

Некоторые пути повышения производительности трубопроводного транспорта тяжёлой нефти

Нефть и газ

Алиев С.Т.

SOCAR Midstream Operations LLC

E-mail: S.T.Aliyev@gmail.com

Рассмотрены некоторые способы и технологии, позволяющие увеличить производительность трубопроводного транспорта высоковязкой нефти. На основе лабораторных исследований тяжёлой нефти с Азербайджанских месторождений была изучена эффективность рассмотренных методов перекачки тяжёлой нефти. Кроме того, в результате проведенных экспериментов был описан механизм комплексного применения кавитационного процесса и химических реагентов для снижения вязкости.

Ключевые слова: трубопроводный транспорт, кинематическая вязкость, эмульсия, кавитация, тяжелая нефть, углеводороды.

Введение

Как известно, мировой спрос на нефть в последние два десятилетия увеличивается. Только в последней четверти 20-го века, зарегистрировано увеличение примерно на 1% в год. Международные исследования также прогнозируют, что в ближайшие 20 лет, по крайней мере, 80% мировой потребности в энергии будет обеспечиваться нефтью, природным газом и углем [1].

Поэтому, несмотря на усилия по развитию альтернативных источников энергии, углеводороды будут продолжать играть ведущую роль в удовлетворении мирового спроса на энергию [2].

Однако ускоренная разработка месторождений обычной светлой нефти привела к истощению запасов этих ресурсов. Вследствие этого нефтяные компании для удовлетворения растущего спроса, направили свои усилия на производство тяжелой и сверхтяжелой нефти из пластов типа природного битума или нефтеносных песков. По последним оценкам исследователей, доля тяжёлой и сверхтяжёлой нефти составляет около 70% от общих мировых запасов нефти [3].

В свою очередь, тяжёлые и сверхтяжёлые нефти исторически были менее ценными по причине того, что их высокая вязкость и сложный состав создавали трудности во всех этапах производства, преодоление которых требовало больших затрат [4].

Постановка задачи

Добыча тяжёлой нефти осложняется тем, что при нормальных условиях пласта они имеют очень высокую вязкость и не могут перетекать в эксплуатационные скважины, вследствие чего для увеличения отдачи пласта прибегают к вторичным более трудоёмким методам добычи, один из которых заключается в нагнетании воды в пласт [5]. Также высокая вязкость уменьшает эффективность технологий подготовки нефти к транспорту по причине того, что изначально все они были рассчитаны на операции с лёгкой нефтью.

С другой стороны, перекачка тяжелой нефти тоже затрудняется, так как с увеличе-

нием вязкости возрастают потери давления по длине трубопровода, а это в свою очередь приводит к повышению затрат на оборудования и эксплуатацию. Как правило, при условиях окружающей среды которые близки к условиям трубопроводного транспорта, консистенция тяжёлой нефти варьируется от пасты до твердого вещества с вязкостью от 10^2 сП до более 10^5 сП, при том что максимально желаемая вязкость сырой нефти для перекачки составляет меньше 400 сП [6]. В завершении, когда тяжёлая нефть доходит до нефтеперерабатывающих заводов, то и здесь всплывает необходимость дополнительных затрат, так как они выходят за рамки ограничений каталитического крекинга.

Как известно, на вязкость нефти влияют такие факторы, как температура, состав нефти, присутствие эмульсий типа вода в нефти (В/Н), высокая концентрация фракций парафина, асфальтена и смол.

Учитывая нынешний спрос на тяжелую и сверхтяжелую нефть, преодоление вышеперечисленных проблем на современном этапе требует экономически выгодных технологических достижений. Поэтому было проведено большое количество различных исследований для изучения снижения вязкости тяжелой и сверхтяжелой нефти с целью улучшения их проходимости по трубопроводам.

Решение задачи

Ниже рассматриваются некоторые способы и технологии, позволяющие повысить эффективность трубопроводного транспорта высоковязкой нефти.

Нагревание производственных линий или самой нефти. Нагревание является одним из давних методов снижения вязкости тяжёлой нефти при различных транспортных операциях. Данный метод основывается на том, что вязкость нефти уменьшается с ростом температуры тем самым облегчая ее перекачку. Поэтому необходимо нагревать нефть до температуры, при которой вязкость снижается до значений, удовлетворяющих требования того или иного технологического процесса. При трубопроводном транспорте принцип данного решения заключается в том, чтобы сохранить высокую температуру нефти по всему маршруту трассы. Это обеспечивается прокладкой изоляционных труб, уменьшающих теплообмен между окружающей средой и транспортируемой жидкостью. Однако при перекачке на большие расстояния увеличиваются потери тепла, в связи с чем возникает необходимость попутного подогрева. Подогрев осуществляется с помощью отдельных нагревательных станций или через прямые нагреватели, установленные на промежуточных насосных станциях.

Недостатком снижения вязкости нефти с помощью подогрева являются большие затраты при транспортировке на дальние расстояния. Поэтому целесообразнее применять подогрев в сочетании с другими методами снижения вязкости тяжёлой нефти.

Разбавление легкой нефтью или спиртом. На сегодняшний день разбавление является одним из наиболее популярных методов снижения вязкости тяжелой нефти. Этот метод представляет собой смешивание более легких жидких углеводородов с тяжелой нефтью для улучшения её реологических характеристик при перекачке по трубопроводам. При подготовке нефти для трубопроводного транспорта пропорция легкой нефти в роли растворителя часто составляет 20-30% и это является достаточным, чтобы избежать перепадов давления или необходимости высоких температур. Данный метод также используется для изменения качественных показателей тяжёлой нефти и может способствовать её обезвоживанию и обессоливанию.

Спирты также изучаются в качестве растворителей, особенно пентанол, который гораздо более эффективен в снижении вязкости тяжелой нефти благодаря взаимодействиям, создаваемым водородными связями гидроксильных групп с асфальтенами. Высокая полярность или высокая степень водородной связи растворителя приводит к большему снижению вязкости сырой нефти. Однако растворители со многими водородными связями обычно являются более вязкими, чем углеводороды. Только полярные растворители с небольшим количеством водородных связей вызывают значительное снижение вязкости сырой нефти [7].

Уменьшение вязкости нефти с помощью разбавления в некоторых случаях может потребовать больших инвестиций в насосное и трубопроводное оборудование из-за уве-

личенного перевозимого объема, а также необходимость отделения растворителя от нефти на конечном пункте.

Кроме того, вариант разбавления сталкивается с некоторыми проблемами, поскольку любое изменение состава нефти может повлиять на необходимое соотношение нефть/растворитель [8].

Несмотря на перечисленные сложности, нафтен или легкая нефть являются интересными альтернативами из-за их высокой API и их эффективности при разбавлении тяжелой нефти.

С целью изучения влияния процентной доли легкой нефти на вязкость смеси были проведены лабораторные исследования с образцами нефти взятой с Азербайджанского месторождения "Калмаз", вязкость которой составляла 9500 сП при 20°C. Серия экспериментов включала механическое смешивание тяжелой нефти с образцом легкой нефти имеющего вязкость 270 сП при 20°C. В результате разбавления вязкость снизилась до 1500 сП для смеси с 10% легкой нефти и до 560 сП для смеси с 20% легкой нефти (что в свою очередь в 17 раз ниже, чем вязкость чистой тяжелой нефти). Проведенные испытания ещё раз показывают возможность многократного снижения вязкости тяжелой нефти при помощи её разбавления с легкой нефтью, чтобы обеспечить её транспортировку по трубопроводам. Однако если учесть тот факт, что тяжелые нефти богаты содержанием асфальтенов, смол и парафинов, то смешивание нефти может изменить их стабильность. Это связано с тем, что при изменении соотношения между асфальтенами, смолами и парафином последняя может перейти в ленточную структуру, которая приведет к осаждению на внутренней поверхности трубы, тем самым блокируя её. Учитывая данный факт, применение метода разбавления для снижения вязкости требует тщательного изучения тяжелой и легкой нефти, участвующих в процессе.

Образование тяжелых нефтяных эмульсий в воде (Н/В). Одним из методов перекачки тяжелой и сверхтяжелой нефти является перекачка в виде нефтяных эмульсий, так как можно добиться снижения вязкости тяжелой нефти при смешивании ее с водой, то есть при образовании нефтяных эмульсий в воде. Водонефтяные эмульсии могут быть получены с высоким процентным содержанием нефти, достаточным для того, чтобы сделать процесс экономически привлекательным, особенно потому, что разбавитель (вода) является недорогим. Вязкость этих эмульсий намного ниже, чем у сырой нефти и относительно не зависит от типа используемой нефти [8].

В настоящее время в целом по Азербайджану, а в частности, на месторождении "Мурадханлы" основная часть добываемой продукции в системах сбора перекачивается с исходной обводненностью 20-80%. В связи с чем в последние годы было проведено большое количество работ, посвященных исследованиям процессов деэмульгирования нефтей. Однако, относительно малое число исследований было посвящено изучению реологических и гидравлических характеристик потока водонефтяных эмульсий, в зависимости от содержания и состава водной фазы в широком температурном диапазоне. Эти исследования являются необходимыми для выбора оптимальных режимов трубопроводного транспорта тяжелой и сверхтяжелой нефти [9].

Для достижения поставленных целей, на основе анализа полученных данных ротавискозиметрических исследований нефти с различной обводненностью, взятой с месторождения "Мурадханлы", было изучено влияние степени обводненности на вязкость водонефтяных эмульсий. Для исследований была взята нефть с начальной обводненностью 27%, плотностью 923 кг/м³ и кинематической вязкостью 0,00024 м²/с, при температуре 20 °C. На основе данной нефти, в лабораторных условиях путем механического смешивания с технической водой, были получены искусственные водонефтяные эмульсии с обводненностью 40, 50, 60, 70 и 75%. В результате испытаний было выявлено, что самое низкое значение вязкости смеси, которая является основным фактором, влияющим на потери давления при перекачке, получается при 40% обводненности. А это в свою очередь показывает, что влияние степени обводненности на вязкость водонефтяных эмульсий значительно велико и с целью снижения энергозатрат их учет необходим.

Применение кавитации. В результате исследований последних лет была выявлена возможность применения кавитации для снижения вязкости аномальной нефти с высоким

содержанием тяжёлых углеводородов (асфальтены, смолы и парафины), которые имеют высокую температуру застывания [10].

Как известно, кавитация возникает в кранах, вентилях, задвижках, жиклерах, насосах и гидротурбинах, когда давление падает до значения, равного давлению насыщенных паров жидкости. Явление кавитации сопровождается возникновением и схлопыванием пузырьков за очень короткое время (менее 1 мкс), при котором температура достигает несколько тысяч градусов Цельсия и развивается давление более 1000 атм [11].

Снижение вязкости нефти во время кавитации происходит в результате разрыва химических связей между атомами больших молекул углеводородных соединений за счет высокоамплитудных колебаний в жидкости, вызванных схлопыванием пузырьков, обладающих высокой скоростью [12]. Образование и схлопывание кавитационных пузырьков в нефти напоминает некоторого рода множество микрореакторов, где под действием экстремальных физико-химических условий протекает крекинг (рис.1).

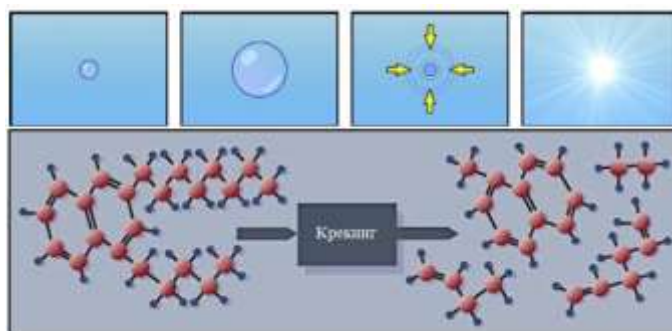


Рис.1. Реакция крекинга в результате кавитации

С другой стороны, образовавшиеся в результате крекинга свободные радикалы углеводорода могут соединиться под воздействием кавитационных микропотоков, тем самым создавая более крупные соединения. Об этом свидетельствуют результаты проведенных исследований изменения кинематической вязкости аномальной нефти с Азербайджанских месторождений Булла-Дениз и Шыхбаги в зависимости от времени кавитационной обработки (Таблица).

Эксперименты проводились на устройстве гидродинамического кавитационного воздействия, установленного на линии трубопровода, который представляет собой полый цилиндрический корпус переменного сечения, включающий плавное сужение, обеспечивающее возникновение кавитации. Рабочая часть гидродинамической трубы служит для получения высоких скоростей потока за счет геометрии системы, при которых давление падает до значения давления насыщенных паров.

Таблица. Изменение кинематической вязкости тяжёлой нефти с Азербайджанских месторождений Булла-Дениз и Шыхбаги в зависимости от времени кавитационной обработки.

Нефть с месторождения Булла-Дениз		Нефть с месторождения Шыхбаги	
Время кавитационной обработки, мин	Кинематическая вязкость при 20°C, сСт	Время кавитационной обработки, мин	Кинематическая вязкость при 20°C, сСт
0	11.21	0	32.53
0.1	10.62	0.25	32.75
0.25	10.21	0.5	32.05
0.4	10.52	0.75	28.88
0.5	11.09	1	27.12
0.6	11.21	1.25	28.79
0.75	11.14	1.5	32.82
0.9	11.18	1.75	33.42
1	11.09	2	33.52

Как видно из таблицы, при прохождении через кавитационную зону реологические свойства аномальной нефти улучшаются. А именно, вязкость тяжелой нефти под влияни-

ем кавитации уменьшается до достижения определенного значения, после которой начинает возрастать несмотря на продолжение кавитационного воздействия. Также следует отметить, что оптимальное время кавитационного воздействия при котором достигается минимальная вязкость, меняется в зависимости от типа и состава нефти.

Учитывая тот факт, что распад больших молекул нефти на свободные радикалы в результате кавитации создает хорошие условия для протекания различного рода реакций, были проведены дальнейшие исследования комплексного влияния реагента для снижения вязкости нефти с одновременным применением кавитации. В качестве химического реагента был использован бутилацетат, который добавлялся к нефти в 2% массовой доле с последующим перемешиванием. Изменение вязкости нефти с месторождений Булла-дениз (рис.2) и Шыхбаги (рис.3) в зависимости от времени под влиянием химического реагента измерялось как без применения кавитации, так и с его применением.

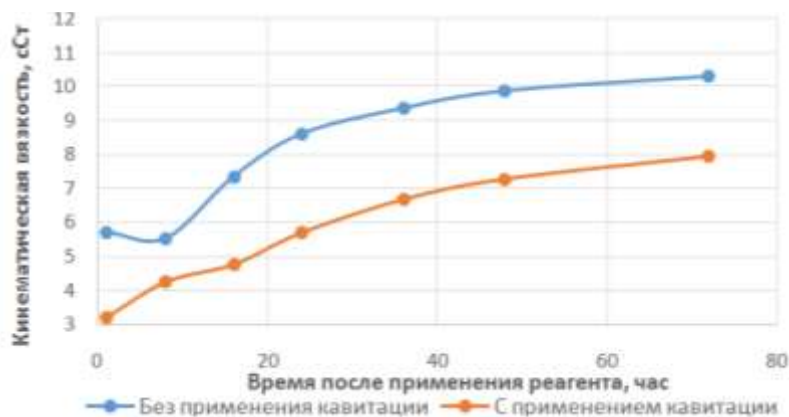


Рис. 2. Изменение кинематической вязкости нефти с месторождения Булла-дениз в зависимости от времени под влиянием химического реагента и кавитации



Рис.3. Изменение кинематической вязкости нефти с месторождения Шыхбаги в зависимости от времени под влиянием химического реагента и кавитации

Заключение

На основании сделанных опытов и изучения влияния кавитации на нефть можно сделать заключение, что при комплексном применении химического реагента и кавитации можно добиться большего эффекта чем при применении их по отдельности. Роль кавитации заключается в том, что она позволяет реагенту более эффективно воздействовать на групповые компоненты нефти за счет уменьшения их размеров и увеличения площади контакта. А реагент, в свою очередь, препятствует восстановлению межмолекулярных связей и образованию тяжёлых молекул в нефти после обработки, за счет чего достигается больший эффект снижения вязкости.

Из этого следует, что на основании кавитационных процессов можно установить общие закономерности регулирования реологических свойств нефти для использования в технологии трубопроводного транспорта.

Литература

1. Martinez-Palou R., Mosqueira M.L. Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review. // Journal Petroleum Science Engineering. – 2011. – Vol.75 (3-4). – Pp.274-282.
2. Saniere A., Henauti I., Argillier J.F. Pipeline transportation of heavy oils, a strategic, economic and technological challenge. // Oil & gas science and technology. – 2004. – Vol.59(5). – Pp.455-466.
3. Dusseault M.B., Shafiei A. Oil sands. Countries OotPE. / World oil outlook. – 2011.
4. Kelesoglus S., Pettersen B.H., Sjoblom J. Flow properties of water-in-North Sea heavy crude oil emulsions. // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2012. – Vol.100. – Pp.14-23.
5. Юшков И.Р., Цветков Г.А. Интенсификация добычи высоковязкой нефти Опалихинского месторождения. // Вестник Пермского университета. Геология. – 2017. – Vol.16, №1. – Pp.84-90.
6. Santos I., Oliveira P., Mansur Claudia. Factors that affect crude oil viscosity and techniques to reduce it: a review. // Brazilian Journal of Petroleum and Gas. – 2017. – Vol.11. – Pp.115-130.
7. Plasencia J., Pettersen B., Nydal O.J. Pipe flow of water-in-crude oil emulsions: Effective viscosity, inversion point and droplet size distribution. // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2013. – Vol.101. – Pp.35-45.
8. Hasan S.W., Ghannam M.T., Esmail N. Heavy crude oil viscosity reduction and rheology for pipeline transportation. // Fuel. – 2010. – Vol.89(5). – Pp.1095-1100.
9. Исмайылов Г.Г., Сафаров Н.М., Гасанов Х.И., Алиев С.Т. О влиянии степени обводненности на гидравлические характеристики потока водонефтяных эмульсий. // ARDNŞ “Neftqazemitədqiqatlayihə” İnstitutunun Elmi əsərlər toplusu. – 2011, № 4. – Səh.62-66.
10. Иванова Л.В., Буров Е.А., Кошелев В.Н. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения. // Нефтегазовое дело. – 2011, №1. – С.268-290.
11. Нуруллаев В.Х., Алиев С.Т. О влиянии кавитации на образование асфальтосмолопарафиновых отложений в трубопроводах. // Вестник Азербайджанской инженерной академии. – 2013, № 4. – С.66-72.
12. Газыев М.Ш., Нуруллаев В.Х., Алиев С.Т. О влиянии кавитации на реологические свойства нефти при трубопроводном транспорте. // Azərbaycan neft təsərrüfatı. – 2012, № 07-08. – Səh.50-54.

Xülasə

Əliyev S.T.

Ağır neftin boru kəməri ilə nəqliinin səmərəliliyinin artırılmasının bəzi yolları

Yüksək özlülü neftin boru kəməri ilə nəqliyyatının səmərəliliyinin artırılması məqsədilə bəzi üsul və texnologiyalara baxılmışdır. Azərbaycan yataqlarında ağır neftlərin laborator tədqiqatı əsasında bu növ neftlərin ötürülməsi üçün qeyd edilən üsulların səmərəliliyi öyrənilmişdir. Bundan əlavə, aparılmış təcrübələr nəticəsində özlülüynün azaldılması məqsədilə kavitasiya prosesi və kimyəvi reagentlərin kompleks şəklində tətbiqi mexanizmi təsvir edilmişdir.

Açar sözlər: boru kəməri nəqliyyatı, kinematik özlülük, emulsiya, kavitasiya, ağır neftlər, karbohidrogenlər.

Summary

Aliyev S.T.

Some ways to increase the heavy oil pipeline transportation performance

Some methods and technologies, allowing to increase the effectiveness of heavy oil pipeline transportation, have been considered. On the base of the laboratory researches of the heavy oils from Azerbaijan fields the efficiency of mentioned methods of heavy oil pumping has been studied. As a result of conducted experiments, the mechanism of complex application of the cavitation process and chemical reagents to reduce viscosity has been described.

Key words: pipeline transportation, kinematic viscosity, emulsion, cavitation, heavy oil, hydrocarbons.