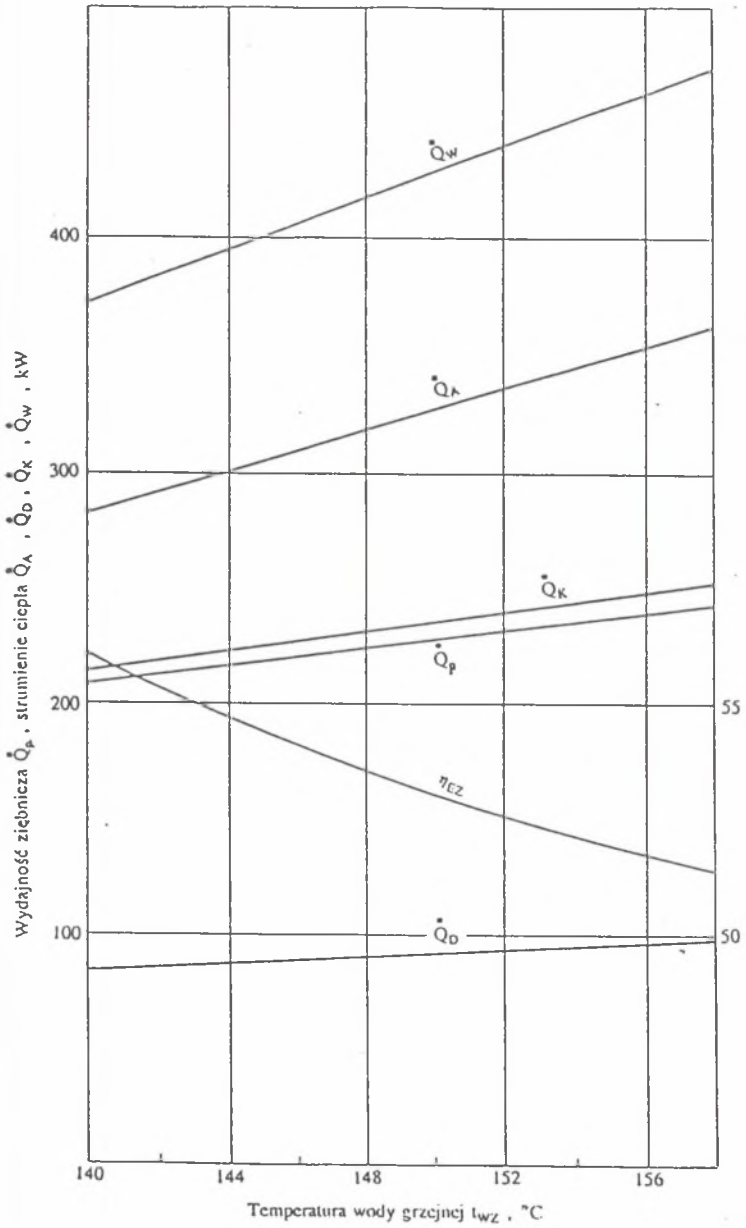
- w parowaczu,
- w skraplaczu,
- w warniku,
- w absorberze.

b) określające warunki eksploatacji:

- strumienie \dot{G}_w i temperatury t_{wz} czynnika grzejnego w warniku,
- temperatury wody chłodzącej:
 - skraplacz t_{wcK1} ,
 - deflegmator t_{wcD1} ,
 - absorber t_{wcA1} ,
- temperatury t_{z1} ziębnika doprowadzonego do parowacza.

Omówiony model matematyczny służy do określenia następujących parametrów eksploatacyjnych (znaczenie symboli wynika z rys. 1):

- stężenia czynnika roboczego w roztworze,
- strumienia \dot{G}_r czynnika roboczego, strumienia \dot{G}_u roztworu ubogiego i \dot{G}_b roztworu bogatego w obiegu ziębiarki,
- wydajności ziębniczej \dot{Q}_p i wynikającego z niej strumienia ziębnika \dot{G}_z i jego temperatury wylotowej t_{z2} ,
- strumienia ciepła \dot{Q}_K odprowadzonego ze skraplacza, wynikającego z niego strumienia \dot{G}_{wK} oraz temperatury końcowej t_{wcK2} wody chłodzącej skraplacz,
- strumienia ciepła \dot{Q}_A odprowadzanego z absorbera, wynikającego z niego strumienia \dot{G}_{wA} oraz temperatury końcowej t_{wcA2} wody chłodzącej absorber,
- strumienia ciepła \dot{Q}_D odprowadzonego z deflegmatora, wynikającego z niego strumienia \dot{G}_{wD} oraz temperatury końcowej t_{wcD2} wody chłodzącej deflegmator,
- temperatury czynnika grzejnego t_{wg} na pograniczu strefy podgrzewania i strefy odparowania roztworu w warniku,
- strumienia ciepła napędowego \dot{Q}_w w warniku wynikającego z temperatury czynnika grzejnego t_{wp} opuszczającego warnik.

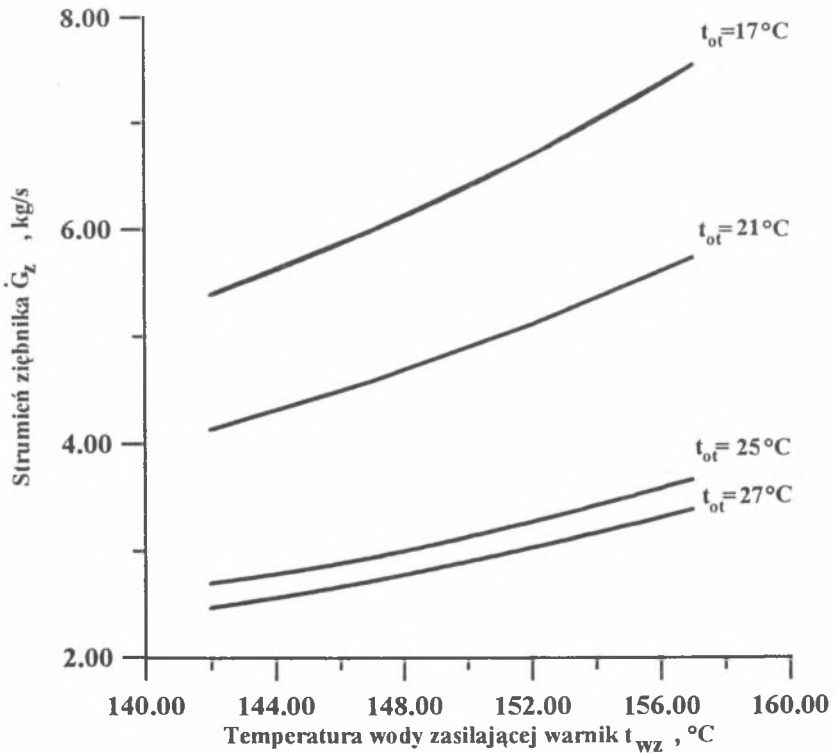


Rys. 2. Charakterystyka amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej

Fig. 2. The characteristic of ammonia absorption cooling system

3. WYNIKI PRZYKŁADOWYCH ANALIZ TECHNICZNO-EKONOMICZNYCH UWZGLĘDNIAJĄCYCH WPŁYW PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH NA EFEKTY DZIAŁANIA AMONIAKALNYCH ZIĘBIAREK ABSORPCYJNYCH

Wykorzystując model matematyczny określno efekty działania amoniakalnych ziębiarek absorpcyjnych zasilanych gorącą wodą uzyskaną z instalacji kotła odzyskowego. Wyniki przedstawiono w formie charakterystyki amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej, tj. zależności sprawności energetycznej ziębiarki $\eta_{EZ} = \dot{Q}_p / \dot{Q}_w$, wydajności ziębniczej \dot{Q}_p , strumienia ciepła napędowego \dot{Q}_w ,



Rys.3. Wpływ temperatury wody zasilającej wariak t_{wz} i temperatury otoczenia t_{ot} na strumień ziębnika przepływającego przez parowacz

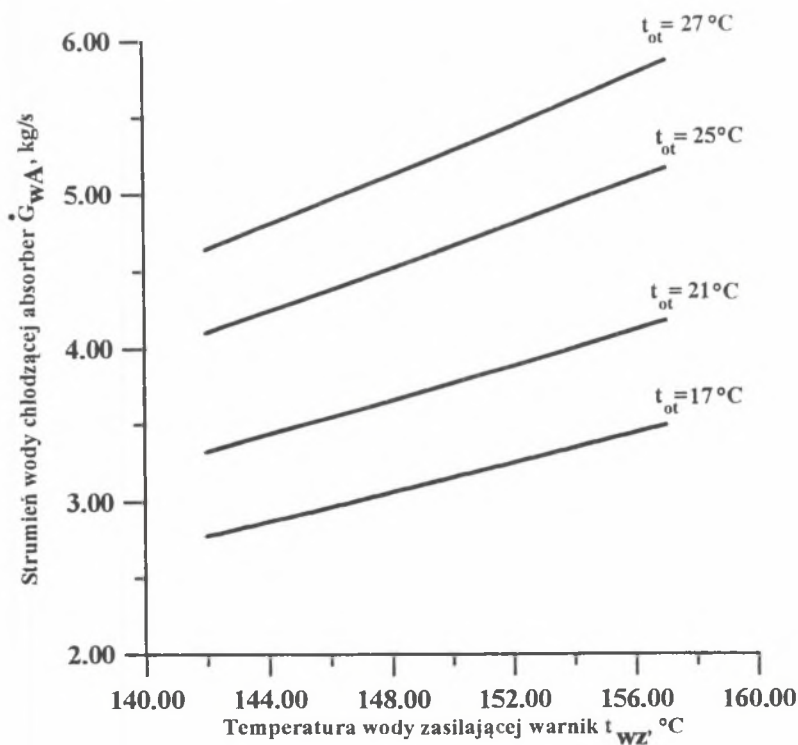
Fig. 3. Influence of the temperature t_{wz} water heating the generator and of outside temperature t_{ot} on secondary coolant jet

strumienia wody chłodzącej absorber \dot{Q}_A , skraplacz \dot{Q}_K , deflegmator \dot{Q}_D od temperatury t_{wz} wody grzejącej zasilającej wernik (rys. 2).

Przy przyjętych założeniach określono wpływ temperatury gorącej wody doprowadzonej do wernika oraz temperatury otoczenia na strumień wody chłodzącej skraplacz, absorber oraz strumień ziębnika w parowacu. Wyniki przeprowadzonych obliczeń podano na rys. 3 ÷ 5.

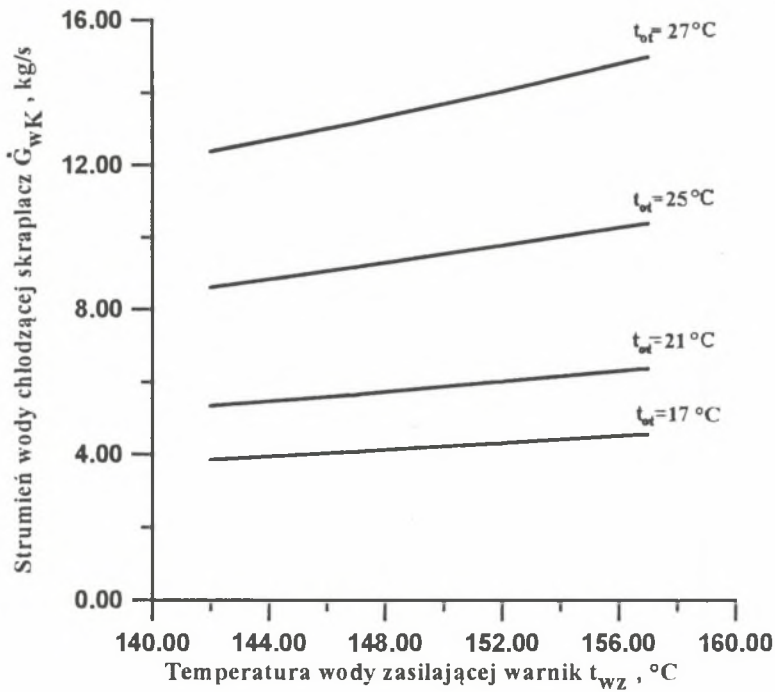
4. UWAGI KOŃCOWE

1. Charakterystyka energetyczna pozwala na stwierdzenie wyraźnego wpływu parametrów eksploatacji (temperatury wody gorącej dopływającej do wernika oraz temperatury otoczenia) na efekty działania ziębiarek absorpcyjnych.
2. Wpływ temperatury wody zasilającej wernik zmieniającej się w zakresie $t_{wz} = 142 \div 157^\circ\text{C}$ na wydajność ziębniczą jest w przybliżeniu liniowy.



Rys. 4. Wpływ temperatury wody zasilającej wernik t_{wz} i temperatury otoczenia t_{ot} na strumień wody chłodzącej absorber

Fig. 4. The influence of the temperature t_{wz} water heating the generator and of outside temperature t_{ot} on the jet of water cooling the absorber



Rys. 5. Wpływ temperatury wody zasilającej waznik t_{wz} i temperatury otoczenia t_{ot} na strumień wody chłodzącej skraplacz

Fig. 5. The influence of the temperature t_{wz} water heating the generator and of outside temperature t_{ot} on the jet of water cooling the condenser

- Ze wzrostem temperatury wody zasilającej waznik sprawność energetyczna amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej nieznacznie maleje. Powyższe spostrzeżenie jest zgodne z informacjami podanymi w literaturze [10, 16].
- Zależność charakterystyki energetycznej ziębiarki absorpcyjnej niezbędna jest przy ocenie jej zastosowania do wykorzystania przemysłowej energii odpadowej.

LITERATURA

- [1] Kozioł J.: Ziębiarka absorbcyjna jako element układu wykorzystania energii odpadowej w przemyśle. Politechnika Śląska.
- [2] Kozioł J.: Ziębiarka absorbcyjna jako element układu wykorzystania energii odpadowej w przemyśle. Politechnika Śląska.
- [3] Szargut J., Ziębik A., Składzień J., Kozioł J. i inni.: Analiza termodynamiczna i optymalizacyjna wybranych urządzeń oraz systemów odzyskania fizycznej energii odpadowej w przemyśle. Praca naukowo-badawcza NB-164/REM-3/87 cz. 1 i 2.
- [4] Kozioł J., M.Kapski.: Układy chłodnicze do wykorzystania przemysłowej energii odpadowej. Chłodnictwo (w druku).
- [5] Kozioł J.: Zasoby fizycznej energii odpadowej możliwe do wykorzystania przy stosowaniu technik chłodniczych. Chłodnictwo, nr. 5-6, 1994.
- [6] Kozioł J., M.Kapski.: Układy chłodnicze do wykorzystania przemysłowej energii odpadowej. Chłodnictwo (w druku).
- [7] Kozioł J.: Zasoby fizycznej energii odpadowej możliwe do wykorzystania przy stosowaniu technik chłodniczych. Chłodnictwo, nr. 5-6, 1994.
- [8] Praca zbiorowa: Przemysłowa energia odpadowa. WNT, Warszawa 1993.
- [9] Kozioł J. i inni.: Analiza techniczno-ekonomiczna procesów chłodniczych, Raport merytoryczny z projektu 30725 91 01, Politechnika Śląska, Gliwice 1995.
- [10] Badyłkes I.S., Daniłow R.L.: Absorpcyjne chłodilnyje maszyny Izd. Piszczewaja Promyszlennost, Moskwa 1966.
- [11] Maczek K.: Modelowanie matematyczne w optymalizacji urządzeń cieplnych sorpcyjnych, Politechnika Krakowska, Kraków 1984.
- [12] Gaziński B.: Model matematyczny grzejno-ziębniczego urządzenia absorpcyjnego z wodnym roztworem bromku litu, Archiwum Termodynamiki, vol.2. nr. 3-4, 1981.
- [13] Kapski M.: Zastosowanie technik chłodniczych do wykorzystania energii odpadowej. Model matematyczny bromolitowej ziębiarki absorpcyjnej. Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Gliwice 1994.
- [14] Gazda W.: Model matematyczny amoniakalnej ziębiarki absorpcyjnej Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Gliwice 1994.
- [15] Jingcheng H.: Absorption Cooler in a Diesel Locomotive. Międzynarodowa Konferencja ENSEC, 93, Kraków 1993r.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Składzień

Wpłynęło do Redakcji: 10. 03. 1995 r.

Abstract

The mathematical model of the ammonia refrigerator applied by hot water is described in the paper.

The model estimates influence of temperature of water flowing in the desorber as well as the ambient temperature on the energy effect obtained in the refrigerator. These dependences make an energy characteristic of analysed absorption refrigerator. The refrigerator work analysis is conducted with use of constant constructional parameters. The assumptions accepted in the model are presented and discussed.

The efficiency η_{EZ} and cooling capacity \dot{Q}_P of refrigerating unit and rejected heat flux in the condenser \dot{Q}_K , absorber \dot{Q}_A and rectifier \dot{Q}_D and the heat supplied to the desorber \dot{Q}_W are defined for various exploitation conditions (temperature of heat water flowing to desorber).

The efficiency of refrigerating unit is defined:

$$\eta_{EZ} = \frac{\dot{Q}_P}{\dot{Q}_W},$$

The influence of water supplying the desorber temperature and outside temperature on the flow of water cooling the condenser (fig. 1) the absorber (fig. 4) and on the secondary coolant flow (fig. 3) is determined. It was found that energy efficiency and cooling power of refrigerator as well as heat flowing to the surroundings are nearly linearly dependent on temperature of water supplying desorber.

The higher temperature of supplying water the lower refrigerator efficiency and greater heat flows. The energy characteristic presented on fig. 2 + 5 can be applied for estimation of ammonia absorption refrigerator suitability for using low and high-temperature waste energy.