

МОДЕЛИРАНЕ НА ГАЗОДИНАМИЧНИ ПРОЦЕСИ В ПОЛИЕТИЛЕНОВИ ТРЪБИ ЧРЕЗ COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD), МОДУЛ В ANSYS

Милко Харизанов, Мартин М. Бояджиев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; mharizanov@mgu.bg; martinb@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В настоящата статия се представят получени симулационни резултати с изчислителни експериментални данни и реален физичен експеримент в условия на преходен режим на движение на газообразен флуид в тръбно пространство. Потвърдени са получените резултати и е приведен сложния математически апарат описващ поведението на флуида към опростена математическа зависимост за приложение в инженерната практика при проектиране на разпределителни газопроводи.

MODELING OF PROCESSES IN GAS DYNAMIC IN POLYETHYLENE PIPELINE BY SPECIALIZED SOFTWARE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CDF), MODULE IN ANSYS

Milko Harizanov, Martin M. Boyajiev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; mharizanov@mgu.bg; martinb@mgu.bg

ABSTRACT. In this paper are presented comparative analyses of simulation results and experimental data of real physical experiment in natural conditions of movement of gaseous fluid in tubular space. The results obtained are confirmed and is given the complicated mathematical formalism describing the behavior of the fluid to a simple mathematical relationship for use in engineering practice in the design of gas distribution networks.

Въведение

При решаването на задачи, свързани с движение на газообразни флуиди трябва да се отчете, че базовата физика на процесите е сложно комплицирано явление и резултатите, получени от програмните продукти са дотолкова достоверни, доколкото химичните параметри и физични величини заложи в програмния продукт са такива. Така, че за да се изработят и получат възможно най-достоверни резултати трябва да се съчетаят знания и умения от редица области.

Числени приложни модели

За стартиране и настройване на числени симулации се минава през етапа на идентифициране и формулиране на проблема във физичен и химичен смисъл на разглежданото явление. Типовите решения предлагат възможност да се моделира двумерна или тримерна задача, за да се изключи влиянието на температура или вариациите на други физични величини. Да се определят гранични условия за уравненията за турбулентен или ламинарен поток и чрез математически допускания да се ограничат странични ефекти. За да се получат правилни решения са необходими конкретни познания в моделирането, необходими за да се направят допусканията понижаващи сложността на модела до определено/поносимо (решимо) ниво, като в същото време

се запазят основите му. Това удобство на опростяването в този етап на моделиране е необходимо за да се управлява качеството на информацията, генерирана от програмата, като в същото време потребителя да бъде в течение на всички направени допускания (Карасевич, 2002). Доброто ползване на алгоритмите на числените решения също е от решаващо значение за получаване на качествено решение. Задачата моделира движението на свиваем флуид в тръбопроводна система от полиетиленови тръби, разгледана в предишния раздел.

Със създаването на модел на движението на свиваем флуид в полиетиленови тръби са изследвани и скоростните полета, коефициентите на хидравлично триене и загубите на налягане в съвременните условия за разпределение на газ. Получените резултати в модела затвърждават резултатите получени от лабораторните изследвания. Валидността на физичните и химичните модели вградени в програма или точността на крайните резултати са оценяват чрез сравняване с експерименталните резултати или изследвания в полеви условия, което е цел на последващи тестове и изследвания. Все пак експеримента си остава мощен инструмент за доказване на тези и решаването на проблеми, подход доказан с историята на научните изследвания.

Изчислителната механика на флуидите – CFD (computational fluid dynamics)

CFD е софтуер, който се базира на числени алгоритми, които решават задачи свързани с теченията на флуиди и е модул в ANSYS .

Възможните приложими методи за конкретното изследване са: *Метода на крайните елементи* и *Метода на крайните разлики*. Методът на крайните елементи започва да се прилага от 50-те години на миналия век от специалисти по строителна механика, когато сложната геометрия на обекта в задачата не позволява да се получи аналитично решение. В тези случаи обекта се разделя на на по-прости подобласти за които се търси приблизително решение. Тези подобласти започнали да се наричат крайни елементи, а самият метод- метод на крайните елементи. През последните десетилетия метода на крайните разлики е един от най-широко използваните числени методи. Популярността му се обяснява с използваната в него математическа идея за дискретизация. Дискретизацията е апроксимационна процедура, при която непрекъснатата област се заменя с омержена повърхност, като физичните променливи се търсят не в отделните области, а в конкретни точки от мрежата. За целите на настоящето изследване от по-голяма важност е гладкостта на полученото решение характерна за метода на крайните разлики (Хинова, 2004). Само този подход дава възможност за по-добро описание на нелинейните членове, които се съдържат в уравненията на Навие-Стокс – основни уравнения описващи движението на флуиди и това предопределя избора на този метод в конкретната задача.

Използваният числен метод е метода на крайните разлики и по конкретно метода на контролните обеми. Този метод е развит оригинално като специална формулировка на метода на крайните разлики. При него са спазени основните стъпки, характеризиращи численото решение на задачата: формално интегриране на основните уравнения на течението навсякъде по контролните обеми на решаваната област; замяна на производните с отношения на крайни разлики; итеративно решаване на получената система алгебрични уравнения.

По този начин непрекъснатото решение се заменя със съвкупност от дискретни стойности, получени за центъра на всеки контролен обем. Като естествено следствие точността на решението зависи от големината на стъпките на дискретизация.

В използвания математичен модел са приложени следните уравнения описващи процеса на движение на флуида::

- уравнение за съхранение на масата:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

- уравнение за съхранение на енергията:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial \tau} + \text{div}(\rho h) = -p.\text{div}\vec{u} + \text{div}(\lambda \text{grad}t) \quad (2)$$

- уравнение на движението:

$$\frac{\partial(\rho \vec{u})}{\partial \tau} + \text{div}(\rho \vec{u} \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad}u) \quad (3)$$

- уравнение на състоянието:

$$p = p(\rho, t) ; i = i(\rho, t), \quad (4)$$

където ρ - плътност на флуида, kg/m^3 ,

\vec{u} (u, v, w) - вектор на скоростта,

μ – динамичен вискозитет на флуида, [kg/m.s]

i - енталпия на флуида, [kJ/kg]

p – налягане на флуида, [Pa .]

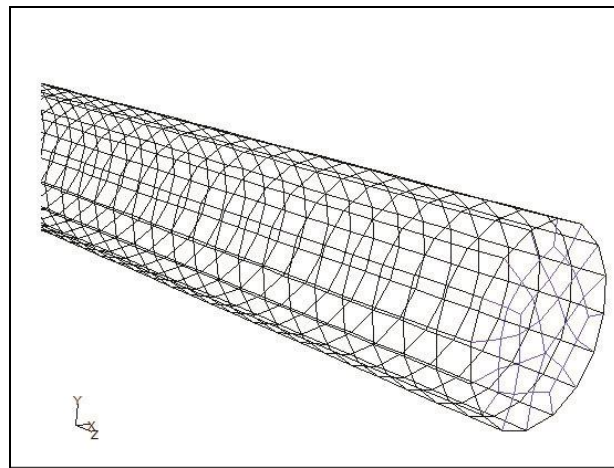
λ – коефициент на топлопроводност на флуида, [W/m.K], t – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Представените уравнения съставляват обобщен математичен модел на установен процес на движение на флуида. Те се използват за получаване на скоростното поле и полето на налягането във всяка точка на изследваната тръба.

Процедура за моделиране

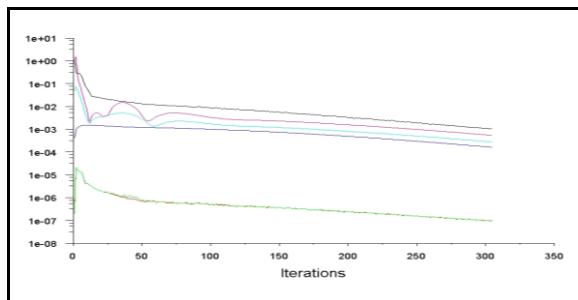
Геометрията на тръбата позволява да се работи със структурирана мрежа. В тримерното пространство такава мрежа представлява подредена конфигурация от hexahedral-ни клетки с размери $\Delta r = \Delta h = 5 \text{ mm}$. По този начин е получена мрежа с 28384 контролни обеми (фиг. 1).

Течението е преходно от ламинарно към турбулентно. Заложения в CFD модел на турбулентност е $k-\epsilon$.



Фиг. 1. Визуализация на използваната мрежа

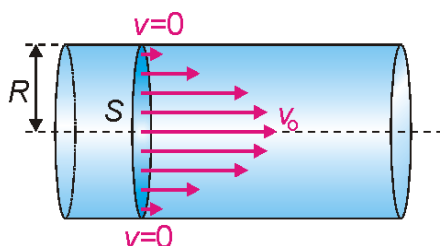
Използваната схема на дискретизация е неявна. Тя се препоръчва за основни преносни процеси при CFD симулациите главно заради свойството си стабилност. Стъпката във времето е $\Delta t = 1 \text{ s}$. След 320 итерации (фиг. 2) се получава сходимо решение. Кое то подвърждава правилната постановка на модела.



Фиг. 2. Сходимост на решението

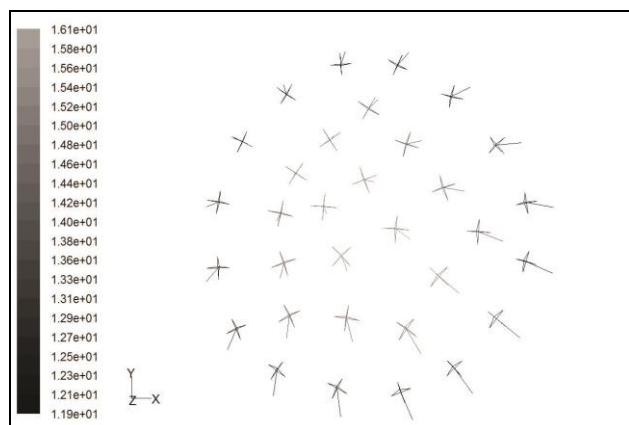
Анализ на резултатите

Симуляционното изследване доказва физическата същност на процеса на установено движение на газ в тръба (фиг. 3).



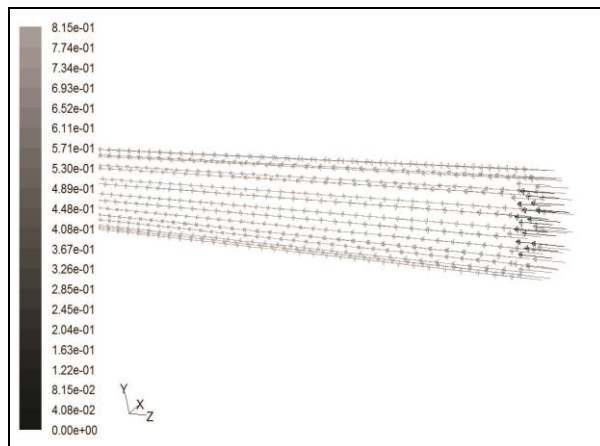
Фиг. 3. Скоростен профил на течение в тръбата

В началния момент имаме равномерно и симетрично разпределение на скоростното поле (фиг. 4), което се изменя на изхода, отчитайки триенето по вътрешната повърхност и се концентрира по оста на тръбата както се вижда на фигурата. Скоростта на газа по оста на тръбата е по-висока от периферията, поради силите на триене действащи в тези области.



Фиг. 4. Скоростен профил на изхода на тръбата

Силите на триене (фиг. 5) отчитат скоростта по вътрешната стена на тръбата и са в противоположна посока. Те са по-големи по вътрешната стена на тръбата и са в противоположна на движението посока. Те определят и загубите на налягане при движението на газа, които са в зависимост от дебита са от порядъка на 0,2-1,2 mbar/m. Такива резултати са получени и от експериментите в лабораторията по "Хидравлика и транспорт на нефт и газ" (Отчет по договор НИС ГПФ №84/2007).



Фиг. 5. Сили на триене по вътрешните стени на тръбата

Анализа на резултати дава основание за изследваната геометрия на тръбата, че скоростното поле не се изменя надлъжно по оста на тръбата, а изменението е основно в радиално направление за конкретното напречно сечение.

Измененията в скоростното поле на изхода, отчита триенето по вътрешната повърхност и се концентрира по оста на тръбата. Скоростта по оста на кръглото сечение е значително по-висока от тази по периферията на тръбата и е в границите препоръчителни за движение по газа в градските газоразпределителни мрежи.

Изводи

Разработеният модел на движението на газообразен флуид в полиетиленови тръбопроводи позволява изчисляване на хидравлични загуби и прецизиране на коефициент на газодинамично триене.

Компютърното моделиране и симулиране дава възможност за визуализиране и качествена оценка на процесите на движение с основна цел изготвяне на конкретни предложения за подобряване на процеса на определяне на газодинамичните загуби в полиетиленови тръби.

Разработената методика за определяне хидравличните съпротивления (линейни) при движение на газ (въздух, азот и природен газ) в полиетиленови тръби за газоразпределителни мрежи потвърждава до голяма степен получените резултати от модела.

Получените резултати показват определени закономерности в изменението на скоростното поле при движение на флуид в тръба, които може да се използват за привеждане на сложния математически апарат към инженерно приложни зависимости.

Проектът на авторите ще продължи с моделиране на местните съпротивления в полиетиленовите тръби получени технологично в процеса на свързване на газопроводите чрез челно заваряване.

Литература

Карасевич, А. М., М. Г. Сухарев, И. В. Тверской. 2002. Анализ результатов экспериментов по оценке гидравлического сопротивления полиэтиленовых труб. – 1 Международная научно-техническая конференция DISCOM 2002.

Николов, Г. К. 1993. *Транспорт и съхраняване на нефта и газа*. С., Минно-геоложки университет, 198 с.

Отчет на Договор ГПФ №84/2006, НИСМ, МГУ “Св. Иван Рилски”. 2007.

Хинова, И. 2004. Числени методи в механиката на флуидите. – Сборник доклади от Втората международна конференция “Мениджмънт и инженеринг’04”, София, 13-15 май, 2004. 123-126.

Piggott, J., N. Ravell, Th. Kurschat. 2002. Taking the Rought with the Smooth – a new look at transmission factor formulae. – PSIG, 23-25 October 2002.

Schroeder, D. W., Jr. 2001. A tutorial on pipe flow equations. Stoner Associates, Inc., August 16, 2001.

Shashi Menon, E. 2005. *Gas Pipeline Hydraulics*. CRC Press, 416 p.