

JAN SZARGUT

Katedra Energetyki Ciepłej

ZASTOSOWANIE EGZERGII PRZY ROZWIĄZYWANIU ZAGADNIEN TECHNICZNO-EKONOMICZNYCH ENERGETYKI CIEPŁEJ

Streszczenie. Omówiono dwie główne dziedziny ekonomicznych zastosowań egzergii. Egzergia może służyć do przybliżonej oceny ekonomicznej nośnika energii, jeżeli brak jest czysto ekonomicznych kryteriów takiej oceny. Wówczas metoda egzergetyczna daje wyniki przybliżone lecz dokładniejsze od dotąd spotykanych. Egzergia może też stanowić jednolity miernik wielkości podtrzymujących bieg procesu i efektów użytecznych w procesach cieplnych. Dzięki temu staje się możliwe jednolite ujęcie wzorów dla różnych jakościowo procesów cieplnych.

1. Możliwości ekonomicznych zastosowań egzergii

Egzergia jest miernikiem praktycznej przydatności energetycznej materii. Funkcję tę definiuje się jako maksymalną ilość pracy wykonanej przez rozpatrywaną materię w odwracalnym procesie, przy końcu którego wszystkie uczestniczące w nim postaci materii osiągają stan równowagi termodynamicznej z powszechnymi składnikami otoczenia. W opisanym procesie wykorzystuje się otoczenie jako źródło bezwartościowego ciepła i bezwartościowych substancji.

Wszystkim rzeczywistym procesom energetycznym towarzyszą bezpowrotne straty egzergii spowodowane przez zjawiska nieodwracalne. Im bardziej proces zbliża się do doskonałego procesu odwracalnego, tym mniejsze są występujące w nim straty egzergii. Ocena stopnia doskonałości procesów cieplnych, ustalanie przyczyn obniżenia stopnia doskonałości i wskazywanie możliwości poprawy należą do klasycznych zastosowań egzergii [4].

Sens techniczny pojęcia egzergia zachęca do zastosowania tego pojęcia również przy rozwiązywaniu techniczno-ekonomicznych zagadnień energetyki cieplnej. Jeżeli bowiem egzergia stanowi miernik praktycznej przydatności energetycznej czynnika termodynamicznego to można sądzić, że powinna ona także nadawać się do oceny ekonomicznej nośnika energii. Z przesłanki tej wynika ją dość liczne próby ekonomicznych zastosowań egzergii (np. [1] [2], [3]).

Należy wyraźnie zastrzec się, że egzergia nie jest pojęciem ekonomicznym. W związku z tym próby stosowania egzergii do oceny ekonomicznej nośników energii są uzasadnione tylko wtedy, gdy brak jest czysto ekonomicznych kryteriów oceny lub gdy kryteria ekonomiczne prowadzą do zbyt skomplikowanych metod. Próby te winny być przeprowadzane z dużą ostrożnością, uzyskane zaś wyniki należy uważać za przybliżone. Często zresztą wyniki takie są wartościowe i godne zalecenia w praktyce przemysłowej. Zdarza się bowiem, że metoda egzergetyczna pozwala dokładniej i poprawniej ocenić wartość ekonomiczną nośnika energii niż inne metody nie oparte na kryteriach ekonomicznych. W razie stosowania egzergii do oceny ekonomicznej nośników energii powinno się obmyślić odpowiednie kryteria kontrolne pozwalające sprawdzić, czy stosowana metoda prowadzi do wyników sensownych pod względem technicznym i ekonomicznym.

Druga dziedzina ekonomicznych zastosowań egzergii wynika stąd, że egzergia stanowi jednolity miernik wielkości podtrzymujących bieg procesu i efektów użytecznych w różnych jakościowo procesach cieplnych. W tym wypadku zastosowanie egzergii nie prowadzi w zasadzie do nowych rozwiązań problemów techniczno-ekonomicznych, a jedynie ułatwia pod względem formalnym użycie tych rozwiązań, zapewnia jednolite ich ujęcie i dzięki temu ułatwia wyeliminowanie błędów lub uproszczeń w rozwiązaniach znanych.

W razie stosowania analizy energetycznej, nie zaś egzergetycznej, różnice jakościowe pomiędzy procesami cieplnymi mogą być znaczne. Na przykład efektem użytecznym procesu cieplnego może być przyrost entalpii nośnika energii (np. przyrost ental

pii czynnika obiegowego w kotle) lub ubytek entalpii (np. spadek entalpii czynnika ziębionego w parowaczu ziębiarki). Potrzymanie biegu procesu cieplnego na ogół polega na doprowadzaniu energii, mogą jednak istnieć procesy, w których energia czynnika napędzającego wzrasta (wówczas temperatura tego czynnika musi być niższa od temperatury otoczenia). W każdym jednak procesie cieplnym egzergia czynnika napędzającego spada, efektem zaś użytecznym jest zawsze bądź wykonana praca bądź też przyrost egzergii jakiejś substancji (a więc przyrost zdolności do wykonania pracy). W świetle tych uwag jest zrozumiałe że egzergia prowadzi do ujęć jednorodnych pod względem formalnym, bez względu na różnorodność rozpatrywanych procesów.

2. Zastosowanie egzergii do przybliżonej oceny ekonomicznej nośników energii

2.1. Podział kosztów wytwarzania w elektrociepłowni

Jedną z pierwszych propozycji rozwiązywania zagadnień techniczno-ekonomicznych za pomocą egzergii dotyczyła podziału kosztów wytwarzania w elektrociepłowni pomiędzy parę i energię elektryczną [2]. Zgodnie z propozycją Z. Ranta koszty wytwarzania należałoby dzielić proporcjonalnie do ujętych egzergetycznie efektów użytecznych elektrociepłowni tj. proporcjonalnie do ilości wyprodukowanej energii elektrycznej i do ilości egzergii wyprodukowanego czynnika grzejjego.

Ogólną poprawność tej metody można skontrolować za pomocą kryterium sformułowanego przez autora niniejszego opracowania [5]. Metoda podziału kosztów wytwarzania w elektrociepłowni nie jest absurdalna, jeżeli w miarę obniżania ciśnienia pary u pustowej daje ona coraz mniejszy koszt własny wytwarzania pary i jeżeli dla pary nasyconej w temperaturze otoczenia daje koszt wytwarzania równy zeru. Kryterium tego nie spełnia na przykład często dotąd stosowana metoda fizyczna, która dzieli koszty proporcjonalnie do uzyskanych strumieni energii użytecznej. Metoda egzergetyczna spełnia kryterium kontrolne. Mimo

to jednak wyniki uzyskane za pomocą tej metody należy uznać za przybliżone. Stosowanie metody egzergetycznej jest celowe tylko wtedy, gdy brak jest czysto ekonomicznych kryteriów podziału kosztów, co występuje na przykład w elektrociepłowniach nie współpracujących z systemem elektroenergetycznym.

Przy rozpatrywaniu elektrociepłowni współpracujących z systemem elektroenergetycznym można znaleźć metodę podziału kosztów opartą na przesłankach czysto ekonomicznych. Metodę taką za proponował J. Wagner [10].

2.2. Taryfa opłat za czynnik grzejny

Stawki racjonalnej taryfy opłat za czynnik grzejny powinny wynikać z poprawnie wyliczonych kosztów własnych produkcji tego czynnika. Koszty te powinno się więc obliczyć za pomocą metody opartej na kryteriach czysto ekonomicznych (np. za pomocą metody J. Wagnera) przy czym obliczenia powinno się przeprowadzić dla różnych elektrociepłowni i dla rozmaitych parametrów czynnika grzejjego. Wyniki obliczeń powinno się w odpowiedni sposób uśrednić, gdyż stawki taryfy opłat za czynnik grzejny powinny zależeć tylko od parametrów tego czynnika, nie zaś od lokalnych warunków techniczno-ekonomicznych panujących w poszczególnych elektrociepłowniach.

Opisana tu metoda wymagałaby przeprowadzenia dość żmudnych obliczeń i prowadziłaby do niezbyt dogodnej postaci taryfy opłat. Stawki taryfowe bowiem musiałyby być ujęte w postaci obszernych tablic jako funkcja parametrów czynnika grzejjego. Dla tego autor niniejszego opracowania zaproponował wprowadzenie taryfy egzergetycznej [5], w której tylko jeden punkt odniesienia powinien wynikać z obliczenia kosztów własnych produkcji czynnika grzejjego o ustalonych parametrach.

Poprawność taryfy opłat można skontrolować za pomocą kryterium wyjaśnionego w punkcie 2.1. Cena czynnika grzejjego powinna maleć do zera przy temperaturze tego czynnika zmierzającej do temperatury otoczenia. Taryfa egzergetyczna spełnia to kryterium.

Taryfa egzergetyczna przypuszczalnie tylko nieznacznie różniłaby się od taryfy obliczonej metodami czysto ekonomicznymi, gdyż w dwu skrajnych punktach (tj. dla czynnika typowego służącego jako punkt odniesienia taryfy egzergetycznej i dla czynnika o temperaturze otoczenia) obie taryfy dają wartości zgodne.

2.3. Ekonomiczne parametry czynnika grzeijnego, ekonomiczny zasięg przesyłu czynnika grzeijnego

Opierając się na egzergetyczną taryfę opłat za czynnik grzeiny, można rozwiązać kilka typowych zagadnień techniczno-ekonomicznych skojarzonej gospodarki cieplnej. Do zagadnień tych należy na przykład dobór optymalnego ciśnienia pary upustowej zasilającej przeponowy wymiennik ciepła. Im wyższe jest ciśnienie pary upustowej, tym większy koszt tej pary wynika z taryfy egzergetycznej. Z drugiej zaś strony dzięki podwyższeniu ciśnienia pary upustowej zwiększa się różnica temperatur przy wymianie ciepła pomiędzy parą a czynnikiem nagrzewanym, zmniejsza się więc powierzchnia wymiennika ciepła i jego koszt inwestycyjny. Sumując koszt pary z kosztami stałymi eksploatacji wymiennika ciepła dochodzi się do optymalnego ciśnienia, przy którym suma kosztów jest najmniejsza.

Ogólne rozwiązanie omawianego tu zagadnienia uzyskano w pracy [6] dla ustalonych temperatur i oporów przepływu czynnika nagrzewanego, przy założeniu że para grzeina jest nasycona.

Warto nadmienić, że tradycyjna taryfa opłat za czynnik grzeiny odniesiona do jednostki zużywanego ciepła nie pozwala wyznaczyć optymalnego ciśnienia pary upustowej, gdyż w razie stosowania tej taryfy koszt pary nie zależy od ciśnienia.

W zagadnieniu optymalnego zasięgu przesyłu czynnika grzeijnego produkowanego w elektrociepłowni, taryfa egzergetyczna prowadzi do odmiennych wyników niż tradycyjna taryfa cieplna. Obok bowiem wpływu odległości przesyłu na koszty stałe rurociągu taryfa egzergetyczna pozwala uwzględnić straty ciśnienia

zwiększające się przy rosnącej odległości. Im większe są straty ciśnienia pary upustowej tym droższą parę należałoby pobierać z upustów (jeżeli oczywiście ciśnienie pary u odbiorcy ma mieć stałą wartość). Ekonomiczną odległość przesyłu czynnika grzejnego z elektrociepłowni wyznacza się porównując sumę kosztów stałych rurociągu i kosztu czynnika grzejnego produkowanego w elektrociepłowni z kosztem czynnika grzejnego produkowanego w lokalnej ciepłowni.

2.4. Ekonomiczna grubość izolacji

Stosując egzergetyczną ocenę wartości ekonomicznej czynnika grzejnego można z dostateczną dokładnością rozwiązać te zagadnienia, w których występuje łączna ilość ciepła oddawanego przez czynniki grzejne (wówczas w obliczeniach ekonomicznych występuje średnia wartość ciepła). Przykłady takich zagadnień podano w punkcie 2.3. W zagadnieniach tych, jak wyjaśniono w punkcie 2.2 metoda egzergetyczna prowadzi do wyników zgodnych z metodą czysto ekonomiczną dla dwu czynników grzejnych o skrajnych temperaturach. W związku z tym dla czynnika grzejnego o temperaturze pośredniej nie mogą wystąpić znaczne odchylenia od wartości wyznaczonej metodą czysto ekonomiczną. W dalszej konsekwencji metoda egzergetyczna zachowując zaletę dużej prostoty, pozwala wyeliminować znaczne błędy jakimi obciążone są metody oparte na bilansie cieplnym.

Istnieją jednak zagadnienia, w których potrzebna jest znajomość lokalnej wartości ekonomicznej ciepła. Klasycznym przykładem z tej dziedziny jest obliczanie ekonomicznej grubości izolacji. Im grubsza jest izolacja cieplna, tym większy jest jej koszt inwestycyjny. Z drugiej zaś strony w miarę zwiększania grubości izolacji zmniejsza się koszt traconego ciepła. Istnieje więc pewna grubość ekonomiczna przy której suma strat ekonomicznych jest najmniejsza.

Dotąd przy obliczaniu ekonomicznej grubości izolacji obliczono zwykle koszt traconego ciepła podług średniego kosztu jednostki ciepła dostarczonego do czynnika termodynamicznego.

Metoda ta jest oczywiście błędna. Ciepło tracone w czasie przepływu gorącego czynnika wewnątrz rurociągu odznacza się wysoką jakością, gdyż temperatura czynnika podczas oddawania tego ciepła jest wyższa niż we wszystkich innych stanach tego czynnika. Podobna prawidłowość występuje w urządzeniach ziębiących. Przy pochłanianiu ciepła z otoczenia temperatura czynnika ziębiącego jest niższa niż w innych stanach tego czynnika. Znow więc występuje tu jakaś ciepła wyższa od średniej.

Zwiększoną lokalną jakość ciepła traconego przez izolację cieplną można ocenić za pomocą egzergii. Tym razem jednak nie można mieć pewności, czy lokalna wartość ciepła obliczona za pomocą egzergii jest zbliżona do lokalnej wartości ciepła określonej metodami czysto ekonomicznymi. Wartość lokalna wielkości zależnej od temperatury wynika bowiem z pochodnej danej wielkości podług temperatury. Mimo że wartość średnia ciepła oceniona metodą egzergetyczną jest zbliżona do wartości średniej wyznaczonej metodą ekonomiczną nie można mieć pewności, czy pochodne obu tych wartości podług temperatury mają zbliżoną wartość w punkcie skrajnym rozpatrywanego zakresu temperatur (t.j. przy najwyższej temperaturze czynnika grzejącego, bądź też przy najniższej temperaturze czynnika ziębiącego).

Powstaje pytanie, czy jest możliwe znalezienie czysto ekonomicznej metody wyznaczania lokalnej wartości ciepła i określenia ekonomicznej grubości izolacji. Zagadnienie to powinno być rozwiązane przez ekonomiczny rozdział kosztów inwestycyjnych pomiędzy ogniwa procesu z uwzględnieniem wzajemnego wpływu przemian termodynamicznych przebiegających w poszczególnych ogniwach i w oparciu o charakterystyki kosztów inwestycyjnych tych ogniw. Metoda ekonomicznego rozdziału kosztów inwestycyjnych, zaproponowana przez autora niniejszego opracowania, znajduje się na razie w początkowym stadium opracowania. W publikacji [9] podano rozwiązanie problemu dla prostego procesu 3-ogniwowego. Z przykładu tego wynika, że w procesach wieloogniowych rozwiązanie zagadnienia może być bardzo skomplikowane.

W celu uzyskania rozwiązania przybliżonego, można uwzględnić tylko najważniejsze zależności występujące pomiędzy ogni-

wami procesu cieplnego. Na przykład przy obliczaniu ekonomicznej grubości izolacji przewodu doprowadzającego parę z kotła do turbiny można przyjąć, że wymagane parametry pary przed turbiną są stałe. Wówczas należałoby uwzględnić wpływ strat ciepła w przewodzie na zużycie paliwa w kotle i na koszt stały kotła. Ten ostatni składnik odniesiony do jednostki ciepła miałby lokalną wartość większą od wartości średniej obowiązującej dla całego kotła. Podwyższenie bowiem temperatury przegrzania wymagałoby zwiększenia powierzchni przegrzewacza, co ze względu na stosunkowo niski współczynnik wymiany ciepła i stosunkowo wysoki koszt materiału dałoby znaczny przyrost kosztu inwestycyjnego.

3. Zastosowanie egzergii do jednolitego ujęcia zagadnień techniczno-ekonomicznych

3.1. Ocena strat ekonomicznych spowodowanych przez dławienie

Spadek ciśnienia w strumieniu płynu spowodowany oporami przepływu jest związany ze stratami ekonomicznymi wynikającymi przede wszystkim z konieczności zastosowania zwiększonego stosunku sprężania w maszynie przetwarzającej rozpatrywany czynnik. Ocena tych strat ekonomicznych jest potrzebna na przykład do ustalenia ekonomicznej średnicy przewodu lub do kontroli opłacalności instalowania urządzeń pomiarowych lub regulujących.

Obok zużycia energii napędowej, przy sprężaniu kompensującym opory dławienia występuje dodatkowy efekt, który powinien, być uwzględniony w obliczeniach strat ekonomicznych. Dławienie przebiega bowiem izentalpowo, sprężanie zaś kompensujące jest połączone ze zwiększeniem entalpii płynu. Ten dodatkowy efekt może zmniejszać straty ekonomiczne dławienia (jeżeli płyn ma temperaturę wyższą od temperatury otoczenia) lub zwiększać (jeżeli płyn jest zimniejszy od otoczenia). Wpływ dodatkowego przyrostu entalpii może być większy lub mniejszy zależnie od tego, czy sprężanie kompensujące występuje przed ogniwem użytecznego efektu procesu czy też przed ogniwem napędowym. Mimo

występowania tej różnorodności efektów można uzyskać jednolity wzór na straty ekonomiczne, jeżeli wykorzystana się pojęcie egzergii. Rozwiązanie takie podano w publikacji [7].

Efekt przyrostu entalpii przy sprężaniu kompensującym ujęto za pomocą tzw. dodatku egzergii sprężania $\Delta\dot{B}_d$. Jest to różnica przyrostu egzergii $\Delta\dot{B}_p$ przy sprężaniu kompensującym i strat egzergii $\delta\dot{B}_{d\lambda}$ przy dławieniu:

$$\Delta\dot{B}_d = \Delta\dot{B}_p - \delta\dot{B}_{d\lambda} \quad (1)$$

Dodatek egzergii sprężania można wyrazić wzorem następującym:

$$\Delta\dot{B}_d = \dot{V}_p \delta p \frac{T_o}{T_p} \left[\frac{1}{\eta_1} \frac{T_p - T_o}{T_o} + 1 - \frac{v_d}{v_p} \frac{T_p}{T_d} \right] \quad (2)$$

gdzie:

\dot{V}_p - objętościowe natężenie przepływu płynu,

δp - spadek ciśnienia przy dławieniu,

T_d , v_d , T_p , v_p - temperatura bezwzględna i objętość właściwa płynu podczas dławienia i sprężania kompensującego,

T_o - temperatura bezwzględna otoczenia,

η_1 - adiabatyczna sprawność wewnętrzna przy sprężaniu kompensującym.

Ostatni wyraz w nawiasie wzoru (2) jest prawie równy jedności. Widać stąd, że wielkość $\Delta\dot{B}_d$ jest dodatnia jeżeli $T_p > T_o$ i ujemna jeżeli $T_p < T_o$.

Przy ocenianiu kosztu jednostkowego dodatku egzergii sprężania należy uwzględnić miejsce występowania sprężania kompensującego. Jeżeli przebiega ono przed ogniwem napędowym procesu, należy dodatek egzergii sprężania ocenić podług kosztu jednostkowego przyrostu egzergii rozpatrywanego czynnika w ogniwie napędowym. Jeżeli sprężanie kompensujące występuje przed ogniwem użytecznego efektu, należy ocenić dodatek egzergii sprężania podług kosztu jednostkowego spadku egzergii rozpatrywanego czynnika w ogniwie użytecznego efektu. Znowu egzergia umożliwia tu

jednolite ujęcie wzorów, gdyż zawsze w ogniwie napędowym występuje przyrost egzergii czynnika obiegowego, w ogniwie zaś użytecznego efektu ma miejsce spadek egzergii tego czynnika.

Ogólne równanie na stratę ekonomiczną \dot{K}_{d2} spowodowaną przez dławienie jest następujące:

$$\dot{K}_{d2} = k_p \dot{V}_p \delta p \left[\frac{1 + \alpha}{\eta_1 \eta_m \eta_{el}} - a \frac{T_0}{T_p} \left(\frac{1}{\eta_1} \frac{T_p - T_0}{T_0} + 1 - \frac{v_d}{v_p} \frac{T_p}{T_d} \right) \right] \quad (3)$$

gdzie:

- k_p - jednostkowy koszt energii napędowej przy sprężaniu kompensującym,
- a - stosunek kosztu jednostkowego dodatku egzergii sprężania do kosztu jednostkowego energii napędowej,
- η_m, η_{el} - sprawność mechaniczna maszyny sprężającej i sprawność napędowego silnika elektrycznego,
- α - poprawka uwzględniająca zwiększenie kosztu inwestycyjnego maszyny sprężającej.

Dzięki uwzględnieniu dodatku egzergii sprężania otrzymuje się wartość \dot{K}_{d2} większą lub mniejszą od kosztu sprężania kompensującego. Poprawka ta może dochodzić do 30%.

3.2. Ekonomiczny rozdział kosztów inwestycyjnych w procesie dwuogniowym

Zwiększenie doskonałości termodynamicznej urządzenia cieplnego można zwykle osiągnąć przez zwiększenie kosztu inwestycyjnego. Ulepszanie termodynamiczne urządzenia jest celowe oczywiście tylko do granic ekonomicznej opłacalności. W celu uzyskania optymalnych rezultatów ekonomicznych należy jednak badać nie tylko zależność pomiędzy kosztami inwestycyjnymi a całości urządzenia, a kosztami podtrzymywania biegu procesu lecz także analizować rozdział kosztów inwestycyjnych pomiędzy ogniwa badanego urządzenia. Może bowiem okazać się, że jest możliwe uzyskanie korzyści ekonomicznych bez zmiany łącznego kosztu inwestycji.

oyjnego, a jedynie przez zmieniony rozdział tego kosztu pomiędzy poszczególne ogniwa.

Naszkiecowane tu zagadnienie można najprościej rozwiązać w procesie dwuogniwowym. Zastosowanie ujęcia egzergetycznego pozwala tu uzyskać rozwiązanie ogólne. W każdym bowiem urządzeniu cieplnym bieg procesu podtrzymuje się przez zużycie egzergii napędowej, doskonałość zaś ogniw procesu można ująć za pomocą strat egzergii występujących w tych ogniwach.

Dalsze rozważania przeprowadzono dla procesu 2-ogniwowego przy założeniu, że zostały z góry ustalone następujące wielkości:

- 1) łączny koszt inwestycyjny K_{Σ} całości urządzenia,
- 2) warunki zasilania egzergią napędową i jej koszt jednostkowy,
- 3) użyteczny efekt procesu, pod względem jakości i wielkości.

Łączny koszt własny \dot{K}_u użytecznego efektu procesu można ująć równaniem:

$$\dot{K}_u = K_{\Sigma} \dot{Q} + \dot{B}_N (k_N + k_R) + \dot{U} k_{Ru} \quad (4)$$

gdzie:

- \dot{Q} - względny koszt stały, obejmujący odpisy amortyzacyjne, akumulacyjne, koszt stały obsługi, konserwacji, administracji itp.,
- \dot{B}_N - egzergia napędowa procesu,
- k_N - koszt jednostkowy egzergii napędowej,
- k_R - składnik kosztu zmiennego proporcjonalny do egzergii napędowej, odniesiony do jednostki tej egzergii,
- \dot{U} - użyteczny efekt procesu wyrażony za pomocą pracy lub egzergii,
- k_{Ru} - składnik kosztu zmiennego proporcjonalny do efektu użytecznego, odniesiony do jednostki tego efektu.

Zgodnie z przyjętymi założeniami wszystkie wielkości w równaniu (4) oprócz \dot{B}_N mają stałą wartość. Warunek minimalnego kosztu własnego \dot{K}_u jest więc równoznaczny z warunkiem minimalnej egzergii napędowej

$$\dot{B}_N = (\dot{B}_N)_{\min} \quad (5)$$

Bilans egzergetyczny urządzenia 2-ogniowego prowadzi do równania

$$\dot{B}_N = \dot{U} + \delta\dot{B}_1 + \delta\dot{B}_2 \quad (6)$$

gdzie:

$\delta\dot{B}_1, \delta\dot{B}_2$ - strata egzergii występująca w ogniwie pierwszym i drugim.

Warunek minimalnej egzergii napędowej można więc zastąpić warunkiem minimalnej sumy strat egzergii. Przy przyjętych założeniach suma ta jest funkcją kosztów inwestycyjnych K_1 i K_2 rozpatrywanych ogniw, gdyż zależy ona od stopnia doskonałości ogniw:

$$\delta\dot{B}_1 + \delta\dot{B}_2 = f(K_1, K_2) \quad (7)$$

Przyjęte wyżej założenie 1) pozwala wyeliminować jedną z wielkości K_1 lub K_2 , gdyż

$$K_1 + K_2 = K_\Sigma = \text{idem} \quad (8)$$

Warunek minimalnej sumy strat egzergii można więc ująć za pomocą zależności

$$\frac{d(\delta\dot{B}_1)}{dK_1} + \frac{d(\delta\dot{B}_2)}{dK_1} = 0 \quad (9)$$

Zgodnie z wzorem (8) można w równaniu (9) podstawić $dK_1 = -dK_2$ i wówczas otrzymuje się:

$$\frac{\partial(\delta\dot{B}_1)}{\partial K_1} = \frac{\partial(\delta\dot{B}_2)}{\partial K_2} \quad (10)$$

W procesie dwuogniowym rozdział kosztów inwestycyjnych jest więc optymalny, jeżeli przyrost względny strat egzergii podług kosztu inwestycyjnego jest jednakowy w obu ogniwach.

4. Uwagi końcowe

Przytoczone przykłady wyjaśniają, że egzergia może służyć do przybliżonej oceny wartości ekonomicznej nośnika energii przy dowolnych parametrach, jeżeli znana jest wartość ekonomiczna tego samego nośnika przy skrajnych wartościach parametrów termicznych. Egzergia nie jest wprawdzie wielkością ekonomiczną, ale zapewnia ona znaczne uproszczenie obliczeń, przy nieznacznie zmniejszonej dokładności. Mniejsze jest prawdopodobieństwo uzyskania dokładnych wyników przy stosowaniu egzergii do oceny lokalnej wartości ekonomicznej ciepła.

Egzergia pozwala ponadto ująć wyniki niektórych rozważań techniczno-ekonomicznych w jednolitą formę, przydatną dla różnorodnych procesów cieplnych.

Pracę złożono w Redakcji w dniu 15.XII.1964 r.

LITERATURA

- [1] MIKULSKI J., WIAZŁOWSKI St.: Zastosowanie egzergii do obliczania kosztów własnych pary i energii elektrycznej w gospodarce skojarzonej, *Gospodarka Paliwami i Energią* 11 (1963) nr 10, str. 368/71.
- [2] RANT Z.: Bewertung und praktische Verrechnung von Energien Allg. Wärmetechn. 8 (1957) nr 2, str. 25/32
- [3] SCHMIDT K.R.: Forschung für Kraftwerksbau, *Mitt. VGB* nr 87 grudzień 1963, str. 341/72.
- [4] SZARGUT J.: Racjonalne ustalenie cen pary, *Gospodarka Ciepła* nr 3 (1957), str. 104/06.
- [5] SZARGUT J.: Zagadnienie racjonalnej taryfy opłat za parę i gorącą wodę, *Gospodarka Paliwami i Energią* 11 (1963) nr 4, str. 132/35.
- [6] SZARGUT J., PETELA R.: Dobór parametrów pary grzewczej wytwarzanej w gospodarce skojarzonej dla przepływowych wymienników ciepła, *Problemy Projektowe Hutnictwa* 11 (1963) nr 8 str. 234/40.
- [7] SZARGUT J., PETELA R.: Zastosowanie egzergii do ekonomicznej oceny strat dławienia, *Archiwum Budowy Maszyn* 11 (1964) nr 1, str. 49/57

- [8] SZARGUT J.: Pojęcie egzergii w odróżnieniu od energii i możliwości praktycznego stosowania egzergii, Energetyka Przemysłowa nr 11 (1962), str. 374/78.
- [9] SZARGUT J.; MACZEK K.: Optymalny rozdział kosztów inwestycyjnych w procesie cieplnym (w druku).
- [10] WAGNER J.: Metoda podziału kosztów własnych elektrociepłowni między oddawaną z niej energią elektryczną i ciepłą, Polska Akademia Nauk, Komitet Elektryfikacji Polski, Materiały i studia, tom V, Łódź-Warszawa 1962.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСЕРГИИ ПРИ РЕШЕНИИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ
ПРОБЛЕМ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Резюме

Рассмотрены две основные области экономических приложений эксергии. Эксергия может применяться к приближенной экономической оценке теплоносителя, если чисто экономические критерии такой оценки не существуют. В этом случае эксергетический метод дает решение приближенное, но более точное, чем например метод, основанный на тепловом балансе. Эксергия может тоже применяться как общий показатель приводных средств и полезных эффектов в различных тепловых процессах. Поэтому, благодаря применению эксергии можно получить одинаковую форму уравнений для различающихся качественно процессов.

APPLICATION OF EXERGY AT SOLVING OF TECHNICAL ECONOMIC
PROBLEMS OF HEAT ENERGETICS

Summary

In the paper two chief regions of economic applications of exergy have been discussed. The exergy can be used to approximate economic estimation of an energy carrier if there is no pure economic criterion for such estimation. The exergy method yields the approached results but more accurate than results met so far. The exergy can be also used as the uniform measure of the values driving a thermal process and of its useful effects. Consequently, there is possible to obtain the formulae uniformly for different thermal processes.