

## АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПОТОЦІ ПОВІТРЯ

Стручаєв М.І., Постолюк Ю.О.

Таврійський державний агротехнологічний університет

У роботі розглядаються особливості термодинамічних процесів у потоці повітря в ідеальних та реальних (при наявності тертя) умовах.

**Постановка проблеми.** Аналіз термодинамічних процесів, що відбуваються в повітряних завісах, є важливим при дослідженні і проектуванні, а так само розробці різних варіантів математичного моделювання газодинамічних процесів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Повітряно-теплові завіси допомагають вирішити відразу кілька проблем, пов'язаних з підтриманням мікроклімату в приміщеннях. На даний момент є кілька теорій для вільної турбулентності [1, 2, 3].

**Мета статті.** На конкретних прикладах показано, що для найбільш детального аналізу термодинамічних процесів треба одночасно використовувати дві форми рівняння першого закону термодинаміки. Одержана формула для визначення чисельного значення показника політропи, виходячи з кількості підведеної зовнішньої теплоти, технічної роботи та теплоти, яка виникла під час тертя. Розглянуті окремі випадки даної формули при відсутності вказаних факторів чи порізно в будь-якому сполученні.

**Основні матеріали дослідження.**

В установках для теплової обробки кормів і при використанні пневмотранспорту мають місце термодинамічні процеси повітря в умовах потоку. Аналогічні процеси можуть відбуватися в системах вентиляції, повітряного опалення, кондиціювання та інших установках із використанням нагрітого або охолодженого повітря.

У загальному випадку зазначені процеси є політропними з показником політропи, залежним від конкретних умов протікання процесів.

Чисельні значення показника політропи доцільно визначати, на нашу думку, виходячи зі спільного розгляду двох форм рівняння першого закону термодинаміки, поданих для реальних процесів у такому виді:

$$\left. \begin{aligned} dq_{зовн.} + dq_{mp.w} &= du + de \\ dq_{зовн.} + dq_{mp.w} &= dh + dw \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $de$  - перетворення потенційної енергії роботи зміни обсягу;  $dw_{mp}$  - робота тертя (як частина роботи зміни тиску  $dw$ ).

Фізичний смисл величини  $de$  полягає в тому, що ця робота при русі повітря в потоці не здійснюється і є розрахунковою величиною; у нерухомому повітрі вона дорівнює  $de = pdv$ .

Для реального адекватного процесу ( $dq_{зовн.} = 0$ ) у потоці повітря без урахування технічної (корисної) роботи ( $dw_{mex} = 0$ ) система рівнянь (1) може бути подана у виді:

$$\left. \begin{aligned} dq_{mp.w} &= du + de' \\ dq_{mp.w} &= du + de' - dw_{mp} + dw_{mp} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

приймаючи, як звичайно,  $dq_{tr. w} = dw_{tr.}$ , друге рівняння може бути представлено у виді:

$$dh = du + de' - dw_{mp} = 0 \quad (3)$$

Звідси випливає, що  $du$  також дорівнює 0. Отже система рівнянь (4) приводиться у даному випадку до однієї рівності:

$$dq_{mp.w} = de'$$

Таким чином, уся виникаюча за рахунок тертя теплота витрачається в даному процесі на зміну потенційної енергії роботи зміни об'єму. Показник політропи цього процесу може бути визначений із співвідношення:

$$n = \frac{-udp}{pdu} = \frac{dw}{de} = \frac{de'}{dw_{mp}} = 1, \quad (5)$$

що відповідає ізотермному процесу.

Адіабатній течії повітря при наявності тертя і технічної роботи відповідає система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} dq_{mp.w} &= du + de = du + de' \\ dq_{mp.w} &= dh + dw = dh + dw_{mex} + dw_{mp} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

З рішення даної системи рівнянь випливає:

$$dw = dq_{mp.w} + dw_{mex}; \quad (7)$$

$$de = \frac{k dq_{mp.w} + dw_{mex}}{k}; \quad (8)$$

$$n = \frac{dw}{de} = \frac{k(dq_{mp.w} + dw_{mex})}{kdq_{mp.w} + dw_{mex}} \quad (9)$$

Таким чином, показник політропи "n" для заданих умов плинину повітря залежить тільки від величин  $dw_{mex}$  і  $dq_{mp.w}$ . При цьому зі збільшенням абсолютного значення  $dw_{mex}$  процес усе більш відрізняється від ізотермічного. При відсутності технічної роботи ( $dw_{mex} = 0$ ) показник політропи дорівнює одиниці, що відповідає ізотермічному процесу, розглянутому раніше.

Розглянемо найбільш загальний випадок політропної течії повітря при наявності теплообміну з навколишнім середовищем і вчиненням технічної роботи. Для цих умов справедлива така система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} dq_{зовн} + dq_{mp.w} &= du + pdv = du + de' \\ dq_{зовн} + dq_{mp.w} &= dh - Vdp = dh + dw_{mex} + dw_{mp} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Рішення даної системи призводить до такого вираження для визначення показника політропи:

$$n = \frac{dw}{de} = \frac{k(dq_{mp.w} + dw_{mex})}{kdq_{mp.w} + dw_{mp} + (k-1)dq_{зовн}} \quad (11)$$

З цієї формули випливає, що величина "n" є функцією трьох величин:  $dq_{mp.w}$ ,  $dw_{mex}$  і  $dq_{зовн}$ . Попередня формула (10) є окремим випадком формули (11) при  $dq_{зовн} = 0$ .

Інший окремий випадок, що відповідає політропному плинину з підводом теплоти, але без учинення технічної роботи має місце при  $dw_{mex} = 0$ , тобто:

$$n = \frac{kdq_{mp.w}}{kdq_{mp.w} + (k-1)dq_{зовн}} \quad (12)$$

У свою чергу з даної формули, також як окремий випадок може бути отримана формула (1) для необоротної адіабатної течії при  $dq_{зовн} = 0$ .

Становить інтерес випадок адіабатної необоротної течії повітря з учиненням технічної роботи. Очевидно, це має місце за умови:

$$-dq_{зовн} + dq_{mp.w} = 0 \quad (13)$$

Даному випадку відповідає система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} 0 &= du + pdV = du + de' \\ 0 &= dh - Vdp = dh + dw_{mex} + dq_{mp.w} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

з її рішення випливає:

$$n = \frac{k(dw_{mex} + dw_{mp})}{dw_{mex} + dw_{mp}} = k \quad (15)$$

У окремому випадку, при відсутності технічної роботи ( $dw_{mex} = 0$ ) має місце співвідношення

$$n = \frac{kdw_{mp}}{dw_{mp}} = k \quad (16)$$

**Висновки.** При адіабатної течії, незалежно від здійснюваної потоком технічної роботи, показник політропи чисельно дорівнює показнику адіабати, що відповідає звичайному оборотному адіабатному процесу.

Аналогічним методом можуть бути проаналізовані й інші випадки течії стислих рідин у трубопроводах.

#### Список використаних джерел

1. Андрущенко А.І. Основи технічної термодинаміки реальних процесів. М.: "Вища школа", 1975. - 264 с.
2. Швец І.Т. і ін. Теплотехніка. К.: "Вища школа", 1976. - 520 с.
3. Григорьев А.Ю., Григорьев К.А., Брайнин А.Я. Экспериментальное исследование аэро- и термодинамических процессов в проемах, оборудованных тепловыми завесами // Вестник Международной академии холода. 2014. №1. С. 23-26.

#### Аннотация

#### АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА

Стручаев Н.И., Постол Ю.А.

*В работе рассмотрены особенности термодинамических процессов в потоке воздуха в идеальных и реальных условиях.*

#### Abstract

#### ANALYSIS THERMODYNAMIC PROCESSES IN THE MOWING AIR

N. Struchaev, Y. Postol

*In the paper, the features of thermodynamic processes in the air flow in ideal and real conditions are considered.*