

УДК.532.542.1

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТРУБОПРОВОДА С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНКИ

Золотов И.О.

*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный
e-mail: Zolotov.Igor@gmail.com*

Лосенков А.С.

ООО «Энергоавтоматика», г. Москва

Стрельникова С.А.

Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос задания исходных данных на этапе построения гидравлических моделей. Рассмотрены особенности построения гидравлических моделей трубопровода с переменной толщиной стенки. Приведены количественные оценки возможной погрешности расчета моделей при различных способах задания исходных данных, связанных с толщиной стенки трубопровода. Изложены результаты экспериментов по влиянию неравномерной толщины стенки на гидравлические процессы в трубопроводе. Также приведены методы идентификации эквивалентного диаметра, учитывающие неравномерность распределения толщины стенки трубопровода.

Ключевые слова: математическое моделирование, гидравлические модели, переменная толщина стенки, внутренний диаметр, скорость звука в трубопроводе

Введение

По мере развития трубопроводного транспорта, повышения сложности алгоритмов автоматического управления и требований к безопасности перекачки все большее внимание уделяется математическому моделированию гидравлических процессов перекачки. На этапе проектирования гидравлические математические модели используются для расчетов технологических режимов перекачки [1], разработки технологических алгоритмов управления [2], расчета переходных процессов [3]. На этапе эксплуатации такие математические модели используются в составе программных комплексов контроля текущего режима перекачки, диагностики утечек в трубопроводах.

В любую математическую модель на этапе создания должны быть заложены исходные данные. Для действующих трубопроводов заложенные исходные данные могут быть уточнены методами идентификации в процессе эксплуатации модели. Одним из исходных данных о трубопроводе является толщина стенки. От толщины стенки зависит внутренний диаметр трубопровода и скорость звука в системе «жидкость - трубопровод». Информацию по толщине каждой секции трубопровода в математических расчетах использовать затруднительно ввиду того,

что характерная длина секции трубопровода на несколько порядков меньше длин рассчитываемых участков трубопроводов. Поэтому, при задании исходных данных по внутреннему диаметру трубопровода прибегают к понятию «эффективный диаметр» или «эквивалентный диаметр» – математически определенный диаметр, использование которого в расчетах обеспечивает совпадение расчетных и фактических потерь напора в трубопроводе [4]. Как правило, в расчетных гидравлических моделях задают определенный таким образом эквивалентный диаметр от НПС до НПС, аналогично и задача идентификации эквивалентного диаметра ставится на участках от НПС до НПС [4, 5]. Скорость звука в моделях часто закладывается постоянной величиной для рассчитываемого трубопровода.

Однако, как показал опыт эксплуатации систем моделирования, целью которых является расчет распределения давления в трубопроводе, зачастую недостаточно задавать в математических моделях исходные данные, исходя из усредненного некоторым образом распределения толщины стенки трубопровода по участкам от НПС до НПС. При построении подобных моделей необходим предварительный анализ влияния неравномерности толщины стенки на гидравлические параметры течения. В настоящей статье приведен количественный анализ погрешности расчета стационарных и нестационарных гидравлических математических моделей при использовании эквивалентного диаметра от НПС до НПС и постоянной скорости звука, оцененной по усредненным значениям толщины стенки. Изложены результаты экспериментов по влиянию неравномерной толщины стенки на гидравлические процессы в трубопроводе. Также приведены методы идентификации эквивалентного диаметра, учитывающие неравномерность распределения толщины стенки трубопровода. Анализ проводился на примере двух действующих трубопроводов внешнего диаметра $D_1=1067$ мм, $D_2=1220$ мм с неравномерной толщиной стенки.

Эквивалентный диаметр трубопровода с переменной толщиной стенки

Трубопровод с переменной толщиной стенки состоит из секций с внутренним диаметром $d_i = D_{\text{внешн}} - 2\delta$, где d_i , δ_i – внутренний диаметр и толщина стенки i -й секции трубопровода, $D_{\text{внешн}}$ – внешний диаметр трубопровода. Соответствующие потери давления в i -й секции трубопровода равны:

$$\Delta p_i = -\rho g \Delta h_i + \lambda_i \frac{\rho u_i^2 x_i}{2d_i}$$

где Δp_i – потери давления в i -й секции; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; Δh_i – перепад высот начала и конца i -й секции; λ_i – коэффициент гидравлического сопротивления; u_i – расчетная скорость установившегося течения; x_i – длина i -й секции.

Тогда полные потери давления на участке трубопровода будут равны:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^N \Delta p_i,$$

где ΔP – полные потери давления на участке трубопровода; N – количество секций рассматриваемого участка трубопровода.

Эквивалентный диаметр трубопровода для гидравлических моделей определяется из соображения обеспечения совпадения потерь на всем трубопроводе с суммой потерь на каждом участке трубопровода, т.е.:

$$\lambda \frac{\rho u^2 L}{2D_{\text{экв}}} = \rho \sum_i \lambda_i \frac{u_i^2 x_i}{2d_i}, \quad (1)$$

где L – длина участка трубопровода; $D_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр.

Для области «гидравлически гладких труб», в которой работает большинство нефтепроводов, для гидравлического сопротивления справедлива формула Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}},$$

где $\text{Re} = \frac{uD}{\nu}$ – число Рейнольдса; ν – кинематическая вязкость; D – внутренний диаметр трубопровода, u – скорость течения.

Таким образом, из (1) получаем:

$$\frac{Q^{1,75} L}{D_{\text{экв}}^{4,75}} = \sum_i \frac{Q^{1,75} x_i}{d_i^{4,75}},$$

где $Q = \frac{\pi D^2}{4} u$ – объемный расход.

Откуда

$$D_{\text{экв}} = \sqrt[4,75]{\frac{L}{\sum_i \frac{x_i}{(D_{\text{внешн}} - 2\delta_i)^{4,75}}}}. \quad (2)$$

Оценим на примере количественное влияние, которое оказывает неравномерность распределения толщины стенки трубопровода при определении эквивалентного диаметра для математической модели.

Распределение толщины стенки рассматриваемых трубопроводов внешнего диаметра $D_1 = 1067$ мм, $D_2 = 1220$ мм представлено на рис. 1-2 соответственно.

Для трубопровода № 1 толщины стенок секций составляют от 11 мм до 26 мм. Для трубопровода № 2 толщины стенок секций составляют от 13 мм до 29 мм. Единичные выбросы с большой толщиной стенки соответствуют секциям с запорной арматурой линейной части. Средневзвешенная толщина стенки (с учетом длин секций) на участке НПС1 - НПС2 трубопровода № 1 равна 16,1 мм, трубопровода № 2 равна 19 мм.

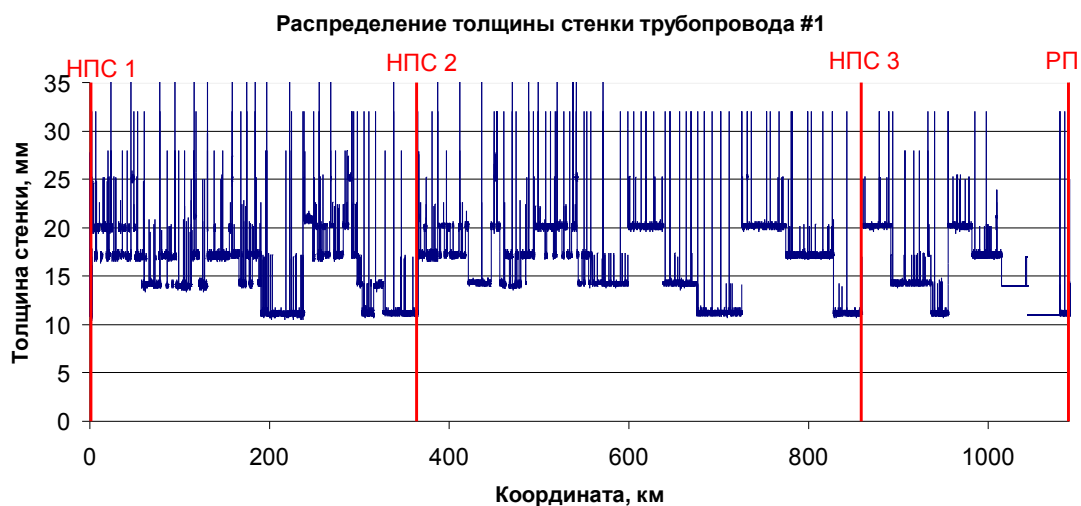


Рис. 1. Распределение толщины стенки трубопровода № 1

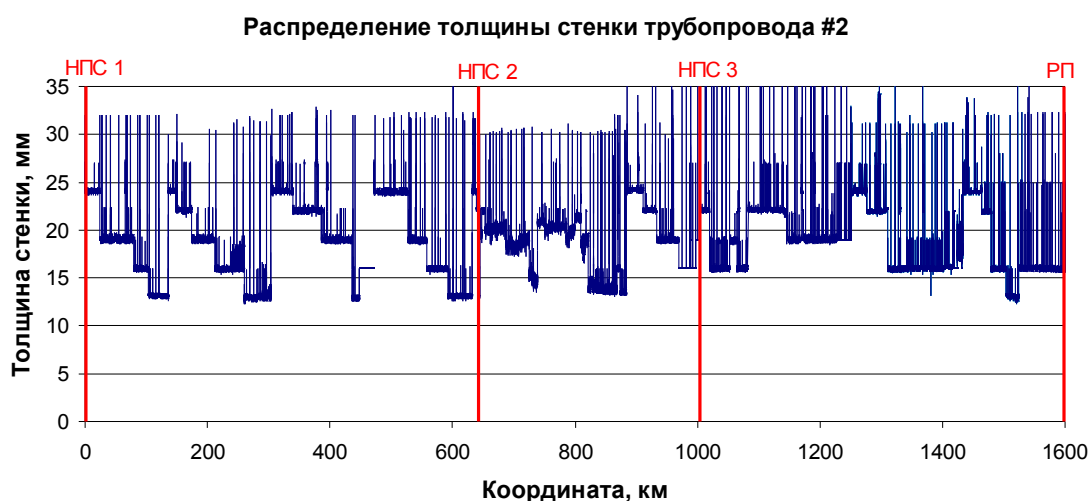


Рис. 2. Распределение толщины стенки трубопровода № 2

Определенный согласно (2) эквивалентный диаметр на участке НПС1 - НПС2 трубопровода № 1 равен 1035,9 мм. Определенный согласно (2) эквивалентный диаметр на участке НПС1 - НПС2 трубопровода № 2 равен 1182,5 мм. В то же время, определенные согласно (2) эквивалентные диаметры на более коротких участках (на каждом из участков от КП до КП, находящихся между НПС1 и НПС2) равны от 1024,5 мм до 1044,8 мм для трубопровода № 1, и от 1172,1 мм до 1194,2 мм для трубопровода № 2. Неточность задания исходных данных по внутреннему диаметру трубопровода на некоторых участках линейной части трубопровода при использовании в модели единого эквивалентного диаметра от НПС до НПС будет достигать 11,4 мм ($\varepsilon_{D_{экв}} = 1.1\%$) для трубопровода #1, и 11.7мм ($\varepsilon_{D_{экв}} = 0,99\%$) для трубопровода № 2. Таким образом, для более точного

задания исходных данных по внутреннему диаметру, в случае построения гидравлической модели трубопровода с переменной толщиной стенки, целесообразней проводить расчет и задание эквивалентного диаметра на более коротких участках линейной части, например, на участках от КП до КП. Далее будет показано насколько повышается точность расчетов параметров течения внутри участка от НПС до НПС у подобных гидравлических моделей при задании эквивалентных диаметров от КП до КП по сравнению с заданием единого эквивалентного диаметра от НПС до НПС.

Скорость звука в системе «жидкость - трубопровод с переменной толщиной стенки»

Помимо внутреннего диаметра, толщина стенки трубопровода определяет скорость распространения возмущений в трубопроводе (скорость звука). Зависимость для скорости звука в системе «жидкость-трубопровод» имеет вид [6]:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{\rho}{E} \left(\frac{D}{\delta} \right)}}, \quad (3)$$

где c – скорость звука в трубопроводе; δ – толщина стенки трубопровода; E – модуль Юнга стали; K – модуль упругости жидкости.

Определенная согласно (3) скорость звука для трубопровода № 1 по средневзвешенной толщине стенки равна 1150 м/с. Определенная согласно (3) скорость звука для трубопровода № 2 по средневзвешенной толщине стенки равна 1154 м/с. В то же время, определенные согласно (3) скорости звука на более коротких участках (на каждом из участков от КП до КП) для трубопровода № 1 по средневзвешенным толщинам стенки на этих участках равны от 1069 м/с до 1238 м/с. Скорости звука на каждом из участков от КП до КП трубопровода № 2, определенные по средневзвешенным толщинам стенки на этих участках, равны от 1089 м/с до 1238 м/с. Таким образом, при задании в модели единой скорости звука для трубопровода, неточность задания скорости звука на некоторых участках от КП до КП будет достигать 88 м/с ($\varepsilon_c = 7,65\%$) для трубопровода № 1, и 84 м/с ($\varepsilon_c = 7,28\%$) для трубопровода № 2.

Рассмотрим далее экспериментальное подтверждение полученных расчетов скорости звука в системе «жидкость - трубопровод». Целью экспериментов была опытная проверка количественного влияния неравномерной толщины стенки на гидравлические процессы в трубопроводе. Для рассмотренных выше трубопроводов № 1, № 2 во время режима работы фиксировались показания давления установленных на КП датчиков, регистрирующих изменения давления с частотой 100 Гц. Далее, по показаниям датчиков давления, расположенных на соседних КП, оценивалось время распространения возмущения между КП. Время распро-

странения возмущения оценивалось по максимуму корреляционной функции двух сигналов:

$$R_{X_1, X_2}(\tau) = \frac{\vec{X}_1(t) \cdot \vec{X}_2(t-\tau)}{|\vec{X}_1(t)| \cdot |\vec{X}_2(t-\tau)|},$$

где $R_{X_1, X_2}(\tau)$ – корреляционная функция двух сигналов; $\vec{X}_1(t)$ – вариация давления относительно среднего значения, полученная на первом датчике давления; $\vec{X}_2(t)$ – вариация давления относительно среднего значения, полученная на следующем датчике давления; τ – время распространения возмущения от места установки 1-го датчика давления до места установки 2-го датчика давления.

По полученным временам распространения возмущения τ рассчитывалась скорость распространения возмущения между соседними КП для всех участков между КП трубопроводов № 1, № 2. Эксперименты проводились на нескольких технологических режимах перекачки; значения полученных скоростей звука на участках между КП усреднялись по результатам всех экспериментов. Далее, для каждого участка между КП определялась средневзвешенная толщина стенки трубопровода и были получены экспериментальные значения скорости звука: $c_i = c_i(D_i/\delta_i)$. Ниже на рис. 3-4 представлены полученные экспериментальные точки для скоростей распространения возмущения между КП трубопроводов № 1, № 2 и теоретическая кривая $c = c(D/\delta)$, рассчитанная согласно (3).

Полученный экспериментальный разброс скоростей распространения возмущения между КП, обусловленных неравномерной толщиной стенки трубопровода, хорошо согласуется с теоретической оценкой.

Для более точного задания исходных данных по скорости звука в системе «жидкость - трубопровод», в случае построения гидравлической модели трубопровода с переменной толщиной стенки, целесообразней проводить расчет и задание скорости звука на более коротких участках линейной части, например, на участках от КП до КП. Далее будет приведена оценка насколько повышается точность расчетов параметров течения внутри участка от НПС до НПС у подобных гидравлических моделей при задании различных скоростей звука на участках от КП до КП по сравнению с заданием единого усредненного значения скорости звука.

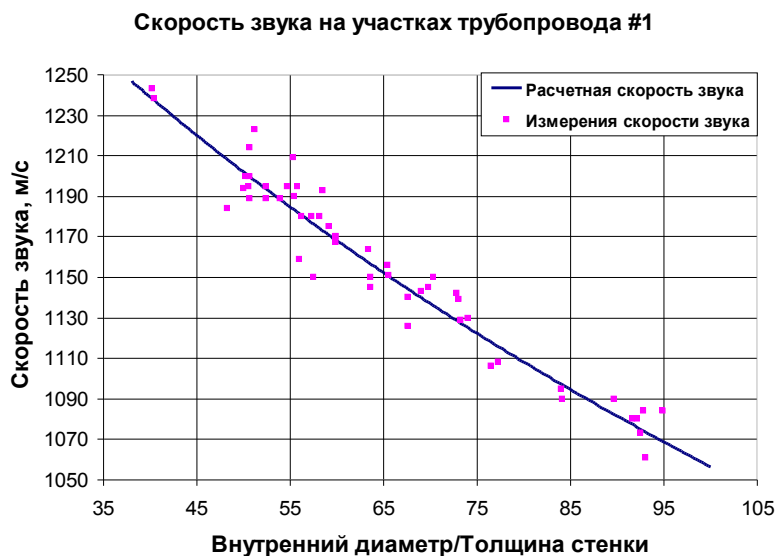


Рис.3. Трубопровод № 1.

Скорость распространения возмущения между соседними КП

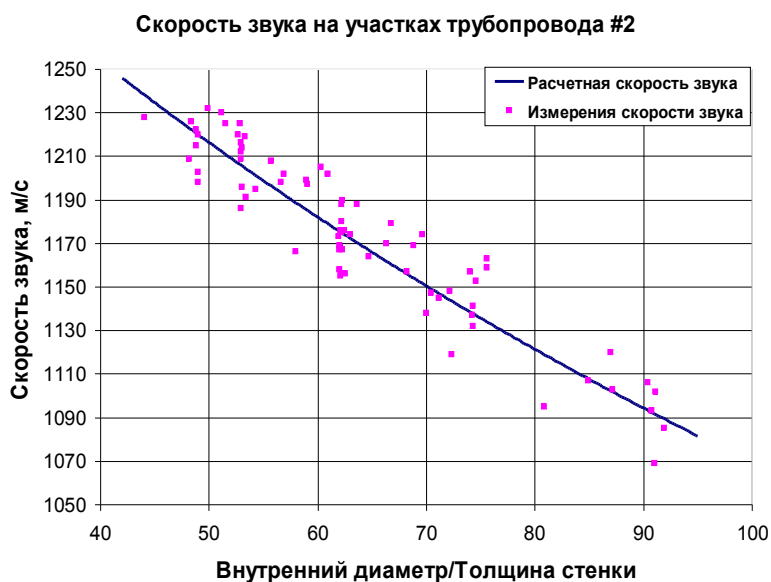


Рис. 4. Трубопровод № 2.

Скорость распространения возмущения между соседними КП

Стационарные математические модели

В гидравлических моделях для расчета установившихся течений жидкости используется уравнение, отражающее потери давления в трубопроводе, обусловленные трением и действиями гидростатических сил[6]:

$$P(x) = P_0 + \rho g \Delta h - \lambda \frac{\rho u^2}{2D_{\text{экв}}} x, \quad (4)$$

где $P(x)$ – рассчитываемое давление в заданной точке линейного участка x ; P_0 –

давление в начале линейного участка; ρ – плотность жидкости; Δh – перепад высот между началом линейного участка и расчетной точкой x ; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; u – расчетная скорость установившегося течения; x – расстояние до заданной точки; $D_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр трубопровода, заложенный в модель.

Переходя в (4) от расчетной скорости к расчетному расходу $Q = \frac{\pi D^2}{4} u$, который более актуален для практических расчетов, от расчетного давления к расчетному напору $H = \frac{P}{\rho g} + h$, и используя зависимость для λ в форме Блазиуса, имеем:

$$\Delta H = H(x) - H_0 = -0,2414 \frac{v^{0,25} Q^{1,75}}{g D_{\text{экв}}^{4,75}}. \quad (5)$$

В расчет потерь напора на стационарном режиме заданный в модели эквивалентный диаметр входит в явном виде в степени 4,75. Таким образом, из зависимости (5), максимальная относительная погрешность расчета потерь напора между двумя точками внутри участка от НПС до НПС на стационарном режиме, обусловленная неточным заданием эквивалентного диаметра на этом участке будет равна:

$$\varepsilon_{\Delta H}^{\text{стационар}} = 4,75 \varepsilon_{D_{\text{экв}}}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_{\Delta H}^{\text{стационар}}$ – относительная погрешность расчета потерь напора между двумя точками внутри участка от НПС до НПС на стационарном режиме; $\varepsilon_{D_{\text{экв}}}$ – неточность задания эквивалентного диаметра в модели на этом участке.

Следовательно, для рассмотренных трубопроводов относительная погрешность расчета потерь напора на линейном участке между двумя КП на стационарном режиме, обусловленная использованием единого эквивалентного диаметра от НПС до НПС согласно (6) может достигать 5,2 % для гидравлической модели трубопровода № 1, и 4,8 %, для гидравлической модели трубопровода № 2.

Таким образом, задание эквивалентных диаметров для каждого участка от КП до КП взамен использования единого эквивалентного диаметра от НПС до НПС в стационарных гидравлических моделях рассматриваемых трубопроводов приведет к увеличению точности расчета потерь напора на участках от КП до КП порядка 5 %.

Нестационарные математические модели

Для расчета неустановившегося напорного течения в трубопроводах в гидродинамических математических моделях используется система дифференциаль-

ных уравнений, отражающих балансовые законы сохранения массы и количества движения [6]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \rho c^2 \frac{\partial u}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \lambda \frac{u \cdot |u|}{2 \cdot D_{\text{экв}}} + g \sin \gamma &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

где: t – время; x – координата по длине; c – скорость звука для жидкости в трубопроводе с упругими стенками γ – угол наклона трубы к горизонту

В системе уравнений (7) в явном виде заданный эквивалентный диаметр входит во втором уравнении. Погрешность в его задании скажется, аналогично случаю стационарной модели, на погрешность расчета потерь давления (напора) внутри линейного участка между НПС. В случае медленно протекающих нестационарных процессов количественная оценка погрешности расчета будет стремиться к зависимости (6).

При расчете быстропротекающих нестационарных процессов (например, при резком перекрытии потока и образовании гидроудара) результаты расчета по системе (7) нестационарного изменения давления будут в пределах соответствовать известной формуле Жуковского [7]:

$$\Delta P_{\text{нест}} = \rho c \Delta u = \frac{4 \rho c \Delta Q}{\pi D_{\text{экв}}^2}, \quad (8)$$

где $\Delta P_{\text{нест}}$ – изменение давления (величина фронта образовавшегося гидроудара), ΔQ – изменение расхода потока при быстропротекающем нестационарном процессе.

Откуда относительная погрешность расчета изменения давления при быстропротекающем нестационарном процессе, обусловленная неточным заданием эквивалентного диаметра и скорости звука будет равна:

$$\varepsilon_{\Delta P}^{\text{нестационар}} = \sqrt{(\varepsilon_c)^2 + (2 \varepsilon_{D_{\text{экв}}})^2}, \quad (9)$$

где $\varepsilon_{\Delta P}^{\text{нестационар}}$ – относительная погрешность расчета изменения давления при быстропротекающих нестационарных процессах; ε_c – неточность задания скорости звука в модели.

Для рассматриваемых трубопроводов при использовании эквивалентного диаметра от НПС до НПС и постоянной скорости звука, оцененной по усредненным значениям толщины стенки $\varepsilon_{D_{\text{экв}}} = 1,1\%$, $\varepsilon_c = 7,65\%$ для трубопровода № 1 и $\varepsilon_{D_{\text{экв}}} = 0,99\%$, $\varepsilon_c = 7,28\%$ для трубопровода № 2. Относительная погрешность расчета изменения давления при быстропротекающих нестационарных процессах на линейном участке между двумя КП, обусловленная использованием единого эквивалентного диаметра от НПС до НПС и единой скорости звука, будет составлять согласно (9) $\varepsilon_{\Delta P}^{\text{нестационар}} = 7,96\%$ для гидродинамической модели трубопровода № 1 и $\varepsilon_{\Delta P}^{\text{нестационар}} = 7,54\%$ для гидродинамической модели трубопровода № 2.

Таким образом, задание эквивалентных диаметров для участков от КП до КП взамен единого эквивалентного диаметра от НПС до НПС и задание различных скоростей звука на участках от КП до КП в нестационарных гидравлических моделях рассматриваемых трубопроводов приведет к увеличению точности расчета изменения давления в точках линейной части трубопровод порядка 7,5 %.

Идентификация эквивалентного диаметра трубопровода с переменной толщиной стенки

При настройке математических моделей действующих трубопроводов важным этапом является идентификация параметров, величина которых изменяется в процессе эксплуатации трубопровода. В частности, таким параметром является внутренний диаметр трубопровода. В процессе перекачки величина внутреннего диаметра может меняться из-за запарафинивания и загрязнения стенок трубопровода.

Идентифицировать диаметр – значит восстановить значение диаметра, соответствующее полученным экспериментальным данным. В случае трубопровода с переменной толщиной стенки для получения более точных результатов расчета, как показано выше, эквивалентный диаметр следует рассчитывать и задавать в модели более детально, чем единый на участке от НПС до НПС. Например, на участках от КП до КП. Следовательно, вариант получения диаметра из уравнения (5), при подстановке фактических измерений перепада давления между НПС, расхода на участке и реологических свойств не подходит. При применении для идентификации диаметра той же зависимости (5) для каждого из участков от КП до КП большой вклад в погрешность полученного результата может внести неточное знание перепада высот между КП. Особенно это сказывается в случае небольшого расстояния между КП и сильно меняющегося рельефа местности, когда составляющая гидростатической разности давления превышает потери давления на трение. Для того чтобы учесть неравномерность распределения толщины стенки трубопровода можно предложить метод идентификации, основанный на предположении, что все диаметры изменяются с одним коэффициентом пропорциональности k (в дальнейшем будем называть его коэффициент коррекции). Коэффициент коррекции рассчитывается для всего участка от НПС до НПС, далее на него домножаются диаметры участков труб от КП до КП.

Пусть d_i – исходный эквивалентный диаметр i -того участка трубопровода от КП до КП; d_i^{uo} – идентифицированный эквивалентный диаметр этого участка трубопровода. Эти диаметры связаны друг с другом через коэффициент коррекции: $d_i^{uo} = kd_i$. Если рассчитывать коэффициент гидравлического сопротивления по формуле Блазиуса, то общие потери напора на участке от НПС до НПС во вре-

мя стационарного режима работы равны:

$$\Delta P + \rho g \Delta h = \rho \sum_i \lambda_i \frac{u_i^2 l_i}{2 k d_i} = C \rho v^{0,25} \sum_i \frac{Q^{1,75}}{(k d_i)^{4,75}} l_i = C \rho v^{0,25} Q^{1,75} \frac{1}{k^{4,75}} \sum_i \frac{l_i}{d_i^{4,75}},$$

где ΔP – разность давления между выходом первой НПС и входом следующей; Δh – разность высот между выходом первой НПС и входом следующей; u_i – скорость установившегося течения в i -м участке трубопровода от КП до КП; λ_i – коэффициент гидравлического сопротивления в i -м участке трубопровода от КП до КП; l_i – длина i -го участка трубопровода от КП до КП; Q – установившийся расход на участке между выходом первой НПС и входом следующей; C – численный множитель.

Откуда находится искомый коэффициент коррекции:

$$k = \sqrt[4,75]{\frac{C \rho v^{0,25} Q^{1,75} \sum_i \frac{l_i}{d_i^{4,75}}}{\Delta P + \rho g \Delta h}}. \quad (10)$$

Подстановка в (10) статистических данных по перепаду напора между НПС, расходу на участке и реологическим свойствам нефти позволяет вычислить коэффициент коррекции эквивалентных диаметров от КП до КП для гидравлической модели. На полученный коэффициент следует умножить все эквивалентные диаметры между КП на всем участке от НПС до НПС.

Подобный метод позволяет проводить идентификацию и уточнять эквивалентные диаметры согласно фактическим данным в процессе эксплуатации гидравлической модели, в которой изначально эквивалентные диаметры заданы на участках от КП до КП.

Выводы

1. Задание в гидравлических моделях трубопровода с переменной толщиной стенки единого эквивалентного диаметра на участках от НПС до НПС и единой скорости звука может приводить к существенным погрешностям расчета. При построении подобных моделей необходим предварительный анализ исходных данных по распределению толщины стенки трубопровода. В ряде случаев целесообразней использовать расчет и задание эквивалентных диаметров и скоростей звука на участках от КП до КП.

2. Приведены методики количественных оценок и рассмотрены экспериментальные результаты влияния неравномерной толщины стенки на гидравлические параметры течения в трубопроводе.

3. Приведены методы идентификации эквивалентного диаметра, для гидравлической модели с заданными различными эквивалентными диаметрами на участках от КП до КП.

Литература

1. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г., Юфин В.А., Яковлев Е.И. Трубопроводный транспорт нефти и газа. 2-е изд. М.: Недра, 1988. 365 с.
2. Есаулов А.О., Текшева И.В. Моделирование систем управления нефтепроводом // Трубопроводный транспорт нефти. 2010. № 8. С. 63 - 65.
3. Ширяев А.М., Валиев М.И., Камагаев С.А. Расчет нестационарных режимов в МН // Трубопроводный транспорт нефти. 2010. № 11. С. 62 - 63.
4. Кульминский Ю.Г., Вьюн В.И. Идентификация эквивалентных диаметров магистральных трубопроводов // Нефтяное хозяйство. 2002. № 3. С. 87 - 89.
5. Осипов В.А. Изменение эквивалентного диаметра нефтепровода Александровское - Анжеро-Судженск // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. 1983. № 4. С. 12 - 13.
6. Лурье М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. М.: Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. 335 с.
7. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах, 2-е изд. М.: Недра, 1975. 295 с.

SOME FEATURES OF THE HYDRAULIC MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT FOR PIPELINE WITH VARIABLE WALL THICKNESS

I.O. Zolotov

*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia
e-mail: Zolotov.Igor@gmail.com*

A.S. Losenkov

Energoavtomatika Ltd, Moscow

S.A. Strelnikova

Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

Abstract. *In this paper authors consider a question of the initial data at the stage of the construction of hydraulic model. Some features of the hydraulic mathematical model development for pipeline with variable wall thickness are discussed. Here are presented quantitative assessments of a calculation error of hydraulic models related to different methods of using initial data about the thickness of the pipeline wall. Some experimental results about the effect of non-uniform wall thickness on the hydraulic processes in the pipeline are considered. The method of equivalent diameter identification that takes into account the non-uniform wall thickness distribution is proposed.*

Keywords: *mathematical modeling, hydraulic models, variable wall thickness, inner diameter, sound speed in the pipeline*

References

1. Aliev R.A., Belousov V.D., Nemudrov A.G., Yufin V.A., Yakovlev E.I. *Truboprovodnyi transport nefi i gaza (Pipeline transportation of crude oil and natural gas)*. 2 ed. Moscow, Nedra, 1988. 365 p.
2. Esaulov A.O., Teksheva I.V. *Modelirovanie sistem upravleniya nefteprovodom (Simulation of oil pipeline control systems)*, *Truboprovodnyi transport nefi*, 2010, Issue 8, pp. 63 - 65.
3. Shiryayev A.M., Valiev M.I., Kamagaev S.A. *Raschet nestatsionarnykh rezhimov v MN (Computation of unsteady regimes in the main oil pipelines)*, *Truboprovodnyi transport nefi*, 2010, Issue 11, pp. 62 - 63.
4. Kul'minskii Yu.G., V'yun V.I. *Identifikatsiya ekvivalentnykh diametrov magistral'nykh truboprovodov (Identification of equivalent pipelines diameters)*, *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2002, Issue 3, pp. 87 - 89.
5. Osipov V.A. *Izmenenie ekvivalentnogo diametra nefteprovoda Aleksandrovscoe - Anzhero-Sudzhensk (Changing the equivalent diameter of the pipeline Alexandrovskoe- Anzhero-Sudzhensk)*, *Transport i khranenie nefi i nefteproduktov*, 1983, Issue 4, pp. 12 - 13.
6. Lurie M.V. *Matematicheskoe modelirovanie protsessov truboprovodnogo transporta nefi, nefteproduktov i gaza (Modeling of oil product and gas pipeline transportation)*. Moscow, Publishing house "Neft i gaz", RGU, 2003. 335 p.
7. Charnyi I.A. *Neustanovivsheesya dvizhenie real'noi zhidkosti v trubakh (Unsteady motion of a real fluid in pipes)*, 2 ed. Moscow, Nedra, 1975. 295 p.