

по перегонам между КС и по менее протяженным участкам, что повышает эффективность диагностики, особенно при определении мест расположения отложений.

Диагностический вывод по характеру отложений может уточняться контрольным анализом посторонних включений в газе на входе и выходе газопровода.

Список литературы

1. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учеб. для вузов / Р. А. Алиев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
2. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента: справочное руководство. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
3. Повх И. Л. Техническая гидромеханика. 2-е изд. доп. – Л.: Машиностроение, 1976. – 504 с.
4. Справочник работника магистрального газопровода / Под ред. С. Ф. Бармина. – 2-е изд., доп. и перераб. – Л.: Недра, 1974. – 431 с.

Сведения об авторе

Первошчиков С. И., д. т. н., консультант кафедры прикладной механики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел: 8(3452)467480

Information about the author

Perevoshchikov S. I., Doctor of Engineering, Consultant at the Department of Applied Mechanics, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)467480.

УДК 681.324

РАЗВИТИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЕЛЬЕФНОГО ГАЗОПРОВОДА С УЧЕТОМ СИЛЫ ИНЕРЦИИ

DEVELOPMENT OF ANALYTICAL APPROACHES FOR DETERMINATION OF STORAGE CAPACITY OF RELIEF GAS PIPELINE TAKING INTO ACCOUNT INERTIA FORCE

Н. К. Юрков Р. А. Штыков

N. K. Yurkov, R. A. Shtykov

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Муромский институт Владимирского государственного университета, г. Муром

Ключевые слова: газ; инерция; трубопровод; давление; расчет
Key words: gas; inertia; pipeline; pressure; calculation

Содержащееся в участке длиной l количество газа зависит от многочисленных параметров состояния газопровода (ГП). Его массу можно определить по формуле [1, 2]

$$M_a = \int_0^l \rho(x) F dx = \frac{F}{ZRT} \int_0^l p(x) dx.$$

Если ввести среднее значение давления по длине l ГП, то формула принимает вид

$$M_a = \frac{Fl}{ZRT} \frac{1}{l} \int_0^l p(x) dx = \frac{Fl}{ZRT} p_{cp}.$$

Таким образом, с математической точки зрения определение аккумулирующей способности ГП сводится к задаче об определении среднего по длине значения давления в элементарном участке.

Чтобы вычислить $p_{cp} = \frac{1}{l} \int_0^l p(x) dx$, обратимся к зависимости

$$\frac{A - p^2}{Gp^3 + \Lambda p} dp = dx.$$

В интеграле p_{cp} произведем замену переменной интегрирования, то есть интегрирование проведем не по переменной x , а по переменной p . Соответственно, нижняя граница интегрирования будет иметь значение $p(0) = p_0$, а верхняя — $p(l) = p_l$.

$$p_{cp} = \frac{1}{l} \int_{p_0}^{p_l} p \frac{A - p^2}{Gp^3 + \Lambda p} dp = \frac{1}{l} \int_{p_0}^{p_l} \frac{A - p^2}{Gp^2 + \Lambda} dp.$$

Подинтегральную функцию представим в удобном для интегрирования виде

$$\frac{A - p^2}{Gp^2 + \Lambda} = -\frac{p^2 + A}{Gp^2 + \Lambda} = -\frac{1}{G} \left(\frac{p^2 + \Lambda/G}{p^2 + \Lambda/G} - \frac{A + \Lambda/G}{p^2 + \Lambda/G} \right) = -\frac{1}{G} + \frac{AG + \Lambda}{G^2} \frac{1}{p^2 + \Lambda/G}.$$

Отсюда получим

$$p_{cp} = \frac{1}{l} \int_{p_0}^{p_l} \left(-\frac{1}{G} + \frac{AG + \Lambda}{G^2} \frac{1}{p^2 + \Lambda/G} \right) dp = \frac{1}{l} \left(\frac{p_0 - p_l}{G} + \frac{AG + \Lambda}{G^2} \int_{p_0}^{p_l} \frac{dp}{p^2 + \Lambda/G} \right).$$

Введем обозначение $I = \int_{p_0}^{p_l} \frac{dp}{p^2 + \Lambda/G}$.

В зависимости от знака слагаемого Λ/G в знаменателе подинтегральной функции данный интеграл имеет разные квадратуры.

Начнем со случая $\Lambda/G > 0$. Если в зоне расчета вектор скорости $w \vec{i}$ совпадает с положительным направлением x , то, как и в рассматриваемом случае, Λ имеет положительное значение. Тогда наше условие $\Lambda/G > 0$ относится только к значению G и принимает вид $G > 0$. То есть данный случай соответствует подъему трассы: $\Delta y > 0$, а интеграл I имеет квадратуру

$$\begin{aligned} I &= \int_{p_0}^{p_l} \frac{dp}{p^2 + \frac{\Lambda}{G}} = \sqrt{\frac{\Lambda}{G}} \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{G}{\Lambda}} p \right) \Big|_{p_0}^{p_l} = \sqrt{\frac{\Lambda}{G}} \left(\operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{G}{\Lambda}} p_l \right) - \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{G}{\Lambda}} p_0 \right) \right) = \\ &= \sqrt{\frac{\Lambda}{G}} \operatorname{arctg} \left(\frac{p_l - p_0}{\frac{G}{\Lambda} + p_l p_0} \sqrt{\frac{G}{\Lambda}} \right). \end{aligned}$$

Таким образом, для трассы с линейным подъемом получаем следующую формулу

$$p_{cp} = \frac{1}{l} \left(\frac{p_0 - p_l}{G} + \frac{AG + \Lambda}{G^2} \sqrt{\frac{\Lambda}{G}} \operatorname{arctg} \left(\frac{p_l - p_0}{G/\Lambda + p_l p_0} \sqrt{\frac{G}{\Lambda}} \right) \right). \quad (1)$$

Переходим к случаю $\Lambda/G < 0$, который отражает спуск трассы.

$$I = \int_{p_0}^{p_l} \frac{dp}{p^2 + \Lambda/G} = \int_{p_0}^{p_l} \frac{dp}{p^2 - \sqrt{-\Lambda/G}}.$$

Результаты интегрирования показывают, что в случае $Gp^2 + \Lambda < 0$ (при убывании давления по направлению потока), как и в случае $Gp^2 + \Lambda > 0$ (при возрастании давления по направлению потока), интеграл имеет одинаковую квадратуру

$$I = \sqrt{-\frac{\Lambda}{G}} \operatorname{arth} \left(\frac{p_l - p_0}{p_0 p_l + \Lambda / G} \sqrt{-\frac{G}{\Lambda}} \right),$$

где arth представляет обратную гиперболическому тангенсу функцию и называется арха-тангенсом

$$\operatorname{arth} x = \frac{1}{2} \ln \frac{1+x}{1-x}.$$

Область определения этой функции составляет $|x| < 1$, а область значений — $R = (-\infty, \infty)$.

Таким образом, для трассы с отрицательным уклоном при убывающем значении давления среднее по длине значение давления определяется по формуле

$$p_{cp} = \frac{1}{l} \left(\frac{p_0 - p_l}{G} + \frac{AG + \Lambda}{G^2} \sqrt{-\frac{\Lambda}{G}} \operatorname{arth} \left(\frac{p_l - p_0}{G/\Lambda + p_l p_0} \sqrt{-\frac{G}{\Lambda}} \right) \right). \quad (2)$$

Предельный переход в p_{cp} при $\sin \alpha \rightarrow 0$ (или повторное интегрирование при $G = 0$) приводит к формуле

$$p_{cp} = \frac{2}{3} \frac{p_l - p_0}{p_0^2 - p_l^2 + A \ln(p_l^2 / p_0^2)} (3A - p_l^2 - p_l p_0 - p_0^2). \quad (3)$$

Из последней формулы при игнорировании силы инерции ($A \rightarrow 0$) приходим к общеизвестной формуле

$$p_{cp} = \frac{2}{3} \left(p_0 + \frac{p_l^2}{p_l + p_0} \right). \quad (4)$$

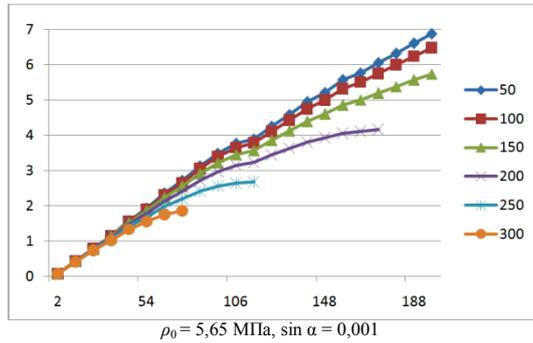
Таким образом, при совместном учете инерционной и гравитационной сил для вычисления аккумулирующей способности дополнительно к p_0 и p_l потребуются значения коэффициентов A, G и Λ ; при учете только инерционных сил необходимо знать значение коэффициента A ; а при учете только гравитационной силы — коэффициентов Λ и G .

Подставив полученные формулы в M_a , получим желанную формулу.

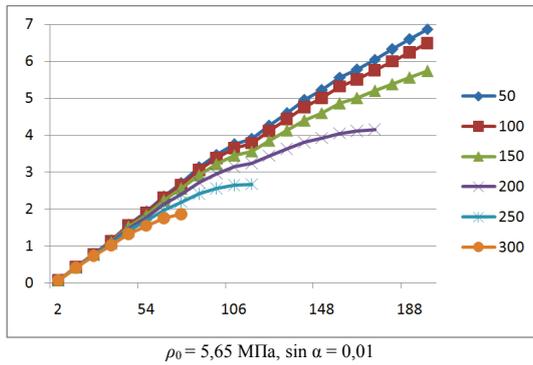
Нетрудно убедиться, что в функции под логарифмом при положительном числителе ($p_l - p_0 > 0$) знаменатель также принимает положительное значение (для возрастающего значения давления $p^2(x) > -\Lambda / G$). Такое же суждение вытекает при отрицательном значении числителя. Единственно возможный вариант особого случая — это $p_0 p_l + \Lambda / G = 0$. Однако этот случай соответствует нулевому градиенту давления, то есть значение давления остается постоянным в области расчета. Таким образом, надобность в формуле отпадает, и принимается условие $p_{cp} = p_0 = p_l$.

Обратимся к численным результатам. На рисунках 1–7 представлены изменения массы аккумулированного в элементарном участке МГ газа при уклоне трассы, соответствующие $\sin \alpha = 0,001; 0,01; 0,1$ и $-0,001$ при массовых расходах $M = 50, 100, 150, 200, 250$ и 300 кг/с. Эти результаты показали, что с увеличением расстояния и уменьшением массового расхода аккумулированная в ГП масса газа

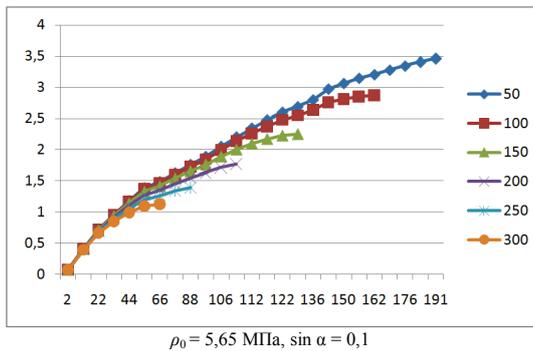
увеличивается. При этом урезанные графики относятся к тем наибольшим допустимым длинам ГП, которые зафиксированы при данных значениях P_0 и P_l .



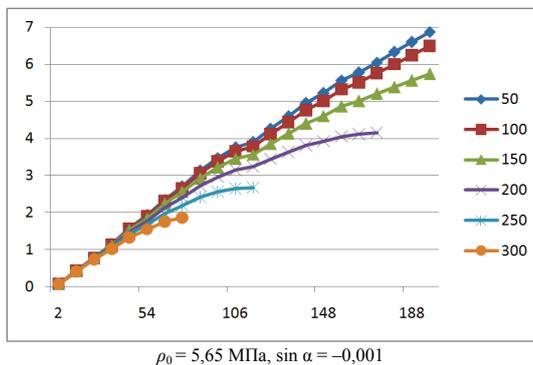
*Рис. 1. Изменение
аккумулирующей
способности ГП
в зависимости
от длины участка
при различных значениях
массового расхода (кг/с)*



*Рис. 2. Изменение
аккумулирующей
способности
элементарного
участка в зависимости
от длины участка
при различных значениях
массового расхода газа (кг/с)*

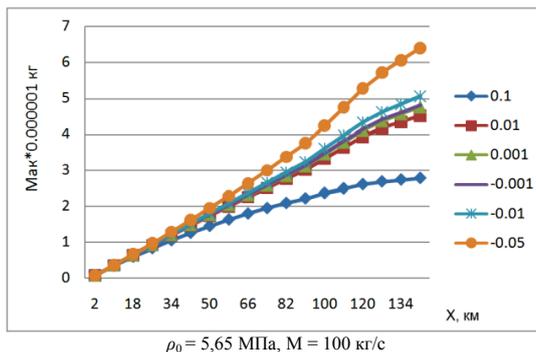


*Рис. 3. Изменение
аккумулирующей
способности ГП
по длине участка
при различных значениях
массового расхода (кг/с)*

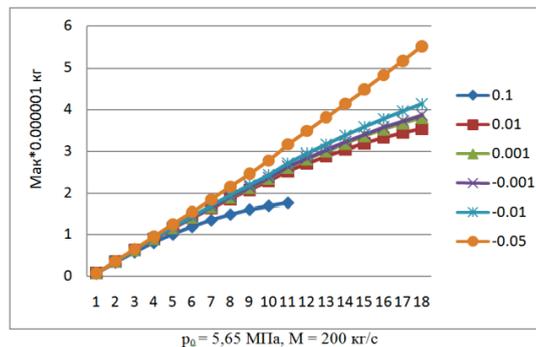


*Рис. 4. Изменение
аккумулирующей
способности
элементарного
участка ГП по длине
при различных значениях
массового расхода (кг/с)*

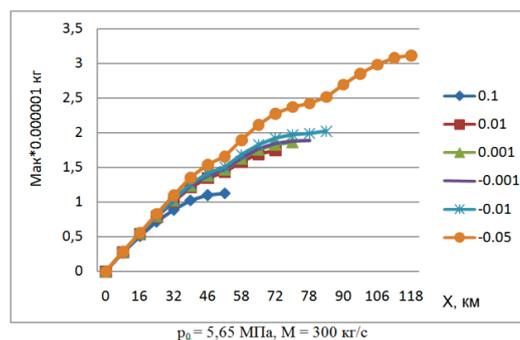
*Рис. 5. Изменение
аккумулирующей
способности
элементарного
участка ГП
по длине при различных
значениях уклона $\sin \alpha$*



*Рис. 6. Изменение
аккумулирующей
способности
элементарного
участка ГП
по длине при различных
значениях уклона $\sin \alpha$*



*Рис. 7. Изменение
аккумулирующей
способности
элементарного
участка ГП
по длине при различных
значениях уклона $\sin \alpha$*



Влияние уклона трассы на аккумулирующую способность участка ГП при фиксированном значении массового расхода отображено на рисунках 5–7. Казалось бы, что при увеличении массового расхода аккумулированная масса должна быть больше. Но это мнение ошибочное: в стационарной постановке задачи входящее в элементарный участок количество газа с той же интенсивностью выходит из другого конца участка. При этом большой расход газа приводит (в рамках приведенных данных) к уменьшению значения давления, соответственно, уменьшается аккумулированная масса в данном участке.

Список литературы

1. Новоселов В. Ф., Гольянов А. И., Муфтахов Е. М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации газопроводов: учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1982. – 136 с.
2. Пасканов В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука. – 1984. – 288 с.

Сведения об авторах

Юрков Николай Кондратьевич, д. т. н., профессор,
Пензенский государственный университет, г. Пенза,
тел. 8(412)368212, e-mail: yurkov_nk@mail.ru

Information about the authors

Yurkov N. K., Doctor of Engineering, Professor, Penza
State University, phone: 8412368212, e-mail: yur-
kov_nk@mail.ru

Химия и технология переработки нефти и газа

УДК 622.276:665.7

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОБРАЗОВАНИЕ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ EFFECT OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF ASPHALT-RESIN-PARAFFIN COMPONENTS ON THE INTENSITY OF THE FORMATION OF ASPHALT-RESIN-PARAFFIN DEPOSITS

А. А. Байда, А. Н. Гребнев, А. Г. Мозырев, С. Г. Агаев
A. A. Bayda, A. N. Grebnev, A. G. Mozyrev, S. G. Agaev

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: асфальтосмолопарафиновые отложения; асфальтосмолопарафиновые вещества; экспериментальное моделирование
Key words: asphalt-resin-paraffin deposits; asphalt-resin-paraffin components; experimental modeling

В условиях добычи нефти интенсивность образования асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) определяется многими факторами: разгазированием нефти, гидродинамическим режимом движения нефти, уменьшением температуры от забоя к устью скважин и др. [1, 2]. Одним из определяющих факторов, оказывающих влияние на образование АСПО, является состав и физико-химические свойства асфальтосмолопарафиновых веществ (АСПВ), содержащихся в нефти [3–10].

Работа посвящена выявлению количественных связей между интенсивностью образования АСПО и некоторыми физико-химическими свойствами АСПВ. В таблице 1 приведены экспериментальные данные, заимствованные из работы [10], характеризующие влияние физико-химических свойств АСПВ на интенсивность образования АСПО.

Таблица 1

Влияние физико-химических свойств асфальтосмолопарафиновых веществ (АСПВ) на удельный выход асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО)

АСПВ	Физико-химические свойства АСПВ		$G_{уд}^{АСПО}$, г/(м ² ·ч)
	Температура плавления $t_{пл}$, °С	Относительная плотность d_4^{90}	
АСПВ-1 (Вынгапуровское месторождение)	65,0	0,851	55,8
Церезин-80	79,0	0,799	121,5
АСПВ-2 (Аганское месторождение)	79,0	0,803	133,3
АСПВ-3 (Верхнесалатское месторождение)	91,2	0,801 ^{*)}	633,9

Примечание. $G_{уд}^{АСПО}$ — удельный выход АСПО из модельной смеси 20 % мас. АСПВ в гексане;

**) — относительная плотность АСПВ-3 определена при их температуре плавления.*