

УДК 532.526

В.І. Мамчук

МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОСТІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ПЛОСКИХ ТУРБУЛЕНТНИХ ПРИСТІННИХ СТРУМЕНІВ

Подано математичну модель турбулентності та результати розрахунків пристінних струменів за запропонованим скінченнорізницевим методом. Розрахункові параметри деяких видів струменів порівняно з відомими експериментальними даними.

Дана стаття є логічним продовженням висвітлення результатів розробки та апробації чисельного методу для розрахунку характеристик турбулентних пристінних струменів, які застосовуються як ефективний засіб покращення аеродинамічних характеристик авіаційної техніки та розв'язання прикладних задач.

Рівняння, які описують прилежові струмені після обезрозмірювання в загальному двовимірному випадку, мають вигляд:

рівняння нерозривності

$$\sum_{i=1}^2 \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial \bar{x}_i} + \bar{u}_1 \frac{1}{u_{1h}} \frac{\partial u_{1h}}{\partial \bar{x}_1} = 0; \quad (1)$$

рівняння кількості руху в проекції на вісь x_1

$$\sum_{i=1}^2 \bar{u}_i \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial \bar{x}_i} = \frac{1}{u_{1h}} \frac{\partial u_{1h}}{\partial \bar{x}_1} - \frac{\bar{u}_1^2}{u_{1h}} \frac{\partial u_{1h}}{\partial \bar{x}_1} + \frac{\partial}{\partial \bar{x}_2} \left(\frac{1}{Re_L} \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial \bar{x}_2} + \bar{\tau}_{11} \right), \quad (2)$$

де $i = \overline{1,2}$; \bar{u}_i – проекції вектора швидкості на напрямки x_i ; x_i – відповідно поздовжня та нормальна осі, пов'язані з обтічною поверхнею ортогональної системи координат; p – тиск;

τ – напруження тертя; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості; $\bar{u}_i = \frac{u_i}{u_{1h}}$; $\bar{\tau}_1 = \frac{\tau_1}{\rho u_{1h}^2}$; $\bar{x}_i = \frac{x_i}{L}$; L –

характерний розмір; індекс t – турбулентний; індекс h – значення на зовнішній межі пристінного струменя; Re – число Рейнольдса.

Високоєфективний безітераційний метод розрахунку системи рівнянь (1) і (2), який базується на основі різницевої схеми з підвищеними стабілізуючими властивостями, описаний в роботі [1]. Напрямоком подальших досліджень вважається вдосконалення існуючих моделей турбулентності та на їхній основі замкнення розробленого методу. Висвітлення результатів, одержаних на вказаному напрямку, і становить мету даної статті.

Оскільки профіль усередненої швидкості пристінного струменя має складну форму, то для описування коефіцієнта турбулентної в'язкості μ_t для кожної з ділянок використовувалися співвідношення:

для початкової ділянки

$$\mu_t = \chi \rho \delta u_h \gamma \text{th} \frac{l \sqrt{\bar{\tau}}}{\chi \delta u_h / v_*},$$

$$\ell = kx_2 \operatorname{th} \frac{\operatorname{sh}^2(\chi_1 x_2^+) \operatorname{th}(\operatorname{sh}^2(\chi_2 x_2^+))}{kx_2 \sqrt{\bar{\tau}}},$$

для струменевої і слідної ділянок

$$\mu_t = \begin{cases} \rho \chi_{\text{ст}} \delta_{\text{ст}} (u_{\text{max}} - u_{\text{min}}) \gamma & \text{при } \delta_{\text{max}} \leq x_2 \leq \delta_1, \\ \rho \chi_{\text{ст}} \delta_{\text{ст}} (u_{\text{min}} - u_h) \gamma & \text{при } \delta_1 < x_2 \leq \delta, \end{cases}$$

де μ_t - коефіцієнт турбулентної в'язкості; k, χ, χ_1, χ_2 - коефіцієнти моделі; $v_* = \sqrt{\tau_w / \rho}$ - динамічна швидкість; ℓ - довжина ділянки змішування; τ_w - значення дотичного напруження на поверхні; $\bar{\tau}$ - безрозмірне напруження тертя в околі стінки: $\bar{\tau} = \begin{cases} 1 + \Phi_1 \eta, & \bullet \text{ рЦ } \Phi_1 \geq 0, \\ 1/(1 - \Phi_1 \eta), & \bullet \text{ рЦ } \Phi_1 < 0; \end{cases}$ δ - товщина пристінного струменя; $\eta = x_2 / \delta$; $\Phi_1 = \frac{\delta}{\tau_w} \frac{dp}{dx_1}$ - форм - параметр К.К.Федяєвського; $x_2^+ = x_2 v_* \rho / \mu$; $\gamma = \sqrt{1 - \eta}$ - функція, що враховує переміжність течії; $\delta_{\text{ст}}$ і $\delta_{\text{сл}}$ - товщини струменевої та слідної ділянок відповідно; $\chi_{\text{ст}}, \chi_{\text{сл}}$ - емпіричні сталі моделі.

На рис.1-3 показано результати чисельних розрахунків деяких пристінних турбулентних струменевих течій, які представляють особливу практичну цінність. На рис.1 порівнюються результати розрахунків (лінії) пристінних струменів з експериментальними даними А.А. Бондарця [2], на рис.2 - з експериментальними даними П.С. Лазнюка [3], на рис.3 - з експериментальними даними В.С. Максимова [4] та ін.

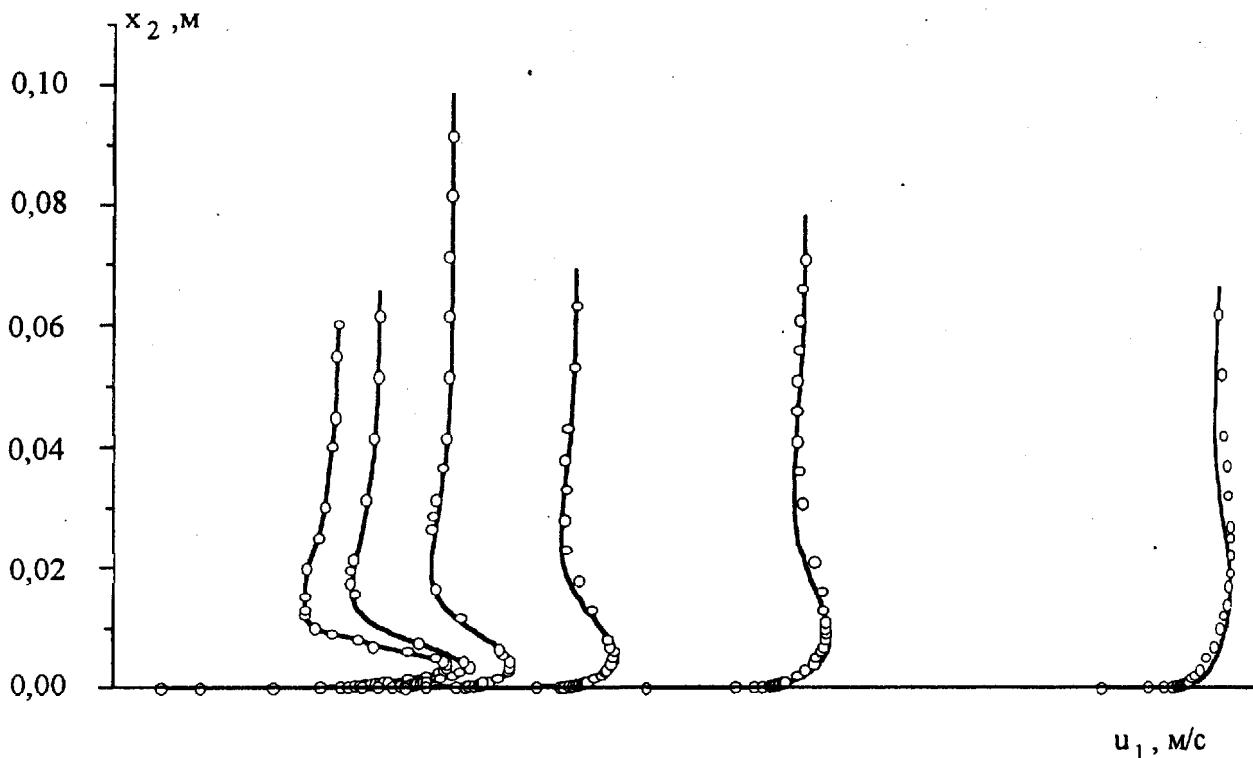


Рис.1. Розподіл $u_1 = u_1(x_2)$: лінії - розрахунки; кола - експериментальні дані А.А. Бондарця

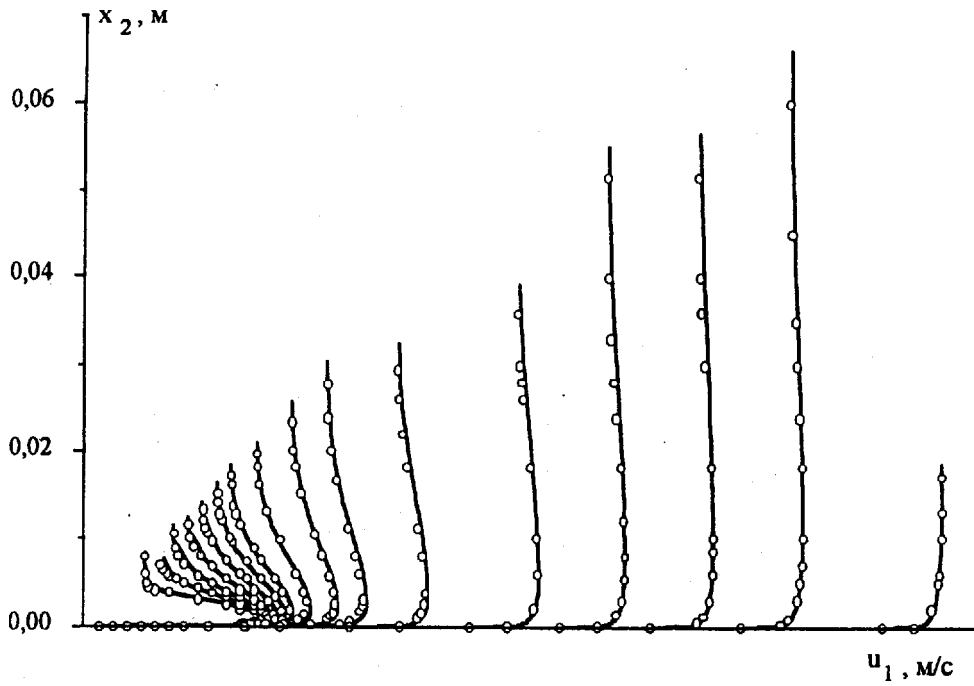


Рис.2. Розподіл $u_1 = u_1(x_2)$: лінії - розрахунки; кола - експериментальні дані П.С. Лазнюка

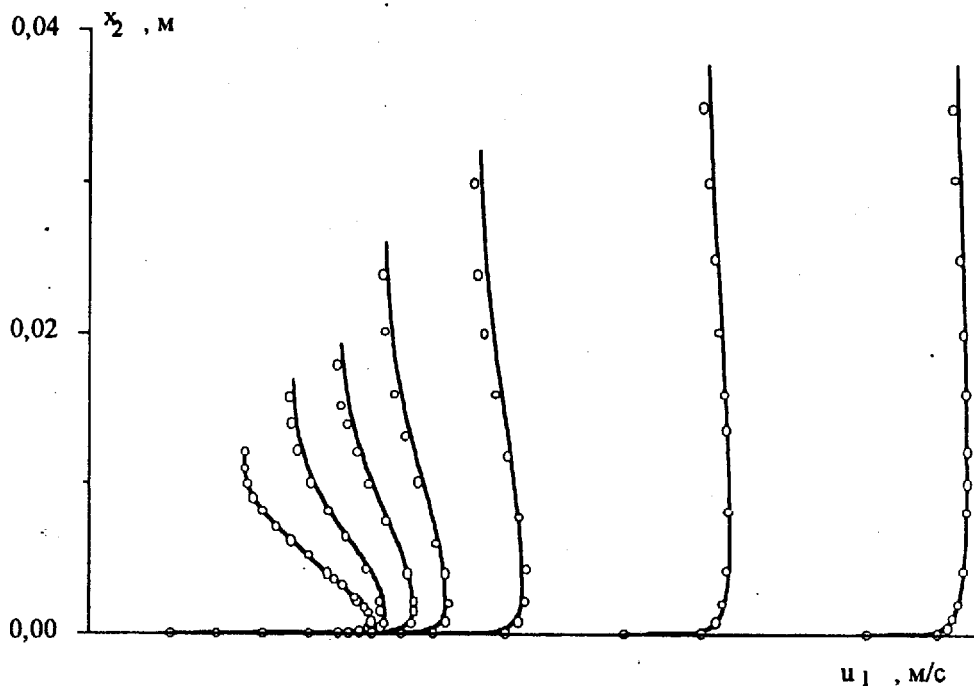


Рис.3. Розподіл $u_1 = u_1(x_2)$: лінії - розрахунки; кола - експериментальні дані В.С. Максимова

Порівняння виконано за профілями поздовжньої складової швидкості в декількох перерізах з модульованої течії (рис. 1-3) згідно з роботами [2-4].

З рис. 1-3 видно, що відповідність між розрахунками та експериментами достатньо точна. Деякі систематичні відхилення розрахункових значень від експериментальних можна пояснити чутливістю коефіцієнтів моделі турбулентності до параметрів, що характеризують розвиток течії.

Список літератури

1. *Мамчук В. І.* Математичне моделювання турбулентних пристінних струменів т шарів // Прикладная аэродинамика. - К.: КМУГА. - 1997. - С. 69-74.
2. *Мхитарян А.М., Мовчан В.Т., Шквар Е.А., Бондарец А.А.* Моделирование турбулентных пристенных и свободных струй и следов // Теплообмен и гидродинамика тонких струй вязкой жидкости: Тез. докл. Всесоюз. семинара: Днепропетровск: ДГУ. - 1989. - С. 17-18.
3. *Лазнюк П.С.* Экспериментальное исследование основного участка изобарического течения полуограниченной плоской турбулентной струи при наличии спутного потока // Некоторые вопросы аэродинамики и электрогидродинамики. - К.: КИИГА. - Вып. II. - 1966. - С. 55-69.
4. *Максимов В.С., Трунов О.К., Зеленько А.В., Прусов В.А.* Исследование теплопередачи в плоской полуограниченной турбулентной струе, растекающейся вдоль адиабатической стенки // Некоторые вопросы аэродинамики и электрогидродинамики. - К.: КИИГА. - Вып. VI. - 1970. - С. 14-21.

Стаття надійшла до редакції 21 лютого 1998 року.



Віталій Іванович Мамчук (1 51) Р ий державний педагогічний інститут ім. Д.З. Мануїльського в 1972 році. Аспірант кафедри вищої математики КМУЦА. В галузі математичного моделювання турбулентних пристінних течій має понад 20 друкованих наукових праць.

Vitaliy I. Mamchuk (b.1951) graduated from SPI of Rovno (1972), post-graduate of Higher mathematics Department of Kiev International University of Civil Aviation. Author of more than 20 publications in the field of mathematics simulation of turbulent near-wall flows.