



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

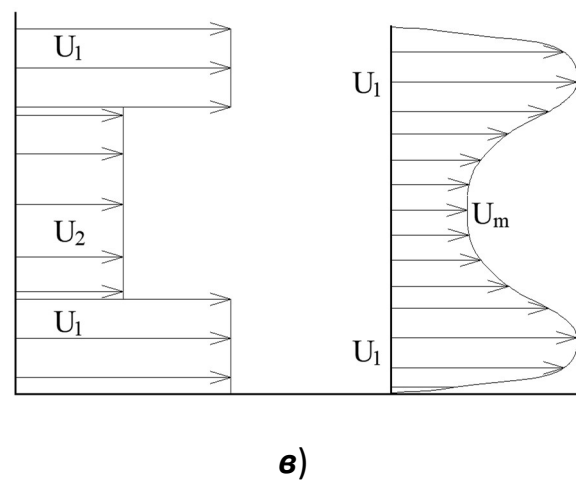
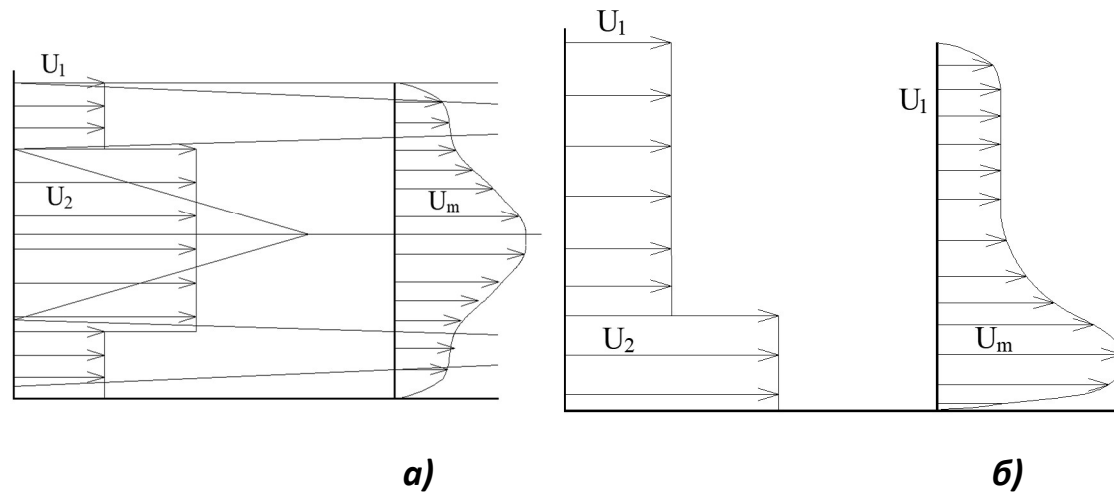
11) КАНАЛНИ СТРУЙНИ ТЕЧЕНИЯ. СТРУИ В ОГРАНИЧЕНО ПРОСТРАНСТВО**Канални струйни течения. Струи в ограничено пространство**

В ежекторите, при смесителните устройства в енергетиката, химическата и хранително-вкусовата промишленост, горивните камери, мощните лазерни установки и др. намират приложение струйните течения в ограничено пространство. Изследванията в тази област у нас и в чужбина са твърде много, което е и причината за наличието на много статии и монографии [3, 12, 34, 37-40 и др]. Тук накратко се излага методиката на изследване на подобни течения с достъпни инженерни средства.

Каналните струйни течения в най-общия случай се получават при взаимодействие в ограничено пространство на две или повече струи (фиг.4.17).

При това са възможни следните комбинации:

- 1) Изтичане на основната струя ($u_1 > u_2$) по оста на смесителната камера (канал) (фиг.4.17а). Тази задача е много близка до течение в струйни ежектори.
- 2) Изтичане на основната струя в близост до каналната стена (фиг.4.17б). В случая на плоски течения това е разпространение на полуограничена турбулентна струя в спътно ограничено течение. При изтичане в кръгла тръба в този случай се наблюдава течение на полуограничена (пристенна) пръстеновидна струя, в спътно течение, запълващо центъра на смесителната камера. Вариант на това течение се получава при:
- 3) Изтичане симетрично на оста в плосък канал на две пристенни полуограничени струи (фиг.4.17в).
- 4) Изтичане на единична струя в плосък или цилиндричен канал, характерно с възникване на начална циркулационна зона.



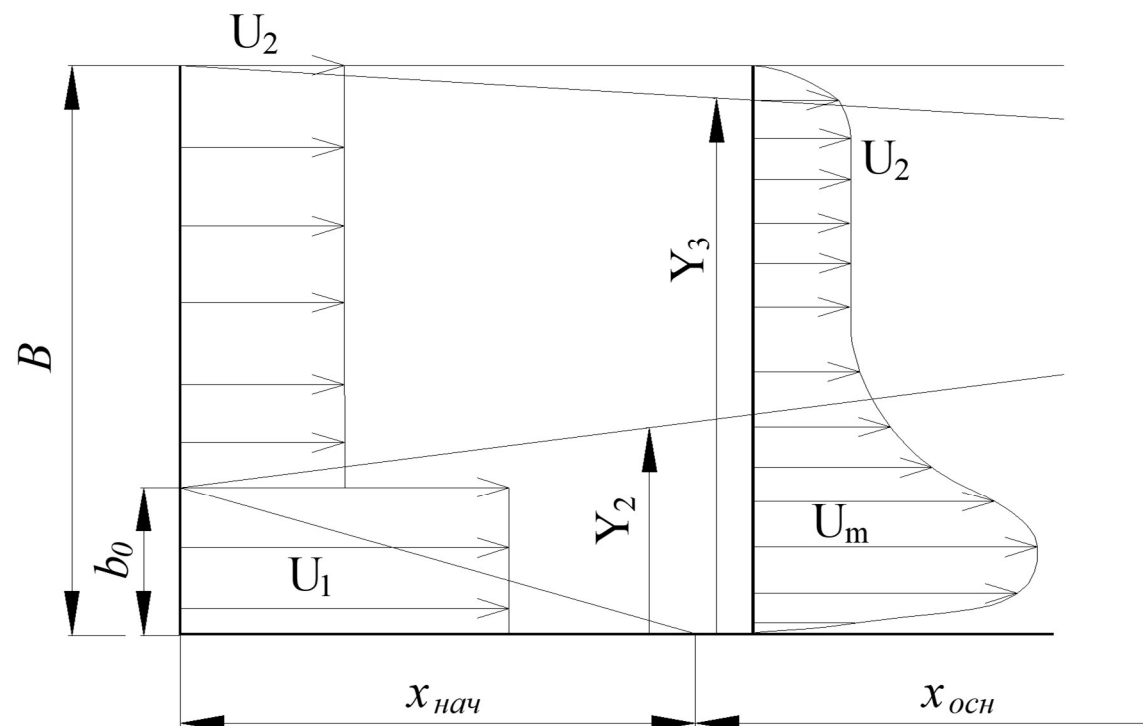
фиг.4.17

За разлика от турбулентните струи, разпространяващи се в свободно пространство, каналните струйни течения се развиват при наличие на градиент на налягане, което дава основание да се разглеждат като "струйни течения с осев градиент на налягането" [42]. Другото съществено отличие е съществуването на пристенни гранични слоеве и необходимостта да се отчита триенето по каналната стена. Всичко това води до необходимостта от един малко по-различен запис на уравненията за движение и на интегралните условия.

В най-общия случай течението може да се раздели на следните области (фиг.4.18):

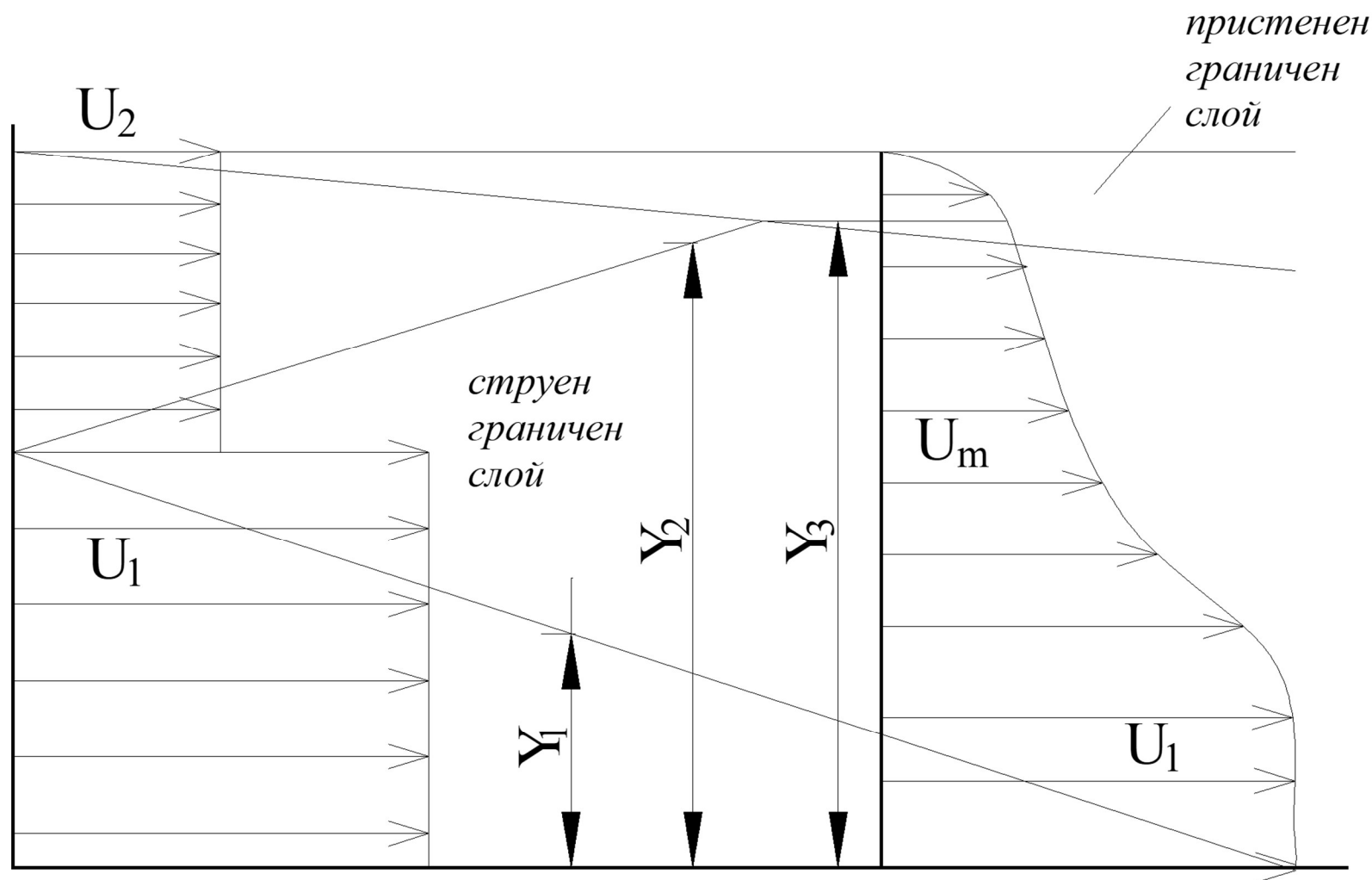
- 1) Област на съществуване на ядрото на постоянна начална скорост на двете струи. Освен двете ядра се наблюдават два гранични слоя: струен (между тях) и пристенен.
- 2) Област, в която се запазва само едно от струйните ядра. При изчезване на ядрото на вътрешната струя струйният граничен слой започва от оста на течението. В обратния случай, когато изчезва ядрото на външната спътна струя, възниква една комплицирана ситуация - струйният граничен слой на определено разстояние от оста преминава в пристенен слой (фиг.4.19).
- 3) Област, в която са изчезнали и двете ядра. Формира се общ граничен слой, аналогичен на този по фиг.4.19, с преход от струен към пристенен граничен слой.

По дължина на смесителната камера течението непрекъснато се трансформира към типично канално турбулентно течение, чието скоростно разпределение е изучено в основния курс по механика на флуидите.



фиг.4.18

Аналитично изследване на каналните струйни течения. То може да се направи преди всичко по два метода: по интегрален метод [3, 12, 13, 36-40, 42, 53, 54] или числено по метода на крайните разлики при използване на подходящ модел на турбулентност [42, 56, 64]. Както е известно, интегралните методи са много удобни за инженерни изследвания, поради което се дава един приложим при неизотермично взаимодействие на струи в ограничено пространство интегрален метод [2, 42].



фиг.4.19

Интегрални методи. В най-общия случай при взаимодействие на неизотермични струи в ограничено пространство могат да се използват следните интегрални условия:

– за запазване на дебита на сумарното течение:

$$4.85. \int_0^B \rho \cdot u \cdot y^j \cdot dy = q_0$$

– за количеството на движение:

$$4.86. \int_0^B (\rho \cdot u^2 + p) \cdot y^j \cdot dy = I_0 - B \cdot (p(x) - p_0) + \int_0^x \tau_w(x) \cdot dx$$

– интегрално условие за енергията:

$$4.87. \int_0^B \rho \cdot u^3 \cdot y^j \cdot dy + \int_0^B p \cdot u \cdot y^j \cdot dy = E_0 - \left(\frac{2 \cdot Q_0 \cdot R}{c_p} \right) \cdot \ln \left(\frac{p(x)}{p_0} \right) - G_1(x)$$

– интегрално условие за топлосъдържанието

$$4.88. \int_0^B c_p \cdot \rho \cdot u \cdot T \cdot y^j \cdot dy = Q_0$$

- интегрално условие от по-висок ред относно квадрата на температурата :

$$4.89. \int_0^B c_p \cdot \rho \cdot u \cdot T^2 \cdot y^j \cdot dy = Q_{20} - H(x)$$

При завъртени турбулентни струи се използва и интегралното условие за момента на количество на движение:

$$4.90. \int_0^B \rho \cdot u \cdot w \cdot y^2 \cdot dy = M_0$$

В (4.85÷4.90) са означени:

$$G_1(x) = 2 \cdot \int_0^x \left(\int_0^B \tau(x) \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \cdot y^j \cdot dy \right) \cdot dx; Q_{20} = \int_0^B c_p \cdot \rho \cdot u_0 \cdot T_0^2 \cdot y_0^j \cdot dy; H(x) = 2 \cdot \int_0^x \left(\int_0^B Q \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \cdot y^j \cdot dy \right) \cdot dx,$$

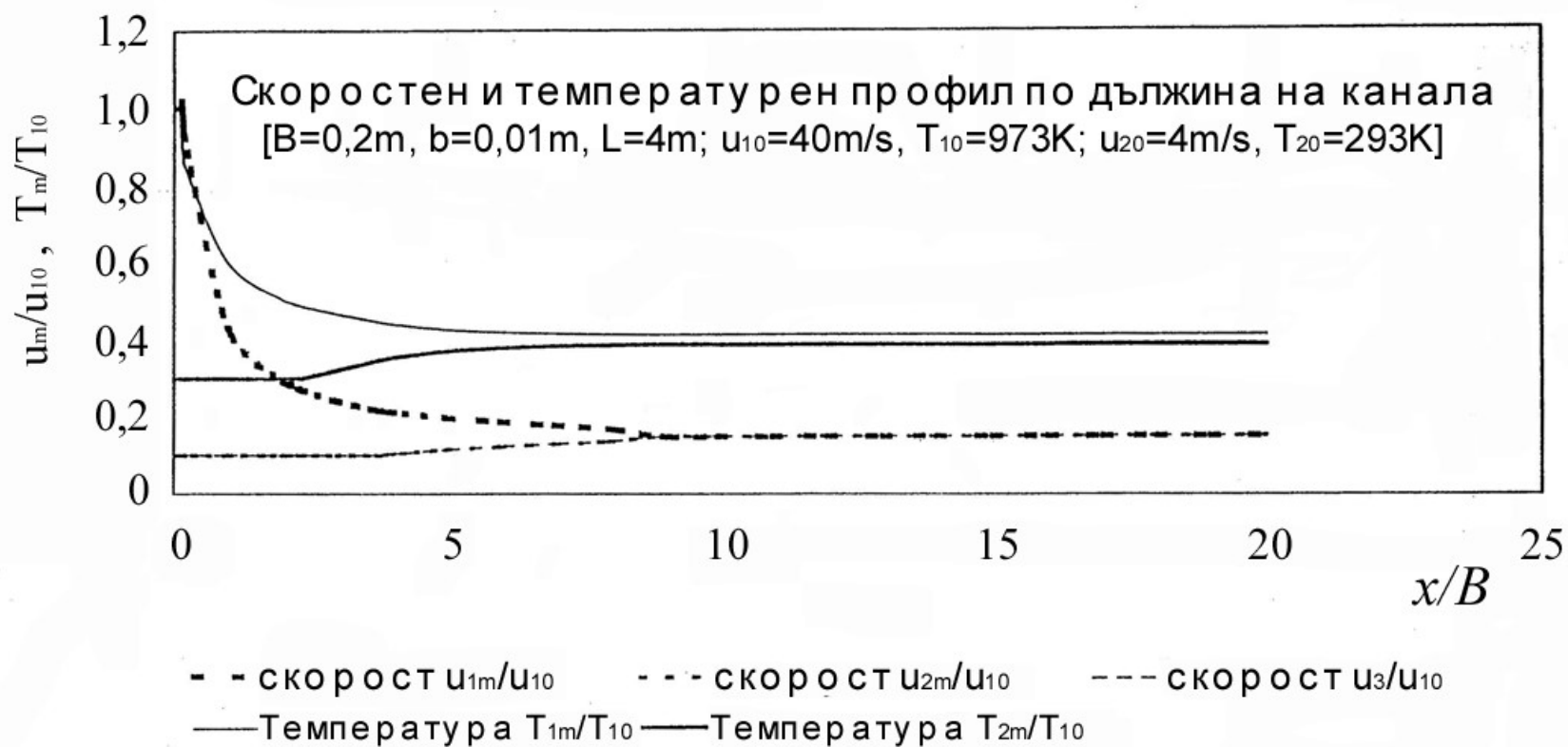
като с долния индекс "0" са обозначени стойностите в началното сечение. При неравномерно начално разпределение те се получават чрез интегриране.

При решаване на конкретни задачи системата интегрални условия (4.85-4.90) се прилага съобразено с условията в съответния участък от течението. Интегралите се решават, като се въведе подобие на напречното разпределение на съответния параметър. В крайна сметка задачата се свежда до система от определен брой алгебрични уравнения.

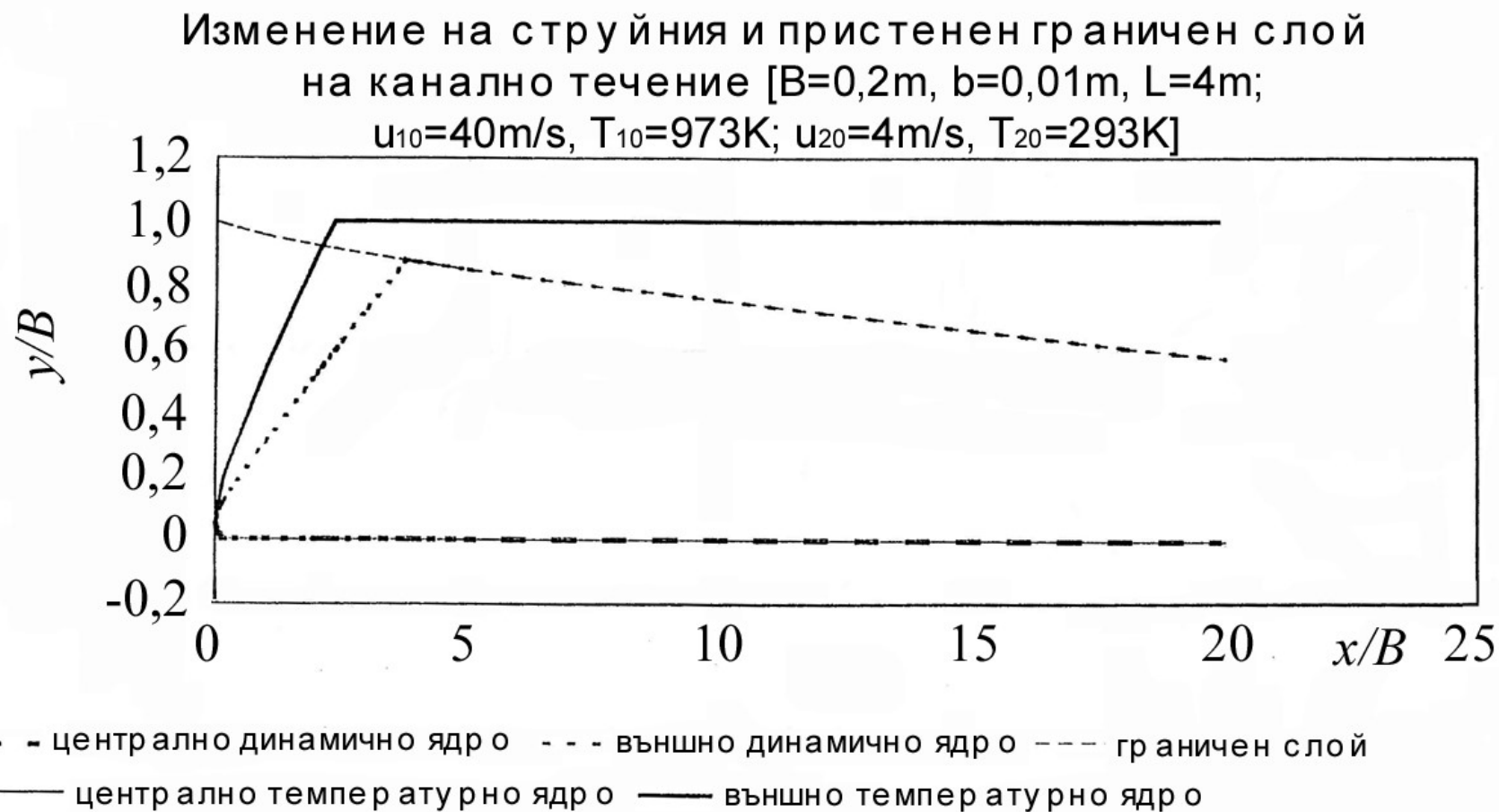
В по-сложните случаи се получава смесена система от обикновени диференциални и алгебрични уравнения. Решението се реализира числено, в резултат на което се получават основните интегрални параметри на течението.

На фиг. 4.20 и 4.21 са показани непубликувани резултати от численото решение, направено на основата на интегралните условия 4.85 – 4.90 на автора и на д-р Хамид Ал Делеми. Разгледано е неизотермично течение на въздушна струя в топлоизолиран канал с дължина 4m и широчина 0,2m. Скоростта на основната струя е $U_{10} = 40m/s$

, температурата $T_{10} = 973K$ и начална широчина $0,01m$. Спътното течение изтича със скорост $U_{10} = 4m/s$ и температура $T_{10} = 293K$. На фиг. 4.20 е показано изменението на скоростите и температурите по дължина на смесителната камера. Скоростта след изчезване на потенциалните ядра на двете струи се отбелязва с U_3 . На фиг.4.21 за същия случай на изтичане са дадени граничните слоеве (струен и пристенен) по скорост и температура.



Фиг.4.20



Фиг.4.21