

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 53.043

Абдулрахман Аль-ани

Управление вязкостью нефти электрическим полем
и добавлением наночастиц

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 03
«Нанотехнологии и наноматериалы (в электронике)»

Научный руководитель
Борисенко Виктор Евгеньевич
д.ф.-м.н, профессор

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Поскольку нефть является ресурсом широчайшего использования, её добыча и транспортировка должны быть максимально экологичны и экономичны. Вязкость нефти является ключевым фактором, определяющим энергетические затраты на выкачивание нефти с больших глубин из коллекторов с низкой проницаемостью и её транспортировку по трубопроводам на тысячи километров.

В данной магистерской диссертации проведён обзор литературы, посвященный анализу существующих способов снижения вязкости сырой нефти, в результате которого наиболее перспективными и энергоэффективными показали себя обработка нефти продольным электрическим полем и добавление кварцевых наночастиц. Сформулированы физические основы действия этих методов, на основе которых построены математические модели, связывающие вязкость и турбулентность сырой нефти с электрическим полем и свойствами вводимых наночастиц. На основе математических моделей проведён расчёт, подтверждающий эффективность вышеупомянутых методов.

Для подтверждения эффективности данных методов планируется создать экспериментальный стенд, имитирующий нефтепровод со встроенным конденсатором с перфорированными обкладками. В случае подтверждения эффектов снижения вязкости и подавления турбулентности при подаче импульсов высокого напряжения и введения кварцевых наночастиц, данные подходы могут быть внедрены в нефтетранспортные системы стран СНГ, где ввиду холодной зимы и низкой среднегодовой температуры энергозатраты на транспортировку нефти выше, чем в странах с жарким климатом, а также возможны закупорки при агрегации асфальтенов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель работы:

Разработать математические модели, связывающие вязкость и турбулентность сырой нефти с величиной и временем приложенного электрического поля, а также концентрацией и параметрами вводимых кварцевых наночастиц.

Задачи:

- 1) Проанализировать известные литературные данные о существующих методах снижения вязкости сырой нефти;
- 2) Сформулировать физические основы, приводящие ;
- 3) Разработать математические модели, описывающие эффект данных методов на вязкость и режим течения нефти;
- 4) Провести расчёты и сделать выводы о применимости данных методов для повышения энергоэффективности нефтетранспорта.

Актуальность работы связана с тем, что вязкость нефти является ключевым фактором, определяющим энергетические затраты на выкачивание нефти с больших глубин из коллекторов с низкой проницаемостью и её транспортировку по трубопроводам на тысячи километров.

Вклад соискателя состоит в постановке задач исследований, составлении теоретических моделей взаимодействия электрического поля и наночастиц с сырой нефтью, формировании математических моделей и проведении расчётов, подтверждающих эффективность данных методов снижения вязкости нефти.

Результаты научно-исследовательской работы были представлены и опубликованы в сборниках докладов 56-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (20 мая 2020 г.).

Положение, выносимое на защиту магистерской диссертации

При обработке сырой нефти с объёмной долей асфальтенов 0,5 электрическим полем величиной более 700 В/мм, за время менее 10 мс вязкость обработанной нефти снизится в 2 раза в направлении протока, увеличится в 4 раза в перпендикулярном направлении, что увеличит скорость нефтетранспорта в 2 раза при постоянных энергозатратах и создаст условия для подавления турбулентного режима течения, а при добавлении в неё 1 г коллоидного кварца с удельной площадью 300 м²/г в первом приближении половина асфальтена окажется адсорбированной.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе I магистерской диссертации проведён обзор известной литературы, посвященной нефтетранспорту: описанию состава нефти, её классификации по вязкости, режимам течения в трубопроводах и различным технологиям снижения её вязкости. В частности, самыми популярными методами снижения вязкости являются нагрев и введение некоторых добавок: полимеров, грубого волокна или поверхностно-активных, взвесей твердых частиц, разбавление водой и инъекция газа в турбулентные потоки.

В результате анализа литературных источников выявлены наиболее энергоэффективные методы, к которым относятся обработка магнитным и электрическими полями. Магнитное поле рассматривалось как способ снижения вязкостного сопротивления сырой нефти с относительно высоким содержанием металлических магнитных частиц. Эффект заметен только на некоторых видах сырой нефти на основе парафина и мало влияет на другие. В то же время установлено, что электрическое поле эффективно снижает вязкость тяжёлой сырой нефти с высокой объёмной долей как асфальтенов, так и парафинов. Применение оптимального импульсного электрического поля позволяет значительно снизить вязкость сырой нефти с любым составом на период времени до нескольких часов. С точки зрения добавок, для снижения вязкости перспективным является введение активированных наночастиц. Основными требованиями к наночастицам являются: энергетическая выгода ассоциации с асфальтеном, экономическая целесообразность применения, размер меньше размеров пор в сланцевых кластерах, термическая, химическая и механическая стойкость. Этим требованиям соответствуют наночастицы оксида кремния с характерным размером порядка 10 нм и активированной силанольными группами поверхностью.

Три вышеупомянутых перспективных подхода снижения вязкости нефти не изменяют её температуру. Вместо этого они временно реорганизуют эту коллоидную систему нефть, которой и является сырая нефть. Эффект электрического поля считается более существенным и универсальным, чем магнитного, а его эффект может сочетаться с эффектом наночастиц. Для соблюдения вышеописанных требований предложено провести физико-математическое исследование и описание данных методик.

В главе II сформулированы математические модели, связывающие такие параметры нефтетранспортной системы, как энергопотребление, режим

течения, вязкость сырой нефти, время и величина приложенного электрического поля, концентрация наночастиц асфальтена, параметры и концентрация кварцевых наночастиц. Для формирования математической модели нефть была представлена как суспензия – взвесь наночастиц асфальтена, вязкость которой описывается на основании уравнения Эйнштейна, учитывающей форму частиц, их фактическую и максимальную объёмные доли.

В главе III представлены и проанализированы результаты расчётов, полученные на основе сформулированных в главе 2 математических моделях. В частности, на основе математической модели показано, что для увеличения скорости потока на 30% необходимо увеличить тягу насоса только на 30% в случае ламинарного потока, а при турбулентном режиме течения – на 58,3%, то есть требуется значительно больше мощности при том же результате. Подавить турбулентность позволяет обработка нефти электрическим полем, связывающим свободные частицы асфальтена в вытянутые вдоль направления течения высокомолекулярные цепочки. Такая перестройка приводит к анизотропности вязкости нефти. Показано, что в направлении, перпендикулярном потоку, вязкость нефти может быть увеличена в 4 раза, при этом вдоль протока – снижена в 2 раза (рисунок 1). Это создаёт единственное энергетически выгодное направление движения высокомолекулярных агрегатов асфальтена в нефтепроводе: вдоль направления протока вязкость оказывается в 8 раз меньшей, чем в перпендикулярном, что полностью подавляет завихрения потока и, таким образом, турбулентный режим течения. При этом необходимое время обработки – всего 10 мс при напряженности электрического поля в 700 В/мм (рисунок 2).

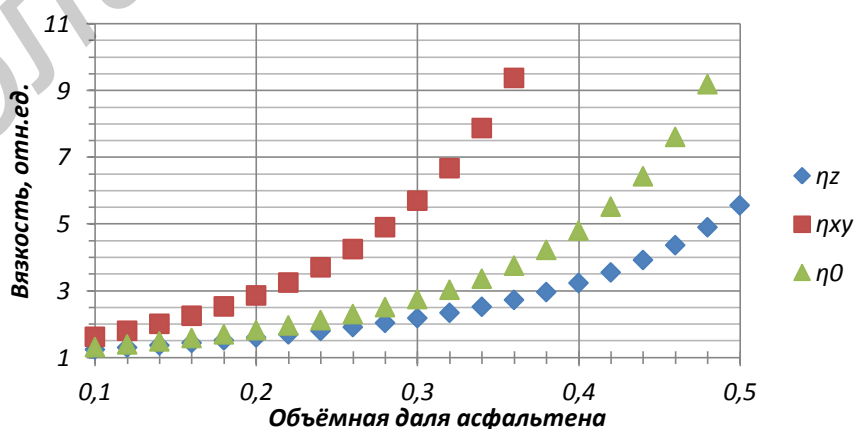


Рисунок 1 – Продольная и поперечная вязкости сырой нефти после обработки электрическим полем при различных объёмных долях асфальтена

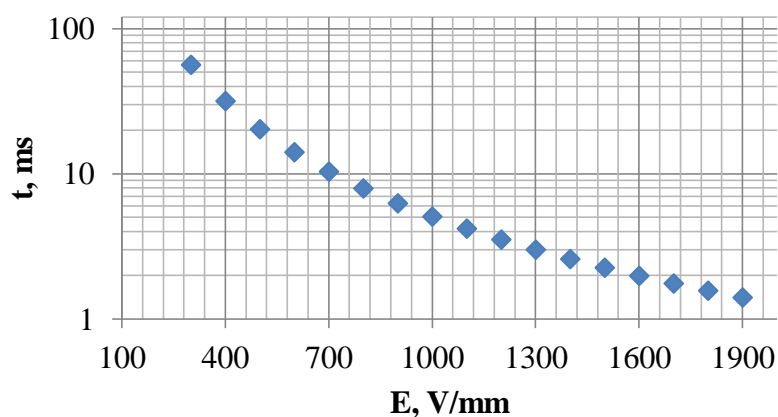


Рисунок 2 – Время обработки, необходимое для полной агрегации частиц асфальтена в сырой нефти, при изменении напряженности электрического поля

При введении кварцевых наночастиц ожидается адсорбция асфальтенов на их поверхности ввиду большей энергии связи асфальтенов с силанольными группами на поверхности наночастиц, чем между собой. В этом предположении расчёты показывают, что при определённой концентрации наночастиц кварца асфальтен может быть полностью адсорбирован на их поверхности. Эффект усиливается при увеличении доступной поверхности адсорбента, а удельная площадь поверхности на грамм наночастиц экспоненциально растёт в диапазоне десятков нанометров при снижении их размера.

На основании полученных результатов установлено, что описанные методы снижения вязкости нефти являются эффективными с точки зрения энергозатрат и результата. Математические модели необходимо подтвердить экспериментально. Также экспериментально планируется исследовать синергичность их совместного использования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, существующие методы снижения сопротивления транспортировки сырой нефти не столь эффективны с точки зрения соотношения энергозатрат и результата. Например, нагрев сырой нефти снижает вязкость, но увеличивает турбулентность течения, то есть общий КПД энергопотребления невелик. Существуют новые подходы, основанные на обработке нефти электрическим полем и применении нанотехнологий. В данной работе предложена математическая модель, основанная на рассмотрении сырой нефти как суспензии наночастиц с различной диэлектрической проницаемостью и размером. В качестве примера представлены результаты расчётов для частиц асфальтена.

Так, наложение электрического поля на нефть приводит к агрегации наночастиц асфальтена в короткие цепочки, что снижает вязкость нефти и одновременно полностью подавляет турбулентность. Добавление наночастиц кварца приводит к предотвращению самопроизвольной агрегации асфальтенов в высоковязкие дендритоподобные структуры и снижению общей концентрации свободного асфальтена за счёт его адсорбции. Эта теория была подтверждена расчетами.

На основании модели было установлено:

1. Электрическое поле является эффективным методом снижения вязкости сырой нефти. Согласно модели, для нефти с объемной долей асфальтена 0,5 снижение вязкости составляет 51,1%. Вязкость для реализации турбулентного режима течения, напротив, может быть увеличена на 300%, что полностью подавляет этот тип течения.

2. После обработки электрическим полем, скорость потока в трубопроводах нефти с объемной долей асфальтена 0,5 в 2 раза больше, чем без обработки, при том же энергопотреблении. Таким образом, обработка электрическим полем способна повысить энергоэффективность транспортировки высоковязких нефтей.

3. Для достижения вышеупомянутого снижения вязкости, согласно расчетам время обработки составляет менее 10 мс, при приложении электрического поля 700 В/мм. Этого достаточно для агрегации наночастиц асфальтена в вытянутые высокомолекулярные цепочки.

4. Наночастицы уменьшают сопротивление на единицы процентов, но могут адсорбировать значительную часть асфальтена и подавлять его спонтанную агрегацию, позволяя электрическому полю создавать гладкие короткие цепи и сохранять эффект уменьшения сопротивления

электрического поля в течение более длительного времени после обработки. Чтобы обеспечить полную адсорбцию, концентрация $n\text{SiO}_2$ должна быть выше, чем концентрация асфальтена, но это не целесообразно с практической точки зрения. Реальный эффект наночастиц должен быть оценен экспериментально.

Таким образом, эффективность технологии снижения вязкостного сопротивления нефти, основанной на добавлении наночастиц кварца и обработке электрическим полем, теоретически подтверждена предложенными моделями. В будущем необходимо реализовать конструкцию нефтепровода с включением в него перворированных конденсаторов, провести эксперименты сравнить их результаты с результатами расчётов.

При этом планируется провести измерение вязкостного сопротивления нефти до и после включения электрического поля конденсатора, измерить длительность эффекта уменьшения вязкости, после чего добавить наночастицы кварца в образец нефти и повторить измерения с последующим сравнительным анализом

Список публикаций автора

[1-А.] Аль-ани, А.А.А. Влияние наночастиц на вязкость сырой нефти / А. А. А. Аль-ани, Г. Г. Рабатуев // материалы 56-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 20 мая 2020 г., БГУИР, Минск, Беларусь: тезисы докладов. – Мн. – 2020. – С. 59.

[2-А.] Аль-ани, А.А.А. Влияние электрического поля на текучесть сырой нефти в трубопроводе / А. А. А. Аль-ани, Г. Г. Рабатуев // материалы 56-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 20 мая 2020 г., БГУИР, Минск, Беларусь: тезисы докладов. – Мн. – 2020. - С. 57-58.