

отклонения такого типа. Ремонт скважины – вторая причина расхождений. В процессе ремонта изменяются фильтрационные параметры пород, близких к стенке скважины. Экспоненциальная кривая Арпса позволяет достаточно точно предсказать добычу газа в Сенегале без учета скважинных факторов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM- 2023-0005).

Литература

1. Guzev M. A. et al. Experimental investigation of the change of elastic moduli of clastic rocks under nonlinear loading // International Journal of Engineering. – 2021. – Т. 34. – № 3. – С. 750-755.
2. Karpikov A. V., Aliev R. I., Babyr N. V. An analysis of the effectiveness of hydraulic fracturing at YS1 of the Northern field // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 952. – № 1. – С. 012036.
3. Nzoussi-Mbassani P. Le céno-mano-turonien de l'atlantique nord (bassin du sénégal): Environnement de dépôt et évolution diagenétique: дис. – Université d'Orléans, 2003.
4. Poplygin V. V., Pavlovskaja E. E. Investigation of the influence of pressures and proppant mass on the well parameters after hydraulic fracturing // International Journal of Engineering. – 2021. – Т. 34. – № 4. – С. 1066-1073.
5. Poplygin V. V., Wiercigroch M. Research of efficiency of complex non-stationary impact on layer with high-quality oil // Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2020. – Т. 331. – № 3. – С. 7-12.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПЦИЙ МНОВОВАРИАНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДИЗАЙНА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ **Ефременко И.В.**

Научный руководитель старший преподаватель Ю.А. Максимова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время, вследствие истощения запасов традиционных месторождений нефти и газа, стала рентабельна разработка высокообводненных, а также так называемых тяжелых нефтей, характеризующихся большим содержанием асфальтенов и плотностью, что не только приводит к усложнению способов её извлечения на поверхность, но и существенно удорожает процесс за счет применения новых технологий. Рентабельная добыча нефти в вышеперечисленных условиях стала возможна за счет проведения многостадийного гидравлического разрыва пласта (МГРП), а в особенности применения данной технологии в горизонтальных скважинах. Применение МГРП приводит к увеличению площади контакта пласта со скважиной, что способствует увеличению дебита и коэффициента извлечения нефти. Перед проведением работ по гидроразрыву пласта специалисты составляют дизайн работ, основывающийся на геомеханических свойствах горных пород и жидкости гидроразрыва. Модель проведения работ может сильно отличаться от реальности в виду неполноценности этих данных, а также из-за неопределенности в величине анизотропии и расчетах напряженно деформированного состояния горных пород. Для уточнения данных и калибровки модели проводится Мини ГРП, при котором используются полномасштабные скорости нагнетания и относительно большие объемы жидкости. После проведения Мини ГРП становятся известны такие характеристики породы как: давление смыкания и эффективное давление, трение в перфорации и призабойной зоне [2]. Несмотря на многочисленные подготовительные этапы, проблемы возникают при проведении 70 – 80 % всех операций ГРП. Основной сложностью является предсказание распространения трещины. При проведении гидроразрыва важно не только создать систему новых трещин, но и эффективно использовать уже имеющиеся природные, при этом в идеале рост трещины должен быть ограниченно направлен для создания канала движения флюида и отсутствия перекрестного вскрытия водоносных горизонтов, так как это будет способствовать сильному увеличению обводненности. Для решения данной проблемы необходим комплексный подход с возможностью рассмотрения различных результатов проведения МГРП.

Применение опций многовариантности в математической модели гидроразрыва пласта представляет собой мощный инструмент для учета различных вариантов развития событий, условий и параметров, которые могут повлиять на результаты проведения данной технологии. Важно понимать, что при планировании и проведении гидроразрыва пласта существует множество неопределенностей и переменных, которые могут значительно влиять на успешность операции. Например, одним из факторов, который можно учесть с помощью опций многовариантности, является изменение физико-химических свойств пласта. Различные варианты значений параметров, таких как проницаемость и пористость пласта, позволяют оценить какие изменения в этих характеристиках могут повлиять на эффективность гидроразрыва и выбрать оптимальную стратегию действий. Кроме того, опции многовариантности также позволяют учесть вариации в технологических параметрах проведения гидроразрыва, таких как объем используемого пропанта, давление в скважине, скорость закачки жидкости и многие другие. Моделирование различных сценариев позволяет выявить те комбинации параметров, которые могут привести к оптимальным результатам при максимальном эффекте и минимальных рисках.

В Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах активно ведутся работы по разработке Баженовской свиты, характеризующейся небольшой толщиной, низкой проницаемостью и сетью природных трещин. Применение опции многовариантного моделирования показало крайнюю эффективность для данного направления разработок, так как меняя различные входные условия мы можем видеть кардинальные различия в результате [1]. Для построения дизайна использовались геологические характеристики месторождения, полученные из исследовательских скважин, а также такие изменяемые характеристики как: вязкость, объём и расход жидкости, фракция и масса пропанта. При рассмотрении 729 вариантов был получен результат, показывающий наиболее

СЕКЦИЯ 6. ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ, УПРАВЛЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

эффективный дизайн проведения МГРП (рис. 1). Для эффективного закрепления естественных трещин наиболее результативно применение проппанта мелкой фракции, а использование крупной в свою очередь целесообразно в призабойной зоне пласта для создания трещин высокой проводимости. Говоря о типе закачиваемой жидкости, наиболее эффективными стали жидкости на основе так называемой скользкой воды (технология Swickwater) а также линейные гели. При увеличении объема используемых жидкостей в пределах 8 м³/мин для линейных гелей и 12 м³/мин для маловязких способствует эффективному росту стимулированного объема резервуара (SRV)). При превышении этих показателей происходит снижение площади SRV за счет роста трещин гидроразрыва в высоту, уменьшение объема расхода жидкости также значительно снижает этот показатель. Использование же высоковязких жидкостей, даже при условии большого расхода не влечет за собой существенного увеличения SRV. Ещё одной важной переменной является масса проппанта. При использовании маловязкой жидкости и линейного геля увеличение массы с 40 до 70 т. влечет значительное увеличение площади SRV. Увеличение массы проппанта с 70 до 120 т. не приводит к заметному увеличению объема так как достигается пороговое значение. Применение сшитого геля и проппанта любой фракции не приводит к значительному увеличению площади SRV за счет создания практически планарной трещины и отсутствия инициации естественных трещин.

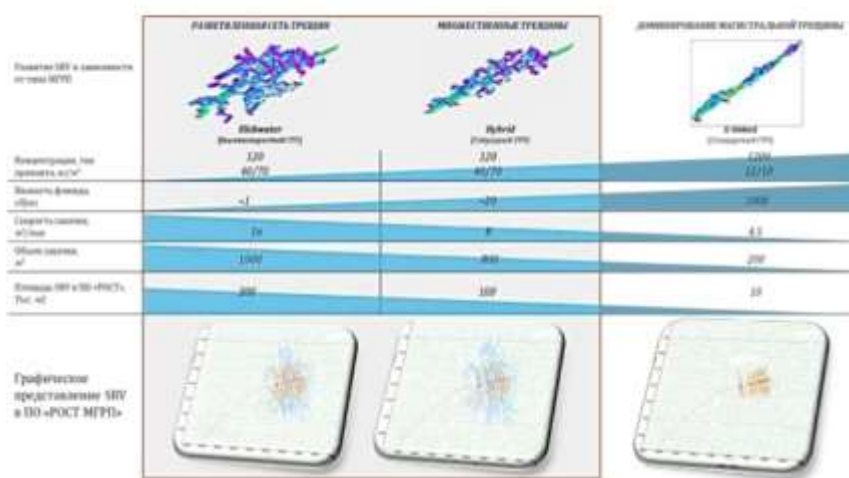


Рис. 1. Зависимость распространения трещин

Наиболее эффективным дизайном при изменении начальных параметров оказался вариант, совмещающий все положительные стороны предложенных технологий (рис. 2). Он включает в себя использование трех различных типов жидкости, а также уменьшение объема жидкости продавки между проппантными пачками, что уменьшает деградацию сети трещин [1]. Для переноса проппанта на маловязких жидкостях используется высокорасходный флот гидравлического разрыва пласта. Закачка проппантных пачек с постепенным увеличением концентрации способствует закреплению более мелких и удаленных трещин, а также увеличению проводимости от удаленной стимулированной зоны к призабойной. Использование сшитого геля только на последних стадиях проведения МГРП приводит к уменьшению загрязнения трещины продуктами деструкции геля.

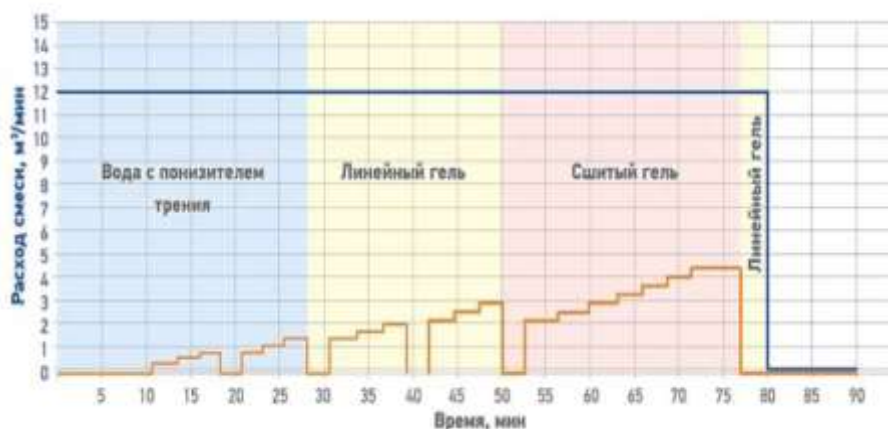


Рис. 2. План проведения МГРП

Использование опций многовариантности в модели МГРП означает, что мы рассматриваем несколько вариантов действий и их последствий при планировании и проведении операции. Это позволяет учесть различные

возможности и альтернативы, что в свою очередь помогает улучшить качество и точность прогнозов. При использовании этого подхода мы можем сделать более обоснованные решения при выборе стратегии гидроразрыва, учитывая различные сценарии развития событий и их вероятные последствия. Таким образом, использование опций многовариантности в модели МГРП не только повышает точность и достоверность прогнозов, но также помогает спланировать действия таким образом, чтобы максимально эффективно использовать ресурсы и минимизировать риски. Этот подход позволяет повысить эффективность работы и обеспечить успешное выполнение операции по многоступенчатому гидроразрыву пласта.

Литература

1. Кашапов Д. В. Совершенствование методов гидравлического разрыва пластов баженовской свиты Западной Сибири: специальность 2.8.4 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»: Диссертация на соискание кандидата технических наук / Кашапов, Д. В.; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2022. – 175 с.
2. Экономидес М., Олини Р., Валько П. Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта. – 2007.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН ВДОЛЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ

Ефремов Р.А.^{1,2,3}, Горячева А.Е.^{1,3}

¹Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

Обеспечение безопасности при проходке и эксплуатации подземных выработок, тоннелей и других подземных сооружений является одной из ключевой задач. Проектирование подобных объектов основывается на результатах петрофизического и геофизического исследования скважин, пробуренных в пределах площади целевых объектов. Однако пространственного разрешения таких данных недостаточно для восстановления параметров и границ геологической среды, определения областей в массиве с повышенной неустойчивостью, водоотдачей, трещинами и разломными зонами. Определение точного расстояния от опасных для проходки участков или структур до тоннелепроходческого комплекса является актуальной задачей.

Исследования на основе поверхностных волн успешно применяются при инженерно-геологических изысканиях, при оценке сейсмической безопасности (сейсмическое микрорайонирование) и в других приложениях, связанных с изучением верхней части геологического разреза на глубины порядка нескольких десятков метров. Известно, что поверхностные волны, обладающие дисперсионными свойствами, распространяются вдоль тоннелей, шахт, поверхностей подземных сооружений. В работах [1, 5] исследовались возможности существования различных типов волн (радиально-симметричные, изгибные, спирально-винтовые и др.) на поверхности цилиндрической полости (тоннелях) в однородном упругом пространстве. В представленных работах показано, что различные типы волн, за исключением изгибных, обладают дисперсией.

Перспективными к исследованию и дальнейшему применению являются два типа методов мониторинга критических участков массива горных пород в окрестности подземных сооружений. Первый тип методов ориентирован на обнаружение разломов, трещин, пустот и других объектов, приводящих к отражению и рассеянию поверхностных сейсмических волн. Второй тип методов ориентирован на мониторинг изменения свойств массива горных пород на основе наблюдений изменения скоростей прохождения и поглощения поверхностных сейсмических волн. Данная работа посвящена разработке лабораторных средств исследования распространения поверхностных волн вдоль цилиндрической полости внутри массива горных пород при активном воздействии.

Настройка аппаратуры и разработка программного обеспечения. В качестве модельного материала был выбран мраморный массив размерами: ширина - 1 м., высота - 1 м., длина - 2 м., на котором была проведена серия экспериментальных исследований в ходе проведения работы. Для моделирования технической полости, скважины, тоннеля, вдоль блока была выбурена скважина. Крепление датчиков с пьезокерамическим типом регистрации осуществлялось с использованием магнитов. Фиксация выполнялась вдоль ствола скважины на двухкомпонентную смолу. Датчики, в количестве 9 штук, накручиваются на специальное металлическое основание, которое устанавливается на магнит образуя линейную систему наблюдения.

Для регистрации сигнала использовался аналого-цифровой преобразователь (АЦП) модуль *National Instruments USB-6251*, со скоростью оцифровки позволяющей записывать 8 каналов с частотой дискретизации 125 кГц. При регистрации сигнала используются усилители *Bruel Kjaer 2635* с высоким коэффициентом усиления на высоких частотах в комплексе с маломощным усилителем заряда. Регулировка чувствительности осуществляется в трех десятичных диапазонах выходного напряжения, что позволяет выбрать калиброванное выходное напряжение в пределах от 1 мВ до 10 В при работе с вибродатчиками различной чувствительности. Для работы с АЦП была написана программа в среде разработки *LabView*, которая выводит на экран сейсмическую запись в реальном времени, позволяет изменять частоту дискретизации сигнала и производить запись и сохранение сигнала. Интерфейс программы показан на рисунке 1. Сохранение записи эксперимента происходит в *tdms* формат, дальнейшая обработка сигналов выполняется в среде языка программирования *Python*.