

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ ОБТЕКАНИИ ОБЪЕКТОВ ТЭК

С. Н. Харламов, профессор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

История развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в нашей стране неразрывно связана с решением многочисленных проблем, сопровождающих работу по проектированию, изготовлению, совершенствованию разнообразного теплоэнергетического и нефтегазового оборудования, обеспечивающего эффективное функционирование трубопроводной системы, оптимизацию процессов сбора и разделения сырьевой продукции, минимизацию потерь при длительном хранении нефти и нефтепродуктов. Функционирование оборудования и объектов ТЭК часто происходит в экстремальных режимах, связанных с изменениями климатических условий, динамических и тепловых нагрузок в рабочих органах устройств, поддерживающих оптимальные параметры. Необходимость размещения объектов хранения с учетом фактора минимизации больших потерь от испарения, утечек, рециркуляционных аэродинамических эффектов и теплообмена с окружающей внешней средой представляет важную практическую задачу строительной механики, динамики жидкости и газа, прочности и тепломассопереноса. В такой задаче методам математического моделирования пространственных процессов в трубопроводной системе и резервуарном парке отводится главная роль. Рассматривая объекты ТЭК, как открытые термодинамические системы, их функционирование в режимах неустойчивости, обусловленной переходами вихревой и тепловой природы с неоднородными распределениями динамических и скалярных характеристик процессов переноса тепла, массы, импульса часто проводят в рамках RANS-метода [1-3] с опорными двухпараметрическими $(k\varepsilon)$ -, $(k\varepsilon)$ -, $(k\omega)$ -, (kL) - моделями турбулентности, предложенными в работах В. Е. Лаундера, К.Г. Спезизла, Д.С. Уилкокса, Ф.Р. Ментера, Г.С. Глушко и др. Этот подход вполне успешен в прогнозе молярной вязкости (μ_t) , молярной теплопроводности (λ_t) и диффузии (D_t) в сложных пространственных течениях вязких сред. Заметим, что возможности используемого метода в исследованиях интенсивности процессов транспорта энергетического сырья подробно представлены в [2, 4]. Кроме того, в определенных условиях предсказания изменений неоднородной анизотропной структуры по указанным моделям следует считать вполне корректными. Вместе с тем, требуются четкие представления о границах достоверности подобных расчетов с модельным представлением о скалярном характере изменения молярной вязкости и теплопроводности в переходных и рециркуляционных течениях, при обтекании поверхности тел со сложной геометрией. В таких условиях сведения по уточнению результатов расчета по многопараметрическим дифференциальным моделям второго порядка для корреляционных моментов пульсаций поля скорости и скаляра представляются весьма ценными. Последнее справедливо и в прикладных и в фундаментальных исследованиях вихревых течений с произвольной степенью турбулентности. Учитывая, сказанное в настоящей работе поставлены **цели**: 1) исследовать структуру сложного сдвигового потока в нижнем расчетном слое атмосферы при обтекании резервуаров, сгенерированную источниками естественного и антропогенного происхождения в условиях обтекания объектов ТЭК; 2) оценить характер влияния потока на хранилища посредством эволюции рециркуляционных течений; 3) уяснить детали и закономерности аэродинамики и теплообмена в приповерхностной области с криволинейной образующей, обусловленной расположением и геометрией хранилищ в рамках двух- и многопараметрических моделей для молярных коэффициентов переноса импульса и тепла и их турбулентных потоков; 4) выдать рекомендации к снижению потерь сырья в резервуарах при длительном его хранении из-за интенсификации фазовых процессов в замкнутых областях.

Рассматриваются неизоэнтальпические, стационарные и нестационарные пространственные течения вязких сред с неоднородной анизотропной структурой турбулентности в широком диапазоне изменений масштабов вихревых структур. Предполагается, что течения и теплообмен воздуха с объектами хранения осуществляются в условиях действия гравитационных сил. Термодинамическая система “воздушная среда – отдельные хранилища” отличается нелинейностью вследствие переменности теплофизических свойств в потоке и стенках хранилищ. В процессах переноса доминируют вязкостно-инерционные режимы течения и теплообмена. Воздушный поток представляет собой однокомпонентный, химически инертный, идеальный, слабо сжимаемый газ с ньютоновскими реологическими свойствами, в котором пренебрежимо малыми считаются процессы переноса массы, а скорости течения характерны для дозвукового режима. По форме и схеме размещения резервуары представляют собой наземные вертикальные цилиндрические стальные сосуды со стационарными крышами, установленными на ровной поверхности с расстоянием не менее 0.75 их диаметра. Моделирование аэродинамики и теплообмена проводится в рамках системы определяющих уравнений: законов сохранения массы (неразрывности), импульса (осредненных по Рейнольдсу полных уравнений Навье-Стокса), энергии и состояния. Полезно отметить, что в нашем случае общая система достаточно громоздка, т.к. включает гидродинамический и тепловой блоки, которые для большинства сложных течений из-за своей не замкнутости (по причине используемого выше осреднения) включает новые неизвестные – турбулентные потоки импульса и

тепла. Для их определения требуется дополнительная система уравнений (модель турбулентности). Практический опыт исследования подобных процессов показывает, что преимущества моделей с транспортными уравнениями для моментов второго порядка (потоков тепла и массы) в данных условиях неоспоримы [1-4] и может служить аргументом в пользу их использования для замыканий общей системы уравнений. **Численное решение** системы определяющих уравнений и замыкающих связей строится с использованием полунявного метода для связанных давлением уравнений (SIMPLE алгоритма) и метода контрольного объема. При получении разностных аналогов для компонент вектора скорости используются разнесенные “шахматные” сетки. Дискретные аналоги дифференциальной задачи рассчитываются методом переменных направлений, причем на каждом своем шаге система линейных алгебраических уравнений решалась с помощью метода прогонки с трехдиагональной матрицей коэффициентов (для скалярных характеристик) и Гаусса-Зейделя (для компонент скорости). В итерационном процессе, ориентированном на ускорение или замедление сходимости той или иной расчетной величины использовался метод верхней или нижней релаксации. Расчеты выполнены при следующих **граничных условиях**: на входе - однородные распределения всех зависимых переменных; в выходной удаленной зоне – “мягкие граничные условия”; на твердых поверхностях (земля-стенки резервуара) – условия отсутствия скольжения, теплоизоляции или функциональной зависимости для поля температуры (первого или второго рода) по известным опытным данным; на достаточном удалении в нормальном направлении к горизонтальной границе обтекания поверхности расчетной системы – условия внешнего течения и теплообмена. Достоверность модели и метода оценивалась сравнениями с имеющимися опытными данными по локальным и интегральным параметрам течения и теплообмена [1, 2]. В частности, расчеты [взаимодействия неизоэтермического воздушного потока с парком вертикальных стальных резервуаров ($N=2-5$) с наливным объемом порядка - $V=(0.5 - 20)10^3$, м³ и характерными размерами: высота стенки порядка - $H=(10-17)$, м; внутренний диаметр порядка - $D=(15-40)$, м; конструктивным коэффициентом порядка - $\chi=D/H=(2.7-3.5)$ и расстояниями между объектами $S>(0.7-0.8) D$, м] выполнялись в соответствии с рекомендациями и документацией [4]. Предполагается, что турбулентное течение слабо сжимаемого газа отвечает условиям: $\Theta=Tw/T_0=1.0-1.1$, где температура потока (T_0) варьировалась в диапазоне $(0-30)^{\circ}\text{C}$, температура стенок РВС слабо чувствительна к механизмам смешанной конвекции, а механизмы переноса импульса и тепла отвечают вязкостно-инерционным режимам интенсивной турбулентности. Принято, что степень турбулентности набегающего потока - $Tu=(1-10)$, %; критерий Рейнольдса - $Re=(5 - 40)10^5$, Рэлея - $Ra<8 \cdot 10^5$, $Pr=0.713-0.715$. Отдельные результаты эволюции течений и теплообмена при обтекании резервуарного парка ($N=3$) приведены на рис. 1,2.

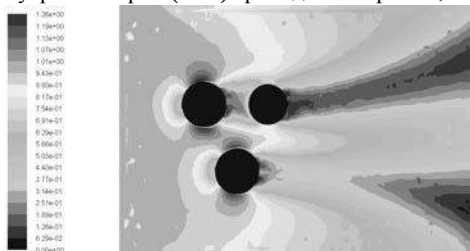


Рис.1 Характерная карта изменений полной скорости (движение – слева направо, вид сверху, нормально к обтекаемой поверхности). Условия расчета: $Tu=10\%$, $Re=5.45 \cdot 10^5$, $T_0=300^{\circ}\text{K}$.



Рис.2 Картина интенсификации тепловых процессов в атмосферном фронте вследствие изменений температурного поля в условиях турбулентного течения и теплообмена при обтекании РВС (данные расчета, их демонстрация, отвечают условиям, представленным на рис. 1).

Из рисунков видно, что формирование зон отрыва, присоединения потока с интенсификацией обменных процессов в приземном фронте, в областях перед, за и между объектами способны генерировать специфические условия для переходных, устойчивых и неустойчивых изменений в локальной теплодинамической структуре. Расчеты показывают, что выраженное ускорение в межобъектной зоне приземного течения при обтекании вертикальных участков, а также крыш строений заметно снижается. Установлено, что выражены эти явления в зонах следа, где преобладают сложные нелинейные механизмы конвективно-диффузионного взаимодействия, активизируются переходные эффекты, обусловленные особенностями изменений пульсационного поля скорости и давления. Расчет этих областей повышает требования к выбору двухпараметрических моделей турбулентности со скалярным характером изменений соответствующих коэффициентов переноса.

Литература

1. Kharlamov S.N. Actual Problems of Hydrodynamics at Internal not-Isothermal Flows in Fields of Mass Forces. P. 183-232, chapter from the monograph “Hydrodynamics: Theory and Model”. Edited by Jinhai Zheng. - Intech, Croatia. - 2012. -307p.
2. Бубенников А.М., Харламов С.Н. Математические модели неоднородной анизотропной турбулентности во внутренних течениях. - Томск: Изд-во Томский государственный университет, 2001. -448с

3. Харламов С.Н., Альпинов Р.А., Коротких А.В., Сурков А.В., Макеев, К.С. Моделирование рециркуляционных турбулентных течений при обтекании объектов топливно-энергетического комплекса // Вестник ЗСО РАЕН, №18. 2016. –С. 78-88.
4. Харламов С.Н. Выработка решений по защите теплообменников от гидравлического удара. Материалы отчетов в ООО "Томский инженерно-технический центр". Томск. 2012 (Хд № 1-526/12у от 01.08.2012г.).

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ГРУНТОВ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ УАСТКАХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Е. Э. Аксёнова

Научный руководитель, доцент Н. А. Антропова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

При проектировании инженерной защиты от обвальных и оползневых процессов необходимо рассматривать целесообразность применения мероприятий, направленных на предотвращение и стабилизацию эрозионных процессов. Эти опасные геологические явления характеризуются относительно высокой интенсивностью. Эрозия непосредственно или потенциально влияет на эксплуатационную надежность сооружений, их основания и фундамент. Например, интенсивность проявления экзогенных геологических процессов на магистральном газопроводе «Сила Сибири», в числе которых склоновые и эрозионные процессы, составляет 25%. Главной причиной появления эрозии является механическое воздействие воды на горные породы и переносимых ею обломков, прежде разрушенных пород. При наличии в воде обломков пород эрозия резко усиливается. Чем больше скорость течения воды, тем более крупные обломки будут переноситься, и тем интенсивнее будут идти эрозионные процессы. Следовательно, в этих местах должны предусматриваться противозерозионные сооружения [3].

Для этого проводят инженерно-геодезические изыскания. Они позволяют привязать положение трубопровода к устойчивым формам рельефа и установить изменение высотных отметок, а также тенденцию глубинных и плановых переформирований русла рек и водотоков [2].

На участках, подверженных действию опасных природных процессов, проведение работ должно быть отнесено на периоды времени, когда возможность появления этих процессов наименее вероятна. Работа в таких местах должна выполняться в минимально короткие сроки, при этом весь комплекс работ следует выполнять одновременно, не допуская переноса их на последующие периоды. На время проведения работ в местах появления опасных природных процессов организуются службы наблюдения и оповещения.

Таблица 1

Виды инженерной защиты от эрозии

Параметры	открытый дренаж	Закрытый дренаж	поверхностное закрепление грунта	объемное закрепление грунта
Вид эрозионного разрушения	–Вымывание и смыв грунта засыпки на склонах –Размывы на пересечениях трубопровода с малыми и временными водотоками	Вымывание и смыв грунта засыпки на склонах	– Вымывание и смыв грунта засыпки на склонах –Размыв береговых приустьевых участков подводных переходов трубопроводов	Размывы в русловой части подводных переходов трубопроводов
Плюсы	Простота и дешевизна, не предполагает использование какого-либо специального оборудования	Долговечность	Повышение прочности грунта	Повышение прочности грунта Не нарушает естественное сложение грунтов.
Недостатки	Требует дополнительных ограждений и ежегодной очистки.	Система будет функционировать только при наличии внешнего водоотвода	Недостаточно надежны, дороги и трудоемки.	Недостаточно надежны, дороги и трудоемки.