

Рисунок 2 – Зависимость остаточного содержания нефти в воде от температуры

Как видно из рисунка 1 наилучшая нефтеемкость наблюдается при $t=0\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом наименьшее остаточное содержание нефти в воде оказывается при $t=10\text{ }^{\circ}\text{C}$. При температурах $20\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ сорбционная емкость практически одинакова, но остаточное содержание нефти заметно увеличивается. Это связано увеличением растворимости нефти в воде при повышении температуры. Наибольшая эффективность очистки наблюдается при $t=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 99,8%, наименьшая при $t=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 87,4%. Проведенные исследования показывают не только возможность использования березового опада в качестве нефтесорбента, но и высокую эффективность очистки поверхностных вод при различных температурных условиях, что на данный момент особенно актуально при стремительном расширении территорий добычи и транспортировки нефти.

Список литературы:

1. Другов Ю.С. Экологический анализ при разливах нефти и нефтепродуктов / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – С.-Пб., 2000 – 250 с
2. Аварийные разливы нефти: средства локализации и методы ликвидации. Электронный ресурс. URL: http://www.secuteck.ru/articles2/prom_sec/avariynie_razlivi (дата обращения 24.03.2015)
3. Торочешников Н.С., Родионов А.И., Н.В.Кельцев. Техника защиты окружающей среды: Учебное пособие для вузов. – М.: Химия, 1981. – 368 с..
4. Алексеева А.А.. Применение листового опада для удаления пленки нефти с поверхности воды/А.А.Алексеева, С.В. Степанова///Вестник Казан. технол. ун-та. -2014. -№ 22, -с. 304-306
5. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод/Ю.Ю. Лурье. - М.: Химия, 1984. -448 с.

Гидродинамические особенности транспорта углеводородных сред в поле действия высокополимерных присадок в трубопроводах

Дедеев П.О.
dedeyev@mail.ru

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф., Харламов С.Н., Каф. ТХНГ ИПР НИ ТПУ

В настоящий момент распространенной практикой [9,10] является использование транспортирующими организациями полимерных материалов для наращивания пропускной способности трубопроводных систем, что вызвано тенденцией к увеличению добычи нефти и газа, загружающей ТП системы возрастающим количеством перекачиваемого сырья. Применение антитурбулентных присадок (АТП) позволяет увеличить пропускную способность без критических изменений структуры системы, причем отличительными особенностями настоящей технологии являются высокая эффективность и простота добавочных конструкций наряду со сравнительно быстрым монтажом, что обуславливает **актуальность** настоящей работы.

Несмотря на широкое использование АТП в сфере транспорта углеводородных жидкостей, нет единого взгляда на процессы, вызывающие увеличение пропускной

способности канала, что требует комплексного математического, физического и химического подхода, который позволит минимизировать потери энергии, а также приведёт к уяснению механизмов генерации и диссипации энергии в вихрях в вязких смесях с полимерами. Однако прежде чем касаться вопроса описания и моделирования таких “тонких” характеристик, хотелось бы внести некоторую ясность в вопрос о снижении гидравлического трения.

В связи с этим, **цель работы** состоит в: систематизации данных о снижении коэффициента гидравлического сопротивления и разработке математической модели течений углеводородов с присадками во внутренних системах.

2 Проблемы моделирования гидравлического сопротивления в гладких и шероховатых трубах

Интерес к применению АТП стимулируется необходимостью аккуратного применения энергии, потребляемой при транспортировке УВ в больших количествах. Эксплуатирующие организации ищут способы снижения трения на стенке ТП не только для увеличения пропускной способности, но и для недопущения образования отложений парафинов и механических частиц. Хорошо известно [1-4,6-7], что придать потоку ламинарные свойства в ТП можно в результате добавления высокомолекулярных полимерных добавок (присадок). Открытый в 1948 году эффект Томса нашел широкое применение в различных областях техники, но, несмотря на свои широкие возможности в приложениях, физико-математическая основа явления до сих пор не ясна и требуются детальные исследования течений с неоднородной анизотропной турбулентностью во внутренних системах с произвольной конфигурацией поверхности стенки. Среди спектра сопутствующих задач особое внимание следует уделить задаче о моделировании коэффициента гидравлического сопротивления в ТП.

В практических расчетах существует большое количество формул, с успехом применяемых в гидравлике для расчета и строительства ТП, определения числа насосных станций и расстановки их по трассе линейной части, и т.д. Хотелось бы обратить внимание на следующие известные формулы.

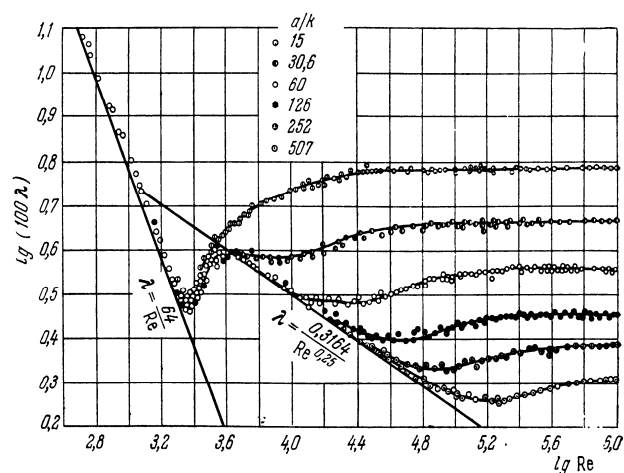
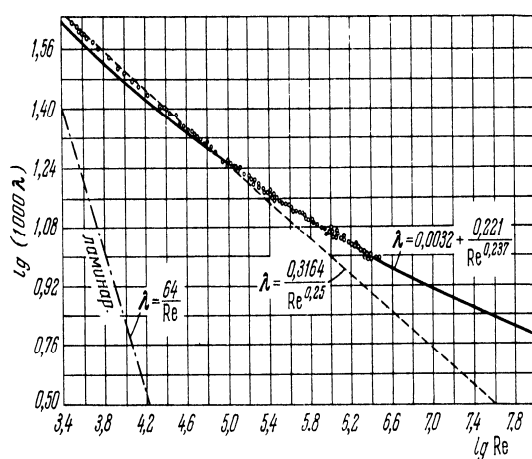


Рисунок 1. Экспериментальные и теоретические зависимости коэффициента гидравлического сопротивления λ для гладких труб. Re – критерий Рейнольдса. Построено на основании данных [8].

Рисунок 2. Экспериментальные и теоретические зависимости коэффициента гидравлического сопротивления λ для шероховатых труб. Re – критерий Рейнольдса; a – радиус трубы, мм; k – шероховатость трубы, мм. Построено на основании данных [8].

Принято считать, что для гладких труб достаточной является формула (1), которая в явном виде достаточно успешно может быть заменена на (2), в то время как для шероховатых труб удовлетворительной считается неявная зависимость (3). Обозначения общепринятые. Зависимости на Рисунке 1 показывают более чем удовлетворительную точность формулы (2), а на Рисунке 2 продемонстрирована взаимосвязь экспериментальных данных о течениях в шероховатых трубах с известными в гидравлике формулами.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg(Re \sqrt{\lambda}) - 0,8 \quad (1)$$

$$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} \quad (2)$$

$$3,75 + \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\lambda}} - 5,75 \lg \frac{a}{k} = \Phi \left(\frac{k \cdot v_*}{\nu} \right) \quad (3)$$

Применение формул (1) – (3) для описания движения смеси вязкой углеводородной среды-растворителя и полимерной АТП является неудовлетворительной ввиду отсутствия учета эффекта влияния АТП на трение у стенки ТП. В настоящей работе проведена попытка нахождения подходящей зависимости.

3 Описание гидравлического трения при движении природного сырья с введённой полимерной присадкой в ТП

При выборе модели к прогнозу снижения трения в смесях: полимер-среда следует учесть следующие предпосылки:

- АТП при добавлении в транспортируемую жидкость выступает как химически инертное вещество и не провоцирует химическую реакцию;
- Добавление АТП в принятых в промышленности концентрациях не ведёт к существенному изменению реологии транспортируемой среды;
- Процессами теплообмена можно пренебречь в результате совпадения температур перекачиваемой среды и АТП.

Настоящие предпосылки позволяют при модификации уравнения (1) опираться лишь на зависимости от концентрации и параметры самой присадки. Но ввиду того, что экспериментальные данные, полученные при промышленном испытании присадки FLO-X, не содержат сведений об изменении коэффициента гидравлического трения в зависимости от вариаций молекулярной массы, упругости и других параметров АТП, расчеты проводятся лишь на основе влияния концентрации.

Предполагая, что функциональное выражение, определяющее взаимосвязь концентрации и гидравлического трения, может выражаться достаточно большим количеством способов, модифицируем уравнение (1) путём введения некоторой зависимости $\psi(C)$, где C – концентрация присадки.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg e \cdot \psi(C) \ln(\text{Re} \sqrt{\lambda}) - 0,8 \quad (5)$$

Данные с промышленных испытаний присадки FLO-X [1] позволили вычислить $\psi(C)$ для шести значений концентрации, что отображено в Табл.1.

Таблица 1: значения $\psi(C)$ в зависимости от концентрации присадки FLO-X

C , ml/m ³	0	5,2	11,3	19	28,8	37,5	50
$\Psi(C)$	0,979	1,018	1,140	1,32	1,49	1,64	1,84

В силу того, что уравнение (4) задано неявным образом, вычисление функциональных зависимостей производилось с помощью численных методов решения, а именно с помощью метода Ньютона. Математическая обработка результатов вычислений производилась в прикладных пакетах Mathcad и Maple. Полученные зависимости с вычисленными величинами достоверности аппроксимации и коэффициентами корреляции приведены в Табл.2.

Таблица 2: различные функциональные описания $\Psi(C)$ и оценка достоверности полученных результатов

Функциональное описание $\Psi(C)$	Формульное описание	Величина достоверности аппроксимации и R^2	Коэффициент корреляции
Линейное	$\Psi(C) = 0,0184 \cdot C + 0,9429$	0,997	0,998
Экспоненциальное первого типа	$\Psi(C) = 0,989 \cdot \exp(0,0131 \cdot C)$	0,978	0,989
Экспоненциальное второго типа	$\Psi(C) = 1 - \exp\left(\frac{-18,525}{C}\right)$	0,972	0,979
Логарифмическое	$\Psi(C) = 0,357 \cdot \ln(C) + 0,343$	0,935	0,967
Степенное	$\Psi(C) = 0,631 \cdot C^{0,262}$	0,969	0,985

Функциональное описание $\Psi(C)$	Формульное описание	Величина достоверности аппроксимации R^2	Коэффициент корреляции
Полиноминое	$\Psi(C) = 1,86 \cdot 10^{-6} \cdot C^3 - 2,37 \cdot 10^{-4} \cdot C^2 + 2,64 \cdot 10^{-2} \cdot C + 0,8820$	0,999	0,996

С учетом вышесказанного помимо детального описания особенностей гидравлического сопротивления совершенно очевидна необходимость формулировки связи между параметрами турбулентных присадок с "тонкими" параметрами перекачиваемой среды и ее реологическими свойствами в математических моделях. В то же время задача о нахождении таких связей остаётся нерешённой. Соотношения, описывающие поведение зависимости $\psi(C)$, являются лишь частными практическими выражениями, так как не имеют под собою детальной экспериментальной базы.

4 Отдельные результаты и выводы

Несмотря на экспериментальную "узость" полученных зависимостей, на их основе можно привести некоторые результаты и сделать выводы о взаимодействии АТП с перекачиваемой средой. Как можно заметить из Рис.3, наибольшую точность имеют линейная и экспоненциальная (I типа) зависимости, что подтверждается вычисленными коэффициентами корреляции (0,998 и 0,989) и достоверностью аппроксимации (0,997 и 0,978). Однако в пределе при концентрации АТП, стремящейся к нулю, экспоненциальная зависимость демонстрирует более плавный переход к случаю течения, описываемому уравнением (1), что не позволяет отбросить эту зависимость как менее значимую.

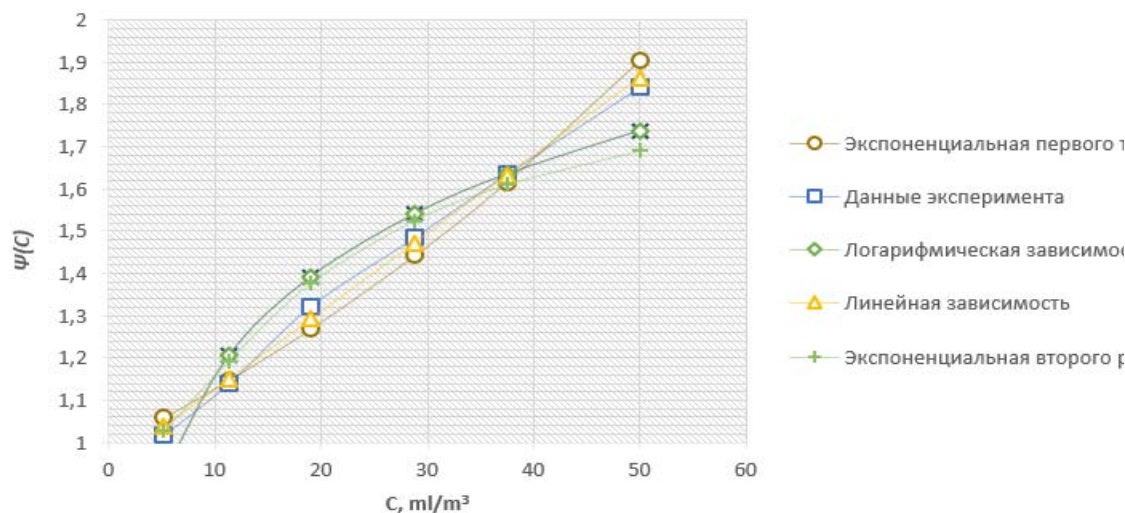


Рисунок 3. Опытные данные промышленных экспериментов, проведенных с присадкой FLO-X [1], а также зависимости, полученные в настоящей работе и описывающие $\psi(C)$ для случая гладких труб.

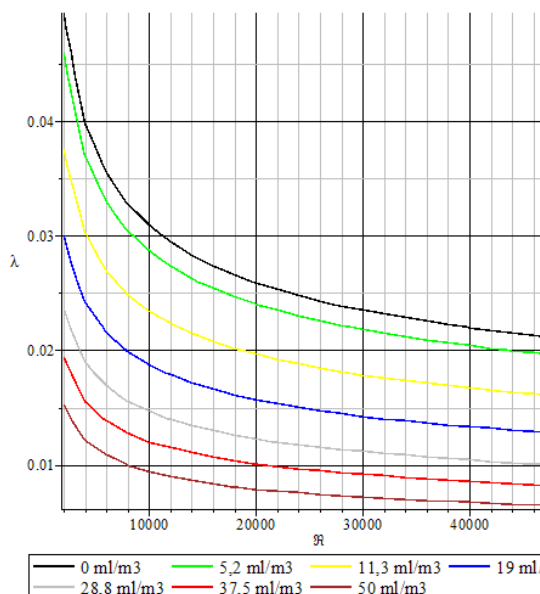


Рисунок 4. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления λ от числа Re и концентраций АТФ FLO-X для случая описания $\psi(C)$ линейной зависимостью

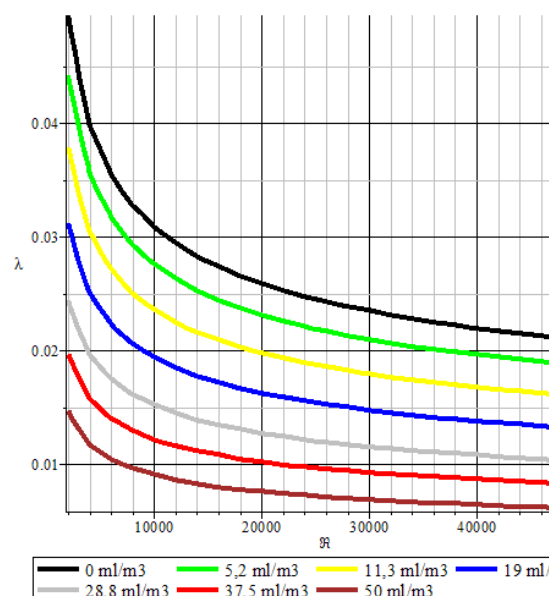


Рисунок 5. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления λ от числа Re и концентраций АТФ FLO-X для случая описания $\psi(C)$ экспоненциальной зависимостью I типа

Полученные зависимости демонстрируют хорошую динамику в области гидравлически гладких труб, что было изначально заложено в основу в результате выбора уравнения (1) в качестве базисного. В диапазоне чисел Re более 30000 необходим учет относительной шероховатости стенки трубопровода для более корректного описания течения.

Несмотря на ряд успехов в прогнозе переходов от турбулентной структуры к ламинарной во внутренних течениях [5], до настоящего времени не ясна полная картина процессов, происходящих в смесях вязких сред с высокомолекулярными полимерными растворами слабой концентрации. Подавляющее большинство экспериментальных исследований концентрируются на интегральных параметрах потока, игнорируя измерения таких характеристик как турбулентная вязкость, частоты пульсаций турбулентных вихрей и т.д. Совершенно очевидна необходимость проведения экспериментов с фиксацией вышеупомянутых параметров. С другой стороны, описание зависимостей коэффициента гидравлического сопротивления также требует внимания, ведь качественная функциональная зависимость позволит получить распределения профиля скорости. В связи с этим обстоятельством необходимы детальные исследования эволюции динамической структуры сдвигового потока в зависимости от изменения параметров АТФ: молекулярной массы полимера, эффективной длины полимерной цепочки, упругости молекулы и её способности к демпфированию.

Список литературы:

1. Bogdevičius Marijonas, Janutėnienė Jolanta, Didžiokas Rimantas and others/ Mathematical modeling of oil transportation by pipelines using anti-turbulent additives // Journal of Vibroengineering; Mar2013, Vol. 15 Issue 1, p419.
2. Lumley J.F. Drag reduction by additives / J.F. Lumley // J. Fluid Mech. – 1969. – P. 367–384.
3. Toms B.A. Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers / B.A. Toms // In Proceedings of the 1st International Congress on Rheology. V. 2. North Holland, 1949. – P. 135–141.
4. Богдевич В.Г., Кобец Г.Ф. и др. Некоторые вопросы управления пристенными течениями // Журнал прикладной механики и технической физики. № 5, 1980. - стр. 99 – 109.
5. Бубенчиков А.М., Харламов С.Н. «Математические модели неоднородной анизотропной турбулентности во внутренних течениях». Томск: Изд-во ТГУ, 2001. 440 с.
6. Воскобойник В.А., Гринченков В.Т., Макаренко А.П. Снижение гидродинамических шумов растворами высокомолекулярных полимеров // Акустический вестник (Акустичний вісник, укр.), 10, № 2, с. 33-42 (2007).
7. Корнилов В.И. Проблемы снижения турбулентного трения активными и пассивными методами (обзор) // Теплофизика и аэромеханика, 2005, №2, стр.183-208.
8. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. – 7-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
9. Рахматуллин Ш.И. О турбулентном течении слабоконцентрированных растворов полимеров в трубопроводах / Ш.И. Рахматуллин, М.М. Гареев, Д.П. Ким // Нефтегазовое дело. – 2005. – [Электронный журнал]. – Режим доступа: http://www.ogbus.ru/authors/Rahmatullin/Rahmatullin_1.pdf – Загл. с экрана.
10. Тарасов М.Ю., Южаков И.С., Классен В.В. Промысловые исследования антитурбулентных присадок для повышения пропускной способности нефтепроводов, транспортирующих тяжелые нефти/ Нефтяное хозяйство, трубопроводный транспорт нефти: 10/2011, стр.117-119.

**Минералого-петрогеохимические черты мафит-ультрамафитовых массивов
нижнедебинского комплекса Восточного Саяна как критерии их
формационной принадлежности и металлогенической специализации**

Дудко А.А.
tomasstik@yandex.ru

*Научный руководитель: к.г.-м.н., доцент Черкасова Т.Ю., Национальный
исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Введение. Актуальность и необходимость исследований мафит-ультрамафитовых комплексов, являющихся одним из основных источников добычи платиновых металлов, а также концентрирующих в себе широкий спектр полезных ископаемых, главным образом, никеля и меди, определяется необходимостью познания особенностей их структурной и вещественной организации. Тела ультрамафитов