

Экспресс-расчет параметров трещин гидравлического разрыва пласта в гидродинамическом симуляторе ПК «РН-КИМ»

Волков М.Г.^{1,2}, Исламов Р.А.¹, Андреев Е.Ю.¹

¹ООО «РН-БашНИПнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия, ²УГНТУ, Уфа, Россия
islamovra@bnipi.rosneft.ru

Аннотация

В статье описана методика, разработанная для расчета прогнозных показателей эксплуатации горизонтальной скважины с многостадийным гидравлическим разрывом пласта с гибридными дизайнами, пробуренной в неоднородном по строению и свойствам пласте. Методика основана на восстановлении геомеханических свойств в интервале инициации трещины гидравлического разрыва пласта по данным из кубов свойств в гидродинамической модели, автоматическом расчете параметров трещины в симуляторе гидроразрыва пласта по заданному дизайну, использовании рассчитанных параметров трещины в гидродинамическом симуляторе.

Материалы и методы

Для решения задачи в работе предлагается:

- восстановление кубов геомеханических свойств по данным из кубов свойств в гидродинамической модели;
- автоматическое построение 1D геомеханической модели из кубов геомеханических свойств в каждом интервале инициации трещины гидравлического разрыва пласта;
- передача 1D геомеханической модели и дизайна закачки

в симулятор гидроразрыва пласта, автоматический расчет параметров и распределения свойств в трещине;

- передача карты проводимости в гидродинамический симулятор, гидродинамический расчет.

Ключевые слова

гидравлический разрыв пласта, гидродинамическое моделирование, геомеханическая модель, низкопроницаемый пласт

Для цитирования

Волков М.Г., Исламов Р.А., Андреев Е.Ю. Экспресс-расчет параметров трещин гидравлического разрыва пласта в гидродинамическом симуляторе ПК «РН-КИМ» // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 5. С. 47–50. DOI: 10.24412/2076-6785-2023-5-47-50

Поступила в редакцию: 01.08.2023

OIL PRODUCTION

UDC 622.276.3 | Original Paper

Express calculation of hydraulic fracture parameters in a hydrodynamic simulator “RN-KIM”

Volkov M.G.^{1,2}, Islamov R.A.¹, Andreev E.Yu.¹

¹“RN-BashNIPIneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Ufa, Russia, ²Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
islamovra@bnipi.rosneft.ru

Abstract

The article describes a methodology developed for calculating the predicted performance of horizontal wells with multi-stage hydraulic fracturing with hybrid structures drilled in a reservoir that is heterogeneous in structure and properties. Tolerance technique for restoring geomechanical properties in the interval and repairing hydraulic fracturing fractures according to data from property cubes in the hydrodynamic model, automatic calculated fracture parameters in the hydraulic fracturing simulator according to a given design, a set of calculated fracture parameters in the hydrodynamic simulator.

Materials and methods

To solve the problem, the work proposes:

- reconstruction of cubes of geomechanical properties according to data from cubes of properties in hydrodynamic model;
- automatic construction of a 1D geomechanical model from cubes of geomechanical properties in each interval of hydraulic fracturing initiation;
- transfer of 1D geomechanical model and injection design to the

hydraulic fracturing simulator, automatic calculation of parameters and distribution of properties in the fracture;

- transmission of the conductivity map to the hydrodynamic simulator, hydrodynamic calculation.

Keywords

hydraulic fracturing, hydrodynamic modeling, geomechanical model, tight reservoir

For citation

Volkov M.G., Islamov R.A., Andreev E.Yu. Express calculation of hydraulic fracture parameters in a hydrodynamic simulator “RN-KIM”. Exposition Oil Gas, 2023, issue 5, P. 47–50. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2023-5-47-50

Received: 01.08.2023

Введение

В Западной Сибири активно вводятся в эксплуатацию объекты разработки с трудноизвлекаемыми запасами (ТРИЗ) в ачимовской толще и тюменской свите [1, 2]. Коллекторы характеризуются сложным строением, большой неоднородностью распределения свойств, низкой проницаемостью (менее 10^{-15} м²). Для разработки объектов с ТРИЗ используются горизонтальные скважины с многостадийным гидравлическим разрывом пласта (МГРП). Современные направления развития технологий заканчивания горизонтальных скважин направлены на увеличение длины горизонтального участка, увеличение количества стадий гидравлического разрыва пласта (ГРП), применение инновационных гибридных дизайнов ГРП с большим объемом технологической жидкости и массой пропанта на стадию [3, 4].

Для выбора эффективной системы заканчивания и прогнозирования динамики показателей эксплуатации новой скважины выполняются расчеты в расчетных формах с использованием средних темпов падения и характеристик вытеснения или в гидродинамическом симуляторе. Параметры трещин ГРП (геометрия и проницаемость) берутся из отчетов по выполненным операциям. Параметры трещины (полудлина x_f , высота h_f , ширина w_f и проницаемость k_f) предполагаются постоянными, трещина располагается симметрично относительно интервала перфорации (порта ГРП). Такой подход к моделированию применим для трещины ГРП с ограниченной массой

пропанта (полудлина x_f меньше размера песчаных тел) в выдержанном по площади и разрезу пласте. В случае неоднородного по строению пласта, бурения длинного горизонтального ствола и применения большеобъемных обработок (объем рабочей жидкости больше 1 000 м³, масса пропанта больше 200 т) такой подход приводит к значительным отклонениям расчетной продуктивности скважины от фактической. Основная причина — это отличие геомеханической модели в интервале инициации трещины ГРП от эталонной геомеханической модели, которая строится в опорной скважине и используется для всех портов. Интервал инициации трещины ГРП также может значительно отличаться от принятого интервала в эталонной модели.

Целью работы является создание методики экспресс-расчета геомеханической модели для каждой стадии ГРП по данным из кубов свойств в гидродинамической модели, расчета параметров трещины ГРП в симуляторе гидроразрыва пласта «РН-ГРИД» [5] по заданному дизайну, расчет прогнозных показателей эксплуатации скважины с параметрами трещин ГРП в гидродинамическом симуляторе ПК «РН-КИМ» [6].

Построение 1D геомеханической модели в гидродинамическом симуляторе

Для решения задачи построения 1D геомеханической модели (включает минимальное горизонтальное напряжение, модуль Юнга и коэффициент Пуассона) и расчета параметров трещины ГРП на первом этапе в опорной

скважине [7, 8] по результатам специального комплекса ГИС (широкополосный акустический каротаж, плотностной каротаж) и геомеханическим исследованиям ядра рассчитываются статические модуль Юнга, коэффициент Пуассона, горизонтальные и вертикальные напряжения. По результатам выполненного ГРП производится настройка модели на фактические данные динамики давления, производится корректировка модели на смыкающее напряжение. На втором этапе в опорной скважине из гидродинамической модели выгружаются одномерные массивы (по вертикальной координате) из кубов свойств (пористость, проницаемость, литология, связанная водонасыщенность). Методом регрессии находится зависимость, наилучшим образом описывающая 1D геомеханическую модель (по максимальной достоверности аппроксимации). В случае отсутствия опорной скважины используются данные по литологии: в ячейках со значениями песчаности больше нуля рассчитываются геомеханические свойства для коллектора, при значениях, равных нулю — геомеханические свойства для неколектора.

Для проверки работоспособности предложенного решения выбрана наклонно-направленная скважина, пробуренная в интервале ачимовской толщи. В скважине проведен расширенный комплекс ГИС, выполнены геомеханические исследования ядра, что позволило построить 1D геомеханическую модель. По результатам ГРП в скважине была выполнена адаптация модели на фактические данные. В секторной гидродинамической модели построены одномерные массивы свойств пористости, проницаемости, литологии, связанной водонасыщенности по ячейкам, которые пересекла траектория скважины. Эти массивы использованы для построения 1D геомеханической модели. Параметры для восстановления зависимости геомеханической модели от свойств гидродинамической модели подбирались методом регрессии. На рисунке 1 представлено сравнение минимального горизонтального напряжения, рассчитанного по данным ГИС и данным из кубов свойств в гидродинамической модели. На рисунке 2 показаны карты ширины трещин, в таблице 1 представлено сравнение средних параметров трещин ГРП, рассчитанных для двух геомеханических моделей. На рисунке 3 приведено сравнение динамики дебитов скважины для трещины ГРП. Получена хорошая сходимость результатов, накопленная добыча жидкости за 12 месяцев отличается на 3%. Решение может быть использовано для прогнозирования параметров трещин ГРП.

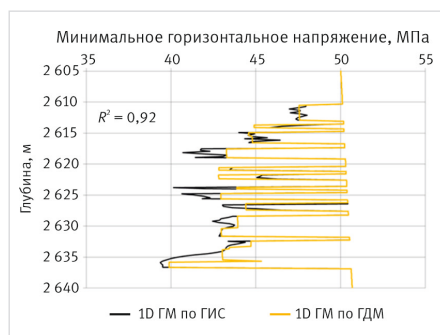


Рис. 1. Сравнение минимального горизонтального напряжения, рассчитанного по данным ГИС и данным из гидродинамической модели
Fig. 1. Comparison of the minimum horizontal stress calculated from well log data and data from the hydrodynamic model

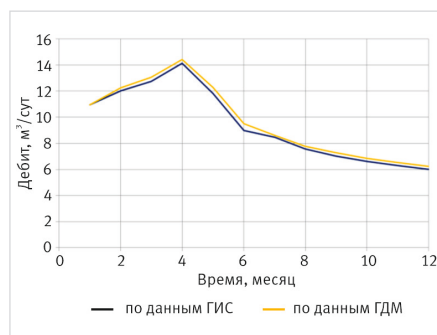


Рис. 3. Сравнение динамики дебита для скважины с трещиной ГРП
Fig. 3. Comparison of flow rate dynamics for a well with hydraulic fractur

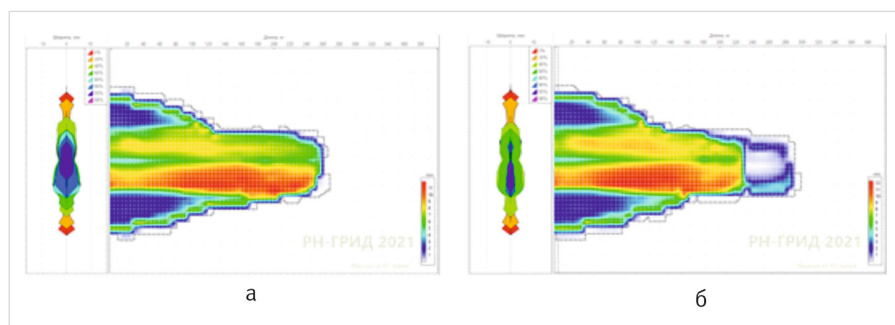


Рис. 2. Сравнение результатов расчетов для геомеханических моделей: а — построенной по данным ГИС; б — построенной по данным из гидродинамической модели
Fig. 2. Comparison of calculation results for geomechanical models: а — built according to well logging data; б — built according to data from the hydrodynamic model

Табл. 1. Параметры трещин ГРП, выбранных для испытания
Tab. 1. Parameters of hydraulic fractures selected for testing

Параметр	1D ГМ по ГИС	1D ГМ по ГДМ
x_f , м	269	300
h_f , м	38	36
w_f , мм	6,0	5,8
Безразмерная проводимость трещины (Fcd)	10,6	8,9

Методика экспресс-расчета параметров трещин в ГС с МГРП

Разработана методика автоматического расчета параметров трещины для каждой стадии ГРП в гидродинамическом симуляторе ПК «РН-КИМ», которая включает:

- построение в опорной скважине эталонной 1D геомеханической модели по данным специального комплекса ГИС, геомеханических исследований керна, результатов ГРП;
- восстановление в опорной скважине зависимостей для расчета геомеханических свойств по данным кубов проницаемости, пористости и литологии из гидродинамической модели;
- построение пользовательских кубов геомеханических свойств (минимальное горизонтальное напряжение, модуль Юнга и коэффициент Пуассона) по восстановленным зависимостям в гидродинамическом симуляторе;
- для выбранной скважины автоматическое построение 1D геомеханической модели из пользовательских кубов в каждом интервале инициации трещины ГРП;
- передача 1D геомеханической модели и дизайна закачки в симулятор гидроразрыва пласта «РН-ГРИД»;
- расчет параметров и распределения свойств в трещине ГРП;
- передача карты проводимости в гидродинамический симулятор ПК «РН-КИМ», привязка к интервалу перфорации, инициализация, гидродинамический расчет [8].

Для апробации разработанной методики выбрана горизонтальная скважина, траектория которой пересекает пласт от кровли до подошвы. По предложенной методике рассчитаны параметры и распределение свойств для трещин ГРП, интервалы инициации которых расположены в начале и конце горизонтального ствола. На рисунке 4 показано распределение ширины трещин ГРП, в таблице 2 показаны средние параметры. Трещины отличаются по средним параметрам и распределению свойств.

Выполнены гидродинамические расчеты для определения продуктивности каждой трещины ГРП. Проведено сравнение с вариантом моделирования унифицированной трещины ГРП в каждом порте. В этом варианте указывается точка привязки унифицированной трещины к стволу скважины, относительно которой задаются полудлина и высота. Обычно в качестве такой точки выбирается геометрический центр трещины. Интервал проводки горизонтальной скважины при

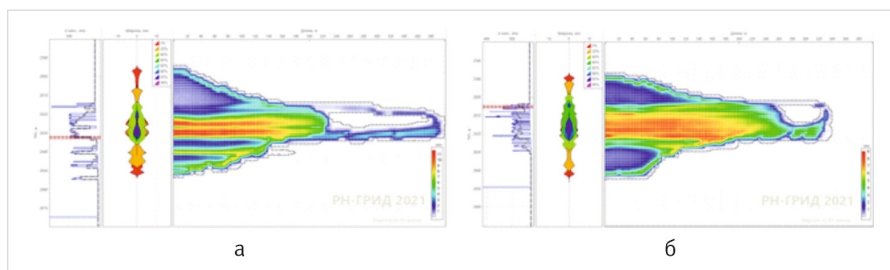


Рис. 4. Сравнение результатов расчетов для трещин ГРП, инициированных в разных портах ГРП: а — порт 1; б — порт 16

Fig. 4. Comparison of calculation results for hydraulic fractures initiated in different hydraulic fracturing ports: а — port 1; б — port 16

этом не учитывается. В итоге для порта, расположенного вблизи кровли пласта, часть трещины оказывается выше коллектора и не вносит вклад в продуктивность скважины. Аналогично для порта вблизи подошвы пласта. На рисунке 5 представлены результаты гидродинамических расчетов для унифицированной трещины ГРП и трещины, рассчитанной по разработанной методике. Для порта, расположенного в середине продуктивного интервала (порт 1), среднее отличие в дебитах по абсолютному значению составляет 15 %, накопленная добыча отличается на 1 %. Для порта, расположенного в кровле продуктивного интервала (порт 16), среднее отличие в дебитах по абсолютному значению составляет 58 %, накопленная добыча отличается в 2,3 раза. По результатам расчетов в симуляторе гидроразрыва трещины ГРП в портах 1 и 16 отличаются полудлиной на 60 м и безразмерной проводимостью в 1,4 раза (табл. 2). В результате различие по накопленной добыче из каждой трещины составило 17 %. Таким образом, применение при прогнозировании показателей эксплуатации горизонтальной скважины унифицированной трещины и трещин, рассчитанных по разработанной методике, может привести к разным решениям при выборе системы заканчивания скважины, различным выводам при анализе темпов падения дебита и выработке запасов.

Разработанная методика может быть рекомендована для прогнозирования показателей эксплуатации горизонтальных скважин с МГРП по следующим причинам:

- учитывается неоднородность строения продуктивного пласта вдоль горизонтального участка скважины;
- индивидуально рассчитывается геомеханическая модель для каждого порта ГРП;
- при расчете параметров и свойств

трещины ГРП учитывается расположение порта относительно кровли и подошвы пласта.

Итоги

Решена задача восстановления 1D геомеханической модели по кубам свойств в гидродинамическом симуляторе. Получена хорошая сходимость параметров трещины ГРП, рассчитанной для двух геомеханических моделей: построенной по ГИС и результатам исследования керна, восстановленной по кубам свойств гидродинамической модели. В гидродинамическом симуляторе ПК «РН-КИМ» разработана методика автоматического расчета свойств трещины в симуляторе гидроразрыва пласта «РН-ГРИД» для каждой стадии ГРП. Методика учитывает неоднородное распределение геомеханических свойств в объеме пласта, интервал инициации трещины ГРП, дизайн закачки. Сравнение результатов расчетов позволяет сделать вывод о практической применимости предложенной методики расчета параметров трещины ГРП для прогноза динамики показателей эксплуатации новой скважины. Данная методика может быть применима для уточнения системы заканчивания горизонтальной скважины с МГРП перед спуском компоновки хвостовика и выполнения операций гидравлического разрыва.

Выводы

Разработана методика экспресс-расчета параметров трещины ГРП, инициируемой в произвольном интервале скважины. Методика позволяет учесть неоднородное распределение геомеханических свойств в моделируемом объекте разработки, что может улучшить прогностическую способность гидродинамической модели. Методика реализована в гидродинамическом симуляторе ПК «РН-КИМ».

Табл. 2. Параметры трещин ГРП, инициированных в разных портах
Tab. 2. Parameters of hydraulic fractures initiated in different ports

Параметр	Порт 1	Порт 16
x_f , м	402	340
h_f , м	27	33
w_f , мм	4,0	3,9
Безразмерная проводимость трещины (F_{cd})	2,4	3,4

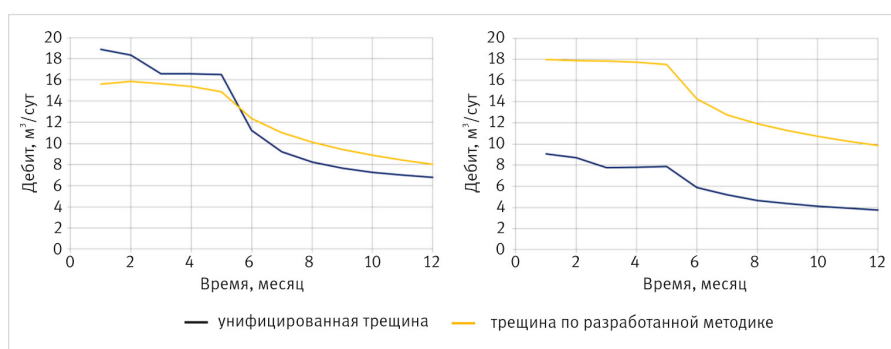


Рис. 5. Сравнение результатов для трещин ГРП, рассчитанных по разным методикам: а — порт 1, б — порт 16

Fig. 5. Comparison of results for hydraulic fractures calculated for different methods: а — port 1; б — port 16

Литература

1. Рязанцев М.В., Мироненко А.А., Кузин И.Г. и др. Приобское месторождение — 40 лет на благо родины! // Нефтяное хозяйство. 2022. № 6. С. 20–25.
2. Капишев Д.Ю., Рахимов М.Р., Мироненко А.А. и др. Выбор оптимальной системы разработки сверхнизкопроницаемых коллекторов на примере Эргинского лицензионного участка Приобского месторождения // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 7. С. 62–65.
3. Садыков А.М., Ерастов С.А., Федоров А.Э. и др. Опыт и перспективы применения низковязких жидкостей при гидроразрыве пласта в зонах с пониженными фильтрационно-емкостными свойствами и близким водонефтяным контактом // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 7. С. 72–77.
4. Садыков А.М., Капишев Д.Ю., Ерастов С.А. и др. Инновационные дизайны ГРП и рекомендации по выводу скважин на режим в условиях сверхнизкопроницаемых коллекторов на примере Эргинского ЛУ Приобского месторождения // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 7. С. 80–85.
5. Ахтямов А.А., Макеев Г.А., Байдюков К.Н. и др. Корпоративный симулятор гидроразрыва пласта «РН-GRID»: от программной реализации к промышленному внедрению // Нефтяное хозяйство. 2018. № 5. С. 94–97.
6. Бадыхов И.Х., Байков В.А., Борщук О.С. Программный комплекс «РН-КИМ» как инструмент гидродинамического моделирования залежей углеводородов // Недропользование XXI век. 2015. № 4. С. 96–103.
7. Латыпов И.Д., Надеждин О.В., Шагимарданова Л.Р. и др. Моделирование упругих характеристик для оптимизации заканчивания горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 6. С. 40–44.
8. Андреев Е.Ю., Волков М.Г., Исламов Р.А. и др. Моделирование показателей эксплуатации скважин со сложной геометрией трещин гидравлического разрыва пласта // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 2. С. 51–54.

ENGLISH

Results

The problem of restoring a 1D geomechanical model from property cubes in a hydrodynamic simulator has been solved. A good convergence of the hydraulic fracture parameters calculated for two geomechanical models was obtained: built according to well logging and core study results, reconstructed from the cubes of the properties of the hydrodynamic model. In the hydrodynamic simulator “RN-KIM”, a method was developed for automatically calculating the properties of a fracture in the hydraulic fracturing simulator “RN-GRID” for each stage of hydraulic fracturing. The technique takes into account the heterogeneous distribution of geomechanical properties in the reservoir volume, the interval of hydraulic fracture initiation, and the injection design. Comparison of the calculation results allows us to conclude that the proposed method for

calculating the parameters of a hydraulic fracture is practically applicable to predict the dynamics of the performance of a new well. This technique can be used to refine the completion system of a horizontal well with multistage hydraulic fracturing before running the liner assembly and performing hydraulic fracturing operations.

Conclusion

A technique has been developed for express calculation of the parameters of a hydraulic fracture initiated in an arbitrary well interval. The technique makes it possible to take into account the heterogeneous distribution of geomechanical properties in the simulated development object, which can improve the predictive ability of the hydrodynamic model. The technique is implemented in a hydrodynamic simulator “RN-KIM”.

References

1. Ryazantsev M.V., Mironenko A.A., Kuzin I.G. et al. Priobskoe oil field – 40 years for the motherland well! Oil industry, 2022, issue 6, P. 20–25. (In Russ).
2. Kapishhev D.Yu., Rakhimov M.R., Mironenko A.A. et al. The choice of the optimal system for the development of ultra-low-permeable reservoirs on the example of the Erginsky license area on the Priobskoye field. Exposition Oil Gas, 2022, issue 7, P. 62–65. (In Russ).
3. Sadykov A.M., Erastov S.A., Fedorov A.E. et al. Experience and prospects for the use of low-viscosity fluids during hydraulic fracturing in zones with poor reservoir quality and vicinity of water-oil contact. Exposition Oil Gas, 2022, issue 7, P. 72–77. (In Russ).
4. Sadykov A.M., Kapishhev D.Yu., Erastov S.A. et al. Innovative hydraulic fracturing designs and recommendations for putting wells into production in conditions of ultra-low-permeability reservoirs on the example of the Erginsky license block of the Priobskoye field. Exposition Oil Gas, 2022, issue 7, P. 80–85. (In Russ).
5. Akhtyamov A.V., Makeev G.A., Baydyukov K.N. et al. Corporate fracturing simulator RN-GRID: from software development to in field implementation. Oil industry, 2018, issue 5, P. 94–97. (In Russ).
6. Badykov I.Kh., Baykov V.A., Borschuk O.S. The software package “RN-KIM” as a tool for hydrodynamic modeling of hydrocarbon deposits. Nedropolzovanie XXI vek, 2015, issue 4, P. 96–103. (In Russ).
7. Latypov I.D., Nadezhdin O.V., Shagimardanova L.R. et al. Modeling synthetic elastic characteristics to optimize horizontal wells completion with multistage hydraulic fracturing. Exposition Oil Gas, 2022, issue 6, P. 40–44. (In Russ).
8. Andreev E.Yu., Volkov M.G., Islamov R.A. et al. Performance of fractured wells with complex geometry hydraulic fractures modeling. Exposition Oil Gas, 2023, issue 2, P. 51–54. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Волков Максим Григорьевич, д.т.н., заместитель генерального директора по технологическому развитию и инновациям, ООО «РН-БашНИПНефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия; доцент кафедры «Цифровые технологии в разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Исламов Ринат Асхатович, старший эксперт, ООО «РН-БашНИПНефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия
Для контактов: islamovra@bnipi.rosneft.ru

Андреев Егор Юрьевич, главный специалист, ООО «РН-БашНИПНефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

Volkov Maxim Grigorievich, ph.d of engineering sciences, deputy general director, “RN-BashNIPneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Ufa, Russia; associate professor of the department, Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia

Islamov Rinat Askhatovich, senior expert, “RN-BashNIPneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Ufa, Russia
Corresponding author: islamovra@bnipi.rosneft.ru

Andreev Egor Yurievich, chief specialist, “RN-BashNIPneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Ufa, Russia