

ПОДСЕКЦИЯ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ И ГАЗА

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ТРАНСПОРТА РЕОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ВЯЗКИХ СРЕД ВО ВНУТРЕННИХ СИСТЕМАХ: ИДЕИ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

С.Н. Харламов, Д.С. Фатьянов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Цель: – анализ проблем и расчет параметров сложных течений во внутренних системах с произвольной границей поверхности, опираясь на современные подходы, достижения в численном моделировании и управлении транспортом углеводородных смесей (УВС), учитывая особенности переноса импульса в низкорейнольдсовых зонах; - оценить перспективы комплексного изучения тепло-, гидро-, газодинамических и диффузионных явлений; - провести валидацию подходов, верификацию результатов путем сравнений с имеющимися данными, а также экспериментальным материалом средств контактной и бесконтактной регистрации.

Введение. В сопряженных областях с сочленениями элементов разнообразного оборудования топливно-энергетического комплекса (ТЭК), ориентированного на транспортировку природного сырья, очистку рабочей среды и узлов от выработок со специфической реологией, нелинейность механизмов конвективно-диффузионного взаимодействия процессов переноса импульса, тепла и массы усиливается. Это создает дополнительные проблемы по управлению транспортом сред. Прогнозирование таких потоков с переходами вихревой природы проводится по RANS- подходу. Применение последнего сопряжено с проблемами определения размеров и интенсивности зон отрыва/присоединения потока. Известно [1], что изотропные модели не адекватно предсказывают характеристики углеводородных гетерогенных смесей в рассматриваемых случаях течений из-за образующихся отложений на стенках каналов. Их форма подобна форме переменной по длине площади поперечного сечения с границей периодического расширения или сужения, что характерно для процессов образования “дюн” твердой фазы в гетерогенной среде при ее внутреннем течении. Учитывая это, представляется закономерным интерес инженеров-механиков к отрывным течениям в каналах с целью уяснить механизмы движений, возможности моделей к прогнозу динамики турбулентного течения между точкой отрыва и присоединения к стенкам. Заметим, что в задачах НГО эти явления нередки и требуют понимания и выработки эффективных условий очистки скважин от бурового шлама. Все это повышает требования к моделированию процессов транспорта реологически сложных сред, требует разработок универсальных подходов, методов их расчета, накопления данных о влиянии формы каналов и режимов течения на характеристики развивающихся потоков с границей сужения/расширения, а также определения условий надежности транспорта УВС и удаления технической выработки их труб и каналов.

Основопологающие принципы. Для рассматриваемых задач НГО весьма эффективны идеи сквозного расчета, обращения к низкорейнольдсовым многопараметрическим моделям описания сложных течений однофазных и многофазных смесей со значительной температурной стратификацией [1-4]. Отличительная особенность таких моделей состоит в возможности прогноза процессов транспорта и тепломассообмена во всей области движения смесей, вплоть до стенки, включая вязкий “ламинарный” подслои и буферную зону пристеночного слоя. Анализ показывает [1,2], что в исследованиях проблем транспорта УВС отдается предпочтение RANS -подходу в сравнении с DNS и LES методами. Это связано с ограничениями и трудностями реализации альтернативных методов в широком диапазоне изменений определяющих параметров течений и тепломассообмена, на которые ориентированы задачи управления транспортом УВС. Важно отметить, что перспективы рассматриваемых исследований в рамках моментного подхода связаны с замыканиями по двухпараметрическим динамическим и тепловым моделям турбулентности (типа $k-L$, $k-\tau$, $k-\omega$, $\overline{t'^2} - \mathcal{E}_{t'^2}$) с параметром разномасштабности σ процессов диссипации скалярного и динамического пульсационных полей. Причем эти модели составляют опорные базы в Reynolds Stresses –Turbulent Fluxes (RSTF)–моделях [1,2]. При расчетах серьезным аргументом к уменьшению их стоимости могут служить ряд упрощений определяющих систем уравнений гидродинамической, тепловой и диффузионных задач, которые сводятся к выделению преобладающего направления движения. Характерной особенностью такого приближения является пренебрежение диффузией массы, импульса и тепла, и характеристик турбулентной структуры в сравнении с конвективным переносом этих субстанций. Таким образом, имеется возможность построения быстрых маршевых алгоритмов решения задач НГО. Некоторые из них (обобщенный метод Л.М. Симуни), детально опробованы на классе внутренних течений вязких сред и описаны в [1,2]. Опираясь на сделанные замечания ниже проведен анализ течений УВС в элементах труб с переменной границей. При использовании данного подхода нет необходимости в согласовании полей скорости и давления, а имеющиеся в вычислительной процедуре итерационные циклы связаны лишь с устранением нелинейности типа конвективных членов и переменной теплофизических свойств. Заметим, что эти результаты весьма полезны в конструкторских разработках по созданию энергетических устройств промышленного назначения, в выдаче рекомендаций по снижению отрицательных факторов при сборе, транспортировке и хранении природного сырья, интенсификации механизмов тепломассообмена, разделения водонефтяных эмульсий, повышения ресурсов работы нефтеперерабатывающих установок, устранения последствий

экологических катастроф, связанных с авариями трубопроводов и разливом нефтепродуктов. Недостаточная апробация моделей турбулентности для напряжений и потоков определяет необходимость их предварительного широкого тестирования на классе “реперных” течений. Работа по конструированию замыкающих выражений для членов высшего порядка (диффузия, перераспределение, диссипация) в таких моделях требует предварительного проведения тщательных экспериментов по уяснению механизмов изменения “тонких” параметров процессов течения и теплообмена, определения пульсационных величин в вихревой среде. В настоящее время имеющиеся данные для рассматриваемых задач противоречивы или отсутствуют вовсе и требуют дополнительных проверок и измерений.

Детали постановки и моделирования. Отдельные оценки перспектив предлагаемого к использованию комплексного RANS-хода (базовые уравнения математической модели с уравнениями RSTF модели турбулентности можно найти в [1,2]), метода исследования течений УВС в областях переменного поперечного сечения с геометрией подобной [3] иллюстрируют данные рис. 1. Принято, что величина высоты уступа (h) характерна для движений реологически сложных гетерогенных УВС с отложениями твердой фазы. Длина исследуемого участка в продольном направлении (X) ограничена размером порядка $9h$, а в поперечном (Y) – не более $4h$, с целью валидации модели и верификации результатов расчетов с опытом [4]. Особенности изменения процесса переноса импульса в гомогенном потоке слабосжимаемого газа со слабой, умеренной и выраженной интенсивностью турбулентности ($Tu=0.1 - 10\%$) рассматривались в диапазоне изменений чисел Рейнольдса порядка 2400 - 15000. Допускается, что течение УВС в канале является изотермическим и установившимся.

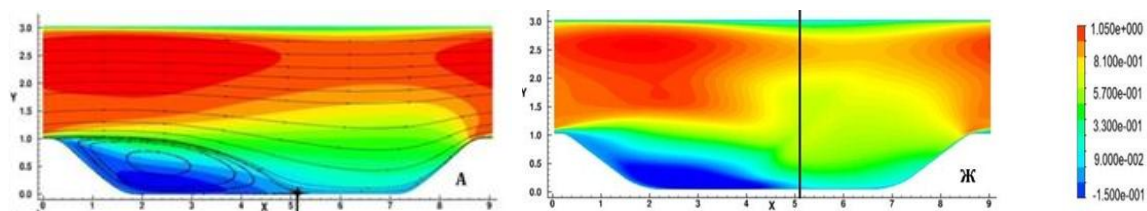


Рис.1. Картины изменений поля безразмерной осевой компоненты вектора скорости, нормированной на среднюю массовую скорость входа, в сечении $x=0$ при $Re=2800$, выделение $-X=X_r$ - продольный размер периферийной рециркуляционной зоны: случай (А) – данные расчета [4] привлекаются для верификации процессов по RANS- методу; случай (Ж) – расчет по оригинальной RS-kL модели [1].

Обсуждение. Учет пространственного характера изменений “тонких параметров структуры турбулентного потока позволяет установить положение линии тока, отделяющей основной поток от области периферийной рециркуляции (ОПР) смеси, фиксировать интенсивность и размер обратных токов. Расчеты процессов в выбранном диапазоне чисел Re показали чувствительность обратных движений к интенсивности турбулентности, скорости течения на входе в диффузорную область канала. Из рис. 1 видно, что на расстоянии X порядка $5 \cdot h$ при выбранном Re_d устанавливается ОПР с режимом ускоренного течения (области А, Ж) на входе в конфузурную часть (правая граница канала). Такие особенности могут существенно влиять на размены ОПР, структуру пристеночного пограничного слоя и интегральные параметры течения и теплообмена. Все это нетривиальные задачи, связанные в переходами вихревой и тепловой природы и сопровождаются реламинаризацией. Также видно, что разделяющая линия в зоне $X < X_r$ (выделение по оси X – вертикальная линия) вначале идет почти параллельно стенке и наклоняется к ней при приближении к точке присоединения (X_r). Варьирование скоростью потока на входе (левая граница расчетной области) показывает, что размер ОПР охватывает длину в шесть высот уступа от сечения скачка. Это позволяет утверждать, что при отложении тяжелой фракции в УВС по форме близкой к ОПР модели турбулентности должны реагировать на изменения структуры пограничного слоя и учитывать анизотропные эффекты в изменении коэффициентов молярного переноса импульса и скаляра. Все это актуализирует роль моделей с транспортными уравнениями для напряжений и составляет перспективу уточнений инженерных методик расчета потерь на трение при движении УВС по ТП. Сравнения с данными [4] показывают, что модельные расчеты прогноза интенсивности пульсационных процессов вполне корректны.

Заключение. Исследование показывает, что успешного прогноза рециркуляционных течений в гомогенных средах, отложений фракций компонентов гетерогенной УВС на стенку во внутренних системах следует ожидать при детальном моделировании механизмов возникновения, переноса и разрушения турбулентности. Локальная структура потока в значительной степени зависит от того, что происходит в других частях потока. Анизотропное турбулентное течение в пристеночных зонах может быть успешно рассчитано на базе RS-TF-модели с kL -опорной двухпараметрической базой.

Литература

1. Kharlamov S. N. Actual Problems of Hydrodynamics at Internal Not-Isothermal Flows in Fields of Mass Forces //Hydrodynamics: Theory and Model, Intech-Open, Rijeka, Croatia. – 2012. – С.183-223.
2. Kharlamov S. N. et al. Engineering Approaches Progress In Computation Of Inhomogeneous Turbulence In Pipelines //SPE Russian Oil and Gas Conference and Exhibition. – Society of Petroleum Engineers, 2010.
3. Rumsey C. L. et al. Summary of the 2004 computational fluid dynamics validation workshop on synthetic jets //AIAA Journal. – 2006. – Т. 44. – №. 2. – С. 194-207.
4. Balakumar P. DNS/LES Simulations of Separated Flows at High Reynolds Number/49th Fluid Dynamics Conference // AIAA Paper. – 2015. – № 2783. – 27p.