

УДК 622.276.5:550.064.45



ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОГАЗОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ ГОРИЗОНТА Ю-1С МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАЛАМКАС» ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КЕРНЕ

М.И.Курбанбаев¹, А.Ж.Абитова²

(¹АО «Казахский Институт Нефти и Газа», ²АО «КазНИПИМунайГаз»)

В последние годы в мировой практике для интенсификации выработки трудноизвлекаемых запасов нефти все большее применение находит относительно новая технология повышения нефтеотдачи пласта - водогазовое воздействие (ВГВ). В статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности методов ВГВ применительно к нефти горизонта Ю-1С месторождения «Каламкас» Республики Казахстан. Результаты исследований показали эффективность вытеснения остаточной после заводнения нефти методом ВГВ, в том числе с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Ключевые слова: нефтеносные пласты, водогазовое воздействие, полимерные растворы, геологическая модель, кубы литологии, поровый объем, эффективность нефтевытеснения.

E-mail: Abitova_A@kaznipi.kz

DOI: 10.5510/OGP20140200198

Эффективность извлечения нефти из нефтеносных пластов современными, промышленно освоенными методами разработки во всех нефтедобывающих странах считается неудовлетворительной, так как средняя конечная нефтеотдача продуктивных пластов составляет от 25 до 45%, в том числе в странах Латинской Америки и Юго-Восточной Азии средняя нефтеотдача пластов составляет 24–27%, в Иране – 16–17%, в США, Канаде и Саудовской Аравии – 33–37%, в России и странах СНГ – до 40% в зависимости от структуры запасов нефти и применяемых методов разработки. Остаточные (неизвлекаемые) запасы нефти достигают в среднем 55–75% от первоначальных геологических запасов нефти (рис.1).

В связи с неуклонным ростом доли трудноизвлекаемых запасов и повышением мировых цен на углеводородное сырье, особую актуальность приобретают новые методы увеличения нефтеотдачи пластов.

В настоящее время, когда доля трудноизвлекаемых запасов составляет основную часть остаточных запасов нефти, весьма актуальными являются поиск и внедрение новых эффективных методов оптимизации процесса разработки и закачки рабо-

чих агентов в пласт для достижения увеличения коэффициента нефтеизвлечения.

Ярким примером месторождения с трудноизвлекаемыми запасами нефти является нефтегазовое месторождение «Каламкас» Республики Казахстан, находящееся на поздней стадии разработки.

Месторождение «Каламкас» расположено в северной прибрежной части полуострова Бузачи. Нефти месторождения «Каламкас» тяжелые (средние значения плотности в стандартных условиях по горизонтам изменяются в пределах 0.9033-0.9144 г/см³), высоковязкие (вязкость в пластовых условиях составляет 11.5 - 21.2 мПа·с; при 20 °С - более 100 мПа·с), парафинистые (2.6 - 3.8%), сернистые (1.21 - 1.45%). Высокие значения плотности и вязкости обусловлены значительным содержанием асфальто-смолистых веществ (14.5 - 19.5% смол, 3.2 - 5.3% асфальтенов), температура застывания ниже - 18 °С. Наибольшую продуктивную площадь имеет газонефтяная залежь горизонта Ю-1.

На объектах восточного поля (Ю-1 – Ю-4) месторождения с 1988 г. проводились циклические закачки полимерных растворов со «сшивателем» (СПС): полиакриламид (ПАА) + бихромат калия. Проведенный анализ позволил установить эффективность данной технологии. В результате закачки «сшитых» полимерных систем произошли не только изменения гидродинамических характеристик пласта (гидропроводность, коэффициент продуктивности скважин, пластовое давление и т.д.), но и перераспределение интервалов поглощения в нагнетательных скважинах.

В последние годы в мировой практике для интенсификации выработки трудноизвлекаемых запасов нефти все большее применение находит относительно новая технология повышения нефтеотдачи пласта - ВГВ. Эффективность метода ВГВ доказана многими проведенными



Рис.1. Соотношение извлекаемых и остаточных запасов нефти



Рис.2. Опытный участок горизонта Ю-1С для проведения ВГВ

ранее исследованиями. Кроме того, использование масловодорастворимых ПАВ в технологиях водогазового воздействия может усиливать процессы взаимодействия нефти и газа [1-9].

Закачка попутно добываемого газа в пласт способствует не только повышению нефтеотдачи пластов при правильном выборе технологии воздействия, но и решению экологических проблем района разработки – снижается количество выбросов в атмосферу за счёт отказа от сжигания попутного газа на факелах и его утилизации.

Технология ВГВ способствует решению разрабатываемой в настоящее время стратегии развития нефтяного комплекса с наиболее полным и эффективным использованием ресурсов попутно добываемого углеводородного газа.

В «Уточненном проекте разработки месторождения «Каламкас»» институтом АО «КазНИПИМунайГаз» было рекомендовано применение технологии ВГВ. Однако, несмотря на доказанную эффективность применения ВГВ, в современных условиях разработки месторождения «Каламкас» было принято решение о необходимости проведения предварительных экспериментальных исследований для конкретно выбранного объекта.

В соответствии с принятым решением определен опытный участок для опробования технологии ВГВ, запроектирована технология, выполнен рабочий проект по его реализации.

Совместно с ОАО «ВНИИнефть» проведены фильтрационные исследования на каламкасском керновом материале по оценке эффективности вытеснения нефти водогазовой смесью в сравнении с другими вытесняющими рабочими агентами [10].

Выбранный опытный участок расположен в восточной части горизонта Ю-1С, включающий четыре смежные девятиточечные ячейки с 4-мя нагнетательными и 22-мя добывающими (реагирующими) скважинами (рис.2).

По состоянию на 01/01/2010 г. дебит по жидкости на добывающих скважинах составляет в среднем 95 т/сут, обводненность – 84%, приемистость нагнетательных скважин – 294 м³/сут. Источником воды является вода из альбского водозабора и газа из газовых шапок с содержанием, не менее: метана - 92%, азота - 6.7%.

Цель проведения опытно-промышленных работ - апробация технологии водогазового воздействия

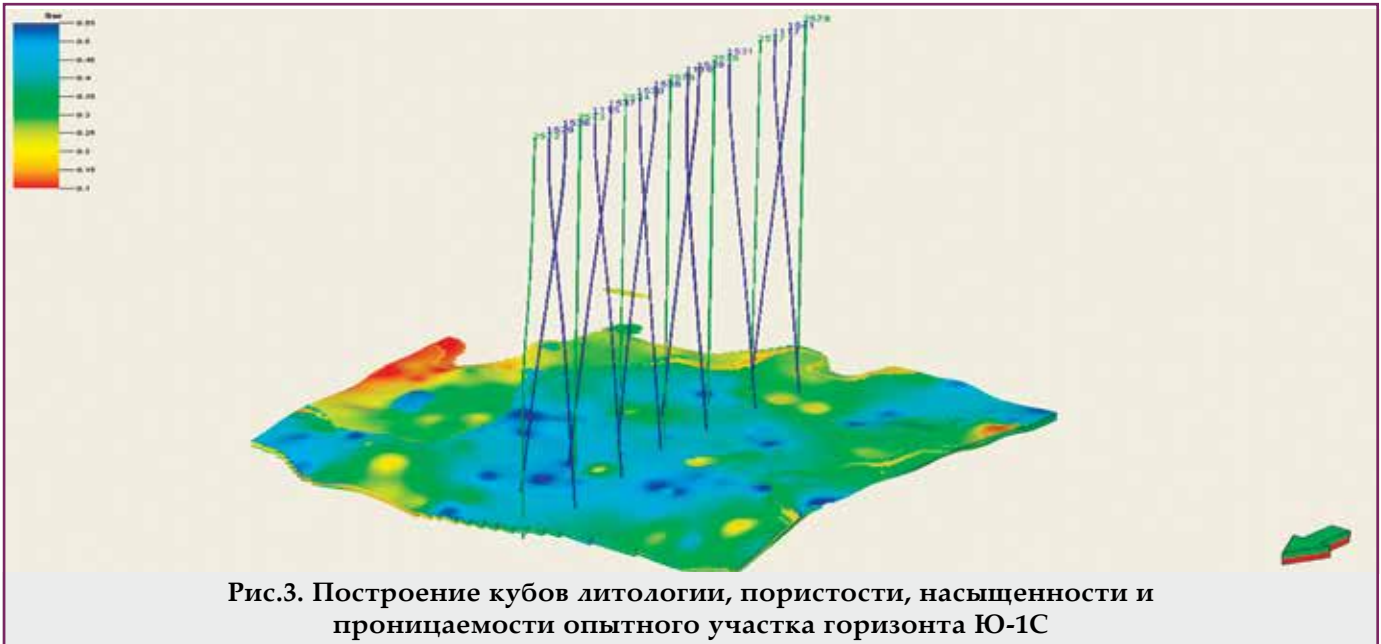
на опытном участке и получение результатов, необходимых для дальнейшего полномасштабного внедрения технологии ВГВ на месторождении «Каламкас».

Построена геологическая модель опытного участка горизонта Ю-1С (рис.3). Построение трехмерной секторной геологической модели опытного участка проведено в программном комплексе «PETREL» компании Schlumberger. Для построения модели проведена поточечная непрерывная обработка данных геофизических исследований скважин (ГИС) с оценкой геофизических параметров фильтрационно-емкостных свойств по всему разрезу с шагом дискретизации 0.2 м. Всего собраны и обработаны данные ГИС по 138 скважинам. На основе результатов обработки данных ГИС построены кубы литологии, а также пористости, насыщенности и проницаемости. Подсчитаны геологические запасы нефти и газа.

При постановке работ максимально воспроизводились геолого-физические условия изучаемого объекта разработки: соблюдались термобарические условия горизонта Ю-1С (давление 8.5 МПа, температура 42 °С); в качестве пористой среды использовался дезинтегрированный керн объекта разработки, а для создания нефтенасыщенных моделей пласта со связанной водой и вытеснения нефти – изовязкозные пробы модели нефти вязкостью $\mu = 11.5$ мПа·с при температуре 42 °С и модель пластовой воды с минерализацией 113.12 г/л; метан и азот с содержанием основного компонента не менее 99.9%; водные растворы масловодорастворимого ПАВ марки СНПХ-4315Д и ПАА марки CS-1. Объемная скорость закачки вытесняющих агентов составляла 5 см³/час.

Фильтрационные исследования были выполнены на насыпных моделях пористой среды со связанной водой по вытеснению остаточной после заводнения нефти методом ВГВ, в том числе с использованием ПАВ (модели 1 и 2 - чередующейся закачкой оторочек метана и воды, азота и воды; модели 3 и 4 - совместной закачкой предоторочки пенообразующего ПАВ и чередующейся закачкой оторочек метана и воды, азота и воды), а также совместной закачкой предоторочки загущенной ПАВ воды и пластовой воды (модель 5).

На первом этапе каждого из 5 экспериментов в модели пласта создавалась остаточная нефтена-



сыщенность и определялся коэффициент вытеснения нефти водой. После этого применялся каждый из вышеперечисленных способов для довытеснения остаточной нефти. Суммарный объем прокачки рабочих агентов при заводнении и довытеснении нефти составлял 3.7 – 4.6 порового объема модели пласта.

В экспериментах по ВГВ было выбрано следующее соотношение объемов закачиваемых газа и воды: при использовании метана - 0.5 (1:1), азота - 0.3 (1:3) [2,8]. Размер суммарной оторочки «газ + вода» составил 0.1 порового объема пласта, было прокачено от 14 до 23 суммарных оторочек при довытеснении нефти в моделях 1 - 4.

Для предотвращения преждевременных прорывов газа и повышения эффективности воздействия эксперименты периодически останавливались на 7–8 часов. Эксперименты по ВГВ прекращались при прорыве газа с газовым фактором 5000 – 6000 см³/см³.

Предоторочка ПАВ представляла собой 0.1% раствор СНПХ-4315Д в пресной воде, объем закачки - 0.1 порового объема модели пласта. Далее осуществлялась закачка по технологии ВГВ.

В эксперименте с загущенной водой после заводнения в модель пласта закачивалась предоторочка 0.2 порового объема пласта 0.2% водного раствора ПАВ [5]. ПАВ растворяли в пресной воде, так как высокая минерализация пластовой воды, равная 113.12 г/л, существенно уменьшает вязкость

его растворов. Вязкость водного раствора ПАВ была приближена к вязкости модели нефти и составляла $\mu = 11.0$ мПа·с при температуре 42 °С.

Эксперименты выполнены на установке, основными элементами которой являются: горизонтально расположенная модель пласта полезной длиной 71 см и внутренним диаметром 3 см, снабженная образцовыми манометрами и запорными вентилями; блоки для обеспечения термобарических условий проведения эксперимента, фильтрации через модель пласта жидких флюидов (нефть, вода, водные растворы химрегенентов), контроля перепада давления при фильтрации, закачки в модель пласта газа высокого давления, сбора, разделения и анализа поступающей из пласта продукции.

Параметры моделей пласта и основные результаты вытеснения нефти водой представлены в таблице 1 и показаны на рисунке 3.

Результаты экспериментов по оценке эффективности довытеснения остаточной после заводнения нефти водогазовым воздействием, в том числе с использованием ПАВ, а также совместной закачкой предоторочки загущенной воды и пластовой воды представлены в таблице 2 и показаны на рисунке 4.

Результаты исследований показали эффективность вытеснения остаточной после заводнения нефти методом ВГВ, в том числе с использованием ПАВ.

Выводы

1. Коэффициент вытеснения нефти при применении ВГВ для условий горизонта Ю-1С увеличивается по сравнению с заводнением на 9.4% (для метана) и 7.0% (для азота).
2. Использование предоторочки ПАВ в технологии ВГВ позволяет дополнительно увеличить коэффициент вытеснения нефти на 2.0 – 2.5%.
3. Закачка предоторочки раствора полимера привела к увеличению коэффициента вытеснения нефти водой на 2.4%
4. Применение технологии ВГВ, в том числе с использованием ПАВ, дополнительно увеличивает коэффициент вытеснения нефти по сравнению с полимерным заводнением на 4.6 - 9.6%.
5. Результаты выполненных работ позволяют рекомендовать использование технологии ВГВ для условий горизонта Ю-1С месторождения «Каламкас».

Таблица 1

Коллекторские свойства моделей пласта и основные результаты вытеснения нефти водой

№ п/п	Параметры	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5
1	Объем пор, см ³	158	163	163	164	160
2	Пористость, д.ед.	0.316	0.321	0.325	0.321	0.211
3	Проницаемость по азоту при 20 °С, мкм ²	0.156	0.160	0.164	0.170	0.164
4	Проницаемость по воде при 20 °С, мкм ²	0.106	0.112	0.110	0.117	0.106
5	Остаточная водонасыщенность, д.ед.	0.420	0.436	0.408	0.421	0.476
6	Проницаемость по нефти при остаточной водонасыщенности и рабочих P и T , мкм ²	0.013	0.015	0.014	0.016	0.015
7	Начальная нефтенасыщенность, мкм ²	0.580	0.564	0.592	0.579	0.524
8	Остаточная нефтенасыщенность после заводнения, д.ед.	0.228	0.226	0.243	0.237	0.211
9	Объем прокачки воды, ед.	2.45	2.16	2.15	2.45	1.88
10	Коэффициент вытеснения нефти водой, д.ед.	0.607	0.600	0.590	0.592	0.597

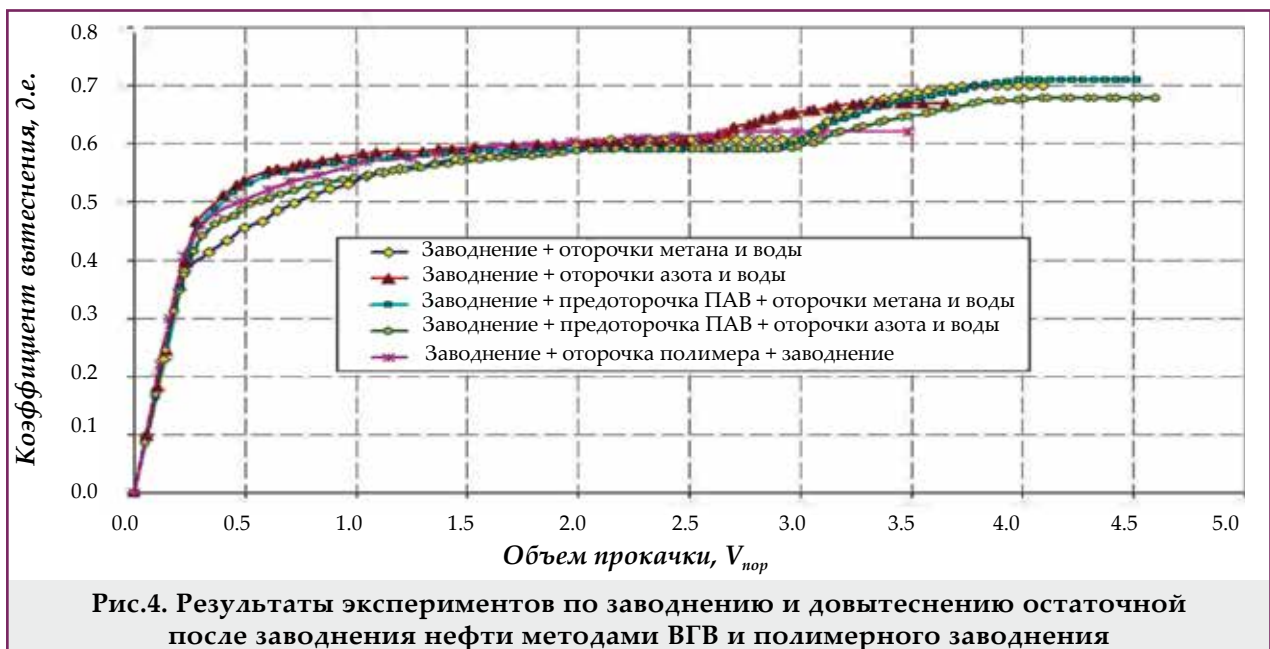


Таблица 2

Результаты экспериментов по довытеснению остаточной после заводнения нефти методами ВГВ и полимерного заводнения

Модель, №	Воздействие после заводнения	Объем прокачки после заводнения пласта, ед.	Остаточная нефтенасыщенность после довытеснения нефти, д.ед.	Суммарный $K_{\text{выт}}$, д.ед.	$\Delta K_{\text{выт}}$ относительно заводнения, д.ед.
1	ВГВ, 16 оторочек метан + вода	1.64	0.174	0.701	0.094
2	ВГВ, 14 оторочек азот + вода	1.5	0.187	0.670	0.070
3	ВГВ, ПАВ + 23 оторочки метан + вода	2.35	0.172	0.710	0.120
4	ВГВ, ПАВ + 21 оторочка азот + вода	2.15	0.191	0.681	0.089
5	Полимерное заводнение	1.61	0.199	0.621	0.024

Literatura

1. Г.С.Степанова. Газовые и водогазовые методы воздействия на нефтяные пласты. М.: Газоил пресс, 2006. [G.S.Stepanova. Gazoviye i vodogazoviye metodi vozdeystviya na neftyaniye plasti. M.: Gazoil press, 2006]
2. Г.С.Степанова, Д.Н.Михайлов. Обоснование технологии водогазового воздействия, основанной на эффекте пенообразования //Нефтяное хозяйство. -2008. -№3. -С.76-79.
[G.S.Stepanova, D.N. Mikhajlov. Experimental and theoretical substantiation of technology of the water-gas influence, based on the foaming effect //Oil industry. -2008. -№3. -P.76-79]
3. А.Х.Шахвердиев, Г.М.Панахов, В.А.Сулейманов и др. Способ разработки нефтяной залежи //Патент РФ № 2123586, 1998. A.Kh.Shakhverdiev, G.M.Panakhov, V.A.Suleimanov et al. Method for development of oil deposit //RU Patent №2123586, 1998]
4. Т.Ш.Салаватов, В.А.Сулейманов, А.С.Нурьяев. Селективная изоляция притока жестких пластовых вод в добывающих скважинах //Нефтяное хозяйство. -2000. -№12. -С.81-83.
[T.Sh.Salavatov, V.A.Suleimanov, A.S.Nuryaev. Selective isolation of hard formation waters influx in producing wells //Oil industry. -2000. -№12. -P.81-83]
5. В.А.Сулейманов, Х.Ф.Азизов. Об особенностях течения газированной жидкости в пористом теле // Коллоидный журнал. -1995. -Т.57. -№6. -С.862-867.
[V.A.Suleimanov, Kh.F.Azizov. Specific Features of the Flow of a Gassed Liquid in a Porous Body //Colloid journal. -1995. -Vol. 57. -№6. -P. 862-867]
6. В.А.Сулейманов, Х.Ф.Азизов. Об эффекте проскальзывания газожидкостной системы при фильтрации в пористой среде //Нефтяное хозяйство. -1996. -№6. -С.39-41.
[V.A.Suleimanov, H.F.Azizov. Slippage while filtration of gas-liquid mixture in porous media // Oil industry. -1996. -№6. -С.39-41]
7. В.А.Сулейманов, Х.Ф.Азизов, Е.М.Аббасов. Slippage effect during gassed solid displacement //Energy Sources. -1996. -V.18. -№7. -P.773-779.
8. В.А.Сулейманов. Об эффекте проскальзывания при фильтрации газированной жидкости // Коллоидный журнал. -1997. -Т.59. № 6. -С.834 - 839.
[V.A.Suleimanov. Slip effect during filtration of gassed liquid //Colloid journal. -1997. - T.59. № 6. -P.807-812]
9. О.И.Буторин, Г.Н.Пияков. Обобщение экспериментальных исследований по определению эффективности применения газового и водогазового воздействия на пласты //Нефтепромышленное дело. -1995. -№8-10. -С.54-59.
[O.I.Butorin, G.N.Piyakov. Obobsheniye eksperimentalnyh issledovaniy po opredeleniyu effektivnosti primeneniya gazovogo i vodogazovogo vozdeystviya na plasti //Neftepromyslovoe delo. -1995. -№8-10. -S.54-59]
10. А.М.Петраков, Ю.А.Егоров, Т.Л.Ненартович и др. «Экспериментальная оценка эффективности применения технологии водогазового воздействия на опытной площадке горизонта Ю-1С месторождения «Каламкас» //Материалы международной научно-практической конференции. «Современные проблемы нефтегазового комплекса Казахстана», Актау, 2011.
[A.M.Petrakov, Yu.A.Yegorov, T.L.Nenartovich i dr. «Eksperimentalnaya otsenka effektivnosti primeneniya tehnologii vodogazovogo vozdeystviya na opytном uchastke gorizonta Yu-1S mestorojdeniya «Kalamkas» //Materialy mejdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. «Sovremenniye problemy neftegazovogo kompleksa Kazahstana», Aktau, 2011]

Efficiency assessment of water-alternating-gas for «Kalamkas» field Ю-1С horizon test plot in accordance with penetration test results in core

M.I.Kurbanbayev¹, A.J.Abitova²

(¹JSC «Kazakh Institute of Oil and Gas», ²JSC «KazNIPIMunayGas»)

Abstract

In recent years, in world practice, for production stimulation of hard-to-recover oil reserves, the relatively new technology of production enhancement using water-alternating-gas (WAG) has found increasingly greater application. In the article, results of experimental research on efficiency assessment of WAG methods relating to oil of the «Kalamkas» field Ю-1С horizon of Kazakhstan Republic are considered. Research results showed the efficiency of displacement of oil remaining after water flooding by the WAG method, including through usage of surface-active agents (SAA).

**Kern üzərində aparılan süzülmə tədqiqatlarının nəticələri əsasında
“Kalamkas” yatağının Ю-1С horizontunun təcrübə sahəsində
su-qaz təsirinin effektivliyinin qiymətləndirilməsi**

M.İ.Kurbanbayev¹, A.J.Abitova²

(¹«Qazastitutu» SC, ²«QazNIPIMunayQaz» SC)

Xülasə

Son illər dünya təcrübəsində çətin çıxarılabılən neft ehtiyatlarının hasilatının intensivləşdirilməsi üçün layların neftveriminin artırmasının nisbətən yeni texnologiyası olan su-qaz təsirinin (SQT) tətbiqi daha çox yer tutur. Məqalədə Qazaxstan Respublikasının “Kalamkas” yatağının Ю-1С horizontu neftinin təmsalında SQT üsullarının effektivliyinin qiymətləndirilməsi üzrə sınaq tədqiqatlarının nəticələri nəzərdən keçirilir. Tədqiqatın nəticələri SQT üsulu ilə, o cümlədən səthi aktiv maddələrin (SAM) istifadəsi ilə sulaşmadan sonra qalıq neftin sıxışdırılmasının effektivliyini göstərmişdir.