



О ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ РЕОТЕХНОЛОГИИ

Ф. С. Исмаилов¹, Г. Г. Исмаилов², Н. М. Сафаров^{*1}

¹НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан;

²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

On the possibility of regulation of rheophysical properties multicomponent mixtures based on rheotechnology

F. S. Ismayilov¹, Q. Q. Ismayilov², N. M. Safarov^{*1}

¹«OilGasScientificResearchProject» Institute, SOCAR, Baku, Azerbaijan;

²Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

The article deals with the regulation of the rheophysical properties of multicomponent mixtures on the basis of the purposeful application of a new direction in science-rheotechnology. The data of rotoviscometry once again confirmed that the sequence of mixing the constituent components of the oil-water-sand mixture directly affects the rheology of the newly formed systems. The method of changing the order of entering the constituent components shows the prospects for increasing the efficiency of the processes of extraction, collection and transport of oils and their mixtures based on the creation of new rheological methods based on the regulation of the rheophysical properties of the heterophase systems under consideration.

KEYWORDS

Constituent components of the mixture;
Rheology;
Structural viscosity;
Anomalous index;
Graph-analytical method.

© 2022 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

Современные научные представления о существующем состоянии разработки нефтяных месторождений и целенаправленном использовании имеющихся нефтяных ресурсов выдвигают на первый план проблему создания новых методов управления и регулирования для повышения эффективности технологических процессов добычи нефти [1]. Кроме того, развитие топливно-энергетического комплекса Республики, наряду с освоением новых месторождений нефти и газа, также предусматривает интенсификацию процесса нефтедобычи уже разрабатываемых участков.

В данное время, значительная часть добычи нефти в Азербайджане обеспечивается включением в процесс разработки месторождений с тяжелыми, высоковязкими нефтями, добыча, сбор и транспортировка которых затруднены из-за высокой вязкости, температуры застывания и аномального реологического поведения. Пластовые флюиды - жидкостные дисперсные системы, встречающиеся в процессах нефтедобычи, являются гетерогенными и многокомпонентными, что обуславливает

сложность и неоднозначность их реокинетики [2]. Для таких полидисперсных систем изучение реологических свойств является весьма удобным и приемлемым методом исследования протекающих процессов структурообразования. Диагностирование и учет реологических особенностей указанных систем и их использование с целью регулирования и контроля процессов добычи, сбора и транспортировки представляется одной из основных проблем нефтедобычи. Особенность реологических свойств указанных систем проявляется в непостоянстве их динамической вязкости, зависящей от прикладываемого напряжения сдвига и скорости движения жидкости [3].

Поэтому, исследование состава добываемой многокомпонентной продукции, изучение их реологии и возможность регулирования физико-химических особенностей на основе применения реотехнологии, с целью повышения эффективности технологических процессов нефтедобычи является актуальной задачей и требует нового инновационного подхода.

В последнее время, нефтедобыче развилось новое перспективное направление – реотехнология, которая представляет собой совокупность методов и способов организации технологических процессов добычи, сбора и транспорта нефтей на основе целенаправленного

*E-mail: natik_safarov@mail.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20220100632>

использования и регулирования реофизических особенностей гетерогенных неньютоновских систем [4]. Первые исследования в этой области проводились по инициативе и руководством гениального ученого, академика А. Х. Мирзаджанзаде. Вклады многих (в том числе зарубежных (включая страны бывшего СССР и СНГ) - И.М.Аметова, Н.М.Шерстнева, А.Х.Шахвердиева, И.Ш.Ахатова, М.М.Хасанова, Р. Н.Бахтизина, И. Б.Байкова, А.А.Бологова, А. В. Гладкова, А. Р. Латышова, А. Г.Телина, Р. А. Габibuлина, а также азербайджанских ученых - Б. А. Сулейманова, Г. М.Панахова, Г. Г.Исмайылова, Т.Ш.Салаватова, Ф.Г.Велиева, А.М.Мамедзаде, Э.М.Аббасова, Г.Х.Меликова, Т. Ч.Шейдаева, А. А. Сулейманова и т.д.) исследователей-продолжателей школы Мирзаджанзаде в новую область прикладной нефтегазовой науки- реотехнологии со своими научно-практическими результатами неоспоримы. Полученные в последние годы выводы и результаты по реотехнологическим исследованиям различных многокомпонентных и многофазных систем, таких как вязко-упругих, -пластичных, -сыпучих и других гетерогенных систем, основаны на развитии его идей.

Известно, что в процессах добычи, сбора и транспортировки нефти происходит интенсивное перемешивание взаимонерастворимых флюидов «вода-нефть», вследствие чего через определенные периоды разработки залежей эти компоненты соединяясь между собой, создают сложные дисперсные системы - водонефтяные эмульсии [5]. При эксплуатации нефтяных месторождений, где продуктивные коллектора сложены из слабосцементированных песчаников, часто сопровождается обильным пескопроявлением в скважинах. Резкое увеличение депрессии на продуктивный пласт и слабая устойчивость коллекторов в этих скважинах приводит к разрушению скелета пласта и механическому смешиванию песка с создавшейся водонефтяной эмульсией. Присутствие в водонефтяной смеси сыпучего наполнителя (например, песка) увеличивает потери на трение и создает дополнительные трудности. Гетерогенные системы такого рода еще сильнее поднимают стоимость перекачки углеводородного сырья за счёт увеличения вязкости многофазной смеси «нефть-вода-твердая порода» и число осложнений в процессах внутрипромыслового сбора и транспортировки [6]. В науке такие гетерогенные системы называют пульпами, нефтешламами, суспензиями и т.д. Седиментация такой коагулированной смеси, как правило, происходит не по закону Стокса и зави-

сит от концентрации твердой фазы [7]. Поскольку они являются полидисперсной средой, то между частицами действуют силы, приводящие к образованию структуры, которая выражается в появлении предела текучести. Само структурообразование зависит от многих факторов - концентрации созданной смеси, степени дисперсности, формы твердых частиц, механических воздействий, температуры и т.д.

Постановка задачи

В представленной статье, опираясь на существующие теоретические изыскания по реотехнологии, путем изменения очередности ввода составляющих компонентов смеси «нефть-вода-твердая порода» рассмотрена возможность регулирования реофизических свойств созданных гетерогенных систем.

Методы испытаний

Для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях были исследованы искусственно изготовленные водонефтяные эмульсии на основе высоковязкой нефти азербайджанского месторождения «Мурадханлы». С целью получения гомогенного состава, составы изготавливали в течении 10-15 минут с помощью роторного гомогенизатора типа «T25 digital Ultra- Turrax IKA», предназначенного для диспергации и дробления взвешенных частиц в эмульсиях и суспензиях, получения однородных, физически стабильных смесей. Необходимо отметить, что все исследования проводились при стандартных лабораторных условиях, при различных температурах ($t = 5, 20, 40^\circ\text{C}$) и степенях обводненности ($\beta = 30, 50, 60\%$). Стабильность приготовленных эмульсий повторно проверяли путем их отстоя в течение $T = 20$ мин. Они считались стабильными, если количество выделившейся свободной воды не превышало 1% ее исходного содержания.

По ГОСТ 2477-65, исходное водосодержание первоначально взятой водонефтяной смеси было определено прибором Дина-Старка, что составило $\beta = 18\%$. Результаты проведенных лабораторных испытаний с образцами водонефтяных эмульсий с исходной обводненностью показали, что изучаемая продукция относится к классу тяжелых ($\rho = 926 \text{ кг/м}^3$), высоковязких (690 мПа·с), малопарафинистых (до 3% масс.) и высокосмолистых (смола до 11% масс., асфальтенов до 7% масс.) нефтей.

Водонефтяные эмульсии, содержащие воду соответственно 30, 40, 50, 60, 70, 80 %, были изучены на ротационном вискозиметре типа «Rheotest-2.1» в режиме контролируемой скорости сдвига.

С целью стабилизации показателей, результаты измерения углов α регистрировали через 1 минуты после включения каждой скорости. Согласно ГОСТ 1927-87, с помощью переключателя прибора скорость сдвига $\dot{\gamma}$ увеличивалась с меньшей к большей и при 12 доступных скоростях измерялись соответствующие показатели. На основании полученных экспериментальных $\dot{\gamma}$ и расчетных τ данных были построены кривые течения, приведенные на рисунке 1.

Проведенные исследования показали, что образцы водонефтяных эмульсий на основе нефтей месторождения «Мурадханлы» характеризуются сложным реологическим поведением. Судя по анализу полученных

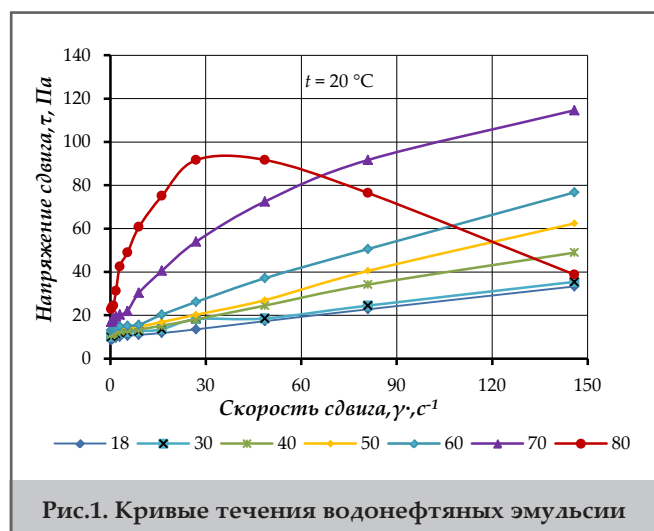


Рис.1. Кривые течения водонефтяных эмульсии

результатов вискозиметрии, увеличение содержания дисперсной фазы - воды в испытуемых эмульсиях оказывает сильное влияние на их реологические характеристики (вязкость, плотность, характер изменения параметров τ и γ'). С повышением процента обводненности водонефтяной эмульсии, ее напряжение сдвига пропорционально увеличивается. Но достигая до определенного степени обводненности - т.е. до критического значения полной насыщенности (в рассматриваемом случае - при $\beta = 80\%$), в связи со срабатыванием «гидроподшипникового эффекта», происходит резкое уменьшение τ (а соответственно и структурной вязкости) водонефтяной смеси [8].

Далее, для изучения влияния твердой фазы на реологические свойства водонефтяных эмульсий и создания модельной 3-х компонентной гетерогенной среды, к образцам водонефтяных эмульсий с различными процентными содержаниями воды, в качестве сыпучего наполнителя был добавлен кварцевый песок фракционного состава $d = 0.1\text{мм}$ и перемешен в течении 10 минут с применением гомогенизатора - до получения однородных, стабильных смесей. Процентное соотношение кварцевого песка в образцах водонепесчаных смесей, в зависимости от водосодержания, составляло 1-7 % масс.

В зависимости от очередности порядка ввода составляющих компонентов, были изготовлены 3 типа смесей следующих конфигураций :

- тип А - в воду (ν) добавляли кварцевый песок (n), а в жижу- нефть (n) - $[(\nu + n) + n]$;
- тип В - в нефть (n) добавляли кварцевый песок (n), а в смесь – воду (ν) - $[(n + n) + \nu]$;
- тип С - в водонефтяную смесь ($n+\nu$) добавляли кварцевый песок (n)- $[(n + \nu) + n]$.

Модельная жидкость - т.е. водонефтяная эмульсия без добавки песка при расчетах была отмечена как тип О - $[(n + \nu) = \nu]$.

Полученные многокомпонентные системы, при различных температурах и степенях обводненности аналогично были исследованы на ротационном вискозиметре и исходя из результатов, для каждого типа суспензий были построены зависимости касательного напряжения τ от скорости сдвига γ' . Далее, методом проведения к выделенным участкам касательных, были графо-аналитически определены предельные напряжения сдвига τ_0 .

В качестве примера, для случая при $\beta = 60\%$, $t = 20^\circ\text{C}$ и количестве добавленного кварцевого песка 3.5% масс, на рисунке 2 приведена последовательность определения τ_0 для смеси типа В. Учитывая тот факт, что построенная кривая состоит из 3-х участков, для каждого участка были рассчитаны τ_{01} , τ_{02} и τ_{03} .

Также, для каждого рассматриваемого участка I-III построенных кривых, для смесей «нефть-вода» и «нефть-вода-песок» были определены структурные вязкости η_{cm1} , η_{cm2} и η_{cm3} (где $\eta_{cmi} = \tau_i/\gamma'_i$, $i = 1-3$) и индексы аномальности течения n_1 , n_2 и n_3 (где $n_1 = \eta_{cm2}/\eta_{cm1}$, $n_2 = \eta_{cm3}/\eta_{cm1}$, $n_3 = \eta_{cm3}/\eta_{cm2}$).

Результаты расчетных данных вышеуказанных параметров для различных типов смесей приведены в таблицах 1-3. Как видно из таблиц, например, для смесей типа «нефть-вода» :

- 1) при увеличении температуры t :
 - а) структурная вязкость η_{ct} уменьшается;
 - б) индекс аномальности n растет.

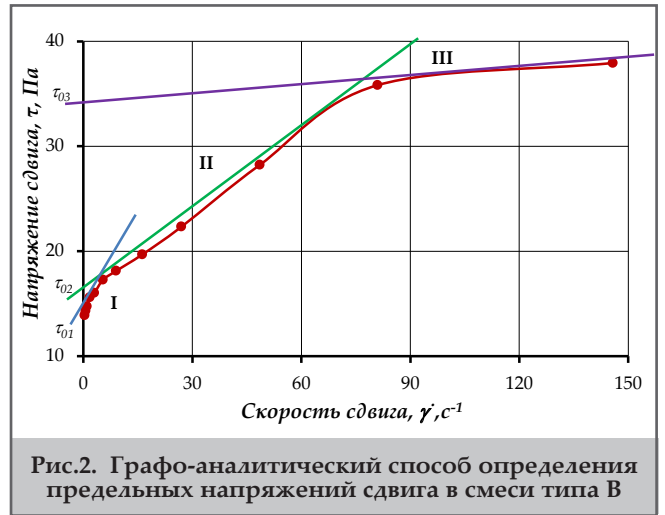


Рис.2. Графо-аналитический способ определения предельных напряжений сдвига в смеси типа В

- 2) при увеличении степени обводненности β :
 - а) структурная вязкость η_{ct} растет;
 - б) индекс аномальности n тоже растет.

Ссылаясь на табличные данные, можно для каждой смеси охарактеризовать динамику изменения реологических параметров для различных вариантов. В едином графике, для смеси «нефть-вода» и отличающихся по очередности порядка ввода компонентов смесей «нефть-вода-песок» были построены зависимости $\tau = \mu(\gamma')$. В качестве примера, на рисунке 3 показаны зависимости при $\beta = 60\%$ и $t = 5^\circ\text{C}$.

Как видно из рисунка 3, кривые течения смесей заметно отличаются по расположению в поле графика. Оказалось, что очередность ввода составляющих заметно влияет на реофизические показатели. Исходя из этого, меняя последовательность ввода компонентов указанных смесей, возможно регулирование их реологические свойства. Далее, с целью более досконального изучения влияния порядка ввода на реологию созданных суспензий, при условиях $\beta = \text{const}$ (по отдельности при $\beta = 30, 50, 60\%$), были построены зависимости $\tau_{01} = f(t)$, $\eta_{st} = f(t)$ и $n = f(t)$ (рис. 4), а также при условии $t = \text{const}$ (по отдельности при $t = 5, 20, 40^\circ\text{C}$), $\tau_{01} = f(\beta)$, $\eta_{st} = f(\beta)$ и $n = f(\beta)$ (рис. 5).

Судя по рисунку 4, при постоянной степени обводненности, с увеличением температуры предельные напряжения сдвига и структурные вязкости уменьшаются. А индексы аномальности течения смесей отличаются, т.е. с увеличением температуры до 20°C в смесях типов О

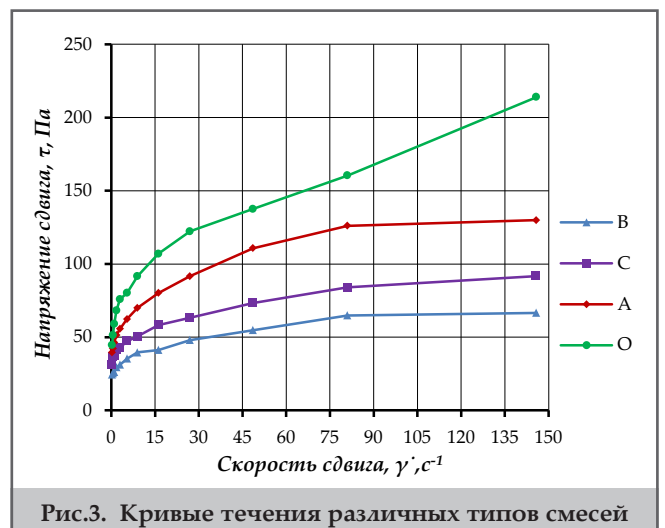


Рис.3. Кривые течения различных типов смесей

Результаты расчетных параметров различных типов смесей											Таблица 1
Обводненность, %	Последовательность смешения компонентов смеси	Типы смесей	Реологические параметры при $t = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$								
			Предельное напряжение сдвига, Па			Структурная вязкость, Па·с			Индекс аномальности течения		
			τ_{01}	τ_{02}	τ_{03}	η_{cm1}	η_{cm2}	η_{cm2}	n_1	n_2	n_3
30	без песка ($n+v$)	0	36	76	112	5.333	0.667	0.222	0.13	0.04	0.33
	$(\delta+n)+n$	A	36	56	66	6.667	1.167	0.400	0.18	0.06	0.34
	$(n+n)+v$	B	36	56	68	3.750	2.333	0.400	0.62	0.11	0.17
	$(n+v)+n$	C	34	66	96	5.000	0.833	0.333	0.17	0.07	0.39
50	без песка ($n+v$)	0	42	74	120	6.667	0.963	0.333	0.14	0.05	0.35
	$(\delta+n)+n$	A	42	60	92	6.00	1.0	0.333	0.17	0.06	0.33
	$(n+n)+v$	B	38	64	95	7.33	1.667	0.500	0.23	0.07	0.29
	$(n+v)+n$	C	45	70	100	5.333	1.0	0.533	0.19	0.10	0.53
60	без песка ($n+v$)	0	47	72	102	8.00	2.00	0.74	0.25	0.09	0.37
	$(\delta+n)+n$	A	40	64	122	5.333	1.167	0.095	0.22	0.02	0.08
	$(n+n)+v$	B	24	37	63	1.833	0.333	0.042	0.18	0.02	0.13
	$(n+v)+n$	C	30	40	51	2.333	1.167	0.388	0.5	0.17	0.33

Результаты расчетных параметров различных типов смесей											Таблица 2
Обводненность, %	Последовательность смешения компонентов смеси	Типы смесей	Реологические параметры при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$								
			Предельное напряжение сдвига, Па			Структурная вязкость, Па·с			Индекс аномальности течения		
			τ_{01}	τ_{02}	τ_{03}	η_{cm1}	η_{cm2}	η_{cm2}	n_1	n_2	n_3
30	без песка ($n+v$)	0	10	10.5	11.3	0.833	0.146	0.167	0.20	1.14	1.14
	$(\delta+n)+n$	A	8	9	10	0.750	0.222	0.167	0.22	0.75	0.75
	$(n+n)+v$	B	7	12	16	1.667	0.083	0.167	0.10	2.01	2.01
	$(n+v)+n$	C	9	12	19	1.167	0.250	0.146	0.13	0.58	0.58
50	без песка ($n+v$)	0	11	13	12	0.500	0.250	0.367	0.73	1.47	1.47
	$(\delta+n)+n$	A	10	12	11	0.833	0.167	0.339	0.41	2.02	2.02
	$(n+n)+v$	B	10.8	11	20	0.833	0.233	0.267	0.32	1.15	1.15
	$(n+v)+n$	C	12	13	20	0.416	0.333	0.400	0.96	1.21	1.21
60	без песка ($n+v$)	0	12	14.1	18	0.667	0.111	0.5	0.75	4.50	4.50
	$(\delta+n)+n$	A	14	16	19	0.5	0.25	0.167	0.33	0.67	0.67
	$(n+n)+v$	B	13.8	16	33.8	0.714	0.500	0.056	0.08	0.11	0.11
	$(n+v)+n$	C	13	15.8	13.3	0.750	0.156	0.167	0.22	1.07	1.07

Результаты расчетных параметров различных типов смесей											Таблица 3
Обводненность, %	Последовательность смешения компонентов смеси	Типы смесей	Реологические параметры при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$								
			Предельное напряжение сдвига, Па			Структурная вязкость, Па·с			Индекс аномальности течения		
			τ_{01}	τ_{02}	τ_{03}	η_{cm1}	η_{cm2}	η_{cm2}	n_1	n_2	n_3
30	без песка ($n+v$)	0	4.1	5.6	6.8	0.533	0.117	0.078	0.22	0.15	0.67
	$(\delta+n)+n$	A	4.2	6.0	7.6	0.500	0.133	0.100	0.27	0.20	0.75
	$(n+n)+v$	B	4.0	5.6	7.0	0.500	0.111	0.067	0.22	0.13	0.63
	$(n+v)+n$	C	4.0	5.8	6.5	0.667	0.333	0.183	0.49	0.27	0.55
50	без песка ($n+v$)	0	5.8	7.2	8.2	0.800	0.250	0.369	0.31	0.461	1.48
	$(\delta+n)+n$	A	6	7.5	8	1.333	0.167	0.125	0.13	0.09	0.74
	$(n+n)+v$	B	6	7.2	8.1	0.500	0.083	0.100	0.17	0.21	1.20
	$(n+v)+n$	C	6	6.9	9.6	0.833	0.067	0.083	0.08	0.10	1.24
60	без песка ($n+v$)	0	6.2	9.8	8.2	0.667	0.250	0.02	0.37	0.04	0.55
	$(\delta+n)+n$	A	9	12	11	0.633	0.122	0.09	0.19	0.14	0.74
	$(n+n)+v$	B	9.6	12	11.2	0.633	0.042	0.055	0.07	0.09	1.31
	$(n+v)+n$	C	9.8	11.5	10.2	0.367	0.083	0.07	0.23	0.19	0.84

и С индексы n снижаются, в смесях типов А и В – наоборот, повышаются. С увеличением значения параметра t с 20 °С до 40 °С происходит обратная картина - в смесях типов А и В – показатели n растут, а в смесях типов О и С – они уменьшаются. Также, исходя из рисунка 5, при постоянной температуре, с увеличением степени обводненности предельные напряжения сдвига и структурные вязкости в смеси типа О монотонно увеличиваются, а в остальных – уменьшаются. Но характер изменения индексов аномальности течений в смесях отличается. Если при увеличении степени аномальности с 30% до 50% индекс n в смесях типов О, В и С – растет, а в смеси типа А - уменьшается, то при дальнейшем увеличении процента обводненности с 50 до 60% , этот показатель в смесях типов О, А, В растет, а в смеси типа С – наоборот, уменьшается.

Таким образом, варьируя чередованием ввода и выбора постоянных условий, можно регулировать реологические параметры нефтеводопесчаных смесей.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Смешивание твердой фазы-кварцевого песка с водонефтяной эмульсией помогла выявить новые аномальные свойства в образующейся гетерогенной системе. Иными словами, добавка сыпучих наполнителей к водонефтяным эмульсиям усиливает неньютоновские свойства и приво-

дит к качественно новым явлениям - реопектике, которая подтверждает о происхождении в них «перестроечных» - новоструктурообразующих процессов [9].

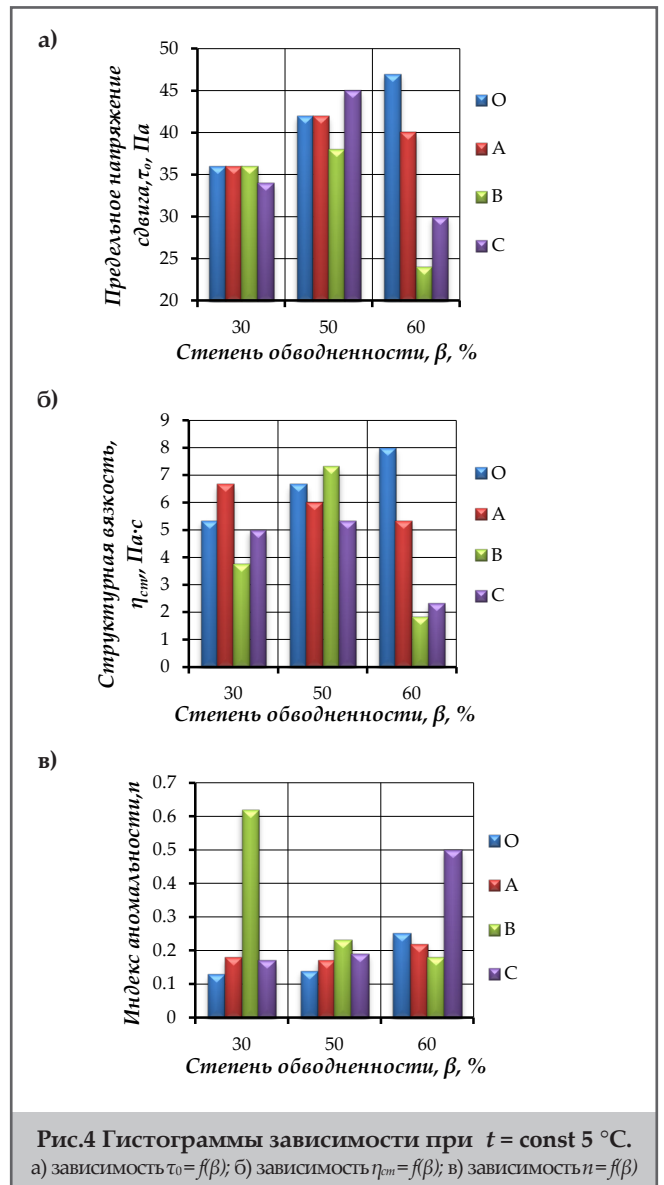
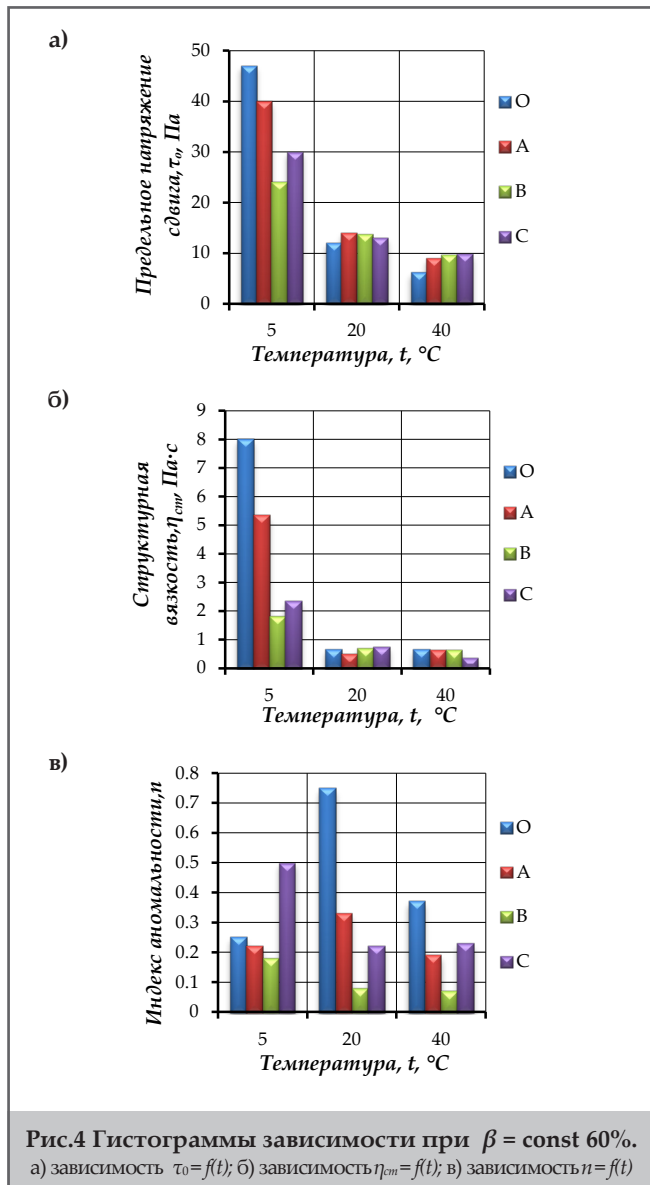
Наличие 3-х предельных напряжений сдвига на всех характерных кривых течения (рис. 2) указывает на то, что рассматриваемые модельные смеси – суспензии. По мнению автора, данные кривые течения по значимости могут быть разделены на три условные зоны :

I зона - медленное высокопластическое течение (ползучесть по Шведову), характеризующееся максимальной вязкостью $\eta_{ст1}$;

II зона - «Бингамовское» течение в энергично разрушающейся структуре, характеризующееся промежуточной вязкостью $\eta_{ст2}$;

III зона - течение в максимально разрушенной структуре, характеризующееся минимальной вязкостью $\eta_{ст3}$ (реструктуризация по Мирзаджанзаде) [10].

Следует также отметить, что в области неразрушенных структур в испытуемых образцах проявляется прочность на сдвиг. Если же скорость сдвига сравнительна велика, то при увеличении скорости течения пространственные ассоциативные структуры рассматриваемой гетерогенной среды разрушаются и вязкость системы снижается, т.е. образование структуры не происходит, а наоборот образующаяся структура разрушается [11].



Выводы

Выявлено, что разнообразие нововывявленных реофизических свойств многокомпонентных смесей делает возможным реализацию различных технических и технологических решений. Эти системы обладают способностью упрочнения структуры при повышении порога давления, что позволяет эффективно использовать их при проведении различных технологических операций - в частности при проведении потокоотклоняющих операций [12]. Анализ таких решений может оказаться полезным при разработке стратегии управления технологическими процессами, требующими ограничения проникновения жидкостей в пористую среду [13].

Другая область применения – гидравлический пакер (или так называемый «жидкий» пакер), который может быть использован во время ремонтно-изоляционных работ (РИР) определенного поврежденного участка на крутых участках рельефных трубопроводов, во избежание потерь углеводородов и разгрузки трубопровода от гидростатического давления [14,15].

Возможности создания новых реотехнологических методов повышения эффективности процессов добычи, сбора и транспортировки нефти и их смесей на базе изучения и использования реофизических особенностей гетерогенных систем в настоящее время расширяется и приобретает особое значение для осложненных условий эксплуатации.

Литература

1. Гумбатов, Г. Г., Багиров, О. Т., Сарыев С. К. и др. (2002). Регулирование техногенных процессов для повышения добывных возможностей скважин. *Баку: Маариф*.
2. Сафиева, Р. З., Сюняев, Р. З. (2007). Физико-химические свойства нефтяных дисперсных систем и нефтегазовые технологии. *Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»*.
3. Саттаров, Р. М. (1982). Научные основы диагностирования и определения свойств реологически сложных систем, применяемых в нефтегазодобыче. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. *Баку*.
4. Мирзаджанзаде, А. Х., Хасанов, М. М., Бахтизин, Р. Н. (1999). Этюды о моделировании сложных систем в нефтедобыче. *Уфа: Гилем*.
5. Сулейманов, Б. А., Панахов, Г. М., Аббасов, Э. М. (1996). О влиянии образования эмульсии в пластовых условиях на работу нефтедобывающих скважин. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*, 5, 26-29.
6. Сулейманов, Б. А. (1997). Теоретические и практические основы применения гетерогенных систем для повышения эффективности технологических процессов в нефтедобыче. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. *Баку: АГНА*.
7. Фортъе, А. (1971). Механика суспензий. *Москва: Мир*.
8. Исмайылов, Ф. С., Исмайылов, Г. Г., Сафаров, Н. М. и др. (2014). Метод транспортировки высоковязких нефтей по трубопроводу. *Патент Азербайджанской Республики № 2004 0032*.
9. Исмайылов, Г. Г., Сафаров, Н. М. (2011). К вопросу изучения влияния сыпучих наполнителей на реологические свойства водонефтяных эмульсий. *Известия ВТУЗ Азербайджана*, 3(73), 26-32.
10. Исмайылов, Г. Г., Сафаров, Н. М. (2013, ноябрь). О перспективах применения реотехнологий в процессах нефтегазодобычи на базе «эмульсий Мирзаджанзаде». Материалы международной научной конференции, посвященной 85-летию юбилею академика А.Х.Мирзаджанзаде. *Баку: АГУНП*.
11. Исмайылов, Г. Г., Сафаров, Н. М. (2010). Реотехнология вязкосыпучих систем (монография). *Баку: МСМ*.
12. Исмайылов, Г. Г., Сафаров, Н. М. (2011). Реотехнология гетерогенных систем и ее отражение, в эффектах, проявляемых при нефтегазодобыче. *Известия НАНА (Серия наук о Земле)*, 4, 49-55.
13. Аметов, И. М., Шерстнев, Н. М. (1989). Применение композитных систем в технологических операциях эксплуатации скважин. *Москва: Недра*.
14. Исмайылов, Ф. С., Исмайылов, Г. Г., Сафаров, Н. М. (2010). Сыпучие трубочисты (о перспективах применения вязкосыпучих систем в нефтедобыче). *Нефть России*, 10, 84-86.
15. Панахов, Г. М. (1995). Разработка и внедрение новых композитных систем в нефтегазодобыче. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. *Баку*.

References

1. Gumbatov, G. G., Bagirov, O. T., Sariyev, S. K., et.al. (2002). Regulation of technogenic processes to increase the production capacity of wells. *Baku: Maarif*.
2. Safieva, R. Z., Sunyaev, R. Z. (2007). Physico-chemical properties of oil dispersed systems oil and gas technologies. *Moscow-Izhevsk: Institute of Computer Research. Research Center «Regular and Chaotic Dynamics»*.
3. Sattarov, R. M. (1982). Scientific basis for diagnosing and determining the properties of rheologically complex systems used in oil and gas production. Doctoral Dissertation Thesis. *Baku*.
4. Mirzajanzade, A. Kh., Khasanov, M. M., Bakhtizin, R. N. (1999). Sketches on the modeling of complex systems in oil production. *Ufa: Gilem*.
5. Suleimanov, B. A., Panahov, G. M., Abbasov, E. M. (1996). On the influence of the formation of an emulsion in reservoir conditions on the operation of oil producing wells. *Azerbaijan Oil Industry*, 5, 26-29.
6. Suleymanov, B. A. (1997). Theoretical and practical foundations of the use of heterogeneous systems to improve the efficiency of technological processes in oil production. Doctoral Dissertation Thesis. *Baku: ASUOI*.

7. Fortier, A. (1971). Mechanics of suspensions. *Moscow: Mir*.
8. İsmayilov, F. S., İsmayilov, G. G., Safarov, N. M., et al. (2014). Transportation method of high viscosity oils through the pipeline. *Patent of the Republic of Azerbaijan İ 2004 0032*.
9. İsmayilov, G. G., Safarov, N. M. (2011). To the question of studying the effect of free-flowing fillers on the rheological properties of oil-water emulsions. *Proceedings of High Technical Educational Institutions of Azerbaijan*, 3(73), 26-32.
10. İsmayilov, G. G., Safarov, N. M. (2013, November). On the prospects for the use of rheological technologies in processes of oil and gas production on the basis of «Mirzadzanzadeh emulsions». In: The international scientific conference dedicated to the 85th anniversary of the academician A.Kh. Mirzadzanzadeh. *Baku: ASUOI*.
11. İsmayilov, G. G., Safarov, N. M. (2010). Rheotechnology of viscous-free systems (monography). *Baku: MSM*.
12. İsmayilov, G. G., Safarov, N. M. (2011). Rheotechnology of heterogeneous systems and its reflection, in effects manifested during oil and gas production. *News of ANAS (Series of Earth Sciences)*, 4, 49-55.
13. Ametov, I. M., Sherstnev, N. M. (1989). Application of composite systems in technological operations of well operation. *Moscow: Nedra*.
14. İsmayilov, F. S., İsmayilov, G. G., Safarov, N. M. (2010). Loose chimney sweeps (about perspectives of application of viscous-free systems in oil production). *Oil of Russia*, 10, 84-85.
15. Panahov, G. M. (1995). Development and implementation of new composite systems in oil and gas production. Doctoral Dissertation Thesis. *Baku*.

О возможности регулирования реофизических свойств многокомпонентных смесей на основе реотехнологии

Ф. С. Исмайылов¹, Г. Г. Исмайылов², Н. М. Сафаров¹

¹НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан; ²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

Реферат

В статье рассмотрены вопросы регулирования реофизических свойств многокомпонентных смесей на основе целенаправленного применения нового направления в науке-реотехнологии. Лабораторные данные подтвердили, что очередность смешения составляющих компонентов смеси «нефть-вода-песок» непосредственно влияет на реологию новообразующихся систем. Методом изменения порядка ввода составляющих компонентов показаны перспективы повышения эффективности процессов добычи, сбора и транспорта нефтей и их смесей на основе создания новых реотехнологических методов, базирующиеся на регулировании реофизических свойств рассматриваемых гетерофазных систем.

Ключевые слова: составляющие компоненты смеси; реология; структурная вязкость; индекс аномальности; графо-аналитический способ.

Çoxkomponentli qarışıqların reofizik xassələrinin reotexnologiya əsasında tənzimlənməsi imkanları barədə

F. S. İsmayilov¹, Q. Q. İsmayilov², N. M. Səfərov¹

¹«Neftqazəlmütədqiqatlayihə» İnstitutu, SOCAR, Bakı, Azərbaycan; ²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Məqalədə elmdə yeni istiqamətin-reotexnologiyanın məqsədyönlü tətbiqi əsasında çoxkomponentli qarışıqların reofizik xassələrinin tənzimlənməsi məsələlərinə baxılmışdır. Rotoviskometriya məlumatları neft-su-qum qarışığının tərkib hissələrinin qarışdırılması ardıcılığının yeni yaranan sistemlərin reologiyasına birbaşa təsir göstərdiyini bir daha təsdiq etmişdir. Təşkilədiçi ünsürlərin daxil olma ardıcılığının dəyişdirilməsi üsulu ilə neftin və onların qarışıqlarının reofizik xassələrinin tənzimlənməsinə əsaslanan yeni reotexnoloji üsulların yaradılması əsasında, baxılan heterofaz sistemlərin hasilatı, yığılımı və nəqli proseslərinin səmərəliliyinin artırılması perspektivləri göstərilmişdir.

Açar sözlər: qarışığın təşkilədiçi ünsürləri, reologiya, struktur özlülük, anomallıq indeksi; qrafo-analitik üsul.