

**НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ ЕМФ 2008  
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ  
ЕНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ**

---

**СБОРНИК ДОКЛАДИ**

**ХІІІ<sup>-та</sup> НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ  
ЕМФ 2008**

**ПОСВЕТЕНА НА 45 ГОДИНИ ОТ ОСНОВАВАНЕТО НА  
ЕНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛНИЯ ФАКУЛТЕТ**

**Том II  
ХИДРОАЕРОДИНАМИКА И ХИДРАВЛИЧНИ МАШИНИ  
ТЕКСТИЛНА ТЕХНИКА**

**17 – 20 септември 2008 г.  
Почивна база на ТУ – София  
гр. Созопол**

**Докладите в сборника са рецензирани и одобрени от редакционна комисия в състав:**

Председател: доц. д-р инж. Васил Йорданов

Членове:

доц. д-р инж. Бончо Бонев  
доц. д-р инж. Ивайло Банов  
доц. д-р инж. Емануил Агонцев  
доц. д-р инж. Христо Петров  
доц. д-р инж. Иван Геновски  
доц. д-р инж. Огнян Бекриев

## РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ДВУФАЗНА ТУРБУЛЕНТНА СТРУЯ В ПОРЪОЗНА СРЕДА. ИНТЕГРАЛЕН МЕТОД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ

И. С. Антонов<sup>1</sup>, М.С. Ангелов<sup>2</sup>, С. И. Антонов<sup>1</sup>

*Изведени са основните интегрални условия при разпространение на двуфазна турбулентна струя в порьозна среда. Моделът е направен на основата на двуфлуидна схема на двуфазното течение, включително по отношение на хидравличните съпротивления на средата.*

## TWO-PHASE TURBULENT JET SPREADING THROUGH POROUS MEDIA. INTEGRAL METHOD FOR INVESTIGATION

Ivan Antonov<sup>1</sup>, Milcho Angelov<sup>2</sup>, Cvetlin Antonov<sup>1</sup>

*The basic integral conditions for two-phase turbulent jet spreading through porous media are deduced. The model is created on the base of two flows scheme of two phase flow including hydrodynamic resistance of the media.*

### 1. Увод

Двуфазните турбулентни течения през порьозна среда са често срещани в природата и в инженерната практика. Намират приложение при редица технологични процеси в химическата и хранителна промишленост, при филтрация на замърсени течности и газове и др.

Основните уравнения за разпространение на двуфазни турбулентни струи в порьозна (филтрираща) среда са изведени и решени числено при използване на метода на крайните разлики в [1,2]. При решението е използван модифициран  $k - \varepsilon$  модел на турбулентност, свързан с двуфазния характер на течението.

Обект на изследване в настоящата работа е извеждането на основните интегрални условия на двуфазна струя в порьозна среда при съблюдаване на двуфлуидната схема на течението.

### 2. Материали и методи

Математическият модел е изграден върху следните предпоставки:

- Възприема се двуфлуиден модел на течението, което означава, че във всяка една точка от течението фазите (носещата и на примесите) притежават собствена скорост, температура и плътност.

- Двуфазното течение се разглежда като неплътнo множество от частици. Това означава, че времето за релаксация между два удара на частиците  $\tau_r$  е винаги по-малко от времето между ударите  $\tau_{11}$ .

$$\tau_r \ll \tau_{11} \quad (1)$$

- Условието (1) дава основание да се приеме компенсиране на загубената от фазата на примесите енергия и количество на движение от тези на носещата фаза. От тук при интегралните условия загубената енергия в следствие от силите на междуфазово взаимодействие се записва със знак “-” при тези на носещата фаза, и с “+” при фазата на примесите. С този член се дава връзка между двете системи интегрални условия.

- При преминаване на еднофазното течение през порьозна (филтрираща) среда се създава местно съпротивление, което се характеризира със своя коефициент  $\xi_g$ , съгласно Иделчик [3]. Този коефициент зависи от вида на порьозния слой, разположението на съответните елементи в него, дебелината му и пр. Той се изчислява при съобразяване на съответните геометрични характеристики на слоя. Може с пълно основание да се възприеме с допустима степен на точност, че даденото в [3] описва оъпротивлението за носещата фаза.

- Съпротивлението при фазата на примесите ще зависи от следните параметри, характеризиращи движението ѝ: масова концентрация на примесите в течението  $\chi$  и диаметърът на частиците примеси  $D_p$ . Това налага въвеждане на допълнителни зависимости относно тези параметри:

$$f(\chi) = (1 + \chi_0)^{3/2} \quad (2)$$

$$f(\text{Re}) = 1 + a_1 \text{Re}^{1/2} + a_2 \text{Re}_p, \quad (3)$$

$$\text{като } \text{Re}_p = \frac{(U_p - U_g) D_p}{\nu}$$

с които се коригира коефициентът на съпротивление за фазата на примесите.

$$\xi_p = f(\chi) f(\text{Re}_p) \xi_g \quad (4)$$

С така възприетата поправка се отчита обстоятелството, че при преминаване на фазата на примеси през порьозна среда, съпротивлението относно нея нараства в сравнение с газовата (носещата) среда.

- Едно допълнително изискване при пресмятане на диаметъра на частиците примеси  $D_p$  да е много по-малък от площта на единичната пора в материала  $f_n$ :

$$D_p \ll \sqrt{\frac{4f_n}{\pi}} \quad (5)$$

- При порьозен материал с краен обем задължително трябва да се следи степента на запълването на порите от втората фаза при отлагането ѝ в нея. Това запълване води до нарастване на коефициента на съпротивление на порьозната среда  $\xi_g$ . Тук може да се използва коефициентът на порьозност  $m$ .

$$m = \frac{W_n}{W} \quad (6)$$

където  $W$  и  $W_n$  са съответно общият обем и обемът на порите.

Тъй като обемът на порите намалява с наслагване на примеси в тях то:

$$W_n(t) = W_n - \Delta W(t) \quad (7)$$

В случая  $\Delta W(t)$  е наслояваният в порите обем от примеси. Отчитайки този факт за коефициента на съпротивление може да се запише израза:

$$\xi_g(t) = \xi_g \frac{m_0}{m(t)} \quad (8)$$

където  $m_0 = \frac{W_{n0}}{W}$  - начален коефициент на порьозност,  $m(t) = \frac{W_n(t)}{W}$  -

текущ по времето коефициент на порьозност. С тази поправка се изразява непрекъснатото нарастване на съпротивлението с течение на времето.

*Интегралните условия* за двуфазна турбулентна струя в порьозна среда се извеждат аналогично на дадените в [4] и [5]. При разглеждания случай те претърпяват следната модификация.

$$\int_0^{\infty} \rho_p U_p y^j dy = G_0 \quad (9)$$

$$(1 + \xi_g) \int_0^{\infty} \rho_g U_g^2 y^j dy + (1 + \xi_p) \int_0^{\infty} \rho_p U_p^2 y^j dy = I_0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^{\infty} (1 + \xi_g) \rho_g U_g^3 y^j dy = -2 \int_0^{\infty} \rho_g v_{tg} \left( \frac{\partial U_g}{\partial y} \right)^2 y^j dy - U_{gm} F_x \quad (11)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^{\infty} (1 + \xi_p) \rho_p U_p^3 y^j dy = -2 \int_0^{\infty} \rho_p v_{tp} \left( \frac{\partial U_p}{\partial y} \right)^2 y^j dy + U_{pm} F_x \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^{\infty} \chi^2 U_p y^j dy = -2 \int_0^{\infty} \frac{v_p}{Sc_t} \left( \frac{\partial \chi}{\partial y} \right)^2 y^j dy \quad (13)$$

Където  $F_x$  са силите на междупазово взаимодействие. Най-често това е съпротивителната сила  $F_A = C_R S \rho_g \frac{(U_p - U_g)^2}{2}$ , където  $C_R = f(Re_p)$ ,  $D_p$  е диаметърът на частицата примеси. Към  $F_x$  в уравнение (12) се прибавя съобразно посоката и силата от собствено тегло на частицата  $F_m = m_p g$ .

Горният индекс  $j$  се определя от вида на течението –  $j=0$  – при изтичане през процеп (плоска струя) и  $j=1$  при ососиметрична. Долните индекси касаят съответно “g” носеща фаза, “p” – функция на примесите, “0” – начално сечение,  $I_0$  – начално количество на движение-  $I = \rho_{g0}(1 + \chi_0)U_{g0}^2 y_0^{j+1}$ ,  $G_0$  начално количество на примеси в течението -  $G_0 = \rho_{p0}\chi_0 U_p y_0^{j+1}$ ,  $Sc_t$  турбулентно число на Шмидт -  $Sc_t = 0,75$ .

Интегралните условия (9-13) са съответно (9) – за запазване съдържанието на примеси, (10) – за количество на движение, (11) за кинетичната енергия на носещата фаза, (12) за кинетичната енергия на фазата на примесите, (13) – условие от по-горен ред по отношение на масовата концентрация.

Удобен за използване модел за описание на турбулентния кинематичен вискозитет на фазите е дадения в [4, 5], където се отчита влиянието на спецификата на течението. Този модел е модификация на модела на Шец.

Решението на интегралните условия се реализира по обичайната методика. Въвежда се подобие относно безразмерното напречно сечение разпределение на параметрите съгласно [5, 6]. След преработка на (9-13) системата се свежда до една комбинация от обикновени диференциални и алгебрични уравнения. Решението на получената система се реализира числено.

### 3. Заключение

Представеният интегрален модел позволява да се получат следните основни параметри на течението: затихването на максималните скорости  $U_{gm}$  и  $U_{pm}$ , нарастването на струйния граничен слой за носещата фаза и за примесите,  $R_u$  и  $R_p$ , затихването на максималната концентрация на примеси  $\chi_m$ .

С решението на задачата може да се определи максималната дълбочина на проникване на фазата на примесите  $h_p$ , като сечение в което  $U_{pm} \approx 0$ . Спирането на движението на примесите на практика означава пълното им утаяване в поръозния слой. Определянето на тези параметри на течението е и една от целите на настоящото изследване.

### 4. Благодарности

*Разработката на материала се финансира от фонд “Научни изследвания” при МОН по договор ВУ-ТН-107/2005 г.*

### Литература:

1. Антонов И.С., Терзиев, А., Антонов С. Разпространение на двуфазна турбулентна струя в поръозна среда. Част 1. Физически и

- математически модел. Международна конференция 2007, РУ "А. Кънчев", Сборник доклади, стр. 82-86
2. Антонов И.С., Терзиев, А., Антонов С. Разпространение на двуфазна турбулентна струя в порьозна среда. Част 2. Резултати от числения експеримент. Международна конференция 2007, РУ "А. Кънчев", Сборник доклади, стр. 87-90
  3. Иделчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям, М., Машиностроение, 1975 г.
  4. Antonov, I.S., Angelov, M.S., Integral methods for investigation of two dimensional two phase turbulent jets, 10<sup>th</sup> Intern. Conference SAER'96, sept. 27-29, St. Konstantin, Bulgaria, Proc. in Computer systems and Computer added applications, pp. 156-160.
  5. Лиен, Х., Антонов, И., Изследване двумерни двуфазни неизотермични турбулентни струи при използване на интегрален метод. Анализ на резултатите от числения експеримент. Научна конференция ЕМФ'96, Сборник доклади, т. 3, стр. 3-9.
  6. Chider, N.A., Beer, J.M., Velocity and static pressure distributions in swirling air jet, Trans. ASME, ser. D, J of basic Engen., v. 86,1964.

<sup>1</sup>Иван Славейков Антонов- проф. дтн, ТУ София, кат. ХАД, 02 9572270,  
[antonov94116@yahoo.com](mailto:antonov94116@yahoo.com)

<sup>2</sup>Милчо Стоянов Ангелов – доц. д-р, УХТ, Пловдив, кат. МАХВП,032 603840,  
[mangelov@filibeto.org](mailto:mangelov@filibeto.org)

<sup>1</sup>Светлин Иванов Антонов - ТУ София, студент ФКТТ