



УДК УДК 622.323(574)

DOI: 10.31643/2021/6445.07



МРПТИ 52.47.27

The effectiveness of the use of physical impact on the reservoir to reduce the viscosity and increase oil recovery

^{1*} Moldabayeva G. Zh., ¹ Suleimenova R. T., ² Agzamov A. Kh., ¹ Abileva S. Zh., ¹ Baluanov B. A.,
³ Karimova A. S.

¹ Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

² Karshi Engineering and Economic Institute, Karshi, Uzbekistan

³ Safi Utebayev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan

* Corresponding author email: g.moldabayeva@satbayev.university

ABSTRACT

This article provides a technical and economic assessment of the effectiveness of the application of physical impact on a productive formation in one of the fields in Western Kazakhstan. The world experience of using the technology of physical stimulation in the fields shows high technological efficiency. Also, in order to optimize oil production, as a result of physical impact, changes in oil viscosity, an increase in oil production and a decrease in water cut were calculated. All the Cretaceous horizons have good reservoir properties, however, the high viscosity of oil and poor consolidation of the rocks composing the horizons do not allow for the full recovery of the product. Determination of phase permeabilities in the oil-water system was carried out in laboratory conditions with joint stationary filtration. According to the calculations performed in order to optimize oil production, as a result of physical impact, the oil viscosity changed to a value of 430 cP from 700 cP, the value decreased almost 2 times. There is also an increase in oil production and a decrease in water cut.

Keywords: Physical impact, viscosity, oil recovery factor, technical and economic efficiency, technology of physical impact, geological and technical measures.

Received: 26 January 2021

Peer reviewed: 15 February 2021

Accepted: 04 March 2021

Information about authors:

Moldabayeva Gulnaz Zhaksylykovna

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University, 050013, Satpayev 22a, Almaty, Kazakhstan. Email: moldabayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7331-1633>

Suleimenova Raikhan Taupikhovna

Doctoral student of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University, 050013, Satpayeva 22a, Almaty, Kazakhstan. Email: raika_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7995-5560>

Agzamov Avaz Khamidillaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields, Karshi Engineering and Economic Institute, 180100, Mustakillik Avenue, 225, Karshi, Uzbekistan

Abileva Saule Zhalgasbaykyzy

Doctoral student of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University, 050013, Satpayeva 22a, Almaty, Kazakhstan. Email: saulezh007@gmail.com

Baluanov Bakytzhan Aytuarovich

Doctoral student of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University, 050013, Satpayeva 22a, Almaty, Kazakhstan. Email: baluan101@gmail.com

Karimova Akmaral Safiullaevna

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Oil and Gas Faculty, Atyrau University of Oil and Gas named after Safi Utebayev, Baimukhanov 45a, Atyrau, Kazakhstan. Email: akmaral0167@mail.ru

Эффективность применения физического воздействия на продуктивный пласт для снижения вязкости и увеличения нефтеотдачи пластов

^{1*} Молдабаева Г. Ж., ¹ Сулейменова Р. Т., ² Агзамов А. Х., ¹ Абилова С. Ж., ¹ Балуюнов Б. А.,
³ Каримова А. С.

¹ Satbayev University, Алматы, Казахстан

² Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

³ Атырауский университет нефти и газа имени СафиУтебаева, Атырау, Казахстан

* Электронная почта автора: g.moldabayeva@satbayev.university

АННОТАЦИЯ

В данной статье проведена технико-экономическая оценка эффективности применения физического воздействия на продуктивный пласт в одном из месторождений Западного Казахстана. Мировой опыт использования технологии физического воздействия на месторождениях показывает высокую технологическую эффективность. Также в целях

Статья поступила: 26 января 2021
Рецензирование: 15 февраля 2021
Принята в печать: 04 марта 2021

оптимизации добычи нефти, в результате физического воздействия были рассчитаны изменения вязкости нефти, увеличение добычи нефти и снижение обводненности. Все меловые горизонты обладают хорошими коллекторскими свойствами, однако, высокая вязкость нефти и слабая сцементированность пород, слагающих горизонты, не позволяют в полной мере извлекать продукт. Определение фазовых проницаемостей в системе «нефть-вода» проводилось в лабораторных условиях при совместной стационарной фильтрации. По выполненным расчетам в целях оптимизации добычи нефти, в результате физического воздействия вязкость нефти изменилась до значения 430 сПз от 700 сПз, практически в 2 раза снизилось значение. Также наблюдается увеличение добычи нефти и снижение обводненности.

Ключевые слова: физическое воздействие, вязкость, коэффициент извлечения нефти, технико-экономическая эффективность, технология физического воздействия, геолого-техническое мероприятие.

Информация об авторах:	
Молдабаева Гульназ Жаксылыковна	Доктор технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Нефтяная Инженерия», Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Казахстан. https://orcid.org/0000-0001-7331-1633 . Email: moldabayeva@gmail.com
Сулейменова Райхан Таупиховна	Докторант кафедры «Нефтяная Инженерия», Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Казахстан. https://orcid.org/0000-0001-7995-5560 . Email: raika_83@mail.ru,
Азгамов Аваз Хамидиллаевич	Доктор технических наук, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Каршинский инженерно-экономического институт, 180100, проспект Мустакиллик, 225, г.Карши, Узбекистан
Абилева Сауле Жалгасбайқызы	Докторант кафедры «Нефтяная Инженерия», Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Казахстан. Email: saulezh007@gmail.com
Балуанов Бакытжан Айтуарович	Докторант кафедры «Нефтяная Инженерия», Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Казахстан. Email: baluan101@gmail.com
Каримова Акмарал Сафиуллаевна	Кандидат физико-математических наук, доцент Нефтегазового факультета, Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева, Баймуханова 45а, Атырау, Казахстан. Email: akmaral0167@mail.ru

Введение

В статье рассмотрена гидродинамическая модель на основе существующего месторождения в юго-восточной части Прикаспийской впадины, относящегося к группе месторождений, разрабатываемых национальной компанией. Моделирование разработки нефтяных месторождений позволяет уточнить геологическое строение и фильтрационно-емкостные свойства нефтяного пласта при воспроизведении истории разработки (history matching). Главной целью гидродинамического моделирования является обоснование геолого-технических мероприятий в средне- и долгосрочной перспективах разработки, а также оптимизация систем разработки выработанных месторождений с использованием современных технологий оптимизации заводнения и третичных методов повышения нефтеотдачи [1-11].

Экспериментальная часть

В разрезе месторождения выявлены продуктивные горизонты меловых отложений (рис. 1) и юрских отложений. Меловые горизонты приурочены к неокомским терригенным

отложениям нижнего мела, юрские - к терригенным отложениям средней юры [4, 5].

В меловых отложениях установлено 3 нефтяных горизонта, залегающих на глубине 190-300м (рис. 2).

Все меловые горизонты обладают хорошими коллекторскими свойствами, однако, высокая вязкость нефти и слабая сцементированность пород, слагающих горизонты, не позволяют в полной мере извлекать продукт [2].

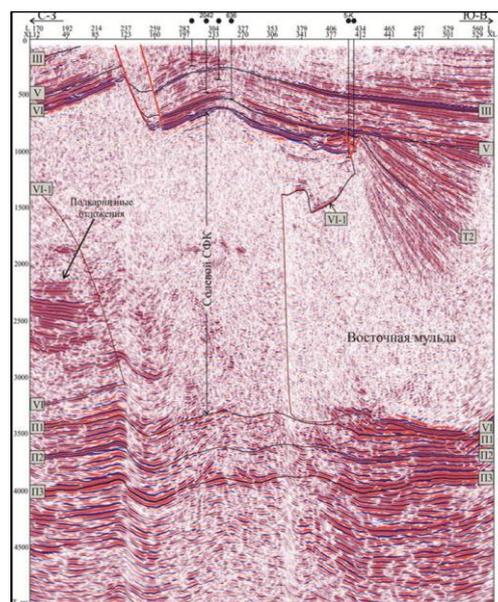


Рисунок 1 - Сейсмический профиль месторождения

Горизонт Ю-II с учетом новых данных по вновь пробуренным скважинам разделен два пласта Ю-II-A и Ю-II-Б. В пределах горизонта Ю-III прослеживаются также 2 пласта, к верхнему

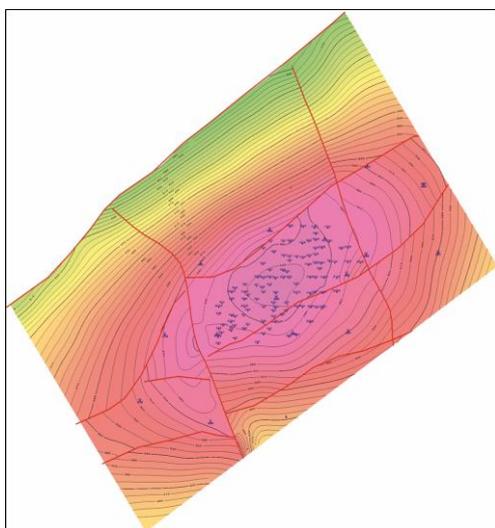


Рисунок 2 - Отражающий горизонт по подошве меловых отложений

пласту Ю-III-A приурочена нефтяная залежь, нижний Ю-III-Б – водоносный.

Особенностью данного месторождения является флюидальная система. В таблице 1 приведены свойства нефти всех горизонтов.

Класс нефти по содержанию серы нефти всех продуктивных горизонтов относятся к 1 классу с концентрацией 0,10-0,43% масс и являются малосернистыми [13, 14].

По показателю плотности нефти всех продуктивных горизонтов относятся как к тяжелым, так и к битуминозным нефтям. Среднее значение по горизонтам изменяется в пределах 876-917 кг/м³ (типы 2, 3). По содержанию парафина нефти всех продуктивных горизонтов являются малопарафинистые и парафинистые (Ю-III-A). Среднее значение парафина по горизонтам колеблется в пределах 0,49-2,08% масс. По содержанию смол нефти всех продуктивных горизонтов относятся к малосмолистым. Среднее значение содержание смол по горизонтам в пределах 6,4-14,3% масс.

По значениям вязкости выше 200 мПа•с нефть относится к высоковязким или сверхвязким нефтям [18, 19] (таблица 1). Построена зависимость вязкости пластовой нефти от плотности пластовой нефти (рис. 3).

На рисунке 4 показано изменение плотности нефти с глубиной, т.е. с уменьшением глубины нефти тяжелеет. Также это подтверждается и

другими параметрами: газосодержание, вязкостью [17].

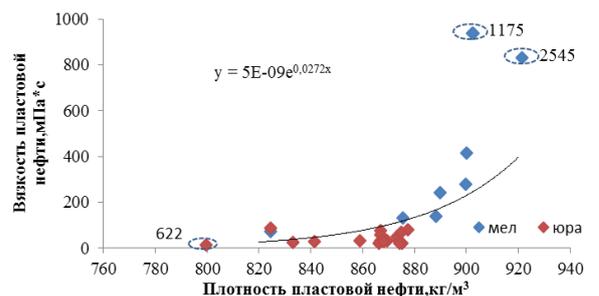


Рисунок 3- Зависимость вязкости пластовой нефти от плотности пластовой нефти

Определение фазовых проницаемостей в системе «нефть-вода» проводилось в лабораторных условиях при совместной стационарной фильтрации [4, 3]. Нефть использовалась со следующими параметрами: для меловых отложений вязкостью $\mu_n = 48$ мПа•с и плотностью $\rho_n = 0,91$ г/см³ при $T_{пл} = 25^\circ\text{C}$; для юрских отложений вязкостью $\mu_n = 30$ мПа•с и плотностью $\rho_n = 0,878$ г/см³ при $T_{пл} = 30^\circ\text{C}$.

Таблица 1 - Свойства флюидальной системы месторождения

Параметры	М-I-A	М-I-Б	М-I-B
Плотность в поверхностных условиях, кг/м ³	917	917	917
Кинематическая вязкость при 20°C, мм ² /с	-	807,5	691,5
Давление насыщения, МПа	-	0,2	0,6
Газосодержание, м ³ /т	-	1,29	3,6
Объемный коэффициент, доли ед.	-	1,006	1,014

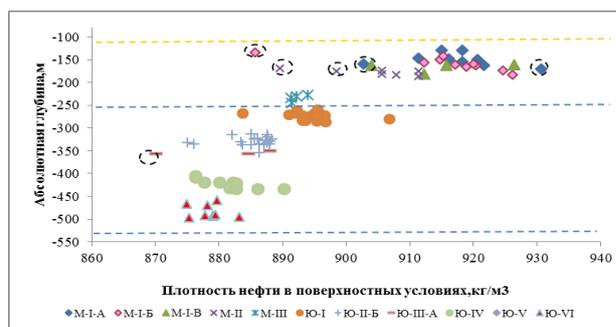


Рисунок 1 - Изменение плотности нефти с глубиной

Результаты определения ОФП модели 1 даны в таблице 2 и рисунке 5, из которых можно сделать вывод, что коллектора и меловых и юрских отложений гидрофильны.

По меловым отложениям исследована 1 модель по образцам горизонта М-II – остаточная водонасыщенность составляет 23,1%, остаточная нефтенасыщенность - 36,7% и коэффициент вытеснения при этом составляет 52,3%.

Таблица 2 - Результаты определения ОФП в системе "нефть-вода" на модели № 1

№ режима	Доля флюида в потоке, %		Насыщенность, доли ед.		Фазовая проницаемость, $\text{мкм}^2 \cdot 10^{-3}$	
	нефть	вода	нефть	вода	нефть	вода
1	0	100	0	1	0	3021,38
2	100	0	0,769	0,231	2818,45	0
3	75	25	0,694	0,306	2209,7	14,092
4	50	50	0,645	0,355	1739,01	31
5	25	75	0,592	0,408	1319,1	70,46
6	10	90	0,526	0,474	808,91	129,65
7	5	95	0,477	0,523	532,7	183,2
8	0	100	0,367	0,633	0	763,81

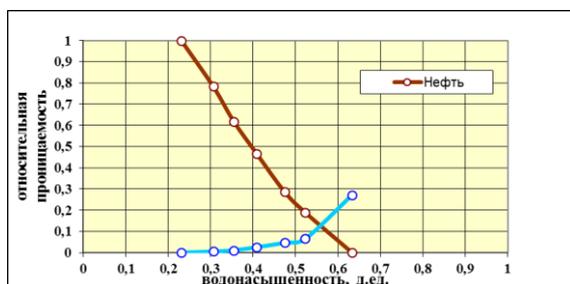


Рисунок 5 - Относительные фазовые проницаемости «нефть-вода» (мел)

Граничное значение пористости для меловых и юрских отложений определено по пересечению линии граничного значения проницаемости с трендом зависимости коэффициента проницаемости от коэффициента пористости, соответственно равным 20,6% и 18,2% (рис. 6).

Эксплуатация месторождения на участке осуществляется механизированным способом при помощи УШГН и УЭВН в силу высокой вязкости, пескопроявления. Принята одинаковая плотность сетки скважин 200x200м и одинаковая система заводнения – 9 точечная система площадного заводнения. Давление нагнетания принято равным 8 МПа [4].

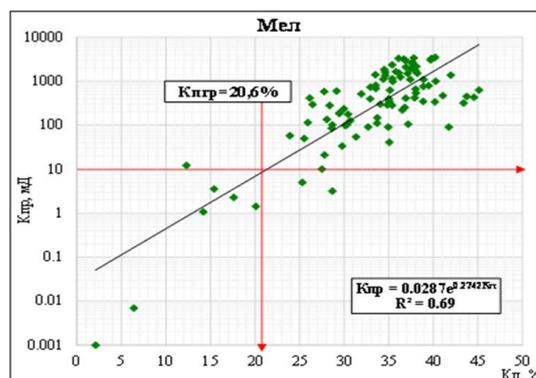


Рисунок 6 - Зависимость коэффициента проницаемости и пористости (мел)

Для объектов I и II реализована площадная девятиточечная обращенная система разработки, для других объектов - очаговая система.

Текущий КИН по 1 объекту составляет 0,01 д. ед., тогда как утвержденный проектный КИН составляет 0,359 д. ед. Меловые отложение характеризуются наименьшими темпами отбора.

Объект I



Рисунок 7 - Динамика давлений в ходе эксплуатации объекта I

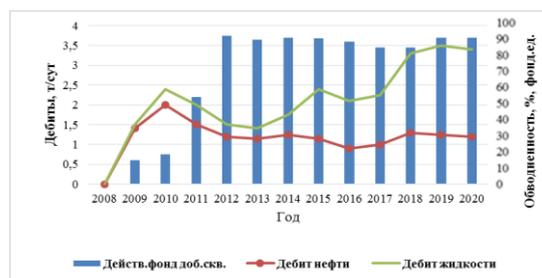


Рисунок 8 - Динамика основных технологических показателей разработки объекта I

По объектам I, II и III снижения пластового давления не наблюдается. Энергетическое состояние характеризуется как стабильное.

По объектам снижение текущего пластового давления от начального одинаково незначительное, составляет 0,3-0,8 МПа.

В 2020 году обводненность добываемой продукции составляет 66%. Средний дебит нефти составляет примерно 3,4 т/сут, тогда как

максимальный дебит составлял 3,6 т/сут по объекту I.

Результаты и обсуждение

В целях оптимизации добычи нефти были рассмотрены следующие условия при проведении физического воздействия на призабойную зону пласта: интенсивность сейсмических волн в пласте – более 10-5 Вт/м², частота – менее 10 Гц. [18].

Таблица 4 – Принимаемые первоначальные параметры при расчете

<i>h</i>	9,8	м
<i>Площадь ПЗС 1 скважины</i>	78,5	м ²
<i>Объем порового пространства</i>	269,3	м ³
<i>Первоначальная вязкость нефти</i>	700,0	сПз
<i>Плотность нефти в пластовых условиях</i>	900	т/м ³
<i>Дебит нефти</i>	4,1	т/сут
<i>Обводненность</i>	67	%

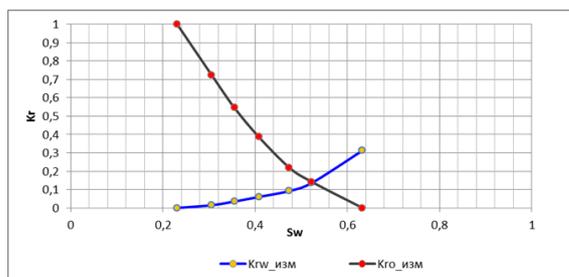
Основные параметры, которые подверглись изменению – это относительные фазовые проницаемости по нефти и воде, вязкость нефти за счет снижения межфазного натяжения флюидов [12].

Таблица 5 – Основные измененные параметры

№	<i>S_o</i>	<i>S_w</i>	<i>K_{rw}</i>
1	1		
2	0	1	
3	0,769	0,231	0
4	0,694	0,306	0,015
5	0,645	0,355	0,035
6	0,592	0,408	0,06
7	0,526	0,474	0,092
8	0,477	0,523	0,136
9	0,367	0,633	0,312

На рисунке 9 представлено графически изменение фазовых относительных проницаемости.

Вязкость нефти изменилась до значения 430 сПз, то есть практически в 2 раза снизилось значение [6-9].



Мес.	Дебит нефти, т/сут	Доп. добыча, т/сут	Добыча нефти, т	Добыча жид., мт	Обв., %
1	6,14	2,04	165,89	267,1	61
2	6,63	2,53	179,00	282,8	58,0
3	6,30	2,20	170,05	268,0	57,6
4	5,35	1,25	144,54	227,3	57,3
5	4,97	0,87	134,28	210,4	56,7
6	5,12	1,02	138,31	217,2	57,0
7	4,66	0,56	125,72	197,3	56,9
8	4,10	0,00	110,63	169,2	53,0
9	3,65	-0,45	98,46	148,0	50,3

Рисунок 9 - Измененные ФОП

Посчитанная добыча нефти представлена на рисунке 10 и в таблице 6 ниже. Наблюдается незначительное увеличение добычи нефти, обводненность практически без изменения.

Таблица 6 – Посчитанная добыча

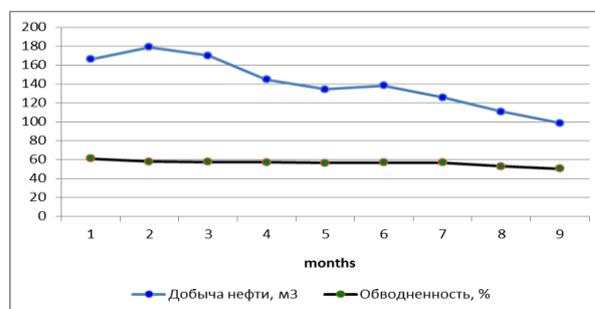


Рисунок 10 - Измененные ФОП

Проведя простые экономические расчеты, была получена эффективность проведения геолого-технического мероприятия из расчета на одну скважину. Необходимо учитывать, что затраты по ГТМ представлены только стоимостью проведения одного мероприятия.

Предполагается, что ГТМ будет проводиться в течение 12 часов, т.е. при расчетах учитывается также простой скважины на капитальный ремонт скважин. Также рассматривается мобилизация оборудования КРС и тарифные ставки самой бригады КРС.

Таблица 7 – Эффективность проведения ГТМ

Параметры ГТМ	Стоим.	Ед. изм.	Ко л. про в.
Стоим.пров. 1 ГТМ бригадой	11500000	тг	2
Мобил.оборуд.расх одных материалов	520000	тг	4
Бригада КРС	5000	долл	.
Мобил. КРС оборудования	5000	долл	.
Простой 1 скважины	-410000	тг	2
Реализ. 1 тонна нефти	50000	тг/ тн	
Прибыль при реализ.продук.	56305343 ,04	тг	
Чистая прибыль	35 395 343	тг.	

Выводы

Подводя итоги анализа применения методов физического воздействия на залежь, можно отметить следующее: данные физические методы являются перспективными, которые приводят к разрушению структур нефтяных ассоциатов и тем самым снижают вязкость нефти; данные методы имеют высокий технологический потенциал, позволяют увеличить конечный коэффициент извлечения нефти, а также снизить вязкость и объемы бываемой воды при

разработке месторождений, находящихся на поздней стадии разработки; максимальная эффективность при реализации данных методов достижима на неглубоких многопластовых месторождениях (глубина залегания до 2000 м);

По выполненным расчетам в целях оптимизации добычи нефти, в результате физического воздействия вязкость нефти изменилась до значения 430 сПз от 700 сПз, практически в 2 раза снизилось значение. Также наблюдается увеличение добычи нефти и снижение обводненности.

Благодаря проведению простых экономических расчетов, была получена эффективность проведения геолого-технического мероприятия из расчета на одну скважину.

На сегодняшний день по увеличению нефтеотдачи пластов физическими методами опубликовано большое количество работ, в которых разъясняется физическая сторона данного вопроса и предлагаются различные технико-технологические решения по использованию данного воздействия на залежь.

Влияние физическими методами на реологические свойства нефти, а также на её поведение после обработки исследовано недостаточно.

Данное направление для увеличения нефтеотдачи является перспективным и требует дальнейшего испытания.

Конфликт интересов

От имени всех авторов корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Молдабаева Г.Ж. , Сулейменова Р. Т. , Агзамов А. Х., Абилова С. Ж., Балуанов Б. А. Каримова А. С. Эффективность применения физического воздействия на продуктивный пласт для снижения вязкости и увеличения нефтеотдачи пластов // *Комплексное использование минерального сырья = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* 2021. №1(316), стр. 53-61. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.07>

Cite this article as: Moldabayeva G.Zh., Suleimenova R.T., Abileva S. Zh., Baluanov B. A. Karimova A.S. Effektivnost' primeneniya fizicheskogo vozdeystviya na produktivnyy plast dlya snizheniya vyazkosti i uvelicheniya nefteotdachi plastov [The effectiveness of the use of physical impact on the reservoir to reduce the viscosity and increase oil recovery]. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* 2021. № 1 (316), pp. 53-61. (In Rus.). <https://doi.org/10.31643/2021/6445.07>

Тұтқырлықты төмендету және мұнайдың шығымын арттыру үшін қабатқа физикалық әсер етуді қолдану тиімділігі

^{1*} Молдабаева Г.Ж., ¹ Сулейменова Р. Т., ² Агзамов А. Х., ¹ Абилова С. Ж., ¹ Балуюнов Б. А.,
³ Каримова А. С.

¹ Satbayev University, Алматы, Қазақстан

² Карши инженерлік-экономикалық институты, Карши, Өзбекстан

³ Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан

* Corresponding author email: g.moldabayeva@satbayev.university

Мақала келді: 26 қаңтар 2021 Рецензенттен өтті: 15 ақпан 2021 Қабылданды: 04 наурыз 2021	<p>ТҮЙІНДЕМЕ</p> <p>Бұл мақалада Батыс Қазақстандағы кен орындарының бірінде өнімді қабатқа физикалық әсер ету тиімділігінің техникалық-экономикалық көрсеткіштері қарастырылған. Өнімді қабатқа физикалық әсер етуді ынталандыру технологиясын қолданудың әлемдік тәжірибесі жоғары технологиялық тиімділікті көрсетеді. Сондай-ақ, мұнай өндіруді оңтайландыру мақсатында физикалық әсер ету нәтижесінде мұнай тұтқырлығының өзгеруі, мұнай өндірісінің артуы және суланудың азаюы айтылады. Борлы горизонттар жақсы қабаттық қасиеттерге ие, алайда мұнайдың тұтқырлығы жоғары және горизонттарды құрайтын жыныстардың нашар цементтелген жағдайына байланысты өнімнің толық шығу қарқынына мүмкіндік бермейді. Мұнай-су жүйесіндегі фазалық өткізгіштікті стационарлық фильтрацияны анықтау зертханалық жағдайда жүргізілді. Мұнай өндіруді оңтайландыру мақсатында жүргізілген есептеулерге сәйкес, физикалық әсер ету нәтижесінде мұнай тұтқырлығы 430 сПз мәніне және 700 сПз-ден өзгеріп, мәні екі есеге жуық қысқарды. Бұндайда мұнай өндірудің ұлғаюы және өнімнің сулануы азаю байқалады.</p> <p>Түйін сөздер: Физикалық әсер, тұтқырлық, мұнайды алу коэффициенті, техникалық-экономикалық тиімділік, физикалық әсер ету технологиясы, геологиялық-техникалық шаралар.</p>
Молдабаева Гульназ Жаксылыковна	<p>Авторлар туралы ақпарат:</p> <p>Техника ғылымдарының докторы, Satbayev University, «Мұнай инженерия» кафедрасының профессоры. 050013, Сатпаев 22а, Алматы, Қазақстан. Email: moldabayeva@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7331-1633</p>
Сулейменова Райхан Тауриховна	<p>«Мұнай инженерия» кафедрасының докторанты, Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Қазақстан. Email: raika_83@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7995-5560</p>
Агзамов Аваз Хамидиллаевич	<p>Техника ғылымдарының докторы, Карши инженерлік-экономикалық институты, Мұнай және газ кен орындарын игеру және пайдалану кафедрасының профессоры, 180100, Mustakillik даңғылы, 225, Карши, Өзбекстан</p>
Абилова Сәуле Жалғасбайқызы	<p>«Мұнай инженерия» кафедрасының докторанты, Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Қазақстан. Email: saulezh007@gmail.com</p>
Балуюнов Бақытжан Айтуарұлы	<p>«Мұнай инженерия» кафедрасының докторанты, Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Қазақстан. Email: baluan101@gmail.com</p>
Каримова Акмарал Сафиуллаевна	<p>Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Мұнай-газ факультеті доценті. Баймұханов 45а, Атырау, Қазақстан. Email: aktara10167@mail.ru</p>

Литература

- [1] Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. Development of ultrasonic equipment and technology for well stimulation and enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Vol. 125. P. 1-8.
- [2] M.S. Mullakaev, V.O. Abramov, A.V. Abramova. Ultrasonic piezoceramic module and technology for stimulating low-productivity wells. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2017. Vol. 158. - P. 529 - 534.
- [3] В.Е. Андреев, Г.С. Дубинский, А.В. Чибисов, Р.Т. Ахметов, С.А. Яскин, В.В. Мухаметшин, А.Р. Хафизов. Группирование объектов разработки при проектировании мероприятий по увеличению нефтеотдачи. Нефтегазовое дело. - 2015. Т. 13. -№ 4. -С. 89-96.
- [4] Отчет Нефтегазовая отрасль Республики Казахстан. KASE. Июль, 2019г.
- [5] Градов, О.М. Оптимизация управления ультразвуковой обработкой материала нефтяных пластов в процессе акустической стимуляции скважин. Материаловедение. - 2015. - № 4. - С. 11-17.
- [6] M.S Mullakaev., G.I. Volkova. Sonochemical technology for reduction on the viscosity temperature properties of crude oils of various compositions. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2018.
- [7] Лесин В.И., Клепиков И.А. Применение фрактальной теории вязкости дисперсных систем к аномальной зависимости вязкости от скорости сдвига. Нефтяное хозяйство. - 2015. № 2. С. 38-41.
- [8] Д.Н. Мусина, Б.Р. Ваганов, О.Ю. Сладовская. Современные технологии повышения нефтеотдачи пластов на основе ПАВ. Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 12. – С.63- 67

- [9] Волкова Г.И., Ануфриев Р.В., Юдина Н.В., Муллакаев М.С. Применение ультразвуковой обработки для снижения вязкостно-температурных характеристик нефти. *Neftegaz.RU*. –2015. – № 3. – С. 20–23.
- [10] А. Х. Чолоян, Г. С. Дубинский. Термическое и физико-химическое воздействие на продуктивный пласт при добыче высоковязких нефтей. *Нефтегаз. технол. и новые матер. (пробл. и решения)*. – 2015. – № 4. – С. 243- 251.
- [11] Паклинов Н.М., Барышников А.А., Ведменский А.М. Воздействие на нефтесодержащий пласт физическими полями с целью увеличения нефтеотдачи. *Современные проблемы науки и образования*. - 2015. -№2-2.;
- [12] Hua, Q.; Tan, D.; Chen, L.; Tian, S.; Hu, Y. Ultrasonic irradiation reduces Shengli heavy oil viscosity. *Oil Gas J.* 2017, 115, 46–49.
- [13] В. Н. Вережников, И. И. Гермашева, М. Ю. Крысин. Коллоидная химия поверхностно-активных веществ: Учебное пособие Спб.: Лань. – 2015. – 304 с.
- [14] Speight J.G. *Introduction to Enhanced Recovery Methods for Heavy Oil and Tar Sands*. Elsevier; Laramie, WY, USA: 2016. Nonthermal methods of recovery; pp. 353–403
- [15] Прачкин В.Г. Интенсификация добычи нефти комбинированным методом на основе ультразвукового воздействия. Разработка и Эксплуатация НГМ, диссертация, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия- С. 148
- [16] Avvaru, B.; Venkateswaran, N.; Uppara, P.; Iyengar, S.B.; Katti, S.S. Current knowledge and potential applications of cavitation technologies for the petroleum industry. *Ultrason. Sonochem.* 2018, 42, 493–507.
- [17] Л. К. Алтунина, В. А. Кувшинов, И. В. Кувшинов. Нетермические физико-химические технологии увеличения нефтеотдачи из залежей высоковязких нефтей. *Нефть и газ*. – 2016. – № 5(95). – С. 57–66.
- [18] G.Zh. Moldabayeva, R.T. Suleimenova, "Scientific and Technical Substantiation of Reducing Oil Viscosity", *International Journal of Engineering Research and Technology*, (ISSN 0974-3154) 2020, 13(5), с. 967-972
- [19] Moldabayeva G.; Suleimenova R.; Experimental support of field trial on the polymer flooding technology substantiation in the oil field of western Kazakhstan. "Periódico tchê química". Volume 17 - Número 35. 2020, ISSN 2179-0302. pp 963-975.

Reference

- [1] Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. Development of ultrasonic equipment and technology for well stimulation and enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2015. Vol. 125. P. 1-8. (in Eng).
- [2] Mullakaev, M.S. Mullakaev, V.O. Abramov, A.V. Abramova. Ultrasonic piezoceramic module and technology for stimulating low-productivity wells. *M.S. Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2017. Vol. 158. -p. 529 - 534. (in Eng).
- [3] V.E. Andreev, G.S. Dubinsky, A.V. Chibisov, R.T. Akhmetov, S.A. Yaskin, V.V. Mukhametshin, A.R. Khafizov. Grupperovaniye ob'yektov pri proyektirovani meropriyatiy po uvelicheniyu nefteotdachi. [Grouping of development objects in the design of measures to increase oil recovery]. *Neftegazovoye delo=Oil and Gas Business*. 2015. T. 13. -No. 4. -С. 89-96. (in Russ).
- [4] Otchet Neftegazovaya otrasl' Respubliki Kazakhstan [Report "Oil and Gas Industry of the Republic of Kazakhstan]. KASE. July, 2019. (in Russ).
- [5] Gradov, O.M. Optimizatsiya upravleniya ul'trazvukovoy obrabotkoy materiala neftyanykh plastov v protsesse akusticheskoy stimulyatsii skvazhin [Optimization of control of ultrasonic treatment of oil reservoir material in the process of acoustic stimulation of wells]. *Materialovedeniye=Materials Science*. 2015. - No. 4. - S. 11-17. (in Russ).
- [6] M.S Mullakaev., G.I. Volkova. Sonochemical technology for reduction on the viscosity temperature properties of crude oils of various compositions. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2018. (in Eng).
- [7] Lesin V.I., Klepikov I.A. Primneniye fraktal'noy teorii vyazkosti dispersnykh sistem k anomal'noy zavisimosti vyazkosti ot skorosti sdviga [Application of the fractal theory of viscosity of dispersed systems to the anomalous dependence of viscosity on shear rate]. *Neftyanoye khozyaystvo=Oil industry*. 2015. No. 2. P. 38-41. (in Russ).
- [8] Musina, B.R. Vaganov, O. Yu. Sladovskaya. Sovremennyye tekhnologii povysheniya nefteotdachi plastov na osnove PAV [Modern technologies for enhanced oil recovery based on surfactants]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta=Bulletin of Kazan Technological University*. 2016. - T. 19. - No. 12. - P.63-67. (in Russ).
- [9] Volkova G.I., Anufriev R.V., Yudina N.V., Mullakaev M.S. Primneniye ul'trazvukovoy obrabotki dlya snizheniya vyazkostno-temperaturnykh kharakteristik nefti [The use of ultrasonic treatment to reduce the viscosity-temperature characteristics of oil]. *Neftegaz.RU*. 2015. - No. 3. - P. 20–23. (in Russ).
- [10] Choloyan, A.Kh. Choloyan A. Kh., Dubinsky G. S. Termicheskoye i fiziko-khimicheskoye vozdeystviye na produktivnyy plast pri dobyche vysokovyazkikh neftey [Thermal and physicochemical impact on the productive

- formation during the production of high-viscosity oils]. *Neftegaz. tekhnol. i novyye mater. (probl. i resheniya)=Neftegaz. technol. and new mater. (problems and solutions)*. 2015. - No. 4. - P. 243- 251. (in Russ).
- [11] Paklinov N.M., Baryshnikov A.A., Vedmensky A.M. Vozdeystviye na neftesoderzhashchiy plast fizicheskimi polyami s tsel'yu uvelicheniya nefteotdachi [Impact on the oil-containing reservoir by physical fields in order to increase oil recovery]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya=Modern problems of science and eucadtion*. 2015.-№2-2; (in Russ).
- [12] Hua Q., Tan D., Chen L., Tian S., Hu Y. Ultrasonic irradiation reduces Shengli heavy oil viscosity. *Oil Gas J.* 2017, 115, 46–49. (in Eng).
- [13] V. N. Verezhnikov, I. I. Germasheva, M. Yu. Krysin. Kolloidnaya khimiya poverkhnostno-aktivnyye veshchestva [Colloidal chemistry of surfactants]. *Uchebnoye posobiye=a textbook*. St. Petersburg: Doe. 2015. - 304 p. (in Russ).
- [14] Speight J.G. Introduction to Enhanced Recovery Methods for Heavy Oil and Tar Sands. Elsevier; Laramie, WY, USA: 2016. Nonthermal methods of recovery; pp. 353-403. (in Eng).
- [15] Prachkin V.G. Intensifikatsiya dobychi nefti kombinirovannym metodom na ul'trazvukovom vozdeystvii [Stimulation of oil production by a combined method based on ultrasonic exposure]. *Razrabotka i Eksploatatsiya NGM. Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskoy universitet=Development and Operation of NGM, dissertation, Ufa State Petroleum Technical University, Russia* - P. 148. (in Russ).
- [16] Avvaru, B.; Venkateswaran, N.; Uppara, P.; Iyengar, S. B.; Katti, S.S. Current knowledge and potential applications of cavitation technologies for the petroleum industry. *Ultrason. Sonochem.* 2018, 42, 493-507. (in Eng).
- [17] L.K Altunina, VA Kuvshinov, IV Kuvshinov. Netermicheskiye fiziko-khimicheskiye tekhnologii uvelicheniya nefteotdachi iz zalezhey vysokovyazkikh neftey [Non-thermal physical and chemical technologies for enhancing oil recovery from high-viscosity oil deposits]. *Neft' i gaz=Oil and gas*. 2016. - No. 5 (95). - S. 57–66. (in Russ).
- [18] Moldabayeva G.Zh., Suleimenova R.T., "Scientific and Technical Substantiation of Reducing Oil Viscosity", *International Journal of Engineering Research and Technology*, (ISSN 0974-3154) 2020, 13 (5), pp. 967-972. (in Eng).
- [19] Moldabayeva G.; Suleimenova R.; Experimental support of field trial on the polymer flooding technology substantiation in the oil field of western Kazakhstan. "Periódico tchê química". Volume 17 - Número 35. 2020, ISSN 2179-0302. pp 963-975. (in Eng).