



МАТЕРІАЛИ
XIII Міжнародної
науково-технічної конференції
“АВІА-2017”
19-21 квітня

Київ 2017

Міністерство освіти і науки України
Національна академія наук України
Національне космічне агентство України
Національний авіаційний університет
ДП «АНТОНОВ»
Національна Академія Авіації ЗАТ «Азербайджан Хава Йоллари»,
Азербайджан
Грузинський авіаційний університет, Грузія
Міжнародний університет логістики і транспорту у Вроцлаві, Польща
Польсько-український дослідний інститут, Польща
Технологічний університет Нінгбо, Китай
Коледж економіки та менеджменту Технологічного університету
Нінгбо, Китай
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва
Нанчангський авіаційний університет, Китай

МАТЕРІАЛИ

ХІІІ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ “АВІА-2017”

19-21 квітня

Київ 2017

<i>К.В. Дорошенко, Ю. Ю. Терещенко, П. Гамзег</i> Газодинамічне регулювання течією в реактивному соплі	20.31
<i>М.С. Кулик, К.І. Капітанчук, П.І. Греков, М.І. Кінащук</i> Дослідження руху газу в місцях повороту потоку	20.35
<i>Р.О. Билоус, В.С. Босый</i> Модернизация воздушных судов	20.39
<i>Р.О. Билоус, А.А. Гавриков</i> Перспектива авиационных двигателей	20.44
<i>Ю.О. Белоконь, К.В. Белоконь, О.А. Жеребцов</i> Розробка інтерметалічних сплавів для деталей газотурбінних двигунів	20.48
<i>А. Дж. Мирзоев, О.С. Якушенко</i> Синтез информации о техническом состоянии ГТД на базе применения теории Демпстера-Шефера	20.52
<i>С.М. Шевченко, Д.М. Бродніковський, Ю.М. Романенко, О.Д. Васильев, С.М. Бродніковський</i> Вплив температури спікання на структуру та міцність цирконієво-керамічного електроліту паливної комірки	20.58
<i>К.І. Капітанчук</i> Методика розрахунку ізоентропної течії реального газу з використанням газодинамічних функцій	20.62
<i>І.І. Гвоздецький, Л.Г. Волянська, І.Ф. Кінащук</i> Моделювання перехідних процесів ТРДД	20.66

21. Аеропорти та сучасні аеропортові технології

<i>О.А. Тамаргазін, І.І. Ліннік</i> Принципи побудови імітаційної моделі технологічних процесів обслуговування повітряного судна в аеропорту	21.1
<i>Р.М. Салімов, М.В. Олег</i> Керування процесом обґрунтування експлуатаційних характеристик авіаційної наземної техніки	21.4
<i>О.М. Білякович, А.М. Савчук</i> Перспективи та проблеми впровадження сучасних технологій самообслуговування авіапасажирів	21.7
<i>О.Ю. Сидоренко, О.М. Білякович, Т.І. Кузьменко</i> Сучасні вимоги до транспортних засобів зі стрічковим конвеєром	21.10
<i>В.В. Астанін, О.І. Олефір, Г.О. Щегель, А.О. Олефір</i> Сейсмоакустичне позиціонування авіаційної техніки в районі аеропорту системою акустичного спостереження «Трембіта»	21.14
<i>В.І. Личик</i> Удосконалена система управління наземним рухом в аеропортах	21.17

Методика розрахунку ізентропної течії реального газу з використанням газодинамічних функцій

Розроблено методику розрахунку ізентропної течії реального газу. Представлено вираз показника ізентропи, величина якого слабо змінюється у широкому діапазоні тиску і температур однофазної області одно-, дво- та багатомольних газів, що дозволяє інтегрувати диференціальне рівняння термодинаміки і отримати основні співвідношення одновимірної ізентропної течії реального газу

Розвиток науки і техніки тісно пов'язаний із використанням засобів вимірювання. Вимірювання, як процес, є одним із способів пізнання природи, допомагає у пошуку наукових відкриттів і впроваджувати їх у нове виробництво та техніку.

Сучасні технології забезпечуються великим арсеналом засобів вимірювання як вітчизняного, так і іноземного виробництва – від найпростіших первинних перетворювачів та приладів до складних автоматичних приборів і систем, які дозволяють проводити контроль технологічних установок та складних виробництв з використанням засобів інформаційно-обчислювальної техніки.

Різноманіття засобів вимірювання потребує правильного їх вибору для виконання відповідної мети. Отже, одним із важливих питань є питання їх метрологічного забезпечення. Крім цього, необхідно приділяти увагу економічній стороні питання, а також уніфікації засобів вимірювання і умов їх експлуатації. Науково-технічний прогрес і появлення нових технологій ставить нові вимоги перед розвитком техніки вимірювання. Це потребує подальшого удосконалення методів і засобів вимірювання, підвищення їх якості, надійності та зменшення собівартості.

Рівняння газової динаміки і таблиці газодинамічних функцій, що використовуються в наш час в інженерних розрахунках, не дають можливість їх використання у широкому діапазоні тиску і температур [1-3]. Є велика необхідність у розвитку механіки реального газу і створення таблиць газодинамічних функцій для вирішення завдань розрахунку течії різних газів у широкому діапазоні тиску і температур.

При дослідженні можливості інтеграції диференціальних рівнянь термодинаміки за допомогою рівнянь стану різних газів, складених на основі існуючих експериментальних даних за теплофізичними властивостями, знайдено вираз показника ізентропи, значення якого слабо змінюється у широкому діапазоні тиску і температур однофазної області одно-, дво- та багатомольних газів.

Введемо безрозмірну термодинамічну функцію [4]

$$\beta = 2\alpha / \eta\chi = 2i / a^2. \quad (1)$$

Тоді з рівнянь $i = \alpha RT$ та (1) получимо вираз

$$i = \int_0^p dp / \rho = \alpha RT = \beta a^2 / 2. \quad (2)$$

На основі рівняння енергії ізоентропійної течії газу

$$d(w^2) / 2 + dp / \rho = d(w^2) / 2 + di = 0 \quad (3)$$

і виразу (2) отримаємо рівняння Бернуллі - Сен-Венана для реального газу

$$\frac{w^2}{2} + \int_0^p dp / \rho = \frac{w^2}{2} + \beta \frac{a^2}{2} = \frac{w^2}{2} + \alpha RT = const.$$

(4)

При повному гальмуванні газового струменя маємо:

$$w^2 / 2 + \alpha RT = i^* = \alpha^* RT^* = \beta^* a^{*2} / 2 = const. \quad (5)$$

При критичній швидкості $w = a = a_*$ отримаємо

$$i^* = (1 + \beta_*) a_*^2 / 2 = \alpha^* RT^* = \beta^* a^{*2} / 2, \quad (6)$$

звідки
$$a_* = \sqrt{\frac{2\alpha^*}{1 + \beta_*} RT^*} = a^* \sqrt{\frac{\beta^*}{1 + \beta_*}}. \quad (7)$$

З рівнянь (2) та (6) можна отримати інший вираз для ентальпії:

$$i = i^* - w^2 / 2 = (1 + \beta_*) a_*^2 / 2 - w^2 / 2. \quad (8)$$

Ввівши вираз відносній швидкості $\lambda = w / a_*$ (9)

з рівнянь (2), (6) та (8) маємо

$$i / i^* = \alpha T / \alpha^* T^* = 1 - \lambda / (1 + \beta_*), \quad (10)$$

звідки
$$\tau(\lambda) = \frac{T}{T^*} = \frac{\alpha^*}{\alpha} \left(1 - \frac{\lambda^2}{1 + \beta_*} \right). \quad (11)$$

Введемо число Маху $M = w / a_*$ (12)

Тоді з рівнянь (4) та (6) маємо

$$1 + \beta / M^2 = (1 + \beta_*) / \lambda^2. \quad (13)$$

Отже
$$1 / \tau = T^* / T = \alpha \left(1 + \frac{M^2}{\beta} \right) / \alpha^*; \quad (14)$$

$$i^* / i = 1 + M^2 / \beta; \quad (15)$$

$$M = \lambda \sqrt{\frac{\beta}{1 + \beta_* - \lambda^2}}; \quad (16)$$

$$\lambda = M \sqrt{\frac{1 + \beta_*}{\beta + M^2}}. \quad (17)$$

З рівняння (11) за допомогою рівнянь ізоентропи отримуємо:

$$\pi(\lambda) = \frac{p}{p^*} = \left[\frac{\alpha^*}{\alpha} \left(1 - \frac{\lambda^2}{1 + \beta_*} \right) \right]^{\frac{\chi}{\chi-1}}; \quad (18)$$

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{\rho}{\rho^*} = \frac{z^*}{z} \left[\frac{\alpha^*}{\alpha} \left(1 - \frac{\lambda^2}{1 + \beta_*} \right) \right]^{\frac{1}{\chi-1}}.$$

(19)

При витіканні в порожнину: $p=0$; $\rho=0$; $T=0$.

$$\text{Отже, } \lambda_{\max} = \sqrt{1 + \beta_*}; \quad (20)$$

$$w_{\max} = a_* \sqrt{1 + \beta_*}. \quad (21)$$

При використанні числа М зручно використовувати зворотнє відношення:

$$\frac{1}{\pi(\lambda)} = \frac{p^*}{p} = \left[\frac{\alpha}{\alpha^*} \left(1 + \frac{M^2}{\beta} \right) \right]^{\frac{\chi}{\chi-1}}; \quad (22)$$

$$\frac{1}{\varepsilon(\lambda)} = \frac{\rho^*}{\rho} = \frac{z}{z^*} \left[\frac{\alpha}{\alpha^*} \left(1 + \frac{M^2}{\beta} \right) \right]^{\frac{1}{\chi-1}}. \quad (23)$$

Із рівнянь (11), (22) та (23) при $\lambda=1$ отримуємо вирази для критичних параметрів:

$$T_* = \frac{\alpha^*}{\alpha_*} \frac{\beta_*}{1 + \beta_*} T^*; \quad (24)$$

$$p_* = \left(\frac{\alpha^*}{\alpha_*} \frac{\beta_*}{1 + \beta_*} \right)^{\frac{\chi}{\chi-1}} p^*; \quad (25)$$

$$\rho_* = \frac{z^*}{z_*} \left(\frac{\alpha^*}{\alpha_*} \frac{\beta_*}{1 + \beta_*} \right)^{\frac{1}{\chi-1}} \rho^*. \quad (26)$$

Використовуючи рівняння (17), (19) та (26), отримуємо вираз приведеної витрати

$$q(\lambda) = \frac{\rho w}{\rho_* w_*} = \frac{z_*}{z} \left(\frac{\alpha_*}{\alpha} \frac{1 + \beta_* - \lambda^2}{\beta_*} \right)^{\frac{1}{\chi-1}} \lambda = \frac{z_*}{z} \left(\frac{\alpha_* \beta}{\alpha \beta_*} \right)^{\frac{1}{\chi-1}} M \left(\frac{1 + \beta_*}{M^2 + \beta} \right)^{\frac{\chi+1}{2(\chi-1)}}.$$

Витрата газу через сопло при дозвуковому перепаду дорівнює:

$$G = F w \rho g = F \frac{z^*}{z} \gamma^* \sqrt{2 \alpha^* R T^* \left[\left(\frac{p}{p^*} \right)^{\frac{2}{\chi}} - \frac{\alpha}{\alpha^*} \left(\frac{p}{p^*} \right)^{\frac{\chi+1}{\chi}} \right]}. \quad (27)$$

Використовуючи рівняння (7) і (26), отримуємо вираз витрати газу при надзвуковому перепаді через сопло:

$$G_* = F w_* \rho_* g_* = F \frac{z^*}{z} \gamma^* \left(\frac{\beta_*}{\alpha_*} \right)^{\frac{1}{\chi-1}} \left(\frac{\alpha^*}{1 + \beta_*} \right)^{\frac{\chi+1}{2(\chi-1)}} \sqrt{2RT^*} = \frac{10}{g} m \frac{Fp^*}{\sqrt{T^*}}.$$

де F — в см^2 ; p^* — в барах,

$$m = \frac{g}{z_*} \sqrt{\frac{2}{R} \left(\frac{\beta_*}{\alpha_*} \right)^{\frac{1}{\chi-1}} \left(\frac{\alpha^*}{1 + \beta_*} \right)^{\frac{\chi+1}{2(\chi-1)}}}. \quad (28)$$

Абсолютно очевидно, що при $pV = RT \rightarrow \chi = k_{\text{іо}}$, всі формули для реального газу перетворюються на формули для ідеального газу.

Хоча структура формул газової динаміки для ідеального газу досить проста, проте практика показала доцільність розробки таблиць газодинамічних функцій для розрахунків газових течій [2]. Тим більше це доцільно для реального газу, де структура формул дещо складніша.

Для реального газу газодинамічні функції залежать не тільки від показника ізоентропи, але і від величин z , α і β залежності яких від тиску і температури для різних газів неоднакові.

Для обчислення на ЕОМ газодинамічних функцій $\pi(\lambda)$, $\tau(\lambda)$, $\varepsilon(\lambda)$, $q(\lambda)$, та λ , а також величин m , $\chi_{\text{ср}}$, Z_* , α_* та β_* , що входять до газодинамічних співвідношень, були складені спеціальний алгоритм і програма розрахунку, в яких враховуються і малі зміни показника ізоентропи χ за величиною тиску і температурі. Незалежними змінними в таблицях прийняті температура гальмування T^* і тиск гальмування p^* .

До програми обов'язково додається таблиця значень χ , Z , α та β , для кожного газу по розширеному діапазоні (відносно T^* та p^*) в сторону більш низьких температур і тисків.

Висновки

Розроблено методику розрахунку ізоентропної течії реального газу.

Знайдено вираз показника ізоентропи, значення якого слабко змінюється у широкому діапазоні тиску і температур однофазної області одно-, дво- та багатоатомних газів.

Вираз показника ізоентропи, величина якого слабко змінюється у широкому діапазоні тиску і температур однофазної області багатоатомних газів, дозволяє інтегрувати диференціальне рівняння термодинаміки і отримати основні співвідношення одновимірної ізоентропної течії реального газу.

Список літератури

1. *Термодинамические свойства метана* / В.В. Сычев, А.А. Вассерман, А.Д. Козлов и др. — М.: Изд-во стандартов, 1979.
2. *Термодинамические свойства индивидуальных веществ* / Под ред. В.П. Глушко. — М.: Наука, 1978. (в 4-х томах).
3. *Абрамович Г. И.* Прикладная газовая динамика. — М.: Наука, 1976.
4. *Шехтман А.М.* Показатель изоэнтропы реального газа // ИФЖ, 1984. Т. 46. С. 516-517.