



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ПРИЛОЖНА МЕХАНИКА НА ФЛУИДИТЕ

проф. д-р ИВАН. АНТОНОВ

<http://mfantonov.com>

ЛИТЕРАТУРА:



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ИВАН. С. АНТОНОВ

**ПРИЛОЖНА МЕХАНИКА
НА ФЛУИДИТЕ**

*ВТОРО ПРЕРАБОТЕНО
И ДОПЪЛНЕНО ИЗДАНИЕ*

СОФИЯ
2016

14) ТЕЧЕНИЯ НА ГАЗОТЕЧНОСТНИ СМЕСИ

Течения на газотечностни смеси

Течения на хетерогенни смеси на течности, съдържащи в себе си газови мехурчета, се срещат в пречиствателните устройства, в технологиите на хранително-вкусовата промишленост, металургията, енергетиката, авиацията, в хидротехниката и пр. В хидротехниката например се използват системи за защита на пристанищните райони от разливи на масла или петрол; в кавитационните устройства за получаване на спирт с висока чистота [4А]; при кондензация на водна пара и пр.

Ако газовата фаза изтича хоризонтално или под някакъв ъгъл, газовите мехурчета се движат отначало по криволинейна координата, като на определено разстояние те се насочват вертикално нагоре към свободната повърхност на течността. Това обръщане става толкова по-бързо, колкото скоростта на изтичане на газа е по-малка. С други думи, съществува една тенденция към вертикална ориентация на газотечностната смес.

Образуването на пяна е едно междинно състояние на газотечностните смеси. Пяната се формира в случая, когато течността запълва само порите между наситеното с газови мехурчета течение.

Вертикално изтичащата газова струя представлява модел на теченията от подобен тип. Съгласно [3] са възможни следните три квазистационарни режима на изтичане: 1) Бавно квазипериодично образуване на газови мехурчета непосредствено от дюзата; 2) Непрекъснато изтичане на газова струя, която в непосредствена близост до дюзата се разпада на газови мехурчета и 3) Компактна, изтичаща с голяма скорост газова струя, която постепенно се насища с капки течност и едва на голямо разстояние от началото преминава в струя, носеща газови мехурчета. В трите случая се формира двуфазно течение. Разликата между тях е в определящите движения сили. При първите два случая основна е архимедовата подемна сила, а в третия - архимедовата сила и инерционната сила, получена от началния импулс на

количеството на движение.

Едно приблизително разглеждане съгласно Г.Н.Абрамович [3] може да се направи с въвеждане на т.нар. "теглова концентрация на газа в сместа":

$$5.108. \chi_g = \frac{G_g}{(G_g + G_p)}$$

Характерно за газотечностните струи е бързото нарастване на дебелината на струйния граничен слой:

$$5.109. \frac{db}{dx} = 0,5c \frac{I_1}{I_2},$$

където за коефициента на разширение на струята в началния участък [3] се приема $c = 0,22$ и за основния $c = 0,27$;

Интегралите I_1 и I_2 се определят по изразите:

$$I_1 = \int_0^1 \left[b \left(\chi_g + (1 - \chi_g) \frac{\rho_g}{\rho_p} \right) \right]^{-1} dy ; I_2 = \int_0^1 \left(\frac{u}{u_m} \right) \left[b \left(\chi_g + (1 - \chi_g) \frac{\rho_g}{\rho_p} \right) \right]^{-1} dy$$

Необходимо е да се има предвид, че отношението на плътностите на газа и течността са от порядъка на $\rho_g / \rho_p \approx 0,001$, а въведената с (5.135) масова концентрация е в границите на $1 \geq \chi_g \geq 0$. За случаите на една умерена масова концентрация по оста на струйното течение ($\chi_{gm} \geq 0,01$) интегралите I_1 и I_2 се представят с изразите:

$$I_1 = \int_0^1 \left[b \left(\frac{\chi_g}{\chi_{gm}} + \frac{\rho_g}{\rho_p} \chi_{gm}^{-1} \right) \right]^{-1} dy; \quad I_2 = \int_0^1 \left(\frac{u}{u_m} \right) \left[b \left(\frac{\chi_g}{\chi_{gm}} + \frac{\rho_g}{\rho_p} \chi_{gm}^{-1} \right) \right]^{-1} dy$$

Дебелината на струйния граничен слой в преходното сечение се определя по израза

$$5.110. \quad b_{nc} = 0,135x \lg \left(\frac{1}{a} \right), \quad \text{където} \quad a = \frac{\rho_g}{\rho_p} \chi_{gm}^{-1}$$

Дължината на началния участък може да се намери приблизително по

$$5.111. \quad \bar{x}_n = \frac{x_n}{b} \approx 6,5 \left(\lg \frac{\rho_g}{\rho_p} \right)^{-1}.$$

Затихването на максималната скорост се пресмята по зависимостта:

$$5.112. \quad \bar{u}_m = \frac{u_m}{u_{go}} = k \chi_{gm}$$

Коефициентът k зависи от възприетото безразмерно напречно разпределение на скоростта и масовата концентрация.

Ако се приеме за скоростта зависимостта по Шлихтинг $f = \left(1 - \sqrt[3]{\eta^3} \right)^2$, а за концентрацията $f_\chi = \sqrt{f} = 1 - \sqrt[3]{\eta^3}$, се получават по [3] следните приблизителни стойности за k при плоски струи $k \approx 1,22$, за ососиметрични $k \approx 1,45$.

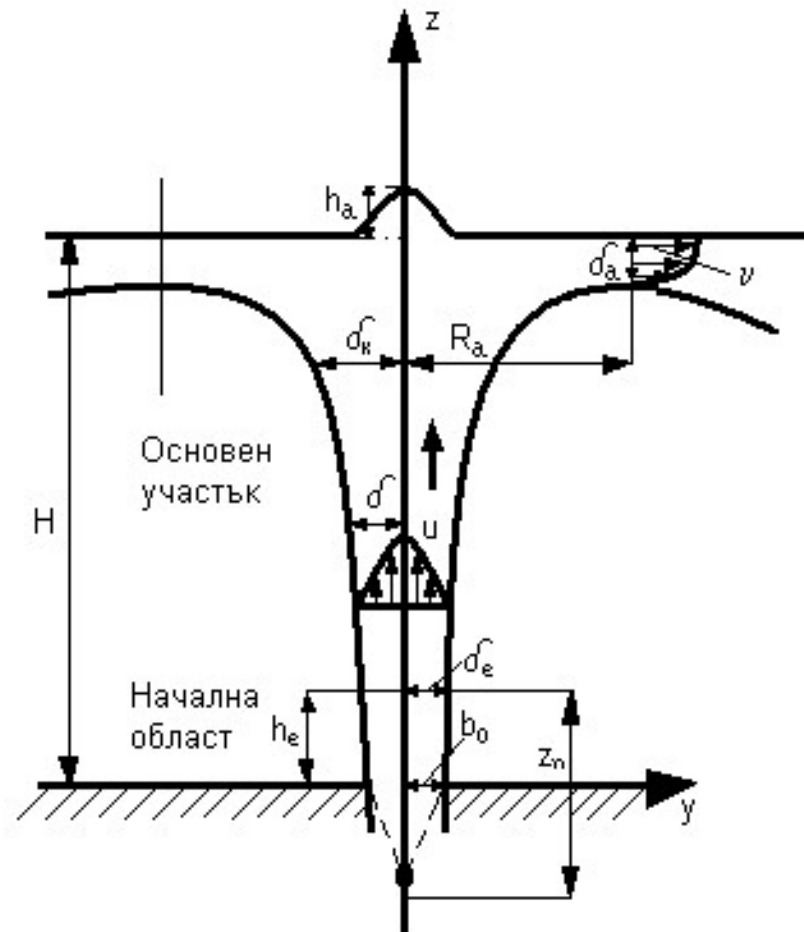
При $\chi_{gm} \leq 0,01$ зависимостите трябва да се доуточнят, тъй като величината a престава да е пренебрежимо малка.

Изтичане на газотечностна струя по свободната повърхност на течността. Когато една възходяща газотечностна струя достигне свободната повърхност на течността, се създава изпъкналост над нивото ѝ (фиг. 5.7).

Максималната ѝ височина над нивото в точката на пълно изчезване на скоростта съгласно [3] се определя по

$$5.113. \quad h_a = \frac{u_{ma}^2}{2g}, \text{ където } u_{ma} - \text{скорост в струята на повърхността на течността.}$$

По своята структура течението е близко до това на вертикална неизотермична струя с отрицателна подъемна сила. Върху свободната повърхност вертикалната компонента на скоростта става равна на нула, след което струята се завърта на 90° и се разпростиранява в хоризонтално направление, както по твърда повърхнина.



Фиг.5.7

Схема на развитието и завъртането на
течногазова струя

Ососиметричната струя се трансформира в пръстеновидна ветрилообразна. Началното сечение на тази нововъзникнала струя по [3] се определя с

$$5.114. R_a = 1,5\delta_a,$$

където δ_a е полуширочина на струята. Като се пренебрегне загубата на енергия при завъртането на течението, максималната скорост в сечението с координата R_a се приема равна на тази по оста на струята при повърхността на течността (не на височина h_a):

$$5.115. v_{ma} = u_{ma}$$

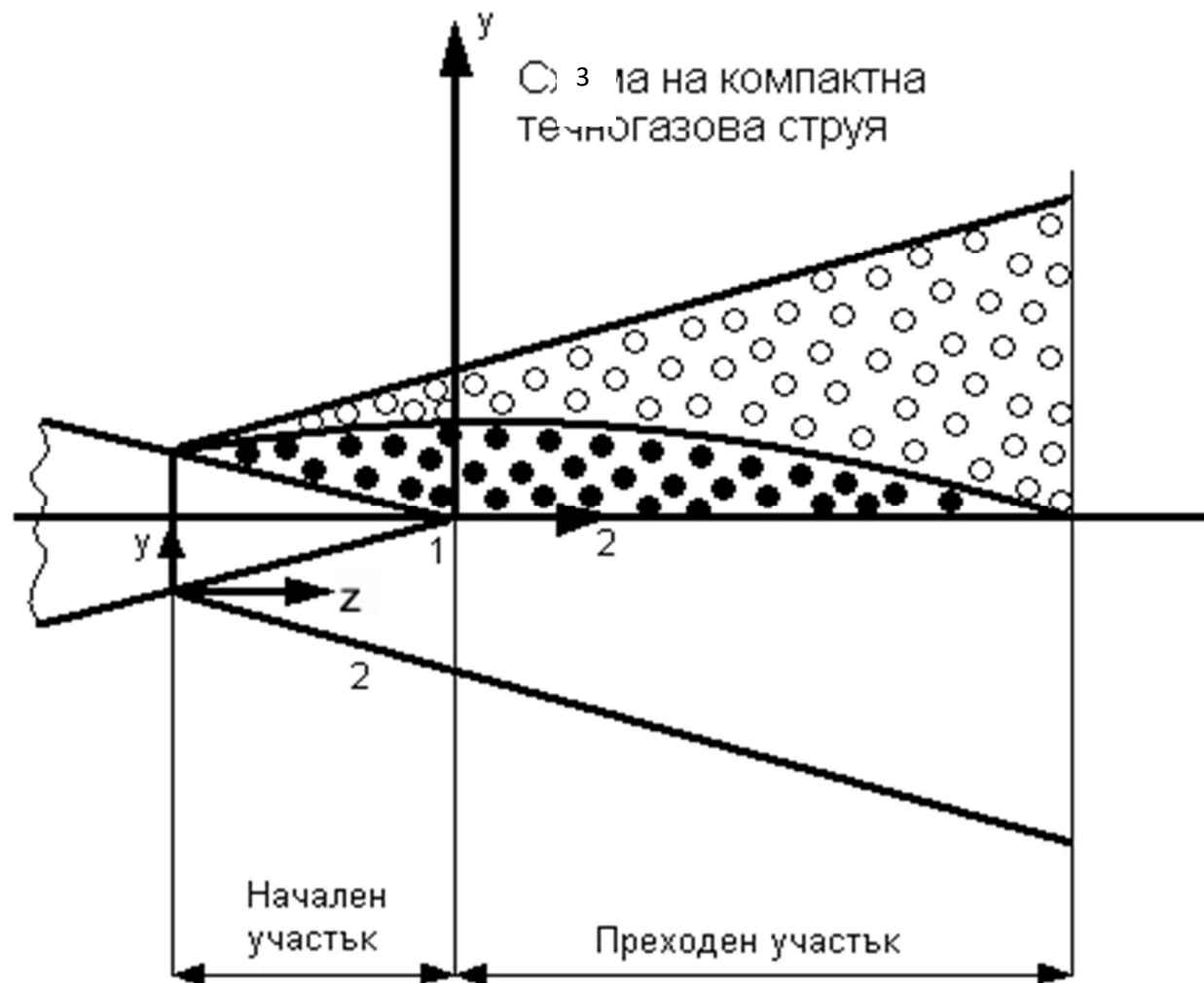
След това сечение струята се пресмята като ветрилообразна, със съответните начални параметри.

При завъртането на течението става интензивна дегазация. Това се обяснява с факта, че вертикалната скорост на струята се анулира, докато относителната скорост на "изплуване" на газовите мехурчета u_{gm} се запазва. В [3] се доказва, че максималната хоризонтална координата на траекторията на изплуващо газово мехурче се определя като

$$5.116. y_{zm, \max} = 1,2R_a$$

Това означава, че в участъка на завъртане на течението почти напълно се отделя газовата фаза. Ветрилообразната струя, възникнала в близост до повърхността на течността, може да се разглежда като еднофазна, течна.

Компактна газова струя се образува при изтичане на газ с много голяма скорост в течна среда. Газовата струя запазва висока обемна концентрация на голямо разстояние от началното си сечение. Подобни течения се формират при "пробив" на газ в течна среда [3]. При това началното количество на движение на струята е много по-голямо от хидростатичното налягане, а скоростта на газа е по-голяма от скоростта на витаене на течната капка при същите условия. Изучаването на това течение е изключително сложно, което е очевидно и от показаната на фиг.5.8 структура. Приблизително решение е дадено в [3]. В началния участък на струята (фиг. 5.8) се запазва потенциално ядро от чист газ. Вън от него и в основния участък възниква газотечностен смесителен слой. В напречното направление концентрацията на течни капки се променя от нула на границата с ядрото на газова струя до единица на външната му граница. По дължина на течението постепенно намалява концентрацията на газа, докато тази на течната фаза расте. Извън този смесителен слой съществува област от газови мехурчета, движещи се в течна среда. Тази област по дължина на течението расте и на определено разстояние от началото изпълва цялото напречно сечение. Съгласно [3] това се получава, когато обемната концентрация приеме стойност $\alpha = 0,75$.



Фиг.5.8

При газотечностните среди съществува една аномалия относно местната звукова скорост. Тя е по-малка не само от скоростта в течна, но и от тази в газова среда. Скоростта на звука в двуфазна среда се определя по [3]:

$$5.117. a = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} = \sqrt{\frac{dp}{d\rho_g} \frac{d\rho_g}{d\rho}}$$

Л. Г. Лойцянский [22] предлага израз за скоростта на звука в двуфазна газотечностна смес от вида

$$5.118. a = \sqrt{\frac{1}{\alpha(1-\alpha)}} \cdot \frac{p}{\rho_{теч}},$$

където: p - налягане в сместа, $\rho_{теч}$ - плътност на течността.

$$5.119. \frac{dp}{d\rho_g} = \frac{\chi_g}{\left[\chi_g + (1-\chi_g) \frac{\rho_g}{\rho_p} \right]^2}$$

В табл. 5.4 е дадено изменението на относителната скорост на звука в зависимост от масовата концентрация χ_g съгласно [3].

Таблица 5.4

χ_g	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1
α_p	0,001	0,01	0,09	0,5	0,9	0,99	1
a/a_g	1	0,32	0,11	0,064	0,11	0,32	1
ρ/ρ_g	10^3	10^3	910	500	91	10	1

Минимум на звуковата скорост по отношение на тази на газовата фаза се получава при $\alpha = 0,5$ и $\chi_g = 10^{-3}$.