

представлены результаты исследования закономерностей изменения кинетической энергии турбулентности в особых областях тройника.

На рис. 2 представлен баланс кинетической энергии турбулентности на входе в тройник (сечения 1, 2) и на выходе из тройника: основной линии (сечения 3, 4) и бокового патрубка (сечения 5, 6).

Как и следовало ожидать в соответствии с общепринятыми представлениями, основанными на классических работах (например [10]), при удалении от точки разделения потока (сечения 1,4,6) в балансе кинетической энергии турбулентности вблизи стенки определяющую роль играют порождение и диссипация. По мере удаления баланс имеет тенденцию к симметризации и выходу на классическое распределение [10]. В рассмотренных сечениях, однако, имеет место существенная несимметричность левой и правой пристеночных областей, причем для бокового патрубка $y=+1.0D$ в ядре также сильны конвективные и турбулентно-диффузионная составляющие, что объясняется локализацией в патрубке турбулентного вихря.

Особый интерес представляют области на "шейке" тройника - крайние области сечений $x=\pm 0.5D$, $y=+0.5D$. Они в еще большей степени несимметричны относительно оси. В области отрыва потока от шейки тройника можно говорить об определяющей роли конвективных процессов, уравниваемых диссипацией. На противоположной стенке, в области присоединения потока, определяющую роль играют порождение и диффузия, дополняемые значительным (но уже не определяющим) вкладом конвективных составляющих.

Резюмирую, можно отметить что в областях отрыва и присоединения потока важную роль в балансе кинетической энергии турбулентности начинают играть конвективные механизмы.

Литература

1. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче. – Л.: Госэнергоиздат, 1959. – 414 с.
2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. - №-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. Харламов С.Н., Альгинов Р.А. Гидродинамика и теплообмен в потоках слабосжимаемых вязких сред в разветвленных секциях, узлах и сочленениях трубопровода // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. - № ОВ11. – С. 287-292.
4. V.I. Terekhov, Y.M. Mshvidobadze. Experimental investigation flow structure and hydraulic resistance of a cylindrical duct with injection a fan slot jet // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2005. P. 159-167.
5. S.N. Kharlamov. Mathematical Modelling of Thermo- and Hydrodynamical Processes in Pipelines. Publ. House "Ionta", Rome, Italy, 2010.
6. Бубенчиков А.М., Харламов С.Н. Математические модели неоднородной анизотропной турбулентности во внутренних течениях. - Томск: Томский государственный университет, 2001. - 448с..
7. S. N. Kharlamov. Actual Problems of Hydrodynamics at Internal not Isothermal Flows in Fields of Mass Forces// Hydrodynamics: Theory and Model, Intech-Open, Rijeka, Croatia, 2012, pp. 183-223.
8. ГОСТ 17376-2001. Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Тройники. Конструкция.
9. ВСН 1-84. Тройники и тройниковые соединения сварные из стальных труб на Ру 5,5 и 7,5 МПа (55 и 75 кгс/см²).
10. J. Laufer. The structure of turbulence in fully developed pipe flow //NACA Report. – 1953. – No. TN 2954.

УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ВЯЗКИХ СРЕД В СЛОЖНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Р.А. Альгинов¹

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов²

¹ ООО «Газпром трансгаз Томск», г. Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В работе представлены результаты исследований процессов вихревых (турбулентно-ламинарных) переходов режима течения, анализируется вопрос возможности влияния на данные переходы для получения специфических свойств потока в соответствии с инженерными потребностями.

Изучение ламинаризации внутреннего турбулентного течения вследствие ускорения потока в конфузторных (сужающихся) секциях или подвода тепла к стенке, а также исследование закономерностей и характеристик обратного процесса – восстановления турбулентной структуры – при отключении внешнего воздействия представляет непреходящий научный и практический интерес. Данный интерес с одной стороны диктуется возможностью снижения потерь на трение при транспортировке газа и, как следствие, существенному уменьшению капитальных затрат на строительство трубопроводов за счет использования при перекачке меньших рабочих давлений. С другой стороны, ламинаризация потока сопровождается не только существенным снижением гидравлического сопротивления, но и значительно упрощает процессы измерения как основных, так и тонких характеристик потока, что, в свою очередь, может быть использовано для повышения точности работы измерного оборудования.

Целью данной работы стало комплексное физико-математическое моделирование эффектов ламинаризации газовых сред на основе $k-L$ модели турбулентности (где k и L – кинетическая энергия и поперечный масштаб турбулентности) [1] с опорой на результаты экспериментальных исследований [2-5]. По итогам исследования представлены выводы о возможности практической реализации данных методов в газотранспортной системе.

Преждевременный переход турбулентного течения в ламинарный режим общепринято считать связанным с ламинаризацией пограничного слоя, подвергшегося ускорению. Как в случае движения в

ускоряющих сечениях, так и при подводе тепла к стенке акселерация течения сопровождается заметным истончением вязкого подслоя и выпрямлением профиля скорости вне подслоя по сравнению с логарифмическим законом у стенки. Т.о. комбинированный эффект от увеличения вязкости и ускорения потока при подводе тепла может иметь следствием ламинаризацию профиля скорости. Действительно, при возрастании средней по сечению скорости u_m в осевом направлении напряжение трения τ у стенки приближенно определяется выражением:

$$\tau / \tau_w = 1 - (c_f / 2)^{-3/2} K y^+, \quad (1)$$

где $c_f = 2\tau_w / \rho u_m^2$ – коэффициент трения, $y^+ = y(\tau_w / \rho \nu)^{1/2}$ – безразмерная поперечная координата, $K = (\nu / u_m^2)(du_m/dx) = 2\beta / Re$ – параметр ускорения потока, Re – число Рейнольдса, β – тангенс угла наклона стенки ускоряющей секции к оси потока, w – значение величины на стенке.

Из выражения (1) следует, что определенным подбором параметров ускоряющей секции можно добиться существенного уменьшения напряжения трения в пристеночной зоне, определяющей производство турбулентности, и, тем самым, ламинаризации потока.

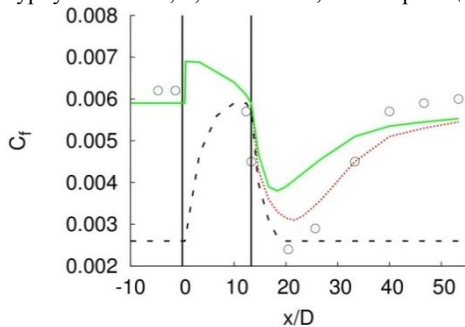


Рис. 1 Расчетный коэффициент трения в ускоряющей секции в сравнении с экспериментом. 1 – k - L модель, 2 – ПРН-модели, 3 – ламинарный режим.

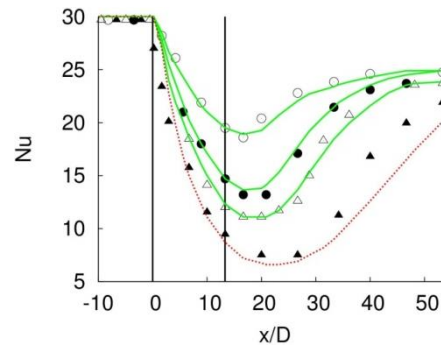


Рис. 2 Расчетные числа Нуссельта в ускоряющей секции в сопоставлении с экспериментальными данными. 1-3 – k - L модель, 4 – ПРН-модели.

Расчеты течений в конфузурных сечениях проводились в диапазоне $Re \leq 5 \cdot 10^4$ с уклоном секции $2.5 \cdot 10^{-3}$. Анализ деталей процесса позволяет заключить о существовании критического значения $Kc \approx 3,7 \cdot 10^{-6}$, при превышении которого по всей длине конфузурной секции наблюдается стремительное падение чисел Нуссельта Nu и безразмерного коэффициента трения c_f (рис. 1-2), что хорошо согласуется с [2]. Косвенно данный эффект свидетельствует о ламинаризации течения. Существование последней окончательно подтверждается при расчете k – наблюдается смещение максимума кинетической энергии турбулентности от стенки канала и его уменьшение по величине при движении по оси канала в направлении сужения.

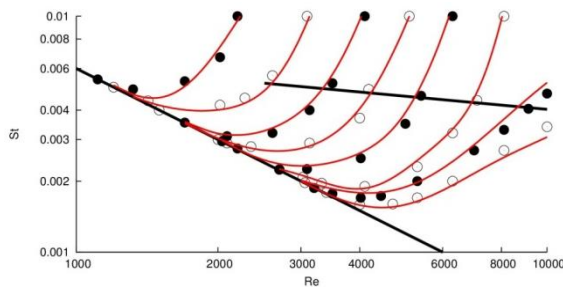


Рис. 6. Критерий Стэнтона в зависимости от числа Рейнольдса при докритическом тепловом потоке.

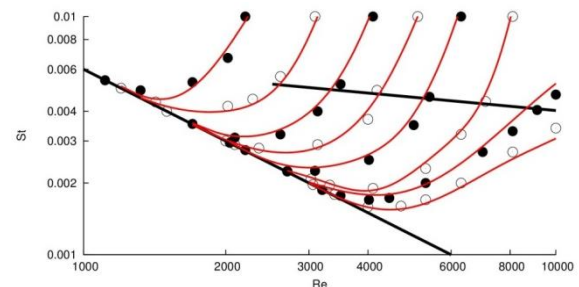


Рис. 7. Критерий Стэнтона в зависимости от числа Рейнольдса при сверхкритическом тепловом потоке.

Интересным с точки зрения приложения в технику выступает также анализ теплообмена при ламинаризации, возникающей в результате интенсивного обогрева стенок трубопровода газообразных сред. Пионерными в этой области считаются публикации Бэнксона [3,4], однако данная проблематика актуальна и по сей день [5]. На рис. 3, 4 представлено поведение числа Стэнтона (отношения чисел Нуссельта и Пекле $St = Nu/Pe$), в зависимости от числа Рейнольдса Re . Приведенные данные свидетельствуют о существовании критического значения теплового потока $q^+ = q / (\rho \cdot u_m \cdot c_p \cdot T)$: при меньших значениях теплового потока наблюдается ламинаризация низкорейнольдсовых течений за счет изменения их вязкости; при достижении же критического значения происходит резкое изменение режимов у всех исследуемых течений, сопровождающееся выходом динамических и тепловых характеристик на ламинарный режим. Исследование закономерностей течения и теплообмена указало критическое значение приведенного теплового потока $q^+ \approx 0,004$.

Т.о. можно сделать вывод, что существование эффекта ламинаризации для газовых потоков является доказанным и его практическая реализация также представляется возможной. Действительно, возникающие углы

наклона конфузорной секции являются малыми, так что могут быть реализованы на практике; тепловые потоки также являются доступными к практической реализации. Полученные результаты уже могут быть рекомендованы к приложению в практику для использования перед установками и узлами, чувствительными к пульсациям и анизотропии потока, как то ультразвуковые расходомеры.

Литература

1. Бубенчиков А.М., Харламов С.Н. Математические модели неоднородной анизотропной турбулентности во внутренних течениях. – Томск: Томский государственный университет, 2001. – 448с.
2. Х. Танака, Х. Кавамура, А. Татено, С. Хатамия. Влияние ламинаризации потока и его последующей турбулизации на теплообмен в случае течения при малых числах Рейнольдса в канале, состоящем из конфузорной секции и следующей за ней секции с постоянным поперечным сечением// Труды американского общества инженеров-механиков «Теплопередача». – М., 1982. – №2 – С.144-153.
3. С.А. Bankston. The transition from turbulent to laminar gas flow in a heated pipe// Journal of Heat Transfer. – 1970. – P. 569-579.
4. Bankston C.A., Sibbit W.L., Skoglund V.J. Stability of gas flow distribution among parallel heated channels// AIAA paper. – 1966. - 66–589.
5. H. Koizumi. Laminar-turbulent transition behavior of fully developed air flow in a heated horizontal tube//International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2002. – P. 937-949.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ РЕЗЕРВУАРОВ МАРКИ РВС

Л.Б. Антропова, А.Д. Русанова, А.В. Грузин

Научный руководитель доцент А.В. Грузин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

В настоящее время при устройстве оснований объектов транспорта и хранения нефти и продуктов её переработки зачастую используются устаревшие технологии, не отвечающие современным требованиям строительного производства, и недостаточно адаптированные к сложным климатическим, геокриологическим и сейсмическим условиям. Такие технологии требуют развитой транспортной инфраструктуры, которая позволила бы оперативно поставлять в требуемых количествах и заданного качества грунты для устройства оснований. Кроме того, они оказывают негативное влияние на экологию, увеличивают материальные и временные затраты при их реализации [6].



Рис.1 Подготовительный этап исследований – приготовление песчаного грунта

С целью поиска новых подходов к разработке новых и модернизации существующих технологий устройства оснований на базе организованной в Омском государственном техническом университете студенческой научно-исследовательской лаборатории «Основания и фундаменты объектов нефтегазовой отрасли» проводятся комплексные исследования (рис. 1) [2-3]. Основной их целью является уточнение интегрального влияния влажности и гранулометрического состава песчаного грунта средней крупности на его механические свойства (рис. 2), а так же разработка прогрессивной технологии подготовки рационального состава грунта и его последующего уплотнения. Предполагается, что решение данной комплексной задачи будет способствовать снижению издержек при устройстве оснований вновь возводимых и реконструируемых резервуаров марки РВС.

Основная идея разрабатываемой технологии подготовки рационального состава грунтов оснований резервуаров марки РВС заключается в том, что первоначально имеющийся в наличии песчаный грунт с помощью сит разделяется на фракции. Далее, на основе данных о строительных свойствах каждой фракции, определяется доля содержания каждой фракции во вновь формируемом грунте. Рассчитанное количество каждой из фракций затем смешивают в миксере и получают вновь сформированный грунт с требуемыми строительными свойствами.

Анализ ранее выполненных исследований [1,4,5], а так же данных лабораторных испытаний грунтов оснований позволил сделать предварительные выводы о перспективности разрабатываемой технологии.