

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по выполнению практических работ
по дисциплине «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРИТОКА
УГЛЕВОДОРОДОВ»

для студентов направления подготовки
21.04.01 Нефтегазовое дело

Направленность (профиль) Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-
геологических условиях

Содержание практических занятий

- | | | |
|----|---|-------|
| 1 | Оборудование при проведении ГРП. | _____ |
| 2 | Методы выполнения гидравлического разрыва пласта. | _____ |
| 3 | Подготовка жидкостей перед проведением ГРП. | |
| 4. | Контроль качества жидкости. | _____ |
| 5 | Выбор проппанта для закачки. | |
| 6. | Контроль качества проппанта. | _____ |
| 7 | Выбор скважин для проведения ГРП.. | _____ |
| 8 | Тестирование оборудования при проведение ГРП. | _____ |
| 9 | Оценка технологической эффективности ГРП. | _____ |

Практическое занятие № 1

Общие сведения о гидравлическом разрыве пласта. Оборудование при проведении ГРП.

1. Цель и содержание

Целью работы является:

1. разработка и изготовление мобильных комплексов для глубокопроникающих гидравлических разрывов пластов (МКГГРП);
2. подбор состава вахтовой бригады для выполнения ГРП;
3. инженерное обеспечение ГРП – расчет гидравлического расчета пласта.

В методических указаниях содержатся: информация о принципе обеспечения комплекса работ по выполнению гидравлического разрыва пласта и составлению унифицированного дизайна ГРП.

2. Теоретическое обоснование

Гидроразрыв пластов – одно из основных направлений деятельности общества. Эти работы были начаты в 1993 году по постановлению Правительства Российской Федерации, в соответствии с которым компания приступило к созданию мобильного комплекса для глубокопроникающего гидравлического разрыва пластов (МК ГГРП), аналогичного по своим параметрам зарубежным комплексам, эксплуатировавшимся в ряде регионов Российской Федерации (в Западной Сибири, Татарстане, Поволжье). Подключив к этой работе более 30 предприятий оборонного машиностроения организация организовало в 1993-1995 гг. разработку, изготовление и испытания первого (опытно-промышленного) образца МК ГГРП. После этого комплекс под контролем межведомственной комиссии (созданной по приказу Министерства топлива и энергетики РФ под руководством Президента АО «РИТЭК» Грайфера В.И.) в 3-ем квартале 1996 г. с положительным результатом прошел промысловые испытания на Фроловском месторождении Арчединского НГДУ в Волгоградской области. Для выполнения сервисных услуг нефтедобывающим компаниям по гидроразрыву пластов в структуре общества было создано подразделение «Гидроразрыв пласта» численностью 100 человек. Первые 10 гидроразрывов (ГРП) с использованием МК

ГГРП были выполнены в 1996-1998 гг.: 6 - в Арчединском НГДУ в Волгоградской области, 2 - в Правобережном НГДУ в Саратовской области и 2 - на Ачикулакском месторождении объединения «Ставропольнефтегаз». ГРП проводились на углеводородном и водном гелях в скважинах с глубиной залегания продуктивных пластов от 800 до 4100 метров с терригенными и карбонатными коллекторами с эффективной мощностью от 2 до 20 метров. Наши подрядчики готовы сотрудничать с нефтедобывающими компаниями как в качестве поставщика оборудования для ГРП, так и как сервисная компания по проведению ГРП. Это сотрудничество может осуществляться в форме совместного предприятия или на других взаимовыгодных условиях.

Глубокопроникающий гидравлический разрыв пластов

Модернизированный мобильный комплекс для глубокопроникающего гидравлического разрыва пластов предназначен для осуществления гидравлического воздействия на призабойную зону соляно - кислотных разрывов, многообъемных кислотных обработок пласта, с целью увеличения дебита скважины с низкопроницаемыми коллекторами.

Комплекс обеспечивает:

1. Доставку технологического оборудования к месту работы.
2. Подготовку и временное хранение жидких и сыпучих расходных материалов.
3. Приготовление многокомпонентных гетерогенных рабочих смесей.
4. Закачку рабочих смесей в призабойную зону скважины при помощи насосных установок большой гидравлической мощности.
5. Дистанционное управление насосными агрегатами.
6. Документирование, наглядное отображение протекания процессов управления комплексом в автономном режиме.

3. Аппаратура и материалы

В состав комплекса входят (рис. 1):

1. Машина контроля и управления МКУ - 1 шт.
2. Насосный агрегат АНА-105М (НА-2500) (с подпитывающим насосом) - 1 шт.
3. Насосный агрегат АНА-105М (НА-2500) - 3 шт.

4. Агрегат приготовления смеси АПС-8М (АПС-6) - 1 шт.
5. Машина манифольдов ММ-105-М - 1 шт.
6. Агрегат сыпучих компонентов АСК-12 (АСК 20-40)- 1 шт.
7. Агрегат транспортно-установочный АТУ-М - 1 шт.
8. Вертикальные цистерны ВЦ-30 - 10 шт. (по заказу)

Комплекс размещается на грунтовой площадке на территории нефтегазовых промыслов. Комплекс может работать в любое время года и суток. Шасси комплекса комплектуются по желанию заказчика. Основные эксплуатационные характеристики:

1. Максимальное рабочее давление, создаваемое на устье скважины - 995 кг/см^2
2. Максимальная подача рабочей жидкости или смеси на устье скважины до - $8 \text{ м}^3/\text{мин.}$
3. Максимальная плотность (концентрация) ТСК в смеси - 1500 кг/м^3 .

Комплекс применим для разрыва пластов: с различной литологией, как в терригенных, так и карбонатных породах, имеющих проницаемость от долей миллидарси до дарси и выше. скважин эксплуатационных и нагнетательных глубиной от 2500 до 5000 метров, в зависимости от количества насосных агрегатов АНА-105М. с применением геля на углеводородной и водной основах при использовании для их приготовления отечественных и импортных химреагентов.

5. Методика и порядок выполнения работ

Отряд ГРП — это тот абсолютный минимум и базовая единица, которая требуется для проведения обработки гидроразрывом пласта. Бригада может состоять из любого числа людей, от 7 до 15 человек, в зависимости от количества насосных агрегатов и наличия контрольно-измерительной аппаратуры на месте проведения работ. Многие из этих людей обучены нескольким видам работ, таким как вождение траков, монтаж оборудования, а также установка и техническое обслуживание контрольно-измерительных приборов.

Начальник отряда ГРП — Иногда его называют *полевым инженером*, это человек, отвечающий за надлежащее выполнение работ на скважине. Это высококвалифицированный работник, либо инженер, которого перевели на должность менеджера полевых работ, либо высокоодаренный оператор, выдвинутый на эту работу. Начальник бригады управляет работами по гидроразрыву из вагончика с контрольно-измерительной аппаратурой («станции ГРП») и несет полную ответственность за эту операцию, включая технику безопасности. Он постоянно общается по двухсторонней радиосвязи со всеми операторами насосных, смесительных агрегатов, а также бункеров и подающих транспортеров для проппанта.

Он имеет удостоверение на право эксплуатации оборудования высокого давления. Он понимает дизайн гидроразрыва и отвечает за его выполнение. Он имеет полные полномочия продолжать или прекратить работы. (Отметим, что местоимение «он» используется только для ясности, есть несколько высокоодаренных женщин, которые работают инженерами по гидроразрыву).

Прикрепленный инженер — Концепция прикрепленного инженера (по-английски: “*desk engineer*” — буквально, «инженер за письменным столом») практикуется многими компаниями, как в нефтяной промышленности, так в других промышленных отраслях. Попросту говоря, сервисная компания, выполняющая ГРП, сажает одного из своих штатных сотрудников на постоянное место работы в каждую клиентскую нефтегазодобывающую компанию. Клиент отвечает за предоставление ему рабочего места (*письменного стола — отсюда и английское название должности*). Постоянное общение и взаимообогащение между потребностями (нефтегазодобывающая компания) и возможностями (сервисная компания) может разительным образом увеличить диапазон и успешность применения технологии; это может быть особенно важно для быстрого и неизбежно массированного внедрения гидроразрыва в новом районе работ или стране.

Этот человек должен обладать не меньшими знаниями, чем начальник отряда ГРП, но, как правило, несколько меньшим опытом. Подобно начальнику отряда ГРП, прикрепленный инженер должен иметь исчерпывающие знания всей этой книги по гидроразрыву.

Химик по контролю и обеспечению качества — Каждая операция по гидроразрыву требует химика, хорошо сведущего в химии и физике (реологии) рабочих жидкостей ГРП и добавок. Этот человек эксплуатирует специально оборудованную лабораторию. Эта лаборатория включает, в дополнение ко всему основному оборудованию и рабочим местам (напр., вытяжные шкафы) вискозиметр-50 Фанна для высоких давлений и температур, а также, возможно, имитатор истории сдвига для флюидов. Химик должен иметь базовое образование в области химии полимеров, или по крайней мере хорошее понимание этого предмета, он также должен быть обучен оценке качества проппанта (визуально, при помощи 100-кратного микроскопа).

Химик по должности отвечает за обеспечение и контроль качества в поле. До начала выполнения работ по гидроразрыву он проводит инспекцию воды затворения, добавок для жидкостей разрыва, а также проппанта, чтобы гарантировать их соответствие дизайну и высокое качество. Во время проведения работ он обеспечивает смешение материалов гидроразрыва в должных пропорциях и в должное время (напр., в случае сшивающих агентов с задержкой). Он продолжает выборочную проверку качества проппанта в реальном времени в течение всего времени проведения работ по гидроразрыву.

Инженер-проектировщик ГРП — Как следует из названия должности, этот человек отвечает за проектирование (дизайн) работ по гидроразрыву пласта. Инженер-проектировщик ГРП должен овладеть основами гидроразрыва (главы с 4 по 9), а также должен уметь работать с прилагаемым программным обеспечением для дизайна гидроразрыва. В зависимости от объема работ по ГРП, может быть несколько человек, обученных для выполнения этих задач. При малом объеме работ один человек может по совместительству работать как полевой инженер, выполняющий анализ обработки в реальном времени из станции ГРП

6. Содержание отчета и его форма

Отчет должен включать в себя схему обустройства скважины-кандидата для проведения ГРП, обоснование состава отряда ГРП, обоснование необходимости проведения ГРП и его преимущество перед другими методами интенсификации.

Форма представления результатов работы:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Схема обустройства скважины-кандидата для проведения ГРП.
3. Протокол состава отряда ГРП.
4. Выводы, вытекающие из результатов работы.

7. Вопросы для защиты работы

1. Что такое гидравлический разрыв пласта?
2. С какой целью выполняется гидравлический разрыв пласта?
3. Какие машины и агрегаты входят в состав мобильного комплекса для глубокопроникающего гидравлического разрыва пласта?

4. Кто входит в состав отряда ГРП?

Практическое занятие № 2
Методика расчета оптимизации отдачи трещины
при гидравлическом разрыве пласта

1. Цель и содержание

Целью работы является:

1. Ознакомление с методом расчета оптимизации отдачи трещины.
2. Определение количество расклинивающего агента, необходимого для достижения нужного уровня.
3. Определение времени закачки и программы изменения содержания расклинивающего агента для достижения оптимальных размеров.

В методических указаниях содержатся: информация о принципе расчета оптимизации отдачи трещины, методика определения количества расклинивающего агента, необходимого для достижения нужного уровня трещины, методика определения времени закачки и программы изменения содержания расклинивающего агента для достижения оптимальных размеров.

2. Теоретическое обоснование

Метод Валко – Экономидеса

Рассмотрим вертикальную скважину, пересекающую вертикальную трещину прямоугольного сечения, при этом имеет место последующее распространение трещины сверху донизу в квадратной зоне дренирования (Рис. 5). Отдача зависит от соотношения проницаемости по направлению x , I_x :

$$I_x = \frac{2x_f}{x_e} \quad (1)$$

и, как говорилось выше, от безразмерной удельной проводимости трещины:

$$C_{fd} = \frac{k_f w}{k x_f}$$

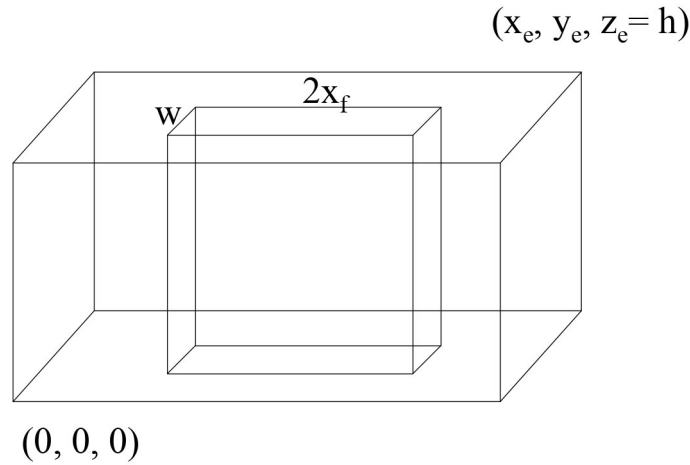


Рисунок 2. Обозначение отдачи трещины.

Следует отметить, что проницаемость и безразмерная удельная проводимость трещины по горизонтальному сечению зависят от одной и той же величины: объема расклинивания. При фиксированных параметрах пласта и расклинивающего агента можно выбрать оптимальные значения длины и ширины трещины.

Объем расклинивания налагает ограничения на два безразмерных параметра в следующей формуле:

$$I_x^2 C_{fD} = \frac{4k_f x_f w}{kx_e^2} = const \quad (2)$$

$I_x^2 C_{fD}$ можно рассматривать как отношение двух поперечных площадей: отношение площади расклинивания к площади пласта, умноженное на удвоенное соотношение проницаемости. Умножив числитель и знаменатель на толщину продуктивной части пласта h_p , получим:

$$N_{prop} = I_x^2 C_{fD} = \frac{4k_f x_f w}{kx_e^2} = \frac{4k_f x_f w h_p}{kx_e^2 h_p} = \frac{2k_f V_p}{kV_r} \quad (3)$$

где N_{prop} определяется Валко и Экономидесом как безразмерное число расклинивающего агента, представляющее собой взвешенное по проницаемости отношение объема расклинивания к объему пласта, V_p – объем расклинивания (два крыла со дополнительным свободным поровым проемом между частицами

расклинивающего агента) и V_r – объем дренирования, т.е. площадь зоны дренирования, умноженная на толщину продуктивной части пласта.

Разработан удобный алгоритм расчета J_D . На рисунке 3 величина J_D показана как функция безразмерной характеристики проницаемости трещины C_{fD} с параметром I_x . При больших значениях C_{fD} кривые оказываются более пологими, а предельные значения, отображенные на графике как функция соотношения проницаемости, показывают отдачу трещины с «бесконечной» удельной проводимостью.

Безразмерный коэффициент продуктивности трещины J_0

Безразмерная удельная проводимость трещины C_{fD}

Рисунок 3. Расчетный безразмерный коэффициент продуктивности как функция безразмерной удельной проводимости трещины.

Однако Рисунок 3 не обеспечивает явного решения проблемы оптимизации для фиксированного количества расклинивающего агента. На Рисунке 4 даны отдельные кривые, показывающие J_D при фиксированном значении числа расклинивающего агента $N_{\text{пор}}$.

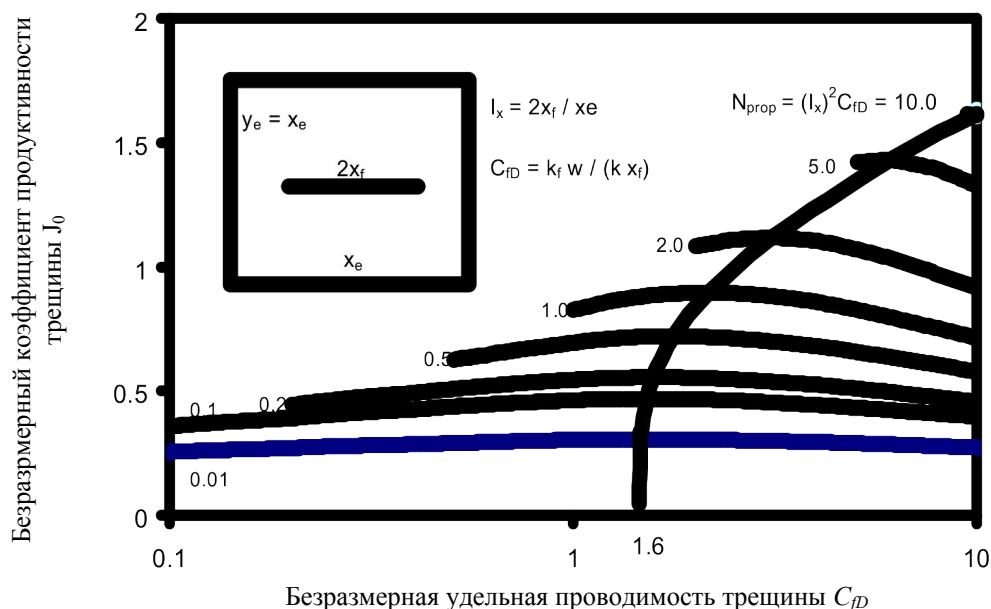


Рисунок 4. Расчетный безразмерный коэффициент продуктивности трещины как функция безразмерной удельной проводимости трещины и числа расклинивающего агента.

При заданном значении N_{prop} достигается оптимальное значение безразмерной удельной проводимости трещины. Это и есть наилучший компромисс между способностью пласта к выдаче потока в трещину и способностью трещины проводить поток в скважину.

При "низком" числе расклинивающего агента (малый объем расклинивающего агента), оптимальное решение имеет место при $C_{FD} = 1.6$. Абсолютный максимум при J_D , равном $6/p$, равен 1,909 (он представляет собой значение коэффициента продуктивности для идеального линейного потока в квадратном коллекторе). При увеличении объема расклинивания оптимальная величина достигается при больших значениях безразмерной удельной проводимости трещины (проницаемость не может превышать единицу).

На Рисунке 4 оптимальные коэффициенты продуктивности соотносятся с кривой в виде стрелки. Начало стрелки соответствует $C_{FD} = \infty$, а конец – $C_{FD} = 1.6$. Из Рисунка 4 также видно, что при $N_{prop} = 1$ мы находимся как раз «на полпути» к теоретически рассчитанной максимальной отдаче.

Обычно при гидроразрыве высокопроницаемых пластов используются расклинивающие агенты с малым числом, не превышающим 0.1.

При N_{prop} , меньших 0.1, оптимальное значение безразмерной удельной проводимости трещины равно 1,6 (при выводе этого значения используется

коэффициент псевдо-скин-эффекта Синко-Лей). При более высоких значениях N_{prop} рекомендуется использование другого соотношения по результатам, представленным на рисунке 4.

В пластах с высокой проницаемостью (выше 50 мд) оказывается фактически невозможным достигнуть числа расклинивающего агента выше 0,1. Число расклинивающего агента при гидроразрыве высокопроницаемых пластов находится в пределах порядка 0,0001 – 0,01. Таким образом, оптимальная безразмерная удельная проводимость трещины всегда равна $C_{fDopt} = 1.6$.

Приведенный ниже метод оптимизации отдачи можно использовать в предположении наличия псевдоустановившегося потока. Этот режим несколько отличается от режима неустановившегося первоначального потока, однако имеющееся различие не играет особой роли в случае гидроразрыва высокопроницаемого пласта, где время установления границ определяется часами и даже, в большинстве случаев, днями. Данное различие является значимым только для пластов с очень малой проницаемостью.

Максимально достижимый безразмерный коэффициент продуктивности является просто функцией числа расклинивающего агента.

$$J_{Dmax}(N_{prop}) = \begin{cases} \frac{1}{0.990 - 0.5 \ln N_{prop}} & \text{при } N_{prop} \leq 0.1 \\ \frac{6}{p} - \exp\left\{ \frac{0.423 - 0.311N_{prop} - 0.089(N_{prop})^2}{1 + 0.667N_{prop} + 0.015(N_{prop})^2} \right\} & \text{при } N_{prop} > 0.1 \end{cases} \quad (4)$$

где:

$$N_{prop} = \frac{2k_f V_p}{k V_r} \quad (5)$$

Для малых чисел расклинивающего агента оптимальная безразмерная удельная проводимость трещины равна 1.6.

Для более высоких N_{prop} оптимальная безразмерная удельная проводимость трещины достигает значения N_{prop} , ожидаемого при проницаемости, близкой к единице. Для C_{fDopt} получаем соотношение

$$C_{fDopt}(N_{prop}) = \begin{cases} 1.6 & \text{при } 0.1 < N_{prop} \\ 1.6 + \exp\left(\frac{-0.583 + 1.48 \ln N_{prop}}{1 + 0.142 \ln N_{prop}}\right) & \text{при } 0.1 \leq N_{prop} \leq 10 \\ N_{prop} & \text{при } N_{prop} > 10 \end{cases} \quad (6)$$

Соотношения J_{Dmax} и C_{fDopt} графически представлены на Рисунке 2.

Мак
симальный
безразмерный

Расклинивающее число, N_{prop}

Опт
имальная
безразмерная

Рисунок 2. Соотношения J_{Dmax} и C_{fDopt} с числом расклинивающего агента в качестве коррелированного параметра.

При известной оптимальной безразмерной удельной проводимости трещины можно определить оптимальные значения длины и ширины трещины:

$$x_{fopt} = \frac{k_f V_f^{0.5}}{C_{fDopt} k h} \quad \text{и} \quad w_{opt} = \frac{C_{fDopt} k V_f^{0.5}}{k_f h} \quad (7)$$

где V_f – объем крыла расклинивающего агента, $V_f = V_p/2$.

Для чисел расклинивающего агента, меньших 0,1, получаем выражение безразмерного коэффициента продуктивности через число расклинивающего агента и безразмерную удельную проводимость трещины.

Эти соотношения получены соотнесением простой кривой с результатами численного метода Синко-Лей и Менга (Cinco-Ley, Meng). Они дают лучшее представление о роли числа расклинивающего агента и безразмерной удельной проводимости скважины. Данные соотношения имеют смысл для чисел расклинивающего агента, меньших 0,1.

Для данного диапазона значений безразмерный коэффициент продуктивности задается формулой:

$$J_D(N_{prop}, C_{fD}) = \frac{1}{-0.629 + 0.5 \ln \frac{C_{fD}}{N_{prop}} + f(C_{fD})} \quad \text{при } N_{prop} < 0.1 \quad (8)$$

где функция Синко-Лей и Саманиего имеет вид

$$f(C_{fd}) = \frac{1.65 - 0.328u + 0.116u^2}{1 + 0.18u + 0.064u^2 + 0.005u^3} \quad \text{где } u = \ln C_{fd} \quad (9)$$

Максимальное значение $J_D(N_{prop}, C_{fd})$, имеющее смысл для $N_{prop} < 0,1$, задается формулой

$$J_{Dmax} = J_D(N_{prop}, 1.6) = \frac{1}{0.990 - 0.5 \ln N_{prop}} \quad (10)$$

которая следует из более общего соотношения для J_{Dmax} .

На основании этих соотношений производится расчет физически оптимальных трещин.

5. Методика и порядок выполнения работ

Алгоритм расчета

Расчет оптимальной трещины выполняется в несколько этапов:

1. Определение количества расклинивающего агента, необходимого для достижения нужного уровня
2. Определение числа расклинивающего агента
3. Определение оптимальной безразмерной удельной проводимости трещины при известном числе расклинивающего агента
4. Определение оптимальных значений длины и ширины трещины исходя из оптимальной безразмерной удельной проводимости трещины и имеющегося расклинивающего агента
5. Определение времени закачки и программы изменения содержания расклинивающего агента для достижения оптимальных размеров.

При известных значениях объема расклинивающего агента, который следует ввести в крыло трещины (V_f), и оптимальной безразмерной удельной проводимости трещины ($C_{fd,opt}$) можно вычислить оптимальные размеры трещины по формулам

(11)

(12)

Следует особо подчеркнуть, что вышеописанный алгоритм обеспечивает оптимизацию чисто физических параметров для максимального увеличения нефтеотдачи при данном объеме расклинивающего агента. Для высокопроницаемых пластов, при разработке которых всегда есть риск потери доходов, эта процедура

экономически оптимальна. Этот метод имеет огромное значение для расчета нужной морфологии трещины, т.е. соотношения ее геометрических параметров. Здесь, разумеется, следует отметить, что возможность практического получения трещины необходимой морфологии будет рассмотрена в других разделах данного сборника.

Пример расчета оптимизации трещины

Пусть нужно произвести гидроразрыв скважины в пласте с $k = 15$ мд, $h = 45$ футов, $ge = 2100$ футов, с 50,000 фунтов расклинивающего агента с $kf = 60,000$ мд.

Используя Уравнения 11 и 12 и полагая оптимальное значение C_{fd} равным 1,6 (это будет показано ниже), получаем оптимальную длину и ширину 90 футов и 0.4 дюйма соответственно. Из Уравнения 5 следует, что N_{prop} равно 0.0038, а это (см. рис. 4) ясно показывает правильность допущения, что оптимальное C_{fd} равно 1,6. Из рисунка 4 и тем более из уравнения 8 следует, что оптимальное значение $J_D = 0,26$. Таким образом, приходим к $sf = -4,3$ и $J_{frac}/J = 2,14$.

6. Содержание отчета и его форма

Отчет должен включать в себя описание поставленной задачи и алгоритма расчета.

Форма представления результатов работы:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Представление алгоритма расчета оптимизации трещин.
3. Представление графиков используемых при расчетах.
4. Выводы, вытекающие из результатов расчета.

7. Вопросы для защиты работы

1. Объясните суть метода Валко-Экономидеса.
2. От чего зависит отдача трещины?
3. Расклинивающие агенты с каким числом используют при гидравлическом разрыве высокопроницаемых пластов?
4. Как определяются оптимальные значения длины и ширины трещины?

Практическое занятие № 3
Подготовка жидкостей перед проведением ГРП.
Контроль качества жидкости

1. Цель и содержание

Все типы воды, используемой при приготовлении технологических растворов для последующей закачки в пласт на месторождениях должны подвергаться полному комплексу анализов. Это касается как воды для приготовления жидкости ГРП, так и составов для кислотных обработок. Замер степени загрязнения механическими или естественными примесями/элементами, отрицательно влияющими на качество геля/жидкости, осуществляется при помощи фотоспектрометра (комплект «Nash» или аналогичный).

В методических указаниях содержатся: информация о принципе подготовки жидкостей перед проведением ГРП и методика контроля смесей жидкостей используемых в технологической схеме проведения ГРП.

2. Теоретическое обоснование

Анализ необходимо проводить на наличие следующих компонентов: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , B^{2+} , Na^{+} , K^{+} , Sr^{2+} , Cl^{-} , CO_3^{2-} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-}) Также необходимо провести разовый лабораторный бактериологический анализ воды из всех используемых источников (фиксация роста бактерий в воде). Результаты анализа должны быть задокументированы в Форме контроля качества для ГРП. Процедура анализа воды установлена API RP 45. Процедура отбора проб приведена в ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».

3. Аппаратура и материалы

Данные исследования относятся ко всем видам обработки, где применяется сшитая жидкость ГРП. Основная цель данных испытаний – подтверждение качества жидкости при каждом ГРП без необходимости проведения аналогичных испытаний при любом изменении забойной температуры и концентрации геля.

При данных исследованиях определяется:

- плотность,

- реология жидкости (включает исследования линейного и сшитого геля, содержащего деструктор на ротационном вискозиметре, позволяющем снимать реологию - вязкость при различных скоростях сдвига и реологические коэффициенты при повышенных температурах и давлениях),

- деструкция (специальная баня для деструкции геля ГРП),

- пескоудерживающая способность по специальной методике.

4. Указания по технике безопасности

Запрещено проводить закачку жидкости без предварительного анализа рецептуры в ротационном вискозиметре, с пробой из источника воды, используемой на кустовой площадке. Предпочтительно использовать ротационные вискозиметры компаний «Брукфилд», «ОФИТ-1000», «Grace», «Chandler» и «Granger». Все ротационные вискозиметры должны проходить ежегодную сертификацию и калибровку с привлечением технического представителя изготовителя. Отчеты о сертификации и калибровке должны быть доступны для проверки Заказчиком.

5. Методика и порядок выполнения работ

Определяются следующие условия тестирования:

- Испытание базовой жидкости (на дистиллированной воде) проводится для всех рецептур жидкостей, добавок, в т.ч. деэмульгаторов, брейкеров, активаторов, сшивателей и стабилизаторов глин в диапазоне +/- 5°C от статической забойной температуры.
- Концентрация брейкера при данном испытании должна составлять проектное значение, рассчитанное для сшитой буферной жидкости («подушки»). Неотъемлемой частью испытаний базовой жидкости является проведение испытаний на чувствительность/отклонение ([4.1.1.3](#)).
- Испытания воды из источника – комплекс испытаний аналогичен проводимым испытаниям базовой жидкости. Испытания проводятся для всех согласованных

источников технологической воды в данном регионе. Неотъемлемой частью испытаний является проведение испытаний на чувствительность/отклонения.

ДО самостоятельно утверждает минимальные значения вязкости жидкости в зависимости от геологических и технологических условий региона, где проводятся работы по ГРП.

Анализ с использованием ротационного вискозиметра проводится в обязательном порядке, если:

- используется новая партия какой-либо химической добавки,
- поменялся источник воды после последнего проведенного анализа,
- изменилась рецептура. Например, если на склад приходит новая партия сшивателя, брейкера или загеливателя, анализ с использованием ротационного вискозиметра проводится обязательно, чтобы проверить реологию жидкости. Рекомендуется проводить анализ добавок с использованием ротационного вискозиметра из новых партий с использованием дистиллированной воды и сравнивать с результатами предыдущих анализов, также проведенных на дистиллированной воде. Однако, при изменении рецептуры или базовой (основной) жидкости, анализ должен проводиться с использованием исходной жидкости,
- по требованию Представителя ДО, задействованного в процессе контроля качества проведения ГРП.

Все испытания с использованием ротационного вискозиметра должны проводиться с применением специального испытательного стакана R1 и вращающейся установки R1-B5X при скорости сдвига 10 сек-1. Данное испытание называется испытанием на стабильность жидкости. Подрядчик обязан провести испытания при скоростях сдвига 75, 10, 170, 270, 360 и 51 сек-1 для каждой рецептуры жидкости и предоставлять по требованию. С целью соблюдения процедуры испытаний на чувствительность к сдвигу, первые 5 минут испытания должны проводиться при скорости сдвига 51 сек-1,

а затем необходимо снижать скорость до 10сек-1 в течение следующих 10 минут. Все испытания на чувствительность к сдвигу должны проводиться при температуре равной (статическая температура на забое +температура на поверхности)/2, но не менее 25°C в летний период и 35°C в зимний период. При проведении теста на чувствительность к сдвигу, интервал записи должен быть установлен на снятие показаний вязкости каждую секунду.

Испытания с использованием ротационного вискозиметра на стабильность должны проводиться при температуре, отличающейся от статической забойной пластовой температуры не более чем на +/- 5°C.

При проведении всех испытаний с использованием ротационного вискозиметра полное значение статической забойной пластовой температуры должно быть достигнуто через 5-10 минут после начала испытания.

6. Содержание отчета и его форма

Результаты всех испытаний заносятся в базу данных химической лаборатории Подрядчика на постоянное хранение с указанием всех номеров партий испытанных реагентов и перечнем проведенных испытаний по всем операциям.

7. Вопросы для защиты работы

Практическое занятие № 4
Выбор проппанта для закачки.
Контроль качества проппанта.

1. Цель и содержание

Выбор проппанта для закачки во время ГРП каждое ДО определяет самостоятельно в зависимости от технологических и геологических условий. Выбор проппанта должен производиться с учетом опыта применения проппантов различных производителей на месторождениях Компании, а так же рекомендаций Компании по выбору производителя размера и типа проппанта, основанные на анализе результатов лабораторных тестов проппантов.

В методических указаниях содержатся: информация о методике выбора проппанта для закачки при ГРП и контроль качества проппанта на протяжении всего цикла ГРП.

2. Теоретическое обоснование

При проведении испытаний необходимо применять ISO 13503-2:2006 «Промышленность нефтяная и газовая. Растворы и материалы для вскрытия продуктивного пласта. Часть 2. Измерение свойств расклинивающих наполнителей, используемых для гидравлического разрыва пласта и заполнения скважинного фильтра гравием».

3. Аппаратура и материалы

Испытания проводимости проппанта должны проводиться в соответствии со стандартом ISO 13503-5:2006 «Промышленность нефтяная и газовая. Растворы и материалы для вскрытия продуктивного пласта. Часть 5. Методики измерения долгосрочной проводимости расклинивающих наполнителей».

4. Указания по технике безопасности

Для проведения каждой работы по ГРП Подрядчик должен предоставить Представителя ДО документацию с результатами анализов /испытаний проппанта в соответствии с ISO 13503-2:2006 и ISO 13503-5:2006.

Также Подрядчик обязан предоставить данные по выборочно проведенному «Краш-тесту», результаты которого должны быть документированы по каждому номеру партии / лота проппанта.

При поставке проппанта должны быть предоставлены результаты испытаний независимых лабораторий СтимЛаб или ФракТек. Испытания должны быть проведены не менее двух раз в календарный год с интервалом в 6 месяцев.

5. Методика и порядок выполнения работ

Условия проведения теста:

- проппант для тестирования,
- Давление 13.78 КПа (2 фунт/фут²),
- раствор для тестирования- 2%-ый раствор KCl ,
- порода для тестирования - Песчаник Штата Огайо,
- температура - 125°C,
- единица измерения проводимости - мд./фут,
- единица измерения проницаемости - Дарси.

Проводятся исследования на определение следующих параметров:

- гранулометрический состав. Замеряется процент оставшихся частиц на каждом сите и поддоне,
- округлость,
- сферичность,
- мутность проппанта,
- предполагаемый удельный вес,
- объемная и насыпная плотность,
- средний диаметр - (микрон),
- растворимость в кислоте керамического проппанта (Раствор 12% HCl/ 3% HF).

Для проппантов с полимерным покрытием применимы все виды испытаний, указанных в [4.1.2.1.1](#), [4.1.2.1.2](#), [4.1.2.1.3](#). Кроме того, результаты следующих тестов

должны быть представлены

1. Типовой тест на потери при прокаливании.

Процедура теста определена в п. 12.3 ISO 13503-2:2006 «Промышленность нефтяная и газовая. Растворы и материалы для вскрытия продуктивного пласта. Часть

2. Измерение свойств расклинивающих наполнителей, используемых для гидравлического разрыва пласта и заполнения скважинного фильтра гравием».

2. Измерение процента доступной для полимеризации смолы.

Примерно 5 г проппанта предварительно нагружают до давления 137895 кПа (20000 psi) для того, чтобы разрушить внешнее защитное покрытие и растворитель мог контактировать с растворимой отверждаемой смолой. Затем проппант высушивается до постоянной массы и взвешивается с точностью до 0,000001 г. Взвешенный проппант помещают в стеклянный сосуд с завинчивающейся пробкой. К нему добавляют 100 мл тетрагидрофурана (ТГФ), сосуд закрывают, и содержимое энергично встряхивают в течение 30 секунд. Содержимое оставляют в покое на 15 часов.

Через 15 часов ТГФ сцеживается, и проппант ополаскивается деионизированной водой. Затем проппант высушивается до постоянной массы и взвешивается с точностью до 0,1 мг. Количество смолы, растворимой в ТГФ, считается как процент от общей массы смолы, полученной при измерении потерь при прокаливании.

3. Совместимость жидкости ГРП и проппанта с полимерным покрытием. Процедура теста установлена в [4.1.1.6](#).

4. Совместимость жидкости ГРП и деструктора. Лабораторные исследования необходимо проводить при температурах 65°C и 90°C, а также при температурах пласта, характерных для каждого ДО.

5. Адсорбция деструктора.

6. Зависимость прочности сцепления от времени спекания проппанта. Данный тест проводится при следующих условиях:

- 24 часа при 0 кПа. (0 psi) при температуре 50°C , 70°C , 90°C соответственно,
- 4, 12, и 24 часа при 6894,7 кПа. (1000 psi) при температуре 50°C , 70°C , 90°C

При поставке проппанта должны быть предоставлены результаты испытаний независимых лабораторий СтимЛаб или ФракТек. Испытания должны быть проведены не менее двух раз в календарный год с интервалом в 6 месяцев.

6. Содержание отчета и его форма

Результаты теста на проводимость и проницаемость предоставляются в диапазонах давлений закрытия трещины ГРП:

Давление, psi	2000	4000	6000	8000	10000	12000
Давление, кПа* 10 ³	13,79	27,58	55,16	68,95	82,74	96,53

7. Вопросы для защиты работы

Практическое занятие № 5

Выбор скважин для проведения гидравлического разрыва пласта.

Расчет ГРП.

1. Цель и содержание

Целью работы является:

1. выбор скважины-кандидата для ГРП;
2. инженерное обеспечение ГРП – расчет гидравлического расчета пласта.

В методических указаниях содержатся: информация о принципе обеспечения комплекса работ по выполнению гидравлического разрыва пласта и составлению унифицированного дизайна ГРП.

2. Теоретическое обоснование

Подбор кандидатов является, вероятно, наиболее критичным этапом всего проекта ГРП. Успех ГРП в очень большой степени зависит от подбора скважины. Например, эффект от ГРП истощенного коллектора может оказаться весьма краткосрочным и неутешительным. Наоборот, такой ГРП на скважине с сильно поврежденной призабойной зоной, в коллекторе с большими запасами может привести к значительному и устойчивому приросту добычи.

Параметры для оценки скважин-кандидатов для ГРП: для корректной оценки скважины-кандидата ГРП требуется минимальный объем данных. Ниже приведен перечень параметров и данных, необходимых для проведения такую оценку.

1. Карта месторождения с указанием:

- 1) расположения скважины-кандидата;
- 2) расположения соседних скважин, включая нагнетательные;
- 3) расположения скважин с выполненными ГРП;
- 4) легендой, дающей возможность рассчитать расстояния до соседних скважин.

2. Данные по добыче прошлых лет:

- 1) графики работы скважины по нефти, воде и газу, динамика давления на устье, данные по всем внутрискважинным работам;
- 2) текущий режим эксплуатации;

- 3) сведения по скважинам после ГРП в районе работ, в т.ч. данные ГИС.
3. Данные (диаграммы) ГИС в открытом стволе:
 - 1) ГК, ПС, пористость, сопротивление и/или данные акустического каротажа;
 - 2) содержать сведения об интервале как минимум на 50м выше и 50м ниже интересующей зоны;
 - 3) на диаграммах должны быть показаны зоны ПВР (в прошлом, настоящие и планируемые в будущем);
 - 4) текущий и планируемый искусственный забой;
 - 5) должна быть показана кровля всех зон.
4. Данные по целевому интересующему и соседним пластам:
 - 1) пластовое давление;
 - 2) пластовая температура;
 - 3) пористость;
 - 4) литология;
 - 5) местонахождение разломов;
- 6 Естественная трещиноватость коллектора.
5. Данные по фильтрационным свойствам пласта, полученные при бурении:
 - 1) модуль Юнга;
 - 2) данные, свидетельствующие о том, будут ли прилегающие зоны являться барьером на пути развития трещины в высоту, или нет;
 - 3) проектные кровля и подошва трещины;
 - 4) требуется изоляция перфорационных отверстий для обеспечения развития трещины в целевой зоне?;
 - 5) представляет ли проблему близкорасположенный водоносный горизонт?
6. Представляет ли проблему вынос проппанта?
7. АКЦ с данными по 50м выше и ниже целевого интервала.
8. Схемы конструкции скважин с указанием расположения интервалов перфорации, высоты подъема цемента, интервалов посадки и диаметров, цементных мостов-пробок, мест выполнения ловильных работ.
9. Сведения по обсадным и НКТ колоннам:
 - 1) диаметры, марки стали, интервалы спуска;

- 2) наличие хвостовика в скважине?;
- 3) диаметр планируемой колонны ГРП?;
- 4) выдержит ли колонна ГРП преждевременный «Стоп»?;
- 5) выдержит ли затруб ожидаемые давления?;
- 6) достаточно ли качество цементирования над предполагаемой высотой трещины?;
- 7) достаточно ли сцепление цементного камня (качество и количество) чтобы избежать смятия обсадной колонны над пакером?;
- 8) можно ли выполнить исследование с применением тетраборнокислого натрия или импульсный нейтронный каротаж для выявления воды в каналах цементного камня?

10. Данные о перфорации:

- 1) тип перфоратора;
- 2) плотность перфорации (отв. на м);
- 3) диаметр и глубина отверстий (мм);
- 4) фазирование (град);
- 5) отношение диаметра к макс. размеру частиц проппанта (меш).

11. Искривление ствола:

- 1) глубина максимальной кривизны ствола;
- 2) отклонение от вертикале на кровле интервала перфорации.

12. Полные данные по эксплуатации скважины.

13. Наземные сооружения.

14. Поддержка проекта со стороны ППД:

- 1) в состоянии ли нагнетательные скважины обеспечить повышенные объемы нагнетания в связи с возросшим отбором нефти?;
- 2) требуется карта (схема) заводнения.

При выполнении ГРП колонна подвергается экстремальным нагрузкам:

Аномальные давления. При выполнении ГРП давление на устье может превышать 680 атм. Очень важно, чтобы ФА была пригодна для работы с такими давлениями

Абразивные составы. Важно защитить ФА от чрезмерной эрозии.

Высокие нагрузки на НКТ и пакер

Высокие нагрузки на обсадную колонну. Обсадная колонна должна выдерживать давления в затрубе, необходимые для выравнивания давлений ГРП в колонне ГРП.

Высокие нагрузки на хвостовик. Хвостовики должны выдерживать высокие забойные давления ГРП.

5. Методика и порядок выполнения работ

По материалам собранным на производственной практике, проанализировать работу скважин, выбрать параметры по которым будут оцениваться скважины-кандидаты, составить сводную таблицу, выбрать скважину-кандидата для проведения ГРП.

6. Содержание отчета и его форма

1. Таблица показателей разработки скважин.
2. График производительности скважин.
3. Сводная таблица параметров оценки скважин.
4. Обоснование выбранной скважины.

Практическое занятие № 6

Подготовка и тестирование оборудования при проведении ГРП.

1. Цель и содержание

Целью работы является: ознакомиться с методиками подготовки и тестирования оборудования при проведении ГРП.

1. Ознакомиться с порядком проведения подготовки и тестирования оборудования.

2. Отработать тестирование аппаратуры.

3. Отработать методику подготовки оборудования.

В методических указаниях содержатся: информация о принципе подготовке и тестирования расходомера жидких добавок, фидеров для подачи сухих добавок, расходомера бендера, гидратационной установки, плотномера.

2. Теоретическое обоснование

Операцию по ГРП рекомендуется проводить в светлое время суток. Если ГРП планируется провести в темное время суток, Подрядчик должен обеспечить достаточное освещение на кустовой площадке при проведении ГРП.

1. Испытание расходомера жидких добавок.

Для осуществления полного контроля расхода жидких добавок с помощью компьютера, установленного в станции управления или на блендере, расход подачи всех добавок должен проходить через расходомер магнитного или кориолисового типа, который установлен на всасывающей линии блендера. Турбинные расходомеры допускаются к применению только в качестве резервного средства измерения. Использование тахометров для расчета расхода при ГРП запрещено.

При использовании гидратационной установки, устанавливаемой в линии перед блендером, для регулирования расхода жидких добавок может применяться расходомер (нагнетательный) на гидратационной установке, однако все насосы подачи жидких добавок должны быть оснащены возможностью регулирования с компьютера.

В случае проведения кислотного ГРП или БОПЗ, расход подачи жидких реагентов, добавляемых в поток в процессе работы, допускается регулировать через расходомер, установленный на нагнетательной или на всасывающей линии. Расход жидких добавок должен регулироваться с расходомера на всасывающей линии только в случае использования каменной соли или прочих отклонителей, которые повлияют на расход чистой жидкости/смеси.

Для получения более точных показаний расхода и объема химических добавок рекомендуется полностью прокачать все выходные линии и манифольды перед замерами объемов химических добавок.

Для получения более точных показаний расхода и объема химических добавок рекомендуется полностью прокачать все выходные линии и манифольды перед замерами уровня.

Шаг 1. Обеспечить подогрев всех добавок до 20°C.

Шаг 2. Выполнить и записать первоначальные показания замеров и объемов всех жидких реагентов.

Шаг 3. Установить рабочий расход насоса (согласно программе проведения ГРП).

Шаг 4. Отсоединить шланг от емкости блендера и присоединить к откалиброванной 20-литровой «ведерной» емкости. Последняя должна быть откалибрована и четко градуирована на 1, 2, 3 литра и так далее до 20 л.

Шаг 5. Приступить к закачке в емкость. Тест проводится в автоматическом режиме. С помощью секундомера засечь время, необходимое для заполнения емкости до уровня отмеченных делений. Для предотвращения влияния первоначального скачка на результат теста, необходимо начинать время записи между делениями 1 и 2 литра.

Погрешность, для измерений, указанных в п.5 допустима в пределах 5%.

Если отклонения превышают 5%, провести повторное испытание.

Если больше 5%, пересмотреть факторы калибровки и проверить исправность оборудования.

Провести повторный тест. При превышении 5%, провести настройку вручную для обеспечения правильной подачи добавки. Расход можно настроить изменением калибровки или с помощью +/- коэффициента (кол-во импульсов на единицу объема). Предпочтительно тарировать расходомер с использованием данного коэффициента.

Провести аналогичную процедуру с запасным насосом подачи химических добавок, повторяя шаги с 1 по 5.

2. Испытание подачи сухих добавок

Все механизмы (фидеры) для подачи сухих добавок (включая запасные) должны быть, откалиброваны перед проведением работ. Все сухие добавки должны добавляться через фидеры, которые оборудованы контролем числа оборотов в минуту (RPM). Контроль осуществляется посредством встроенного в фидер компьютера.

До проведения ГРП взвесить весь брейкер, находящийся на кусте, для определения его количества. Единственным допустимым методом взвешивания является использование весов.

По опыту работы на скважинах, неточности в показаниях шнеков подачи сухой химии возникают при работе на низких концентрациях. Одной из причин неточности является размер самих шнеков – большой диаметр. В этом случае необходимо заменить шнеки в соответствии с минимальными значениями расчетной концентрации подачи брейкера.

3. Испытание расходомера блендера

Запрещено проводить основной ГРП при неисправных расходомерах. Необходимо следить, чтобы отклонения в конечных итоговых показаниях не превышали 5% и колебания скорости закачки во время испытания не превышали 10%. Выполнение данного испытания требует записи показаний на диаграмме. Для этого необходимо наличие 2 емкостей, одна из которых должна быть объемом, 20 м³.

Замерить и записать уровень жидкости в обеих емкостях.

Снять и записать показания обоих счетчиков блендера. Обнулить показания счетчиков перед началом испытания.

Подготовиться к записи данных по каждому расходомеру и печати в виде графика (расход - промежуток времени). Установить шкалу для определения погрешности 10%. Например, если расход равен 1 м³/мин, установить шкалу в диапазоне 0.9 до 1.1.

Счетчики расходомеров:

Показания счетчика расходомера должны быть в пределах 5% погрешности измеренного объема;

не должны давать скачкообразных показателей расходов во время испытания, отклоняющихся от необходимого расхода более чем на 5%.

Если счетчик расходомера показывает более 5% погрешности измеренного объема, на показания расходомера нельзя полагаться, если по диаграмме скорость закачки постоянно колеблется $\pm 5\%$. Т.е. в случае, если заданный расход составляет 1 м³/мин, и он не выдерживается в пределах 0.95 до 1.05 м³/мин, необходимо провести повторное испытание.

4. Циклическое испытание насосов для жидких и сухих добавок блендера и гидратационной установки

После проведения «ведерных тестов» (насосов подачи жидких и сухих добавок), а также расходомеров, калибровки и принятия результатов Представителем ДО, необходимо провести циклическое испытание насосов блендера или гидратационной установки.

Устанавливается следующий порядок проведения испытаний:

Шаг 1. Установить концентрацию на насосах подачи жидкой химии и сухих реагентов аналогичной установленному значению при проведении «ведерных тестов».

Шаг 2. Во время циркуляции технологических емкостей при рабочем расходе и установленными значениями концентраций жидких и сухих добавок в соответствии с дизайном ГРП, снизить расход блендера или гидратационной установки до примерно половины от проектного расхода.

Шаг 3. Зафиксировать время реакции систем подачи сухих и жидких добавок на изменение расхода. Максимально допустимое время реакции на корректировку концентрации составляет ~10 с. Если время отклика превышает 15 с, провести корректировку гидравлических или электронных модулей контроля системы и провести испытание заново.

Шаг 4. Провести аналогичное испытание в обратном порядке, начиная с расхода равного половине проектного расхода и повышая до рабочего расхода.

Примечание: При проведении «ведерных тестов» обязательно регистрируются параметры испытаний в станции контроля.

5. Проверка плотномеров и шнеков

При проведении ГРП и Мини-ГРП, необходимо использовать радиоактивный плотномер, который устанавливается в линии подачи раствора низкого и/или высокого давления. Радиоактивный плотномер должен обеспечивать показания плотности и возможность записи диаграмм и показаний системой записи данных.

Необходимо предоставить документацию по предыдущему ГРП, подтверждающую точность показания плотномеров или шнеков проппанта в пределах 5-ти процентной погрешности.

В качестве подобного документа может выступать диаграмма проведения предыдущего ГРП, при условии использования того же самого оборудования. На диаграмме должны быть представлены данные плотномера, расчетная плотность (чистая жидкость/смесь) и данные шнека для проверки.

6. Требования по обеспечению качества при работе с гидратационной установкой и при замешивании геля в процессе закачки

При использовании метода добавления реагентов в технологическую жидкость в процессе закачки «на лету» должны применяться:

Электронный вискозиметр, работающий в режиме реального времени. Прибор должен иметь цифровые показания и возможность регистрации параметров в станции контроля.

Измеритель pH, работающий в режиме реального времени. Прибор также должен иметь цифровой дисплей и возможность вывода и регистрации параметров в станции контроля.

Термометр, работающий в реальном времени. Прибор также должен иметь цифровой дисплей и возможность вывода и регистрации параметров в станции контроля.

Перед началом проведения ГРП с добавлением реагентов «на лету» требуется проверить и зафиксировать время гидратации геля.

Степень гидратации базового геля ко времени достижения 2/3 от объема НКТ должна оставлять 90-95%.

При использовании Подрядчиком загеливателя на углеводородной основе при подготовке базового полимера, Подрядчику необходимо предоставить Представителю ДО график с указанием соотношения удельного веса загеливателя и требуемой концентрации для получения проектной загрузки геля. При отсутствии графика на объекте проведение ГРП должно быть отложено до его предоставления. Испытания по определению плотности смеси должны проводиться перед проведением каждой операции ГРП.

3. Аппаратура и материалы

- Расходомер жидких добавок.
- Фидеры для подачи сухих добавок.
- Расходомер блендера.
- Счетчики расходомеров.
- Гидратационная установка.
- Плотномер.

4. Указания по технике безопасности

К работам по производству ГРП, КГРП, БОПЗ привлекаются работники, имеющие квалификационное обучение на право выполнения данных видов работ, годные по состоянию здоровья и прошедшие в установленном порядке подготовку (обучение) и проверку знаний (аттестацию) в области промышленной безопасности, охраны труда.

Взаимоотношения в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды между Заказчиком и Подрядчиком определяются [Стандартом Компании №П4-05 СД-021.01 «Требования в области промышленной и пожарной безопасности, охраны труда и окружающей среды к организациям, привлекаемым к работам и оказанию услуг на объектах Компании и арендующим имущество Компании»](#).

При проведении работ по ГРП, КГРП и БОПЗ, Подрядчик должен в обязательном порядке выполнять требования ПБ 08- 624-03 «Правил безопасности в нефтяной и

газовой промышленности», РД 08-435-02 «Положение о порядке организации одновременного ведения работ по бурению, освоению, вскрытию дополнительных продуктивных отложений, эксплуатации и ремонту скважин на кустовой площадке».

5. Методика и порядок выполнения работ

Установить обратный клапан и клапан стравливания давления на основной линии на максимально близком расстоянии от устья.

При проведении всех операций по ГРП устанавливать двойную систему изоляции устья.

Установить дублирующий датчик давления основной линии с возможностью одновременной записи данных обоих датчиков. Датчики устанавливаются по обеим сторонам от обратного клапана.

Оснастить обвязку затрубного пространства неразъемным фланцевым соединением и регулируемым предохранительным клапаном. Установка и опрессовка клапана должна быть записана.

Установить изоляционную задвижку с тройником для стравливания давления на каждом насосном агрегате. Не допускается установка «игольчатых» вентилей для стравливания сшитого геля.

Пробоотборники должны представлять собой двухкрановое устройство, расположенное в зоне наиболее полного образования смеси в миксере.

Оборудовать насосные агрегаты рабочей системой аварийного отключения при превышении давления.

Оснастить всасывающую и нагнетательную линии насосных агрегатов качественными шлангами, выдерживающими до 10 атм. на выходе с блендера.

Расположить технологические емкости на максимально удаленном расстоянии от устья скважины. Оптимальным расстоянием между емкостями и ближайшим насосным агрегатом считается 15 метров (в зависимости от скважинных условий).

Расположить агрегат для затрубного пространства на расстоянии 15 м от устья скважины (в зависимости от скважинных условий).

6. Содержание отчета и его форма

Отчет должен содержать информацию об оборудовании подлежащего опробованию и тестированию и схема расположения оборудования на площадке скважины подлежащей проведению ГРП.

7. Вопросы для защиты работы

1. Объясните методику испытания расходомера жидких добавок.
2. Как проводятся испытания фидеров для подачи сухих добавок?
3. Как проводятся испытания расходомера блендера.
4. По каким этапам проводится испытание насосов и гидратационных установок?
5. Объясните методику проверки плотномеров.

Практическое занятие № 7

Оценка технологической эффективности ГРП.

1. Цель и содержание

Целью работы является:

1. Рассмотреть критерии оценки технологической эффективности ГРП.
2. Выполнить расчет технологических показателей.
3. Сделать вывод о технологической эффективности выполненного ГРП на примере конкретной скважины.

В методических указаниях содержатся: информация о методике оценки качества проведения гидравлического разрыва пласта.

2. Теоретическое обоснование

Оценку гидроразрыва высокопроницаемого пласта можно рассматривать на нескольких различных уровнях, из которых наиболее прагматичным (и чаще всего используемым) является экономическое обоснование (т.е., результаты добычи).

Ценность оценки данных высокопроницаемых ГРП, собираемых в реальном времени, получает всё большее признание. Полные записи данных обработки и цифровые массивы данных теперь в плановом порядке собирают и оценивают как часть анализа проведенной обработки пласта.

Реконструкция и диагностика работ по ГРП постфактум имеет громадный потенциал для улучшения проектирования и выполнения высокопроницаемых ГРП.

Определяем коэффициент утечки из оценки минифрака с использованием минимального числа допущений, минимумом исходных данных и минимальным вмешательством пользователя.

Используя полученный коэффициент утечки, предлагается почти автоматическая процедура для оценки размеров созданной трещины и площадной концентрации проппанта исходя из кривой забойного давления, зарегистрированной во время выполнения высокопроницаемого ГРП. Эта процедура (под названием «анализ угловых коэффициентов») далее изложена в отдельном разделе как теоретическая

основа и важный компонент для оценки данных реального времени в высокопроницаемом ГРП.

Полученные размеры трещины и площадная концентрация проппанта затем переводятся в эквивалентные протяженность и проводимость трещины. Фактическая работа скважины анализируется с использованием процедур анализа испытаний скважин, и эти результаты сравниваются с результатами анализа угловых коэффициентов.

Проведение вышеописанной процедуры для среза обработок в данном томе управляющих данных приводит к получению банка данных, который улучшает предсказуемость и результаты последующих высокопроницаемых ГРП.

В настоящее время, похоже, в промышленности имеется тенденция поддерживать совместные работы и способствовать взаимному обмену информацией. Вышеописанная процедура предоставляет логически последовательную (хотя и не единственную) концепцию для сравнения данных из различных источников по высокопроницаемым ГРП с использованием единой методологии и с наименьшими затратами.

Испытания скважин после проведения высокопроницаемых ГРП

Для оценки после проведения работ всё большее значение приобретают температурный каротаж и различные методы картирования трещины. Однако, с точки зрения будущей продуктивности скважины, намного более важным является анализ неустановившихся давлений. Работу скважины с вертикальной трещиной в условиях псевдостационарного притока исследовали Мак-Гвайр и Сикора [McGuire and Sikora, 1960] с использованием физического аналога (электрического тока). Аналогичную работу для газовых скважин провели ван Пооллен и др. [van Poollen et al., 1958]. Для «нестационарного» случая целая серия работ был инициирована Грингартеном и Рейми [Gringarten and Ramey, 1974] и продолжена Синко-Леєм и др. [Cinco-Ley et al., 1978]. Они прояснили концепции трещины с бесконечной проводимостью, трещины с однородной плотностью потока, а также трещины с конечной проводимостью. С точки зрения пласта, рассматривались коллекторы с двойной пористостью, многослойные пласты, а также несколько различных типов геометрии границ. В литературе задокументированы типичные режимы течения (линейный в трещине, билинейный,

псевдорадимальный), которые обсуждались выше. Рассмотрены были также нелинейные эффекты (отклонения от закона Дарси).

Анализ неустановившихся давлений для скважин с высокопроницаемым ГРП начинается с билогарифмического диагностического графика, в том числе с графика производной давления. Когда выделены различные режимы течения, можно использовать специализированные графики для получения характеристик созданной трещины. В принципе, длину и/или проводимость трещины можно определить, используя предварительное знание проницаемости. Однако для высокопроницаемых ГРП (а фонд таких скважин относительно велик) диагностика по неустановившимся давлениям и анализ этих давлений оказались несколько неэффективными. Зачастую на диагностическом графике бывает трудно выявить выраженные характеристики существующей трещины. По сути дела, скважина зачастую ведет себя как слабо поврежденная, нестимулированная скважина. Высокопроницаемый ГРП часто считают успешным, если большой положительный скин порядка +10 или более уменьшился до величины в диапазоне от +1 до +4. Эти (всё еще положительные) скин-факторы создают наибольшую проблему для оценки обработки.

Это очевидное несоответствие между теорией и практикой относили за счет нескольких факторов, некоторые из которых хорошо задокументированы и понятны, а некоторые другие до сих пор остаются на уровне гипотез:

Факторы, вызывающие уменьшение кажущейся проницаемости трещины. Наиболее знакомым фактором, уменьшающим кажущуюся проницаемость проппантной набивки, а следовательно, и проницаемости трещины, является повреждение проппантной набивки. Уменьшение проницаемости, вызываемое остатками загущенной жидкости и дроблением проппанта, хорошо понятно. Поскольку эти явления существуют в любой трещине, они не могут быть основной причиной указанного расхождения в высокопроницаемых ГРП. Отклонение течения от закона Дарси в трещине также хорошо понятно. Разделение скина, не зависящего от дебита, от составляющей, изменяющейся с дебитом, при помощи испытания на разных дебитах является стандартной практикой. Влияние изменения фаз в трещине труднее напрямую описать количественно.

Факторы, уменьшающие кажущуюся ширину. Вдавливание проппанта в рыхлую породу теперь хорошо задокументировано в литературе (например, [Lacy et al., 1996]).

Влияние скина на поверхности трещины. Два источника этого явления — это остаток фильтрационной корки и зона проникновения полимера. Иногда долгое время очистки (уменьшение скин-эффекта) стимулированной скважины рассматривают как косвенное доказательство такого повреждения. Принято, что жидкости с линейными полимерами глубже проникают в пласт и, следовательно, вызывают более сильное повреждение поверхности трещины, как обсуждается в работе [Mathur et al., 1995].

Анизотропия проницаемости. Хотя анизотропия проницаемости имеет лишь ограниченное влияние на псевдорadiaльное течение, неустановившийся режим течения на ранних временах в стимулированной скважине очень чувствителен к анизотропии. Этим фактом зачастую пренебрегают, характеризуя скважину единственным скин-эффектом.

5. Методика и порядок выполнения работ

В пластах низкой проницаемости испытание скважины до ГРП не практикуется, поэтому, как правило, информация о проницаемости является ограниченной. В этом случае снятие кривой восстановления давления (КВД) в скважине, в которой только что проведен ГРП, предназначено для определения проницаемости и размеров трещины, одновременно. К сожалению, это некорректно поставленная задача, в том смысле, что многие различные комбинации этих двух неизвестных могут давать правдоподобное решение. В высокопроницаемых пластах проницаемость обычно известна заранее, и основной целью испытания после ГРП является оценка созданной трещины.

Для целей испытания скважины можно рассматривать пласт бесконечных размеров. Поведение в нестационарном режиме скважины, пересеченной трещиной конечной проводимости, было очень хорошо описано Синко-Леєм и его соавторами [Cinco-Ley et al., 1978, 1981]. На рис. 10-4 показан билогарифмический диагностический график зависимости безразмерного давления от безразмерного времени, параметром является безразмерная проводимость трещины.

В билинейном режиме течения, когда поток определяется свойствами как пласта, так и трещины, безразмерное давление можно выразить как

$$p_D \gg \frac{p}{G(5/4)\sqrt{2C_{fD}}} t_{Dxf}^{1/4} \quad (1)$$

где t_{Dxf} — безразмерное время, а полудлина трещины есть характеристический размер.

Рисунок 2. Сейсмическое прослушивание является мощным инструментом диагностирования трещин.

Соответственно, этот режим притока характеризуется угловым коэффициентом $1/4$ на билогарифмическом графике давления и графике производной давления.

Когда на диагностическом графике испытания скважины выделен такой режим, можно построить специализированный график давления от корня четвертой степени из времени. Угловым коэффициент m_{bf} , этой (подобранной) прямой представляет собой комбинацию свойств пласта и трещины.

$$m_{bf} = \frac{p}{2\sqrt{2}G(5/4)\sqrt{C_{fD}}} \frac{Bm}{\rho k h} \frac{q}{c_t x_f^2} \frac{1}{\phi} = 0.390 \frac{Bm^{3/4} q}{h f^{1/4} c_t^{1/4} \phi^{1/4} k^{1/2} w^{1/2}} \quad (2)$$

Его можно использовать для получения одной или другой величины, или же их комбинации, в зависимости от имеющейся информации. Как ясно видно из приведенного выше уравнения, из этого режима невозможно получить одновременно проницаемость пласта и проводимость трещины. Зная проницаемость пласта, из углового коэффициента можно определить проводимость трещины ($k_f \cdot w$), но линейные размеры трещины — нельзя.

Мы предлагаем принимать для хорошо спроектированного и выполненного ГРП безразмерную проводимость трещины $C_{fD} = 1.6$, а затем определять эквивалентную проводимость трещины из уравнения 2 и рассчитывать эквивалентную длину трещины:

$$x_{feq} = \frac{0.308 Bq}{m_{bf}} \frac{m^{3/4}}{k^{3/4} c_t^{1/4} f^{1/4}} \frac{\ddot{o}}{\varnothing}^2 \quad (3)$$

Сопоставление эквивалентной длины трещины с проектной длиной может дать ценную информацию об успехе операции по гидроразрыву пласта.

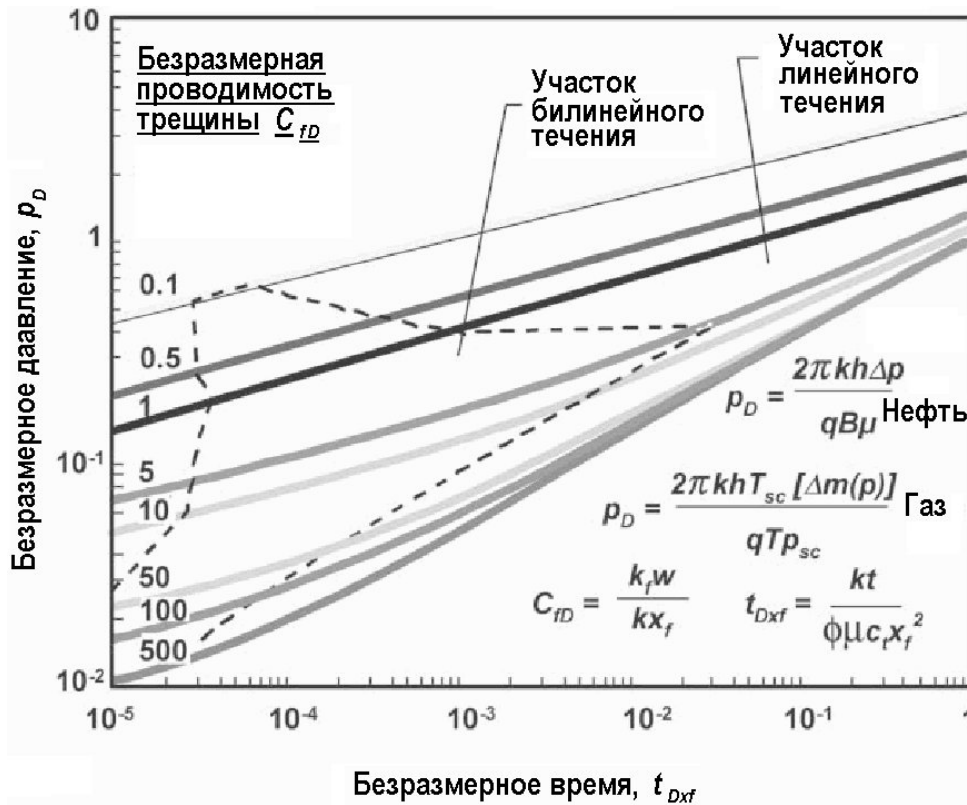


Рисунок 3. Билогарифмический диагностический график для вертикальной скважины с гидроразрывом.

Фактический размер трещины можно также определить из последующего линейного режима в пласте или псевдорadiaльного режима течения на более поздних временах. К сожалению, линейный режим в пласте зачастую бывает слишком ограниченным по продолжительности, чтобы его можно было различить, а псевдорadiaльный режим течения может отсутствовать из-за краевых эффектов.

Для линейного режима в пласте приближенное решение такое:

$$p_i - p_{wfs} = \frac{2pmB}{kh} \sqrt{\frac{kt}{\phi \mu c_t x_f^2}} \frac{\ddot{o}}{\varnothing}^{1/2} \quad (4)$$

Поэтому полудлину трещины можно получить из углового коэффициента специализированного графика давления в функции корня четвертой степени из времени согласно уравнению:

$$x_f = \frac{11.14}{m_{ff}} \frac{qB}{h} \frac{\alpha m}{c_f c_t k} \frac{\sqrt[4]{t}}{\sqrt[4]{\phi}} \quad (5)$$

На этот режим притока (если он существует) проводимость трещины не влияет.

6. Содержание отчета и его форма

Отчет должен содержать расчет технологических параметров гидравлического разрыва пласта.

7. Вопросы для защиты работы

1. С какой целью проводится оценка эффективности ГРП?
2. Какие параметры оценивают технологическую эффективность ГРП?
3. На каком этапе выполняется оценка эффективности ГРП?

Литература

1. Хавкин А.Я. Классификация технологий воздействия на нефтяные и газовые пласты // Повышение нефтеотдачи пластов: Тр. Междунар. технолог. симп. М., 2002.- С. 175-180.
2. Жданов С.А. Применение методов увеличения нефтеотдачи пластов: состояние, проблемы, перспективы // Нефтяное хозяйство. 2001. -№ 4. -С. 3840.
3. Ибрагимов Л.Х. Интенсификация добычи нефти / Л.Х. Ибрагимов, И.Т. Мищенко, Д.К. Челоянц. М.: Наука, 2000. - 414 с.
4. Каневская Р. Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта. -М.: Недра, 1999.-213 с.
5. Константинов С.В. Техника и технология проведения гидравлического разрыва пластов за рубежом / С.В. Константинов, В.И.Гусев // Обзорная информ. Сер. Нефтепромысловое дело. 1985. - Вып. 8.-61 с.
6. Дияшев И.Р. Супер-ГРП на Ярайнерском месторождении / И.Р. Дияшев, А.А. Смаровозов, М.Р. Гиллард // Нефтяное хозяйство.-2001.-№ 7. -С.44-48.
7. Музипов Х.Н. Интенсификация притоков нефти с помощью акустических преобразователей шума / Х.Н. Музипов, Ю.А. Савиных // Ремонт скважин и повышение нефтеотдачи: Материалы 2-й Междунар. практ. конф. -М., 2005. С. 35-38.

Приложение 1

B_o	=	коэффициент пластового объема нефти, RB/STB
b_s	=	ширина повреждения (закупорки) трещины, фут
C_{fD}	=	безразмерная удельная проводимость трещины
h	=	толщина пласта, фут
h_p	=	толщина продуктивной части пласта, фут
h_f	=	высота пласта, фут
I_x	=	коэффициент распространения, вычисляется для квадратной зоны дренирования
I_{ani}	=	индекс анизотропии
J	=	коэффициент продуктивности скважины, BOPD/футов на кв. дюйм
J_D	=	безразмерный коэффициент продуктивности скважины
k	=	фактическая проницаемость пласта, мд
k_H	=	проницаемость в горизонтальном направлении, мд
k_v	=	проницаемость в вертикальном направлении, мд
k_f	=	фактическая проницаемость пачки расклинивающего агента, мд
k_s	=	проницаемость зоны повреждения (закупорки)
N_{prop}	=	число расклинивающего агента
$\bar{p}$	=	среднее пластовое давление, футов на кв. дюйм
p_{wf}	=	гидродинамическое забойное давление, футов на кв. дюйм
q	=	дебит нефтяной скважины, STB/D
q_i	=	скорость закачивания жидкости, баррелей в минуту
r_p	=	коэффициент проницаемости по площади
r_w	=	радиус скважины, фут
r'_w	=	эквивалентный радиус скважины в результате гидроразрыва, фут
R_f	=	радиус образованной трещины, фут
s_f	=	фактор псевдо-скин-эффекта в результате гидроразрыва
V_p	=	объем расклинивающего агента, включающий два крыла в продуктивной части
пласта, фут ³		
V_r	=	объем дренирования: чистая высота по площади дренирования, фут ³
x_f	=	полудлина трещины, фут
x_e	=	размеры площади работ в направлении x
y_e	=	размеры площади работ в направлении y
w	=	ширина трещины, заполненной расклинивающим агентом, фут
$\checkmark_l$	=	переводной коэффициент (для полевых блоков 887.22)
$\frac{\mu}{\mu_p}$	=	пористость пачки расклинивающего агента, фракция
μ	=	вязкость пластового флюида, сантипуаз

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

«Организация самостоятельной работы студентов»

для дисциплины

Инновационные технологии интенсификации притока углеводородов

для студентов направления подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Ставрополь, 2026

Методические рекомендации предназначены для студентов вуза «Северо-Кавказский федеральный университет»

Цели методических рекомендаций:

1. Методическое сопровождение процесса введения и реализации требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (далее ФГОС ВО), помощь при разработке рабочих учебных программ дисциплин и профессиональных модулей основной образовательной программы (далее ОП).

2. Создание в образовательном учреждении учебно-методического обеспечения образовательного процесса.

Методические рекомендации определяют сущность самостоятельной работы студентов в вузе, её назначение, планирование, формы организации и виды контроля.

Содержание

1. I. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО	52
2. II. Назначение и виды самостоятельной работы студентов	53
3. III. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями	54

I. I. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО

1.1. ФГОС раздел: «Требования к условиям реализации ОП»:

– Требования к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы подготовки магистра, к условиям ее реализации и срокам ее освоения определяются настоящим федеральным государственным образовательным стандартом;

– основная образовательная программа подготовки магистра состоит из дисциплин общенаучного и профессионального циклов, состоящих из базовой и вариативной частей и дисциплин по выбору;

– максимальный объем учебной нагрузки студента устанавливается 54 часа в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы.

Во время самостоятельной подготовки обучающиеся должны быть обеспечены доступом к сети Интернет. Реализация основной образовательной программы подготовки магистра должна обеспечиваться доступом каждого студента к библиотечным фондам и базам данных, формируемым по полному перечню дисциплин основной образовательной программы из расчета обеспеченности учебниками и учебными пособиями не менее 0.5 экземпляра на одного студента. Библиотека вуза должна иметь достаточное количество современных учебников и учебных пособий по всем циклам дисциплин и постоянно восполняться научной литературой и периодическими изданиями нефтегазового профиля

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение:

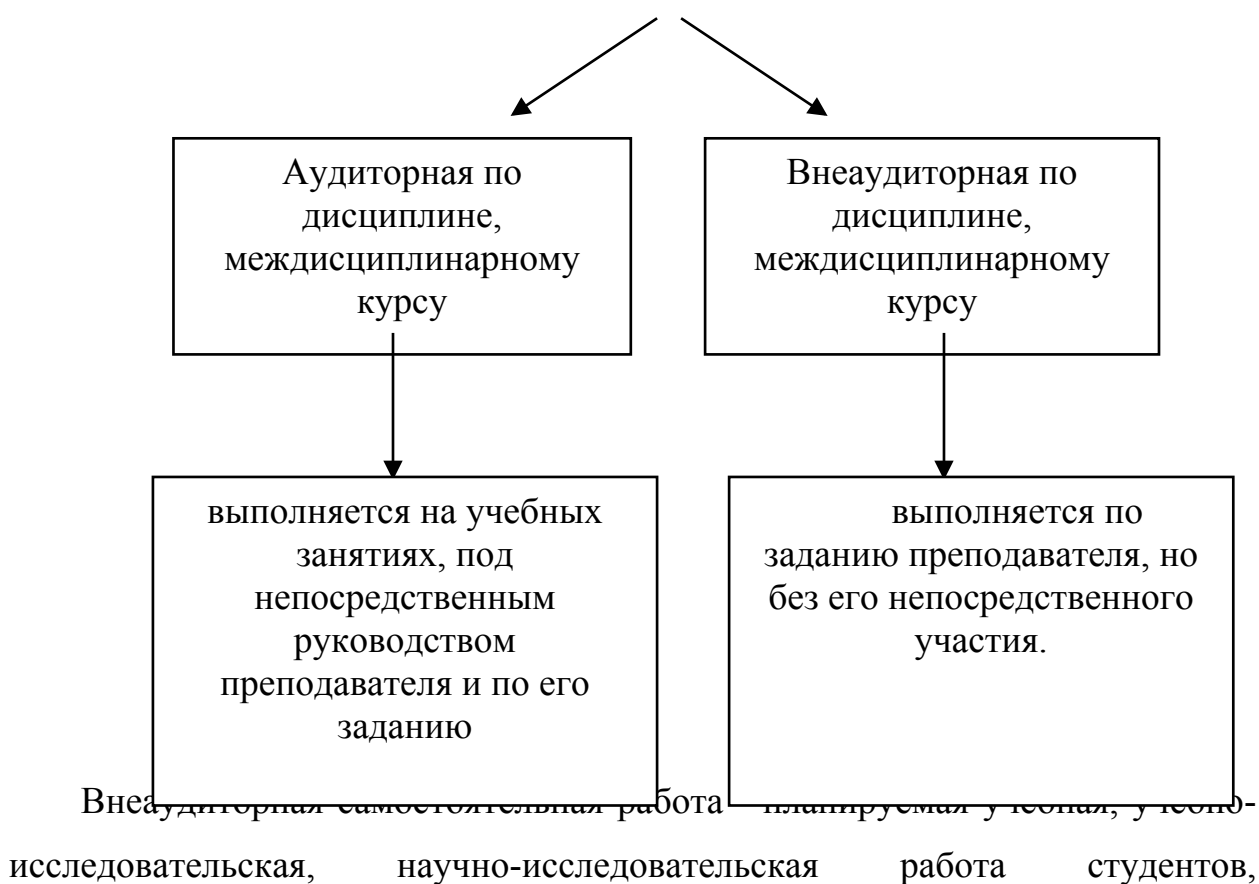
- в рабочем учебном плане – в целом по теоретическому обучению, каждому из циклов дисциплин;
- в рабочих программах учебных дисциплин циклов дисциплин с распределением по разделам или конкретным темам.

II. II. Назначение и виды самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитию исследовательских умений.

В учебном процессе ОУ выделяются два вида самостоятельной работы:



выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

III.

IV. III. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями.

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы

1. Просмотр и проверка выполнения самостоятельной работы преподавателем.
2. Самопроверка, взаимопроверка выполненного задания в группе.
3. Обсуждение результатов выполненной работы на занятии.
4. Тестирование.
5. Письменный опрос.
6. Устный опрос.
7. Индивидуальное собеседование.
8. Коллоквиум.
9. Отчет о проделанной работе.
10. Защита рефератов или курсовой работы.
11. Творческий конкурс.
12. Интернет - конференции.
13. Контрольная работа.

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- формирование набора из общекультурных и профессиональных компетенций будущего магистранта;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

Содержание внеаудиторной самостоятельной деятельности студентов

Методические указания для студентов по выполнению самостоятельной работы:

1. Подготовка к лекциям
2. Подготовка к практическим занятиям
3. Решение задач. Примерная тематика:
 1. Разработка малопродуктивных нефтяных месторождений
 2. Технологии для разработки низко проницаемых пластов
 3. Инновационная система разработки малопродуктивных нефтяных месторождений

- 4.Дополнительные элементы инновационной системы
- 5.Адаптивная система разработки нефтяных месторождений
- 6.Эффективности применения полисила в нагнетательных скважинах
- 7.Технологии нефтеизвлечения из залежей с трудноизвлекаемыми запасами нефти
- 8.Объединение пластов в эксплуатационный объект
9. Классификация нефтяных пластов по среднему коэффициенту продуктивности скважин
- 10 Критерий рациональности объединения нефтяных пластов один общий эксплуатационный объект
- 11.Определение продуктивности малопродуктивных пластов
- 12.Инновационная система разработки нефтяных месторождений

Рекомендуемая литература.

Основная литература:

1. Лихушин А.М. Гидродинамические методы повышения эффективности строительства скважин в неустойчивых породах. М.: [б. и.], 2012. – 163 с.
2. Воробьев А.Е., Малюков В.П. Газовые гидраты. Технологии воздействия на нетрадиционные углеводороды. Учебное пособие. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: РУДН, 2009. - 289 с.

Дополнительная литература:

1. Хавкин А.Я. Нанотехнологии в добыче нефти и газа. Научное пособие - М.: Нефть и газ, изд.2, 2008. - 171с.
2. Ибрагимов Л.Х. Интенсификация добычи нефти / Л.Х. Ибрагимов, И.Т. Мищенко, Д.К. Челоянц. М.: Наука, 2000. - 414 с.
3. Прострелочно-взрывные работы в скважинах: [монография] / В. В. Попов, О. Е. Аксютин, С. А. Варягов, А. Я. Третьяк. - Новосибирск : СО РАН, 2009. - 204 с. : ил. - ISBN 978-5-7692-1066-2
4. Кутузов, Б. Н. Методы ведения взрывных работ : учебник / Б. Н. Кутузов, Ч. 2, Взрывные работы в горном деле и промышленности. - М. :

Мир горной книги : Горная книга: Изд-во МГГУ, 2008. - 512 с. : ил. - (Взрывное дело). - Библиогр.: с. 407-408. - Прил.:

5. Комащенко, В. И. Взрывные работы: учебник для студентов вузов, обучающихся по спец. "Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых" / В. И. Комащенко, В. Ф. Носков, Т. Т. Исмаилов. - Москва : Высш. шк., 2007. - 438, [1] с. : ил., табл.

6. Жданов С.А. Применение методов увеличения нефтеотдачи пластов: состояние, проблемы, перспективы // Нефтяное хозяйство. 2001. -№ 4. -С. 3840.

7. Хавкин А.Я. Классификация технологий воздействия на нефтяные и газовые пласты // Повышение нефтеотдачи пластов: Тр. Междунар. технолог. симп. М., 2002.-С. 175-180.

8. Музипов Х.Н. Интенсификация притоков нефти с помощью акустических преобразователей шума / Х.Н. Музипов, Ю.А. Савиных // Ремонт скважин и повышение нефтеотдачи: Материалы 2-й Междунар. практ. конф. -М., 2005. С. 35-38.