



**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

## **2) ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ ПРИ ДВУФАЗНИТЕ ТЕЧЕНИЯ И СИСТЕМИ. НЕПРЕКЪСНАТОСТ НА ВЗАИМНО ПРОНИКВАЩИТЕ ФАЗИ**

### **Основни понятия при двуфазните течения и системи**

В много енергийни, топлинни, химически и други промишлени технологии и процеси се използват течения на нееднородни флуидни среди, които представляват механична смес от различни компоненти или фази. Ако сместа се състои от компоненти, еднакви по фазовия си състав, тя се определя като хомогенна или многокомпонентна. Когато компонентите на сместа се различават и по фазовия си състав, то тя е хетерогенна или многофазна. Пример за една хомогенна газова смес е въздухът, състоящ се от голям брой газове. Хетерогенните или многофазните смеси са течност, носеща твърди частици или газови мехурчета или газ, съдържащ твърда фаза или течни капки.

В енергетиката подобни течения се срещат в горивните устройства за твърдо и течено гориво, въглищните мелници, паротечните смеси в парогенераторите, при лопатките на турбините и пр. В хидравликата и хидротехниката при пневмотранспортните съоръжения многофазни и многокомпонентни течения се използват за пренасяне на твърди частици, при транспортиране на замърсени течности и др. Не трябва да се изпускат и химичните и хранително-вкусовите технологии, при които освен с движение на смеси теченията са съпроводени с химически реакции и фазови превръщания. В селското стопанство това са теченията при сушене на зърно, кафе и др., обработката на семена и пр. Този списък на приложения може да се продължи с двигателите с вътрешно горене, реактивните двигатели, ракетите и т.н.

### ***Двуфазни системи***

При взаимодействието на дадена непрекъсната среда (газ или течност) с дискретна, включена в нея фаза възниква т.нар. двуфазна система. Дискретната фаза може да бъде съставена от твърди частици, капки, газови или парни мехурчета, изтичащи в течна или газова среда, и др. По свойствата си двуфазната система се различава съществено от съставлящите я фази.

Съществуват различни видове двуфазни системи. Една възможна класификация при тях може да се направи по отношение на скоростта на газовата (течната) фаза, както следва:

**Филтрацията** се реализира при сравнително малки скорости на газовата (течна) фаза. При нея частиците остават неподвижни една спрямо друга, като газовете или течностите се филтрират между тях в създадените междини (празноти) във вид на канали със сложна конфигурация. Филтрацията продължава, докато аеродинамичното съпротивление не се изравни със силата от собствено тегло на частиците на единица площ.

**Псевдокипящият слой** възниква при по-нататъшното увеличение на скоростта на газовете (течностите). С нарастването ѝ в даден граничен случай частиците стават подвижни, увеличава се обемът на слоя и се преминава към псевдокипене. Частиците примеси минават в хаотично, безразборно движение, което увеличава масо- и топлообмена им с газовата фаза. Псевдокипящият слой има някои свойства на непрекъснатите среди [7, 15] – може да изтича през отвори, по-тежките частици "потъват", а леките "изплават" от него, създава хидростатично налягане и др.

Интерес представлява интензифицирането на процесите в хладилни съоръжения (замразяване, ледопроизводство и др.) чрез така наречената динамична дисперсна среда [18, 61]. Тя може да се разглежда като близка до псевдокипящия слой. Използването ѝ води до интензификация на обменните процеси, намаляване на термичното и хидравличното съпротивление на слоя от скреж и др.

Структурата на слоя зависи от "псевдокипящия агент" [7]. При течности се наблюдава еднородно псевдокипене с близко до равномерното разпределение на материали по обема му. При газове [7, 20, 25] възникват значителни нееднородности в структурата му.

**Двуфазни течения.** С нарастване на скоростта дисперсният материал се изнася с газовото течение. Псевдокипенето престава да съществува и възниква насочено движение на двуфазната смес - двуфазно течение. То може да се реализира в ограничено пространство (към него се отнася и пневмотранспортът) и свободно двуфазно течение - двуфазни струи. Съгласно [7, 15] подобно състояние може да съществува в широк диапазон от скорости, но при малка обемна концентрация на примеси ( $\alpha < 5 \cdot 10^{-2}$ ).

При двуфазни течения в ограничено пространство и при високи обемни концентрации на примесите с увеличаване на скоростта на носещата фаза равномерността на възходящите движения може да се наруши с възникване на вибрации, пулсации в налягането и др. Това може да доведе до запушване на съответното устройство с примеси и спиране протичането на газ през него [8, 14]. Минималната скорост на газа, при която възниква ефектът на запушване, зависи преди всичко от скоростта на втаене.

Двуфазните системи могат да се класифицират по отношение концентрацията на примеси в тях, като се разглеждат системи с плътно или неплътно множество на частици в системите по отношение на ориентацията им в пространството и пр.

**Скорост на витаене. Обемна концентрация.** Важна характеристика на двуфазното течение е скоростта на свободно падане на частиците примеси в неподвижна флуидна среда. Зависимост за нейното определяне може да се получи от приравняване на силата на аеродинамично съпротивление и силата от собствено тегло на частицата:

$$1.1 \quad v_{св.п} = \left[ 4(\rho_p - \rho_g) D_p g \frac{1}{3\rho_g C_R} \right]^{\frac{1}{2}},$$

където с индексите  $p$  и  $g$  се означават параметри на фазата на примесите (**p**article) и за носещата среда (**g**as phase).

Скоростта на витаене  $V_v$  е тази скорост на възходящото газово течение, която удържа частиците в състояние на витаене. Тъй като силата от аеродинамично съпротивление зависи само от относителната скорост, то би могло да се приеме равенство между скоростта на витаене и на свободното падане на частицата ( $v_{св.п} = V_v$ ), при което скоростта на витаене се пресмята по израза (1.1).

Скоростта на витаене  $V_v$  може да се определи чрез коефициента на аеродинамично съпротивление  $C_R = f(Re_p)$ , което обаче изисква едно итеративно решение [7]. Сравнително точно определяне на скоростта на витаене може да се направи с използване на критериална зависимост  $Re = f(Ar)$ , като се има предвид, че  $V_v$  фигурира в числото на Рейнолдс. При това за  $Re = f(Ki)$ , където  $Ki = \frac{4}{3} Ar^{\frac{1}{3}}$ , съгласно [7, 15, 25, 38, 48] се препоръчва итеративната зависимост

$$1.2 \quad Re = \frac{Ar}{(18 + 0.61\sqrt{Ar})},$$

чиято точност е около  $\pm 12\%$ . При известен диаметър на частицата  $V_v$  се определя еднозначно.

Под *обемна концентрация*  $\alpha$  в дадена точка от течението се разбира обемната част от дисперсната фаза  $\Delta W_p$ , съдържаща се в елементарен обем  $\Delta W$ , обхващащ точката. Тя дава вероятността дискретната фаза да се намира в дадена точка от пространството на течението.

$$1.3a \quad \alpha = \frac{\Delta W_p}{\Delta W}$$

Често пъти в практиката се използва приведена обемна концентрация като отношение на обемните дебити на фазите:

$$1.3b \quad \alpha' = \frac{Q_p}{Q_p + Q_g}$$

Обемната концентрация влияе върху скоростта на витаене. Това е доказано по опитен път от редица автори [7, 14, 15]. Предлага се на основата на (1.2) зависимост от вида

$$1.4 \quad Re = \frac{Ar(1-\alpha)^{4.75}}{\left[18 + 0.61\sqrt{Ar(1-\alpha)^{4.75}}\right]}$$

Очевидно е, че с увеличаване на  $\alpha$  скоростта на витаене ще намалява. Може да се приеме обаче, че за  $\alpha < (1 \div 2)10^{-2}$  влиянието му ще е незначително.

Върху скоростта на витаене  $V_v$  оказват влияние и конструктивните особености на системата, в която протича съответният процес. Например при канални течения това е отношението  $D_p / D_{кон}$ , където  $D_{кон}$  е характерен размер на съответното съоръжение.

**Полидисперсност и монодисперсност.** В повечето случаи дисперсните вещества се състоят от частици с различен размер и форма [7]. При това те могат да се различават по своя размер стотици, дори и хиляди пъти. Когато дисперсни вещества, необходими за даден технологичен процес, се получават промишлено чрез смилане, стриване, раздробяване и др., тяхната полидисперсност се засилва и разликата в размерите им се увеличава [51]. В някои естествени природни материали [7] като пясък, торф и др. се наблюдават по-малки различия в дисперсния състав.

Много по-рядко дисперсните материали се доближават до монодисперсните, при което се наблюдават частици с близка форма и размери. При промишлени производства подобни материали се получават тогава, когато даден технологичен процес или употреба изисква това - захар, сол и др. От природните продукти близки до монодисперсните са спорите, семената, зърната и др. [46]. Ето защо при провеждане на експерименти с монодисперсни вещества се използват зърна (напр. от просо).

Необходимо е да се отбележат накратко някои характерни параметри на полидисперсните материали. На първо място това е характеристиката на разпределението на частиците по размер - така наречената гранулометрична характеристика. Използват се [48] числена  $dn = n(\delta)d\delta$  и масова  $dg = g(\delta)d\delta$  характеристика на разпределение на частиците по размер [7, 48], като  $dn$  и  $d\delta$  са числената и масовата част от сместа с размери  $(\delta, \delta + d\delta)$ . Интегралите на тези функции трябва да удовлетворяват условията:

$$\int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} n(\delta) d\delta = 1, \quad \text{resp.} \quad \int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} g(\delta) d\delta = 1$$

Сравнително точно определяне на частиците по размери (т.нар. зърнов състав на полидисперсните вещества) става по опитен път. Използва се ситов, микроскопичен и седиментен анализ, центрофугиране и пр. [7, 20, 48].

От известните зависимости за теоретично определяне на разпределението по размери може да се упомене тази на А. Н. Колмогоров [21]. Тя е получена на основата на редица прости хипотези относно характера на раздробяване на материала. Доказва се, че характеристиката се стреми към нормално логаритмична зависимост от вида

$$1.5 \quad n(\delta) = \frac{1}{\left[(2\pi)^{\frac{1}{2}} \delta \ln \sigma\right]} \exp \left[ -\frac{(\ln \delta - \ln \langle \delta \rangle)^2}{2 \ln^2 \sigma} \right],$$

където,  $\sigma$  е средноквадратично отклонение на логаритъма на размерите.

Твърди се [7, 48], че на тази характеристика се подчиняват освен смлените материали и някои аерозоли.

Освен по размери частиците на полидисперсните вещества се различават и по своята форма. От своя страна формата оказва влияние върху редица параметри на съответната смес: аеродинамично съпротивление, големина на контактната повърхност на материала, образуването на канали в него и др. Отклонението на частиците от сферична форма съгласно [7] може да се определи с геометричния коефициент на формата, който дава отношението на действителната повърхност към тази на сферата  $S_{сф}$  с радиус  $D_p$ :

$$1.6 \quad k_g = \frac{S}{S_{сф}}$$

Стойностите на  $k_g$  по литературни данни за различни материали са дадени в табл. 1.1.

Таблица 1.1

| материал      | $D_p, [mm]$  | $k_g$       | лит.източник |
|---------------|--------------|-------------|--------------|
| пясък         | -            | 1.16 - 1.9  | [7,15]       |
| въглищен прах | -            | 1.6 - 2     | [36]         |
| зърна         | -            | 4 - 8       | [36]         |
| кварц         | 3.32 - 0.072 | 6.19 - 1.87 | [7]          |
| стъкло        | 3.32 - 0.072 | 2.16 - 1.78 | [7]          |
| пирит         | 3.32 - 0.072 | 4.27 - 2.58 | [7]          |

Друга важна характеристика е ефективната контактна повърхност на дисперсия материал. Тя е особено необходима при пресмятане на процесите на топло- и масообмен, при химични реакции, горене и др. При монодисперсен материал със сферична или кубична форма тази повърхност се определя по следната елементарна зависимост:

$$1.6 \quad S_{ef} = \frac{6}{\rho D_p}$$

Дадените в литературата [7,36] изрази за пресмятане на  $S_{ef}$  при полидисперсни материали имат приблизителен характер.

Основен момент при изследването на полидисперсните материали се явява отчитането на взаимодействието между частиците примеси с различна големина. Неубедително е да се приемат като сериозни теоретични изследвания, в които се отчита само влиянието на силите от собствено тегло и съпротивителната сила [7, 8], разглеждайки сместа като "проста" съвкупност от движещи се частици. Само при много малки обемни концентрации може да се приеме такава идеализация за допустима.

Опит за изследване движението на полидисперсните системи с отчитане на взаимодействието на примеси с различни размери е направен в [7]. При извода на силите на ударното взаимодействие се приема, че ударите на повече от две частици са "малко вероятни". По опитен път се доказва, че ефектът от ударното взаимодействие е съизмерим с останалите сили, действащи на дисперсните системи. Решението на полидисперсните системи е трудно за реализация без използването на статистически подход. Независимо от всичко обаче, известните решения в повечето случаи се свеждат до разглеждане взаимодействието на частици от две фракции с различен диаметър [7, 56].

В [56] се доказва, че в полидисперсни среди пренебрегването на ударното взаимодействие на частиците води до значими отклонения на теоретичните резултати от експеримента. В полидисперсните двуфазни течения [64] най-едрите частици се концентрират към оста на струята, което допълнително увеличава неравномерността на разпределението им.

От съвременните решения на полидисперсни течения заслужава особено внимание [53], където е направен опит за съставяне на математичен модел на трифазна смес (газ - течни капки - твърди частици). Отчита се влиянието на коагулация и раздробяване на частиците и капките при използване на ефективен итерационен метод за пресмятане на параметрите на течението в зададен контур. На основата на решение на обратна хидродинамична задача се обсъжда начин за построяване на оптимален профил на канали за протичане на трифазно течение.

Независимо от постигнатите успехи в моделиране на полидисперсните системи, поради голямата трудност на изследваното явление не съществуват широко приложими, обобщаващи решения. В основни линии отчитането на ударното взаимодействие се свежда до това само на две частици с различен диаметър, което в най-добрия случай представлява едно първо приближение на задачата.

Математическото моделиране на движението и процесите при полидисперсни материали, както и приложението му при пресмятане на технологични процеси е затруднено поради различния размер и форма на частиците примеси. Това налага в теоретичните и приложните изследвания [7] действителните полидисперсни смеси да се заменят с фиктивен монодисперсен състав. При този подход анализът на явленията и съставянето на математическите модели значително се опростява. Известни са редица приблизителни методи за осредняване по размери, приведени в литературата [7, 8, 14, 20]. Необходимо е да се отбележи, че е трудно да се намери начин за представяне на многообразието от свойства на полидисперсната смес с еквивалентна на нея монодисперсна. Действителните процеси, протичащи при частиците на полидисперсната смес, е невъзможно точно да се разглеждат чрез методи и зависимости, които ги приравняват към еквивалентни по някои свойства и параметри

монодисперсни, дори и при най-елементарни случаи. Това заключение трябва да се възприеме, тъй като всеки метод на подобна апроксимация води до сериозни отклонения в резултатите.

### Непрекъснатост на взаимно проникващите фази

Важна роля при изучаване на двуфазните течения играе математическото им моделиране на основата на уравненията на динамиката на двуфазните турбулентни течения, разгледани в приближение на граничния слой. Преди да се пристъпи към преработка и адаптация на тези уравнения за конкретните изследвани случаи, естеството на разглежданото течение изисква да се отдели необходимото внимание на два съществени въпроса: хипотезата за непрекъснатата среда, респективно възможността за използване на континуално приближение, и да се разгледат силите на междуфазово взаимодействие.

**Феноменологични и статистически методи.** При математическото моделиране на движението на хетерогенни среди, в това число и на двуфазни течения, се използват два основни метода - феноменологичен и статистически.

Първият метод разглежда нееднородните течения (газове или течности) като взаимно проникващи многокомпонентни или многофазни системи. Идеята за подобно разглеждане на хетерогенните среди принадлежи на руския учен Л. Д. Ландау [11, 42]. През 1941г. за обяснение на явлението "свръхпроводимост" при течния хелий Ландау предлага да бъде разглеждан като смес от две непрекъснати взаимно проникващи среди: нормална и притежаваща свръхпроводимост "квантова" течност. Този метод на моделиране при многокомпонентни (многофазни) среди е подробно разработен от Р.Н. Нигматулин в монографията [32]. По използвания математически апарат този метод много плътно се доближава до класическата механика на течностите и газовете. Оперира се с уравнения от нютонев тип. Това го прави по-удобен метод за приложение при инженерни решения в

областта на теченията на многокомпонентни и многофазни среди. Той се основава на феноменологията на съответните хетерогенни системи, откъдето следва и определянето на това направление в изследванията - **феноменологични методи**.

Феноменологичните методи имат редица недостатъци: Получените уравнения за движение на хетерогенните среди съдържат голям брой неизвестни функции и постоянни величини, чрез които се характеризират преносните процеси между компонентите на средата [41, 42]; не са изяснени напълно въпросите на взаимодействието между компонентите (фазите), начините за осредняване и пр.

Тези недостатъци не са съществена пречка при използване на феноменологичните методи, като се има предвид достъпността им, осигурена от хипотезата за взаимно проникващи среди и приложението на идентичен математически апарат с този на класическата механика на флуидите. Почти във всички инженерни учебници и монографии [27, 37] този метод се приема като основен.

Вторият основен подход за математическо моделиране на хетерогенните течения са т.нар. **статистически методи**. Те се основават на кинетичната теория на газовете на Болцман [26]. На него принадлежи и идеята за пренасянето ѝ върху газови смеси. Първите сериозни опити да се приложи кинетичната теория на газовете при дисперсни среди се отнасят до 60-те години [26, 72], като се прави комбинация на методите на кинетичната теория на газовете с методите на класическата хидродинамика. Частиците примеси се разглеждат във вид на твърди включвания, които си взаимодействат като твърди сфери. Влиянието на носещата фаза върху дисперсната се оценява по методите на класическата механика на флуидите (чрез стоксово приближение) [6]. Комбинацията между двата метода не е напълно удачна поради неприемливото съчетание на кинетичната теория, описваща микромасштабното движение на частиците, с обтичането им, решено на макроскопично ниво с класическата аеродинамика. В [72] се прави сериозен опит за развитието на методите, основани на кинетичната теория на газовете. Приложението на тези методи е аналогично на това на газовите смеси. По използване методите на

кинетичната теория на газовете при изследване движението на дисперсни среди и приложението ѝ в редица технологични процеси твърде много е направено от В. В. Струминский и неговата школа [6, 24, 43, 44] и др.

Феноменологичните методи за математическо моделиране на нееднородни дисперсни среди, както бе упоменато, се основава на концепцията за т.нар. многоскоростни взаимно проникващи се континууми [32, 37].

По отношение на газовата фаза въпросът за **непрекъснатостта** е разгледан и разискван подробно в класическата литература по механика на флуидите [27, 30, 34, 35]. Съгласно [27] теоретичното описание на нееднородни по химически или физически състав течения, хомогенни или хетерогенни, изисква първоначално да се приеме съответната хипотеза за непрекъснатост на всички съвместно движещи се частици както за отделните съставлящи, така и за сместа като цяло.

Основният въпрос, който се поставя, е каква е реалната възможност движението на "колектив от частици" [36] да се изследва с методите на механиката на флуидите, т.е. възможно ли е да се приложи континуално приближение към двете взаимно проникващи и движещи се с различни скорости среди (фази). За да се разгледат двете фази като непрекъснати среди, трябва да се приеме, че масата им е разпределена непрекъснато в заеманите от тях обеми. Континуалното приближение [27, 52, 80] е приложимо в тези случаи, когато може да се намери мащаб, респ. линеен размер, достатъчно малък в сравнение с мащабите на изменение на макроскопичните параметри на течението и същевременно достатъчно голям, за да съдържа значително количество частици и да допуска коректно определяне на разпределението на скоростите, плътността, температурата и др. Този въпрос по отношение на газовата фаза, съответно за въздух, е илюстриран великолепно от проф. М. Попов в неговите първи учебници по хидродинамика [34, 35]: Един куб с дължина на ръба  $L = 0,001\text{mm}$  ( $1\mu\text{m}$ ) може да се разглежда като безкрайно малък обем при решаване на всяка една инженерна задача. От друга страна, същият обем, изпълнен с въздух при атмосферно налягане, съдържа  $2,7 \cdot 10^7$  молекули. Както се вижда, така подобреният мащаб удовлетворява даденото определение.

Елементарният обем, респ. линеен размер, който осигурява изпълнението на упоменатите по-горе условия по отношение на фазата на примесите, може да се определи по следния начин:

Относителната флуктуация на плътността на разпределение  $\varepsilon$  в случая на статистически независими по поведение микрообекти (напр. частици, молекули и с някои уговорки капки) се определя като

$$1.7 \quad \varepsilon = \frac{1}{\sqrt{N}},$$

където  $N$  е броят на частиците в разглеждания обем.

Минималната относителна дължина на ръба на даден елементарен обем, запълнен с  $N$  частици (капки) с приета сферична форма с диаметър  $D_p$ , се определя приблизително по зависимостта:

$$1.8 \quad \frac{L}{D_p} = \frac{1}{\sqrt[3]{2\varepsilon^2\alpha_p}}, \quad \text{респ.} \quad \frac{L}{D_p} \approx \frac{N^{1/3}}{\sqrt[3]{2\alpha_p}},$$

където  $\alpha_p$  е обемната концентрация.

Относителната дължина на ръба на елементарния обем  $\frac{L}{D_p}$ , пресметнат по зависимостта (1.8), е даден в табл.1.2 като функция на двата параметъра –  $\varepsilon$  и  $\alpha_p$ .

Таблица 1.2

|               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $\varepsilon$ | 0.01      | 0.01      | 0.01      | 0.02      | 0.02      | 0.02      | 0.05      | 0.05      | 0.05      |
| $\alpha_p$    | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^{-1}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^{-1}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^{-1}$ |
| $L/D_p$       | 171       | 79        | 37        | 108       | 50        | 23        | 58        | 27        | 13        |

Очевидно е, че увеличаването на обемната концентрация на примеси води до намаляване на относителния размер на елементарния обем  $L/D_p$ . При големи  $D_p$  това означава пренасищане на пространството с твърде едри по големина частици. Нарастването на грешката при определяне на плътността на разпределение  $\varepsilon$ , което съответства на намаляване броя на частиците примеси в обема, дава същото отражение върху относителния размер – води до намаляването му.

Ако се използва определеното по-горе  $L/D_p$ , например при  $\varepsilon = 0.01$  и  $\alpha_p = 10^{-3}$ , може да се илюстрира какъв в действителност е размерът на елементарния обем, удовлетворяващ изискването за непрекъснатост на средата, при вариране на диаметъра на частиците (табл. 1.3).

Таблица 1.3

|                 |      |      |      |      |       |
|-----------------|------|------|------|------|-------|
| $L/D_p$ ,       | 171  |      |      |      |       |
| $D_p$ , $\mu m$ | 25   | 50   | 100  | 150  | 250   |
| $L$ , $cm$      | 0.43 | 0.86 | 1.71 | 2.75 | 4.275 |

Съгласно показаното в таблицата за частици с  $D_p > 50 \mu m$  елементарният обем трябва да има страна, по-голяма от  $1 cm$ . Този извод е от особена важност при провеждане на експериментални изследвания. При тях от отношението  $L/D_p$  се определя минималното разстояние между точките, в които се търси необходимата експериментална информация - интензивност на оросяване, скорости и пр.

С разгледаните примери се цели да се подчертае важността на определянето на относителната дължина на ръба на елементарния обем. При мащаби  $L$ , по-малки от определения  $L_{min}$ , съвкупността от частици, респ. капки, не може да се разглежда като непрекъсната среда, следователно те не могат да се изучават на основата на обичайната механика на флуидите. В тези случаи феноменологичният подход е неприложим и изследването им изисква приложение на статистически методи [10, 23, 52, 53].

В случаите, когато за "колектива" от частици е приложимо континуално приближение, те се разглеждат като особена флуидна среда, на която липсва тензор на вътрешните напрежения, и не може да се приложи уравнението за състоянието [23, 54]. За тази флуидна среда, разглеждана като неплътно множество от частици, се приема, че не притежава тензор: на вътрешните напрежения, което означава, че ѝ липсва собствено налягане и вискозитет. От друга страна е необходимо да се знае, че "колективът" от частици, разгледан като особена флуидна среда, притежава собствена турбулентност, респ. тензор на привидните (турбулентни) напрежения. Това следва както от произхода на напреженията в този тензор, така и от обстоятелството, че турбулентните напрежения, респ. турбулентният вискозитет, не са свойство на флуида, а зависят от състоянието и интензивността на турбулентния обмен [27, 30, 34].