

Stanisław Jerzy GDULA

Instytut Techniki Ciepłej

#### KRYTERIUM ADIABATYCZNOŚCI PRZEPŁYWU

**Streszczenie:** Sformułowano ogólne bezwymiarowe kryterium pozwalające ocenić w jakim stopniu dana przemiana przybliżyła się do modelu przemiany adiabatycznej. Szczegółowe rozważania przeprowadzono dla jednowymiarowego przepływu w kanale.

Realizacja przemiany adiabatycznej, tj. przemiany, przy której zmiana stanu czynnika odbywa się bez wymiany ciepła z zewnętrznymi źródłami, wymaga idealnej izolacji cieplnej układu, w którym zachodzi przemiana. W wyniku przemiany adiabatycznej zwykle zmienia się temperatura gazu (wyjątek stanowi dławienie adiabatyczne gazu doskonałego), istnieje zatem bodziec (różnica temperatur) dla przepływu ciepła przez granicę układu realizującego przemianę. Ponieważ nie istnieje idealna izolacja, prawie zawsze występuje przepływ ciepła, adiabate należy uznać za przemianę wyidealizowaną i pojęciem tym operować podobnie jak innymi wyidealizowanymi modelami - np. modelem gazu doskonałego. Będziemy zatem do rzeczywistej przemiany stosować model przemiany adiabatycznej lub mówiąc krócej - traktować tę przemianę jak adiabatę - wtedy, gdy ilość wymienianego ciepła będzie bardzo mała. Pojęcie "wielkości małej" w odniesieniu do wielkości mającej wymiar na ogół jest nieuchwytnie i ma ono sens jedynie dla wielkości bezwymiarowych. Ten sam strumień ciepła np.  $\dot{Q} = 50 \text{ kW}$  będzie bardzo mały dla turbiny parowej, przez którą przepływa  $\dot{m} = 300 \text{ kg/s}$  pary, a bardzo duży dla rurociągu o przepustowości  $\dot{m} = 0,3 \text{ kg/s}$ . Dla turbiny o tym samym przepływie pary, ta sama strata ciepła będzie "większa" dla turbiny czołowej realizującej niewielki spadek entalpii i "mniejsza" dla turbiny kondensacyjnej, przerabiającej znacznie większy spadek entalpii pary.

Dla uzyskania bezwymiarowego kryterium adiabatyczności ilości wymienianego w czasie przemiany ciepła należy więc odnieść do innej wielkości związanej z przemianą i posiadającej ten sam wymiar. Najbardziej uzasadniona wydaje się w tym przypadku ilość energii przetwarzanej podczas przemiany. Dla urządzenia przepływowego na pierwszy rzut oka nasuwa się zmiana entalpii przepływającego czynnika, gdyż ta właśnie wielkość jest przetwarzana na "zewnętrzne" formy energii - energię kinetyczną, potencjalną lub pracę techniczną. Szczególnym, skrajnym przypadkiem przemiany adiabatycznej, za-

chodzącej w urządzeniu przepływowym, jest dławienie izentalpowe. W przemianie tej zmiana entalpii jest równa zero, nie ma również zmiany energii kinetycznej i potencjalnej i nie jest wykonywana praca na zewnątrz. Nie oznacza to jednak, że w przemianie tej nie występują przemiany energetyczne. Rozprężający się czynnik wykonuje pracę tarcia, która zamienia się na ciepło tarcia i w tej formie powraca do czynnika.

Sumę energii, które "uzewnętrzniają" się w przemianie przepływowej, należy zatem uzupełnić pracą tarcia. Suma ta jest, jak wiadomo, równa różnicze  $-vdp$

$$d\left(\frac{w^2}{2}\right) + g dH + dl_f = -v dp. \quad (1)$$

Jeżeli więc różniczkę  $dq$  podzielimy przez różniczkę  $-vdp$ , to przemiana będzie tym bliższa adiabatycznej, im bliższy zero będzie ten iloraz, tzn. im jego bezwzględna wartość będzie mniejsza od 1

$$\left| \frac{dq}{v dp} \right| \ll 1. \quad (2)$$

Warunek (2) jest spełniony dla bardzo wielu przemian spotykanych w technice, co zapewnia przemianie adiabatycznej jedno z czołowych miejsc na liście przemian. W praktyce bowiem, nawet gdy układ, w którym zachodzi przemiana, jest niezainizolowany, względna ilość ciepła wymienianego przez gaz może być mała. Brak izolacji nie oznacza bowiem zerowania się oporu przenikania ciepła, gdyż występują zawsze opory wnikania ciepła. Współczynnik przenikania ciepła ma zawsze wartość skończoną, a zatem odpowiednie zmniejszenie ilości wymienianego ciepła można uzyskać, zmniejszając pozostałe czynniki wpływające na ilość wymienianego ciepła, a więc różnicę temperatur gazu i źródła ciepła, powierzchnię wymiany ciepła, czas realizacji przemiany.

Warunek (2) ma charakter ogólny i można go stosować dla dowolnego układu przepływowego. Dla przepływu w kanale o obwodzie  $U$  i powierzchni przekroju  $A$ , ze średnią prędkością  $w$ , strumień ciepła  $d\dot{Q}$  wymienianego na odcińku  $dx$  kanału wynosi

$$d\dot{Q} = k U dx \Delta t, \quad (3)$$

gdzie  $\Delta t$  jest różnicą temperatur płynu znajdującego się zewnątrz kanału i gazu w kanale. Z drugiej strony strumień ten można wyrazić poprzez elementarne ciepło jednostkowe  $dq$

$$d\dot{Q} = \dot{m} dq = \frac{Aw}{V} dq, \quad (4)$$

przy czym w równaniu powyższym wykorzystano równania ciągłości przepływu jednowymiarowego. Ze skojarzeniem równań (3) i (4) można wyznaczyć elementarne ciepło jednostkowe

$$dq = \frac{k U \Delta t}{A w} dx,$$

a podstawivszy je do nierówności (2) uzyskać szczegółowy warunek adiabatyczności jednowymiarowego przepływu w kanale

$$\left| \frac{U k \Delta t}{A w \frac{dp}{dx}} \right| \ll 1, \quad (5)$$

a po wprowadzeniu zastępczej średnicy kanału

$$D = \frac{4A}{U},$$

będącej dla kanału okrągłego wprost jego średnicą, otrzymujemy ostatecznie

$$\left| \frac{4 k \Delta t}{w D \frac{dp}{dx}} \right| \ll 1. \quad (6)$$

Występujący w powyższym warunku gradient ciśnienia w kanale  $dp/dx$  można zastąpić ilorazem różnicowym

$$\frac{dp}{dx} \approx \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

Przy praktycznym korzystaniu z warunku (6) można zastosować zwykłą nierówność odniesioną do liczby  $0 < \epsilon < 1$

$$\left| \frac{4 k \Delta t}{w D \frac{dp}{dx}} \right| < \epsilon \quad (7)$$

przy czym  $\epsilon$  oznacza dopuszczalny błąd obliczeń.

Z warunku (6) wynika, że im większa jest prędkość przepływu gazu w kanale i im większy jest gradient ciśnienia, tym (przy tych samych warunkach wymiany ciepła) przepływ jest bliższy przepływowi adiabatycznemu. A więc w krótkich kanałach zwanych dyszami, w których występują duże spadki ciśnienia i duże prędkości przepływu, przepływ będziemy traktować jak adiabatyczny. Natomiast w rurociągach, w których zarówno prędkość przepływu, jak i gradienty ciśnienia są mniejsze, warunek adiabatyczności należy każdorazowo analizować i niekiedy nawet przy występowaniu izolacji może zajść potrzeba odstąpienia od modelu przemiany adiabatycznej.



## КРИТЕРИЙ АДИАБАТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ

## Р е з ю м е

Сформулировано общий безразмерный критерий позволяющий оценить в какой степени реальный термодинамический процесс приближается к адиабатическому. Подробно рассмотрено одномерное течение в трубопроводе.

## CRITERION OF ADIABATIC FLOW

## S u m m a r y

The general dimensionless criterion of approximating arbitrary process by the adiabatic process has been found. One-dimensional flow in channel has been considered in detail.