

DOI 10.25689/NP.2018.2.88-99

УДК 622.276.66

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДИК КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ДИЗАЙНОВ ГРП

¹Павлюков Н.А., ¹Павлов В.А., ¹Меликов Р.Ф., ¹Пташный А.В.,
¹Поляков Д.А., ²Самойлов М.И., ²Прохоров А.В., ³Королев А.Ю.,
³Шакиров Р.Р.

¹ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

²ООО «РН-Центр экспертной поддержки и технического развития»

³ООО «Кынско-Часельское нефтегаз»

SELECTING OPTIMAL PROCEDURE OF CLUSTERING DATA FROM GEOMECHANICAL MODELING FOR HYDRAULIC FRACTURING DESIGN

¹Pavlyukov N.A., ¹Pavlov V.A., ¹Melikov R.F., ¹Ptashnyi A.V.,
¹Polyakov D.A., ²Samoilov M.I., ²Prokhorov A.V., ³Korolev A.Yu.,
³Shakirov R.R.

¹ООО Tyumenskiyi neftyanoi nauchnyi tsentr (Tyumen petroleum research center)

²ООО RN-Tsentr ekspertnoi podderzhki GRP i technicheskogo razvitiya (RN-
Center of expert support and technical development)

³ООО Kynsko-Chaselskoye neftegaz

E-mail: napavlyukov@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. Гидравлический разрыв пласта (ГРП) в настоящее время является одним из наиболее активно используемых способов интенсификации добычи нефти на месторождениях по всему миру [1].

Учет изменения упруго-прочностных свойств и напряжений вдоль ствола скважины путем их расчета из данных ГИС по корреляционным зависимостям на основе исследований керна [2, 3] позволяет существенно улучшить качество прогнозных параметров геометрии трещины ГРП.

В представленной работе рассмотрена задача по интегрированию созданных геомеханических моделей в дизайн гидроразрыва пласта [4]. Предложено несколько вариантов адаптации результатов геомеханического моделирования для целей оптимизации ГРП. На основании инженерных расчетов проведены пилотные работы по гидроразрыву пласта на трех скважинах. Промысловые геофизические исследования, такие как повторный широкополосный акустический каротаж (АКШ), шумометрия, импульсный нейтрон-нейтронный каротаж (ИННК) с закачкой трассерной жидкости, подтвердили соответствие модельных параметров и фактически созданной геометрии трещины ГРП.

Ключевые слова: геомеханическое моделирование, дизайн гидроразрыва пласта, кластеризация, АКШ, ИННК, ГРП

Abstract. Hydraulic fracturing is one of the most common methods to enhance oil recovery all over the world.

Taking into account changes of stress-strain properties and stresses along the wellbore calculated using well log data from correlations based on core analyses significantly improves quality of estimated parameters of hydraulic fracture geometry.

This paper reviews the problem of geomechanical models incorporation into fracturing design. Several options of geomechanical modeling data adaptation have been offered to optimize fracture design. Based on engineering analyses, pilot projects have been implemented in three wells. Downhole logging, including full-wave acoustic logging, noise logging, and pulsed neutron

logging with tracer injection confirmed matching between model parameters and actual hydraulic fracture geometry.

Key words: *geomechanical modeling, fracture design, clustering, full-wave acoustic logging, pulsed neutron logging, hydraulic fracturing*

Введение

Геомеханическое моделирование является стандартным процессом в решении задач бурения скважин со сложным профилем, а также используется для оптимизации дизайнов гидравлического разрыва пласта [5].

Процесс построения геомеханической одномерной модели является отлаженным процессом для большинства компаний (Рис. 1). При этом для качественного построения модели необходим минимальный набор данных, состоящий из плотности, скоростей пробега продольной и поперечной акустической волны, записанных вдоль ствола скважины. Дискретность получаемых данных при этом соответствует шагу записываемых геофизических исследований скважин (ГИС) и составляет 0,1-0,2 метра.

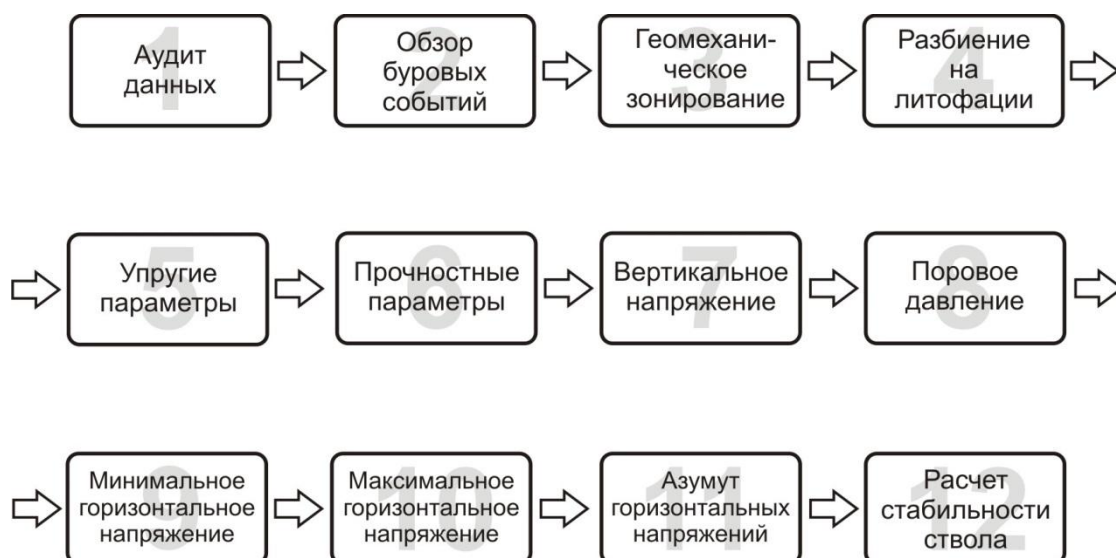


Рис. 1. Процесс построения геомеханической модели

Использование геомеханической модели для дизайна гидроразрыва пласта подразумевает создание непрерывных кривых упругих свойств

(модуля Юнга и коэффициента Пуассона), порового давления и минимального горизонтального напряжения. Первым шагом процесса построения геомеханической модели является определение механических фаций, расчет динамических и статических упругих свойств. Следует отметить, что на всех этапах расчетов сохраняется шаг дискретизации по ГИС 0,1 метра. На каждом из этапов создания геомеханической модели существует определенный перечень данных, используемых для калибровки геомеханической модели, что повышает ее достоверность и качество прогнозирования.

Основной проблемой при адаптации данных геомеханического моделирования во входные параметры для дизайна ГРП является масштабность моделей. Как отмечено выше, стандартный шаг при построении геомеханической модели составляет 0,1 метра, что совпадает с шагом дискретизации кривых ГИС. Однако построение дизайнов ГРП с такой детализацией неизбежно увеличит время расчета модели трещины и неопределенность при калибровке дизайна по данным мини-ГРП. Длительная калибровка первоначального дизайна может оказать влияние на оперативность принятия решений при производстве основного ГРП, что является критичным фактором при возрастающих объемах производства – более 500 операций в месяц, например в «РН-Юганскнефтегаз».

Стандартная модель дизайна ГРП содержит до 50 слоев. Петрофизическая модель позволяет провести осреднение характеристик пород с точки зрения ФЕС. Однако те же самые породы при одинаковых значениях пористости и проницаемости могут различаться по упруго-прочностным свойствам или напряженному состоянию. Поэтому задача по созданию оптимального алгоритма подготовки данных петрофизического и геомеханического моделирования для моделирования ГРП и калибровки дизайна является актуальной.

Основной идеей подготовки данных для дизайна ГРП является кластеризация непрерывных профилей по результатам расчетов петрофизического и геомеханического моделирования. Под кластеризацией понимается формирование выборок с единообразными геомеханическими свойствами по определенному числу механических фаций. Выстраивание единого подхода к кластеризации данных позволит создать законченную схему взаимодействия между инженером по геомеханике и инженером ГРП, и, в конечном итоге, повысить качество предоставляемых результатов.

В данной работе рассмотрены различные подходы для подготовки и кластеризации данных для расчета дизайна гидроразрыва пласта на Харампурском месторождении. Кластеризация геомеханических параметров производилась тремя различными способами с последующей загрузкой в симулятор ГРП и проведением расчетов, настроек и калибровок модели. В результате был выбран наиболее оптимальный вариант, которому соответствует специализированный метод осреднения геомеханических параметров. Это позволило при меньших временных затратах на проведение расчетов и калибровку дизайна ГРП сохранить петрофизические особенности пород.

Подход № 1 заключается в пропорциональной разбивке разреза на слои с шагом 0,4 м и последующим осреднением упругих свойств, профилей порового давления и напряжения в каждом слое. При реализации данного подхода модель имеет высокий уровень детализации, что может говорить о повышенной точности расчетов геометрии трещины ГРП. Общее количество слоев модели составляет 250, что на практике приводит к увеличению времени при моделировании геометрии трещины ГРП и при калибровке исходной модели по результатам проведения мини-ГРП (Рис. 2).

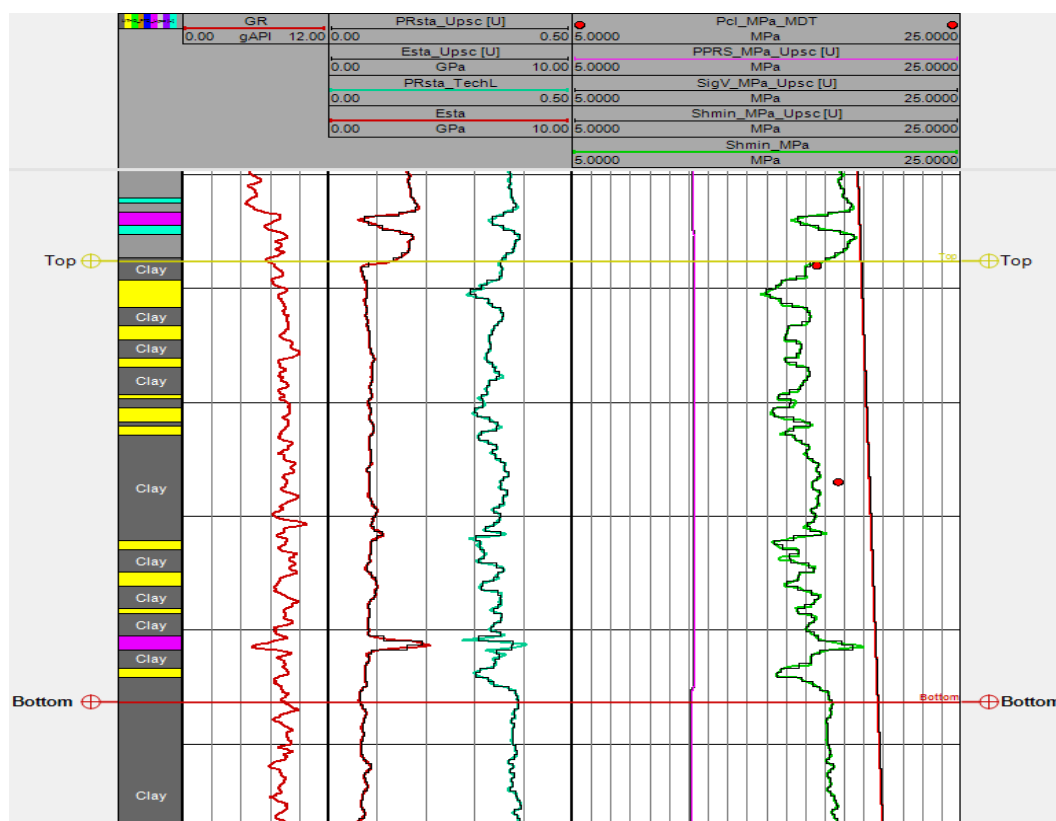


Рис. 2. Подход №1: осреднение с шагом 0.4 м. Черным цветом обозначены кластеризованные кривые, цветные линии – исходные профили

Подход № 2 заключается в осреднении геомеханических параметров по выделенным типам пород. Для этого в специализированном ПО создаются зоны на основе определенных литотипов (не всегда совпадают с механическими фациями), после чего для каждой зоны происходит кластеризация геомеханических параметров (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, поровое давление, минимальное горизонтальное напряжение) и ФЕС. После осреднения свойств по литотипам в модели остается 37 слоев. Данный подход имеет один серьезный недостаток: при осреднении по литотипам могут быть утеряны геомеханические особенности разреза, что будет приводить к ошибкам в прогнозе геометрии трещины (Рис. 3). Положительными моментами являются быстрое время расчетов дизайна ГРП и упрощенная калибровка модели.

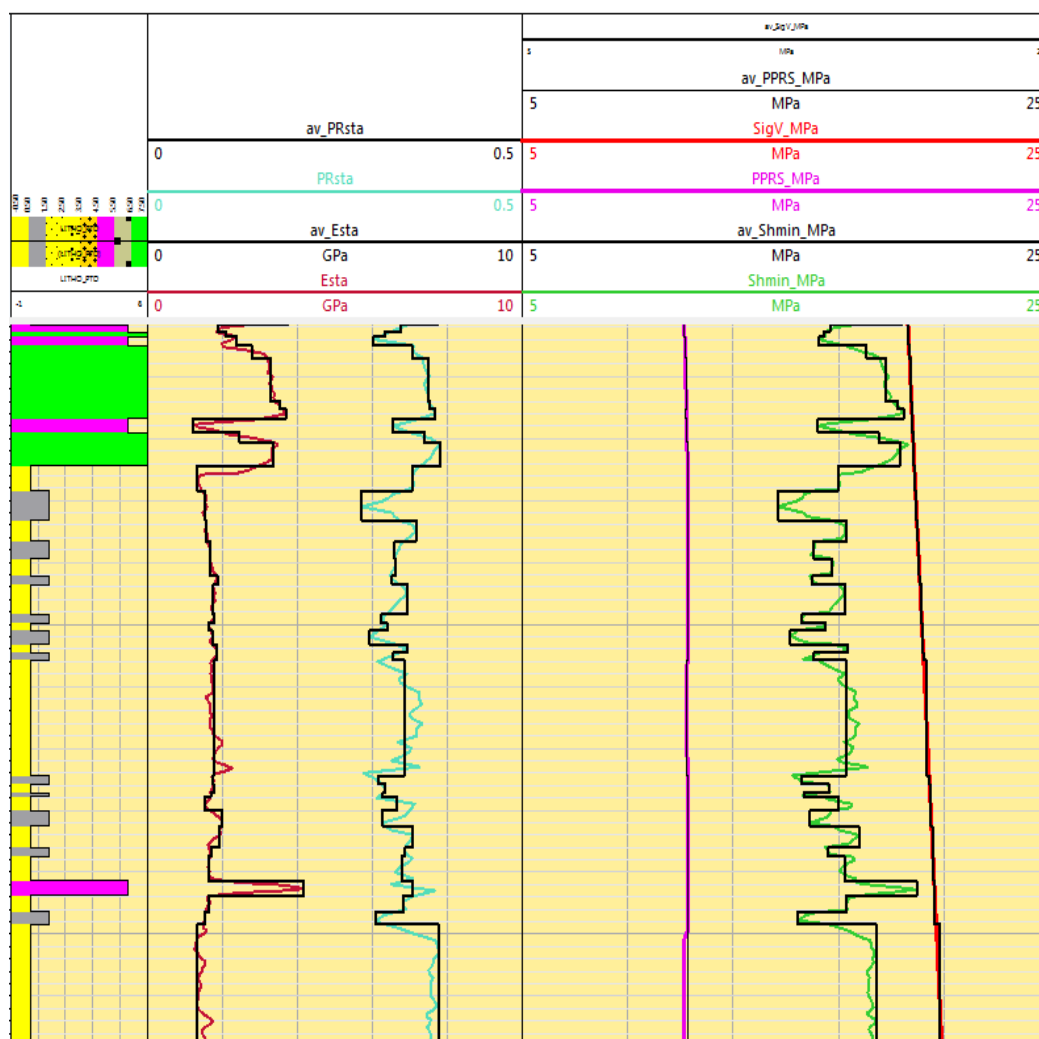


Рис. 3. Подход №2: осреднение по литотипам

Подход № 3 заключается в использовании технологии нейронных сетей для кластеризации данных. Данный подход основан на алгоритме Кохонена и заключается в формировании групп по принципу схожего значения для входных параметров. Стоит отметить, что на рассматриваемой скважине достаточно было выделить 5 групп с осредненными значениями геомеханических свойств без потери петрофизических особенностей разреза (Рис. 4), общее число слоев модели составило 57. После получения калибровочной информации по результатам мини-ГРП производится калибровка профиля минимального горизонтального напряжения. Таким образом, происходит уточнение геомеханической модели для проведения последующих операций ГРП.

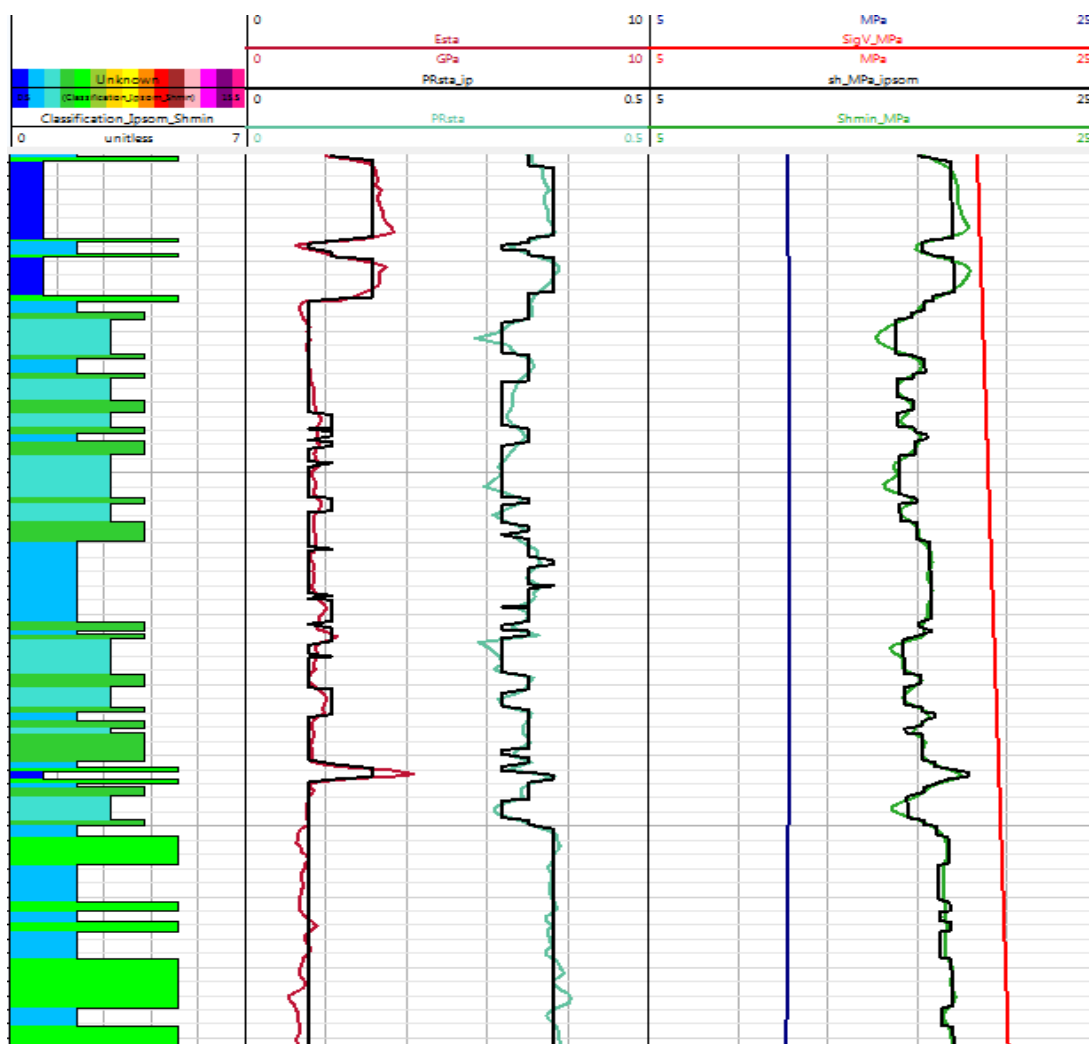


Рис. 4. Подход № 3: осреднение с использованием нейронных сетей

Кластеризованные данные геомеханической модели для каждого из подходов были заложены в симулятор ГРП после чего было выполнено моделирование геометрии трещины с одинаковыми параметрами: графиком закачки, свойствами проппанта и жидкости. В результате для каждого из подходов были получены параметры трещины, которые приведены в табл. 1. Результаты подхода № 3 характеризуются наибольшей сходимостью с промысловыми геофизическими исследованиями.

Для оценки фактической закрепленной высоты трещины в околоскважинной зоне на рассматриваемом месторождении были выполнены специализированные исследования ГИС (АКШ и ИННК) (Рис. 5).

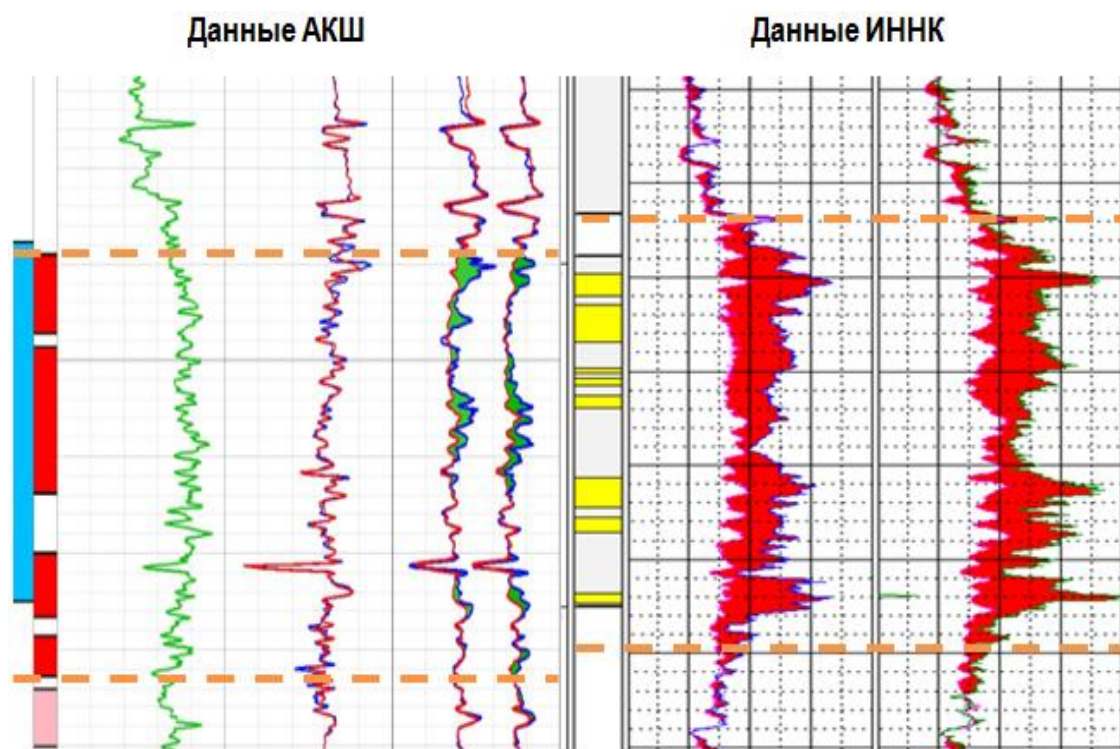


Рис. 5. Оценка геометрии трещины по данным АКШ и ИННК

Таблица 1

Результаты сравнения высоты трещины по данным АКШ и ИННК и результатам моделирования для представленных подходов кластеризации данных

Модель	Кол-во слоев	Высота, м
Подход 1	250	42,9
Подход 2	37	32,7
Подход 3	57	44,6
После АКШ	-	44,0
После ИННК	-	46,8

Выводы

В работе рассмотрены несколько подходов для интеграции параметров геомеханической модели в дизайн гидроразрыва пласта. Наиболее оптимальным из предложенных подходов является вариант кластеризации данных с использованием нейронных сетей.

Выбор данного подхода объясняется оптимальным соотношением детальности модели и времени, затраченного на моделирование дизайна ГРП и калибровку. Кроме того, полученный прогноз геометрии трещины ГРП хорошо согласуется с результатами замеров высоты трещины специализированными методами ГИС (АКШ и ИННК).

Список литературы

1. Экономидес М., Олайни Р., Валько П. Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта. М.: Институт компьютерных исследований, 2007г.
2. Надеев А. и др. Усовершенствованное моделирование гидроразрыва пласта на основе геомеханических корреляционных функций для оптимизации разработки пробского нефтяного месторождения // SPE-160694. - 2012.
3. Nikitin A. et al. Hydraulic fracturing geometry investigation for successful optimization of fracture modeling and overall development of Jurassic formation in western Siberia // SPE-121888. - 2009.
4. Елисеев П.И. и др. Сравнительный анализ методик геомеханического моделирования гидравлического разрыва пласта // Экспозиция нефть и газ - №5. – 2016г.
5. Павлов В.А. и др. Развитие геомеханического моделирования в России // Технологии нефти и газа - №6. – 2017г.

Сведения об авторах

Павлюков Николай Алексеевич, менеджер, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, Российская Федерация
E-mail: napavlyukov@tnnc.rosneft.ru

Павлов Валерий Анатольевич, кандидат технических наук, эксперт, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, Российская Федерация
E-mail: vapavlov4@tnnc.rosneft.ru

Меликов Руслан Фуадович, главный менеджер, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, Российская Федерация
E-mail: rfmelikov@tnnc.rosneft.ru

Пташный Александр Вадимович, главный специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, Российская Федерация
E-mail: avptashnyi@tnnc.rosneft.ru

Поляков Дмитрий Александрович, главный специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, Российская Федерация
E-mail: dapolyakov4@tnnc.rosneft.ru

Самойлов Михаил Иванович, начальник отдела инженерной поддержки ГРП, ООО «РН-Центр экспертной поддержки и технического развития», г. Тюмень, Российская Федерация
E-mail: MISamoilov@ceptr.rosneft.ru

Прохоров Алексей Владимирович, старший менеджер, ООО «РН-Центр экспертной поддержки и технического развития», г. Тюмень, Российская Федерация
E-mail: avprokhorov2@ceptr.rosneft.ru

Королев Александр Юрьевич, главный геолог, ООО «Кынско-Часельское нефтегаз», г. Губкинский, Ямало-Ненецкий а.о., Российская Федерация
E-mail: KorolevAYu@kchn.ru

Шакиров Равиль Рамильевич, начальник отдела лицензирования и недропользования, ООО «Кынско-Часельское нефтегаз», г. Губкинский, Ямало-Ненецкий а.о., Российская Федерация
E-mail: ShakirovRR@kchn.ru

Authors

Pavlyukov N.A., Manager, ООО Tyumenskiyi neftyanoi nauchnyi tsentr (Tyumen Petroleum Research Center), Tyumen, Russia
Email: napavlyukov@tnnc.rosneft.ru

Pavlov V.A., PhD, Expert, ООО Tyumenskiyi neftyanoi nauchnyi tsentr (Tyumen Petroleum Research Center), Tyumen, Russia
Email: vapavlov4@tnnc.rosneft.ru

Melikov R.F., Chief Manager, ООО Tyumenskiyi neftyanoi nauchnyi tsentr (Tyumen Petroleum Research Center), Tyumen, Russia
Email: rfmelikov@tnnc.rosneft.ru

Ptashnyi A.V., Chief Specialist, ООО Tyumenskiy neftyanoy nauchny tsentr (Tyumen Petroleum Research Center), Tyumen, Russia
Email: avptashnyi@tnnc.rosneft.ru

Polyakov D.A., Chief Specialist, ООО Tyumenskiy neftyanoy nauchny tsentr (Tyumen Petroleum Research Center), Tyumen, Russia
Email: dapolyakov4@tnnc.rosneft.ru

Samoilov M.I., Head of Hydraulic Fracturing Engineering Department, ООО RN-Tsentr ekspertnoi podderzhki GRP i technicheskogo razvitiya (RN-Center of expert support and technical development), Tyumen, Russia
Email: MISamoilov@ceptr.rosneft.ru

Prokhorov A.V., Senior manager, ООО RN-Tsentr ekspertnoi podderzhki GRP i technicheskogo razvitiya (RN-Center of expert support and technical development), Tyumen, Russia
Email: avprokhorov2@ceptr.rosneft.ru

Korolev A.Yu., Chief Geologist, ООО Kynsko-Chaselskoye neftegaz, Gubkinsky, the Yamalo-Nenets Autonomous District, Russia
Email: KorolevAYu@kchn.ru

Shakirov R.R., Head of Licensing and Subsurface Management Department, ООО Kynsko-Chaselskoye neftegaz, Gubkinsky, the Yamalo-Nenets Autonomous District, Russia
Email: ShakirovRR@kchn.ru

Павлюков Николай Алексеевич
625001, Российская Федерация,
г. Тюмень, ул. Пролетарская 109а-53
тел.: +79232489187
E-mail: napavlyukov@tnnc.rosneft.ru