

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ АНОМАЛЬНОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В КАНАЛАХ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ПО ДЛИНЕ РАСХОДОМ

BASIC PRINCIPAL OF PROGNOSIS OF FLUID FLOW IN THE PIPELINE WITH CHANGING FLOW

Исследована реология образцов нефти. Определено, что для описания полученных реологических кривых может быть использован закон Освальда де Вилля. Проведенные опыты на модельных жидкостях показали, что течение жидкости в магистрали нужно рассматривать как не стабилизированное, а, следовательно, для его описания можно применить модель гидродинамического начального участка. Для расчета параметров потока в каналах с изменяющимся расходом предложена «ступенчатая модель» течения Торнера.

Ключевые слова: реология, образцы нефти, неньютоновские жидкости, гидродинамический начальный участок.

Введение

Одной из актуальных проблем нефтедобывающей промышленности является транспортировка нефти в трубопроводах различной конфигурации с учетом изменения расхода по длине. Решение этой проблемы связано с необходимостью учета реологических свойств нефти и нефтепродуктов, которые являются сложной физикохимической системой.

Как известно [1–10], нефть многокомпонентная среда, включающая в себя различные фракции: воду, органические соединения, неорганические соли, углеродистые частицы. В зависимости от своего состава, процентного содержания фракций, а также от сложного внутреннего строения определяются ее физикохимические свойства.

Известно также, что нефть состоит из молекулярных и высокомолекулярных углеводородных компонентов. Важнейшими ее составляющими являются углерод и водород. Кроме того, в ее состав входит сера, азот, кислород.

В зависимости от химического состава и температуры нефти могут обладать свойствами как ньютоновских, так и неньютоновских жидкостей. Неньютоновские жидкости могут быть представлены как аномальновязкие жидкости, то есть обладающие способностью изменять вязкость во времени.

Необходимо отметить влияние на вязкость нефти температуры и давления, повышение которых приводит к ее увеличению.

Важным также является учет факторов дестабилизации течения потоков. К ним можно отнести изменение массы жидкости по длине, которое приводит к перемене значения градиента скорости $\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3}$, а, следовательно, и значения динамической вязкости μ . Следующим фактором

является кривизна $1/R$ трубопровода, способствующая перераспределению скоростей по его длине.

Таким образом, возможность прогнозирования течения аномальновязких жидкостей с изменяющимся по длине расходом, а также разработку методов расчета гидравлических параметров потока необходимо связывать с решением следующих задач:

- задача по определению реологических свойств транспортируемой нефти и нефтепродуктов
- задачи, связанные с анализом дестабилизации потока за счет его отбора (или увеличения по длине).

Основные результаты исследования

Решение первой задачи осуществляется для нескольких образцов нефти, месторождения которых находятся в Украине, Иране и Алжире.

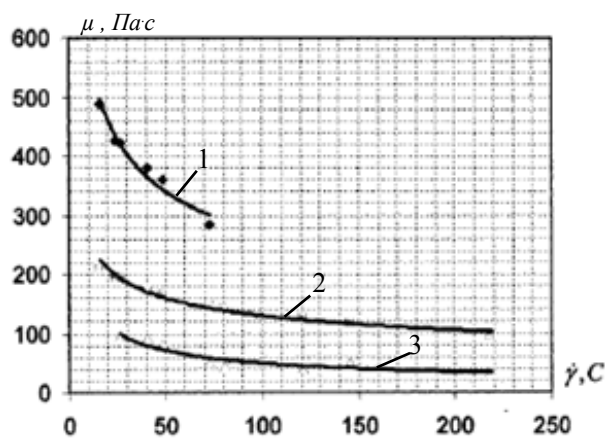


Рисунок 1 — Украинский образец.

Зависимость вязкости μ от градиента скорости $\dot{\gamma}$ при разных температурах: 1 — 20 °C; 2 — 30 °C; 3 — 50 °C

Исследование реологических свойства этих образцов проводились на ротационном вискозиметре «Reotest2». Прибор позволил провести анализ проб при значениях динамической вязкости в пределах от 10^2 до 10^5 Пуаз и скоростей сдвига от $0,2 \text{ c}^{-1}$ до $1,8 \cdot 10^3 \text{ c}^{-1}$ с погрешностью 3–4%. На основании полученных экспериментальных данных были построены реологические зависимости $\mu = f(\dot{\gamma})$ для различных значений температуры, показанные на рисунках 1–3.

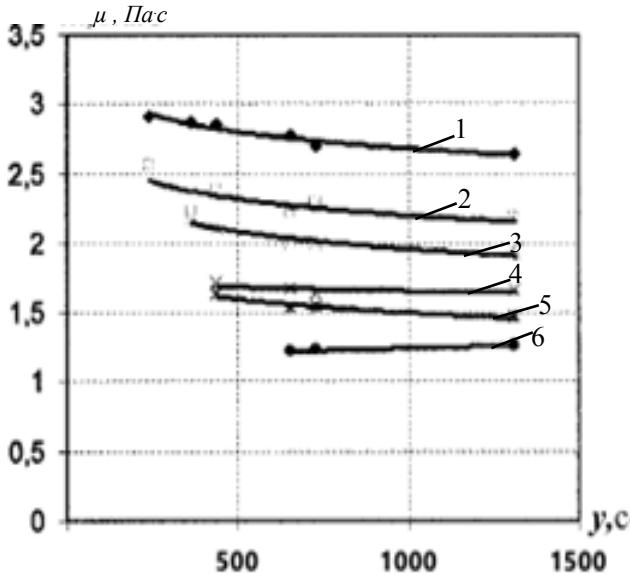


Рисунок 2 — Алжирский образец.
Зависимость вязкости μ от градиента скорости $\dot{\gamma}$ при разных температурах:
1 — 20 °C; 2 — 30 °C; 3 — 40 °C;
4 — 50 °C; 5 — 60 °C; 6 — 70 °C

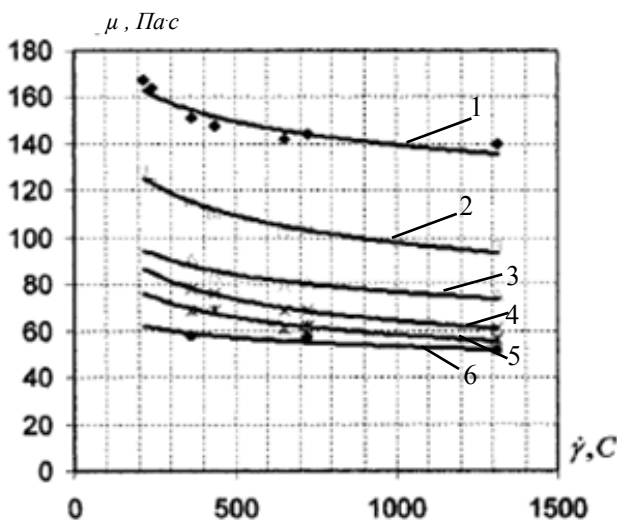


Рисунок 3 — Иранский образец
Зависимость вязкости μ от градиента скорости $\dot{\gamma}$ при разных температурах:
1 — 20 °C; 2 — 30 °C; 3 — 50 °C;
4 — 57 °C; 5 — 60 °C; 6 — 65 °C

При анализе реологических особенностей рассматриваемых образцов нефтей был сделан вывод, что неньютоновские свойства в них обычно начинают проявляться при температурах на 15–20 °C выше температур их застывания и наиболее ярко выражены при температурах ниже температуры застывания.

Обобщение данных результатов показало, что объединяющим фактором данных образцов является то, что они могут описываться законом Освальда де Вилля $\tau = k\dot{\gamma}^n$ при определенных значениях реологических постоянных k.

Таблица 1

Температура, °C	Виды образцов	Консистентная постоянная, $k \text{ Па} \cdot \text{с}^n$	Индекс течения n
20	Украинский	1,252	0,667
30		0,515	0,7
50		0,451	0,583
20	Алжирский	0,0428	0,9322
30		0,036	0,926
40		0,0359	0,9125
50		0,0158	1,0071
60		0,0286	0,9043
70		0,0059	1,111
20	Иранский	0,0286	0,8957
30		0,0304	0,8356
50		0,0201	0,8604
57		0,0246	0,8055
60		0,019	0,829
65		0,2963	0,4227

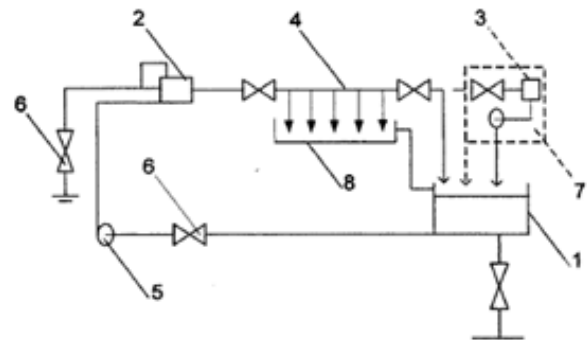


Рисунок 4 — Экспериментальный стенд
1, 2, 3 — резервуары; 4 — рабочий участок (трубопровод с насосами, расположенными на равном расстоянии друг от друга); 5 — насосы; 6 — вентили; 7 — насос; 8 — ёмкость для отбора жидкости.

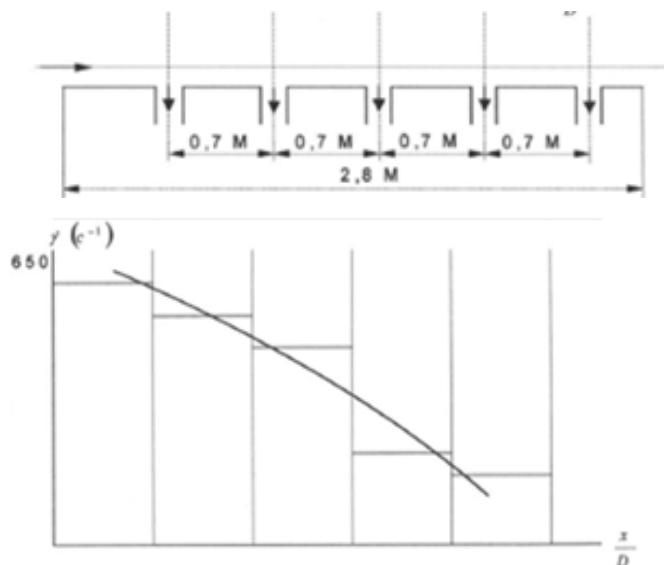


Рисунок 5 — Обработка экспериментальных данных зависимости градиента скорости от относительной длины

Как видно из представленной таблицы 1, индекс течения в рассматриваемом диапазоне температур в подавляющем большинстве случаев меньше единицы, то есть рассматриваемые образцы можно характеризовать как вязкопластичные неньютоновские жидкости. Следует так же отметить, что наличие транзитного расхода Q по l приводит к изменению γ и вязкости, что в свою очередь дестабилизирует течение.

Так, например, при использовании экспериментального стенда [11], представленного на рисунке 4 с фиксированным расстоянием между насадками (0,7 м), мы наблюдали изменение градиента скорости по длине канала (рисунок 5).

Полученные данные являются очень важным фактором при корректировке расчетных зависимостей.

Значения, приведенные в таблице 1, дают возможность определить коэффициент гидравлического трения λ по формуле Метцнера [4, 6]

$$\lambda = 4a(\text{Re}_M)^{-b}$$

где a и b определяются в зависимости от индекса течения n [4].

Решение второй задачи основывалось на проведении опытов на модельных жидкостях, которые характеризуют как ньютоновские, так и неньютоновские жидкости. Эти опыты подтвердили необходимость учета сил инерции от конвективного ускорения наряду с силами вязкого трения для участков канала с изменяющимся расходом, то есть отбором жидкости. В результате приходим к выводу о целесообразности использования представления и модели гидродинамического начального участка [6].

В связи с тем, что для использования такой модели необходимо иметь полное представление о кинематике потока за каждой из насадок, можно в качестве первого

приближения использовать «ступенчатую модель течения», предложенную Торнером [10]. Суть данной модели заключается в том, что рассматриваемый канал разбиваем на n участков (по числу установленных насадок) и для каждого из участков предлагаем градиент скорости. Таким образом, на каждом из участков с известным градиентом скорости рассматривается стабилизированное течение, а следовательно, потери давления будут соответствовать давлению при стабилизированном течении. Но для каждого из участков величина вязкости, скорости и градиента скорости будут разными. Опыты показали, что при использовании такой ступенчатой системы расчета погрешность не превышает 5–10 %. Целесообразность использования такой схемы расчета подтверждается экспериментально.

В таблице 2 показано насколько величина $\delta\Delta p$ для рассматриваемых участков отличается от Δp_0 в различных диапазонах чисел Рейнольдса.

Таблица 2

Число Re на входе	Δp_0 стабилизированного потока	$\delta\Delta p_{Q=const}$	$\delta\Delta p_{Q=const, 1/R=0}$
202440	0,45	0,04	0,06
163800	0,30	0,025	0,045
113400	0,158	0,005	0,044

где Δp_0 — перепад давления на прямолинейном участке трубы при условии отсутствия отбора расхода по длине (т.е. перепад давления при стабилизированном течении);

$\delta\Delta p_{Q=const}$ — коррекция перепада давления за счет наличия отбора жидкости (т.е. нестабилизированное течение);

$\delta\Delta p_{Q=const, 1/R=0}$ — коррекция перепада давления за счет наличия кривизны канала (нестабиллизированное течение в криволинейном канале).

По данным работы [1] при законе отбора жидкости, имеющем вид

$$Q = Q_0 - q_0 x = Q_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

Изменение давления по длине можно записать как

$$\frac{p_{Q \neq 0}}{\rho g} = \frac{p_0}{\rho g} + \frac{16 + (4n + 2)(5n + 3)Q_0^2 x}{\pi^2 g D^4} \left(2 - \frac{x}{l}\right) - \frac{4Kl}{\rho g D} \left[\frac{8Q_0(3n + 1)}{\pi D^3 n}\right]^n \times \frac{1}{(n + 1)} \left(1 - \left(1 - \frac{x}{l}\right)^{n+1}\right)$$

Полученные зависимости дают возможность осуществлять прогнозирование течения аномальновязких жидкостей с изменяющимся по длине расходом, а так же позволит разработать методику расчета гидравлических параметров.

Выводы

В проведенной работе исследована реология образцов нефти. Показано, что в общем случае такие среды можно отнести к неньютоновским в рассматриваемом диапазоне температур и градиентов скоростей. Для описания полученных реологических кривых может быть использован закон Освальда де Вилля.

Опыты на модельных жидкостях показали, что течение жидкости в магистрали нужно рассматривать как нестабилизированное, а, следовательно, предложено для его описания использовать модель гидродинамического начального участка.

В качестве первого приближения предложено использовать «ступенчатую модель течения» Торнера для расчета параметров потока в каналах с изменяющимся расходом.

Литература

1. Федорев, А.А. Определение коэффициента гидравлического трения в трубопроводах при отсоединении расхода [Текст] / А. А. Федорев, З. Р. Маланчук // Гидравлика и гидротехника. — 1980. — Вып. 31. — С.58—62.
2. Кравчук, А.М. Движение жидкости в трубопроводах с отсоединенным расходом вдоль пути [Текст] / А.М. Кравчук // Автореферат...кандид. техн. наук. К. — 1985. — 23 с.
3. Животовский, Б. А. К вопросу о расчете трубопроводов с непрерывно меняющимся расходом по длине [Текст] / Б.А. Животовский // Труды университета Дружбы народов им. П. Лумумбы. — 1973. — Вып. 65. — С. 132—137.
4. Мещерский, И.В. Уравнение движения точки переменной массы в общем случае [Текст] / И.В. Мещерский. — М.: Гос. изд. по строительству и архитектуре, 1952. — С. 104.
5. Walden, H., Stsiak, J. Mechanika cieczy i garow w inzynierii sanitarniej [Текст] / Arkady, Warszawa. — 1971. — с. 554.
6. Яхно, О.М., Кривошеев, В.С., Матиега, В.М. Гидродинамический начальный участок [Текст], Черновцы, Зелена Буковина, 2004. — 200 с.
7. Повх, И.Л. Техническая гидромеханика [Текст]. — М.: Машиностроение, 1976. — 504 с.
8. Каминер, А.А., Яхно, О.М. Гидромеханика в инженерной практике [Текст]. К.: Техника, 1987. — 175 с.
9. Яхно, О.М., Дубовицкий, В.Ф. Основы реологии полимеров [Текст]. — К.: Вища школа, 1976.— 188 с.
10. Торнер, Р.В. Основные процессы переработки полимеров (теория и методы расчета) [Текст] / Р.В. Торнер. — М.: Химия, 1972.— 456 с.
11. Хогасс, Б. Физическое моделирование потоков вязкой жидкости с изменяющимся по длине расходом / Восточно-европейский журнал передовых технологий. — Том 5.— 2012. — №7(59). — С. 33—37.

References

1. Fedorets, A.A., Malanchuk, Z. R. (1980). Hydraulic friction in pipelines at an expense detachment coefficient determination. *Hydraulics and hydraulic engineering*, 31, 5862.
2. Kravchuk, A.M. Liquid movement in pipelines with the disconnected expense along a way. Abstract... Candidate of Technical Sciences. K., 1985. — P. 23.
3. Zhyvotovskyy, B.A. To a question of calculation of pipelines with continuously changing expense on length. *Works of university of Friendship of the people of P. Lumumba.* — 1973. — Вып. 65. — P. 132—137.
4. Meshchersky, I.V. Equation of movement of a point of variable weight generally. — M.: The state publishing house on construction and architecture, 1952.
5. Henruk Walden, Jezzy Stsiak. *Mechanika cieczy i garow w inzynierii sanitarniej.* — Warszawa: Arkady, 1971. — P. 554.
6. Yakhno, O.M., Krivosheyev, V.S., Matiega V.M. Hydrodynamic initial site. — Chernovtsy, Zelena Bukovyna, 2004.
7. Povkh, I. L. *Technical Hydromechanics.* M.: Mechanical engineering, 1976. — P. 504.
8. Kaminer, A.A., Yahno, O.M. *Fluid Mechanics in Engineering Practice.* — K.:Technika, 1987. — 175 p/
9. Yahno, O.M., Dybovitsky, V.F. *Fundamentals of polymer heology.* — K.: Vyshcha shkola, 1976. — 188 p.
10. Torner, R.V. *Basic processes of polymer processing (theory and methods of calculation).* — M.: Khimia, 1972. — 456 p.

Надійшла 2.09.2014 року

УДК 62.22

Основні принципи прогнозування течії аномальнов'язких рідин у каналах зі змінною по довжині витратою

Н.В. Семінська

Досліджено реологію зразків нафти. Визначено, що для опису отриманих реологічних кривих може бути використаний закон Освальда де Вилля.

Проведені дослідження на модельних рідинах свідчать, що течію рідини у магистралі потрібно розглядати як нестабілізовану, а отже для її опису можна застосувати модель гідродинамічної початкової ділянки. Для розрахунку параметрів течії в каналах зі змінною витратою запропоновано «ступеневу модель» течії Торнера.

Ключові слова: реологія, зразки нафти, неньютоновські рідини, гідродинамічна початкова ділянка.

UDC 62.22

Basic principal of prognosis of fluid flow in the pipeline with changing flow

N.V. Seminskaya

In the carried out work investigated the rheology of of oil samples, it is shown that in the general case, the environment can be attributed to nonNewtonian fluids in the considered range of temperature and of velocity gradients.

To describe the rheological curves derived can be used law Oswald de Ville. Experiments on the model liquids have shown that the fluid flow in the pipeline should be considered as not stable, and therefore proposed to describe the hydrodynamic model using the initial portion.

As the first approach is proposed to use “stepflow model” Torner to calculate the flow parameters in channels with changing flow.

Keywords: rheology, oil sample, nonNewtonian fluid, the hydrodynamic initial portion.