

## О МЕХАНИЗМАХ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В СОЧЛЕНЕНИЯХ ТРУБОПРОВОДА

Р.А. Альгинов<sup>1</sup>Научный руководитель профессор С.Н. Харламов<sup>2</sup><sup>1</sup> ООО «Газпром трансгаз Томск», г. Томск, Россия<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящий момент нахождение потерь напора в сочленениях трубопроводов (отводах, тройниках, переходах) типовой геометрии не представляет сложностей и возможно, с достаточно высокой точностью, по специальным справочникам [1,2]. В то же время вопрос гидродинамических процессов, реализующихся в деталях трубопроводов, до настоящего времени представляет значительный интерес. Проведенный литературный обзор [3] показал, что в таких трубопроводных узлах как отводы (колена) и переходы (конфузоры и диффузоры) имеется качественное представление о структуре течения в диапазоне практически значимых режимов течения. Что касается тройников, при том, что слияние потока, неизотермическое инжектирование струй в поток является областью постоянного интереса [4], вопрос разделения потока является недостаточно изученным [3].

В данной работе было проведено детальное физико-математическое моделирование сложных сдвиговых разделяющихся течений в тройниках. Исследования нелинейных трехмерных гидродинамических процессов выполнено в рамках полуэмпирической теории турбулентности с привлечением осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса. Прогнозирование турбулентной структуры течения выполнено с привлечением статистических моделей турбулентности второго порядка, включая модели турбулентности типов k- $\epsilon$ , k-L (где k – кинетическая энергия турбулентности,  $\epsilon$  – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности, L – интегральный масштаб энергосодержащих вихрей). Отметим, что данный метод позволяет эффективно предсказывать процессы переноса импульса в условиях мало- и среднеинтенсивных пульсаций компонент вектора скорости, и, тем самым, адекватен в задачах сложных сдвиговых течений, имеющих место в трубопроводном транспорте [5-7].

Расчеты проводились для тройников по [8,9] различной геометрии: диаметр основной линии (магистральной) принимался 50 ÷ 800 мм, диаметр бокового патрубка варьировался в диапазоне 0,25 ÷ 1,00 от основной линии, величина скругления шейки тройника (данный параметр не учитывался в [1,2]) принималась от 0 до 20% от диаметра бокового патрубка. Условия на выходе из основной линии и бокового патрубка принимались идентичными по протяженностям основной линии после тройника и бокового патрубка (выраженным в диаметрах основной линии и патрубка), соответствующими развитому течению ("мягкие условия" на выходной границе).

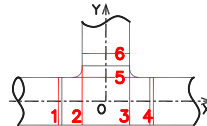
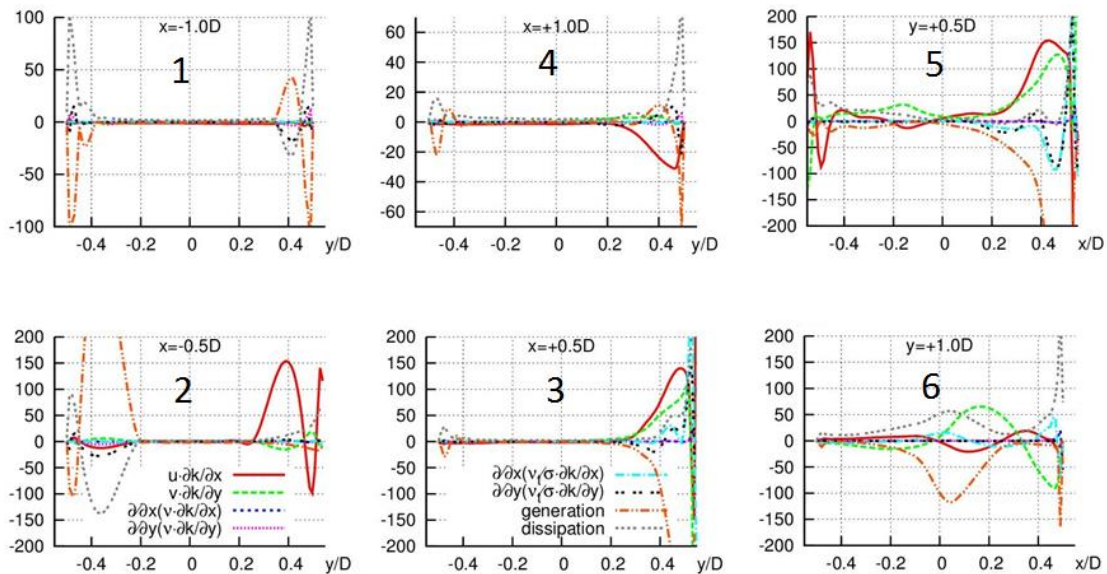


Рис. 1 Геометрия тройника.

Рис. 2 Распределение механизмов изменения кинетической энергии турбулентности в безразмерной форме ( $u^3/l^3$ ) в отдельных сечениях тройника.

Особенности физико-математического моделирования процесса разделения потока, а также его интегральные и пульсационные параметры представлены в [3]. В продолжение исследования [3] в данной работе

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/см<sup>2</sup>).
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. Альгинов<sup>1</sup>

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Газпром трансгаз Томск», г. Томск, Россия

<sup>2</sup> 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 конфузорных (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