

ЛЕКЦИЯ 9

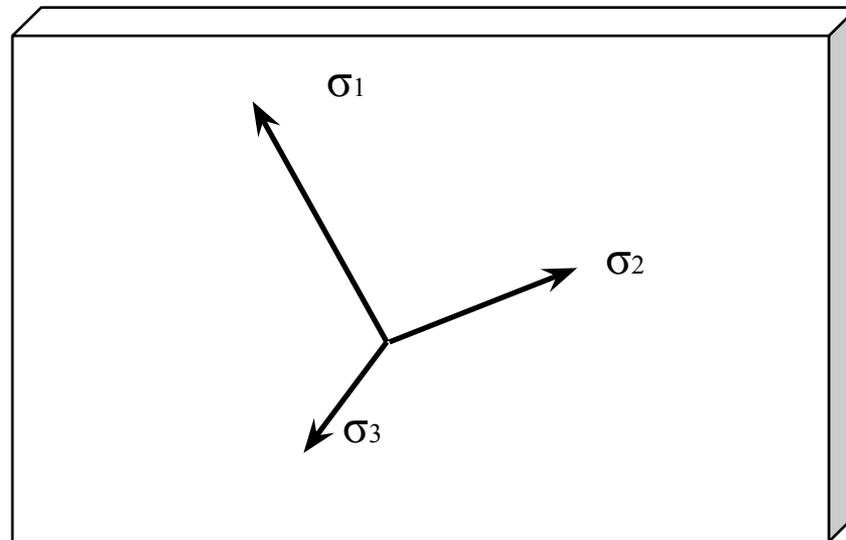
ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАЗРЫВ ПЛАСТА

Методы искусственного воздействия

- 1. **Гидрогазодинамические** (ППД; ГРП; ГПП; волновое, вибрационное, имплозионное воздействие)
- 2. **Физико-химические** (КО; воздействие растворителями; обработка ПЗС растворами ПАВ и ингибиторами солеотложений (гидрофобизаторами))
- 3. **Термические** (электропрогрев, паротепловые обработки, прокачки горячей нефти)
- 4. **Комбинированные** (ТКО; ТГХВ; ГКРП; повторная перфорация в специальных растворах кислоты, ПАВ, растворителей; термоакустическое воздействие; ЭГВ; ВПГ)

ГРП – физический разрыв породы

- за счет закачки жидкости под давлением, превышающим напряжения породы на забое
- Состояние напряжения в пласте определяется тремя основными напряжениями



Напряженное состояние пород

характеризуется

- **вертикальным** и **горизонтальным** напряжением

$$\sigma_1 = P_z = \rho_n \cdot g \cdot H$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = P_{zz} = \lambda \cdot \rho_n \cdot g \cdot H$$

ρ_n — **плотность горных пород**; H — **глубина залегания пласта**;

$$\lambda = \frac{\nu}{1 + \nu}$$

λ — **коэф. бокового распора** (ф. А.Н. Динника):

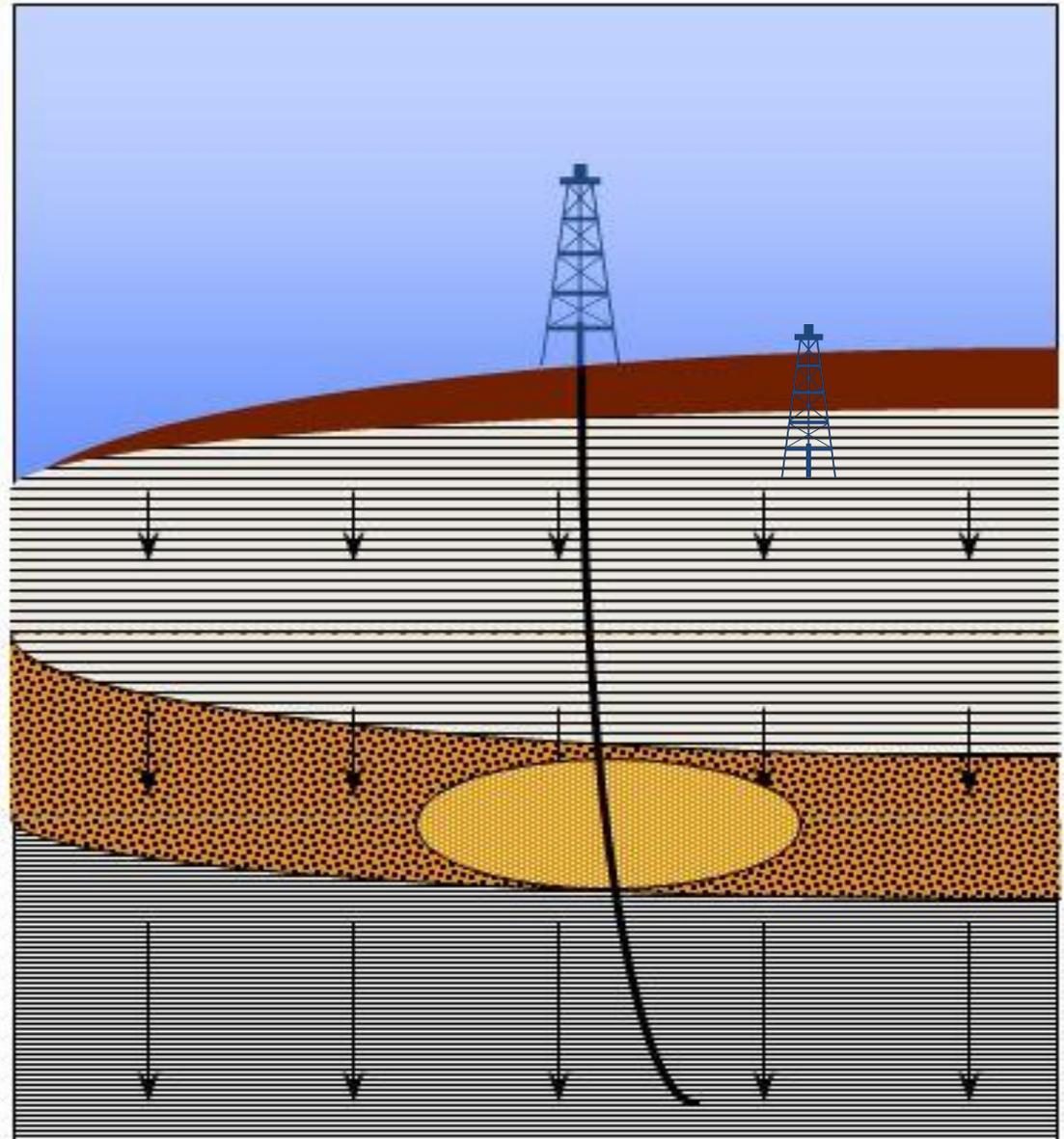
ν — **коэффициент Пуассона** (зависит от продольных и поперечных деформаций породы)

- для песчаников и известняков $\nu = 0,2-0,3$
- для упругих пород $\nu = 0,25-0,43$
- для пластичных горных пород (глина, глинистые сланцы, каменная соль) $\nu = 0,5$ вследствие чего $\lambda \rightarrow 1$

Горное давление

нагрузка **слоев,**
залегающих над горной
породой: **22.6 кПа/м**

На глубине более 300 м эта нагрузка обычно выше двух других горизонтальных напряжений и трещина получается вертикальной



Азимут трещины
определяется

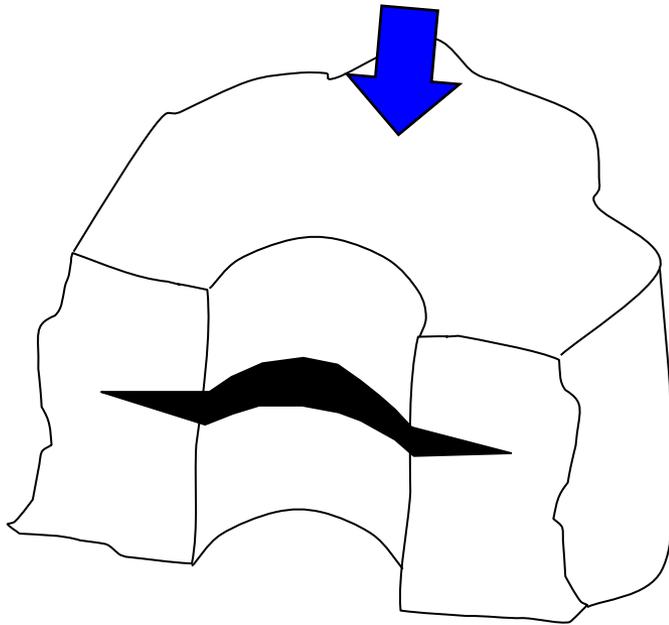
амплитудой **2 основных
горизонтальных
напряжений**

**Трещина всегда
перпендикулярна
минимальному
напряжению**



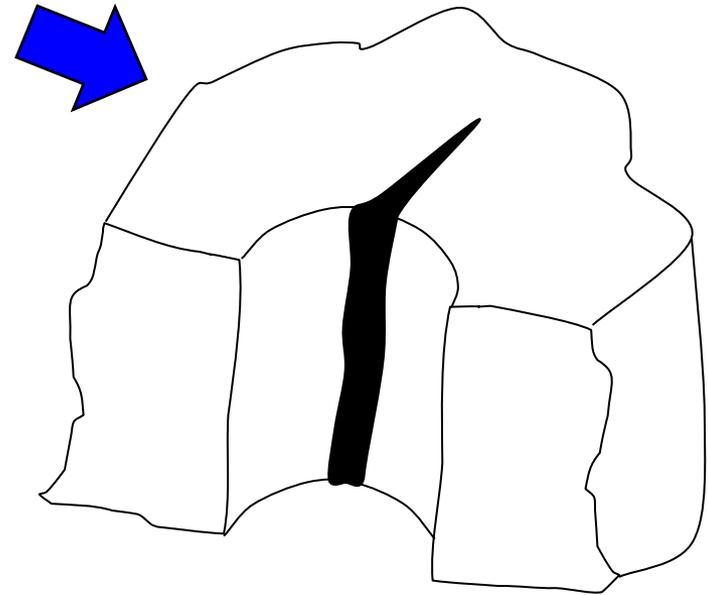
Принцип наименьшего сопротивления

Наименьшее основное напряжение



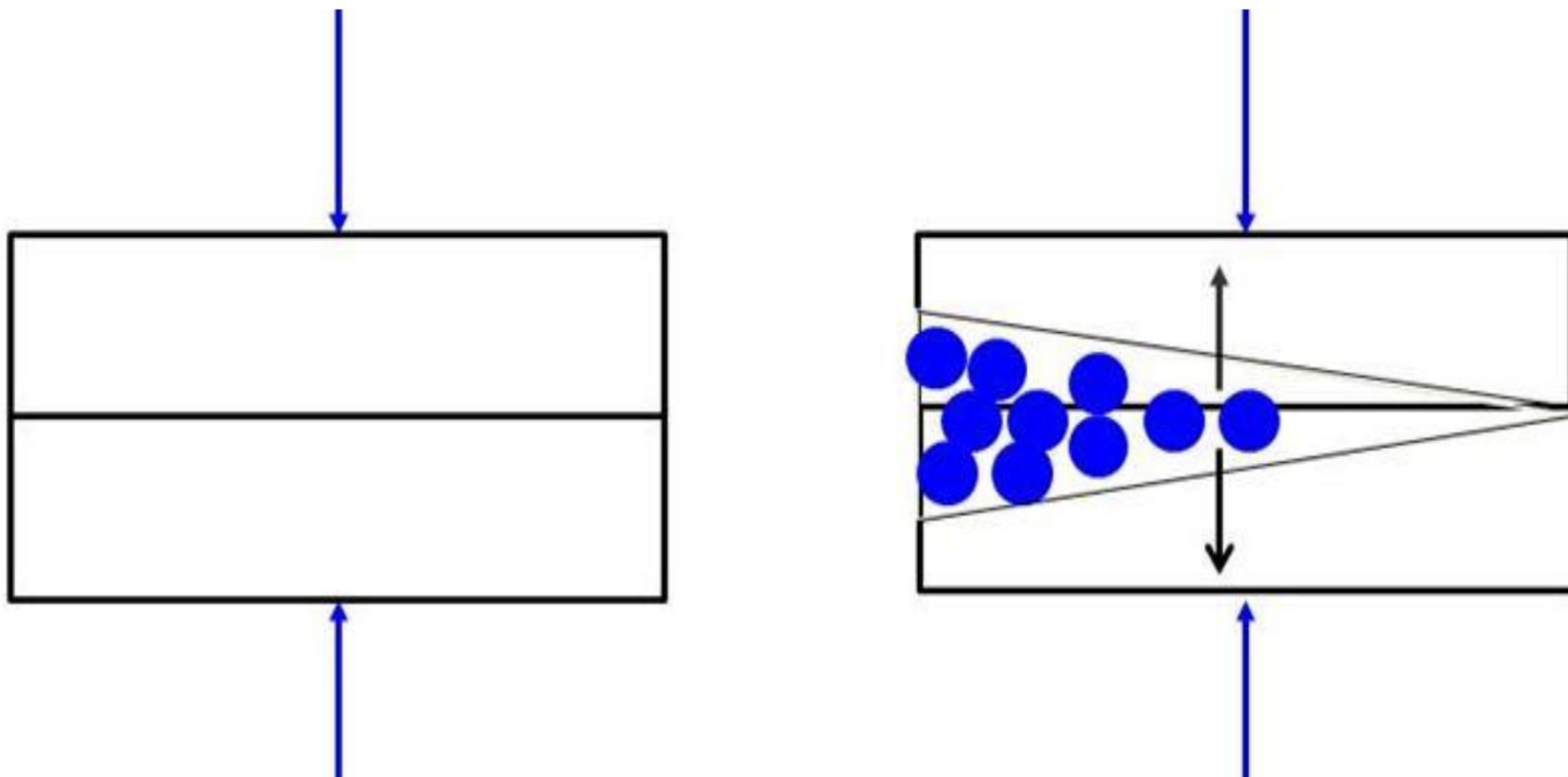
Горизонтальная трещина

Наименьшее основное напряжение



Вертикальная трещина

Необходимость в закрепляющем агенте



После прекращения закачки, напряжения породы закрывают трещину

Наполнитель не дает трещине

закраться

Проектирование технологии ГРП СВОДИТСЯ

- к оценке давления разрыва пласта и рабочего давления агрегатов
- к расчету технологических параметров и регламентов закачки жидкости разрыва и жидкости развития трещины
- к определению необходимого количества техники

Моделирование и проектирование ГРП производится с использованием программного комплекса «Майер»

Давление разрыва горных пород зависит от:

- **горного давления P_g**
- **пористости, проницаемости ПЗС и наличия микротрещин**
- **прочности и упругих свойств горной породы**
- **структуры порового пространства**
- **свойств жидкости разрыва**
- **состава и геологического строения объекта, наличия глин**
- **технологии проведения ГРП**

Во многих случаях $P_p < P_g$

Значения давлений разрыва

находятся в пределах между величинами **полного горного и гидростатического давлений**

для скв. до 1000 м $P_r = (1,74-2,57) P_{ст.}$

для скв. >1000 м $P_r = (1,32-1,97) P_{ст.}$,

где $P_{ст}$ – гидростатическое давление столба жидкости, высота которого равна глубине залегания пласта

При глубинах менее 1000 м P_r ближе к горному давлению, при больших глубинах – к гидростатическому.

Условие достижения величины

давления разрыва

- **скорость закачки жидкости должна опережать скорость поглощения жидкости пластом**
- В случае низкопроницаемых пород используют в качестве жидкости разрыва жидкости невысокой вязкости при ограниченной скорости их закачки
- Если породы достаточно хорошо проницаемы, то при использовании маловязких жидкостей закачки требуется большая скорость закачки; при ограниченной скорости закачки необходимо использовать жидкости разрыва повышенной вязкости
- Если ПЗС представлена коллектором высокой проницаемости, то применяют большие скорости закачки и высоковязкие жидкости

Признаки момента образования трещины

- в монолитном коллекторе появляется излом на зависимости «объемный расход жидкости закачки — давление закачки» и **значительно снижается давление закачки**
- Раскрытие уже существовавших в ПЗС трещин характеризуется плавным изменением зависимости «расход — давление», но снижения давления закачки не отмечается
- **В обоих случаях признаком раскрытия трещин является увеличение коэффициента приемистости скважины**
- раскрытие естественных трещин достигается при существенно меньших давлениях закачки, чем это происходит в монолитных породах

Состав оборудования при ГРП

- Насосные агрегаты АНА-105М -2 шт.
- Насосные агрегаты ЦА-320 -1 шт.
- Манифольдный модуль IS-320 -1 шт.
- Блок управления и сбора данных ES-22 ACD - 1 шт.
- Смесительный агрегат MS-60 -1 шт.
- Емкостные системы -2 шт.
- Устьевое оборудование -1 компл.
- Насосные агрегаты СИН-31 -2 шт.

рабочие жидкости при ГРП:

а)жидкость разрыва

**б)жидкость с
наполнителем**

в)продавочная жидкость

Требования к рабочим жидкостям при ГРП

- 1) не должны уменьшать проницаемость ПЗС**
- 2) не должны вызывать отрицательных ф-х реакций с породой или с пластовыми флюидами**
- 3) не должны содержать посторонних механических примесей**
- 4) должны иметь стабильную вязкость и низкую температуру застывания в зимнее время**
- 5) должны быть легкодоступными, недефицитными и недорогостоящими**

Жидкости разрыва

в добывающих скважинах

- дегазированная нефть
- загущенная нефть, нефтемазутная смесь
- гидрофобная нефтекислотная эмульсия
- гидрофобная водонефтяная эмульсия
- кислотнo-керосиновая эмульсия

в нагнетательных скважинах

- загущенная вода (крахмалом, ПАА, ССБ, КМЦ)
- загущенная соляная кислота (смесь концентрированной соляной кислоты с ССБ)

Требования к жидкости с наполнителем

должна эффективно заполнить трещины наполнителем

- **высокая удерживающая способность** (исключает возможность оседания наполнителя на устье, в НКТ, на забое скважины)
- **низкая фильтруемость** (предотвращает фильтрацию жидкости с наполнителем в стенки трещины, сохраняя постоянную концентрацию наполнителя в трещине и предотвращая закупорку трещины наполнителем в ее начале)

В ДС: вязкие жидкости или нефти со структурными свойствами; нефтемазутные смеси; водонефтяные эмульсии; загущенная соляная кислота

В НС: растворы ССБ; загущенная соляная кислота; нефтеводяные эмульсии; крахмально-щелочные растворы; нейтрализованный черный контакт (НЧК)

Для снижения потерь на трение при движении этих жидкостей с наполнителем по НКТ используют специальные добавки (депрессаторы) — растворы на мыльной основе; высокомолекулярные полимеры

Продавочная жидкость

- Продавливает Ж-Н до забоя и задавливает ее в трещины.
- Условие предотвращения образования пробок из наполнителя

$$u \cdot \mu \geq 1$$

u — скорость движения Ж-Н в колонне НКТ, м/с;

μ — вязкость Ж-Н, мПа · с

- В ДС дегазированная нефть (при необходимости ее разбавляют керосином или соляркой)
- в НС вода

Наполнитель трещин

- кварцевый отсортированный песок с диаметром песчинок 0,5-1,2 мм, ($\rho_{\text{п}} = 2600 \text{ кг/м}^3$). Так как плотность песка существенно больше плотности Ж-Н, то песок может оседать, что предопределяет высокие скорости закачки
- стеклянные шарики
- зерна агломерированного боксита
- полимерные шарики
- специальный наполнитель — **проппант**

Требования к наполнителю

- высокая прочность на сдвливание (смятие)
- геометрически правильная шарообразная форма
- инертность по отношению к продукции пласта и отсутствие изменения свойств

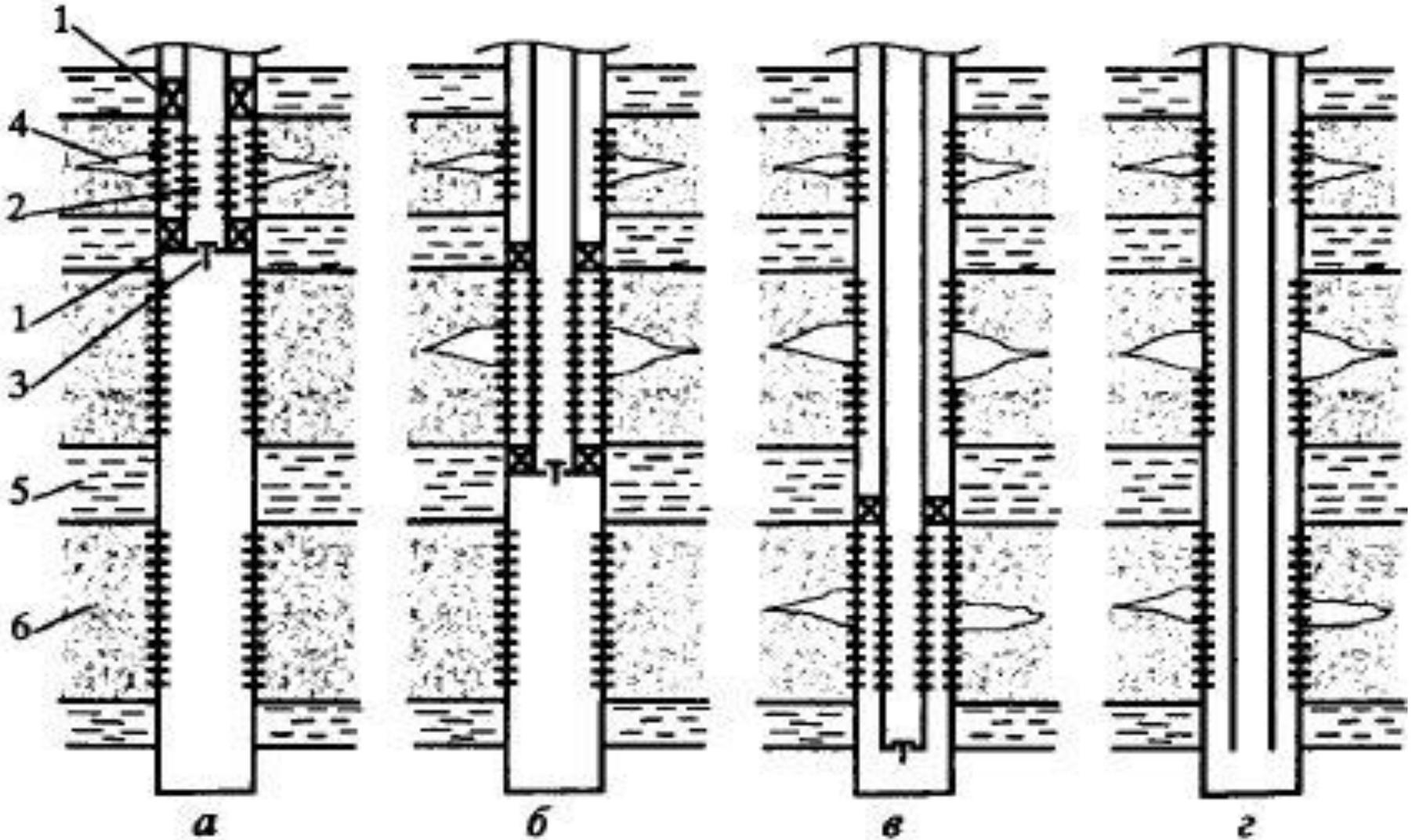
Определение местоположения, ориентации и размеров трещин

- исследования выполняются специализированными промышленно-геофизическими организациями (наблюдения за изменением интенсивности гамма-излучения из трещины, в которую закачана порция наполнителя, активированная радиоактивным изотопом кобальта, циркония, железа)
- к чистому наполнителю добавляют порцию активированного наполнителя
- проводят гамма-каротаж сразу после образования трещин и закачки в трещины порции активированного наполнителя
- сравнивая результаты гамма-каротажа, судят о количестве, местоположении, пространственной ориентации и размерах образовавшихся трещин

Технологии ГРП

- **1. Локальный ГРП** (длина трещин 10-20 м, закачка десятков м³ жидкости и единиц тонн проппанта) - **В пластах с проницаемостью более 300 мД, но с заблокированной (загрязненной) ПЗ**
- **2. Глубокопроникающий ГРП** (длина трещин 20-100 м, объем закачки – от десятков до сотен м³ и от единиц до десятков тонн проппанта) - **В пластах с проницаемостью 150-300 мД**
- **3. Массированный ГРП** (длина трещин 100 м и более, закачка от ста и более м³ жидкости и до сотен тонн проппанта)
- **4. поинтервальный (многократный)** - для больших толщин пластов, для слоистых пластов
- **5. Кислотный разрыв без закрепления трещин** – в карбонатных коллекторах

Поинтервальный ГРП



а — разрыв в верхнем пропластке; б — разрыв в среднем пропластке; в — разрыв в нижнем пропластке; г — скважина после ГРП;

1 — пакер; 2 — хвостовик НКТ; 3 — обратный клапан; 4 — трещина; 5 — глинистый пропласток; 6 — песчаный пропласток

Операции при проведении ГРП

- 1) **Подготовка скважины** — исследование на приток или приемистость (получение данных для оценки P_p , объема жидкости разрыва и других характеристик)
- 2) **Промывка скважины** — скважина промывается промывочной жидкостью с добавкой в нее определенных химических реагентов
- 3) **Закачка жидкости разрыва** — рабочего агента, закачкой которого создается необходимое давление для разрыва горной породы с образованием новых и раскрытием существовавших в ПЗС трещин
- 4) **Закачка жидкости с наполнителем** — для сохранения трещин в раскрытом состоянии
- 5) **Закачка продавочной жидкости** - продавка жидкости с наполнителем до забоя и «задавка» ее в трещины
- 6) **«Выстойка» скважины под давлением** — для перехода ПЗС из неустойчивого в устойчивое состояние, при котором наполнитель д. б. прочно зафиксирован в трещине
- 7) **Вызов притока, освоение скважины и выполнение ГДИС** - для определения технологического эффекта

Подбор скважин для ГРП

Параметры	Диапазон
<i>Общие для всех категории скважин</i>	
Техническое состояние эксплуатационной колонны	Герметична, возможен спуск пакера
Состояние и сцепление цементного камня на 20м выше и ниже пласта	хорошее
Нефтенасыщенная толщина пласта	Не менее 1,5 м
Толщина перекрывающих и подстилающих экранов от водоносных или обводненных пластов	Не менее 5 м для глинистых перемычек Не менее 7 м для глинисто-алевролитовых перемычек
Отсутствие заколонных перетоков	Выше и ниже пласта
Зенитный угол скважины в интервале пласта	Не более 15°
<u>Одновременный</u> ГРП 2-х пластов при расстоянии между ними	Не более 3,0 метров
<i>Дополнительно для добывающих скважин</i>	
Обводненность продукции	Не более 50 %
Пластовое давление	Не менее 0,7 от начального
Наличие текущих запасов нефти	На уровне рентабельности
Расстояние до ближайшей нагнетательной скважины	Не менее 300 м

Контроль за выполнением процесса ГРП

осуществляет руководитель службы супервайзеров по КРС, который при согласовании плана на проведение ГРП знакомится с проектом трехмерной модели ГРП программы «Mfrac»

- Объем жидкости разрыва, продавки, объем песка, подсчитанные компьютером, должны совпадать с планом работ на ГРП
- В день проведения ГРП мастер бригады КРС и мастер участка по ГРП составляют акт о готовности скважины к проведению гидроразрыва

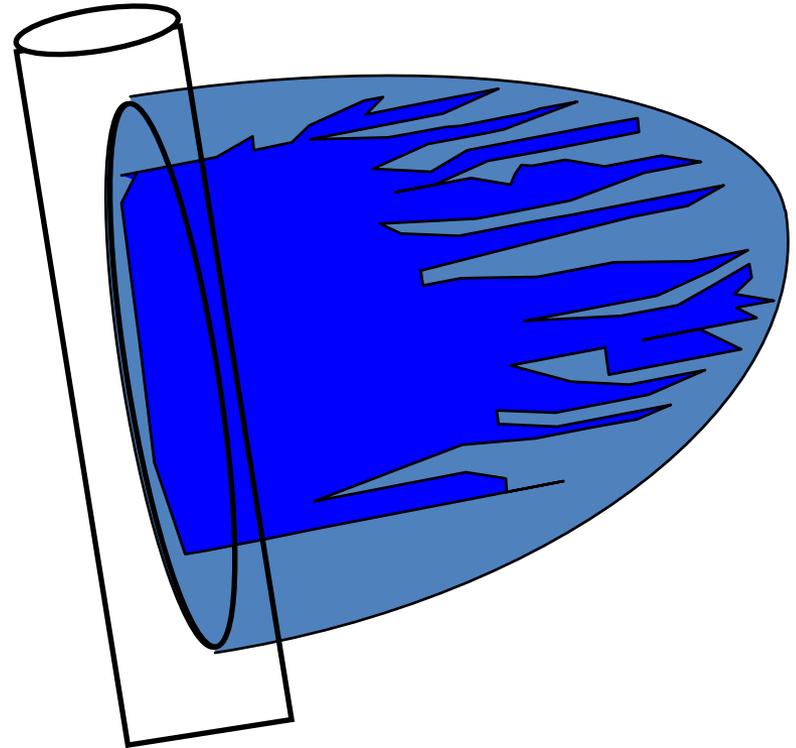
Способы проведения ГРП

1. **через обсадную колонну**, если ее состояние, герметичность и прочность позволяют создать на забое скважины необходимые давления (P_p). Потери давления на трение при закачке жидкостей через обсадную колонну малы, поэтому при данном давлении на устье скважины можно получить более высокое давление на забое.

2. **через НКТ** (потери давления достаточно велики)

Кислотный ГРП (карбонаты)

- создание канала высокой проводимости путем растворения участка поверхности трещины кислотой
- Растворение не должно быть сплошным, чтобы оставить шероховатость, удерживающую избирательность каналов вдоль трещины.



КГРП

- позволяет дренировать коллектор на значительном удалении от ствола скважин
- Используется **HCl**, загущенная полимерными **составами**, кратно снижающими скорость реакции кислоты с породой пласта. **Трещина разрыва не закрепляется наполнителем**
- Сохранность раскрытия трещины достигается за счет неоднородности химического состава породы пласта
- В результате реакции с **HCl** поверхность трещины приобретает «щербатую» форму. После КГРП трещина представляет собой систему **сообщающихся каналов**. Поэтому отпадает необходимость закрепления трещины

жидкость разрыва при КГРП

- **инвертная кислотная эмульсия (ИКЭ)** (внешняя среда - у/в жидкость (дизтопливо, ШФЛУ (дистиллят), нефть), **внутренняя фаза - НСЛ 20-24 % - ной концентрации**
- **Состав ИКЭ на 1 м³:**
- **дистиллят - 0-0,25 м³**
- **нефть товарная - 0,20-0,55 м³**
- **НСЛ - 0,45-0,55 м³**

Объем жидкости разрыва **$V_{жр}$**

зависит от толщины пласта

- при толщине до 5 м **$V_{жр}$** - 10 м^3
- при толщине 5-10 м **$V_{жр}$** - 15 м^3
- при толщине 10-15 м **$V_{жр}$** - 20 м^3

ЖИДКОСТЬ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИНЫ

1. обеспечивает развитие трещины разрыва в глубину пласта
 2. является активным рабочим агентом в реакции с породой пласта
- ❖ как жидкость развития трещины, она должна обладать высокой проникающей способностью
 - ❖ как рабочий агент должна иметь степень активности с карбонатной породой на уровне соляной кислоты
 - Состав жидкости развития трещины: **HCL** 24 %-ной концентрации - 70-80 %; моносulfитный черный щелок - 20-30 % (соляная кислота медленного действия (СКМД))
 - Контрольные параметры: условная вязкость по ВП-5 - 18-35 с, плотность – 1120-1140 кг/м³.

Объем жидкости развития трещины **Vжрт**
определяется

толщиной продуктивного пласта

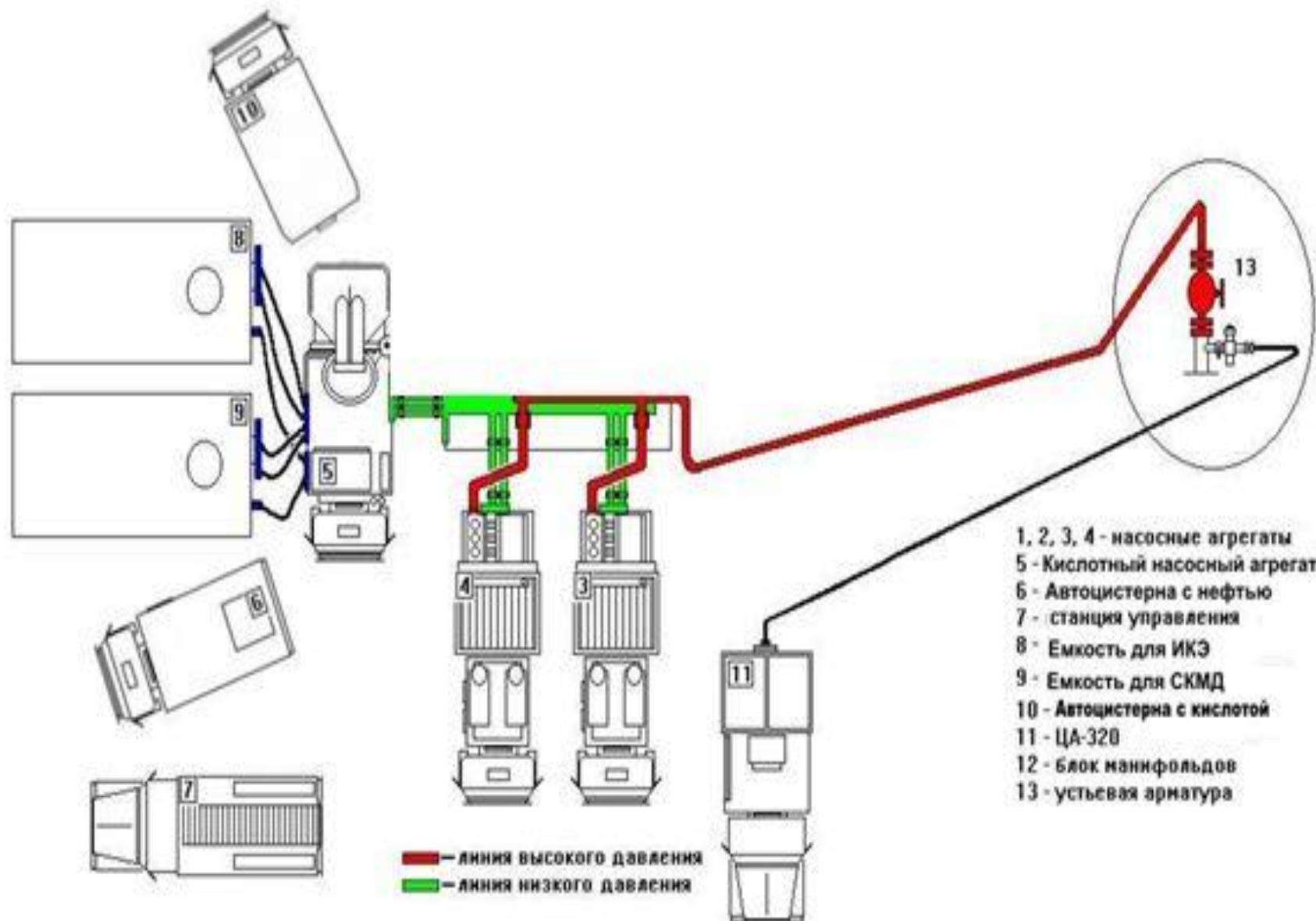
- при толщине пласта до 5 м **Vжрт**-20-60 м³
- при толщине пласта 5-10 м **Vжрт** 30-80 м³ (в зависимости от конкретных горно-геологических параметров скважины)

Подготовительные работы при КГРП

- Подход бригады КРС с подъемным агрегатом
- доставка на скважину НКТ \varnothing 2,5" марки "К"
- приготовление жидкости ГРП и жидкости развития трещины
- определение приемистости пласта
- отсыпка забоя (по решению комиссии)
- дополнительная перфорация в зоне разрыва
- спуск колонны НКТ и установка пакера
- опрессовка пакера

КГРП выполняется

- **двумя или тремя насосными агрегатами АНА – 105М**
- **Технологическая обвязка агрегатов с устьем скважины осуществляется через блок манифольдов**
- **Всасывающие линии агрегатов монтируются непосредственно к смесительному агрегату**
- **Емкости с ЖР и кислотой** через сборный коллектор с задвижками **соединяются со смесителем**



Проведение КГРП

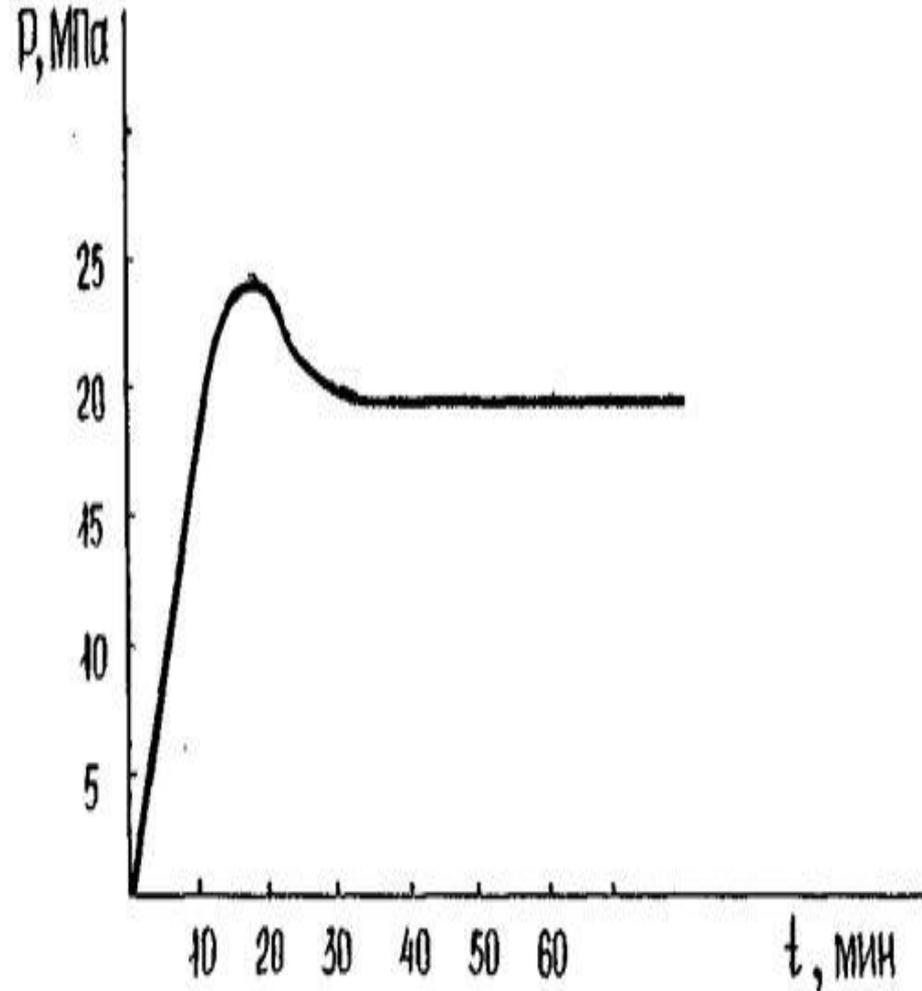
1. Процесс начинается закачкой жидкости КГРП
2. При достижении расчетного давления $P_{грп}$ могут наблюдаться два случая:
образование новой трещины
или раскрытие существующей

Образование новой трещины

Кривая давления достигает максимума, пласт разрывается, жидкость КГРП устремляется в образовавшуюся трещину

На манометре отмечается резкое падение давления

Этот момент является сигналом для включения в работу агрегатов по закачке **ЖРТ** - СКМД

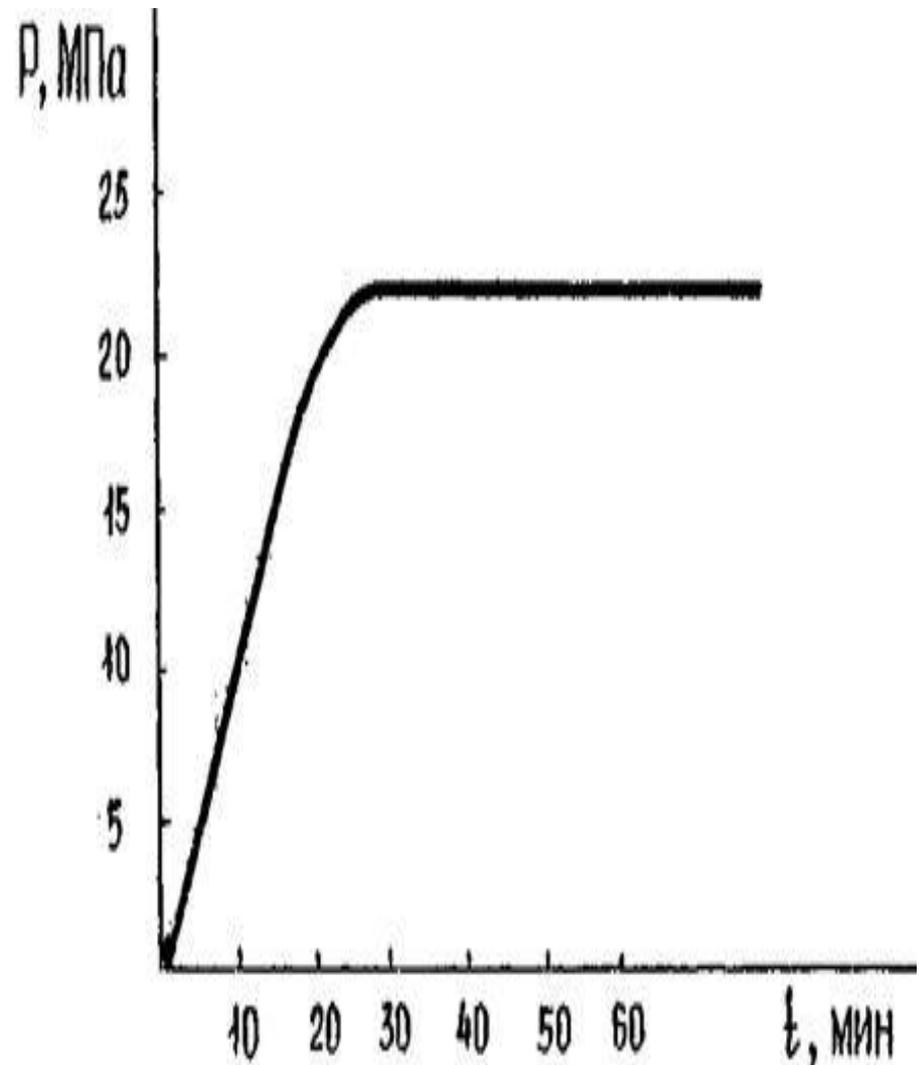


Раскрытие существующей трещины

При работе первого агрегата давление кратковременно растет, а затем стабилизируется

При подключении второго агрегата картина повторяется

При этом кривая давления выглядит иначе, происходит постепенное раскрытие трещины



Проведение КГРП

3. Закачивается 5 м³ **НСЛ** для раздренирования входного сечения трещины, а следом чистая нефть в объеме колонны НКТ + 1 м³. **Под давлением скважина остается на реагирование кислоты с породой пласта на 12-24 ч**

Проведение КГРП

- 4. производится снятие и извлечение пакера, спуск НКТ до забоя и промывка скважины с целью удаления продуктов реакции дегазированной товарной девонской нефтью**
- 5. Скважина свабируется (2-2,5 объема ствола), НКТ поднимаются, спускается ГНО и скважина пускается в работу**
- 6. Через 10-15 дней эксплуатации скважины уточняются параметры ее работы и проводится сравнение их с параметрами работы скважины до КГРП**

Сущность ГКРП

- **последовательное циклическое нагнетание в пласт высоковязкой жидкости и соляной кислоты, обработанной замедлителем реакции**
- **В начале процесса происходит блокирование существующих трещин и высокопроницаемых прослоев высоковязким материалом**
- **Нагнетаемая следом кислота (с замедленной реакцией) формирует новые трещины в низкопроницаемых участках продуктивного пласта**
- **Следующий цикл (высоковязкая жидкость + соляная кислота) позволяет временно изолировать вновь образованные трещины и создавать новые** Тем самым создаются условия для приобщения ранее неработающих пропластков и повышения производительности скважин

жидкость разрыва для ГКРП должна обладать

- регулируемой в широком диапазоне вязкостью
- низкой, приближающейся к нулевой, фильтратоотдачей
- Этим требованиям отвечают полисахаридные гели (комплекс «Химеко-В»)

Для приготовления 1 м³ водного полисахаридного геля необходимо

- | | |
|--|-----------|
| – гелеобразователь, ГПГ-3, кг/м ³ | 3,5 – 3,8 |
| – ПАВ-регулятор деструкции, л/м ³ | 2,0 |
| – сшиватель-БС-1, л/м ³ | 2,0 |
| – деструктор ХВ, кг/м ³ | 0,1 |

кислотный раствор, обработанный замедлителем
реакции

- **обеспечивает развитие трещины разрыва в глубину пласта**
- **является активным рабочим агентом в реакции с породой пласта.**
- **Состав кислотного раствора: соляная кислота 12 - 24 %-ной концентрации 96-98 %; реагент «Нефтенол К»4 - 2 %**
- **Соляная кислота и ПАВ «Нефтенол-К» являются взаиморастворимыми продуктами. Поэтому для получения соляной кислоты медленного действия достаточно ввести расчетное количество ПАВ в заданный объем соляной кислоты за один цикл**

- **Количество циклов закачки, объёмы кислотного раствора и высоковязкой жидкости определяется в зависимости от горно-геологических параметров скважины**
- **По результатам ОПР на месторождениях ОАО «Татнефть», оптимальными являются от 3 до 5 циклов закачки**

Для одного цикла необходимо:

- **8 – 18 м³ кислотного раствора**