

Возрастание скорости поступления жидкости в емкость графически представлено на рисунке 2, из которого видно, что скорость жидкости, поступающей в емкость, возрастает с уменьшением её массы в трубопроводе.

Причем скорость остаточной жидкости (хвоста) увеличивается в 4÷ 4,8 раза от начальной величины скорости жидкости в газопроводе. На долю “хвостовой” части жидкости приходится 5÷ 20 % от общего объема.

Динамический напор головной части жидкостной массы, поступающей из газопровода в емкость, рассчитывается по известной формуле:  $P_{LH} = 0,5 \cdot \rho_L \cdot W_{L1}^2$ ;

где  $W_{L1}$  – начальная скорость поступления жидкости в емкость (м/с):  $W_{L1} = 0,95 \cdot W_{G1}$  ;

Скорость движения транспортируемого газа (м/с) равна:  $W_{G1} = \frac{G \cdot \rho_{G1}}{0,785 \cdot D_1^2}$  ;

где  $G$  – массовый расход транспортируемого газа, кг/с;  $D_1$  – диаметр трубопровода, по которому транспортируют

газ, м;  $\rho_{G1}$  – плотность газа в трубопроводе, кг/м<sup>3</sup>:  $\rho_{G1} = \frac{m \cdot P_1}{8314 \cdot T_1 \cdot z}$  ;  $P_1$  – давление газа в трубопроводе, Па;

$T_1$  – температура газа на входе в насадки, К;  $z$  – фактор сжимаемости.

Из графика на рисунке 2 максимальная скорость хвостовой части жидкости равна  $W_{Lmax} = 4,8 W_L = 4,56 W_{G1}$  ;

Максимальный гидродинамический напор, выраженный через скорость транспортируемого газа по трубопроводу  $W_{G1}$ :  $P_{Lmax} = 0,5 \cdot \rho_L \cdot (4,56 \cdot W_{G1})^2$  . Величина максимума гидродинамического напора при скоростях транспортируемого газа  $W_{G1} = 20$  м/с составляет 4,2 · 10<sup>6</sup> Па (4,2 МПа); при  $W_{G1} = 50$  м/с она равна 2,6 · 10<sup>7</sup> Па.

Таким образом, с применением методов подобия возможно построить математические модели процессов, которые наиболее применяются в качестве основы сложных технологических процессов и аппаратов.

### Литература

1. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: Учебное пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2014. – 360 с.
2. Харламов С.Н. Математическое моделирование в задачах нефтегазовой отрасли. Конспект лекции, 2015.
3. Запорожец Е.П. , Зазарченко Е.И. Математическое моделирование регулярных сбора, подготовки и переработки нефтяных и природных газов: учебное пособие для студентов.- Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2012. – 142с.

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ТРУБОПРОВОДЕ С КОНФУЗОРНОЙ СЕКЦИЕЙ

Д.С. Фатьянов

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Представлены результаты математического моделирования процессов в трубопроводах с конфузорными секциями с различными углами наклона конфузора в условиях устойчивого турбулентного течения газообразных углеводородных сред.

Изучение процессов, происходящих при течении газа в трубопроводах сложной конфигурации представляет собой определенный научный и практический интерес. Так, в 2014 году специалистами ОАО «Гипрогаз-центр» был проведен натурный эксперимент [1], в ходе которого было выяснено, что имеют место процессы аномального разогрева тупиковых ответвлений на крановых узлах в процессе заполнения участков магистрального газопровода. Произведено экспериментальное выявление режимов перепуска газа, в которых возникает аномальный разогрев тупиковых ответвлений на крановых узлах. Разогрев газа в отводе происходил при наличии конического (конфузорного) перехода в тупиковом ответвлении. Специалисты пришли к выводу, что причиной этого эффекта, предположительно, являются нестационарные колебания газа в байпасе и тупиковом ответвлении.

Однако в работе [1] так же показано, что в случае использования прямой врезки, аномальный разогрев тупикового ответвления не происходит. Поэтому можно сделать предположение, что одной из причин аномального разогрева являются эффекты прямой и обратной турбулизации потока и, соответственно, перехода части турбулентной энергии в тепловую энергию газа. Так, например, известно [2, 3], что при определенной конфигурации конфузора, на некотором расстоянии после него происходит ламинаризация потока, а следовательно, можно говорить о диссипации некоторой части турбулентной энергии.

В настоящей работе планируется провести анализ термодинамических характеристик течения газа в трубопроводе при наличии конфузорной секции, а так же исследовать влияние геометрии конфузора на эти характеристики для дальнейшей оценки влияния их изменения на вклад в тепловые процессы.

Расчеты производились в программном пакете Ansys Fluent с использованием  $k$ - $\epsilon$  модели турбулентности (где  $k$  и  $\epsilon$  – кинетическая энергия и диссипация энергии турбулентности соответственно). Исследовались конфигурации труб с диаметром входной секции 0,2 м, длиной конфузорной секции 1 м и различной величиной диаметров выходной секции от 0,18 до 0,02 м в зависимости от тангенса угла наклона конфузорной секции  $\beta$  (от 0,01 до 0,09 соответственно). Входная температура газа была принята равной 273 К, температура стенки 350 К,

внутреннее давление в трубопроводе 101325 Па, критерий Рейнольдса  $Re$  во всех случаях принят равным  $5 \cdot 10^4$ . Модель трубопровода представлена на рисунке 1.

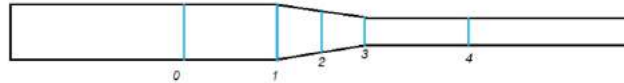


Рис. 1. Участок трубопровода с конфузорной секцией. 0, 1, 2, 3, 4 – исследуемые сечения

В ходе расчетов выяснено, что максимальное значение диссипация турбулентной энергии  $\epsilon$  принимает вблизи стенки в месте окончания конфузорной секции и далее уменьшается незначительно (рис. 2). Максимальное значение диссипации значительно возрастает при увеличении  $\beta$ .

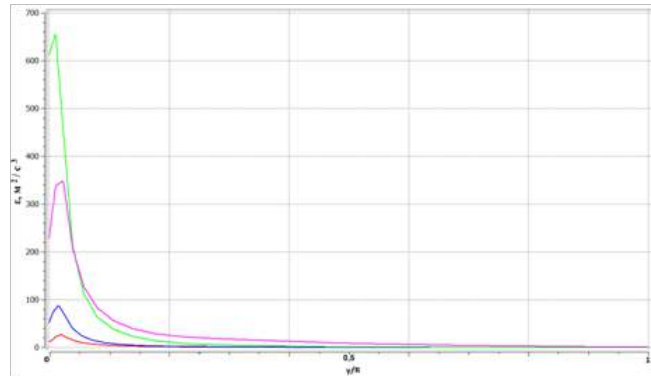


Рис. 2. Распределение диссипации турбулентной энергии по сечениям. Красный – сечение 1, синий – сечение 2, зеленый – сечение 3, розовый – сечение 4 (см. рис. 1)

Профиль осевой скорости при заданных условиях становится приближенным к профилю скорости ламинарного течения на расстоянии 0,5 – 2,5 м от конца конической секции в случае, когда тангенс угла наклона конфузора  $\beta$  равен 0,07 – 0,09. До этих значений ( $\beta = 0,01 \div 0,06$ ) профиль скорости после конфузора остается характерным для турбулентных течений. Также можно заметить, что наблюдается значительное увеличение скорости радиальной во время прохождения газа через конфузор.

Исследуя значения характерного размера турбулентности  $L$ , можно отметить резкое увеличение этого параметра внутри конфузора и возвращение его отношения к радиусу трубопровода в исследуемом сечении после конфузорной секции к значениям, эквивалентным к тем, которые были получены в сечении до секции (рис. 3).

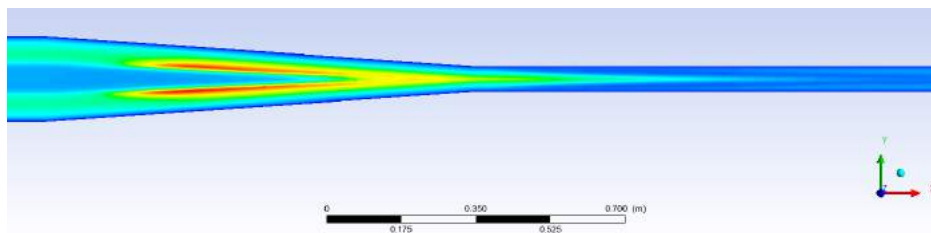


Рис. 3. Распределение масштаба турбулентности

Переходя к анализу тепловых характеристик течения следует отметить распределение значений потока тепла (как в осевом направлении, так и в радиальном). Интересным в данном случае представляется тот факт, что после прохождения конфузорной секции значения радиального переноса  $v' \theta'$  возрастают, и такая картина сохраняется на значительном расстоянии после конфузора (рис. 4).

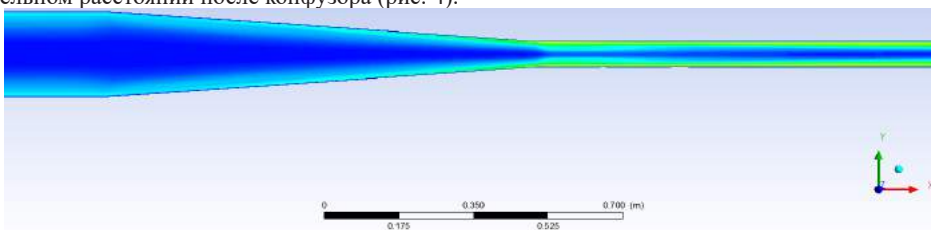


Рис. 4. Распределение радиального переноса тепла

На рисунке 5 приводится распределение потока теплоты  $Q^+$  по сечениям трубопровода 0 – 4 (смотри рисунок 1). Смещение экстремума в сечении 4 к оси трубопровода при  $\beta = 0,07 \div 0,09$  является одним из признаков ламинаризации потока.

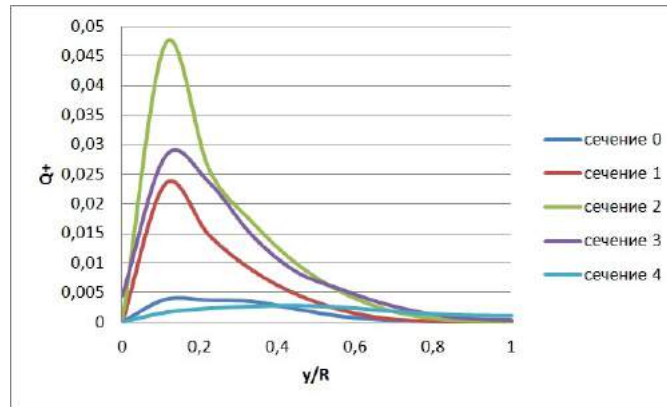


Рис. 5. Распределение потока теплоты при  $\beta = 0,07 \div 0,09$

Представленные результаты математического моделирования течения газа в дальнейшем планируется использовать с целью оценки вклада различных процессов в тепловые эффекты, происходящие в трубопроводах различных сложных геометрий.

#### Литература

1. Агиней Р.В., Парфенов Д.В. Экспериментальные исследования нагрева тупиковых ответвлений крановых узлов при заполнении газом магистрального газопровода «Сахалин–Хабаровск–Владивосток»// Трубопроводный транспорт. Теория и практика. 2014. №3. Стр. 50-53
2. Танака Х., Кавамура Х., Татено А., Хатамия С. Влияние ламинаризации потока и его последующей турбулизации на теплообмен в случае течения при малых числах Рейнольдса в канале, состоящем из конфузурной секции и сл,евающей за ней секции с постоянным поперечным сечением// Труды американского общества инженеров-механиков «Теплопередача». – М., 1982. – №2 – С.144-153.
3. Харламов С. Н., Альгинов Р. А. Ламинаризация газовых потоков в трубопроводах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № ОВЗ. – С. 483-495.

## ПРИМЕНЕНИЯ ЦИКЛОННЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

А.С. Финаев

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Все продукция, поступающая из нефтяных и газовых скважин, содержит в себе вместе с нефтью, попутный нефтяной газ, пластовую воду, твердые частицы механических примесей. Исходя из этого целесообразно газ перед подачей в магистральный газопровод как технически, так и экономически подвергать специальной подготовке: очистке от механических примесей, тяжелых углеводородов, паров воды, сероводорода и углекислого газа. В данной работе рассмотрены пылеуловители циклонные для очистки газа от механических примесей.

Циклон — используемый в промышленности механизм очищающий газ или жидкость от механических примесей в виде взвешенных частиц. В основе инерционного принципа очистки, применяемого циклонами, лежит использование центробежной силы, а также применяется гравитационный принцип. Циклонные пылеуловители наиболее распространены среди всех видов пылеулавливающей аппаратуры составляют более 90 % и применяются во всех отраслях промышленности.

Особенности конструкции циклона

Циклоны находят широкое применение в различных технологических процессах.

Для разделения дисперсной системы газ- твердое тело в необходимой степени, поступающему в циклонную камеру потоку, требуется придать значительную скорость.

Кроме того, использование циклонов в качестве разделительных устройств целесообразно также и для дисперсных систем жидкость-жидкость и жидкость-твердое тело.

Состав смесей может быть представлен в виде нестабильной эмульсии, а также может состоять из жидкости и газа. В тех случаях, когда среда представляет собой жидкость либо газ происходит отделение твердых частиц от среды.