

С.В. Чичканов, А.И. Шамсуллин, В.А. Мягченков
Казанский государственный технологический университет, Казань
mjagchenkov@mail.ru

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПРИСАДОК И СКОРОСТИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ ПРЯМЫХ НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ НА ВЕЛИЧИНУ ЭФФЕКТА ТОМСА

Проведена сопоставительная оценка эффективности двух водорастворимых полимерных присадок в качестве агентов, снижающих гидравлическое сопротивление турбулентного потока прямых нефтяных эмульсий. Проанализировано влияние на величину эффекта Томса концентрации полимерной присадки, скорости потока и содержания дисперсной фазы в эмульсии.

Постоянно растущие объёмы добычи и переработки углеводородного сырья (нефти, газа и других полезных ископаемых) требуют повсеместного внедрения новейших наукоёмких технологий. На сегодняшний день в разработку вовлекается всё больше месторождений тяжёлой нефти с осложнёнными геологическими условиями. В связи с этим помимо решения проблем, связанных с добычей такой нефти, остро встают вопросы разработки доступных и дешёвых технологий, позволяющих уменьшить затраты на транспортировку нефти до установок комплексной подготовки нефти. В большинстве случаев добываемые из скважины нефтесодержащие дисперсные системы являются эмульсиями второго рода (вода в нефти) (Тронов, 2000). Это обстоятельство является дополнительным осложняющим фактором, так как вязкость нефтяной эмульсии во много раз превышает вязкость самой нефти (Сюняев и др., 1990). Естественно, что транспортировка таких нефтесодержащих эмульсий сопряжена с огромными трудностями, особенно при пониженных температурах.

В последнее время в связи с постоянным повышением обводнённости добываемой нефти всё чаще встречаются эмульсии первого рода (нефть в воде). Высокоскоростная транспортировка таких эмульсий по трубопроводам также связана с большими энергозатратами из-за наличия высокого гидравлического сопротивления в турбулентном потоке. Один из наиболее перспективных и доступных методов снижения гидравлического сопротивления основан на введении в поток прямой нефтяной эмульсии небольших добавок водорастворимых полимеров высокой молекулярной массы (эффект Томса) (Порайко, 1974; Николаев и др., 1979). Введение полимерной присадки способствует увеличению скорости транспортировки обводнённой нефти или снижению нагрузки на приводы перекачивающих насосов при поддержании того же значения расхода.

В данной работе проведена сопоставительная оценка эффективности двух водорастворимых полимерных присадок в качестве агентов, снижающих гидравлическое сопротивление турбулентного потока прямых нефтяных эмульсий. Нами также проанализировано влияние концентрации полимерной присадки, скорости потока и содержания дисперсной фазы в эмульсии, поскольку в реальных процессах транспортировки нефтесодержащего сырья по внутрипромысловым и межколлекторным трубопроводам соотношение фаз в эмульсии и давление, при котором эмульсия прокачивается, могут изменяться в широких пределах (Брезицкий и др., 2002).

В качестве полимерных присадок в работе использовали анионный сополимер акриламида (А) марки DP9-8177 (Ciba Speciality Chemicals, Великобритания) с молекулярной массой $M=8 \cdot 10^6$ и содержанием акрилатных групп 7% масс. и натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (НКМЦ) с молекулярной массой $M=1,4 \cdot 10^5$. В экспериментах в качестве «базисной» использовали нефть Новошешминского месторождения с кинематической вязкостью 210 сСт и плотностью 910 кг/м³. Для получения более стабильных и высокодисперсных устойчивых прямых эмульсий «базисную» нефть разбавляли керосином (ТУ 3840158-10-90) в объёмном соотношении 3:1, после чего вязкость нефти снижалась до 25,3 сСт, а плотность – до 880 кг/м³.

Для получения стабильных прямых эмульсий нефти расчётные дозировки разбавленной нефти, стабилизатора – анионного ПАВ марки «Сульфенол (2 % об. от нефти) и дистиллированной воды перемешивали на магнитной мешалке для получения первичной эмульсии. Полученную эмульсию подвергали дополнительной обработке в ультразвуковом поле частотой 22 кГц в течение 15 минут на приборе УЗДН-1. Такой способ приготовления прямых эмульсий гарантировал их высокую агрегативную и седиментационную устойчивость. Размеры частиц эмульсии по данным оптической микроскопии не превышали 1,5–2 мкм.

Турбулентное течение прямых эмульсий нефти в присутствии полимерных присадок изучали на модифицированном нами турбулентном реометре с диаметром капилляра $1,83 \cdot 10^{-3}$ м и длиной 0,6 м, схема которого представлена на рис. 1. В стальной толстостенный резервуар 6 ёмкостью 350 см³ заливали 300 см³ исследуемой жидкости. Посредством газового баллона 1 с помощью редуктора 3 в ресиверах 5 создавали избыточное давление, контролируемое манометром 4. В заданный момент времени включался электропривод 8, который в свою очередь открывал клапан 7. Жидкость через капилляр 9 под давлением перетекала из резервуара 6 в приёмник 10. Через определённое время (2с) клапан автоматически закрывался. Количество вытек-

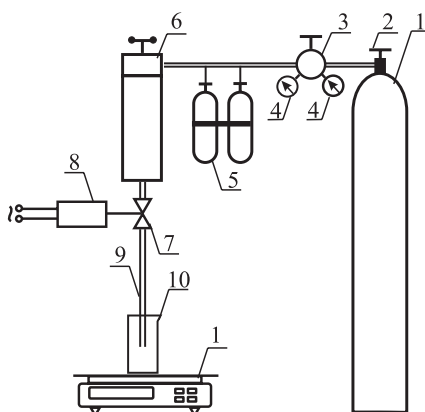


Рис. 1. Схема установки по изучению эффекта Томса.

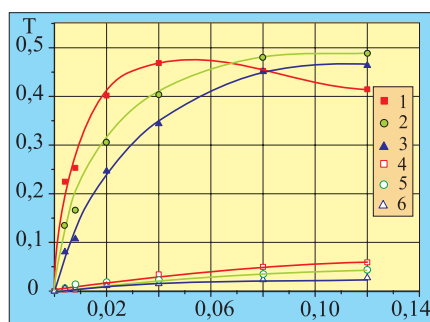


Рис. 2. Зависимость эффекта Томса от концентрации полимеров А и НКМЦ в 10 % прямых эмульсиях нефти при различных давлениях Р. 1-3 – сополимер А, 4-6 – полимер НКМЦ. Р, атм: 5 (1, 4); 10 (2, 5); 15 (3, 6).

шей из резервуара 6 жидкости фиксировали с помощью одноплечных электронных весов A&D (Япония).

Величину эффекта Томса подсчитывали по формуле (Мягченков и др., 2002; Mjagchenkov et al., 2002):

$$T = \frac{m - m_0}{m_0},$$

где m_0 и m – массовые расходы эмульсий, соответственно, без добавки и с добавкой полимера.

Для получения наглядной информации о реологических характеристиках эмульсий в присутствии полимерных присадок в таблице 1 представлены обобщённые данные для одной из них – 10 % прямой эмульсии нефти.

На рис. 2 на примере 10 % эмульсии представлены концентрационные зависимости эффекта Томса для гибкоцепного сополимера А и жёсткоцепного полимера НКМЦ при различных давлениях в реометре. Из рис. 2 можно сделать вывод о высокой эффективности сополимера А в качестве «гасителя» турбулентности потока ($T \sim 0,3 - 0,5$), которая на порядок выше по сравнению с другим полимером – НКМЦ. Ранее нами уже проводился анализ влияния химической природы водорастворимых (со)полимеров на величину эффекта Томса как в водных средах, так и в прямых эмульсиях нефти (Мягченков и др., 2002; 2004). Поэтому более подробно остановимся на рассмотрении вида кривых $T = f(C)$ для гибкоцепного сополимера А. На этой зависимости наблюдается отчётливая тенденция «запределения» величины эффекта Томса, а при давлении 5 атм даже небольшое снижение значений T в области концентраций выше $0,04 - 0,05$ кг/м³. Наиболее вероятная причина наблюдаемого в эксперименте характера зависимости $T = f(C)$ для нефтяных эмульсий (аналогичная зависимость имеет место и в водных средах (Mjagchenkov et al., 2002; Мягченков и др., 2003а)) связана с появлением вблизи внутренней поверхности капилляра особой, пристеночной зоны потока, в которой концентрация полимера, достигнув определённого значения $C_{\text{огт}}$, остаётся постоянной. Дальнейшее увеличение валовой концентрации полимерной присадки в системе не приводит к росту концентрации в этой зоне, а сопровождается лишь увеличением динамической вязкости дисперсионной среды (см. табл. 1), что, в конечном итоге, приводит к стабилизации величины параметра T и даже к его уменьшению.

Помимо концентрации полимерной присадки и давления в резервуаре реометра (отметим, что сдвиговое напряжение пропорционально давлению) для прямых эмульсий нефти интересно проследить также влияние содержания дисперсной фазы (нефти) на величину параметра T . По данным рис. 3 можно отметить слабую зависимость эффекта Томса от содержания нефти в эмульсии. Некоторое падение величины параметра T наблюдается лишь при относительно высоком содержании нефти в эмульсии (15 % об.).

Наблюдаемое в эксперименте снижение величины эффекта Томса с увеличением P можно было попытаться связать с частичной механодеструкцией макромолекул полимерной присадки в процессе турбулентного течения потока по капилляру (Николаев и др., 1979). Однако, по данным вискозиметрии в серии специально поставленных экспериментов на примере водных растворов сополимера А различных концентраций было установлено, что при течении этих растворов под давлением 5, 10 и 15 атм в них не наблюдалось заметных уменьшений чисел вязкости и молекулярной массы у макромолекул полимерной присадки. Ввиду того, что характер зависимости T от P для чисто водных сред и для эмульсий с различным содержанием нефти практически идентичен (Рис. 3), можно заключить, что установленная в ходе экспериментов зависимость $T = f(P)$ напрямую не связана с гетерофазностью системы.

Одна из возможных причин снижения величины эффекта Томса с увеличением P могла быть связана с изменением характеристик самой эмульсии нефти в процессе турбулентного течения в капилляре реометра. В связи с вышесказанным нами были проведены вискозиметрические исследования эмульсий в присутствии полимерной присадки до и после прокачки через капилляр под различными давлениями и подсчитаны значения кинематических вязкостей эмульсий с добавками полимера до (v_0) и после (v_x) прокачки через капилляр.

На рис. 4 на примере 10 % эмульсии при различных P показана концентрационная зависимость относительного безразмерного параметра v_x/v_0 для полимера А. Сравнительно небольшое уменьшение кинематической вязкости в процессе течения жидкостей обусловлено, скорее всего, изменениями формы и размеров макромолекул полимерной присадки, а также перестройкой структурных элементов частиц дисперсной фазы ввиду появления больших по величине градиентов скорости в турбулентных потоках прямых эмульсий нефти.

Не исключено, что в относительно концентрированных эмульсиях нефти определённую роль играют процессы, связанные с адсорбцией макромолекул полимера на частицах дисперсной фазы (Мягченков и др., 2003б). Для подтверждения этого нами проведены эксперименты по оценке величины адсорбции полимера на частицах дисперсной фазы α , которая оценивалась по разнице концентраций полимера в водной фазе эмульсии до и после контакта полимера с частицами дисперсной фазы аналогично (Мягченков и др., 2004). По данным экспериментов $\alpha \sim 0,08$ мг/г нефти, что в 3 – 4 раза выше по сравнению с величинами адсорбции для анионных (со)полимеров ак-

Рис. 3. Зависимость эффекта Томса от содержания нефти в эмульсии (концентрация полимерной присадки в эмульсии 0,004 %).

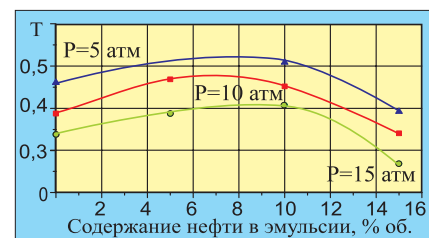
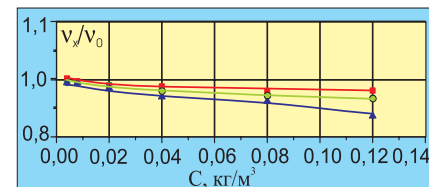


Рис. 4. Зависимость параметра v_x/v_0 от концентрации полимерной присадки А в 10 % эмульсии после прокачки при различных давлениях.



Л.М. Петрова, Т.Р. Фосс, Н.А. Аббакумова, Г.В. Романов
Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН, Казань
Petrova@iopc.knc.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА ОСТАТОЧНЫХ НЕФТЕЙ

Для изучения закономерностей формирования состава остаточных нефтей под действием различных техногенных процессов являются информативными данные массового распределения фракций легких и тяжелых *n*-алканов C₁₃-C₁₅ и C₂₅-C₂₇, соответственно. Если основные изменения в составе нефти связаны с адсорбционно-хроматографическим процессом, то в составе алканов сохраняется обратно пропорциональная зависимость распределения фракций легких и тяжелых гомологов. При биохимическом окислении и отложении в пласте твердых парафинов закономерность их распределения нарушается.

При изучении физико-химических процессов извлечения нефти из пласта исходят из того, что нефть рассматривают как некое физическое тело с усредненными параметрами, взаимодействующее с породой, и именно характеристики породы определяют коэффициент нефтеотдачи пласта (проницаемость, пористость, неоднородность капилляров, удельная поверхность, смачиваемость и т.д.). В начальный период разработки залежи, когда нефть представляет собой молекулярный раствор, это является оправданным.

риламида с более высоким содержанием ионогенных групп (Чичканов и др., 2003) хотя и намного ниже значений α для аналогичных по составу сополимеров акриламида при адсорбции их на модельных твердых адсорбентах типа охры и каолина (Мягченков и др., 1998).

В заключении можно отметить, что проведенный нами анализ влияния природы и концентрации (со)полимеров, соотношения фаз в прямой эмульсии нефти, а также скорости турбулентного потока со всей очевидностью показал необходимость учёта этих параметров при разработке наиболее рациональных и доступных режимов скоростной транспортировки этих эмульсий по трубопроводам в

Некоторое ухудшение состава и свойств нефтей может происходить в результате:

- снижения пластового давления и выделения газа;
- хроматографического разделения нефти при ее продвижении по пласту;
- биодеградации под действием пластовой микрофлоры;
- растворения компонентов в омывающей нефть воде и окисления кислородом, внесенным в пласт с закачиваемой водой.

присутствии полимерных присадок и необходимость дальнейшего более углубленного изучения влияния каждого из этих факторов на результирующий макроскопический эффект снижения гидравлического сопротивления турбулентных водно-нефтяных потоков.

Литература

- Брезицкий С.В. и др. Обеспечение надёжности промысловых трубопроводов на месторождениях ТНК. *Нефтяное хозяйство*, 12. 2002. 106-110.
- Мягченков В.А., Барань Ш. (Баран А.А.), Бектуров Е.А., Булидурова Г.В. *Полиакриламидные флокулянты*. Казань: КГТУ, 1998.
- Мягченков В.А., Крупин С.В., Чичканов С.В. Влияние природы и концентрации водорастворимых сополимеров и их смесей на величину эффекта Томса. *Нефтяное хозяйство*, 12, 2002. 118-119.
- Мягченков В.А., Чичканов С.В. Зависимость эффекта Томса от концентрации ионогенных сополимеров акриламида, ионной силы и природы электролита. *Журнал прикладной химии*. Т. 76. Вып. 5. 2003а. 842-846.
- Мягченков В.А., Чичканов С.В. Влияние концентрации и молекулярных параметров сополимеров акриламида с акрилатом натрия на величину эффекта Томса в прямых эмульсиях нефти. *Журнал прикладной химии*. Т. 76. Вып. 11. 2003б. 1901-1905.
- Мягченков В.А., Чичканов С.В. Влияние концентрации водорастворимых полимеров и ионной силы на величину эффекта Томса в прямых нефтяных эмульсиях. *Нефт. хозяйство*, №1, 2004. 93-95.
- Николаев А.Ф., Охрименко Г.И. *Водорастворимые полимеры*. Л.: Химия, 1979.
- Порайко И.Н. Применение полиакриламида в технологических процессах, связанных с добычей нефти. Темат. науч.-техн. обзор. М.: ВНИИОЭНГ, 1974.
- Сюняев З.И., Сюняев Р.З., Сафиева Р.З. *Нефтяные дисперсные системы*. М.: Химия, 1990.
- Тронов В.П. *Промысловая подготовка нефти*. Казань, 2000.
- Чичканов С.В., Мягченков В.А. Некоторые аспекты проблемы снижения гидравлического сопротивления в турбулентных потоках прямых эмульсий нефти. *Вестник Казанского технологического университета*, 1-2. Казань: КГТУ. 2003. 322-334.
- Mjagchenkov V.A., Chichkanov S.V., Proskurina V.E., Krupin S.V. Synergism and antagonism of acrylamide copolymers and surfactants in drag reduction of turbulent aqueous flows. *Georesources*, 6, 2002. 19-23.

Анализируемая система	Динамическая вязкость, $\cdot 10^3$ Па·с	P, атм	Расход жидкости, $\cdot 10^5$ м ³ /с	Скорость потока, м/с	Re $\cdot 10^{-3}$	T
Вода	1,006	5	1,63	7,51	12,39	—
		10	2,84	13,13	21,65	—
		15	3,63	16,78	27,67	—
Эмульсия	1,228	5	1,61	7,42	9,87	—
		10	2,75	12,73	16,93	—
		15	3,61	16,68	22,18	—
Эмульсия +0,0004% сополимера	1,247	5	1,97	9,09	11,91	0,225
		10	3,12	14,42	18,90	0,133
		15	3,9	18,02	23,60	0,080
Эмульсия +0,0008% сополимера	1,253	5	2,01	9,30	12,13	0,253
		10	3,21	14,85	19,35	0,166
		15	3,99	18,46	24,07	0,107
Эмульсия +0,002% сополимера	1,289	5	2,25	10,40	13,19	0,402
		10	3,59	16,61	21,08	0,306
		15	4,49	20,77	26,35	0,246
Эмульсия +0,004% сополимера	1,357	5	2,36	10,89	13,11	0,468
		10	3,86	17,86	21,51	0,404
		15	4,84	22,39	26,96	0,344
Эмульсия +0,008% сополимера	1,418	5	2,33	10,77	12,42	0,453
		10	4,07	18,81	21,71	0,480
		15	5,23	24,16	27,88	0,451
Эмульсия +0,012% сополимера	1,475	5	2,27	10,48	11,63	0,415
		10	4,09	18,92	21,00	0,489
		15	5,27	24,36	27,03	0,463

Табл. 1. Некоторые гидродинамические показатели 10 % прямой эмульсии нефти в присутствии различных концентраций сополимера А. * - Re – число Рейнольдса.