



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЁТА ЭЛЕМЕНТАРНОГО УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ РЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ И РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Мамадалиев Х.А., Ачилова Ш.О.

*ТУИТ имени Мухамада ал-Хоразмий, Ташкент,
Республиканская специализированная художественная школа имени
Бенькова*

x.mamadaliyev@tuit.uz, shoiraoltiboyevna90@gmail.com

Практические задачи трубопроводного транспорта требуют расчёта как стационарных, так и нестационарных режимов при самых разных условиях на концах участка. В прошлом веке основные задачи формулировались и решались при заданных давлении и скорости потока на входе и выходе. Однако реальные объекты приводят к более сложным условиям, в которых одновременно участвуют давление и расход (объёмный или массовый): так задаются характеристики насосов и компрессоров, а также режимы работы углеводородных месторождений. Отдельный класс составляют условия, описывающие гасители колебаний давления – демпферы, в том числе воздушные колпаки. Ранее многие из таких условий рассматривались лишь для несжимаемой жидкости. В работе они обобщены на случай реальной сжимаемой жидкости.

Ключевые слова: *программный комплекс, трубопровод, граничные условия, воздушный колпак, реальный газ, сжимаемая жидкость, метод Ньютона.*

Разработан программный комплекс для исследования стационарного и нестационарного состояния реальной жидкости в рельефном трубопроводе при различных комбинациях граничных условий по



давлению, скорости, массовому расходу и воздушному колпаку. В основе комплекса лежат квазиодномерные уравнения сохранения импульса и массы в безразмерном виде, преобразованные к уравнениям для аналогов встречно бегущих волн, а нелинейные граничные условия реализуются методом Ньютона.

Комплекс сохраняет значения скорости, массового расхода и давления по времени и длине участка для последующего графического представления. Для анализа динамики процессов в нём определяются и записываются наибольшие и наименьшие значения этих величин во временных сечениях, что важно при оценке экстремальных нагрузок на трубопровод. Граничные условия реализованы по принципу переключателя, причём допускаются как обычные, так и составные (изменяющиеся по времени) условия. Комплекс обладает устойчивой сходимостью и высокой точностью расчёта как при плавных, так и при скачкообразных изменениях граничных условий.

В комплексе предусмотрены следующие варианты граничных условий на входе. Первый – заданный закон изменения скорости потока во времени; его версией является задание объёмного расхода. В безразмерных переменных значения аналогов волн и плотности на границе вычисляются по явным формулам с использованием уже известного значения встречной волны. Второй – заданный закон изменения давления: из безразмерного уравнения состояния определяется плотность, а затем скорость и значения волн на границе. Условия по входному и выходному массовым расходам, приводящие к нелинейным уравнениям, решаются методом Ньютона с использованием верхней релаксации.

Наиболее сложным является условие на входе, моделирующее установку воздушного колпака. Здесь требуется задать массовый расход к входу сети и определить расход к входу элементарного участка; их



разность отражает интенсивность массообмена между демпфером и сетью. При построении модели приняты следующие допущения: общий объём колпака постоянен; масса воздуха остаётся неизменной, то есть испарение воды и растворение воздуха в воде не учитываются; давления газа и жидкости в колпаке и в сечении трубопровода с демпфером одинаковы, так как расстояние между ними мало, а скорость волны давления велика.

Свойства воздуха описываются уравнением состояния реального газа с коэффициентом сжимаемости, характеризующим отклонение от совершенного газа. По экспериментальным данным, в диапазоне давлений 1–500 бар для него допустимо использовать упрощённое значение с расхождением не более одного процента. Из постоянства массы воздуха и общего объёма получена связь между плотностью газа, давлением и объёмом воздушной полости, а из неё – скорость изменения объёма воздуха во времени. Подстановка в баланс массовых расходов приводит к нелинейному граничному условию относительно плотности и скорости на входе в линейный участок трубопровода, которое также решается методом Ньютона.

Разработанный комплекс обеспечивает единый инструментарий для расчёта широкого круга задач: от режимов работы насосных и компрессорных установок до анализа эффективности воздушных колпаков при гидравлических ударах. Дальнейшее развитие связано с расширением набора граничных условий и применением комплекса к расчёту реальных трубопроводных систем.