



нефть. газ.

3/2022

НОВАЦИИ

ISSN 2077-5423

научно-технический журнал • входит в перечень ВАК

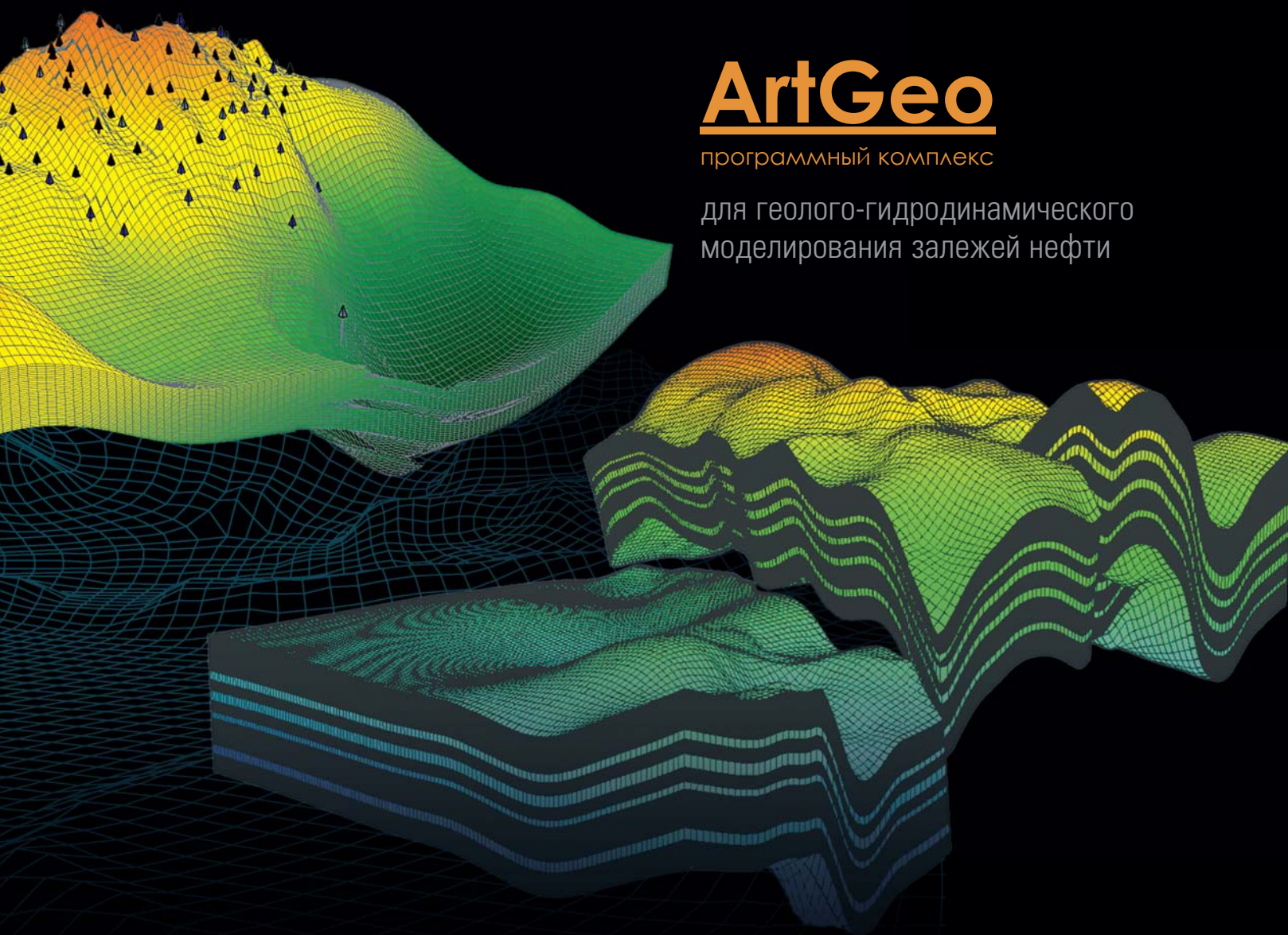
ГЛАВНАЯ ТЕМА НОМЕРА:

Геология. Геофизика

ArtGeo

программный комплекс

для геолого-гидродинамического
моделирования залежей нефти



Проще, чем думаете. Доступнее, чем ожидаете

WWW.ACTUAL-TECHNOLOGY.RU

Содержание 3(256)



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Рейтухов К.С., Зиганшин Э.И.

Волго-Уральская нефтегазоносная провинция: изученность и перспективы нефтегазоносности 6

СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

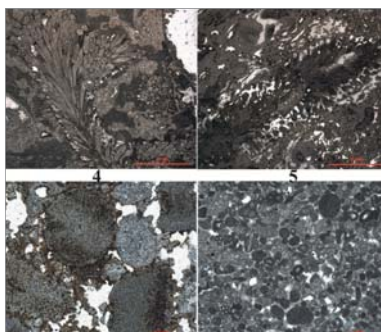
Запорожец Б.В.

Гидрофон? Геофон? Или и то и другое? 10

ИССЛЕДОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ

Феоктистова О.В.

Изучение особенностей строения пласта Т1-Х таганджинской свиты Вилуйской синеклизы по данным МОГТ 3D 13



Мударисова Р.А.

Влияние вторичных процессов на коллекторские свойства карбонатных пород казанского яруса на примере Горского месторождения СВН 15

Мударисова Р.А., Лукьянова Р.Г., Успенский Б.В.

Установление времени и условий формирования и разрушения залежи сверхвязкой нефти на территории восточного борта Мелекесской впадины 20

Арефьев С.В., Никифоров В.В., Котенёв Ю.А.,

Шабрин Н.В., Шарафутдинов А.Р.

Особенности выработки запасов нефти юрско-нижнемеловых отложений на основании уточнения литолого-фациального строения месторождения 26

Арефьев С.В., Чудинова Д.Ю., Котенёв Ю.А., Султанов Ш.Х.,

Махныткин Е.М., Дарментаева Д.А.

Реконструкция условий формирования васюганской свиты на основе использования комплекса гранулометрического анализа терригенных отложений 32

Богдан В.А., Султанов Ш.Х., Котенев Ю.А.,

Чудинова Д.Ю., Машкова Е.А.

Теоретические предпосылки повышения возможностей стационарных нейтронных методов при литологическом расчленении карбонатного разреза 37

Шарафутдинов А.Ф., Котенёв Ю.А.,

Доминик Бернабэ Атсе Яо, Гаймалетдинова Д.Ф.

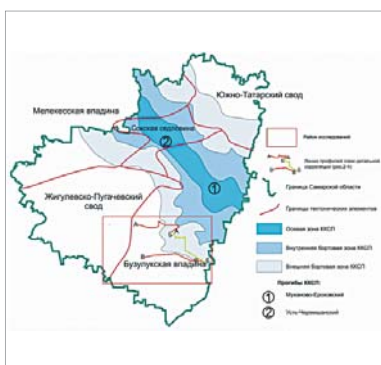
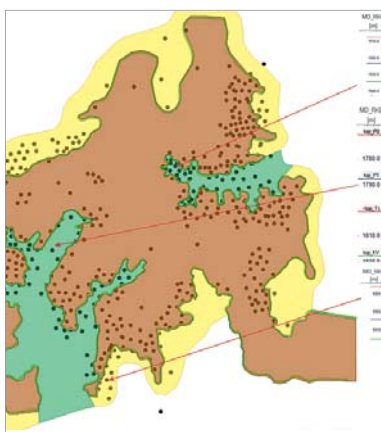
Оценка потенциала доюрских нефтегазоматеринских пород Шаимского нефтегазоносного района 42

Гутман И.С., Рахимова Е.В., Агафонова Г.В.

Особенности строения отложений веневского горизонта на юго-востоке Самарской области 47

Вязовкина А.О., Гусев В.В.

Особенности геологического строения и критерии выделения флюидоупоров для прогноза нефтегазоносности рифогенных залежей франско-фаменского возраста на территории Самарской области 55





ФОРУМ ДЛЯ ГЕОФИЗИКОВ

Развитие отечественного геофизического кластера: научный поход к совершенствованию технологий. По материалам XXVIII научно-практической конференции им. В.В. Лаптева «Новая техника и технологии для трудноизвлекаемых залежей углеводородов» 58

КАРОТАЖ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

Горшенина С.В., Аглиуллин М.Я., Лукашов М.В.
Каротаж в процессе бурения (LWD) в ООО «ТНГ-Групп»:
современное состояние и перспективы развития 60



Черменский В.Г., Бутолин С.А.

Ситуация сложная, но дело движется: совершенствование и развитие технологий изготовления и практического применения аппаратуры LWD-2ННК-ГТКЛП(-ЗГК) разработки и производства ООО «НПП Энергия» 65

Каюров Н.К., Халикова М.А., Еремин В.Н., Петров А.Н.,
Афонин С.А., Тейтельбаум Д.В., Каюров К.Н.

Обработка данных акустического сканирования стенки скважины в процессе бурения 73

ЗАКАНЧИВАНИЕ СКВАЖИН

Якуба А.Н.

Разработка нового оборудования для технологии Plug&Perf – развитие и технические решения на основании накопленного опыта 78



ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН. МОНИТОРИНГ РАБОТЫ СКВАЖИН

Никишин И.А., Платонов И.А., Лютоев П.А., Кузнецов Д.В.,
Никулин С.Е., Шилов А.В., Нухаев М.Т., Величко К.Т.,
Минахметов Р.А., Кабанов В.А.

Сопоставление результатов исследования работы горизонтальной скважины, полученных с помощью комплекса ПГИ и постоянного мониторинга с помощью хромато-десорбционных систем 86

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Аграфенин С. И., к.т.н., заместитель главного инженера – главный технолог АО «Гипровостокнефть»
Алтунина Л. К., д.т.н., профессор, заведующая лабораторией коллоидной химии нефти Института химии нефти СО РАН
Антониади Д. Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело» имени профессора Г.Т. Вартумяна Кубанского технологического университета
Балаба В. И., д.т.н., профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
Боровский М. Я., к.г.-м.н., генеральный директор ООО «Геофизсервис»
Борхович С. Ю., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Удмуртского государственного университета
Бриллиант Л. С., к.т.н., генеральный директор Тюменского института нефти и газа
Булыгин Д. В., д.г.-м.н., заместитель генерального директора по геологии ООО «Нефтегазовый НИЦ МГУ имени М.В. Ломоносова»
Быков Д. Е., д.т.н., профессор, ректор СамГТУ, заведующий кафедрой «Химическая технология и промышленная экология» Самарского государственного технического университета
Восмерников А. В., д.х.н., профессор, директор ИХН СО РАН
Ерёмин Н. А., д.т.н., профессор, заместитель директора Института проблем нефти и газа РАН
Елецкий Б. Д., д.б.н., к.г.н., профессор, помощник генерального директора по взаимодействию с государственными, региональными, муниципальными и общественными организациями ООО «Нефтяная компания «Приазовнефть»
Исмагилов А. Ф., к.э.н., заместитель генерального директора по развитию бизнеса АО «Зарубежнефть»
Кожин В. Н., к.т.н., генеральный директор ООО «СамараНИПИнефть» (научно-исследовательский и проектный институт ПАО «НК «Роснефть»)
Котенёв Ю. А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений» Уфимского государственного нефтяного технического университета
Кульчицкий В. В., д.т.н., профессор, директор НИИБТ РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
Курочкин А. В., к.х.н., главный технолог ООО ПФ «Уралтрубопроводстройпроект», исполнительный директор Ассоциации инженеров-технологов нефти и газа «Интегрированные технологии»
Лавренов А. В., д.х.н., доцент, директор ИК СО РАН, ЦНХТ ИК СО РАН
Муслимов Р. Х., д.г.-м.н., профессор, консультант президента Республики Татарстан по вопросам разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений
Опарин В. Б., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств» Самарского государственного технического университета
Рогачев М. К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Санкт-Петербургского горного университета
Самигуллин Г. Х., д.т.н., заведующий кафедрой транспорта и хранения нефти и газа Санкт-Петербургского горного университета
Силин М. А., д.х.н., проректор по инновационной деятельности и коммерциализации разработок РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
Телин А. Г., к.х.н., доцент, заместитель директора по научной работе ООО «Уфимский научно-технический центр»
Теляшев Э. Г., д.т.н., профессор, член-корр. АНРБ, научный руководитель института, заместитель директора АО «ИНХП»
Третьяк А. Я., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Нефтегазовые техника и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университета имени М.И. Платова
Тян В. К., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Трубопроводный транспорт» Самарского государственного технического университета
Хисаметдинов М. Р., к.т.н., заведующий лабораторией отдела увеличения нефтеотдачи пластов института «ТатНИПИнефть»

РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор
Г.Н. БЕЛЯНИН,
к.г.-м.н., академик МТА РФ

Литературный редактор
Е.С. ЗАХАРОВА

Дизайн
Е.А. ОБРАЗЦОВА
Верстка
И.М. ПРОНЯЕВА

Отдел распространения
и подписки:
тел. +7 (846) 979-91-10

Отдел рекламы и маркетинга:
тел. +7 (846) 979-91-44
тел. +7 (846) 979-91-88

Адрес редакции и издателя:
443008, Самарская область,
г. Самара, Томашевский тупик, 3а
Тел. (846) 979-91-77
(846) 979-91-47
(846) 302-91-99

journal@neft-gaz-novacii.ru
info@neft-gaz-novacii.ru
red@neft-gaz-novacii.ru
redaktor@neft-gaz-novacii.ru
marketing@neft-gaz-novacii.ru
www.neft-gaz-novacii.ru

Учредитель
ООО «Портал Инноваций»

Журнал зарегистрирован
Министерством
Российской Федерации
по делам печати,
телерадиовещания
и средств массовых
коммуникаций
Рег. номер № С01964
от 25 февраля 1999 г.
Перерегистрирован
28 сентября 2018 г.
Рег. номер ПИ
№ ФС 77-73741

Периодичность –
12 номеров в год
При перепечатке материалов
ссылка на журнал
«Нефть. Газ. Новации»
обязательна

Тираж 10 000 экз.
Подписано в печать 14.06.2022
Цена:
870 руб. – печатная версия
1200 руб. – электронная версия

Отпечатано в типографии
ООО «ПРИНТ-РУ»
443070, г. Самара
ул. Верхне-Карьерная, 3а

Разработка нового оборудования для технологии Plug&Perf – развитие и технические решения на основании накопленного опыта

ENG

А.Н. Якуба, yakuba@bvt-s.ru

/АО «БВТ», г. Самара
Тел. +7 (927) 688-03-80/

Рассмотрены технические решения для реализации технологии Plug&Perf в рамках работ по проведению многостадийного гидроразрыва пласта в горизонтальных участках скважин. Приведены сведения об оборудовании, применяемом для выполнения работ по технологии, варианты компоновок. Проведены анализ критически важных аспектов работоспособности оборудования, системная оценка надежности компоновки. Описаны результаты опытно-промышленного применения технологии и оборудования в скважинных условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вторичное вскрытие пластов, скважинное оборудование, кумулятивные перфораторы, кумулятивный заряд, многостадийный гидроразрыв пласта, селективная перфорация

Designing of New Equipment for Plug & Perf Technology – Development and Technical Solutions Based on Accumulated Experience

A.N. Yakuba /BVT Company, Samara/

The paper contains the discussions on the technical solutions for the implementation of Plug & Perf technology while performing multi-stage hydraulic fracturing in horizontal sections of wells. It provides the information on the equipment used to conduct the work at the basis of this technology and its layout options. The paper also contains the analysis of critical aspects in equipment operability, a system assessment of equipment set reliability and describes the results of experimental and industrial procedure and equipment application in wellbore conditions.

KEY WORDS: secondary perforation of formations, wellbore equipment, cumulative perforators, cumulative charge, multistage hydraulic fracturing, selective perforation

Основной тенденцией upstream российской нефтяной индустрии последних лет является повышение рентабельности всех процессов, эффективная эксплуатация нетрадиционных и трудноизвлекаемых нефтяных запасов и обусловленность технического и технологического развития ростом мирового спроса на энергоносители. В этой связи все большую актуальность приобретает многостадийный гидравлический разрыв пласта (МГРП). Технология МГРП включает традиционные методы гидроразрыва, проводимые в несколько стадий. Количество стадий стимуляции изменяется в зависимости от протяженности горизонтальной скважины внутри пласта. Этот метод потребовал внедрения нового усовершенствованного оборудования и технологий, подробнее описанных далее в настоящей работе.

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХОДЕ МГРП

На сегодняшний день в нефтегазодобывающей промышленности существует два наиболее распространенных метода заканчивания скважины в горизонтальных участках в рамках технологии МГРП. Первый из них часто называется «система интенсификации добычи с установкой мостовой пробки в зоне перфорации», или Plug&Perf, который является наиболее часто используемым методом заканчивания в мировой нефтегазовой индустрии. Во второй тип систем заканчивания можно условно объединить все варианты компоновок с шаро-муфтовыми устройствами.

Выбор используемой технологии зависит от накопленного опыта компании, а также от рентабельности каждого отдельного метода и технологии.

В зависимости от того, какая из технологий является более выгодной для каждого конкретного участка с экономической, эксплуатационной и дебитовой точек зрения, и происходит выбор в пользу той или иной технологии.

Целью настоящей статьи не является детальное рассмотрение и сравнение всего спектра опробованных шаровых и муфтных технологий, тем более что мировой и российской нефтегазовой промышленностью сегодня накоплен значительный опыт их применения, и имеется большое количество аналитических материалов и публикаций на эту тему, например [1–2]. Как показывает производственный опыт, самыми большими недостатками шаровых и муфтных технологий являются проблемы, связанные с надежностью их механической части. Любое механическое приспособление, тем более в скважинных условиях, может выйти из строя, а процедуры по минимизации последствий могут быть весьма дорогостоящими. Еще одним недостатком является ограниченное количество интервалов при использовании цементирования и невозможность их изменения по ходу работ.

ТЕХНОЛОГИЯ PLUG&PERF

Технология Plug&Perf представляет собой многостадийную технологию заканчивания скважины и является одной из самых экономически выгодных и перспективных методик многостадийного заканчивания скважин горизонтального бурения. Основным преимуществом применения технологии Plug&Perf на кабеле с доставкой компоновки в горизонтальный участок потоком жидкости является то, что весь процесс многостадийного ГРП выполняется исключительно с применением геофизической партии и флота ГРП.

Таким образом, отпадает необходимость в привлечении бригады капитального ремонта или флота ГНКТ для выполнения спускоподъемных операций (СПО). Также безусловным плюсом является возможность выполнить установку пакер-пробки и перфорацию необходимого количества интервалов за одну СПО.

В целях разобщения интервалов при выполнении многостадийного гидроразрыва специально разработаны пакер-пробки, которые позволяют надежно изолировать нижнюю, стимулированную, зону пласта:

- композитные разбуиваемые;
- с большим проходным отверстием и растворимыми шарами;
- полностью растворимые.

Применение в компоновках пакер-пробок с большим проходным сечением и растворимых шаров или растворимых пакер-пробок, а также кумулятивных перфораторов позволяет кратно сократить продолжительность работ на скважине и затраты при последующем ее освоении.

Скважина с горизонтальным окончанием и многостадийным гидроразрывом пласта изображена на **рис. 1**.

Основной технологической задачей перфорации зоны ГРП, состоящей из одного интервала или нескольких интервалов (кластеров), является изоляция нижнего стимулированного интервала ГРП установкой пакер-пробки и точечное вскрытие следующего интервала ГРП методом перфорации заданных кластеров данного интервала с необходимой точностью позиционирования кумулятивных перфораторов за одну СПО.

Состав типовой компоновки для технологии Plug&Perf приведен на **рис. 2**.

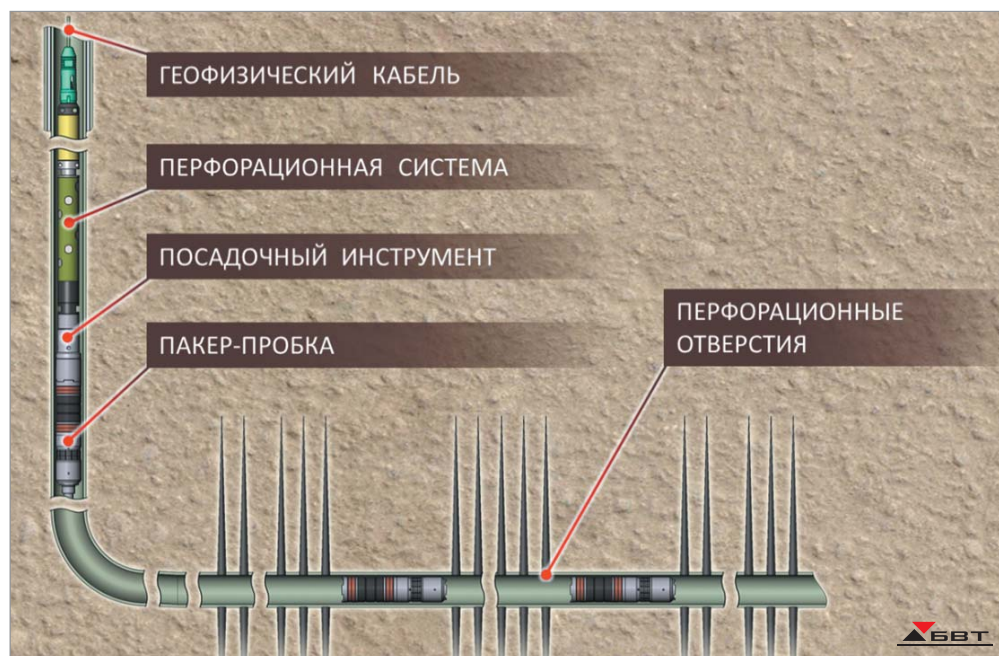


Рис. 1. Скважина с заканчиванием многостадийным гидравлическим разрывом пласта

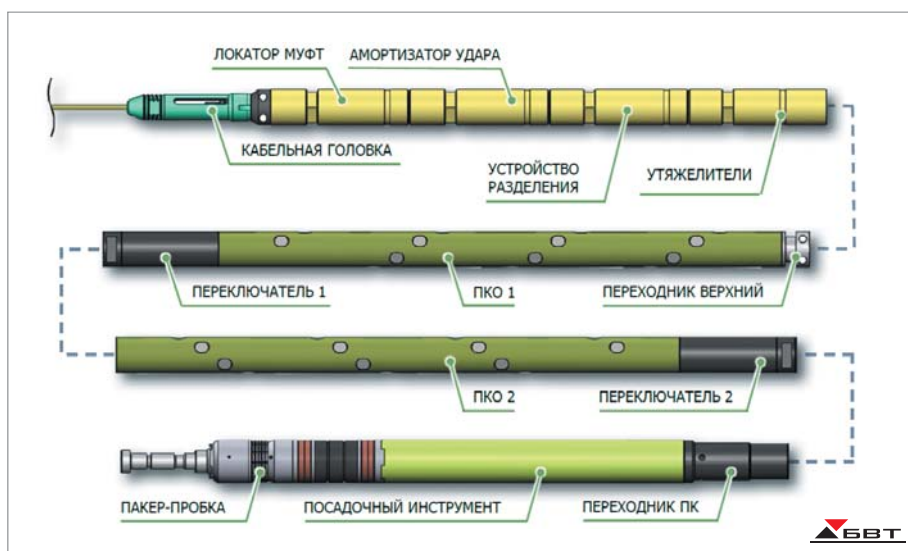


Рис. 2. Типовая компоновка системы для технологии Plug@Perf

Кроме скважинного оборудования, для проведения работ по данной технологии необходимо наличие следующего поверхностного оборудования:

- станция ГИС;
- лубрикатор;
- автокран с большим вылетом стрелы;
- автомобильный гидравлический подъемник;
- ППУ (в зимний период).

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ДВУХ ВАРИАНТОВ КОМПОНОВОК

Рассмотрим два варианта компоновок для работ по технологии Plug&Perf: это компоновка с довольно длительным временем выпускающимися различными производителями электромеханическими (баллистическими) переключателями EB Switch (EBS) и современная интегрированная система с адресными селективными электронными переключателями Select Fire Switch (SFS).

Система с EBS. В основе системы лежит электромеханический переключатель (рис. 3), устанавливаемый в нижней части каждой секции



Рис. 3. Электромеханический (баллистический) ключ типа EBS

перфоратора (за исключением первой). После инициирования электровоспламенителя силового заряда посадочного инструмента пакер-пробки и последующего за ними инициирования первой секции перфоратора происходит последовательное переключение EBS из транзитного положения в положение подключения электродетонатора последующей секции за счет ударной волны (или перепада гидростатического давления) от предыдущей работавшей секции перфоратора. В этом варианте компоновка состоит из следующих основных элементов (сверху вниз):

- головка кабельная;
- локатор муфт;
- секции перфоратора с EBS и электродетонаторами;
- посадочный инструмент (камера) пакер-пробки с электровоспламенителями и силовыми зарядами.

Блок-схема вышеупомянутой компоновки приведена на рис. 4.

Как можно увидеть из представленной на рис. 4 схемы, этот вариант компоновки является последовательным – все переключатели включены в цепь один за другим и любой разрыв цепи в любом месте приводит к потере возможности проводить дальнейшие работы – необходимо производить подъем компоновки на поверхность с последующим повторным спуском новой компоновки для завершения запланированных ПВР в интервале.



Рис. 4. Блок-схема компоновки с EBS





Рис. 5. Электронный адресный селективный переключатель АСИ типа SFS

Система с SFS. Интегрированная система доставки баллистики BDS с электронными селективными адресными переключателями SFS (рис. 5) является современным передовым вариантом компоновки для операций Plug&Perf. Она состоит из следующих основных элементов:

- головка кабельная;
- устройство контроля нагрузки/натяжения на кабельной головке;
- локатор муфт (с ГК);
- адресное устройство разделения;
- амортизатор;
- секции перфоратора с ключами SFS и электродетонаторами;
- посадочный инструмент пакера-пробки с электровоспламенителями и силовыми зарядами.

Схема компоновки приведена на рис. 6.

Ранее в публикации [9] подробно описана оценка надежности двух приведенных выше вариантов реализации компоновки Plug&Perf и проведен расчет надежности элементов компоновок на основе интервальной оценки показателей надежности [4], точечной оценки вероятности безотказной работы и нижней интервальной оценки безотказной работы для каждого из элементов системы.

Отказ для нашего случая – это невозможность совершить запланированный объем работ, т.е. посадку пробки и перфорацию запланированного n-ного количества интервалов за одну СПО. В случае отказа, для завершения запланированных работ потребуются подъем компоновки и дополнительные спуски.

Как видно из приведенной на рис. 4 блок-схемы первого варианта, эта схема является последовательной и, таким образом, при выходе из строя любого из элементов она становится неработоспособной, что и ведет к необходимости дополнительной СПО.

Схема второго варианта компоновки (рис. 6) является смешанной – последовательно-параллельной (применительно к оценке надежности). В этом случае картина выглядит несколько иначе: в случае применения хотя бы одной дополнительной «резервной» секции перфоратора система становится резервированной. То есть даже в случае отказа одной

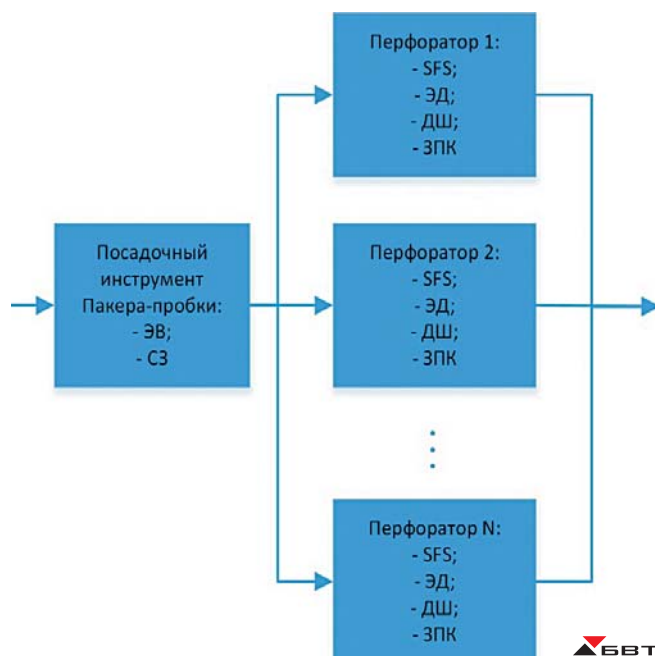


Рис. 6. Блок-схема компоновки с SFS

из секций перфоратора, ее можно пропустить и инициировать следующую. Конечно же, при отказе посадочного инструмента не будет смысла проводить перфорацию и потребуются подъем компоновки на поверхность с последующим повторным спуском. Таким образом, надежность всей компоновки второго варианта будет в пределе ограничена надежностью посадочного инструмента, а надежность всей совокупности секций перфораторов будет практически неизменной (с учетом применения резервной секции).

График зависимости надежности двух типов компоновок приведен на рис. 7.

В статье [9] проведена количественная оценка надежности каждого из элементов. Наибольший вклад в ненадежность каждого из элементов компоновок вносят изделия, содержащие взрывчатые вещества (ВВ) – электровоспламенители, силовые заряды, электродетонаторы, детонирующие шнуры. Элементами с относительно низкой надежностью являются также подвижные электрические контакты в переключателях EBS [3]. Ненадежностью электронных компонентов и неподвижных электрических контактов можно пренебречь, исходя из их более высокого порядка малости по сравнению с вышеперечисленными.

Из приведенных данных видно, что в случае применения резервирования в системе с SFS ее надежность не меняется с увеличением количества секций перфораторов. А в системе с EBS надежность падает, и вероятность получения отказа при применении пяти секций перфораторов составляет 16,9 %, а в случае десяти секций уже составляет 30,2 % – это

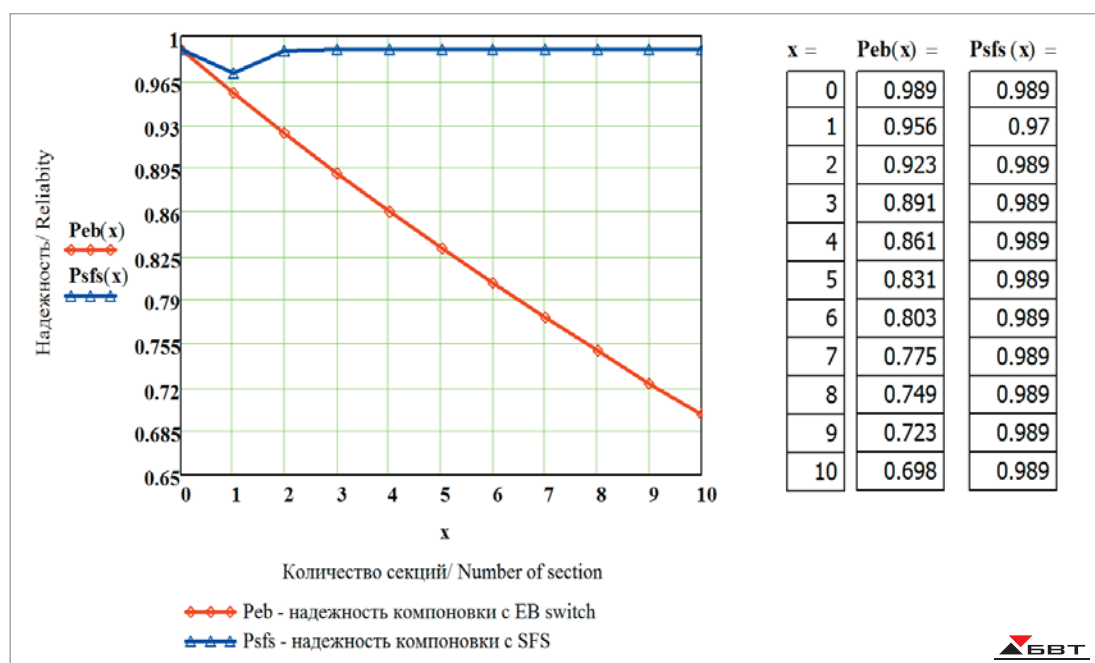


Рис. 7. График зависимости надежности двух типов компоновок от количества секций перфораторов

то количество спусков, которое может закончиться отказом и потребует повторной СПО.

Таким образом, приведенные выше расчеты показывают, что система с электронными ключами SFS является с системной и технической точек зрения значительно более высоконадежной и передовой, чему имеется большое количество подтверждений, например, приведенных в источниках [5–7]. Как показывает представленная в [8] сравнительная статистика применения двух типов ключей (см. **таблицу**) в селективных системах перфорации, в мировой нефтегазовой отрасли происходит неуклонный рост использования электронных селективных ключей с соответствующим неуклонным падением применения EBS из-за их низкой надежности.

Более «свежие» данные по статистике применения электронных адресных ключей типа SFS в настоящее время в свободном доступе отсутствуют, однако нет никаких сомнений, что их доля по сравнению с баллистическими ключами типа EBS неуклонно

растет, и недалеко то время, когда ключи EBS окончательно выйдут из употребления.

Ранее в статье [9] были подробно описаны компоновка с системой BDS Guardian и опыт работ с ней на скважинах. Итоги работ на скважинах подтверждают высокую системную надежность подхода – совместного использования системы телеметрии и электронных селективных адресных ключей, обеспечивающих постоянную двунаправленную связь скважинной компоновки с панелью управления на поверхности.

Исходя из полученного позитивного опыта и с целью выполнения программы импортонезависимости АО «БВТ» была разработана компоновка, включающая в себя высокотехнологичное отечественное оборудование, в составе которой:

■ **Магнитный локатор муфт ЛМП-73 (рис. 8)** – это инструмент, предназначенный для обнаружения муфт обсадных труб в процессе перфорационных работ в обсаженных скважинах. Инструмент

Сравнительная статистика применения двух типов ключей

Year	Mechanical Switch, %	Electronic/Addressable Switch, %
2012	94	6
2013	86	14
2014	73	27
2015	63	37
2016	61	39
2017	59	41
2018	48	52
Est. 2019	~30	~70



Рис. 8. Магнитный локатор муфт ЛМП-73

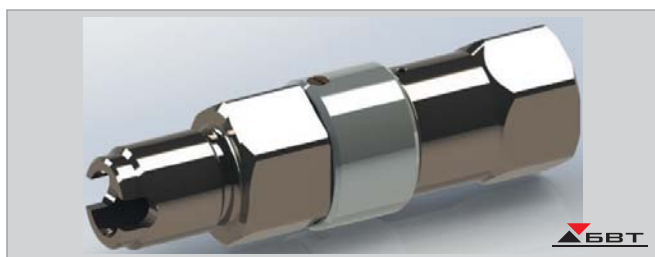


Рис. 9. Устройство разъединения УП-ПСК

состоит из датчика локатора муфт обсадных труб, включающего в себя обмотку локатора муфт и два мощных кольцевых магнита. По мере опускания (или поднятия) инструмента в скважину магнитное поле, создаваемое кольцевыми магнитами, меняется, когда инструмент проходит мимо объектов, произведенных из материалов на основе железа большей/меньшей плотности (т.е. муфт обсадных труб). Такое изменение магнитных силовых линий индуцирует небольшое напряжение в обмотке локатора муфт, которое затем идентифицируется, усиливается и передается на поверхность для регистрации и корреляции глубины;

■ **Устройство разъединения УП-ПСК (рис. 9)** – прибор позволяет безопасно осуществить разъединение прихваченной компоновки без аварийного отрыва геофизического кабеля по заделке кабельного наконечника. После безопасного отсоединения сверху прихваченной компоновки остается специальная ловильная шейка прибора, которая способствует осуществлению ловильных операций после отсоединения. Сборка приборов остается герметично изолированной, что предотвращает проникновение скважинной жидкости после отсоединения;

■ **Амортизатор удара АП-73-1 (рис. 10)** – амортизатор ударных нагрузок, предназначен для использования в прострелочно-взрывных и иных работах с использованием приборов телеметрии там, где требуется обеспечить защиту приборов от ударных нагрузок.

■ **Электронный ключ АСИ** – это адресное устройство, которое может переключать напряжение с кабеля далее на другие питаемые напряжением с

отрицательной полярностью приборы вниз по компоновке или соединять различные детонаторы и/или запальные устройства с кабелем. Детонаторы используются для инициирования перфоратора или другого пиротехнического устройства. С панели управления можно управлять ключами АСИ (до 20 ключей в одной компоновке) в зависимости от характеристик кабеля. Управление работой ключей АСИ и контроль осуществляются с поверхности при помощи панели управления. Ключ АСИ предоставляет необходимую защиту детонаторов переменного и постоянного тока от радиосигналов повышенного уровня в ВЧ-диапазоне и обеспечивает более легкое управление в ситуациях, когда использование радиомолчания каждый раз при сборке перфоратора или его возвращении на поверхность непрактично. Система целиком подверглась экспертизе, подтвердившей ее соответствие рекомендованной практике API RP67 на безопасность проведения прострелочно-взрывных работ. Электронный ключ системы АСИ имеет отламываемую перемычку, в которой находится аппаратный шунт, соединяющий (закорачивающий) выходы детонатора. Наличие данной перемычки уменьшает возможность наведения напряжения в детонаторе в связи с паразитным кабельным напряжением или из-за токов ВЧ.

Наземное оборудование, предназначенное для управления процессом доставки компоновки с последующим инициированием посадочного инструмента для установки пакер-пробки и селективным инициированием перфораторов, представлено пультом управления АСИ (рис. 11).

Каждый пульт управления АСИ поставляется с предварительно установленным программным обеспечением, разработанным для управления всем комплексом инструментов, включенных в компоновку, и его эксплуатации (рис. 12).

Программное обеспечение предназначено для управления скважинным оборудованием, которое, в свою очередь, осуществляет управление и передачу данных от компонентов системы АСИ, примененных в скважинной компоновке.



Рис. 10. Амортизатор удара АП-73-1

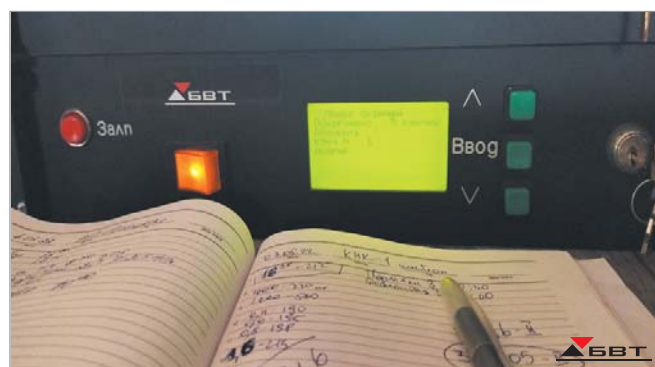


Рис. 11. Пульт управления АСИ

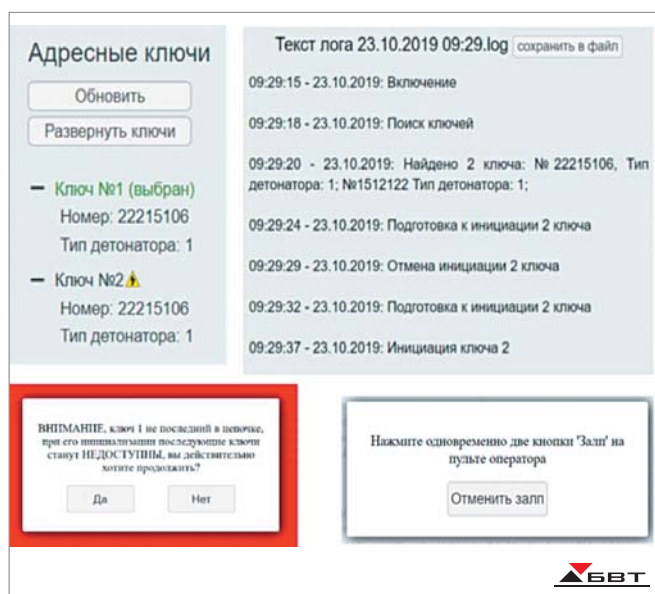


Рис. 12. Интерфейс программного обеспечения пульта АСИ

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ АСИ В ОПЕРАЦИЯХ PLUG&PERF

На сегодняшний день накоплен значительный положительный опыт проведения работ по технологии Plug&Perf компоновками с адресной системой инициирования АСИ – выполнен ряд прострелочно-взрывных работ на скважинах при спуске компоновок на кабеле. Так, в период с марта по май 2022 г. были проведены работы на четырех скважинах, успешно выполнены 66 стадий МГРП, отстрелено более 250 адресных ключей АСИ. Фотографии с работ на скважинах представлены ниже (рис. 13 – рис. 16).

В рамках каждого СПО производились записи магнитного локатора муфт, прибора контроля нагрузки и натяжения, скорости движения компоновки, индикатора глубины, силы тока и напряжения. В ходе проведения селективного отстрела в ПО фиксировались плановые и фактические интервалы отстрела для подтверждения качества соответствия проведенных работ плановым показателям.

В ходе проведения промышленных работ на скважинах отсутствуют случаи отказа оборудования АСИ – не зафиксированы отказы средств инициирования, потери связи адресных ключей с пультом управления, отказы программного обеспечения.

Таким образом, заложенные в техническое задание на разработку концептуальные требования подтвердили свою обоснованность: полностью

электронная система селективного адресного инициирования показала свою высокую надежность и имеет значительный задел для дальнейшего технического развития и совершенствования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Plug&Perf является одной из наиболее удобных систем заканчивания при МГРП, поскольку имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- возможность изменения по ходу работ количества интервалов МГРП, количества кластеров на стадию, расположения интервалов установки пакер-пробок и интервалов перфорации;

- отказ от применения флота ГНКТ при спуске компоновок на геофизическом кабеле;

- отказ от операции разбуривания после проведения всех стадий МГРП при использовании пакер-пробок с большим проходным диаметром и растворимым шаром или полностью растворимых пакер-пробок;

- сокращение времени простоя оборудования и повышение общей эффективности Plug&Perf при проведении одновременных операций во время бурения площадки. Эффективность достигается за счет возможности проводить ПВР на кабеле на одной скважине и одновременно выполнять операцию по гидроразрыву пласта на соседней скважине. По завершении этих работ оборудование переходит из одной скважины в другую таким образом, чтобы оно не простаивало между этапами.

В ходе опытно-промышленных работ опробованы компоновки адресной системы инициирования АСИ собственной разработки для проведения селективной перфорации, которые показали свою эффективность, высокую надежность и передовой технический уровень.

Видится актуальным дальнейшее совершенствование состава компоновки оборудования: дополнение приборами контроля нагрузки/натяжения на кабельной головке, скважинным прибором подтверждения отстрела секций, создание магнитного локатора муфт с КГ, устойчивого к ударным нагрузкам.

Все вышеизложенное позволяет утверждать, что Plug&Perf на сегодняшний день и в перспективе – актуальная технология в производственной практике по заканчиванию скважин для отечественных нефтегазовых компаний. Постоянное техническое совершенствование применяемого оборудования – залог растущего повышения эффективности всего комплекса работ по освоению горизонтальных скважин с МГРП.



Рис. 13. Оборудование, установленное в геофизическом подъемнике

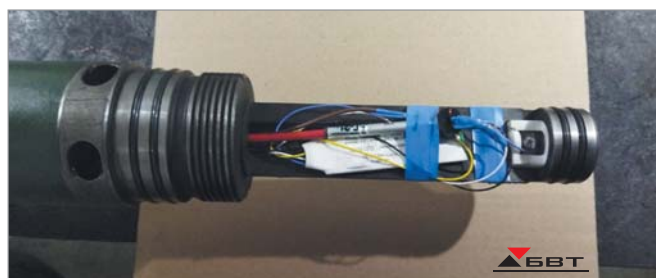


Рис. 14. Электродетонатор и адресный ключ АСИ, установленные в переходнике



Рис. 15. Каркас перфоратора в сборе



Рис. 15. Извлечение отстрелянной компоновки

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Файзуллин И.Г., Пичугин М.Н. Технологические подходы к реализации многостадийных ГРП на низкопроницаемых коллекторах // ООО «Газпромнефть НТЦ», 2017.
2. Викулин Н. Презентация: Обзор технологий заканчивания для МГРП // Шлюмберге, 2016.
3. Slade Paul G. Electrical Contacts Principles and Applications. Second Edition // CRC Press, 2014.
4. РД 50-476-84 Методические указания. Надежность в технике. Интервальная оценка надежности технического объекта по результатам испытаний составных частей.
5. Hernandez P. IPS-16-2. A Step Change in Multistage Perforating // 2016 International Perforating Symposium Galveston, 2016.
6. Segura J. JW IPS-16-23 Lowering Total Cost of Operations Through Higher Perforating Efficiency while simultaneously enhancing safety // 2016 International Perforating Symposium Galveston, 2016.
7. Albert L. New Perforating Switch Technology Advances Safety Reliability for Horizontal Completions // URTeC-Paper-2173272 Unconventional Resources Technology Conference (URTeC), 2015.
8. Hunting Titan. Guns, Hardware & Instruments. 2019. <https://www.huntingplc.com/~media/Files/H/Hunting-PLC-V2/documents/hunting-titan-may-2019.pdf>
9. Технология Plug&Perf: Оборудование, технические решения и опыт применения / А.Н. Якуба, А.А. Харьков, А.А. Лозовой, Э.Н. Николайчик, В.А. Рыляков // НТБ «Каротажник». – Тверь: Изд-во АИС, 2020. – Вып. 5 (305). – С. 82–106.