*Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 6 (134). С. 70-82.
ISSN 1998-8443 (print)*

*Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2021. Issue 6 (134). P. 70-82.
ISSN 1998-8443 (print)*

Научная статья

УДК 622.323(574)

doi: 10.17122/ntj-oil-2021-6-70-82

СНИЖЕНИЕ ВЯЗКОСТИ НЕФТИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Гульназ Жаксылыковна Молдабаева¹, Шолпан Рыскулбеккызы Тузелбаева²,
Жанар Бекболовна Шаяхметова³, Акмарал Сафиуллиевна Каримова⁴,
Габит Есжанович Суюнгариев⁵

^{1, 2}Satbayev University, Алматы, Казахстан

^{3, 4, 5}Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан

¹moldabaeva@gmail.com

²raika_83@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Шолпан Рыскулбеккызы Тузелбаева,
raika_83@mail.ru

Аннотация. Представлен обзор существующих технологий волнового воздействия для снижения вязкости нефти, проведен лабораторный эксперимент по снижению вязкости, построена гидродинамическая модель для определения эффективности применения обработки на скважине с использованием программного обеспечения COMSOL Multiphysics.

Цель работы - создание научно-технических основ перехода от традиционных методов добычи нефти к энергосберегающим, обеспечивающим существенное повышение нефтеизвлечения путем снижения вязкости нефти.

Для решения поставленных задач использованы следующие методы исследований: анализ литературных источников; физическое моделирование процессов; эксперименты по изучению свойств разновидностей флюидосодержащих композиций в зависимости от изменений частоты или потенциала внешнего воздействия.

Обнаружен эффект изменения физических свойств исследуемых водонефтяных композиций в переменных электромагнитных полях разной природы. По результатам экспериментальных работ создан и апробирован способ снижения вязкости высокопарафинистых нефтей.

Однако в ходе исследований выявлено несколько особенностей проявления этих эффектов, позволяющих предположить применимость их в процессах синтеза и де-струкции тяжелых углеводородов.

Установлена зависимость изменения вязкости нефти от вида и параметров электрофизических воздействий.

Полученные экспериментальные результаты позволяют прогнозировать изменение химической структуры от простейших углеводородов до сложных.

Для эффективного применения предлагаемого метода снижения вязкости нефти необходимо тщательно подбирать оптимальный режим волновой обработки. При усовершенствовании существующих технологий данный метод в комплексе с другими можно использовать для разработки трудноизвлекаемых запасов. В результате проведенных лабораторных экспериментов установлено, что вязкость при ультразвуковой обработке значительно снижается - до 30 % от начального значения (138 мПа·с).

Ключевые слова: повышение нефтеотдачи, вязкость, гидродинамическая модель, скважина, коллектор, ультразвук

Для цитирования: Молдабаева Г. Ж., Тузелбаева Ш. Р., Шаяхметова Ж. Б., Каримова А. С., Суюнгариев Г. Е. Снижение вязкости нефти с помощью электрофизического воздействия // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 6 (134), С. 70-82. <http://doi/10.17122/ntj-oil-2021-6-70-82>.

Original article

REDUCING OIL VISCOSITY USING ELECTROPHYSICAL ACTION

Gulnaz Zh. Moldabayeva¹, Sholpan R. Tuzelbayeva², Zhanar B. Shayakhmetova³, Akmaral S. Karimova⁴, Gabit E. Suyungariev⁵

^{1, 2}Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

^{3, 4, 5}Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebayev, Atyrau, Kazakhstan

¹moldabaeyva@gmail.com

²raika_83@mail.ru

Corresponding author: **Sholpan R. Tuzelbayeva**, raika_83@mail.ru

Abstract. An overview of existing wave action technologies for reducing oil viscosity is presented, a laboratory experiment on viscosity reduction was carried out, a hydrodynamic

model was built to determine the efficiency of well treatment using the COMSOL Multiphysics software.

The aim of the work is to create a scientific and technical basis for the transition from traditional methods of oil production to energy-saving ones, which provide a significant increase in oil recovery by reducing the viscosity of oil.

To solve the set tasks, the following research methods were used: analysis of literary sources; physical modeling of processes; experiments to study the properties of varieties of fluid-containing compositions, depending on changes in the frequency or potential of external influences.

The effect of changing the physical properties of the investigated water-oil compositions in variable electromechanical fields of different nature was found. Based on the results of experimental work, a method for reducing the viscosity of highly paraffinic oils was developed and tested.

However, in the course of research, several features of the manifestation of these effects were revealed, which suggest their applicability in the processes of synthesis and destruction of heavy hydrocarbons.

The dependence of the change in the viscosity of oil on the type and parameters of electrophysical effects has been established.

The experimental results obtained make it possible to predict a change in the chemical structure from the simplest hydrocarbons to complex ones.

For effective application of the proposed method of reducing oil viscosity, it is necessary to carefully select the optimal wave treatment mode. With the improvement of existing technologies, this method in combination with others can be used to develop hard-to-recover reserves. As a result of laboratory experiments, it was established that the viscosity during ultrasonic treatment significantly decreases - up to 30 % of the initial value (138 mPa • s).

Keywords: enhanced oil recovery, viscosity, hydrodynamic model, well, reservoir, ultrasound

For citation: Moldabayeva G. Zh., Tuzelbayeva Sh. R., Shayakhmetova Zh. B., Karimova A. S., Suyungariev G. E. Snizheniye вязкости нефти s pomoshch'yu elektrofizicheskogo vozdeystviya [Reducing the Oil Viscosity of Using Electrophysical Action]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta нефти i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2021, Issue 6 (134), pp. 70-82. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-6-70-82>.

Введение

Со второй половины прошлого столетия наблюдается огромный интерес к использованию волнового воздействия для снижения вязкости, однако на сегодняшний день недостаточно информации о воздействии волновой обработки на реологические свойства

пластовых флюидов и конкретном механизме воздействия волн на пористую среду. Вопросы воздействия волновой обработки на вязкость нефти непосредственно в момент излучения и снижение вязкости нефти представляют собой потенциальный интерес в нефтяной индустрии, поэтому данную проблему необходимо изучить более детально [1-5].

Исследование

Реометр согласно принципу Серла (вращающиеся концентрические цилиндры) имеет широкий диапазон скорости вращающего момента и оснащен двигателем с коротким временем отклика, а также двумя системами контроля за нагревом / охлаждением жидкости, которые обеспечивают быстрый и точный температурный контроль в диапазоне от минус 20 °С до +80 °С [6].

В результате проведенного лабораторного эксперимента вязкость при ультразвуковой обработке показывает значительное снижение до 30 % от начального значения 138 мПа·с. Все замеры проведены в стандартных условиях: $P = 1$ атм, $T = 25$ °С.

На рисунке 1 показана зависимость вязкости нефти от времени обработки. Температура во время обработки была замерена термометром класса точности 1 и пирометром класса точности 2. Согласно измерениям

наблюдается увеличение температуры до 15 мин обработки, после изменения незначительны. На рисунке 2 показано изменение температуры при волновом воздействии.

В эксперименте исследовалась вязкость нефти скважины с обводненностью 50 %, до обработки значение составляло 675 мПа·с. После проведения обработки произошло разделение фаз нефти и воды при температуре 25 °С, был добавлен эмульгатор нефти для предотвращения разделения фаз.

На рисунке 3 показана зависимость вязкости нефти с обводненностью 50 %. На рисунке 4 - результаты воздействия.

Акустическая волна имеет сферический (в случае точечного источника) или цилиндрический (для протяжённой нитевидной генерации) фронт [7, 8].

На рисунке 5 показана схема взаимодействия ультразвука с пористой структурой нефтяного пласта при акустической стимуляции скважин [9].

Рисунок 1. Зависимость вязкости нефти от времени обработки
Figure 1. Dependence of oil viscosity on processing time

Рисунок 2. Зависимость изменения температуры от волнового воздействия
Figure 2. Dependence of temperature change on wave action

Рисунок 31. Зависимость вязкости нефти (обводненность 50 %) от скорости сдвига
Figure 3. Dependence of oil viscosity (water cut 50 %) on the blowing rate

Рисунок 4. Нефть после обработки
Figure 4. Oil after treatment

- 1 - цементный камень;
- 2 - погружное устройство;
- 3 - пористая структура пласта;
- 4 - фронт перемещающейся акустической волны;
- 5 - перфорационные каналы

- 1 - cement stone;
- 2 - submersible device;
- 3 - porous structure of the formation;
- 4 - front of a moving acoustic wave;
- 5 - perforation channels

Рисунок 5. Схема взаимодействия ультразвука с пористой структурой нефтяного пласта при акустической стимуляции скважин

Figure 5. Scheme of the interaction of ultrasound with the porous structure of an oil reservoir during acoustic stimulation of wells

Расчёты по взаимодействию ультразвука с жидкостью, находящейся в каналах, трещинах, капиллярах, порах призабойной зоны скважины, рассмотрены для одномерной плоской ультразвуковой волны, длина которой λ существенно превышает радиус каналов [9].

При описании распространения акустической волны в твердотельном материале структуры пласта необходимо исходить из уравнения упругости, учитывающего его вязкость и теплопроводность, для вектора U соответствующего смещения:

$$\rho_0 \partial_{tt}^2 U = \left[\rho_0 (c_l^2 - c_t^2) + \zeta_0 + \frac{\eta_0}{3} \right] \nabla \operatorname{div} U + (\rho_0 c_t^2 + \eta_0) \Delta U - \frac{E_\alpha}{3(1 - 2\sigma)} \nabla T \quad (1)$$

и уравнения теплопроводности в твёрдом теле для температуры:

$$C_V \partial_t T + \frac{C_P - C_V}{\alpha} \partial_t \operatorname{div} U = \chi * \Delta T, \quad (2)$$

где ρ_0 - плотность материала;

c_l и c_t - скорости продольных и поперечных колебаний в твёрдом теле;

E и σ - упругие модули;

C_P и C_V - теплоёмкости при постоянном давлении и объёме соответственно;

ζ_0 и η_0 - коэффициенты первой и второй вязкости;

χ - коэффициент теплопроводности;

α - коэффициент теплового расширения материала.

Если направление распространения акустической волны выбрать вдоль оси z , а источник излучения поместить в начало координат $z = 0$, то граничное условие для смещения U продольной волны будет представлено следующим равенством:

$$U(z = 0, t) = U_m \exp(-i\omega t), \quad (3)$$

где U_m - амплитуда смещения на выходе источника излучения;

ω - частота колебаний источника [9-12].

Когда акустическая волна встречает на своём пути полость, заполненную жидкостью с плотностью ρ , она через колебания стенок вызывает появления соответствующих возмущений в жидкой среде, характеризующихся скоростью v .

Система уравнений Навье - Стокса для таких возмущений состоит из двух уравнений. Одно из них представляет собой соотношение непрерывности:

$$\partial_t \rho + \operatorname{div}(\rho v) = 0. \quad (4)$$

Другое представляет собой уравнение движения жидкости:

$$\partial_t v + (v \nabla) v - \mu \Delta v = -\nabla \frac{p}{\rho}, \quad (5)$$

где p - давление жидкости;

μ - динамическая вязкость.

В рамках предложенной модели, прежде всего, следует рассчитать поведение вектора смещения $U(z, t)$ при удалении от источника излучения. Для этого решение линейной системы (1)-(2) можно искать в комплексной форме, учитывающей продольный характер колебаний и их затухание при распространении в твердотельной структуре пласта:

$$U(z, t) = U_m \exp(-i\omega t + ikz - \kappa z), \quad (6)$$

где $k = 2\pi / \lambda$;

κ - пространственный декремент, создаваемый теплопроводностью и вязкостью материала твердотельной субстанции [9-12].

Используя представление (6) для смещения и температуры, претерпевающей изменения в результате внешнего воздействия, из уравнений (1)-(2) можно получить следующее выражение для декремента пространственного затухания:

$$k = \frac{\omega^2}{2\rho_0 c_l^2} \left[\left(\frac{4}{3} \eta_0 + \zeta_0 \right) + \frac{\alpha^2 \chi T \rho_0^2 c_l^2}{3C_P^2} \left(1 - \frac{4c_t^2}{3c_l^2} \right) \right]. \quad (7)$$

Частота ω при этом оказывается связанной с длиной продольной волны известным дисперсионным соотношением $\omega = k \cdot c_l$.

При выводе формулы (7) учитывалась адиабатичность процессов, протекающих при распространении ультразвуковой волны, когда справедливо известное термодинамическое соотношение:

$$C_P - C_V = \alpha^2 T \rho_0 c_l^2 \left(1 - \frac{4c_t^2}{3c_l^2} \right), \quad (8)$$

и использовалось следующее равенство, вытекающее из определения продольной и поперечной скоростей через модули упругости:

$$\frac{E}{1-2\sigma} = 3\rho_0 c_l^2 \left(1 - \frac{4c_t^2}{3c_l^2}\right). \quad (9)$$

Для расчёта воздействия ультразвука на свойства жидкости будем исходить из уравнения Навье - Стокса (5), написанного как для стационарного со скоростью v её движения, так и для быстрых её осцилляций под воздействием ультразвука, происходящих с известной частотой $\omega = 2\pi f$ и скоростью u , зависящей от задаваемой амплитуды ξ ультразвуковых колебаний:

$$(\nabla \cdot \mathbf{u}) = \nabla p + \mu \Delta v; \quad (10)$$

$$\rho \partial_t u = ikp_0 e^{-i\omega t + ikr} + \mu \Delta u; \quad (11)$$

$$\xi = \frac{kp_0}{\rho \omega^2}, \quad (12)$$

где k - волновой вектор ультразвуковых колебаний, связанный с их длиной волны в жидкости соотношением $\lambda = 2\pi/k$;

p_0 - амплитуда высокочастотного давления, представляющая собой ту часть устанавливаемой ультразвуковым генератором величины, которая, согласно (6), дошла до рассматриваемой полости в уменьшенном из-за диссипации виде;

p - стационарное давление, создаваемое внешними силами;

r - пространственная вектор-координата, а черта сверху означает усреднение по времени за период колебаний $T_S = 2\pi/\omega$.

Из формулы (2) можно найти пространственный декремент затухания ультразвука в жидкости κ_S , описываемый соотношением:

$$\kappa_S = \frac{k^2 \mu}{\rho \omega} = \frac{\omega \mu}{\rho s^2}, \quad (13)$$

где s - скорость распространения ультразвуковой волны в жидкости;

μ - динамическая вязкость.

Для вязких жидкостей $\kappa \ll \kappa_S$.

В качестве приоритетной задачи рассмотрим, как изменяется формула течения Пуазейля при ультразвуковом воздействии на жидкость в цилиндрической полости радиусом R и перепадом давления Δp на её концах [9, 12]. Будем считать, что координата z направлена вдоль оси цилиндра и длину этой трубы обозначим L . Это означает, что для стимулирующей акустической волны, падающей под углом β к этой оси, вместо волнового числа k надо использовать проекцию волнового вектора $\kappa \cos \beta$ на эту ось.

Рассмотрим случай, когда $k_R \ll 1$ и $\kappa \ll \kappa_S$. Тогда из (10) можно записать:

$$v = \left\{ \frac{\Delta p}{L} + \rho \xi^2 \omega^2 \kappa \right\} \frac{1}{4\mu} (R^2 - r^2). \quad (14)$$

Для определения расхода флюида Q можно записать следующую формулу (φ - азимутальная переменная в цилиндрической системе координат):

$$Q = \rho \int_0^R r dr \int_0^{2\pi} d\varphi v = \frac{\pi R^4 \rho}{8\mu} \left\{ \frac{\Delta p}{L} + \rho \xi^2 \omega^2 \kappa \right\}. \quad (15)$$

Как видно из (14), ультразвук эффективно увеличивает текучесть жидкости, повышая её расход. Разделяя течение на спонтанную и вынужденную, связанную с ультразвуковым воздействием, части, выражение (14) можно записать в следующем виде:

$$Q = Q_0 + Q_S; \quad (16)$$

$$Q_0 = \frac{\pi R^4 \rho \Delta p}{8\mu L}, \quad (17)$$

$$Q_S = \frac{\pi R^4 \rho^2 \omega^2 \kappa}{8\mu}. \quad (18)$$

Формулу (18) можно переписать иначе, вводя эффективную вязкость $\mu_{\text{эфф}}$, учитывающую влияние ультразвука в форме, которая

позволяет сохранить стандартный вид формулы Пуазейля, в которой вместо μ фигурирует $\mu_{эфф}$:

$$Q = Q_0 \frac{\mu}{\mu_{эфф}}, \quad (19)$$

$$\mu_{эфф} = \frac{\mu}{1 + \frac{Q_s}{Q_0}}. \quad (20)$$

Из (20) видно, что эффективная вязкость всегда меньше того значения, которое свойственно невозмущенной жидкости, т.е. всегда $\mu_{эфф} < \mu$. Это указывает на увеличе-

ние переноса жидкости в присутствии ультразвука [9,].

С использованием данных проведенного лабораторного эксперимента построена секторная модель [13].

На рисунках 6, 7 показана построенная гидродинамическая модель.

На рисунке 8 показан результат гидродинамического моделирования.

По итогам гидродинамического моделирования накопленная дополнительная добыча составила 53.75 т от одной обработки за 90 дней, среднесуточный прирост составил 0.59 т/сут [12].

Рисунок 6. Структурная карта по кровле пласта
Figure 6. Structural map for the top of the reservoir

Рисунок 7. Поперечный профиль куба пористости
Figure 7. Transverse profile of the cube of porosity

Рисунок 8. Результат гидродинамического моделирования
Figure 8. Result of hydrodynamic modeling

Выводы

По результатам лабораторного эксперимента установлено, что после ультразвукового воздействия происходит нагрев нефти на 3-4 °С, вследствие чего наблюдается снижение вязкости на 30 %.

Во время проведения данных работ также наблюдался эффект разделения фаз без добавления дезэмульгатора без дополнительного нагрева.

На основании лабораторных экспериментов установлено, что следует проводить акустическое воздействие на малодебитных скважинах с невысокой обводненностью.

В рамках данной работы построена секторная геолого-гидродинамическая модель, с использованием полученных данных осуществлен прогнозный расчет на 1 год. По итогам расчета получена дополнительная добыча нефти в объеме 53,75 т по одной скважине.

Для эффективного применения данного метода снижения вязкости нефти необходимо тщательно подбирать оптимальный режим волновой обработки.

При усовершенствовании существующих технологий данный метод в комплексе с другими можно использовать для разработки трудноизвлекаемых запасов.

Список источников

1. Erfan Mohammadian, Radzuan Junin, Omeid Rahmani, Ahmad Kamal Idris Effects of Sonication Radiation on Oil Recovery by Ultrasonic Waves Stimulated Water-Flooding // *Ultrasonics*. 2013. Vol. 53. Issue 2. P. 607-614. DOI: 10.1016/j.ultras.2012.10.006.
2. Augustine Agi, Radzuan Junin, Ramin Shirazi, Gbadamosi Afeez, Nurudeen Yekeen Comparative Study of Ultrasound Assisted Water and Surfactant Flooding // *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 2019. Vol. 31. Issue 3. P. 296-303. DOI: 10.1016/j.jksues.2018.01.002.
3. Аракелян В.Г. Кавитационное воздействие на изоляционные жидкости электрооборудования // *Электрохимия*. 2009. № 5. С. 45-55.
4. Морозова А.В. Влияние нефтяных смол и ультразвуковой обработки на структурно-механические свойства дисперсных систем, содержащих нефтяной парафин: магистерская дис. Томск: 2017. 85 с.
5. Mason T.J., Larimer P.J. *Sonochemistry: Theory, Application, and Uses of Ultrasound in Chemistry*. New-York: Ellis Harwood, 1988. 155 p.
6. Ультразвуковая обработка очистки нефтяных скважин // РЭЛТЕК. URL: <http://reltec.biz/catalog/item/180> (дата обращения: 18.09.2021).
7. Яганова А.Е. Моделирование акустического воздействия на течение вязких жидкостей в капиллярах: магистерская дис. Казань: 2017. 59 с.
8. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция. М.: Химия, 1986. 285 с.
9. Прачкин В.Г. Интенсификация добычи нефти комбинированным методом на основе ультразвукового воздействия: дис. ... канд. техн.

References

1. Erfan Mohammadian, Radzuan Junin, Omeid Rahmani, Ahmad Kamal Idris Effects of Sonication Radiation on Oil Recovery by Ultrasonic Waves Stimulated Water-Flooding. *Ultrasonics*, 2013, Vol. 53, Issue 2, pp. 607-614. DOI: 10.1016/j.ultras.2012.10.006.
2. Augustine Agi, Radzuan Junin, Ramin Shirazi, Gbadamosi Afeez, Nurudeen Yekeen Comparative Study of Ultrasound Assisted Water and Surfactant Flooding. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 2019, Vol. 31, Issue 3, pp. 296-303. DOI: 10.1016/j.jksues.2018.01.002.
3. Arakelyan V.G. Kavitatsionnoe vozdeistvie na izolyatsionnye zhidkosti elektrooborudovaniya [Cavitation Effect on Insulation Liquids of Electric Equipment]. *Elektrokhimiya - Russian Journal of Electrochemistry*, 2009, No. 5, pp. 45-55. [in Russian].
4. Morozova A.V. *Vliyanie neftyanykh smol i ul'trazvukovoi obrabotki na strukturno-mekhanicheskie svoistva dispersnykh sistem, soderzhashchikh neftyanoi parafin: masterskaya dis.* [Influence of Petroleum Resins and Ultrasonic Treatment on the Structural and Mechanical Properties of Dispersed Systems Containing Petroleum Paraffin: Master's Diss.]. Tomsk, 2017. 85 p. [in Russian].
5. Mason T.J., Larimer P.J. *Sonochemistry: Theory, Application, and Uses of Ultrasound in Chemistry*. New-York, Ellis Harwood, 1988. 155 p.
6. Ul'trazvukovaya obrabotka ochistka neftyanykh skvazhin [Ultrasonic Treatment Oil Well Cleaning]. *RELTEK*. Available at: <http://reltec.biz/catalog/item/180> (accessed 18.09.2021). [in Russian].
7. Yaganova A.E. *Modelirovanie akusticheskogo vozdeistviya na techenie vyazkikh zhidkостей v kapil-*

наук. Уфа: 2018. 148 с.

10. Мэйсон Т., Линдли Дж., Дэвидсон Р. Химия и ультразвук. М.: Мир, 1993. 190 с.

11. Гилев Г. Технология ультразвукового воздействия на призабойную зону пласта // ЦУТ Сервис. URL: <http://cut-service.ru/wp-content/uploads/2016/09/AWS-presentation-rus.pdf> (дата обращения: 18.09.2021).

12. Moldabayeva G.Zh., Suleimenova R.T., Turdiyev M.F., Shayakhmetova Zh.B., Karimova A.S. Scientific and Technical Substantiation of Reducing Oil Viscosity // *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2020. Vol. 13. No. 5. P. 967-972. DOI: 10.37624/IJERT/13.5.2020.967-972.

13. Moldabayeva G.Zh., Agzamov A.Kh., Suleimenova R.T., Elefteriadi D.K., Abileva S.Zh., Baluanov B.A. Hydrodynamic Modeling of Field Development Using Enhanced Oil Recovery Methods // *Complex Use of Mineral Resources*. 2021. No. 2 (317). P. 14-22. DOI: 10.31643/2021/6445.13.

Iyarakh: masterskaya dis. [Modeling the Acoustic Effect on the Flow of Viscous Liquids in Capillaries: Master's Diss.]. Kazan, 2017. 59 p. [in Russian].

8. Margulis M.A. *Zvukokhimicheskie reaktsii i sonoluminesentsiya* [Sound Chemical Reactions and Sonoluminescence]. Moscow, Khimiya Publ., 1986. 285 p. [in Russian].

9. Prachkin V.G. *Intensifikatsiya dobychi nefli kombinirovannym metodom na osnove ul'trazvukovogo vozdeistviya: dis. kand. tekhn. nauk* [Stimulation of Oil Production by a Combined Method Based on Ultrasonic Exposure: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, 2018. 148 p. [in Russian].

10. Meison T., Lindli Dzh., Davidson R. *Khimiya i ul'trazvuk* [Chemistry and Ultrasound]. Moscow, Mir Publ., 1993. 190 p. [in Russian].

11. Gilev G. *Tekhnologiya ul'trazvukovogo vozdeistviya na prizaboinuyu zonu plasta* [Technology of Ultrasonic Impact on the Bottomhole Formation Zone]. *TsUT Servis*. URL: <http://cut-service.ru/wp-content/uploads/2016/09/AWS-presentation-rus.pdf> (accessed 18.09.2021). [in Russian].

12. Moldabayeva G.Zh., Suleimenova R.T., Turdiyev M.F., Shayakhmetova Zh.B., Karimova A.S. Scientific and Technical Substantiation of Reducing Oil Viscosity. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2020, Vol. 13, No. 5, pp. 967-972. DOI: 10.37624/IJERT/13.5.2020.967-972.

13. Moldabayeva G.Zh., Agzamov A.Kh., Suleimenova R.T., Elefteriadi D.K., Abileva S.Zh., Baluanov B.A. Hydrodynamic Modeling of Field Development Using Enhanced Oil Recovery Methods. *Complex Use of Mineral Resources*, 2021, No. 2 (317), pp. 14-22. DOI: 10.31643/2021/6445.13.

Информация об авторах

• Молдабаева Гульназ Жаксылыковна, д-р техн.наук
Satbayev University
Профессор кафедры «Нефтяная Инженерия»
Казахстан, 050013, Алматы,
ул. Сатпаева, 22а
e-mail: moldabayeva@gmail.com

• Тузелбаева Шолпан Рыскулбеккызы
Satbayev University
Докторант кафедры «Нефтяная Инженерия»
Казахстан, 050013, Алматы,
ул. Сатпаева, 22а
e-mail: raika_83@mail.ru

Information about the authors

• Moldabayeva Gulnaz Zh., Doctor of Engineering Sciences
Satbayev University
Professor of Petroleum Engineering Department
22a, Satpayev str., Almaty, 050013, Kazakhstan
e-mail: moldabayeva@gmail.com

• Tuzelbayeva Sholpan R.
Satbayev University
Doctoral Student of Petroleum Engineering Department
22a, Satpayev str., Almaty, 050013, Kazakhstan
e-mail: raika_83@mail.ru

• Шаяхметова Жанар Бекболовна, канд. техн. наук
Атырауский университет нефти и газа
имени С. Утебаева
Казахстан, 060027, Атырау,
ул. Баймуханова, 45а

• Shayakhmetova Zhanar B., Candidate of Engineering Sciences
Atyrau University of Oil and Gas
named after S. Utebayev
45a, Baimukhanov str., Atyrau, 060027, Kazakhstan

• Каримова Акмарал Сафиуллиевна, канд. физ.-мат. наук
Атырауский университет нефти и газа
имени С. Утебаева
Казахстан, 060027, Атырау,
ул. Баймуханова, 45а

• Karimova Akmaral S., Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Atyrau University of Oil and Gas
named after S. Utebayev
45a, Baimukhanov str., Atyrau, 060027, Kazakhstan

• Суюнгариев Габит Есжанович, канд. техн. наук
Атырауский университет нефти и газа
имени С. Утебаева
Казахстан, 060027, Атырау,
ул. Баймуханова, 45а
e-mail: kense@aogu.edu.kz

• Suyungariev Gabit E., Candidate of Engineering Sciences
Atyrau University of Oil and Gas
named after S. Utebayev
45a, Baimukhanov str., Atyrau, 060027, Kazakhstan
e-mail: kense@aogu.edu.kz

Статья поступила в редакцию 15.10.2021; одобрена после рецензирования 20.10.2021; принята к публикации 01.11.2021.

The article was submitted 15.10.2021; approved after reviewing 20.10.2021; accepted for publication 01.11.2021.