

**УНИВЕРСИТЕТ ПО ХРАНИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ -
ПЛОВДИВ**

**UNIVERSITY OF FOOD TECHNOLOGIES -
PLOVDIV**



**SCIENTIFIC WORKS
Volume LI, Issue 4
Plovdiv, October 27-29, 2004**

НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ

**“ХРАНИТЕЛНА НАУКА, ТЕХНИКА И
ТЕХНОЛОГИИ 2004”**

**‘FOOD SCIENCE, TECHNIQUE AND
TECHNOLOGIES 2004’**

НАУЧНИ ТРУДОВЕ

Том LI, Свитьк 4

Пловдив, 27 - 29 октомври 2004

48. ХАРМОНИЗИРАНЕ НА ПРОЦЕДУРИТЕ ЗА ОЦЕНКА НА СЪОТВЕТСТВИЕТО ЗА МАШИНИ ЗА ХВП, Венцислав Ненов, Стефан Дичев Harmonization of the procedures for conformity assessment of food industry machines, V. Nenov, St. Dichev	270
49. ЛАБОРАТОРЕН ХИДРОСТЕНД С ТАХОГЕНЕРАТОРНО СКОРОСТОМЕРНО УСТРОЙСТВО, Тодор Николов, Венцислав Ненов, Панко Митев, Стефан Петков LABORATORY HYDROSTAND WITH A TACHO-GENERATOR SPEED-MEASURING DEVICE T. Nikolov, V. Nenov, P. Mitev, St. Petkov	276
50. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ХИДРОАГРЕГАТ Тодор Николов, Венцислав Ненов, Панко Митев, Петър Далев STUDY OF A HYDRO-GENERATOR POWER EFFICIENCY T. Nikolov, V. Nenov, P. Mitev, P. Dalev	280
51. Неавтомоделност при двуфазните турбулентни струи, Ив. Антонов, М. Ангелов, А. Терзиев, Т. Кръстанска, Н. Т. Нам	284
52. Адсорбционни характеристики на неорганични носители за имобилизация на клетки при получаване на етанол I. Избор на продуцент и носител Здравка Велкова, Георги Костов, Светлозар Велизаров, Михаил Ангелов Adsorption characteristics of inorganic supports for cell immobilization in ethanol production, I. Choice of producer and support Zdravka Velkova, Georgi Kostov, Svetlozar Velizarov, Mihail Angelov	290
53. ИЗСЛЕДВАНЕ МОЩНОСТНАТА ХАРАКТЕРИСТИКА НА РОТОР-СТАТОР МИКСЕР Стефан Янков, Цветелин Десев	296
54. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОТНОСИТЕЛНОТО ДВИЖЕНИЕ НА ТОЧКИ ОТ ПРИТИРА СПРЯМО ЗАГОТОВКАТА ПРИ ДВУСТРАННО РАВНИННО ПРИТРИВАНЕ НИКОЛА РАДЕВ, ГЪРДИ ГЪРДЕВ, НАДЕЖДА САЛАБАШЕВА INVESTIGATION OF THE RELATIVE MOTION OF LAP'S POINTS WITH RESPECT TO THE WORKPIECE BY DOUBLE WHEEL PLANE LAPPING NIKOLAS RADEV, GARDI GARDEV, NADEZHDA SALABASHEVA	302
55. ВАРИАНТНИ РЕШЕНИЯ ЗА ОХЛАЖДАНЕ НА МИНЕРАЛНА ВОДА Георги Вълчев, Виолета Рашева VARIANT SOLUTIONS FOR COOLING OF MINERAL WATER Georgi Valtchev and Violeta Rasheva	307
56. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ ХИДРОДИНАМИКАТА НА КОХОБАЦИОННА КОЛОНА И СРАВНЯВАНЕ С АНАЛИТИЧНО ПОЛУЧЕНИ СТОЙНОСТИ, Георги ВЪЛЧЕВ, Станислава ТАШЕВА, Виолета РАШЕВА EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HYDRODYNAMICS IN A SOBOVATION COLUMN AND COMPARISON WITH ANALYTIC OBTAINED VALUES Georgy VALCHEV, Stanislava TASHEVA, Violeta RASHEVA	313
57. Плътност и вискозитет на водо-спиртен дъбов екстракт Андрея Костов, Минчо Минчев, Стефан Станев Density and viscosity of water-spirits oak extract Andrea Kostov, Mincho Minchev, Stefan Stanev	319
58. МЕТОДИКА ЗА ОЦЕНКА НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА СУШИЛЕН ПРОЦЕС, Георги Раичков, Мария Георгиева METHEDODOLOGY TO AN ESTIMATION OF ENERGY EFFISIENCY OF DRYING PROCESS Georgi Raichkov, Maria Georgieva	325
59. СУШЕНЕ НА ДЪРВЕСИНА ОТ БУК И ДЪБ ПО ЦИКЛИЧНИ РЕЖИМИ, Теодор Лулчев DRYING OF BEECH AND OAK WOOD BY CYCLIC REGIMES, Theodor Lulchev	331

Неавтомоделност при двуфазните турбулентни струи

Ив. Антонов*, М. Ангелов**, А. Терзиев*, Т. Кръстанска*, Н. Т. Нам***

РЕЗЮМЕ

Понятието “автомоделност” в теорията на турбулентните струи означава изключване влиянието на размерни начални параметри върху развитието на течението. Това се обяснява с наличието на едно единствено интегрално условие за запазване на количеството на движение. При двуфазните турбулентни струи в значителна степен влияят началните параметри: широчина на дюзата, скорост на изтичане, концентрация, размер на частиците от примеси и др. В работата е проведен числен експеримент на основата на двуфлуидна схема на течението, като се използва трипараметричен модел на турбулентност – k_g - k_p - ϵ . На основата на получените числени резултати се прави анализ на влиянието на размерните начални параметри на развитието на двуфазна турбулентна струя.

Под “автомоделност” в теорията на турбулентните струи се разбира възможност безразмерните резултати за основните им параметри да са независими от началните размерни стойности [1], [2]. След като е доказан [2], [3] неравновесния характер на двуфазните турбулентни струи, в настоящата работа се показва и наличието на неавтомоделност при тях. Това означава, че началния радиус на струята, началната ѝ скорост и др. в размерен вид влияят върху изменението на основните ѝ параметри.

1. Математически модел:

Използва се двуфлуидна схема на течението, при която всяка една от фазите има собствена скорост, плътност и температура. Математическият модел е изграден върху уравненията за непрекъснатост, количество на движение и топлосъдържание, записани за всяка една фаза. Връзките между тези уравнения са силите на междудуфазово взаимодействие. Тези уравнения имат вида:

$$1) \frac{\partial}{\partial x} [y^j U_g \rho_g] + \frac{\partial}{\partial y} [y^j V_g \rho_g] = 0$$

$$2) \frac{\partial}{\partial x} [y^j U_p \rho_p] + \frac{\partial}{\partial y} [y^j V_p \rho_p] = 0$$

$$3) [y^j \rho_g U_p] \frac{\partial \chi}{\partial x} + [y^j \rho_g V_p] \frac{\partial \chi}{\partial y} = - \frac{\partial}{\partial y} [y^j \rho' V'] - \overline{\rho_p' V_p'}$$

$$4) [y^j \rho_g U_g] \frac{\partial U_g}{\partial x} + [y^j \rho_g V_g] \frac{\partial U_g}{\partial y} = - \frac{\partial}{\partial y} [y^j \rho_p \overline{U_g' V_g'}] - F_x y^j$$

$$\begin{aligned}
5) \quad & \left[y^j \rho_p U_p \right] \frac{\partial U_p}{\partial x} + \left[y^j \left(\rho_p V_p + \overline{\rho_p' V_p'} \right) \right] \frac{\partial U_p}{\partial y} = - \frac{\partial}{\partial y} \left[y^j \rho_p \overline{U_p' V_p'} \right] + F_x y^j \\
& \left[y^j \rho_g U_g \right] \frac{\partial h_g}{\partial x} + \left[y^j \rho_g V_g \right] \frac{\partial h_g}{\partial y} = - \frac{\partial}{\partial y} \left[y^j \rho_g \overline{h_g' V_g'} \right] - \left[y^j \rho_g \overline{h_g' V_g'} \right] \frac{\partial U_g}{\partial y} - \\
6) \quad & - Q y^j + F_x y^j (U_g - U_p) + F_y y^j (V_g - V_p) - \sum_{i=1}^3 \overline{F_i' V_{pi}'} + \\
& + 2.R_j \cdot \pi \bar{\rho}_g \cdot (T_2 - \bar{T}_g) \bar{V}_g - 2.R_j \cdot \pi \bar{\rho}_g \cdot \frac{\bar{v}_{tg}}{Pr_t} \cdot \frac{\partial \bar{T}_g}{\partial y} \\
7) \quad & \left[y^j \rho_p U_p \right] \frac{\partial h_p}{\partial x} + \left[y^j \left(\rho_p V_p + \overline{\rho_p' V_p'} \right) \right] \frac{\partial h_p}{\partial y} = - \frac{\partial}{\partial y} \left[y^j \rho_p \overline{h_p' V_p'} \right] + Q y^j + \\
& + 2.R_j \cdot \pi \bar{\rho}_p \cdot (T_2 - \bar{T}_p) \bar{V}_p - 2.R_j \cdot \pi \bar{\rho}_p \cdot \frac{\bar{v}_{tp}}{Pr_t} \cdot \frac{\partial \bar{T}_p}{\partial y}
\end{aligned}$$

където са означени: индексите - g -за газова фаза, p -за примесите;
 U, V - разпределение на скоростните компоненти съответно по ос x и y ;
 ρ_g, ρ_p - плътност на газова фаза и фазата на примесите;

2. Модел на турбулентност:

Използва се три параметричен модел на турбулентност, относно турбулентната енергия на носещата фаза и примесите и за дисипацията- K_g - K_p - ε [4]. В уравненията се отчита взаимното влияние на началната турбулентност на фазите, а вида им е следния:

$$\begin{aligned}
8) \quad & U_g \cdot \frac{\partial K_g}{\partial x} + V_g \frac{\partial K_g}{\partial y} = \frac{1}{y} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left[y \cdot \frac{v_{tg}}{\sigma_k} \left(\frac{\partial \left(K_g + \frac{\chi_0}{1 + \chi_0} \cdot K_p \right)}{\partial y} \right) \right] + v_{tg} \cdot \left[\frac{\partial U_g}{\partial y} \right]^2 - \varepsilon - \varepsilon_p \\
9) \quad & U_p \cdot \frac{\partial K_p}{\partial x} + V_p \frac{\partial K_p}{\partial y} = \frac{1}{y} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left[y \cdot \frac{v_{tp}}{\sigma_k} \left(\frac{\partial \left(K_p + \frac{1}{1 + \chi_0} \cdot K_g \right)}{\partial y} \right) \right] + v_{tp} \cdot \left[\frac{\partial U_p}{\partial y} \right]^2 - \varepsilon^* \\
10) \quad & U_g \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + V_g \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = \frac{1}{y} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left[y \cdot \frac{v_{tg}}{\sigma_\varepsilon} \left(\frac{\partial \left(\varepsilon + \frac{\chi_0}{1 + \chi_0} \cdot K_g \cdot K_p \right)}{\partial y} \right) \right] + \\
& + C_{\varepsilon 1} \cdot \frac{\varepsilon}{K_g} \cdot v_{tg} \cdot \left[\frac{\partial U_g}{\partial y} \right]^2 - C_{\varepsilon 1} \cdot \frac{\varepsilon}{K_p} \cdot v_{tp} \cdot \left[\frac{\partial U_p}{\partial y} \right]^2 + G - C_{\varepsilon 2} \cdot \frac{\varepsilon^2}{K_g} - \Phi_p
\end{aligned}$$

Чрез тези уравнения се определя турбулентния кинематичен вискозитет на фазите:

$$11) \quad v_{tg} = C_v \cdot K_g^{0.5} \cdot L \qquad v_{tp} = C_v \cdot K_p^{0.5} \cdot L$$

В уравненията се използват обичайните при К-ε модел константи.

Системата уравнения 1÷10 се трансформират в едно характеристично уравнение:

$$12) A \cdot \frac{\partial \bar{Z}}{\partial x} + B \cdot \frac{\partial \bar{Z}}{\partial y} = C \cdot \frac{\partial^2 \bar{Z}}{\partial y^2} + D$$

където $Z = \rho_p, \rho_g, U_g, U_p$ и т.н., а константите А, В, С и D приемат различни стойности съгласно табл.1.

Табл.1

Z	A	B	C	D
$\bar{\rho}_p$	$\bar{y} \cdot \bar{U}_p$	$\bar{y} \cdot \bar{V}_p - \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{y} \cdot \frac{\bar{v}_{tp}}{Sc_t} \right)$	$\bar{y} \cdot \frac{\bar{v}_{tp}}{Sc_t}$	$-\bar{\rho}_p \cdot \frac{\partial}{\partial y} (\bar{y} \cdot \bar{V}_p) -$ $-\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \frac{\partial \bar{U}_p}{\partial x}$
\bar{U}_g	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{U}_g$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{V}_g - \frac{\partial}{\partial y} (\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{v}_{tg})$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{v}_{tg}$	$-\bar{y} \cdot \bar{F}_x$
\bar{U}_p	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{U}_p$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{V}_p - \frac{\partial}{\partial y} (\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{v}_{tp}) -$ $-\bar{y} \cdot \frac{\bar{v}_{tp}}{Sc_t} \cdot \frac{\partial \bar{\rho}_p}{\partial y}$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{v}_{tp}$	$\bar{y} \cdot \bar{F}_x$
\bar{T}_g	$\frac{\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{U}_g \cdot \bar{C}_{pg}}{R}$	$\frac{\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{U}_g \cdot \bar{C}_{pg}}{R} -$ $-\frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{C}_{pg} \cdot \bar{v}_{tg}}{R \cdot Pr_t} \right]$	$\frac{\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{C}_{pg} \cdot \bar{v}_{tg}}{R \cdot Pr_t}$	$-\bar{y} \cdot \bar{Q} +$ $+ \bar{F}_x \cdot \bar{y} \cdot (\bar{U}_g - \bar{U}_p) +$ $+ \bar{F}_y \cdot \bar{y} \cdot (\bar{V}_g - \bar{V}_p) +$ $+ 2 \cdot \pi \cdot R_j \cdot \bar{\rho}_g \cdot (T_2 - \bar{T}_g) \bar{V}_g -$ $- 2 \cdot \pi \cdot R_j \cdot \bar{\rho}_g \cdot \frac{\bar{v}_{tg}}{Pr_t} \cdot \frac{\partial \bar{T}_g}{\partial y}$
\bar{T}_p	$\frac{\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{U}_p \cdot \bar{C}_{pp}}{R}$	$\frac{\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{U}_p \cdot \bar{C}_{pp}}{R} -$ $-\frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{C}_{pp} \cdot \bar{v}_{tp}}{R \cdot Pr_t} \right] -$ $-\bar{y} \cdot \frac{\bar{C}_{pp} \cdot \bar{v}_{tp}}{R \cdot Sc_t} \cdot \frac{\partial \bar{\rho}_p}{\partial y}$	$\frac{\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{C}_{pp} \cdot \bar{v}_{tp}}{R \cdot Pr_t}$	$\bar{y} \cdot \bar{Q} +$ $+ 2 \cdot \pi \cdot R_j \cdot \bar{\rho}_p \cdot (T_2 - \bar{T}_p) \bar{V}_p -$ $- 2 \cdot \pi \cdot R_j \cdot \bar{\rho}_p \cdot \frac{\bar{v}_{tp}}{Pr_t} \cdot \frac{\partial \bar{T}_p}{\partial y}$

\bar{K}_g	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{U}_g$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{V}_g -$ $-\frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \frac{\bar{v}_{tg}}{\sigma_k} \right)$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot$ $\frac{\bar{v}_{tg} + \frac{\chi_0}{1 + \chi_0} \cdot \bar{v}_{tp}}{\sigma_k}$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{v}_{tg} \left(\frac{\partial \bar{U}_g}{\partial y} \right)^2 -$ $-\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot (\bar{\varepsilon} + \bar{\varepsilon}_p)$
\bar{K}_p	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{U}_p$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{V}_p -$ $-\frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \frac{\bar{v}_{tp}}{\sigma_k} \right)$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot$ $\frac{\bar{v}_{tp} + \frac{1}{1 + \chi_0} \cdot \bar{v}_{tg}}{\sigma_k}$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_p \cdot \bar{v}_{tp} \left(\frac{\partial \bar{U}_p}{\partial y} \right)^2 -$ $-\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{\varepsilon}_p^*$
$\bar{\varepsilon}$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{U}_g$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{V}_g -$ $-\frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \frac{\bar{v}_{tg}}{\sigma_\varepsilon} \right)$	$\bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \frac{\bar{v}_{tg}}{\sigma_\varepsilon}$	$\frac{C_{\varepsilon 1} \cdot \bar{y} \cdot \bar{\rho}_g \cdot \bar{\varepsilon}}{\bar{K}_g} \left[\bar{v}_{tg} \left(\frac{\partial \bar{U}_g}{\partial y} \right)^2 + G \right]$ $-\bar{\rho}_g \cdot \bar{y} \cdot \bar{\Phi}_p -$ $-\frac{\bar{\rho}_g \cdot \bar{y} \cdot \bar{\varepsilon}^2 \cdot (C_{\varepsilon 2} - C_{\varepsilon 3})}{\bar{K}_g}$

Уравнение 12 се дискретизира в крайни разлики по метода на Дюфорт-Франкел. Радиалните скоростни компоненти се определят с отделни уравнения в крайни разлики. Задачата се решава числено, като се използва собствен софтуер на авторите.

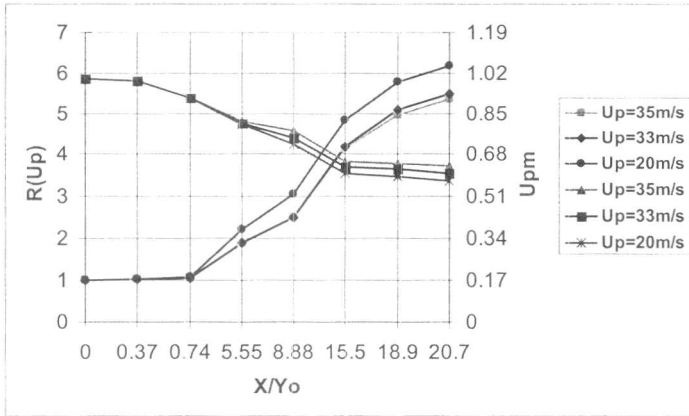
3. Влияние на началните условия

За да се докаже неавтомоделност при изтичане на двуфазни турбулентни струи в газова среда се изследва влиянието на два основни начални параметри: диаметъра на дюзата, през която изтича струята и началната и скорост. Изследванията се правят по числен път на основата на описания по горе метод. Запазва се постоянно Re-число и се варира с изследвания параметър.

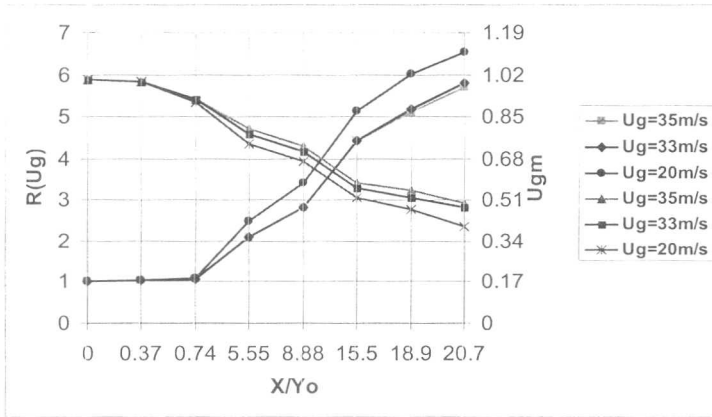
На фиг. 1 и 2 е показано изменението на максималните стойности на осевата скоростна компонента за двете фази - \bar{U}_{gm} и \bar{U}_{pm} и външната граница на струята \bar{R}_{ug} и \bar{R}_{up} . Външната граница на струята по двете фази се определя като геометричното място на точката, в която скоростите приемат стойност 0,5% от максималната им. При изследването е варирана началната скорост на фазите от 20 до 35m/s. Независимо от малкия интервал на изменението и от фигурите е очевидно влиянието на скоростта върху промяната на упоменатите по горе параметри. Наравно на скоростта води до намаляване на затихването на максималните стойности на скоростните компоненти и до по – бавно разширение на струята. Това изменение е по – силно изразено при газовата фаза около 16%, при отдалечение от началното сечение $X/Y_0=20,72$. При фазата на примесите този процент е около 9%.

Влиянието на размера на дюзата върху затихването на максималните стойности на осевите скоростни компоненти на двете фази и външната граница на струята за

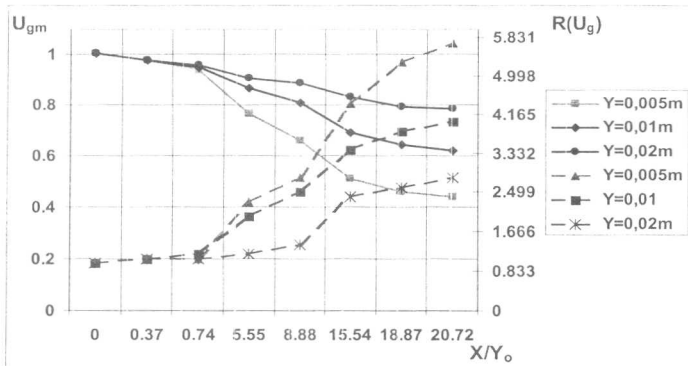
тях е показано на фиг. 3 и 4. Изменението на размера на дюзата е в границите от $Y_0=0,005$ до $Y_0=0,02m$. С увеличаване на размера на дюзата скоростните компоненти затихват по – бавно, като



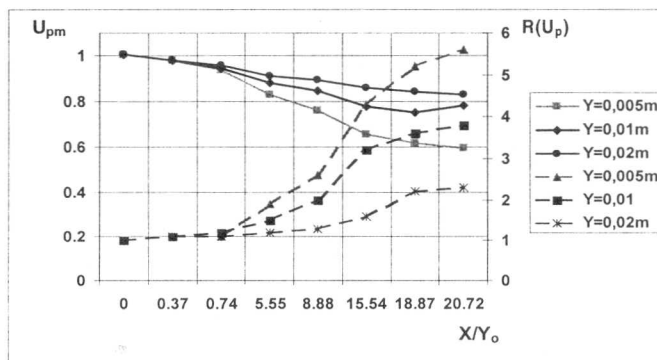
фиг.1



фиг.2



фиг.3



фиг.4

съответно се намалява и разширението на струята. Влиянието на Y_0 е значително по – силно изразено в сравнение с това на началната скорост. При едно и също безразмерно отдалечение от началното сечение ($X/Y_0=20,72$) разширението на струята и по двете фази намалява приблизително двойно, като в същия порядък се променя и затихването им. Това води до извода, че двуфазната струя с по – голям начален размер е по – устойчива, по трудно се разпада и по – слабо взаимодейства с околната среда.

Заклучение:

От приведените резултати следва извода, че началните параметри на двуфазното струйно течение (начален размер и начална скорост) влияят върху безразмерното разпределение на параметрите. Това дава основание да се направи следния извод: освен наличието на неравностепенност на подобен тип течения [3] при тях съществува и неавтомоделност, която бе доказана по горе. Както е известно монофазните струи са автомателни [2], което означава възможност за сравнение на безразмерните им параметри при $Re=const$. Показаното в настоящата работа дава същественото различие между тези два класа течения. Възможността двуфазните турбулентни струи да запазват по – дълго своята устойчивост, позволява да намерят приложение при редица технологични процеси, където съществуват подобни изисквания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лойцянский Л.Г., Механика жидкости и газа, М.1987
2. Абрамович Г.Н., и др. Теория турбулентных струи, М.,1984
3. Антонов И.С., Върху неравностепенността на двуфазните турбулентни струи, Юбил. Научна сесия 40 години ВИХВП, ноем. 1993г., Пловдив, Отпечатана в Годишник на ВИХВП.
4. Antonov, I.S., About a Modification of $k - \varepsilon$ Model Applicapable to Heat and Mass Transfer Processes in Two – Phase Turbulent Flows, Научна конференция ЕМФ'98, Сборник доклади стр. 7÷14

* - ТУ-София, ** - УХТ-Пловдив , *** -ТУ-ХоШиМин (Витнам);