

В.Р.Кулінченко, д-р техн. наук

І.К. Мотуз

Національний університет харчових технологій

НЕРІВНОМІРНІСТЬ ПРОФІЛЮ ШВИДКОСТІ ТУРБУЛЕНТНИХ СТРУМЕНІВ НА ПОЧАТКОВІЙ ДІЛЯНЦІ

Розглянуті вільні затоплені осесиметричні струмені з симетрично-нерівномірним початковим профілем швидкості, що відрізняються ступенем початкової нерівномірності. На підставі якісного і кількісного аналізу мікро- і макроструктури течії визначено вплив початкової нерівномірності профілю швидкості на ежекційні характеристики струминної течії і закономірності її розвитку.

Ключові слова: нерівномірність, профіль швидкості, струмінь, ежекція, насадок, турбулентність, ділянки: початкова, перехідна, основна.

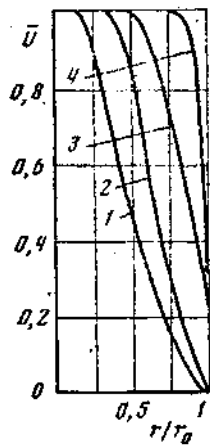
Досвід роботи струминної техніки вимагає урахування конкретних початкових умов витікання. Експериментальні дослідження [1] показують, що на виході з пальника середні швидкості можуть бути нерівномірними. Характер такого розподілу пов'язаний з конкретними умовами, а величина нерівномірності може змінюватися в широких межах. У той же час відомі з літературних першоджерел залежності дозволяють враховувати тільки нерівномірність пов'язану з утворенням пограничного пристінного шару, де профіль швидкості підпорядкований закону $1/7$ [2].

© В.Р. Кулінченко, І.К. Мотуз, 2011

Метою цієї роботи є вивчення впливу початкової нерівномірності профілю швидкості на ежекційні властивості струменя і характеристики його розвитку. Розгляду підлягають вільні ізотермічні осесиметричні повітряні струмені, які витікають із циліндричного насадка, що має лемніскатний профіль на вході.

Конструкція насадка дозволяє за допомогою системи сіток різної проникливості змінювати форму початкового профілю швидкості з одночасною

змінною коефіцієнта нерівномірності. Розглянемо чотири варіанта течії з симетрично-нерівномірними профілями швидкості (рис. 1), що відрізняються значенням коефіцієнта нерівномірності



$$n = \int_{F_0} \frac{u_i dF_{0i}}{u_0 F_0},$$

де u_0 — максимальна швидкість на зрізі; F_0 — площа вихідного перерізу насадку.

Рис.1. Варіанти початкового профілю швидкості: 1 — $n = 0,305$; 2 — $0,58$; 3 — $0,65$; 4 — $0,95$

На підставі розгляду полів середніх швидкостей $u(y)$ й інтенсивності турбулентності $\varepsilon(y) = \sqrt{\overline{u'^2}} / u_0$ картину розвитку струменя при нерівномірному початковому профілі швидкості можна розбити, як і в [2], на три ділянки: початковий, перехідний і основний. Але на відміну від [2] при $n < 0,95$ традиційне ядро постійних швидкостей було відсутнім, а мало місце з нульовим поперечним градієнтом середньої швидкості й інтенсивності турбулентності.

Для початкової ділянки характерна різка різниця у зміні профілів $\varepsilon(y)$ і $u(y)$ при наявності нульових градієнтів середньої швидкості і турбулентності. Зміна $\varepsilon(y)$ носить тут немонотонний характер з двома чітко вираженими максимумами у зоні найбільших градієнтів середньої швидкості, симетричними відносно осі струменя. За характером зміни ε в поперечних перерізах початкової ділянки течії можна розбити на центральну і зовнішню зони. У центральній зоні спостерігається безперервний ріст за довжиною струменя величини ε від початкового значення ε_0 , що обумовлюється умовами формування струменя в насадці, до значення ε у кінці ділянки. При цьому поряд зі зміною ε по осі має місце деформація його профілю в усій центральній зоні. За своєю конфігурацією ця зона являє собою циліндр, діаметр і довжина якого диктується початковими умовами течії (чим більше n , тим ця величина більша).

У зовнішній зоні ε монотонно зменшується від значення ε_m на межі між зонами до нуля на зовнішній границі струменя.

В основній ділянці течії спостерігається монотонна зміна u і ε у повздовжньому і поперечному напрямках, відсутність площадок нульового градієнту, зменшення рівня турбулентності і швидкості по довжині.

Між початковою і основною ділянками знаходиться перехідна ділянка, яка характеризується складною деформацією профілів $u(y)$ і $\varepsilon(y)$.

Необхідно сказати, що на початковій і перехідній ділянках на течію струменя сильно впливають індивідуальні особливості кожного профілю і відбувається досить складна перебудова структури течії, пов'язана з переходом каналного типу течії в струминне, збільшенням інтенсивності турбулентності у пограничному шарі й на осі струменя, падінням швидкості по довжині центральної зони, вирівнюванням турбулентної структури течії по всім напрямках і т. ін. Тому доцільно в основу схематизації течії покласти зміну турбулентності по осі струменя (рис. 2). Початковій ділянці течії відповідає область із збільшенням турбулентності по осі ε_{oc} (ділянка, що генерує турбулентність), основній ділянці відповідає область зі зменшенням величин ε_{oc} і ε_m (ділянка виродження турбулентності). Між ними знаходиться перехідна область.

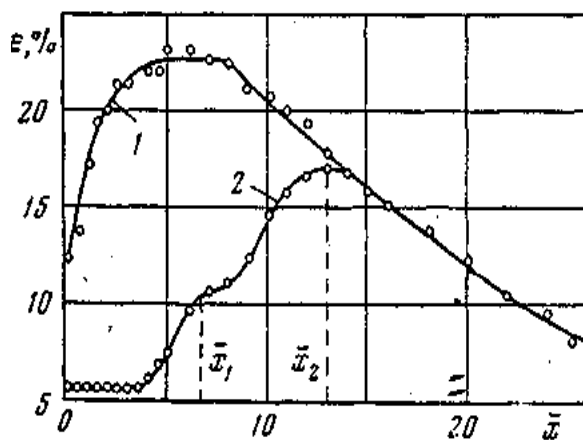


Рис. 2. Зміна інтенсивності турбулентності по довжині струменя ($n = 0,95$): 1 — ε_m ; 2 — ε_{oc}

Для оцінки положення меж і протяжності виділених ділянок розвитку використаний різний характер зміни інтенсивності турбулентності по осі ε_{oc} і в пограничному шарі ε_m (рис.2). Положення межі між початковою і перехідною ділянкою x_1 однозначно визначається протяжністю ядра початкової ділянки (площинки нульового градієнта середньої швидкості і турбулентності), що співпадає з вираженим перегином залежності $\varepsilon_{oc}(x)$.

Друга межа між перехідною і основною ділянкою x_2 визначається перерізом, у якому значення інтенсивності турбулентності на осі ε_{oc} дорівнює максимуму ε_m у пограничному шарі (рис. 2). При цьому в перерізі x_2 середня швидкість на осі становить $\sim 0,65u_0$.

Необхідно зауважити, що із зміною ступені нерівномірності початкового профілю швидкості n , відповідно змінювалася величина ε_o . Виходячи з цього, на всі характеристики вводилися поправки, які приводили до однієї величини $\varepsilon_o = 0,5\%$ [3] при збереженні постійним коефіцієнту нерівномірності $n = 0,95$.

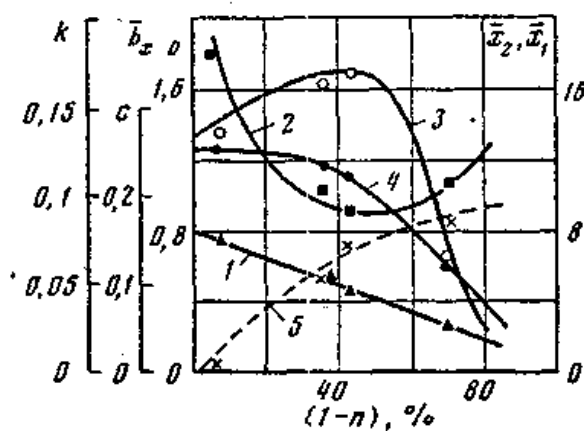


Рис. 3. Вплив ступеня нерівномірності початкового профілю швидкості на параметри струменя: 1 — $\bar{x}_1$; 2 — $\bar{x}_2$; 3 — k ; 4 — c_1 ; 5 — $\bar{b}_{\bar{x}=0}$

На рис. 3 наведені дані залежності довжини початкової ділянки x_1/r_0 і положення межі перехідної ділянки x_2/r_0 від ступеня початкової нерівномірності n . Звертає на себе увагу нелінійний характер залежності $\bar{x}_2(n)$ з вираженим мінімумом біля $n = 0,45$.

Ширина пограничного шару b , яка використовується для характеристики розвитку струменя знаходиться окремо для виділених ділянок, виходячи з афінності профілю середньої швидкості. Повна подібність полів $u(y)$ [а також $\varepsilon(y)$] спостерігається тільки на основній ділянці. Певні труднощі виникли при визначенні зовнішньої межі струменя, пов'язані з асимптотичним характером

розподілу швидкості і наявністю певної зони переміжності. Тому визначення цієї межі виконувалося як за наявними полями середньої швидкості, так і за повним тиском, а також за розрахунковими залежностями [2]. Виконаний аналіз показав, що найменша розбіжність характеристик струменя має місце в межах повного тиску.

Зі зміною початкового профілю швидкості змінюється інтенсивність розкриття струменя. Найменша інтенсивність зростання b у струменя з коефіцієнтом нерівномірності $n = 0,305$, а найбільша — при $n = 0,95$. Залежність $b(x, n)$ на початковій ділянці можна описати функцією виду

$$b(x, n) = c(n)\bar{x} + b_{\bar{x}=0}(n),$$

де $c(n)$ — коефіцієнт пропорційності; $b_{\bar{x}=0}(n)$ — ширина пограничного шару на зрізі насадка; $\bar{r}_2 = k(n)\bar{x}$ — положення зовнішньої межі; залежність $k(n)$ наведена на рис. 3.

Для основної ділянки течії залежність $b(x)$ також лінійна, але з постійним значенням коефіцієнта пропорційності $c = 0,15$. Ефективна ширина струменя, взята за координатою половинної швидкості $\bar{r}_{0,5}$ надійно описується законом $d\bar{r}_{0,5}/d\bar{x} = 0,085$, що відповідає [4].

Зупинимося на впливі степені нерівномірності n на ежекційні властивості струменя. Розрахунок маси виконувався з використанням полів швидкості $u(y)$. Отримані результати показують, що ежекційні властивості струменя сильно залежать від n . Закон зміни маси по довжині початкової ділянки струменя близький до лінійного і може бути виражений наступною залежністю:

$$m/m_0 = k(n)\bar{x} + 1,$$

де m_0 — маса на зрізі насадка; m — поточна маса.

Однак інтенсивність зростання маси, що визначається величиною коефіцієнта k , носить немонотонний характер в залежності від n (рис. 3). Найбільший темп зростання маси відповідає коефіцієнту нерівномірності $n \cong$

0,45. Подібний характер залежності $k(n)$ на початковій ділянці пов'язаний з особливостями взаємодії струменя з оточуючим середовищем [4].

На основній ділянці інтенсивність зростання маси однакова і відбувається з постійним коефіцієнтом пропорційності, рівним 0,15.

У той же час, не дивлячись на зміну ежекційних властивостей струменів, відношення поточної маси струменя m_i до його периметру Π_i в i -му поперечному перерізі (інтегральний параметр введений в [1]) залишається величиною постійною і рівною початковому відношенню m_0/Π_0 , іншими словами являє собою горизонтальну лінію.

$$m_i\Pi_0/m_0\Pi_i = 1.$$

Постійною за довжиною струменя залишається і кількість руху, розрахована за полями повного тиску.

Висновки.

1. Показано, що на інтенсивність розвитку струменя суттєвий вплив чинить нерівномірність середньої швидкості на зрізі насадка. Так, якщо зі збільшенням швидкості інтенсивність зростання ширини пограничного шару по довжині струменя, як і значення швидкості на осі, монотонно зменшується, то ежекційна властивість екстремально залежить від степені нерівномірності, і має максимальне значення при $n \cong 0,45$.

2. Доведено, що кількість руху струменя, а також величина відношення маси до її периметру залишаються постійними по довжині струменя і не залежать від початкової нерівномірності профілю середньої швидкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Двойнишников В.А.* Исследование особенностей аэродинамической организации рабочего процесса в камерах сгорания конического типа для МГДУ / В.А. Двойнишников, М.А. Ларюшкин // ТВТ. — 1977. — т. 15, №3. — С.629 – 637.

2. *Абрамович Г.Н.* Теория турбулентных струй / Абрамович Г.Н. — М.: Физматгиз, 1960. — 716 с.

3. Двойнишников В.А. Влияние начального уровня турбулентности на закономерности развития осесимметричной свободной струи / В.А. Двойнишников, М.А. Ларюшкин // Тр. МЭИ. — М.: 1979. — №396. — С. 29 – 37.

4. Таунсенд А.А. Структура турбулентного потока с поперечным сдвигом / Таунсенд А.А. — М.: ИЛ, 1959. — 396 с.

Одержана редколлегією 16.11.2011

В.Р. Кулинченко, И.К. Мотуз,

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЙ НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ

Рассмотрены свободно затопленные осесимметричные струи с симметрично-неравномерным начальным профилем скорости, отличающиеся степенью начальной неравномерности. На основании качественного и количественного анализа, микро- и макроструктуры течения определено влияние начальной неравномерности профиля скоростей на эжекционные характеристики струйного течения и закономерности его развития.

Ключевые слова: *неравномерность, профиль скорости, струя, эжекция, насадок, турбулентность, участки: начальный, переходной, основной.*

V. Kulintchenko, I. Motuz,

UNEVENNESS OF TYPE OF SPEED OF TURBULENT STREAMS IS ON INITIAL AREA

The free axisymmetrical streams flooded from symmetrically-uneven initial type speeds are considered, which differ the degree of initial unevenness. On the basis of high-quality and quantitative analysis micro- and macrostructures of flow are certain influence of initial unevenness of type of speed on ejecting descriptions of stream flow and conformity to law of its development.

Key words: *unevenness, type of speed, stream, ejecting, attachments, turbulence, areas: initial, transitional, basic.*