

DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-6-28-41  
УДК 622.276

**Р.Н. Бахтизин, К.Р. Уразаков, Р.В. Усманов** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация),  
**Ф.Ф. Давлетшин** (Башкирский государственный университет, г. Уфа, Российская Федерация)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОВРЕМЕННО-РАЗДЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН УСТАНОВКАМИ ШТАНГОВОГО И ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСОВ

**Ramil N. Bakhtizin, Kamil R. Urazakov, Ruslan V. Usmanov**  
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation),  
**Filus F. Davletshin** (Bashkir State University, Ufa, Russian Federation)

## EFFICIENCY IMPROVEMENT OF DUAL COMPLETION BY ROD PUMP AND ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP UNITS

### Введение

Внедрение нефтяными компаниями программ энергоэффективности и повышения рентабельности разработки месторождений в современных рыночных условиях обуславливает широкое распространение технологий одновременно-раздельной эксплуатации скважин насосными установками. Добыча нефти с помощью погружных установок, включающих штанговый и электроцентробежный насосы, является одним из наиболее распространенных способов разработки объектов при значительной дифференциации их эксплуатационных характеристик и свойств пластовых флюидов. Особенности разработки верхнего продуктивного пласта штанговым насосом в данной схеме одновременно-раздельной эксплуатации связаны с низкой продуктивностью пласта, обусловленной малой подвижностью пластовой нефти в естественных термобарических условиях.

### Цели и задачи

Исследовать возможность естественного прогрева верхнего продуктивного пласта за счет тепловой энергии нижнего пласта

### Background

The introduction by the oil companies of programs energy efficiency and increasing the profitability of oil field development in modern market conditions causes the wide spread of dual completion technology using pumping units. Oil production by rod units, including rod and electric centrifugal pumps, is one of the most common ways of developing oil fields with a significant differentiation and technical specifications of the reservoir fluids. The specific features of the development of the upper productive reservoir by a rod pump in this dual completion scheme are associated with low reservoir productivity due to the low mobility of the reservoir oil under natural temperature and pressure conditions.

### Aims and Objectives

To research the possibility of natural heating of the upper productive layer due to the thermal energy of the lower layer and the heat

и теплоты, производимой штанговым и электроцентробежным насосами.

#### **Результаты**

Разработана математическая модель расчета температурного поля системы «скважина - продуктивные пласты - скважинный штанговый насос - электроцентробежный насос» с учетом механизмов конвективного переноса тепла, теплопроводности, термодинамических эффектов, а также тепловыделения в электроцентробежном и штанговом насосах. Разработан метод расчета температуры жидкости на устье скважины.

Путем численного решения уравнения теплопроводности проведено детальное исследование процесса распространения тепла в интервале верхнего продуктивного пласта. Показано, что вследствие относительно небольшой теплопроводности жидкости в межтрубном пространстве скважины наблюдается значительный температурный градиент, обуславливающий снижение температуры в радиальном направлении. Для повышения эффективности прогрева верхнего продуктивного пласта разогретой жидкостью в насосно-компрессорных трубах предложена усовершенствованная конструкция установки одновременно-раздельной эксплуатации с использованием теплообменника, предназначенного для повышения интенсивности теплопередачи в скважине. Показана эффективность реализации периодического режима откачки штанговым насосом при помощи предлагаемой установки одновременно-раздельной эксплуатации.

produced by the rod and electric centrifugal pumps.

#### **Results**

A mathematical model has been developed for calculating the temperature field of the «well - productive formations - rod pump - electrical centrifugal pump» system taking into account the mechanisms of convective heat transfer, thermal conductivity, thermodynamic effects, and heat generation in the electrocentrifugal and rod pumps. A method for calculating the temperature of the fluid at the wellhead has been developed.

By numerical solution of the heat conduction equation, a detailed study of heat distribution process in the upper productive formation interval was carried out. It is shown that due to the relatively small thermal conductivity of the fluid in the annular space of the well there is a significant temperature gradient, causing a decrease in temperature in the radial direction. To improve the heating of the upper productive formation efficiency with heated fluid in tubing, an improved design of dual completion unit using a heat exchanger to increase the heat transfer rate in the well has been proposed. The efficiency of the implementation of the periodic pumping mode by a rod pump using the proposed dual completion unit is shown.

---

---

**Ключевые слова:** одновременно-раздельная эксплуатация, скважинный штанговый насос, электроцентробежный насос, температура, прогрев пласта, теплопроводность, теплообменник

**Key words:** dual completion, rod pump, electric centrifugal pump, temperature, formation warming up, thermal conductivity, heat exchanger

---

---

#### *Введение*

Решение актуальной на сегодняшний день задачи повышения рентабельности скважин в условиях снижения темпов добычи нефти, вовлечения в эксплуатацию трудноизвлекаемых запасов обуславливает широкое распространение методов и технологий, на-

правленных на увеличение технико-экономической эффективности разработки. В частности, при эксплуатации многопластовых залежей широкое распространение получил способ одновременно-раздельной эксплуатации (ОРЭ) скважин погружными насосными установками. Технология ОРЭ позволяет производить одновременную разработку

объектов с различными эксплуатационными характеристиками и свойствами пластовых флюидов, что способствует более полному извлечению запасов [1, 2].

Известно множество вариантов исполнения компоновок ОРЭ, в общем случае включающих скважинный штанговый (СШН), электроцентробежный (ЭЦН) насосы, а также использующих сочетание насосного, фонтанного и газлифтного способа добычи. Одновременно-раздельная эксплуатация пластов при значительной дифференциации их эксплуатационных характеристик ведется, как правило, с применением схемы ЭЦН + СШН, при этом штанговый насос эксплуатирует объект, характеризующийся низкой продуктивностью. Особенности разработки продуктивных пластов для данной схемы ОРЭ связаны с тем, что естественные температурные условия в пласте не обеспечивают эффективной подвижности нефти при ее фильтрации в пласте [3].

Рассмотренная схема ОРЭ содержит источник естественного прогрева верхнего разрабатываемого пласта, связанный с тепловой энергией жидкости нижнего пласта и тепла, производимого штанговым и электроцентробежными насосами. Для оценки теплового эффекта насосной установки разработана математическая модель для расчета распределения температуры поля в скважине и верхнем продуктивном пласте при одновременно-раздельной эксплуатации, проведено детальное исследование механизма радиальной теплопередачи в интервале верхнего продуктивного пласта.

#### Математическая модель установки ОРЭ

Рассмотрим установку ОРЭ для одновременно-раздельной разработки двух продуктивных пластов, в которой нижний пласт высокой продуктивности эксплуатируется электроцентробежным насосом, а эксплуатация верхнего объекта ведется штанговым насосом (рисунок 1).

Задача рассматривается по областям: вертикально (снизу-вверх) и радиально.

#### Вертикальные области:

1 - от выкида ЭЦН до нижней границы верхнего пласта;

2 - интервал продуктивного пласта;

3 - от верхней границы верхнего продуктивного пласта до приема СШН;

4 - от приема СШН до устья скважины.

Радиальная область делится на насосно-компрессорные трубы (НКТ), межтрубное пространство и заколонное пространство, представленное цементным кольцом и окружающими горными породами. Подъем жидкости в областях 1 и 4 происходит внутри НКТ, в областях 2 и 3 - как внутри НКТ, так и в межтрубном пространстве. Жидкость, разогретая при прохождении ЭЦН, охлаждается по мере подъема в НКТ за счет теплообмена с жидкостью в межтрубном пространстве и окружающими горными породами. Жидкость в межтрубном пространстве, в свою очередь, обменивается теплом с окружающими горными породами и жидкостью в НКТ.

Теплообмен между восходящими потоками в НКТ и межтрубье в общем виде описывается следующим уравнением теплопереноса с учетом тепловыделения, обусловленного работой ЭЦН и СШН [4, 5]:

$$\frac{\partial(\rho_l c_l S_t v_t T_t)}{\partial z} = \alpha_{t ex} (T_a - T_t) + q_p(z), \quad (1)$$

где  $\rho_l, c_l$  - соответственно плотность и удельная теплоемкость жидкости;

$S$  - площадь внутреннего поперечного сечения;

$v$  - скорость жидкости;

индекс  $t$  соответствует насосно-компрессорным трубам;

$T$  - температура;

$q_p$  - мощность тепловыделения в насосе;

$\alpha_{t ex}$  - коэффициент теплообмена между жидкостью в НКТ и затрубном пространстве;

индекс  $a$  соответствует межтрубному пространству.

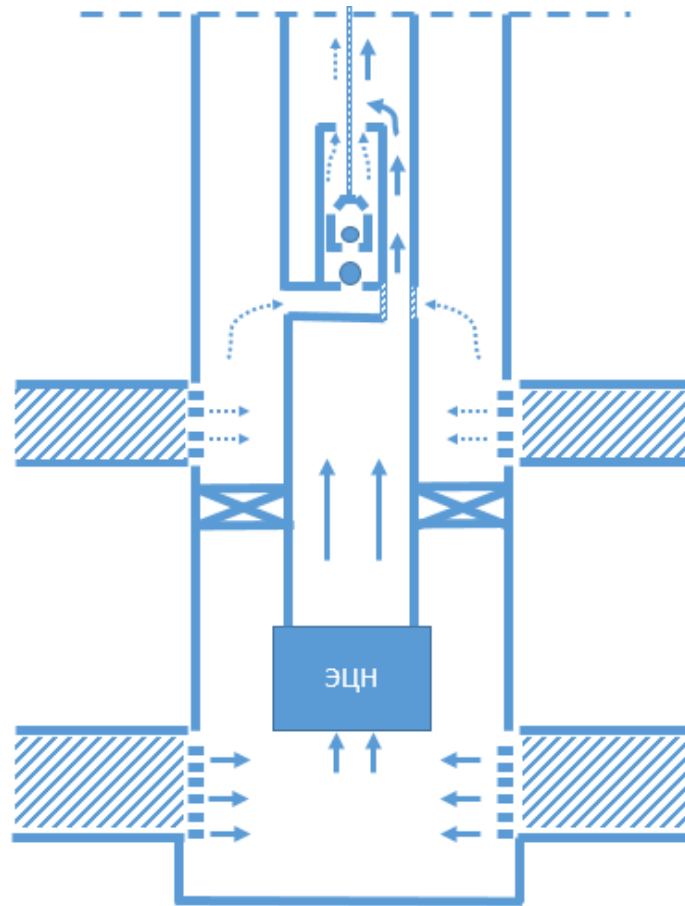


Рисунок 1. Схема одновременно-раздельной эксплуатации

Соответствующее уравнение передачи тепла от жидкости в затрубном пространстве окружающим породам и теплообмен между потоками в затрубном пространстве и НКТ [6, 7]:

$$\frac{\partial(\rho_{la}c_{la}S_a v_a T_a)}{\partial z} = \alpha_{ain}(T_t - T_a) + \alpha_{aex}(T_f|_{r=r_w} - T_a), \quad (2)$$

где  $\alpha_{ain} = \alpha_{tex}$ ,  $\alpha_{aex}$  - коэффициенты теплообмена между потоком в затрубном пространстве и горными породами;

$T_f|_{r=r_w}$  - температура на границе окружающих горных пород со скважиной радиусом  $r_w$ .

Источниками прогрева верхнего продуктивного пласта служат: тепловой поток, направленный со стороны разогретой жидкости в НКТ радиально в пласт, а также передача тепла от выше- и нижележащей частей продуктивного пласта путем теплопроводности.

Распределение температуры в интервале верхнего продуктивного пласта рассчитывается в соответствии с двумерным уравнением теплопроводности с учетом конвективного теплопереноса, вертикального и радиального механизма кондуктивной теплопередачи [8]:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r\rho c v_r T)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho c v_z T)}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda_r^* \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z^* \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q, \quad (3)$$

где  $\lambda^*$  - эффективный коэффициент теплопроводности;

$r, z$  - радиальная и вертикальная компоненты соответственно;

$Q$  - источниковое слагаемое, принимающее ненулевое значение в пласте и обусловленное тепловым эффектом дросселирования по пути фильтрации пластовой жидкости.

Расчет температуры жидкости на устье скважины базируется на решении уравнения конвективного теплообмена в НКТ в интервале выше приема СШН. Жидкость верхнего пласта поднимается в межтрубном пространстве, попадает на прием СШН и смешивается с жидкостью нижнего пласта, которая, в свою очередь, движется внутри НКТ, после смешивания жидкости движутся к устью скважины по одноканальному лифту. Температура смеси после калориметрического смешивания

$$T_{mix} = \frac{c_1 Q_1 (T_{10} + \Delta T_{1\_id} + \Delta T_{1\_cp} + \Delta T_{1\_rp} - \Delta T_{1\_2})}{c_1 Q_1 + c_2 Q_2} + \frac{c_2 Q_2 (T_{20} + \Delta T_{2\_id} + \Delta T_{1\_rp} + \Delta T_{2\_1} - \Delta T_{2\_f})}{c_1 Q_1 + c_2 Q_2}, \quad (4)$$

где  $T_{10}, T_{20}$  - естественные геотермические температуры пластовых флюидов нижнего (индекс 1) и верхнего (индекс 2) пластов соответственно;

$\Delta T_{id}$  - разогрев пластовой жидкости за счет термодинамических эффектов (эффекта Джоуля-Томсона);

$\Delta T_{cp}, \Delta T_{rp}$  - разогревы за счет тепловыделения в электроцентробежном и штанговом насосах соответственно;

$\Delta T_{1\_2}$  - изменение температуры жидкости нижнего пласта в НКТ, обусловленное передачей тепла в межтрубное пространство;

$T_{2\_1}, T_{2\_f}$  - изменение температуры жидкости верхнего пласта, обусловленное притоком тепла со стороны жидкости в НКТ и передачей тепла окружающим породам соответственно [9].

В интервале выше камеры смешивания до устья скважины охлаждение смеси в НКТ

обусловлено радиальной передачей тепла окружающим породам через межтрубное пространство, уравнение конвективного теплообмена запишется в виде (1), при этом коэффициент теплопередачи на единицу длины от жидкости в НКТ через межтрубье в окружающие горные породы определяется согласно формуле из работы [10]:

$$\alpha = 2\pi \left[ \frac{1}{\lambda_{lt} Nu_t} + \frac{1}{\lambda_m} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_{la}} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_m} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{1}{\lambda_c} \ln \frac{r_5}{r_4} \right]^{-1}, \quad (5)$$

где  $\lambda_{lt}, \lambda_{la}, \lambda_m, \lambda_c$  - коэффициенты теплопроводности жидкости в НКТ и межтрубном пространстве, металла и цемента соответственно;

$Nu_t$  - число Нуссельта для потока в НКТ;

$r_1, r_2$  - соответственно внутренний и внешний радиусы НКТ;

$r_3, r_4$  - внутренний и внешний радиусы обсадной колонны;

$r_5$  - внешний радиус цементного кольца.

Численное решение полученной системы уравнений производится при помощи расчетной схемы, явной по времени и неявной по пространственным координатам.

Дискретизация уравнений теплового баланса проводится методом контрольных объемов.

Решаются одномерные задачи по  $z$  для расчета температуры в НКТ и межтрубном пространстве и двумерные задачи для определения распределения температуры в пласте и вмещающих горных породах, а также в НКТ и межтрубном пространстве в интервале верхнего продуктивного пласта в цилиндрических координатах  $r - z$ .

#### Результаты расчетов

Рассматривается установка ОРЭ СШН-ЭЦН, эксплуатирующая продуктивные пласты, залегающие на глубинах 1200 и 1650 м соответственно. Подвеска СШН

располагается на глубине 1150 м, подвеска ЭЦН на глубине 1600 м. Внутренний и внешний радиусы НКТ равны 62 и 73 мм соответственно, внутренний и внешний радиусы обсадной колонны - 130 и 146 мм, толщина цементного кольца - 10 мм. Температура жидкости в НКТ в интервале верхнего продуктивного пласта равна 60 °С, естественная геотермическая температура - 30 °С.

Расчет распределения температуры в интервале верхнего продуктивного пласта далее производится с учетом постоянного дебита нижнего пласта и подачи ЭЦН, равной 300 м<sup>3</sup>/сут. Поскольку естественная геотермическая температура в интервале верхнего продуктивного пласта существенно ниже температуры жидкости в НКТ, возникает тепловой поток со стороны разогретой жидкости в НКТ, направленный радиально в окружающую среду и способствующий разогреву верхнего пласта.

На графиках (рисунок 2) представлены кривые изменения температуры в многослойной среде скважины («НКТ - межтрубное пространство - обсадная колонна - цементное кольцо») в интервале верхнего продуктивного пласта в сечении, соответствующем середине работающей части продуктивного пласта.

Из графиков (рисунок 2) видно, что вследствие наличия теплового сопротивления многослойной среды, заключенной между пластом и жидкостью НКТ (металла НКТ и обсадной колонны, жидкости в межтрубном пространстве и цементного кольца), температура пласта на границе с цементным кольцом (45 °С и ниже) оказывается существенно ниже температуры жидкости в НКТ.

Вследствие относительно небольшой теплопроводности жидкости в межтрубном пространстве в скважине наблюдается значительный температурный градиент, обуславливающий снижение температуры в радиальном направлении и, следовательно, эффективности прогрева пласта.

Из графиков (рисунок 2) следует также, что максимальный разогрев верхнего пласта наблюдается при отсутствии дебита, с увели-

чением дебита верхнего пласта величина температурного разогрева закономерно снижается.

Вышесказанное обусловлено тем, что в стационарном режиме работы верхнего пласта возникает постоянный конвективный отток тепла из межтрубного пространства за счет притекающей в скважину пластовой жидкости.

Характер радиального распределения температуры в пласте, т.е. распределения температуры в радиусе от границы со скважиной (внешней стенки цементного кольца) до радиуса контура питания, на котором сохраняется геотермическое распределение температуры, показан на графиках (рисунок 3).

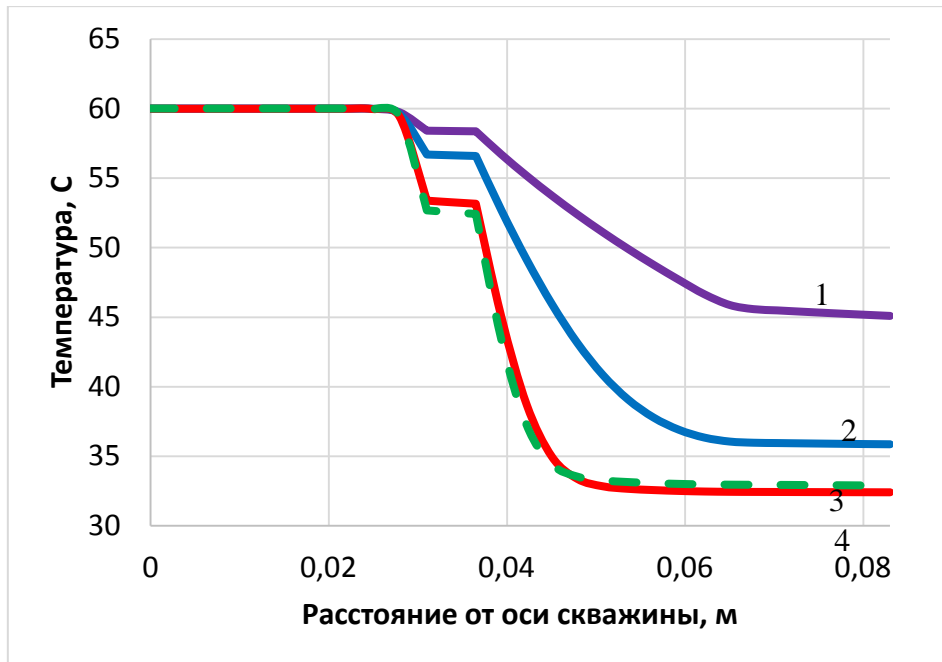
Из графиков (рисунок 3) следует, что по мере увеличения расстояния от оси скважины температура жидкости в пласте экспоненциально убывает.

Видно также, что с увеличением дебита верхнего пласта эффективность его прогрева снижается за счет эффекта экранирования теплового потока, направленного со стороны разогретой жидкости в НКТ, вследствие конвективного радиального движения притекающей в ствол скважины жидкости против теплового потока.

Таким образом, результаты вышеприведенного примера обусловлены тем, что эффективный прогрев продуктивного пласта при его стационарной работе с установившемся дебитом значительно осложнен потерями тепла при распространении тепловой энергии радиально в глубь пласта.

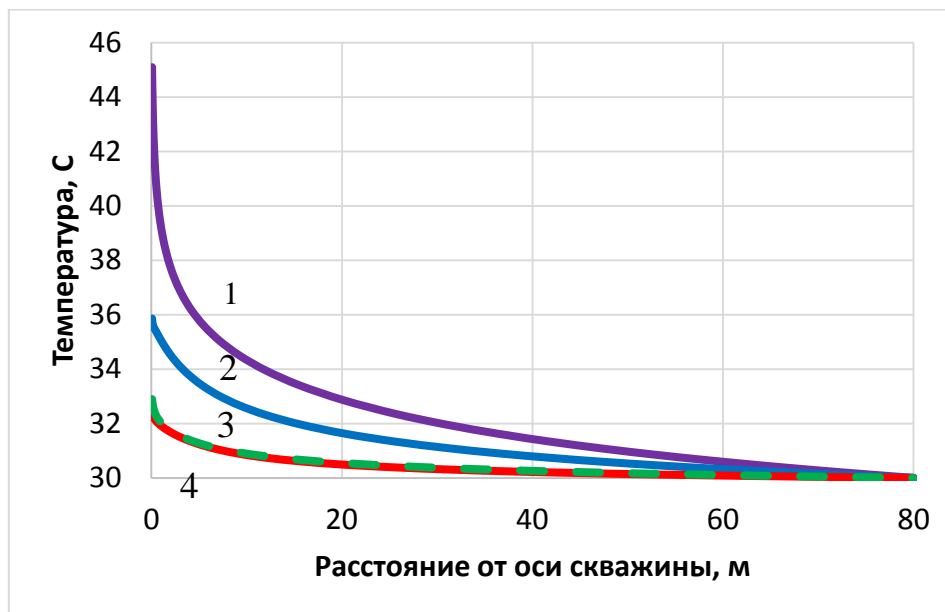
Для повышения эффективности теплообмена между жидкостью в НКТ и продуктивным пластом предложена усовершенствованная конструкция установки ОРЭ с использованием в интервале верхнего продуктивного пласта теплообменника (рисунки 4, 5).

Конструктивно теплообменник представляет собой насосно-компрессорную трубу, диаметр которой больше диаметра основной колонны НКТ и близок к внутреннему диаметру обсадной колонны.



- 1 - дебит пласта равен 0 м³/сут;
- 2 - 1 м³/сут;
- 3 - 5 м³/сут;
- 4 - 10 м³/сут

Рисунок 2. Распределение температуры в скважине при различных дебитах верхнего пласта



- 1 - дебит пласта равен 0 м³/сут,
- 2 - 1 м³/сут,
- 3 - 5 м³/сут,
- 4 - 10 м³/сут

Рисунок 3. Распределение температуры в верхнем продуктивном пласте при различных дебитах

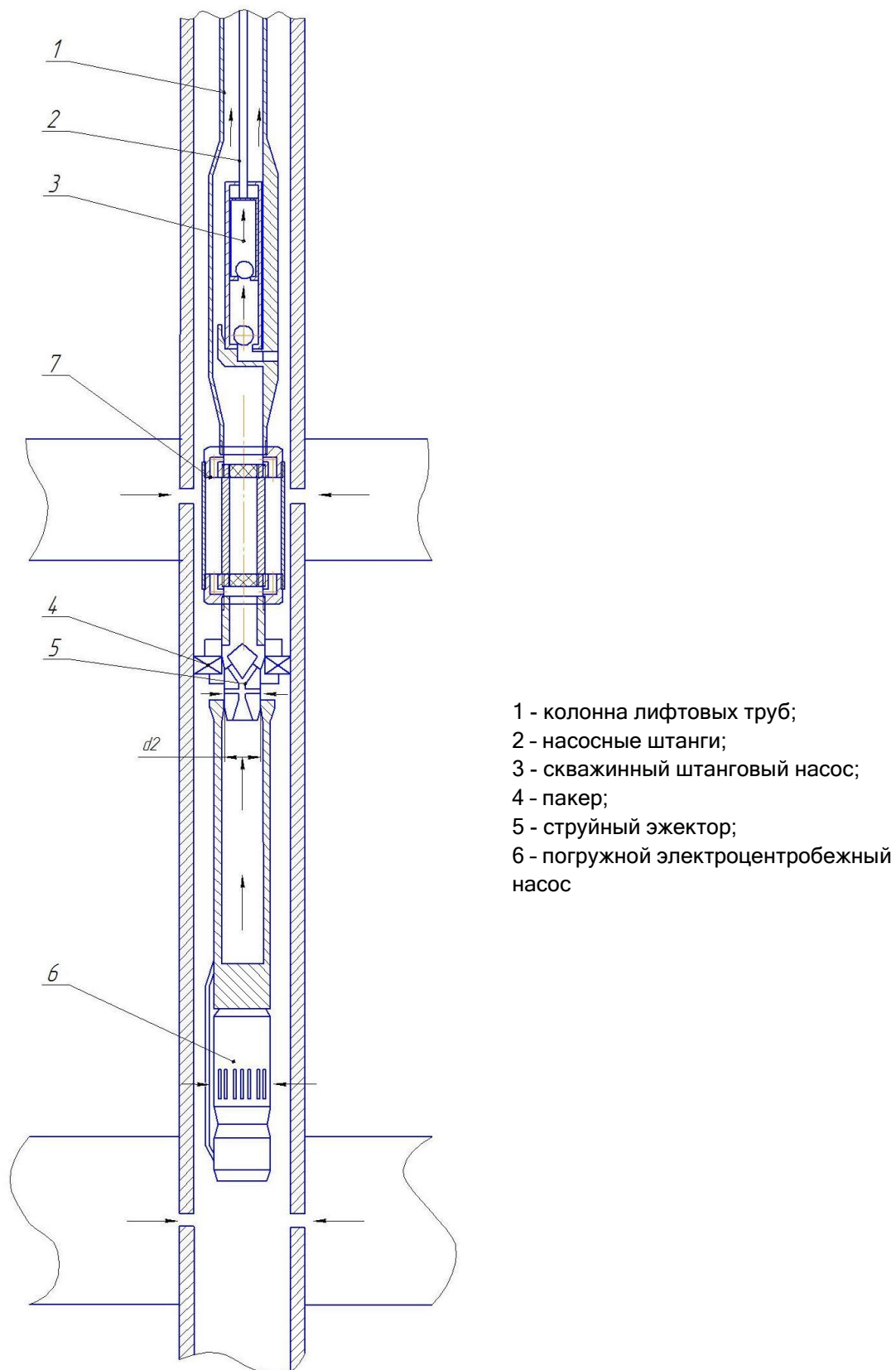


Рисунок 4. Установка ОРЭ



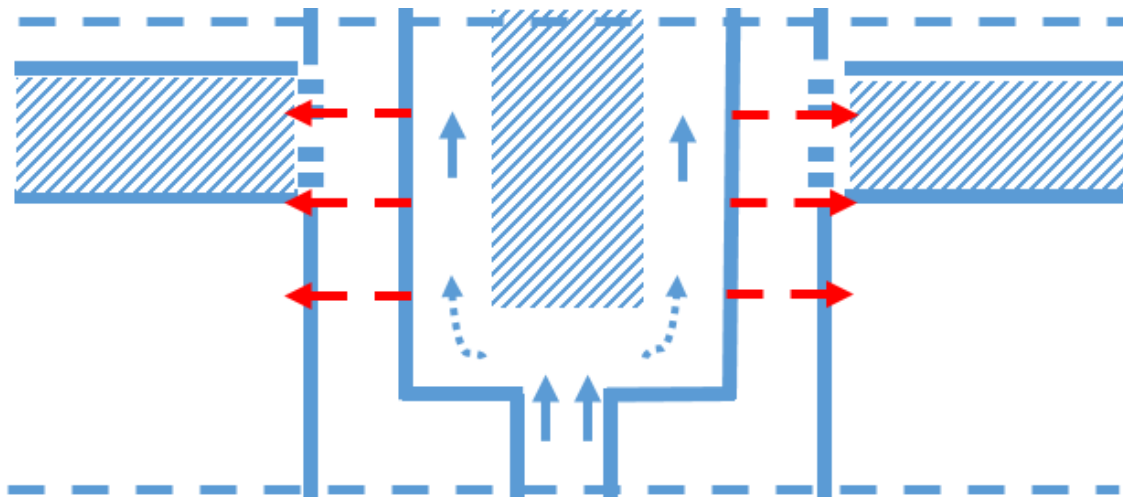


Рисунок 5. Распространение тепловой энергии в интервале установки теплообменника (штриховые линии)

Для поддержания эффективного теплообмена жидкости в НКТ с межтрубным пространством путем сохранения высокой скорости потока внутри насосно-компрессорной трубы повышенного диаметра соосно с трубой размещена вставка из материала, характеризующегося низкими теплопроводностью и теплоемкостью. Поскольку в интервале размещения теплообменника жидкость в НКТ движется близко к стенке скважины и продуктивному пласту, эффективность теплового прогрева пласта возрастает. Повышение эффективности прогрева обусловлено в равной степени и уменьшением эффективной толщины кольцевого межтрубного пространства, обладающего относительно невысоким коэффициентом теплопроводности.

Для исключения негативного влияния газа на работу ЭЦН и поддержания оптимальной величины затрубного давления газа для нижнего пласта предусмотрен струйный насос, который перепускает газ из межтрубного пространства в насосно-компрессорные трубы при превышении затрубного давления некоторого заданного значения. Поскольку теплопроводность и теплоемкость газа относительно малы, то в условиях значительного дебита жидкости нижнего пласта влиянием струйного насоса на распределение темпера-

туры в НКТ в первом приближении можно пренебречь.

На рисунке 6 представлены кривые изменения температуры в скважине напротив продуктивного пласта при наличии теплообменника со следующими параметрами: внешний диаметр внутренней вставки 78 мм, внутренний диаметр трубы НКТ 100 мм, внешний диаметр 114 мм. Данная конструкция обеспечивает равенство скоростей потока жидкости в кольцевом канале внутри НКТ в интервале размещения теплообменника и в основной колонне НКТ внутренним диаметром 62 мм.

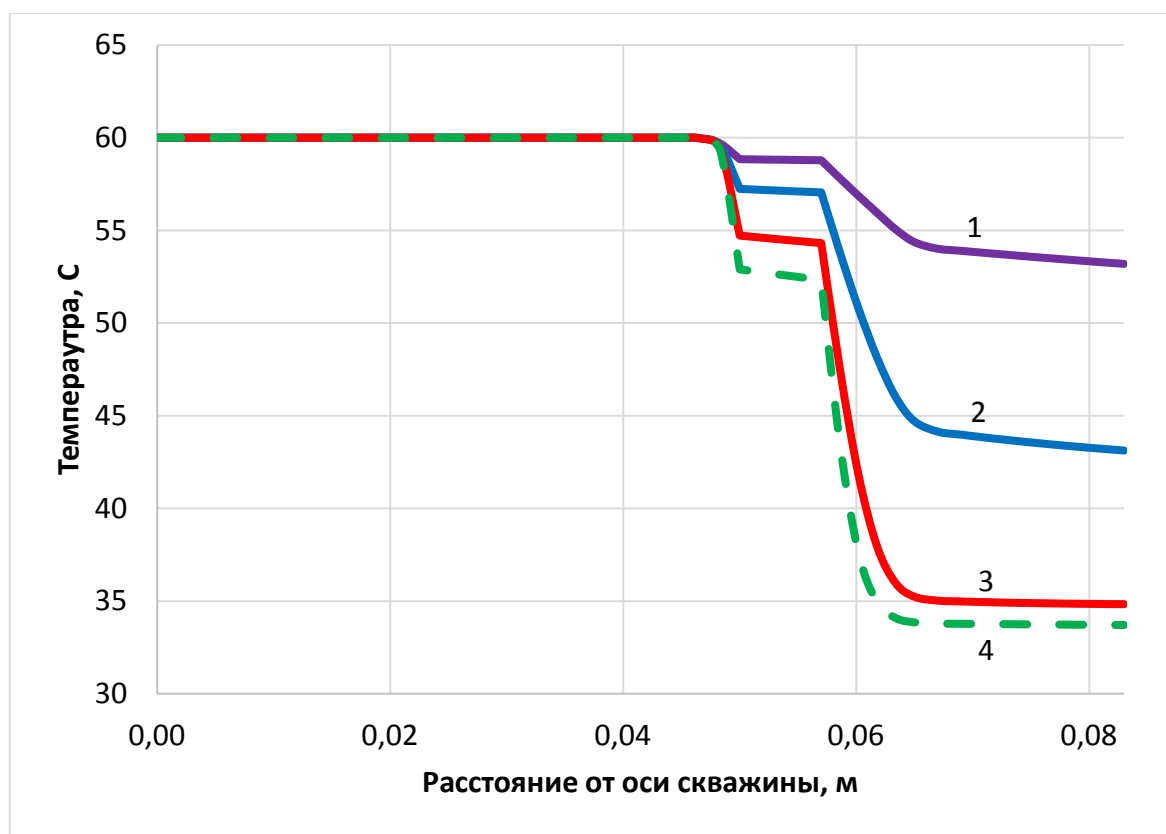
Сравнение графиков, представленных на рисунках 2 и 6, показывает, что при прочих равных условиях теплообменник позволяет существенно повысить температуру пласта на границе со скважиной. Наибольший температурный эффект наблюдается при отсутствии дебита верхнего пласта и характеризуется относительным повышением температуры для установки ОРЭ с теплообменником на величину порядка  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , с увеличением дебита верхнего пласта эффективность теплообменника снижается (при дебите верхнего пласта  $10\text{ м}^3/\text{сут}$  относительное повышение температуры составляет величину порядка  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), поскольку в данной области на распределение температуры значительное влияние

оказывает конвективный перенос тепла из пласта в скважину, преобладающий над кондуктивным механизмом теплопередачи. В результате улучшение условий теплообмена в меньшей степени влияет на установившееся распределение температуры. Соответствующее радиальное распределение температуры в пласте показано на графиках (рисунок 7). Из графиков следует, что установившаяся температура пласта и пластовой жидкости для установки ОРЭ с теплообменником выше аналогичной температуры при работе установки без теплообменника, причем максимальная температурная аномалия соответ-

ствует ближней к скважине зоне пласта и снижается с увеличением дебита пласта.

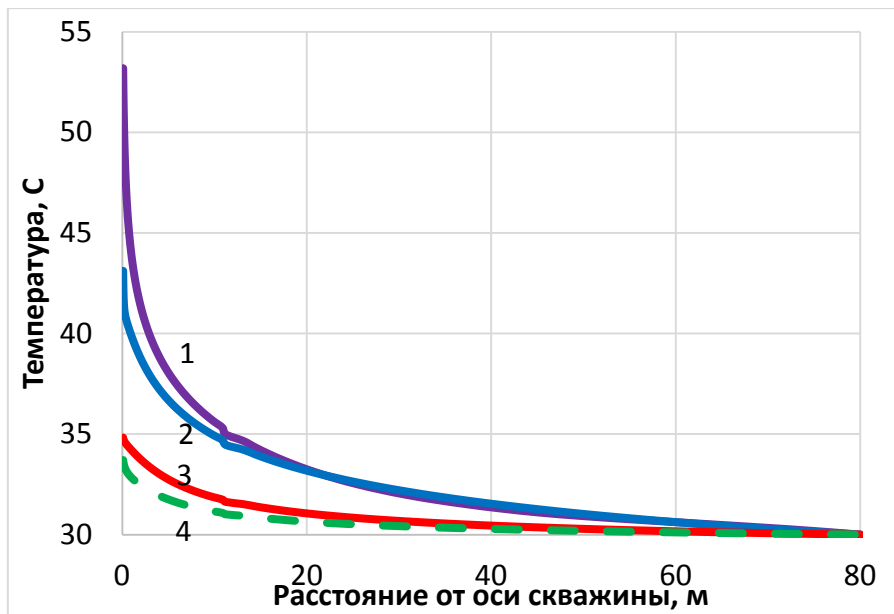
Детальное распределение изменения температуры верхнего продуктивного пласта в радиальном направлении в прискважинной зоне (рисунок 8) показывает, что при нулевом дебите верхнего пласта в интервале изменения радиальной координаты от радиуса скважины до 5 м теплообменник позволяет повысить пластовую температуру в среднем на величину около 5 °С.

В аналогичном интервале относительное повышение температуры при дебите 10 м<sup>3</sup>/сут значительно ниже (порядка 0,5 °С).



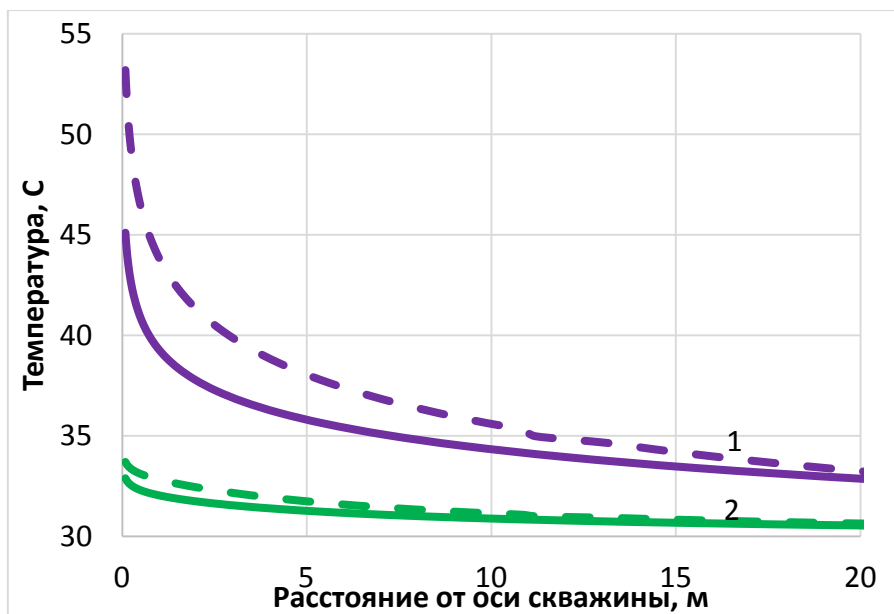
- 1 - дебит пласта равен 0 м<sup>3</sup>/сут;
- 2 - 1 м<sup>3</sup>/сут;
- 3 - 5 м<sup>3</sup>/сут;
- 4 - 10 м<sup>3</sup>/сут

**Рисунок 6.** Распределение температуры в скважине для установки ОРЭ с теплообменником при различных дебитах верхнего пласта



- 1 - дебит пласта равен 0 м<sup>3</sup>/сут;
- 2 - 1 м<sup>3</sup>/сут;
- 3 - 5 м<sup>3</sup>/сут;
- 4 - 10 м<sup>3</sup>/сут

Рисунок 7. Распределение температуры в верхнем продуктивном пласте для установки ОРЭ с теплообменником при различных дебитах верхнего пласта



- 1 - дебит пласта равен 0 м<sup>3</sup>/сут;
- 2 - 10 м<sup>3</sup>/сут

Рисунок 8. Распределение температуры в верхнем продуктивном пласте для установки ОРЭ с теплообменником (штриховая линия) и без него (сплошная линия)

Таким образом, наибольший температурный эффект разогрева характеризуется для установки ОРЭ с теплообменником, работающей в режиме остановки верхнего пласта и СШН. При увеличении дебита верхнего пласта эффективность теплообменника, с точки зрения прогрева верхнего пласта, снижается, но остается высокой, с точки зрения повышения температуры пластовой жидкости, на границе со скважиной, т.е. той температуры, с которой жидкость поступает в скважину и движется к приему штангового насоса. В этом случае эффективность теплообменника обусловлена снижением вязкости жидкости верхнего пласта в межтрубном пространстве и улучшением условий работы штангового насосного оборудования.

Одним из путей повышения продуктивности пласта и снижения вязкости добываемой жидкости путем его эффективного прогрева является *реализация периодического режима откачки, позволяющая произвести эффективный разогрев верхнего пласта.*

Это позволяет повысить коэффициент извлечения нефти и продуктивность эксплуатируемого штанговым насосом объекта, а также повысить дебит скважины.

#### Выводы

1. Разработана математическая модель для расчета распределения температуры поля в скважине и верхнем продук-

тивном пласте при одновременно-раздельной эксплуатации и проведено детальное исследование механизма радиальной теплопередачи в интервале верхнего продуктивного пласта.

2. Разработан метод расчета температуры жидкости на устье скважины.
3. Предложена усовершенствованная конструкция установки одновременно-раздельной эксплуатации с использованием теплообменника, предназначенного для повышения интенсивности теплопередачи в скважине и эффективности прогрева верхнего продуктивного пласта.
4. Показано, что для предлагаемой установки ОРЭ наблюдается повышение температуры жидкости в условиях приема штангового насоса. В этом случае эффективность теплообменника обусловлена снижением вязкости жидкости в СШН и лифтовых трубах и улучшением условий работы штангового насосного оборудования.
5. Расчетами распределения температуры в режиме остановки верхнего пласта и при работе с различным дебитом показана эффективность реализации периодического режима откачки штанговым насосом при помощи предлагаемой установки ОРЭ.

#### Список литературы

1. Заббаров Р.Г., Дмитриев В.В., Агамалов Г.Б., Уразаков К.Р. Методика расчета давления на приеме насосов при одновременно-раздельной эксплуатации скважины // Интервал. 2007. № 7. С. 18-22.
2. Уразаков К.Р., Жулаев В.П., Булюкова Ф.З., Молчанова В.А. Насосные установки для малодебитных скважин. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. 236 с.
3. Уразаков К.Р. Механизированная добыча нефти (сборник изобретений). Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010. 329 с.
4. Ключин И.Г., Уразаков К.Х., Сливка П.И., Байбурин Б.Х., Усманов Р.В. Тепловой режим работы скважинной насосной установки для одновременно-раздельной эксплуатации пластов // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». 2016. № 2. С. 68-71.
5. Здольник С.Е., Уразаков К.Р., Бондарен-

#### References

1. Zabbarov R.G., Dmitriev V.V., Agamalov G.B., Urazakov K.R. Metodika rascheta davleniya na prieme nasosov pri odnovremenno-razdel'noi ekspluatatsii skvazhiny [The Method of Pressure Calculating at Pump Intake with Simultaneous-Separate Well Operation]. *Interval - Interval*, 2007, No. 7, pp. 18-22. [in Russian].
2. Urazakov K.R., Zhulaev V.P., Bulyukova F.Z., Molchanova V.A. *Nasosnye ustanovki dlya malodebitnykh skvazhin* [Pumping Units for Marginal Wells]. Ufa, Izd-vo UGNTU, 2014. 236 p. [in Russian].
3. Urazakov K.R. *Mekhanizirovannaya dobycha nefi (sbornik izobretenii)* [Mechanized Oil Production (Collection of Inventions)]. Ufa, Neftegazovoe delo Publ., 2010. 329 p. [in Russian].
4. Klyushin I.G., Urazakov K.Kh., Slivka P.I., Baiburin B.Kh., Usmanov R.V. *Teplovoi rezhim raboty skvazhinnoi nasosnoi ustanovki dlya*

ко К.А., Алфёров А.В. Комплексный расчет температурного режима установки электроцентробежного насоса // Научно-технический вестник ОАО НК «Роснефть». 2010. № 1. С. 36-41.

6. Рамазанов А.Ш., Акчурин Р.З. Моделирование распределения температуры в бурящейся скважине // Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21. № 2. С. 269-273.

7. Топольников А.С., Уразаков Т.К., Казаков Д.П. Численное моделирование обтекания погружной части установок электроцентробежных насосов с фильтром // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7, № 2. С. 89-95.

8. Уразаков К.Р., Габдулов Р.Р., Усманов Р.В. Тепловой режим работы оборудования для одновременно-раздельной добычи на базе УЭЦН-УСШН // Нефть. Газ. Новации. 2016. № 7. С. 58-61.

9. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.

10. Рамазанов А.Ш., Исламов Д.Ф. Моделирование переходных температурных процессов в пласте при отборе и закачке жидкости // Вестник Академии наук РБ. 2017. Т. 24, № 3. С. 84-91.

odnovremenno-razdel'noi ekspluatatsii plastov [Thermal Mode of Operation of the Downhole Pumping Unit for Simultaneous-Separate Operation of Layers]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik OAO «NK «Rosneft» - Scientific and Technical Bulletin of Rosneft*, 2016, No. 2, pp. 68-71. [in Russian].

5. Zdol'nik S.E., Urazakov K.R., Bondarenko K.A., Alferov A.V. Kompleksnyi raschet temperaturnogo rezhima ustanovki elektrotsentrobezhnogo nasosa [Comprehensive Calculation of the Temperature Regime of the Electric Centrifugal Pump]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik OAO «NK «Rosneft» - Scientific and Technical Bulletin of Rosneft*, 2010, No. 1, pp. 36-41. [in Russian].

6. Ramazanov A.Sh., Akchurin R.Z. Modelirovanie raspredeleniya temperatury v buryashcheisya skvazhine [Simulation of Temperature Distribution during Drilling]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta - Bulletin of Bashkir University*, 2016, Vol. 21, No. 2, pp. 269-273. [in Russian].

7. Topol'nikov A.S., Urazakov T.K., Kazakov D.P. Chislennoe modelirovanie obtekaniya pogruzhnoi chasti ustanovok elektrotsentrobezhnykh nasosov s fil'trom [The Numerical Simulation of Flow around the Submersible Pump with Filter]. *Neftegazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2009, Vol. 7, No. 2, pp. 89-95. [in Russian].

8. Urazakov K.R., Gabdulov R.R., Usmanov R.V. Teplovoi rezhim raboty oborudovaniya dlya odnovremenno-razdel'noi dobychi na baze UETsN-USShN [Thermal Operating Mode of Equipment for Simultaneous-Separate Production Based on ESP-UShN]. *Neft'. Gaz. Novatsii - Oil. Gas. Novations*, 2016, No. 7, pp. 58-61. [in Russian].

9. Loitsyanskii L.G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Fluid and Gas Mechanics]. Moscow, Drofa Publ., 2003. 840 p. [in Russian].

10. Ramazanov A.Sh., Islamov D.F. Modelirovanie perekhodnykh temperaturnykh protsessov v plaste pri otbore i zakachke zhidkosti [Simulation of Transient Temperature Processes in Oil Reservoirs at Fluid Withdrawal and Injection]. *Vestnik Akademii nauk RB - Herald of the Academy of Sciences of RB*, 2017, Vol. 24, No. 3, pp. 84-91. [in Russian].

#### Авторы

• Бахтизин Рамиль Назифович, д-р физ.-мат. наук, профессор  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
Ректор  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: rector@rusoil.net

#### The Authors

• Bakhtizin Ramil N., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor  
Ufa State Petroleum Technological University  
Rector  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: rector@rusoil.net

• Уразаков Камил Рахматуллович, д-р техн. наук,  
профессор  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Профессор кафедры «Машины и оборудование  
нефтегазовых промыслов»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: urazakk@mail.ru

• Urazakov Kamil R., Doctor of Engineering  
Sciences, Professor  
Ufa State Petroleum Technological University  
Professor of Machines and Equipment for Oil  
and Gas Fields Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: urazakk@mail.ru

• Усманов Руслан Валерьевич  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Аспирант кафедры «Разработка и эксплуатация  
нефтяных и газовых месторождений»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1

• Usmanov Ruslan V.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Post-Graduate Student of Oil and Gas Design  
and Exploitation Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation

• Давлетшин Филус Фанизович  
Башкирский государственный университет  
Магистрант кафедры геофизики  
Российская Федерация, 450076, г. Уфа,  
ул. Заки Валиди, 32  
e-mail: felix8047@mail.ru

• Davletshin Filus F.  
Bashkir State University  
Undergraduate Student of Geophysics Department  
32, Zaki Validi str., Ufa, 450076, Russian Federation  
e-mail: felix8047@mail.ru