



УДК 622.276  
Статья / Article  
© ПНИПУ / PNRPU, 2022



## Комплексная оценка прогнозной эффективности проведения мероприятий по ограничению водопритока составом на основе сшитых полимерных систем

Д.А. Кудряшова<sup>1</sup>, А.В. Расповов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПинефть» в г. Перми (Россия, 614015, г. Пермь, ул. Пермская, 3а)

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29)

## Comprehensive assessment of the predictive effectiveness of measures to limit water inflow with a composition based on cross-linked polymer systems

Daria A. Kudryashova<sup>1</sup>, Aleksei V. Raspopov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>PermNIPIneft branch of LUKOIL-Engineering LLC in Perm (3a Permskaya st., Perm, 614015, Russian Federation)

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskiy av., Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 29.05.2022. Принята / Accepted: 18.11.2022. Опубликовано / Published: 23.12.2022

### Ключевые слова:

обводненность, ограничение водопритока, водоизоляционный состав на основе сшитых полимерных систем, скважины-кандидаты, прогнозная эффективность, гидродинамическое моделирование, фильтрационная модель, вязкость, концентрация, адсорбция, проницаемость, поровый объем, статистическая модель, уравнение регрессии, дебит жидкости.

Представлен метод комплексной оценки прогнозной эффективности проведения мероприятий по ограничению водопритока водоизоляционным составом на основе сшитых полимерных систем. Данный метод включает в себя расчет прогнозных показателей эффективности с использованием геолого-гидродинамического моделирования с подтверждением результатов использованием статистических моделей и показан на примере скважин Возейского месторождения Республики Коми.

Для оценки прогнозной эффективности с помощью геолого-гидродинамического моделирования в качестве исходных данных использованы фильтрационная модель карбонатной залежи Возейского месторождения, результаты лабораторных исследований реологии разработанного состава на основе сшитых полимерных систем и технологические параметры работы скважин-кандидатов. Для корректного моделирования фильтрационных процессов, протекающих при прохождении водоизоляционного состава через поровое пространство, учтены как изменение вязкости раствора, зависящее от концентрации в нем полимера, так и уменьшение проницаемости породы для воды в присутствии адсорбированного полимера.

Для подтверждения результатов геолого-гидродинамического моделирования с реализацией процедуры последовательного включения геолого-технологических параметров построены регрессионные уравнения прогноза снижения дебитов жидкости. Регрессионное уравнение снижения дебитов жидкости позволяет удовлетворительно прогнозировать эффективность водоизоляционных работ по наиболее информативным геолого-технологическим параметрам: дебит жидкости до мероприятий по ограничению водопритока, давление закачки водоизоляционного состава, мощность интервала водопритока по результатам геофизических исследований, коэффициент пористости, коэффициент расчлененности, пластовая температура.

В итоге проведенная на основе комплексирования разных методических подходов оценка прогнозной эффективности применения состава на основе сшитых полимерных систем позволила принять решение о целесообразности проведения опытно-промышленных работ на выбранном участке Возейского месторождения Республики Коми.

### Keywords:

water cut, water inflow limitation, water-insulating composition based on cross-linked polymer systems, candidate wells, predictive efficiency, hydrodynamic modeling, filtration model, viscosity, concentration, adsorption, permeability, pore volume, statistical model, regression equation, fluid flow rate.

A method for a comprehensive assessment of the predictive effectiveness of carrying out measures to limit water inflow with a water-insulating composition based on cross-linked polymer systems is presented. This method includes the calculation of predictive performance indicators using geological and hydrodynamic modeling with confirmation of the results using statistical models and is shown on the example of the wells of the Vozeyskoye field in the Komi Republic.

To evaluate the predictive efficiency using geological and hydrodynamic modeling, the filtration model of the carboniferous deposit of the Vozeyskoye field, the results of laboratory studies of the rheology of the developed composition based on cross-linked polymer systems, and the technological parameters of candidate wells were used as initial data. For correctly modeling filtration processes that occur during the passage of the water-insulating composition through the pore space, both the change in the solution viscosity, depending on the polymer concentration, and decrease in the rock permeability for water in the presence of the adsorbed polymer were taken into account.

To confirm the results of geological and hydrodynamic modeling with the implementation of the procedure for the sequential inclusion of geological and technological parameters, regression equations were constructed for predicting a decrease in fluid flow rates. The regression equation for the decrease in fluid flow rates made it possible to satisfactorily predict the effectiveness of water shut-off operations using the most informative geological and technological parameters: fluid flow rate before measures to limit water inflow, injection pressure of a water-insulating composition, thickness of the water inflow interval based on the results of geophysical surveys, porosity coefficient, compartmentalization coefficient, formation temperature.

As a result, based on the integration of different methodological approaches, the assessment of the predictive effectiveness of using a composition based on cross-linked polymer systems made it possible to make a decision on the feasibility of conducting pilot work at the selected area of the Vozeyskoye field in the Komi Republic.

© Кудряшова Дарья Анатольевна – ведущий инженер (тел.: +007 (982) 453 40 48, e-mail: kudryashovada@mail.ru).

© Расповов Алексей Владимирович – кандидат технических наук, менеджер проектов, доцент кафедры «Нефтегазовый инжиниринг» (тел.: +007 (912) 981 86 88, e-mail: aleksej.raspopov@pnn.lukoil.com, raspopov.aleksey.v@gmail.com).

© Daria A. Kudryashova (Author ID in Scopus: 56979340400) – Lead Engineer (tel.: +007 (982) 453 40 48, e-mail: kudryashovada@mail.ru).

© Aleksei V. Raspopov (Author ID in Scopus: 30267829600) – PhD in Engineering, Project Manager, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Engineering (tel.: +007 (912) 981 86 88, e-mail: aleksej.raspopov@pnn.lukoil.com, raspopov.aleksey.v@gmail.com).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Кудряшова Д.А., Расповов А.В. Комплексная оценка прогнозной эффективности проведения мероприятий по ограничению водопритока составом на основе сшитых полимерных систем // Недропользование. – 2022. – Т.22, №4. – С.171–170. DOI: 10.15593/2712-8008/2022.4.4

Please cite this article in English as:

Kudryashova D.A., Raspopov A.V. Comprehensive assessment of the predictive effectiveness of measures to limit water inflow with a composition based on cross-linked polymer systems. Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering, 2022, vol.22, no.4, pp.171-177. DOI: 10.15593/2712-8008/2022.4.4

Введение

На сегодняшний день большое количество месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции добывают нефть с высоким процентом обводненности, что снижает коэффициент извлечения нефти, приводит к росту непроизводительных затрат на добычу, подготовку и утилизацию попутно-добываемой воды.

Одним из вариантов решения проблемы высокой обводненности продукции скважин является проведение геолого-технических мероприятий по ограничению водопритока (ОВП) [1–4]. В связи с этим определение подходов к планированию и реализации данных мероприятий являются актуальными задачами [5–10].

В 2019 г. на Возейском месторождении Республики Коми проведены опытно-промышленные работы (ОПР) по испытанию водоизоляционного состава на основе шитых полимерных систем, разработанного Филиалом ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми [11]. С этой целью Филиалом совместно с ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» выбран опытный участок пласта  $C_{2+3}$  Возейского месторождения, который представлен нагнетательной скважиной № Н-1 и добывающими скважинами № Д-1, Д-2, Д-3, находящимися в очаге нагнетания. Опыт применения аналогичных водоизоляционных составов описан в ряде исследовательских работ [12–32].

При планировании ОПР реализован метод комплексной оценки прогнозной эффективности мероприятий по ОВП с использованием геолого-гидродинамического моделирования и статистических моделей.

Оценка прогнозной эффективности методом геолого-гидродинамического моделирования

При моделировании мероприятий по ограничению водопритока в гидродинамических симуляторах необходимо учесть результаты процессов, протекающих при взаимодействии водоизоляционного состава с поровым пространством и насыщающими пласт флюидами [33–35].

В связи с возможностью воспроизведения фильтрации полимера в пористой среде для моделирования закачки водоизоляционных составов использован гидродинамический симулятор Tempest MORE 8.1. Учет полимеров в Tempest MORE добавляет к уравнениям сохранения массы воды, нефти и газа дополнительное уравнение сохранения массы полимера, которое учитывается неявным способом и доступно для трехфазной трехмерной модели Black Oil [36–38]:

$$\left[ V_p \left( C_{ply} S_w b_w + (1 - \phi) C_{abs} (C_{ply}, C_{abs}^{max}) \right) \right]^{T + \Delta T} - \left[ V_p \left( C_{ply} S_w b_w + (1 - \phi) C_{abs} (C_{ply}, C_{abs}^{max}) \right) \right]^T = \Delta T (F_{ply} + Q_{ply}), \quad (1)$$

где  $V_p$  – поровый объем пласта,  $m^3$ ;  $C_{ply}$  – концентрация полимерного раствора,  $кг/м^3$ ;  $S_w$  – водонасыщенность, доли ед;  $b_w$  – объемный фактор воды, доли ед;  $\phi$  – пористость коллектора в ячейке, доли ед;  $C_{abs}$  – количество адсорбированного полимера для ячейки,  $кг/м^3$ ;  $C_{abs}^{max}$  – максимальное значение количества адсорбированного полимера для ячейки за весь период от начала расчета до текущей даты,  $кг/м^3$ ;  $F_{ply}$  – поток полимера между ячейками;  $Q_{ply}$  – приток полимера в скважины и из скважин;  $T$  – момент времени;  $\Delta T$  – временной шаг.

Из уравнения (1) видно, что важными параметрами, влияющими на проведение мероприятий по ограничению водопритока, является концентрация полимерного состава  $C_{ply}$  и количество адсорбированного полимера  $C_{abs}$ .

В ходе гидродинамического моделирования процессов, протекающих при проведении мероприятий по ОВП на участке ОПР Возейского месторождения, множитель вязкости в модели  $C_{mult}$  и концентрация

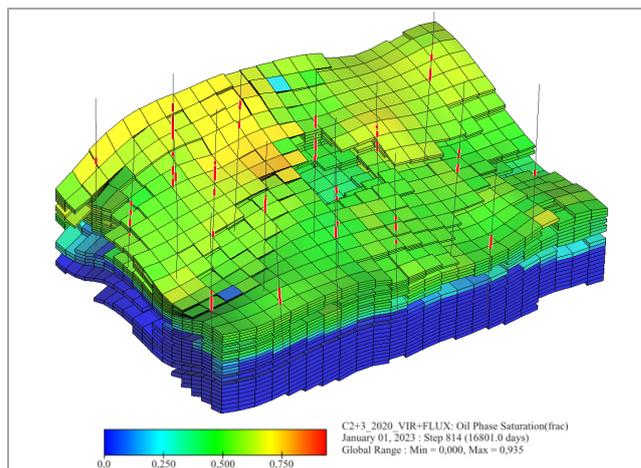


Рис. 1. Секторная модель опытного участка Возейского месторождения на примере куба распределения нефтенасыщенности

Таблица 1

Зависимость вязкости водоизоляционного состава от концентрации при скорости сдвига  $5,11 \text{ с}^{-1}$

$C_{ply}$ , %	$C_{mult}$
0	1,0
4	256
9	1861

водоизоляционного состава  $C_{ply}$  связаны зависимостью  $C_{mult} = C_{mult}(C_{ply})$ , которая получена при проведении лабораторных исследований реологии состава для его различных концентраций (табл. 1).

Наличие полимера влияет на течение в пласте двумя способами: как изменение вязкости раствора, зависящее от концентрации в нем полимера; и как уменьшение проницаемости породы для воды в присутствии адсорбированного полимера [39–41]. В простой обратимой модели количество адсорбированного полимера является функцией его концентрации  $C_{abs} = C_{abs}(C_{ply})$ , однако в случае закачки водоизоляционных составов на основе шитых полимерных систем процесс адсорбции необратим, т.е.

$$C_{abs} = \max [C_{abs}(C_{ply}), C_{abs}^{max}]. \quad (2)$$

Модель адсорбции полимера и связанного с этим уменьшения проницаемости разработана G.J. Hirasaki и G.A. Pope [40]. Согласно данной модели масса полимера, адсорбируемого породой, определяется по формуле

$$m_p^A = V_p (1 - \phi) C_A \frac{\alpha}{\eta} [M_p \eta]^{1/3} (\phi/k)^{1/2}, \quad (3)$$

где  $C_A$  – константа, значение которой зависит от системы единиц измерения;  $\phi$  – пористость коллектора в ячейке, доли ед;  $k$  – проницаемость,  $мкм^2$ ;  $M_p$  – молярная масса

полимера, Дальтон;  $\eta = \frac{\mu_p - \mu_w}{C_{ply} \mu_w}$  – функция, зависящая от свойств полимера;  $\mu_p$ ,  $\mu_w$  – вязкость соответственно полимерного раствора и воды затворения,  $мПа \cdot с$ .

Для оценки прогнозной эффективности мероприятий по ограничению водопритока с помощью геолого-гидродинамического моделирования в симуляторе Tempest MORE 8.1 создана трехмерная фильтрационная модель объекта  $C_{2+3}$  Возейского месторождения.

С целью оптимизации и сокращения времени расчетов по границам опытного участка выделен отдельный сектор, включающий в себя район 18 скважин, три из которых являются скважинами-кандидатами для испытания разработанного водоизоляционного состава на основе шитых полимерных систем (рис. 1).



Рис. 2. Распределение значений закаченных в скважины объемов водоизоляционных составов на основе сшитых полимерных систем

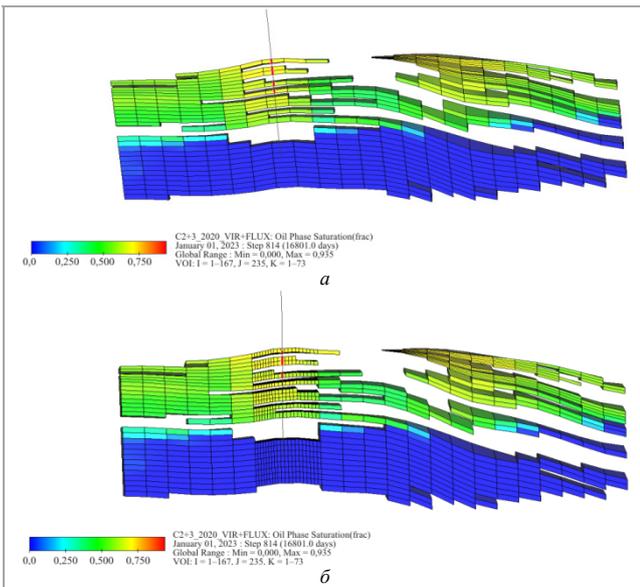


Рис. 3. Разрез по скважине № Д-1 на примере куба текущей нефтенасыщенности: а – без измельчения ячеек; б – с измельчением ячеек

Таблица 2

Поровые объемы ячеек, вскрытые скважинами-кандидатами

№ скважины	Минимальный поровый объем ячеек, м³	Максимальный поровый объем ячеек, м³	Средний поровый объем ячеек, м³
Д-1	97,05	2035,24	773,71
Д-2	36,48	1821,49	628,31
Д-3	77,54	1927,49	777,25

Таблица 3

Поровые объемы ячеек, вскрытые скважинами-кандидатами, после процедуры измельчения

№ скважины	Минимальный поровый объем ячеек, м³	Максимальный поровый объем ячеек, м³	Средний поровый объем ячеек, м³
Д-1	2,55	58,07	17,58
Д-2	0,87	49,95	14,37
Д-3	1,55	79,63	18,65

Для корректного моделирования фильтрационных процессов, протекающих при водоизоляционных работах на Возейском месторождении, необходимо сопоставить объемы состава, планируемые к закачке, и поровый объем ячеек трех выбранных скважин-кандидатов.

На рис. 2 представлено распределение значений закаченных в скважины объемов водоизоляционных

составов на основе сшитых полимерных систем, построенное для всех мероприятий по ограничению водопритоков, проведенных на месторождениях Республики Коми за период, предшествующий проведению опытно-промышленных работ по испытанию разработанного Филиалом состава.

В табл. 2 представлены средние, минимальные и максимальные поровые объемы ячеек геолого-гидродинамической модели, которые вскрыты выбранными для проведения ОПР скважинами-кандидатами.

В результате проведения мероприятий по ограничению водопритока на скважинах месторождений Республики Коми фактический объем закаченной композиции изменяется в пределах от 10 до 120 м³ (рис. 2). Средний поровый объем ячеек модели, вскрытых скважинами-кандидатами (см. табл. 2), значительно превышает фактический объем закаченной композиции. Таким образом, можно сделать вывод, что весь объем закачиваемого агента остается в рамках одного столбца ячеек вдоль стволов скважин-кандидатов.

Для решения задачи моделирования мероприятий по ограничению водопритока на трехмерных гидродинамических моделях принято решение изменить масштаб сеток в районе скважин-кандидатов с помощью локального измельчения сеток. Так, ячейки в районе скважин измельчены в 300 раз: в 10 раз в направлении X и Y, в 3 раза в направлении Z (рис. 3).

В табл. 3 представлены средние, минимальные и максимальные поровые объемы ячеек, вскрытые скважинами-кандидатами, после процедуры измельчения. Из приведенных в таблице данных видно, что поровый объем ячеек стал сопоставим с объемом закачки.

Для оценки прогнозных режимов работы скважин-кандидатов № Д-1, Д-2, Д-3 Возейского месторождения после проведения мероприятий по ограничению водопритока осуществлены расчеты на геолого-гидродинамической модели следующих прогнозных вариантов:

1. Базовый вариант без проведения мероприятия по ОВП.
2. Вариант с проведением мероприятия по ОВП составом на основе сшитых полимерных систем на трех скважинах-кандидатах.

Прогнозный период – три года с шагом расчета один месяц. Начало прогноза – 01.01.2020.

Результаты расчета прогнозных показателей добычи по скважинам-кандидатам Возейского месторождения представлены на рис. 4. По данным рис. 4 выявлено, что прогнозная эффективность от проведения мероприятий по ограничению водопритока составом на основе сшитых полимерных систем установлена во всех скважинах-кандидатах.

### Оценка прогнозной эффективности построением прогнозных статистических моделей

Для создания статистических моделей прогнозной эффективности мероприятий по ограничению водопритока проанализированы результаты мероприятий, проведенных ранее на месторождениях Республики Коми водоизоляционными составами на основе сшитых полимерных систем.

В качестве зависимой переменной выбран основной показатель эффективности мероприятий по ограничению водопритоков – снижение дебитов жидкости. Модели множественной регрессии использованы для предсказания значений зависимых переменных по набору ряда независимых переменных: дебит жидкости, водонефтяной фактор, толщина интервала водопритока по результатам геофизических исследований, эффективная нефтенасыщенная толщина, коэффициенты пористости, проницаемости, расчлененности, песчаности, пластовое давление, пластовая температура, давление закачки водоизоляционного состава, объем закаченного водоизоляционного состава, расстояние от нижнего перфорационного отверстия до водонефтяного контакта (ВНК) и плотность попутно добываемой воды.

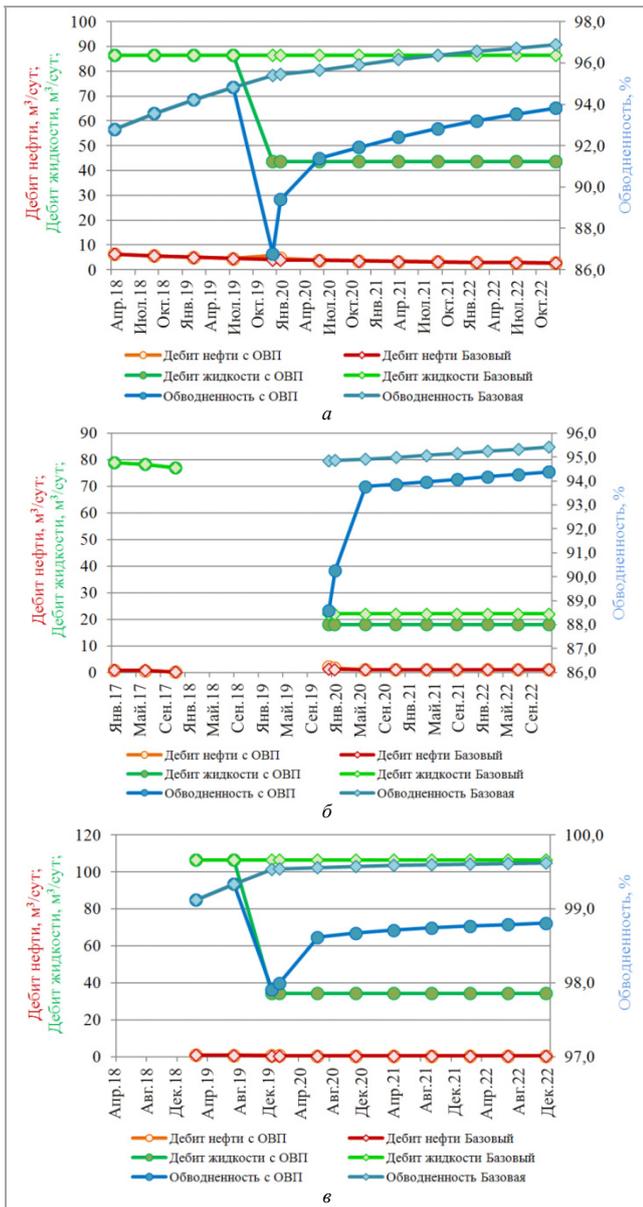


Рис. 4. Результаты расчета прогнозных показателей добычи по скважинам: а – № Д-1 Возейского месторождения для двух вариантов (с мероприятием по ОВП и базовый); б – № Д-2 Возейского месторождения для двух вариантов (с мероприятием по ОВП и базовый); в – № Д-3 Возейского месторождения для двух вариантов (с мероприятием по ОВП и базовый)

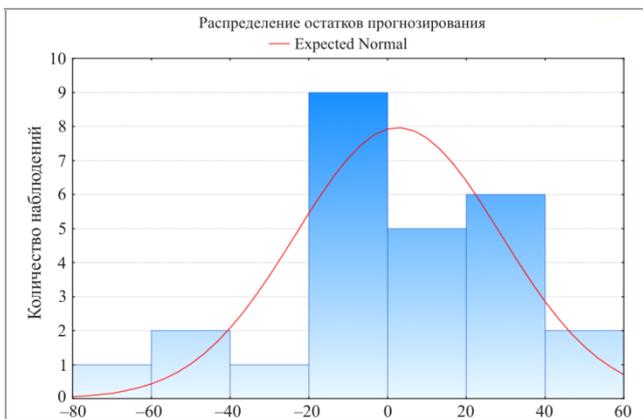


Рис. 5. Гистограмма распределения остатков прогнозирования снижения дебитов жидкости после мероприятий по ОВП для месторождений Республики Коми

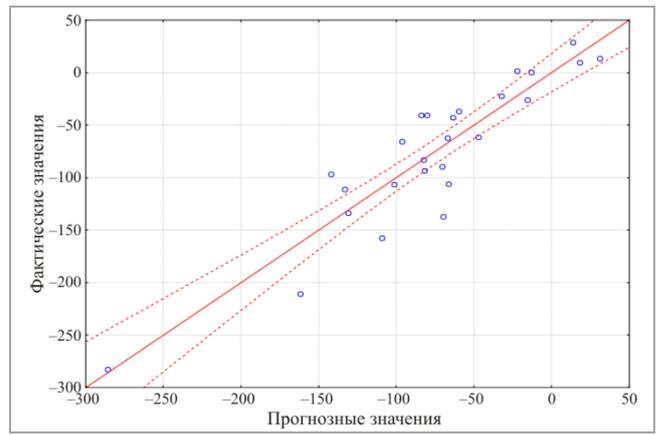


Рис. 6. Сравнение прогнозируемых и фактических значений снижения дебитов жидкости после мероприятий по ОВП для месторождений Республики Коми

В соответствии с методикой построения многомерных уравнений регрессии статистическая модель построена методом пошаговой регрессии с реализацией процедуры последовательного включения геолого-технических параметров [42, 43]. Первоначально рассмотрено уравнение регрессии технологической эффективности от наиболее информативного параметра. Затем в данное уравнение включен параметр, который в совокупности с ранее выбранным имеет наибольшую информативность (табл. 4).

Из данных табл. 4 видно, что итоговое регрессионное уравнение снижения дебитов жидкости обладает достаточно высоким качеством прогноза: коэффициент детерминации  $R^2$  составляет 0,84 [44, 45].

Для проверки качества регрессионного уравнения проведены анализ остатков (рис. 5) и сравнение прогнозируемых и фактических значений снижения дебитов жидкости (рис. 6).

На рис. 5 наблюдается удовлетворительное согласование гистограммы остатков с нормальным распределением.

Полученное регрессионное уравнение (см. рис. 6) дает высокое качество прогноза снижения дебитов жидкости после проведения мероприятий по ограничению водопритока. Таким образом, данная статистическая модель может быть использована для оценки прогнозной эффективности.

### Сравнение результатов оценки прогнозной эффективности

В табл. 5 представлено сравнение результатов оценки прогнозной эффективности методом геолого-гидродинамического моделирования, построением прогнозных статистических моделей и фактических результатов, полученных на скважинах-кандидатах после испытания разработанного водоизоляционного состава на основе сшитых полимерных систем.

Исходя из данных, приведенных в табл. 5, наблюдается достаточно высокое совпадение полученных результатов по скважинам № Д-2 и Д-3. Расхождение результатов по скважине № Д-1 объясняется отклонением фактически проведенных работ от планируемых: фактический интервал закачки состава был увеличен по причине отсутствия работ по отсыпке нижней части интервала перфорации.

В целом установлена прогнозная эффективность от проведения мероприятий по ограничению водопритока на скважинах-кандидатах № Д-1, Д-2, Д-3 Возейского месторождения составом на основе сшитых полимерных систем.

Проведенная на основе комплексирования разных методических подходов оценка прогнозной эффективности предложенной технологии позволила принять решение о целесообразности проведения опытно-промышленных работ на выбранном участке.

Таблица 4

Многомерные регрессионные уравнения прогноза снижения дебитов жидкости по скважинам с выполненными мероприятиями по ОВП в Республике Коми

Вариант расчета	R <sup>2</sup>	p-значение	F-критерий	Уравнение регрессии
1	0,48511	0,00008	22,612	$\Delta Q_x = 44,05 - 0,77 \cdot Q_x$
2	0,55709	0,00009	14,464	$\Delta Q_x = 34,541 - 0,623 \cdot Q_x - 0,894 \cdot P_{\text{зак}}$
3	0,59126	0,00016	10,608	$\Delta Q_x = 11,985 - 0,675 \cdot Q_x - 0,839 \cdot P_{\text{зак}} + 2,342 \cdot H_{\text{ВП}}$
4	0,63875	0,00018	9,283	$\Delta Q_x = 11,408 - 0,612 \cdot Q_x - 0,668 \cdot P_{\text{зак}} + 3,578 \cdot H_{\text{ВП}} - 2,044 \cdot K_{\text{расч}}$
5	0,72982	0,00004	10,805	$\Delta Q_x = -33,794 - 0,565 \cdot Q_x - 0,852 \cdot P_{\text{зак}} + 3,708 \cdot H_{\text{ВП}} - 3,738 \cdot K_{\text{расч}} + 1,139 \cdot T_{\text{пл}}$
6	0,83539	0,00000	16,070	$\Delta Q_x = -324,064 - 0,602 \cdot Q_x - 0,627 \cdot P_{\text{зак}} + 3,111 \cdot H_{\text{ВП}} - 2,652 \cdot K_{\text{расч}} + 2,443 \cdot T_{\text{пл}} + 1178,257 \cdot K_{\text{п}}$

Примечание:  $\Delta Q_x$  – снижение дебитов жидкости, м<sup>3</sup>/сут;  $Q_x$  – дебит жидкости до мероприятий по ОВП, м<sup>3</sup>/сут;  $P_{\text{зак}}$  – давление закачки водоизоляционного состава, МПа;  $H_{\text{ВП}}$  – мощность интервала водопритока;  $K_{\text{расч}}$  – коэффициент расчлененности, ед.;  $T_{\text{пл}}$  – пластовая температура;  $K_{\text{п}}$  – коэффициент пористости, доли ед.

Таблица 5

Сравнение фактических результатов и результатов оценки прогнозной эффективности

Скважина	Снижение дебитов жидкости, м <sup>3</sup> /сут		
	Расчет на геолого-гидродинамической модели	Расчет на статистической модели	Фактическое значение
№ Д-1	-42,8	-84,9	-89,2
№ Д-2	-59,1	-60,4	-49,2
№ Д-3	-72,1	-85,0	-92,9

**Заключение**

На примере планирования мероприятий по ограничению водопритока составом на основе шитых полимерных систем показано применение комплексной оценки прогнозной эффективности, которая включает в себя основной и контрольный методы. Основной метод – расчет прогнозных показателей добычи нефти и жидкости на геолого-гидродинамической модели. Но поскольку при гидродинамическом моделировании есть вероятность риска расхождения прогноза с фактическими результатами по причине сложности геологического строения объектов Республики Коми, применяется дополнительный метод оценки прогнозной

эффективности с использованием статистических моделей. Построение многомерных уравнений регрессии учитывает накопившийся опыт применения технологий ограничения водопритока на месторождениях Республики Коми и соответственно обладает высоким качеством прогноза, что позволяет рассматривать данный метод как контрольный.

В случае значительного расхождения между полученными в ходе комплексной оценки результатами рекомендуется провести дополнительный анализ изученности рассматриваемого объекта, выявить неопределенности и разработать программу по управлению возможными рисками, по возможности актуализировать действующую фильтрационную модель.

**Библиографический список**

1. Water Control / B. Bailey, J. Elphick, F. Kuchuk, L. Roodhart // Oilfield Review. – 2000. – P. 30–51.
2. Диагностика и ограничение водопритоков / Б. Бейли [и др.] // Нефтегазовое обозрение. – 2001. – С. 44–67.
3. Газизов А.Ш., Газизов А.А. Повышение эффективности разработки месторождений на основе ограничения движения вод в пластах. – М.: ООО Недр-Бизнесцентр, 1999. – 285 с.
4. Теория и практика ремонтно-изоляционных работ в нефтяных и газовых скважинах / И.И. Клещенко [и др.]. – Тюмень: Издательско-полиграфический центр «Экспресс», 2011. – 386 с.
5. Современные подходы к разработке рецептур составов для ограничения водопритока / Н.А. Климов, С.Г. Попов, А.Ю. Пермяков, К.П. Лебедев, Д.А. Кудряшова, Р.Г. Хайбуллин, Б.А. Хузин, О.В. Гаршина // Сборник докладов 15-й Международной научно-практической конференции «Современные технологии капитального ремонта скважин и повышения нефтеотдачи пластов. Перспективы развития», 11-й Международной научно-практической конференции «Строительство и ремонт скважин», 1-й Международной научно-практической конференции «Промышленная и экологическая безопасность в нефтегазовом комплексе». – Краснодар: Нитпо, 2020. – С. 69–74.
6. Кудряшова Д.А. Использование вероятностно-статистических методов для определения источников обводнения скважин-кандидатов для водоизоляционных работ (на примере визейского объекта месторождения Пермского края) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – № 1. – С. 26–36.
7. Кудряшова Д.А. Совершенствование алгоритма подбора скважин-кандидатов для работ по ограничению водопритока с применением методик идентификации источников обводнения // Сборник работ победителей XXI Конкурса на лучшую молодежную научно-техническую разработку по проблемам топливно-энергетического комплекса. – М.: Министерство энергетики Российской Федерации, Общероссийская общественная организация «Национальная система развития научной, творческой и инновационной деятельности молодежи России «Интеграция», 2014. – С. 249–255.
8. Стрижнев К.В. Комплексное моделирование ремонтно-изоляционных работ в скважинах (на примере нефтяных месторождений Западной Сибири): автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2011.
9. Пермяков А.Ю. Разработка и внедрение собственных технологий ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» для водоизоляционных работ // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2021. – № 1. – С. 371–377.
10. Кудряшова Д.А. Методика подбора скважин-кандидатов для водоизоляционных работ на месторождениях ПАО «ЛУКОЙЛ» // Инженерная практика. – 2019. – № 4. – С. 42–50.
11. Результаты опытно-промышленных работ по ограничению водопритока составом на основе шитых полимерных систем «СПС-ЛС «ПермНИПИнефть» / Д.А. Кудряшова [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2021. – № 3. – С. 53–58.
12. Organically Crosslinked Polymer System for Water Reduction Treatments in Mexico / J. Vasquez, I. Jurado [et al.] // Paper SPE 104134 presented at the first International Oil Conference and Exhibition held in Cancun. – Mexico, 2006.
13. White J.L. Use of Polymers to control water production in oil wells // J. of Petroleum Technol. – 1973. – Vol. 25, № 2. – P. 143–150.
14. Applications of Polymer Gel for Establishing Zonal Isolations and Water Shutoff in Carbonate Formations / D. Perez, F.E. Fragachan [et al.] // Paper SPE 73196 first presented at the 1997 SPE/IADC Drilling Conference. – Amsterdam, 2001.
15. Simjoo M., Mohsen V., Ahmad D. Polyacrylamide gel polymer as water shut-off: preparation and investigation of physical and chemical properties on one of the Iranian oil reservoirs conditions // Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. – 2007. – Vol. 26, № 4. – P. 99–108.
16. Thru-Tubing Zonal Isolation and water Shut-Off Using Coiled Tubing in Java Sea: Operational Challenge & Treatment Strategy / Y. Susilo, W. Wibowo [et al.] // Paper SPE 88494 presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. Perth. – Australia, 2004.
17. Connecting Laboratory and Field Results for Gelant Treatments in Naturally Fractured Production Wells / A. Marin, R. Seright [et al.] // Paper SPE 77411 presented at the SPE Annual Technological Conference held in San Antonio. – Texas, 2002.
18. Lane R.H., Seright R.S. Gel Fracture Shutoff in Fractured and Faulted Horizontal Wells // Paper SPE 65527 presented at the 2000 SPE / Petroleum Society of CIM International Conference on Horizontal Well Technology held in Calgary. – Canada, 2000.
19. The effect of temperature on gelation time for polyacrylamide/chromium (III) systems / D. Jordan, D. Green, R. Terry, G. Willhite // Society of Petroleum Engineer Journal. – 1982. – Vol. 22, № 4. – P. 981–987.

20. Der Sarkissian J., Prado M., Rauseo O. Lessons Learned from Four Selective Water Shutoff Treatments in Mature Reservoirs in Maracaibo Lake // Paper SPE 96528. Offshore Europe. – Aberdeen, UK, 2005.
21. Eoff L., Dalrymple D., Everett D. Global field results of a Polymeric Gel System in Conformance Applications // Paper SPE 101822 presented at the 2006 SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition held in Moscow. – Russia, 2006.
22. Технология увеличения нефтеотдачи на основе шитых полимерных систем / Л.В. Базекина, В.Н. Хлебников, В.С. Байдалин, И.Г. Плотников // Труды научно-практической конференции VIII Международной выставки «Нефть, газ. Нефтехимия-2001». – Казань, 2002. – С. 396–401.
23. Гапонов М.А. Выполнение работ по ОВП и РИР в 2009–2010 годах и планы на 2011 год // Инженерная практика. – 2011. – № 7. – С. 18–22.
24. Корабельников А.И. Разработка и исследование технологий и технических средств по повышению эффективности ограничения водопритоков в добывающих скважинах (на примере Самотлорского месторождения): автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2005.
25. Минюк А.С., Шаймарданов А.Ф. Обзор применяемых технологий ОВП на Самотлорском месторождении // Инженерная практика. – 2011. – № 7. – С. 44–48.
26. Анализ литературных и патентных источников по технологиям селективной изоляции воды и ликвидации заколонных перетоков / М.Э. Хлебникова, В.Х. Сингизова, В.Н. Чукашев, М.М. Тазиев, Р.Н. Фахрегдинов, А.Г. Телин // Интервал. – 2003. – № 9. – С. 3–12.
27. Пресняков А.Ю., Уметбаев В.Г. Некоторые особенности селективной изоляции обводненных интервалов пласта на примере месторождений ОАО «Томскнефть» // Инженерная практика. – 2011. – № 7. – С. 62–63.
28. Валеев С.В. Опыт проведения ремонтно-изоляционных работ на месторождениях ОАО «Юганскнефтегаз» // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Современные технологии капитального ремонта скважин и повышения нефтеотдачи пластов. Перспективы развития». – Краснодар: ООО «Научно-производственная фирма «Нитпо», 2006. – С. 21–24.
29. Стрижнев В.А. Селективная изоляция водопритоков в скважинах ОАО «Самаранефтегаз» // Инженерная практика. – 2011. – № 7. – С. 31–33.
30. Водоизоляционные работы в условиях конусообразования // А.В. Распопов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 11. – С. 118–120.
31. Крушин С.В., Белодед А.В., Губайдуллин Ф.А. Селективный технологический состав для изоляции водопритоков BLOCK SYSTEM (BS-2) // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 10. – С. 297–299.
32. Хасаншин Р.Н. Опыт применения новых технологий ремонтно-изоляционных работ на месторождениях компании ОАО «Газпром Нефть». – 2012. – № 11. – С. 66–72.
33. Whitaker S. Flow in Porous Media: A Theoretical Derivation of Darcy's Law // Transport Porous Media. – 1986. – № 1. – P. 3–25.
34. Muscat M. Physical principles of oil production. – NY.: McGraw-Hill Book Co, 1949. – 142 p.
35. Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 128 с.
36. Бондаренко А.В., Кудряшова Д.А. Применение гидродинамического моделирования для оценки прогнозной эффективности полимерного заводнения на Московском месторождении // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 10. – С. 102–105.
37. Бондаренко А.В., Кудряшова Д.А., Мелехин С.В. Внедрение технологии закачки воды с контролируемой минерализацией для увеличения нефтеотдачи // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 12. – С. 22–27.
38. Бондаренко А.В., Фархутдинова П.А., Кудряшова Д.А. Методы определения эффективности опытно-промышленных работ по полимерному заводнению на Шагиртско-Гожанском месторождении // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 70–72.
39. Bondor P.L., Hirasaki G.J., Tham M.J. Mathematical Simulation of Polymer Flooding in Complex Reservoirs // SPE 3524, SPEJ. – 1972. – P. 369–382.
40. Hirasaki G.J., Pope G.A. Analysis of Factors Influencing Mobility and Adsorption in the Flow of Polymer Solution Through Porous Media // SPE 4026, SPEJ. – 1974. – P. 337–346.
41. Lake L.W. Chemical Flooding. Petroleum Engineers Handbook. – Richardson: SPE, 1992. – P. 783.
42. Миллер Р.Л. Статистический анализ в геологических науках: пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 514 с.
43. Бахрушин В.Е. Методы оценивания характеристик нелинейных статистических связей // Системные технологии. – 2011. – № 2. – С. 9–14.
44. Ершов Э.Б. Распространение коэффициента детерминации на общий случай линейной регрессии, оцениваемой с помощью различных версий метода наименьших квадратов // ЦЭМИ РАН Экономика и математические методы. – 2002. – Т. 38, № 3. – С. 107–120.
45. Ершов Э.Б. Выбор регрессии, максимизирующий несмещенную оценку коэффициента детерминации // Прикладная эконометрика. – 2008. – Т. 12, № 4. – С. 71–83.

## References

1. Bailey B., Elphick J., Kuchuk F., Roodhart L. Water Control. *Oilfield Review*, 2000, pp. 30-51.
2. Beili B. et al. Diagnostika i ogranichenie vodopritokov [Diagnostics and limitation of water inflows]. *Neftgazovoe obozrenie*, 2001, pp. 44-67.
3. Gazizov A.Sh., Gazizov A.A. Povyshenie effektivnosti razrabotki mestorozhdenii na osnove ogranicheniya dvizheniya vod v plastakh [Improving the Efficiency of Field Development Based on Restricting the Movement of Water in the Reservoirs]. Moscow: ООО Nedra-Biznescentr, 1999, 285 p.
4. Kleshchenko I.I. et al. Teoriia i praktika remontno-izoliatsionnykh rabot v neftiannykh i gazovykh skvazhinakh [Theory and practice of repair and insulation works in oil and gas wells]. Tiumen': Izdatel'sko-poligraficheskii tsentr "Ekspress", 2011, 386 p.
5. Klimov N.A., Popov S.G., Permiakov A.Iu., Lebedev K.P., Kudriashova D.A., Khaibullin R.G., Khuzin B.A., Garshina O.V. Sovremennye podkhody k razrabotke reseptur sostavov dlia ogranicheniya vodopritoka [Modern approaches to the development of formulations for water inflow limitation]. *Sbornik dokladov 15-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Sovremennye tekhnologii kapital'nogo remonta skvazhin i povysheniia nefteotdachi plavstov. Perspektivy razvitiia", 11-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Stroitel'stvo i remont skvazhin", 1-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Promyshlennaia i ekologicheskaia bezopasnost' v neftegazovom komplekse"*. Krasnodar: Nitpo, 2020, pp. 69-74.
6. Kudriashova D.A. Ispolzovanie veroiatnostno-statisticheskikh metodov dlia opredeleniia istochnikov obvodneniia skvazhin-kandidatov dlia vodoizoliatsionnykh rabot (na primere vizeiskogo ob'ekta mestorozhdeniia Permskogo kraia) [Use of probabilistic and statistical methods for determination of the sources of water flow in candidate wells for water shut-off works (on example of the Visean reservoir of the Perm region field)]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftgazovoe i gornoe delo*, 2018, no. 1, pp. 26-36. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.1.3
7. Kudriashova D.A. Sovershenstvovanie algoritma podbora skvazhin-kandidatov dlia rabot po ogranicheniiu vodopritoka s primeneniem metodov identifikatsii istochnikov obvodneniia [Improving the algorithm for selecting candidate wells for work to limit water inflow using methods for identifying water sources]. *Sbornik rabot pobeditelei XXI Konkursa na luchshiu molodezhnuiu nauchno-tekhnicheskuiu razrabotku po problemam toplivno-energeticheskogo kompleksa*. Moscow: Ministerstvo energetiki Rossiiskoi Federatsii, Obshchestvennaia organizatsiia "Natsionalnaia sistema razvitiia nauchnoi, tvorcheskoi i innovatsionnoi deiatel'nosti molodezhi Rossii "Integratsiia", 2014, pp. 249-255.
8. Strizhnev K.V. Kompleksnoe modelirovanie remontno-izoliatsionnykh rabot v skvazhinakh (na primere neftiannykh mestorozhdenii Zapadnoi Sibiri) [Integrated modeling of repair and insulation works in wells (on the example of oil fields in Western Siberia)]. Abstract of Ph. D. thesis. Saint Petersburg, 2011.
9. Permiakov A.Iu. Razrabotka i vnedrenie sobstvennykh tekhnologii ООО "LUKOIL-Inzhiniring" dlia vodoizoliatsionnykh rabot [Development and implementation of LLC LUKOIL-Engineering own technologies for water shut-off works]. *Problemy razrabotki mestorozhdenii uglevododorodnykh i rudnykh poleznykh iskopaemykh*, 2021, no. 1, pp. 371-377.
10. Kudriashova D.A. Metodika podbora skvazhin-kandidatov dlia vodoizoliatsionnykh rabot na mestorozhdeniakh PAO "LUKOIL" [Methodology for selecting candidate wells for water shut-off works at the fields of PJSC LUKOIL]. *Inzhenernaia praktika*, 2019, no. 4, pp. 42-50.
11. Kudriashova D.A. et al. Rezultaty opytno-promyshlennykh rabot po ogranicheniiu vodopritoka sostava na osnove sshitykh polimernykh sistem "SPS-LS "PermNIPneft" [Results of experimental industrial works on limiting water inflow with a composition based on cross-linked polymer systems "SPS-LS "PermNIPneft" ]. *Neftpromyslovoe delo*, 2021, no. 3, pp. 53-58. DOI: 10.33285/0207-2351-2021-3(627)-53-58
12. Vasquez J., Jurado I. et al. Organically Crosslinked Polymer System for Water Reduction Treatments in Mexico. *Paper SPE 104134 presented at the first International Oil Conference and Exhibition held in Cancun*. Mexico, 2006. DOI: 10.2118/104134-MS
13. White J.L. Use of Polymers to control water production in oil wells. *J. of Petroleum Technol.*, 1973, vol. 25, no. 2, pp. 143-150. DOI: 10.2118/3672-PA
14. Perez D., Fragachan F.E. et al. Applications of Polymer Gel for Establishing Zonal Isolations and Water Shutoff in Carbonate Formations. *Paper SPE 73196 first presented at the 1997 SPE/IADC Drilling Conference*. Amsterdam, 2001. DOI: 10.2118/73196-PA
15. Simjoo M., Mohsen V., Ahmad D. Polyacrylamide gel polymer as water shut-off: preparation and investigation of physical and chemical properties on one of the Iranian oil reservoirs conditions. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 2007, vol. 26, no. 4, pp. 99-108. DOI: 10.30492/IJCC.2007.7611
16. Susilo Y., Wibowo W. et al. Thru-Tubing Zonal Isolation and water Shut-Off Using Coiled Tubing in Java Sea: Operational Challenge & Treatment Strategy. *Paper SPE 88494 presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*. Perth. Australia, 2004. DOI: 10.2118/88494-MS
17. Marin A., Seright R. et al. Connecting Laboratory and Field Results for Gelant Treatments in Naturally Fractured Production Wells. *Paper SPE 77411 presented at the SPE Annual Technological Conference held in San Antonio*. Texas, 2002. DOI: 10.2118/88494-MS
18. Lane R.H., Seright R.S. Gel Fracture Shutoff in Fractured and Faulted Horizontal Wells. *Paper SPE 65527 presented at the 2000 SPE. Petroleum Society of CIM International Conference on Horizontal Well Technology held in Calgary*. Canada, 2000. DOI: 10.2118/65527-MS
19. Jordan D., Green D., Terry R., Willhite G. The effect of temperature on gelation time for polyacrylamide/chromium (III) systems. *Society of Petroleum Engineer Journal*, 1982, vol. 22, no. 4, pp. 981-987. DOI: 10.2118/10059-PA
20. Der Sarkissian J., Prado M., Rauseo O. Lessons Learned from Four Selective Water Shutoff Treatments in Mature Reservoirs in Maracaibo Lake. *Paper SPE 96528. Offshore Europe*, Aberdeen, UK, 2005. DOI: 10.2118/96528-MS
21. Eoff L., Dalrymple D., Everett D. Global field results of a Polymeric Gel System in Conformance Applications. *Paper SPE 101822 presented at the 2006 SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition held in Moscow*. Russia, 2006. DOI: 10.2118/101822-MS
22. Bazeкина Л.В., Хлебников В.Н., Байдалин В.С., Плотников И.Г. Tekhnologiiia uvelicheniia nefteotdachi na osnove sshitykh polimernykh sistem [Enhanced oil recovery technology based on cross-linked polymer systems]. *Tруды nauchno-prakticheskoi konferentsii VIII Mezhdunarodnoi vystavki "Neft", gaz. Neftkimiia-2001"*. Kazan, 2002, pp. 396-401.
23. Gaponov M.A. Vypolnenie rabot po OVP i RIR v 2009-2010 godakh i plany na 2011 god [Implementation of work to limit the inflow of water and repair and insulation works in 2009-2010 and plans for 2011]. *Inzhenernaia praktika*, 2011, no. 7, pp. 18-22.

24. Korabel'nikov A.I. Razrabotka i issledovanie tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv po povysheniiu effektivnosti ogranicheniia vodopritokov v dobyvaiushchikh skvazhinakh (na primere Samotlorskogo mestorozhdeniia) [Development and research of technologies and technical means to improve the efficiency of water inflow limitation in production wells (on the example of the Samotlor field)]. Abstract of Ph. D. thesis. Tiumen', 2005.
25. Miniuk A.S., Shaimardanov A.F. Obzor primeniayemykh tekhnologii OVP na Samotlorskom mestorozhdenii [Overview of applied water control technologies at the Samotlor field]. *Inzhenernaia praktika*, 2011, no. 7, pp. 44-48.
26. Khlebnikova M.E., Singizova V.Kh., Chukashev V.N., Taziev M.M., Fakhretidinov R.N., Telin A.G. Analiz literaturnykh i patentnykh istochnikov po tekhnologiiam selektivnoi izoliatsii vody i likvidatsii zakolonnnykh peretokov [Analysis of literature and patent sources on technologies for selective water isolation and elimination of behind-the-casing crossflows]. *Interval*, 2003, no. 9, pp. 3-12.
27. Presniakov A.Iu., Umetbaev V.G. Nekotorye osobennosti selektivnoi izoliatsii obvodnennykh intervalov plasta na primere mestorozhdenii OAO "Tomskneft" [Some features of selective isolation of watered reservoir intervals on the example of JSC Tomskneft fields]. *Inzhenernaia praktika*, 2011, no. 7, pp. 62-63.
28. Valeev S.V. Opyt provedeniia remontno-izoliatsionnykh rabot na mestorozhdeniakh OAO "Iuganskneftegaz" [Experience in carrying out repair and insulation works at the fields JSC Yuganskneftegaz]. *Sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Sovremennye tekhnologii kapital'nogo remonta skvazhin i povysheniia nefteotdachi plastov. Perspektivy razvitiia"*. Krasnodar: OOO "Nauchno-proizvodstvennaia firma "Nitpo", 2006, pp. 21-24.
29. Strizhnev V.A. Selektivnaia izoliatsiia vodopritokov v skvazhinakh OAO "Samaraneftegaz" [Selective isolation of water inflows in the wells of JSC Samaraneftgaz]. *Inzhenernaia praktika*, 2011, no. 7, pp. 31-33.
30. Raspopov A.V. et al. Vodoizoliatsionnye raboty v usloviakh konusoobrazovaniia [Water shutoff treatment under water coning]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2015, no. 11, pp. 118-120.
31. Krupin S.V., Beloded A.V., Gubaidullin F.A. Selektivnyi tekhnologicheskii sostav dlia izoliatsii vodopritokov BLOCK SYSTEM (BS-2) [Selective technological composition for the isolation of water inflows BLOCK SYSTEM (BS-2)]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, no. 10, pp. 297-299.
32. Khasanshin R.N. Opyt primeniia novykh tekhnologii remontno-izoliatsionnykh rabot na mestorozhdeniakh kompanii OAO "Gazprom Neft" [Experience in the application of new technologies for repair and insulation works at the fields of JSC Gazprom Neft]. *Territoria Neftegaz*, 2012, no. 11, pp. 66-72.
33. Whitaker S. Flow in Porous Media: A Theoretical Derivation of Darcy's Law. *Transport Porous Media*, 1986, no. 1, pp. 3-25. DOI: 10.1007/BF01036523
34. Muscat M. Physical principles of oil production. NY.: McGraw-Hill Book Co, 1949, 142 p.
35. Kanevskaiia R.D. Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov [Mathematical modeling of hydrodynamic processes in the development of hydrocarbon fields]. Moscow. Izhevsk: Institut komp'iuternykh issledovani, 2003, 128 p.
36. Bondarenko A.V., Kudriashova D.A. Primenenie gidrodinamicheskogo modelirovaniia dlia otsenki prognoznoi effektivnosti polimernogo zavodneniia na Mosku'd'inskom mestorozhdenii [The application of hydrodynamic modeling for predictive effectiveness assessment of polymer flooding technology on Mosku'dinskoye field]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2015, no. 10, pp. 102-105.
37. Bondarenko A.V., Kudriashova D.A., Melekhin S.V. Vnedrenie tekhnologii zakachki vody s kontroliruemoi mineralizatsiei dlia uvelicheniia nefteotdachi [Introduction of water injection technology with controlled salinity to improve oil recovery]. *Neftpromyslovoe delo*, 2016, no. 12, pp. 22-27.
38. Bondarenko A.V., Farkhutdinova P.A., Kudriashova D.A. Metody opredeleniia effektivnosti opytno-promyshlennykh rabot po polimernomu zavodneniiu na Shagirtsko-Gozhanskom mestorozhdenii [Methods for determining the effectiveness of pilot projects on polymer flooding at the Shagirtsko-Gozhanskoye field]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2016, no. 2, pp. 70-72.
39. Bondor P.L., Hirasaki G.J., Tham M.J. Mathematical Simulation of Polymer Flooding in Complex Reservoirs. *SPE 3524, SPEJ*, 1972, pp. 369-382. DOI: 10.2118/3524-PA
40. Hirasaki G.J., Pope G.A. Analysis of Factors Influencing Mobility and Adsorption in the Flow of Polymer Solution Through Porous Media. *SPE 4026, SPEJ*, 1974, pp. 337-346. DOI: 10.2118/4026-PA
41. Lake L.W. Chemical Flooding. *Petroleum Engineers Handbook*. Richardson: SPE, 1992, 783 p.
42. Miller R.L. Statisticheskii analiz v geologicheskikh naukakh [Statistical Analysis in Geological Sciences]. Moscow: Mir, 1965, 514 p.
43. Bakhrushin V.E. Metody otsenivaniia kharakteristik nelineinykh statisticheskikh svyazei [Methods for estimating the characteristics of nonlinear statistical relationships]. *Sistemnye tekhnologii*, 2011, no. 2, pp. 9-14.
44. Ershov E.B. Rasprostranenie koeffitsienta determinatsii na obshchii sluchai lineinoi regressii, otsenivaemoi s pomoshch'iu razlichnykh versii metoda naimen'shikh kvadratov [Extending the coefficient of determination to the general case of linear regression estimated using different versions of the least squares method]. *TSEMI RAN Ekonomika i matematicheskie metody*, 2002, vol. 38, no. 3, pp. 107-120.
45. Ershov E.B. Vyborei regressii, maksimiziruiushchii nesmeshchennuiu otsenku koeffitsienta determinatsii [Regression choice that maximizes the unbiased estimate of the coefficient of determination]. *Prikladnaia ekonometrika*, 2008, vol. 12, no.4., pp. 71-83.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.  
 Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
 Вклад авторов равноценен.