

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО Газпром 2-2.3-112-2007. Методические указания по оценке работоспособности участков магистральных газопроводов с коррозионными дефектами. – М.: ИРЦ Газпром, 2007. – 62 с.
2. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП Минстрой РФ, 1998. – 60 с.
3. Длин, А.М. Математическая статистика в технике / А.М. Длин. – М.: Совет. наука, 1958. – 460 с.
4. База данных информационной системы оценки технического состояния объектов ЕСГ «Инфотех» ОАО «Оргэнергогаз». <https://www.oeg.gazprom.ru>

УДК 519.857.6:004.413.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ УТЕЧЕК НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CFD МОДЕЛИ

**А. М. Сверчков¹, А. А. Агапов¹, А. С. Софьин¹,
С. И. Сумской², А. Ф. Егоров³**

*¹ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем
промышленной безопасности», Москва, Россия*

*²ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ», Москва, Россия*

*³ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия*

При анализе и оценке последствий аварий на МН необходимо достаточно точно описывать движение среды внутри самого МН, поскольку именно моделирование течения нефти — основа для определения скорости, а следовательно, и объема выброса в случае его аварийной разгерметизации.

В закрытом акционерном обществе «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» на протяжении нескольких лет разрабатывается программное средство ТОХИ+Гидроудар, позволяющее проводить моделирование нестационарных переходных процессов и аварийных ситуаций на МН с использованием метода С.К. Годунова. Для решения основных уравнений гидродинамики (1) – (3) потока в программном модуле используется метод конечных разностей, относящихся к подразделу механики сплошных сред – вычислительной гидродинамике (англ. Computational fluid dynamics, CFD).

В изотермическом приближении движение жидкости в трубе описывается системой следующих уравнений:

- неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial x}, \quad (1)$$

- сохранения импульса

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} - \lambda(Re) \frac{\rho u |u|}{2d} - \rho g \beta, \quad (2)$$

- связи давления и плотности (уравнение состояния)

$$p - p_0 = c^2(\rho - \rho_0), \quad (3)$$

где ρ, p, u – осредненные по сечению плотность, давление и скорость движения нефти; t – время; x – расстояние от начала МН; $\lambda(Re)$ – коэффициент трения, зависящий от числа Рейнольдса Re ; g – ускорение силы тяжести; β – синус угла наклона трассы, который определяется по высотным отметкам МН $h(x)$; ρ_0 – плотность нефти при давлении p_0 , равном 0,1 МПа.

При реализации численной модели трубопровода учитываются реальные характеристики действующего на МН оборудования (линейные участки трубопровода, насосы, задвижки). Для определения коэффициента трения была использована зависимость Коулбрука – Уайта, связывающая его с числом Рейнольдса и характеристиками трубопровода.

В рассматриваемой модели учтены следующие факторы:

- конвективное движение;
- появление и циркуляция волн при разгерметизации МН, остановке (пуске) насосов, закрытии задвижек;
- наличие трения о стенки трубопровода;
- действие на поток силы тяжести при прохождении трассы нефтепровода по местности со сложным рельефом.

Исходными данными для задания численной модели линейной части трубопровода являются: длина, диаметр, толщина и плотность материала стенки, модуль упругости, давление в начале и конце трубопровода, абсолютная шероховатость и количество ячеек разностной сетки. Также исходными данными являются граничные условия в начале и конце трубопровода. В программном модуле предусмотрена возможность задания любого количества последовательных линейных участков. Их соединение осуществляется путем выбора одних и тех же граничных условий в конце $n - 1$ и в начале n -го линейного участка. Рельеф каждого участка задается неограниченным количеством пар данных: расстояние от начала и высота.

Также есть две группы общих исходных данных: свойства вещества и параметры моделирования.

В программном модуле предусмотрена возможность задания датчиков, эмулирующих измерение давления, плотности или скорости потока в любой точке трубопровода; запорной арматуры (задвижки, краны).

Также реализован расчет массы вещества, вытекающего в результате разгерметизации трубопровода, исходными данными для которого являются время начала и локализации аварии, а также размеры отверстий и расстояние от начала трубопроводной системы до точки разгерметизации.

Таким образом, программный модуль ТОХИ+Гидроудар позволяет:

- проводить гидравлические расчеты, численное моделирование переходных процессов и аварийных ситуаций в трубопроводных системах различной конфигурации, т.е. различных геометрических характеристик (диаметра, длины) линейной части трубопровода, а также места расположения, условий стыковки и гидравлических характеристик точечных элементов (задвижек, насосов, местных сопротивлений и т.д.);

- рассчитывать массу выбросов транспортируемого вещества при различных сценариях аварий;

- проводить анализ возможности гидроудара, в частности отображать результаты моделирования как в графическом виде, что позволяет наглядно увидеть процесс резкого повышения (падения) давления, так и в табличном виде (экспорт данных в MS Excel).

УДК 621.515

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБВЯЗОК НАГНЕТАТЕЛЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В. А. Бикбов, Д. А. Годовский

*ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», Уфа, Россия*

Среди множества проблем, стоящих перед магистральным транспортом природного газа, без преувеличения можно назвать проблему вибрации в обвязке нагнетателей природного газа. Существующие технические решения не дают в полной мере ответов на вопросы влияния конфигурации обвязки центробежных компрессоров природного газа на величину вибрации и техническое состояние ГПА.