

УДК 622.691.12

Гидродинамические основы расчета движения двухфазных систем в сложных трубопроводах

Р.Х. Аскеров, к.т.н.¹, Р.Ш. Салаватова, к.т.н.²

¹Азербайджанская государственная морская академия,

²НИПИнефтегаз

Электронный адрес: r_askerov_57@mail.ru

На основе законов гидромеханики однородной жидкости и газа предложена новая модель движения двухфазной системы типа жидкость – газ в горизонтальных трубах и получены основные расчетные формулы для сложных трубопроводов. Данный метод дает возможность определить основные параметры сложных трубопроводов, с учетом физических свойств двухфазных систем.

Получено также уравнение движения двухфазной системы в простом и сложном трубопроводах, что позволяет рекомендовать использование данной методики в промышленной практике.

Ключевые слова: касательное напряжение сдвига, сложный трубопровод, параллельное соединение, диаметр, объемный расход жидкости и газа.

Нефтяные месторождения в мире находятся в различных климатических зонах, скважины имеют различные глубины и физико-химические свойства нефти, газа и воды, что является основанием для индивидуального подхода при разработке проектов их обустройства. Практика показывает, что система сбора и транспортирования нефти, газа и воды является отдельной разветвленной сетью трубопроводов, проложенных по территориям месторождений. Это подземные, надземные, подводные и надводные трубопроводы. С учетом условий разработки нефтяного месторождения для разных пластов сети трубопроводов бывают различными. Так, для месторождений России общая длина всех трубопроводов, проложенных под землей, превышает более 30 тыс. км. Геометрические размеры таких трубопроводов колеблются в широких пределах от 0.1 до 1.02 м.

В основном трубопроводы малого диаметра (выкидные линии), прокладывают от устья скважины до групповых замерных установок.

По трубопроводам большого диаметра транспортируется пресная вода с целью заводнения нефтяного пласта для поддержания в них пластового давления, увеличивающего коэффициент нефтеотдачи.

Результаты анализа показывают, что все трубопроводы, транспортирующие однофазные (нефть, газ, пресная или пластовая вода), двухфазные (нефть и газ) или многофазные (нефть, газ и вода) системы проверяются на пропускную способность, т.е. на гидравлическое сопротивление, а также на механическую прочность.

Практика показывает, что для всей работы по сбору, транспортированию и подготовке нефти, газа и воды в комплексном проекте разработки месторождения предусматривается размещение основных нефтепромысловых объектов и коммуникаций, на сооружение которых расходуется около 50 % капиталовложений, выделяемых нефтедобывающей промышленности [1–3].

Известно, что трубопроводы, транспорти-

рующие продукцию скважин на территории нефтяных месторождений, подразделяются на следующие категории: по назначению – нефтепроводы, газопроводы, нефтегазопроводы; по характеру движения – с совместным движением нефти, газа и воды и с разделным движением обводненной и необводненной нефти; по характеру напоров – напорные и безнапорные; по способу прокладки – подземные, надземные, подводные и подвесные; по функции – выкидные линии, сборные и товарные коллекторы; по гидравлической схеме работы – простые без ответвлений, сложные – с ответвлениями, к которым относятся параллельные, кольцевые и замкнутые трубопроводы.

Для данных трубопроводов, предусмотренных в комплексном проекте, требуется проведение гидродинамических расчетов. В основном сборные коллекторы, транспортирующие газожидкостные смеси типа нефть и газ, должны проектироваться и рассчитываться с учетом темпа бурения эксплуатационных скважин, а также климатических условий данного месторождения.

Многочисленные гидравлические расчеты показывают, что темпы ввода скважины в эксплуатацию влияют на выбор рациональных диаметров сборных коллекторов. Так, при низких темпах ввода в эксплуатацию скважин с небольшим дебитом в морских условиях должны проектироваться как два сборных коллектора, равных по площади сечения одному большому, рассчитанному на максимальную производительность всех эксплуатируемых скважин.

При высоких темпах эксплуатации скважин можно проектировать и строить одну общую систему, т.е. один сборный коллектор, рассчитанный на максимальную производительность всех подключенных скважин. При построении сложной системы трубопроводов, транспортирующих как однофазные, так и двухфазные системы, прежде всего, необходимо учитывать расположение скважин на месторождении, их начальные и конечные дебиты, а также физико-химические свойства углеводородов, добываемых из различных продуктивных горизонтов. Учет расположения скважин на нефтяном месторождении, глубины моря, рельефа морского дна и климата дает возможность выбора рациональных трасс всех трубопроводов.

В основном, гидравлические расчеты выполняются для простых и сложных трубопроводов, транспортирующих как однофазную, так и многофазную системы.

Гидравлический расчет простого трубопровода сводится к определению его пропускной способности, необходимого начального напора и диаметра трубопровода. Сложные трубопроводы могут быть различного диаметра по длине и отводу.

При гидравлическом расчете сложных трубопроводов практический интерес представляют четыре случая, которые часто встречаются в промысловых условиях.

1. Раздаточный коллектор с постоянным диаметром для равномерного и неравномерного отбора углеводородов.

2. Сборный коллектор, имеющий постоянный или разный диаметр для равномерно или неравномерно поступающих флюидов.

3. Общий сборный коллектор, образующий параллельные трубопроводы (люпинги).

4. Общий сборный коллектор, имеющий форму кольца.

В данной работе на основе гидравлических законов однородной жидкости и газа предложена модель движения двухфазной смеси в трубопроводе и получены основные расчетные формулы для сложных трубопроводов. Известно, что совместный транспорт двухфазных углеводородных систем по трубопроводам распространен в нефтяной и газовой промышленности. Сложность гидродинамических процессов, происходящих при движении нефтегазовой системы, отличающихся от расчетов при однофазном потоке, является причиной того, что эта проблема на сегодняшний день не нашла своего удовлетворительного решения.

Обработывая результаты многочисленных теоретических и лабораторно-экспериментальных работ классиков по гидравлике многофазных систем А.И. Гужова, А.А. Арманда, С.И. Костерина, С.С. Кутателадзе, В.А. Мамаева, К.Дж. Хогендорна, Г. Уоллиси и др. в пределах следующих параметров: Фруд газа $Fr_g = 0.15 + 3246$, Фруд жидкости $Fr_{ж} = 0.0005 + 134.12$; Рейнольдс газа $Re_g = 211 + 67500$, Рейнольдс жидкости $Re_{ж} = 404 + 18886$ и при диаметре трубы $D = 0.02 + 0.05$ м для различных жидкостей была

получена зависимость

$$\tau_c = \tau_x + \tau_r + k\sqrt{\tau_x \tau_r}, \quad (1)$$

где τ_c – касательное напряжение при движении двухфазной системы; τ_x , τ_r – соответственно касательные напряжения жидкости и газа; k – экспериментальный параметр.

Лабораторный анализ показывает, что данный экспериментальный параметр зависит от соотношений плотностей жидкости и газа.

Для водо-воздушной системы $k = \sqrt{\frac{\rho_x}{\rho_r}} = 26$,

для других жидкостей – $k = \sqrt{\frac{\rho_x}{\rho_r}} = 26 \div 33$ в

зависимости от физико-химических свойств жидкости и газа. Полное исследование данной модели дано в работе [3].

$$\Delta p_c = \Delta p_x + \Delta p_r + k\sqrt{\Delta p_x \Delta p_r}, \quad (2)$$

где Δp_c – потеря напора на трение при движении двухфазной системы; Δp_x , Δp_r – соответственно потери на трение при движении однородной жидкости и газа.

Учитывая отдельные параметры для жидкости и газа, соответственно, получаем:

$$\frac{\Delta p_c}{L} = \lambda_x \frac{v_x^2}{2D} \rho_x + \lambda_r \frac{v_r^2}{2D} \rho_r + k\sqrt{\lambda_x \frac{v_x^2}{2D} \rho_x \lambda_r \frac{v_r^2}{2D} \rho_r}, \quad (3)$$

где λ_x , λ_r – соответственно коэффициенты гидравлического сопротивления для однородной жидкости и газа; v_x , v_r – соответственно приведенная скорость жидкости и газа; ρ_x , ρ_r – соответственно плотности жидкости и газа; L – длина трубопровода; D – внутренний диаметр трубы.

При расчете гидродинамики трубопроводов часто применяется формула Шеши. Примем данное уравнение для однородной жидкости и газа

$$\lambda_x = \frac{8g}{c_x^2} \quad \text{и} \quad \lambda_r = \frac{8g}{c_r^2},$$

где c_x , c_r – коэффициент Шеши соответственно для жидкости и газа; g – ускорение свободного падения.

После несложных преобразований, получим

$$\frac{\Delta p_c}{\rho_x g} \frac{D}{4L} = \frac{v_x^2}{c_x^2} + \frac{v_r^2}{c_r^2} \frac{\rho_r}{\rho_x} + k\sqrt{\frac{v_x^2 v_r^2 \rho_r}{c_x^2 c_r^2 \rho_x}}. \quad (4)$$

Введем в данное уравнение объемно-расходное газосодержание:

$$\beta = \frac{v_r}{v_r + v_x}, \quad (5)$$

Известно, что приведенную скорость жидкости и газа, соответственно, можно определить по формуле:

$$v_x = c_x \sqrt{R I_x} \quad \text{и} \quad v_r = c_r \sqrt{R I_r}, \quad (6)$$

где I_x , I_r – гидравлический уклон для жидкости и газа; R – гидравлический радиус.

Тогда

$$\frac{\Delta p_c}{\rho_x} \frac{D}{4L} = \frac{v_x^2}{c_x^2} \left(1 + \frac{I_r}{I_x} \frac{\rho_r}{\rho_x} + k\sqrt{\frac{I_r}{I_x} \frac{\rho_r}{\rho_x}} \right). \quad (7)$$

Обозначим выражение, заключенное в скобки через параметр

$$A = 1 + \frac{I_r}{I_x} \frac{\rho_r}{\rho_x} + k\sqrt{\frac{I_r}{I_x} \frac{\rho_r}{\rho_x}}. \quad (8)$$

Данное выражение дает возможность определить объемные расходы отдельных фаз. Так, для жидкости это

$$Q_x = v_x S = k_x \sqrt{\frac{I_x}{A}}, \quad (9)$$

где k_x – расходная характеристика по жидкости.

Тогда

$$Q_x = k_x \sqrt{\frac{h_x}{L} \frac{1}{\sqrt{A}}}, \quad (10)$$

где h_x – гидравлический напор жидкости.

Часто в сложных морских условиях рекомендуется строить параллельные трубопроводы, для которых

$$Q_x = Q_{x1} + Q_{x2} \quad (11)$$

Тогда, с учетом (10) и (11) получаем

$$Q_x = k_{x1} \sqrt{\frac{h_{x1}}{L_1} \frac{1}{\sqrt{A_1}}} + k_{x2} \sqrt{\frac{h_{x2}}{L_2} \frac{1}{\sqrt{A_2}}}. \quad (12)$$

Как видно, с использованием данного метода можно определить основные параметры для сложных трубопроводов, с учетом физических свойств двухфазных систем.

Данную методику можно применять и для других сложных трубопроводов. Учитывая простоту и обоснованность данной методики

законами гидромеханики однородной жидкости и газа можно рекомендовать её для широкого применения в промышленных условиях.

Список литературы

1. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. – М.: Недра, 1979, 319 с.
2. Альтикуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1975, 323 с.
3. Салаватов Т.Ш., Аскеров Р.Х., Дадашзаде Х.И. Определение забойного давления в процессе эксплуатации обводненных газовых скважин // Газовая промышленность, 2017, № 1, с. 26-30.
4. Гужов А.И. Совместный сбор и транспорт нефти и газа. – М.: Недра, 1973, 280 с.

Mürəkkəb boru kəmərlərində ikifazlı sistemlərin hərəkətinin hesablanması hidrodinamik əsasları

R.X. Əsgərov, R.Ş. Salavatova

Bircins maye və qazın hidrodinamik qanunları əsasında horizontal borularda ikifazlı sistemlərin hərəkətinin yeni modeli təklif olunmuşdur. Bu üsul ikifazlı sistemlərin fiziki xassələrini nəzərə almaqla mürəkkəb boru kəmərlərinin əsas parametrlərini müəyyənləşdirməyə imkan verir. Məqalədə bircins maye və qaz hidravlik qanunlarına əsasən ikifazlı sistemlərin kəmərdə hərəkəti və mürəkkəb kəmərlərin hesablanması düsturları alınmışdır.

Eyni zamanda ikifazlı sistemlərin sadə və mürəkkəb kəmərlərdə hərəkət tənliyi verilmişdir ki, bu da göstərilən üsulun mədəni praktikasında istifadəsinə imkan verir.

Açar sözlər: *toxunma gərginliyi, mürəkkəb boru kəməri, paralel birləşmələr, diametr, maye və qazın həcm sərfiyyatı.*

Hydrodynamic bases of calculation of two-phase systems movement in complicated pipelines

R.Kh. Asgerov, R.Sh. Salavatova

Based on hydromechanics of homogenous fluid and gas, a new model of two-phase systems movement of fluid-gas type in horizontal tubes is suggested and the major calculation formula for complicated pipelines developed. This method enables to define the main parameters of complicated pipelines considering the physical properties of two-phase systems.

The equation of two-phase systems movement in simple and complicated pipelines, allowing recommending using this approach in field experience is obtained as well.

Keywords: *shear stress, complicated pipeline, multiple connection, diameter, volumetric fluid and gas discharge.*