

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-3-55-61
УДК 622.276.6

Ш.А. Гафаров, А.В. Лысенков, М.Ш. Давлетов, Р.А. Майский (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация), **И.И. Абызбаев** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», г. Уфа, Российская Федерация), **А.Ж. Женисов, А.К. Нурлыбаев** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАЛЕЖЬ НЕФТИ В С-VI ПЛАСТЕ НА АШИТСКОМ УЧАСТКЕ АРЛАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Shamil A. Gafarov, Aleksey V. Lysenkov, Marat Sh. Davletov, Ravil A. Maiski (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation), **Ibragim I. Abyzbaev** (Ufa State Petroleum Technological University, Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic, State Autonomous Scientific Department, Ufa, Russian Federation), **Amanbek A.Zh. Zhenisov, Aybek K. Nurlybaev** (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

EFFICIENCY OF OIL RESERVOIR CYCLIC IMPACT IN C-VI FORMATION AT ASHITSKY AREA, ARLAN OIL FIELD

Введение

Работа посвящена вопросам исследования эффективности циклического воздействия на залежах пласта С-VI Ашитского опытного участка Арланского нефтяного месторождения. Учитываются изменения гидродинамического давления в период циклического воздействия.

На современном этапе разработки нефтяных месторождений приходится обращаться ко всем перспективным методам увеличения нефтеотдачи. Одним из часто применяемых до сих пор является гидродинамический метод воздействия на залежь.

В связи с этим расчеты циклического воздействия на залежь требуют дополнительных уточнений расчетов, в результате пласт заменяется двухслойной моделью.

Background

The work is devoted to the study of the effectiveness of cyclic impact on the reservoir deposits of the C-VI Ashit experimental site of the Arlansky oil field. Changes in hydrodynamic pressure during cyclic exposure are taken into account.

At the present stage of the development of oil fields it's necessary to use all promising methods for oil recovery increasing. One of the known methods is still a hydrodynamic method of influence on the reservoir.

In this regard, the calculations of the cyclic impact on the reservoir require additional calculation refinements, resulting in reservoir replacement by a two-layer model.

Цели и задачи

С помощью двухслойной модели рассчитать последствия данного воздействия на исследуемую залежь.

Результаты

Упруго-капиллярный циклический метод заводнения основан на периодическом изменении условий воздействия на неоднородные пласты, при котором создается нестационарное распределение пластового давления и возникает неустановившееся движение жидкостей и газа.

Для исследования эффективности циклического воздействия на залежь нефти на примере Ашитского участка Арланского нефтяного месторождения рассматривается двухслойная модель, состоящая из обводненного и нефтенасыщенного слоев. Модель рассматривает поведение залежи при воздействии импульса давления.

Рассчитывается суммарный межслойный переток жидкости из необводненного и заводненного слоев. Рассчитываются параметры оборудования, необходимого для циклического воздействия.

В работе делается вывод о возможности применения циклического воздействия на C-VI пласт Ашитского опытного участка Арланского месторождения с целью повышения нефтеотдачи.

Aims and Objectives

To calculate the effects of this impact on the studied reservoir using a two-layer model.

Results

The elastic-capillary cyclic method of waterflooding is based on a periodic change in the conditions of exposure to heterogeneous reservoirs, in which an unsteady distribution of reservoir pressure is created and an unsteady movement of liquids and gas occurs.

To study the effectiveness of the cyclic impact on the oil reservoir on the example of the Ashit area of the Arlansky oil field, a two-layer model consisting of a water-cut and oil-saturated layer is considered. The model considers the behavior of the deposit when exposed to a pressure pulse.

The total interlayer fluid flow from the non-watered and flooded layers is calculated. Calculates the parameters of the equipment required for cyclic exposure.

The paper concludes that it is possible to apply a cyclic impact on the C-VI stratum of the Ashtitsky experimental section of the Arlansky field in order to increase oil recovery.

Ключевые слова: проницаемость; нефтенасыщенность; давление; нагнетание; фазовая проницаемость; суммарная толщина пласта; насос ЭЦН; электропередача; подстанция; водовод; трансформатор; экономический эффект

Key words: permeability; oil saturation; pressure; injection; phase permeability; total reservoir thickness; ECP pump; power transmission; substation; water conduit; transformer; economic effect

Упруго-капиллярный циклический метод заводнения основан на периодическом изменении условий воздействия на неоднородные пласты, при котором создается нестационарное распределение пластового давления и возникает неустановившееся движение жидкостей и газа.

Неустановившееся состояние давления, вызывающее движение жидкости в пласте, можно создать за счет периодического

изменения объема нагнетаемой воды. При этом градиенты гидродинамического давления в пласте попеременно изменяются по величине и направлению, в результате чего вода внедряется в малопроницаемые слои и зоны и перемещает из них нефть в зоны активного дренажа. Другими словами, циклическое заводнение должно способствовать увеличению коэффициента охвата заводнением по объему пласта.

В работе [1] приведены примеры по некоторым месторождениям, где получены положительные результаты при применении циклического метода добычи нефти. Геолого-физическая характеристика залежей указанных месторождений близка к условиям Арланского месторождения.

В работе [2] приведена приближенная методика расчета дополнительной добычи нефти за счет применения циклического способа извлечения нефти из пласта.

Обычно при прогнозе показателей заводнения пластов используется модель пласта, состоящая из n слоев различной проницаемости. Изменение проницаемости слоев описывается эмпирической функцией распределения проницаемости $F(k)$. Такую же модель пласта можно принять и для прогноза показателей заводнения при циклическом воздействии на пласты с той разницей, что a обводненных слоев с проницаемостью $k_{max} > k > k_a$ объединяются в один слой со средней водонасыщенностью δ_3 и проницаемостью

$$K_a = \frac{1}{1-F(k_a)} \int_{k_a}^{k_{max}} k dF(k), \quad (1)$$

а $n - a$ нефтенасыщенных слоев объединяются в один слой со средней водонасыщенностью $\sigma_{из}$ и проницаемостью

$$K_H = \frac{1}{F(k_a)} \int_0^{k_a} k dF(k). \quad (2)$$

Следовательно, реальный пласт заменяется двухслойной моделью, состоящей из обводненного слоя объемом $V_3 = V \cdot \beta_{охв}$, пьезопроводностью x_B и нефтенасыщенного слоя объемом $V_{H3} = V(1 - \beta_{охв})$, пьезопроводностью x_H . Здесь V - полный объем пласта; $\beta_{охв}$ - коэффициент охвата заводнением.

Эффект от периодического воздействия на неоднородные пласты при заводнении обуславливается межслойным перетоком жидкости из обводненных слоев в нефтенасыщенные и в противоположном направлении за счет чисто упругого режима выравнивания давления. Следовательно, продолжительность периода повышенной закачки или пе-

риода пониженной закачки определяется временем, достаточным для перераспределения давления между слоями до установившегося.

Известно, что после создания импульса давления в пласте установившееся состояние давления наступает при достижении безразмерного параметра Фурье $F_0 = 0,4 - 0,5$ [3].

Для радиального пласта

$$F_0 = \frac{xT}{R_H^2}, \quad (3)$$

где T - продолжительность полуцикла воздействия;

R_H - приведенный радиус контура питания,

x - пьезопроводность.

Продолжительность одного цикла воздействия состоит из двух полуциклов - снижения давления и его последующего увеличения.

Условно примем, что перед началом циклического воздействия отбор жидкости из пласта сохраняется достигнутым на некотором постоянном уровне, а закачка прекращается. Во втором полуцикле закачку доводим до уровня двойного отбора.

Величина суммарного межслойного перетока жидкости из необводненного слоя в обводненный за полуцикл согласно [2] равняется

$$\Delta V = \frac{P_H V \cdot (1 - \beta_{охв}) - P_H V \cdot \beta_{охв}}{P_H + P_H}, \quad (4)$$

где P_H - давление в конце первого полуцикла;

P_H - давление в начале цикла.

Изменение водонасыщенности в результате циклического воздействия в заводненных и незаводненных слоях характеризуется одинаковым значением и равно

$$\sigma_{изМ} = \sigma_3 - \frac{\Delta V \cdot T}{V_3} (\sigma_3 - \sigma_{H3}) + \sigma_3^*, \quad (5)$$

где σ_3^* - изменение водонасыщенности за счет смыва нефти перетоком жидкости в высокопроницаемых слоях и перемещения ее к забою эксплуатационной галереи;

$\sigma_{НЗ}$ - определяется по данным В.М. Бerezина [4];

σ_3 - определяется через коэффициент вытеснения $K_{ВЫТ}$ [5];

$$\sigma_3^* = \frac{Q_{ж} T \cdot \eta}{V_3}, \quad (6)$$

где η - коэффициент нефтеотдачи;

$Q_{ж}$ - суточная добыча жидкости из пласта;

$$\eta = K_{ВЫТ} \cdot \beta_{ОХВ}. \quad (7)$$

Принимая, что доля воды в потоке за полуцикл остается постоянной, можно записать:

$$f_B = \frac{F_B(\sigma)}{F_B(\sigma) + \mu_o \cdot F_H(\sigma)}, \quad (8)$$

где $F_B(\sigma)$ - относительная фазовая проницаемость для заводненных слоев;

$F_H(\sigma)$ - относительная фазовая проницаемость для незаводненных слоев.

Фазовые проницаемости можно найти по кривым фазовых проницаемостей [4] или по формулам [6]:

$$F_B(\sigma) = \left(\frac{\sigma_{ИЗМ} - \sigma_{НЗ}}{0,81} \right)^3, \quad (9)$$

$$F_H(\sigma) = \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_{ИЗМ}}{0,715} \right)^3. \quad (10)$$

Рассмотрим возможное увеличение коэффициента нефтеотдачи за счет применения циклического способа воздействия на VI пласт Ашитского участка Арланского месторождения, который характеризуется следующими параметрами:

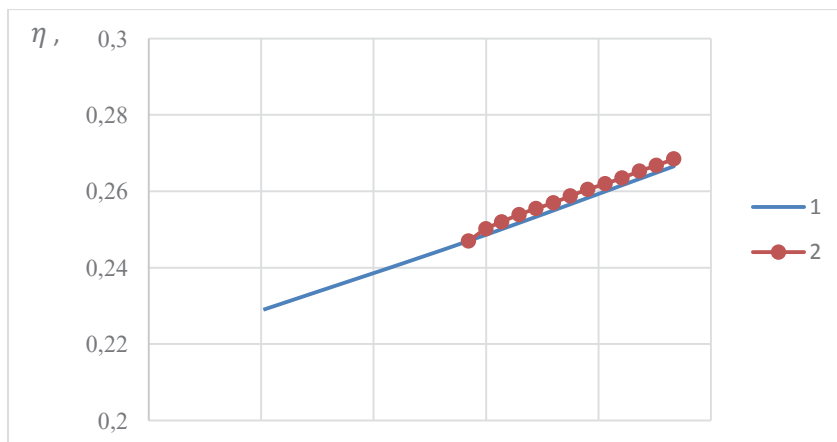
- суммарная толщина $h = 9,7$ м;
- $R_H = 3300$ м;
- $K = 1,68$ мкм²;
- $m = 23,5$ %;
- $V = 131 \cdot 10^6$ м³;
- $\mu_H = 16,4$ сП;
- $x_H = 3,72$ м³/ч;
- $x_B = 0,24$ м³/ч;
- $P_{П} = 13,1$ МПа;
- $\beta_{ОХВ} = 0,59$;
- $\eta = 0,245$;
- $T = 30$ сут.

Падение давления при отборе жидкости или восстановление его при нагнетании подсчитывается по следующей формуле из методики [5]:

$$\Delta P = 0,039 Q_{ж} \cdot T. \quad (11)$$

Давление в конце первого полуцикла $P_H = 12,5$ атм. По приведенным формулам подсчитываем долю дополнительной добычи нефти f_H , которую сравним с f_H от τ при обычном методе воздействия [5].

Результаты расчетов представлены на рисунке 1.



- 1 - при обычном методе заводнения;
- 2 - при циклическом методе заводнения

Рисунок 1. Зависимость текущей нефтеотдачи от времени разработки

Увеличение f_H за полуцикл равно 0,087, а за полный цикл 0,044. Дополнительно добытая нефть за год составляет 73000 т.

Общий объем закачиваемой воды согласно [2] должен равняться двойному объему извлекаемой жидкости, следовательно дополнительная закачка воды за полуцикл должна равняться разнице между $2 Q_{отб}$ и $Q_{нагн}$.

Для увеличения объема закачки необходимо установить дополнительно 4 глубинных электроцентробежных насоса (ЭЦН) [7].

Определить дополнительные капитальные вложения для получения дополнительной добычи нефти можно по следующей формуле [8-10]:

$$\Delta K = nL \cdot c_1 + n \cdot N \cdot c_2 + c_3 + c_4 + c_5, \quad (12)$$

где n - число кустовых насосных станций, оборудованных 2 насосами ЦН 150 x 200;
 L - длина линий электропередачи;

c_1 - стоимость 1 км линий электропередачи 35 кВ;

N - мощность трансформатора на подстанции 35,6 кВ;

c_2 - стоимость подстанции при КНС;

c_3 - стоимость ячейки 35 кВт на подстанции;

c_4 - стоимость насосов и оборудования КНГ (принята по данным института «Башнефтепроект»);

c_5 - удорожание за счет утолщения стенок водовода.

Для нашего примера:

$L = 5000$ м; $c_1 = 10000$ руб.;

$n = 2$; $c_3 = 10$ руб.;

$c_3 = 10000$ руб.; $c_4 = 210000$ руб.;

$c_5 = 150000$ руб.; $\Delta K = 550000$ руб.

Ожидаемый экономический эффект составит

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta Q \cdot c_3 - \Delta K, \quad (13)$$

где ΔQ - дополнительно добытая нефть;

c_3 - стоимость 1 т Арланской нефти;

$\Delta \mathcal{E}$ - 330000 руб.

и срок окупаемости

$$t = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} = 1,66 \text{ года}. \quad (14)$$

Выводы

1. Для исследования эффективности циклического воздействия на залежь нефти на примере Ашитского участка Арланского нефтяного месторождения рассмотрена двухслойная модель, состоящая из обводненного и нефтенасыщенного слоев. Модель рассматривает поведение залежи при воздействии импульса давления.

Рассчитывается суммарный межслойный переток жидкости из необводненного и заводненного слоев. Рассчитываются параметры оборудования, необходимого для циклического воздействия.

2. В работе делается вывод о возможности применения циклического воздействия на С-VI пласт Ашитского опытного участка Арланского месторождения с целью повышения нефтеотдачи.

Список литературы

1. Гафаров Ш.А., Гильмутдинов Р.А., Денисламов И.З. Опыт использования технологии циклического заводнения на участке объекта АВ₂ Локасовского месторождения // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 3. С. 35-39.

2. Крылов А.П., Глоговский М.М., Мирчинк М.Ф., Николаевский Н.М., Чарный И.А. Научные основы разработки нефтяных месторождений. Ижевск: Изд-во «ИКИ», 2004. 424 с.

References

1. Gafarov Sh.A., Gil'mutdinov R.A., Denislamov I.Z. Opyt ispol'zovaniya tekhnologii tsiklicheskogo zavodneniya na uchastke ob'ekta AV₂ Lokasovskogo mestorozhdeniya [Experience in the Use of Technology Cyclic Flooding on the Site of the Object AV₂ Lokasovskoye Field]. *Neftegazovoe delo - Oil and Gas Business*, 2017, Vol. 15, No. 3, pp. 35-39. [in Russian].

3. Степанова Г.С. Газовые и водогазовые методы воздействия на нефтяные пласты. М.: Газоил. пресс., 2006. 198 с.

4. Алварато В., Манрик В. Методы увеличения нефтеотдачи пластов. Планирование и стратегии применения. М.: ООО «Премиум инжиниринг», 2011. 244 с.

5. Николаев В.А., Николаев О.В. Энергетика пласта в технологических процессах разработки месторождений нефти и газа. Ижевск: Изд-во «ИКИ», 2014. 216 с.

6. Акульшин А.И. Прогнозирование разработки нефтяных месторождений. М.: Изд-во Недр, 1988. 240 с.

7. Шарбатова И.Н., Сургучев М.Л. Циклическое воздействие на неоднородные нефтяные пласты. М.: Недр, 1988. 117 с.

8. Каршиев А.Х., Агзамов А.А., Набиева Н.К. О результатах форсированного отбора жидкости из залежей месторождений Ко-кайты с повышенной вязкостью нефти, приуроченных к карбонатным коллекторам // Нефтепромысловое дело. 2013. № 2. С. 34-38.

9. Чернов Р. Развитие метода циклического заводнения при разработке нефтяной залежи. Латвия: Изд-во Lambert Academic Publishing, 2011. 88 с.

10. Фаттахов И.Г., Кулешова Л.С., Фарухшин И.Ф. Вопрос макрорегулирования ограничения добычи воды на примере циклического заводнения // Нефтепромысловое дело. 2012. № 3. С. 28-29.

2. Krylov A.P., Glogovskii M.M., Mirchink M.F., Nikolaevskii N.M., Charnyi I.A. *Nauchnye osnovy razrabotki neftyanykh mestorozhdenii* [Scientific Basis for the Development of Oil Fields]. Izhevsk, «IKI» Publ., 2004. 424 p. [in Russian].

3. Stepanova G.S. *Gazovye i vodogazovye metody vozdeistviya na neftyanye plasty* [Gas and Water Gas Methods of Influence on Oil Reservoirs]. Moscow, Gazoil Press., 2006. 198 p. [in Russian].

4. Alvarado V., Manrik V. *Metody uvelicheniya nefteotdachi plastov. Planirovanie i strategii primeneniya* [Methods of Enhanced Oil Recovery. Planning and Application Strategies]. Moscow, Premium Engineering LLC, 2011. 244 p. [in Russian].

5. Nikolaev V.A., Nikolaev O.V. *Energetika plasta v tekhnologicheskikh protsessakh razrabotki mestorozhdenii nefti i gaza* [Energy Reservoir in the Technological Processes of Oil and Gas]. Izhevsk, «IKI» Publ., 2014. 216 p. [in Russian].

6. Akul'shin A.I. *Prognozirovaniye razrabotki neftyanykh mestorozhdenii* [Forecasting the Development of Oil Fields]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 240 p. [in Russian].

7. Sharbatova I.N., Surguchev M.L. *Tsiklichesкое vozdeistviya na neodnorodnye neftyanye plasty* [Cyclic Effects on Heterogeneous Oil Reservoirs]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 117 p. [in Russian].

8. Karshiev A.Kh., Agzamov A.A., Nabieva N.K. O rezultatakh forsirovannogo otbora zhidkosti iz zalezhei mestorozhdenii Ko-kaity s povyshennoi vyazkost'yu nefti, priurochennykh k karbonatnym kollektoram [On the Results of the Forced Sampling of Liquid from Deposits of Deposits Ko-kites With High Viscosity of Oil, Confined to Carbonate Reservoirs]. *Neftpromyslovoe delo - Oilfield Engineering*, 2013, No. 2, pp. 34-38. [in Russian].

9. Chernov R. *Razvitie metoda tsiklichesкого zavodneniya pri razrabotke neftyanoi zalezhi* [The Development of the Method of Cyclic Flooding in the Development of Oil Deposits]. Latvia, Lambert Academic Publishing Publ., 2011. 88 p. [in Russian].

10. Fattakhov I.G., Kuleshova L.S., Farukhshin I.F. Vopros makroregulirovaniya ogranicheniya dobychi vody na primere tsiklichesкого zavodneniya [The Issue of Macro Regulation of the Limitation of Water Production on the Example of Cyclical Flooding]. *Neftpromyslovoe delo - Oilfield Engineering*, 2012, No. 3, pp. 28-29. [in Russian].

Авторы

• Гафаров Шамиль Анатольевич, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: kafedra-rngm@mail.ru

The Authors

• Gafarov Shamil A., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Oil and Gas & Oil Field Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: kafedra-rngm@mail.ru

• Лысенков Алексей Владимирович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Разработка и эксплуатация
нефтяных и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: rusoil.aleksey@mai.ru

• Lysenkov Aleksey V., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas & Oil Field
Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: rusoil.aleksey@mai.ru

• Давлетов Марат Шайхенурович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Разработка и эксплуатация
нефтяных и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: davms@mail.ru

• Davletov Marat Sh., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Oil and Gas & Oil Field
Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: davms@mail.ru

• Майский Равиль Анварович, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Математика»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: ravanmay@yandex.ru

• Maiski Ravil A., Candidate of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Mathematics Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: ravanmay@yandex.ru

• Абызбаев Ибрагим Измаилович, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры «Разработка
и эксплуатация нефтяных и газонефтяных
месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
ГАНУ «Институт стратегических
исследований Республики Башкортостан»
Лаборатория нефтегазовых исследований Центра
исследований реального сектора экономики
Главный научный сотрудник
Российская Федерация, 450075, г. Уфа,
пр. Октября, 129/3
e-mail: shaura505@mail.ru

• Abyzbaev Ibragim I., Doctor of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Oil and Gas & Oil Field Development
and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
Institute of Strategic Researches
of Bashkortostan Republic,
State Autonomous Scientific Department
Oil and Gas Research Laboratory
of Centre of Real Sector of Economics
Chief Researcher
129/3, October ave., Ufa, 450075,
Russian Federation
e-mail: shaura505@mail.ru

• Женисов Аманбек Женисулы
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Разработка и эксплуата-
ция нефтяных и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: amanbek-96-96@mail.ru

• Zhenisov Amanbek Zh.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Oil and Gas & Oil Field
Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: amanbek-96-96@mail.ru

• Нурлыбаев Айбек Каныбекович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Разработка и эксплуата-
ция нефтяных и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: aibek_nurlybaev@mail.ru

• Nurlybayev Aybek N.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Oil and Gas & Oil Field
Development and Operation Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: aibek_nurlybaev@mail.ru