

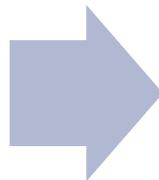
---

**ГИДРОРАЗРЫВ ПЛАСТА.  
ТЕХНИКА, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ  
ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГРП**

## Гидравлический разрыв пласта (ГРП)

- разработан как метод воздействия на пласт в 1940-х
- первая операция была осуществлена в 1948 году.

Объем и скорость  
закачки и количество  
проппанта



Необходимо определять  
для каждой скважины  
индивидуально!

## В настоящее время ГРП проводится

- для повышения продуктивности малодебитных скважин
- для значительного увеличения уровня добычи высокодебитных скважин, пробуренных в высокопроницаемых пластах,
- для уменьшения выноса песка при разработке пластов, сложенных слабосцементированными породами.

# Основные операции по стимулированию скважин (при давлениях выше давления гидроразрыва пласта)

## 1. Традиционная операция ГРП

- В данном случае жидкости закачиваются в скважину с большой скоростью и под большим давлением, которое превосходит давление гидроразрыва пласта. Далее в сформировавшуюся трещину для ее закрепления закачивают расклинивающий материал - проппант, который предотвращает ее закрытие.

## 2. Технология концевое экранирования (TSO)

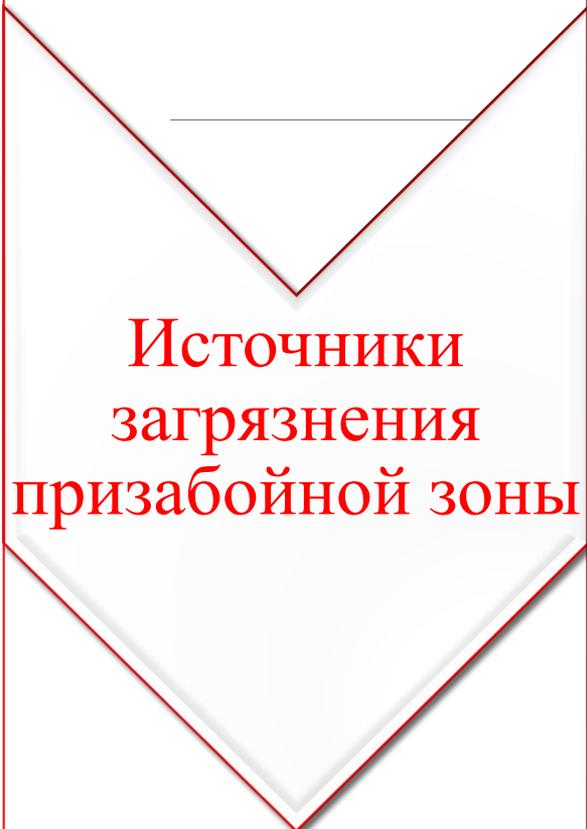
- Модификация операции гидроразрыва, при которой создаются короткие трещины (порядка нескольких десятков метров) шириной до 30 мм. Данная операция проводится на высокодебитных скважинах для уменьшения скорости потока и его турбулентности в призабойной зоне скважины, а также ограничивает вынос песка.

## 3. Кислотный ГРП

- В этом процессе кислота закачивается под давлением достаточным для образования и развития трещины, при реакции кислоты с породой происходит ее растворение. После снятия нагрузки и закрытия трещины остаются глубокие высокопроводящие каналы, обеспечивающие увеличение притока к стволу скважины.

# Основные цели проведения операции ГРП

- Увеличение потенциала новых скважин за счет достижения отрицательного значения скин-фактора;
- Изменение темпа падения добычи за счет уменьшения сопротивления течению потока в призабойной зоне пласта при закупоривании порового пространства АСПО, солями и прочими загрязняющими осадками
- Уменьшение выноса песка из высокопроницаемых слабосцементированных пластов (технология концевое экранирования)
- Восстановление продуктивности скважин после проведения ремонтных работ;
- Увеличение КИН, что является особенно актуальным при разработке низкопроницаемых коллекторов, вовлечение в разработку недренируемых запасов.



**Источники  
загрязнения  
призабойной зоны**

- Бурение
- Цементирование
- Заканчивание скважины
- Ремонтные операции
- Перфорирование
- Установка гравийных фильтров
- Добыча
- Закачка флюидов
- Операции по изолированию водопритока
- Снижение проницаемости пласта за счет проникновения воды в поровое пространство
- Воздействие на пласт.

# Скин-фактор

- безразмерная величина, получаемая в результате интерпретации данных ГДИС.
- Величина скин-фактора может изменяться в широком диапазоне
- положительное значение не имеет предела, в то время как предельная минимальная величина составляет  $-6$ .

## Гидравлический разрыв пласта

- увеличивает производительность работы скважины за счет увеличения эффективного радиуса и прорыва загрязненного участка призабойной зоны путем создания канала высокой проводимости.

# Характеристики трещины

длина, ширина, высота

ее ориентация в пространстве

## Естественные факторы, влияющие на геометрию, пространственное положение и дизайн трещины

- пространственное положение интервала пласта, его литологию и фильтрационно-емкостные свойства (пористость, водонасыщенность, проницаемость), положение флюидоконтактов (ГНК, ВНК, ГВК);
- естественные горные напряжения и их распределение в массиве горных пород;
- физико-механические свойства пород (упругие параметры - модуль Юнга, коэффициент Пуассона);
- пластовое давление и температура

## Технологические факторы, влияющие на параметры и эффективность работы планируемой трещины

- пространственное положение ствола скважины относительно пласта, что определяет видимую мощность вскрытого интервала;
- техническое состояние обсадной колонны и цементного камня скважины, выбранной кандидатом для гидроразрыва;
- условия вскрытия пласта (полная или частичная перфорация, качество перфорации).

## При прогнозе продуктивности скважины должны быть рассмотрены следующие факторы:

1. Индикаторная диаграмма для характеристики притока к скважине - текущая и потенциальная;
2. Объем удельных остаточных запасов;
3. Характеристика колонны лифтовых труб;
4. Пропускная способность наземной системы сбора;
5. Соответствующая ставка дисконта: должен учитываться следующий принцип - нефть, которая добыта сегодня, имеет большую ценность той нефти, которая будет добыта позже;
6. Потери в добычи при подготовке скважины к ремонту, во время операции и при освоении;
7. Учет рисков: вероятность успешного проведения мероприятия всегда меньше 100%.

## Основные требования при выборе скважины-кандидата для ГРП.

**Не рассматриваются** при выборе кандидатов для ГРП скважины:

- С плохой или сомнительной характеристикой цементного камня за обсадной колонной
- С пластами-объектами, обводненными закачиваемой водой более 70%.
- С пластами, обводненными «верхними» или «нижними» пластовыми водами, а также водой с неопределенным источником происхождения.

Необходимо **руководствоваться** следующими основными требованиями при назначении скважин-кандидатов для ГРП:

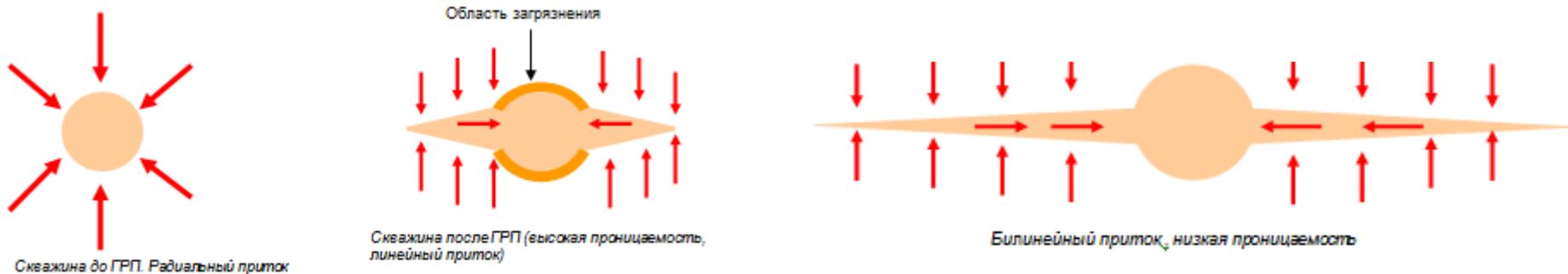
- Нижний критический предел пластового давления ( $P_{пл}$ ) на выбранном участке 12 МПа по девонским и 8 МПа по тульско-бобриковским отложениям.
- Толщина глинистых перемычек между выше и ниже лежащими пластами не менее 5 м, а если эти разделы представлены плотными глинисто-алевролитовыми разностями, то их толщина должна быть не менее 7 м.
- Наличие однозначной геолого-геофизической характеристики нефтеносных и водоносных пластов.

## **Информационное обеспечение скважины-кандидата для ГРП.**

- **Общая информация по скважине.**
- **Информация по эксплуатационной колонне**
- **Вид перфорации, количество отверстий на метр перфорации.**
- **Параметры работы скважины**
- **Геологические данные**
- **Информация по выше и ниже лежащим породам пласта**
- **Графические материалы (копии)**
  - стандартного каротажа продуктивного горизонта;
  - профильный разрез продуктивной зоны скважин;
  - карты разработки участка скважины;
  - АКЦ в районе перфорации (выше и ниже 30 м).

# Сущность гидравлического разрыва пласта (ГРП)

- Посредством закачки жидкости при высоком давлении происходит раскрытие естественных или образование искусственных трещин в продуктивном пласте и при дальнейшей закачке песчано-жидкостной смеси или кислотного раствора расклинивание образованных трещин с сохранением их высокой пропускной способности после окончания процесса и снятия избыточного давления.
- В настоящее время ГРП широко применяется во всем мире как в низкопроницаемых, так и в высокопроницаемых пластах-коллекторах.
- Трещина развивается в направлении перпендикулярном направлению минимального горного напряжения!



## Развитие трещины и ориентация перфорации

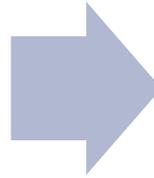
**Геометрия трещин гидроразрыва зависит от двух факторов:**

- 1) механических свойств пород;
- 2) распределения естественных напряжений в массиве горных пород.

### Акустический метод!

- Волна сжатия возникает в скважине, заполненной буровым раствором.
- Формируется несколько типов упругих волн, распространяющихся в пластах.
- Продольные и поперечные волны используются для непосредственных оценок упругих свойств пород.

**Вязкость разрушения,  
предел прочности и  
угол внутреннего  
трения**



Определение этих  
параметров возможно  
только **при изучении  
образцов керна!**

## **Направление минимальных и максимальных естественных напряжений в массиве горных пород**

вертикальные напряжения

горизонтальные напряжения

# Виды перфорации

## Взрывные

Пулевая перфорация

Торпедная перфорация

Кумулятивная перфорация

## Гидродинамические

Гидропескоструйная перфорация

## Механические

Сверлящий перфоратор

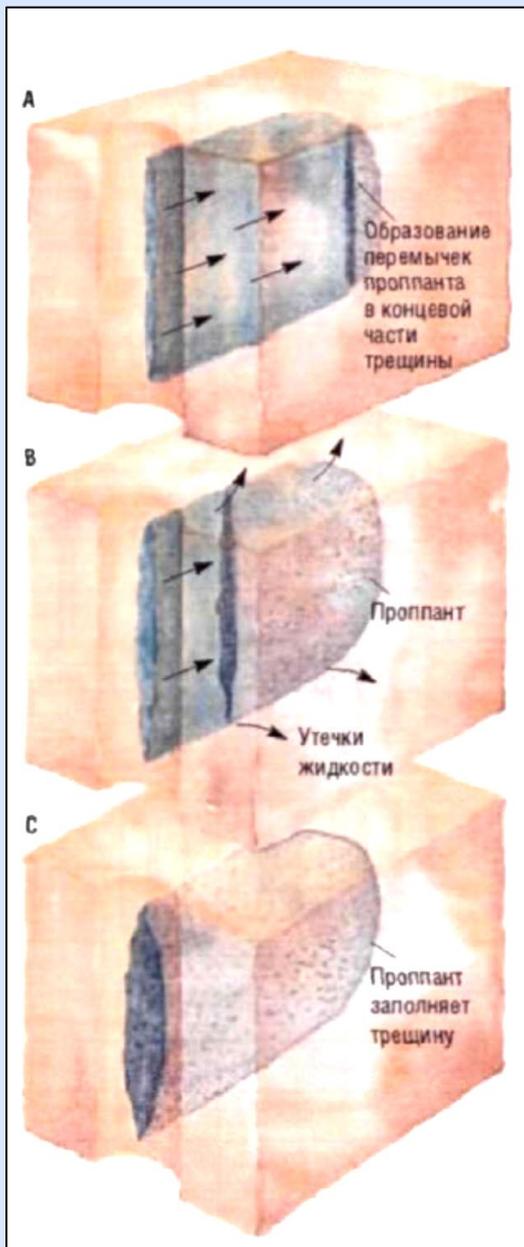
## Химические

Вторичное вскрытие происходит за счет химической реакции

## Выбор технологии ГРП.

- **Массированный (глубокопроникающий)**, длина трещины до 100 и более метров. Применяется в пластах с толщиной 10 и более метров, с проницаемостью менее 5 мд.
- **Нормальный (средний)**, длина трещины до 50 м. Применяется в пластах с проницаемостью 5-50 мд и толщиной не менее 5 м.
- **Миниразрыв**, длина трещины 10-20 м. Применяется в пластах с высокой проницаемостью (более 50 мд), но с заблокированной (загрязненной) призабойной зоной.

# Технология концевого экранирования (TSO)



Модификация операции гидроразрыва, при которой создаются короткие трещины (порядка нескольких десятков метров) шириной до 30 мм.

Контролируемое распространение трещины и ее закрепления проппантом

Концентрация проппанта возрастает на фронте закачки, что приводит к образованию проппантных пробок вблизи конца трещины

Закачка проппанта, продолжаемая после остановки трещины, позволяет повысить давление внутри трещины, увеличивая тем самым ее раскрытие.

Уменьшаются затраты на проведение работ

# Расклинивающий агент. Назначение проппанта

**Проппант предназначен** для предотвращения смыкания трещины после окончания закачивания. Проппант добавляется к жидкости глушения и закачивается вместе с ней. Возможности трещины транспортировать жидкость к стволу скважины, обусловлены пропускной способностью трещины. Обычно она определяется произведением проницаемости трещины и ширины трещины

$$S=K*W$$

где K- проницаемость (миллидарси);

W - ширина трещины (мм)

**Проницаемость трещины** зависит от следующих взаимосвязанных факторов:

1. типа, размера и однородности проппанта;
2. степени его разрушения или деформации;
3. количества и способа перемещения проппанта.

На частицы проппанта действует напряжение закрытия трещины. В результате этого некоторые из частиц могут быть раздавлены или же, в мягком пласте вдавливаются в породу.

**На степень раздавливания или вдавливания влияют:**

прочность и размер проппанта;

твердость пласта;

напряжение закрытия, прилагаемое к слою проппанта

# Современные материалы, используемые для закрепления трещин – проппанты

## Свойства проппантов:

- 1) Прочность
- 2) Размер гранул
- 3) Наличие примесей
- 4) Растворимость в кислотах
- 5) Сферичность
- 6) Округлость
- 7) Плотность

Размер сит	Предельные размеры частиц (мм)
100	0,150
40-60	0,419-0,250
20-40	0,841-0,419
12-20	1,679-0,841
8-12	2,380-1,679

Применяемые в настоящее время проппанты по прочности можно разделить на следующие группы :

1. кварцевые пески ( плотность до  $2,65 \text{ г/см}^3$ ),
2. синтетические проппанты средней прочности ( плотность  $2,7-3,3 \text{ г/см}^3$ ),
3. синтетические проппанты высокой прочности ( плотность  $3,2-3,8 \text{ г/см}^3$ ).

## Высокая прочность проппанта

Сохранение трещины открытой длительное время!

По глубине скважин проппанты имеют следующие области применения:

кварцевые пески - до 2500 м;

проппанты средней прочности - до 3500 м;

проппанты высокой прочности - свыше 3500 м.

## Силикатный песок $\text{SiO}_2$

преобладающий проппант, который применяется при гидроразрыве и является наиболее экономичным.

его эффективность может быть ограничена из-за низкой сопротивляемости раздавливанию.

Глубоко залегающие пласты с высоким давлением

Частицы металлокерамического боксита

Проппанты на основе алюминиевой керамики Interprop ТМ и Carboprop ТМ

## Преимущества пропанта с покрытием из предварительно отвержденной смолы

- 1) не образует уплотнений
- 2) возможно применить в жидкостях на нефтяной и спиртовой основе,
- 3) низкая растворимость в кислоте,

## Недостатки:

- 1) процент раздавливания немного выше, чем у пропанта с покрытием из затвердевающих смол,
- 2) покрытие удаляется горячей жидкостью или каустической содой.

## Условия и ограничения применения

- 1) необходимое напряжение закрытия от 1000 до 2000 psi (для обеспечения сцепления между зернами пропанта и предотвращения выноса пропанта),
- 2) минимальная температура отверждения 120-140 F в течении 200 часов (возможно использование катализатора),
- 3) содержание алкоголя в жидкостях не выше 90%,
- 4) жидкости на нефтяной основе удваивают время отверждения,
- 5) покрытие легко стирается с пропанта,
- 6) хранить при температуре не выше 100F и невысокой влажности во избежание затвердевания покрытия.

# Проппант боровичевского комбината



## Разрушение под нагрузкой в %

- фракция 20/40 P=680 атм – 1,78%
- фракция 16/30 P=680 атм – 4,21%

## Растворимость в кислотах в %

- фракция 20/40 – 5,9%
- фракция 16/30 – 7,1%

## Сферичность

- фракция 20/40 – 0,8
- фракция 16/30 – 0,9

## Округлость

- фракция 20/40 – 0,8
- фракция 16/30 – 0,9

# Этапы проведения гидравлического разрыва

1. Сбор и анализ данных по скважине, проектирование трещины;

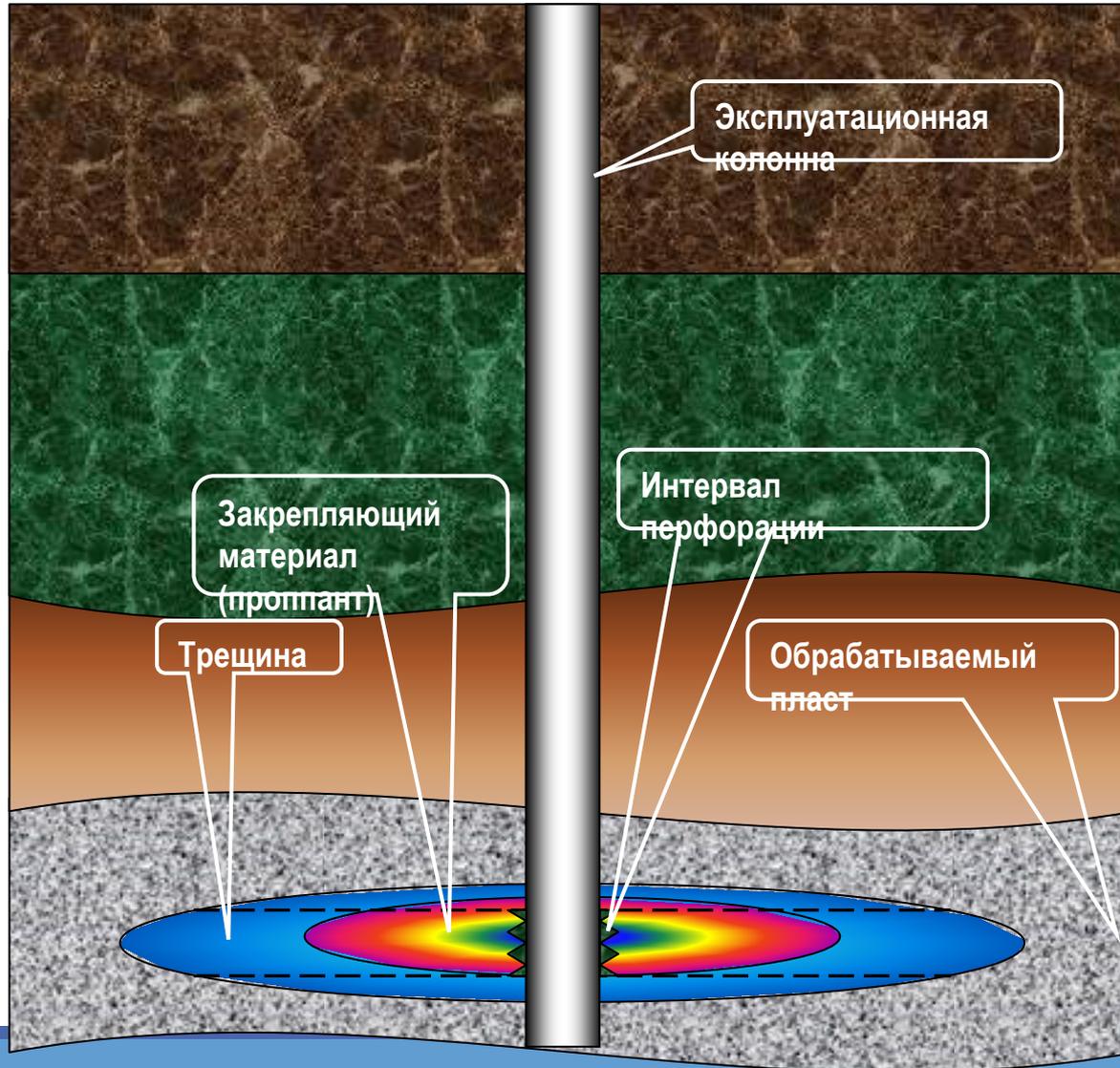
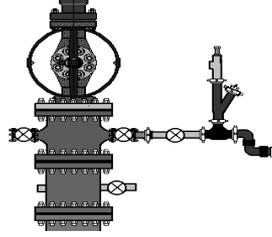
2. Закачка жидкости разрыва под давлением выше давления ГРП, для создания и развития трещины;

3. Обеспечивается эффективное развитие трещины - достигается с помощью использования вязкого, разжижающегося при сдвиге, сшитого геля на нефтяной или водной основе;

4. Раскрытая трещина затем заполняется расклинивающим материалом - проппантом, для того чтобы трещина не закрылась;

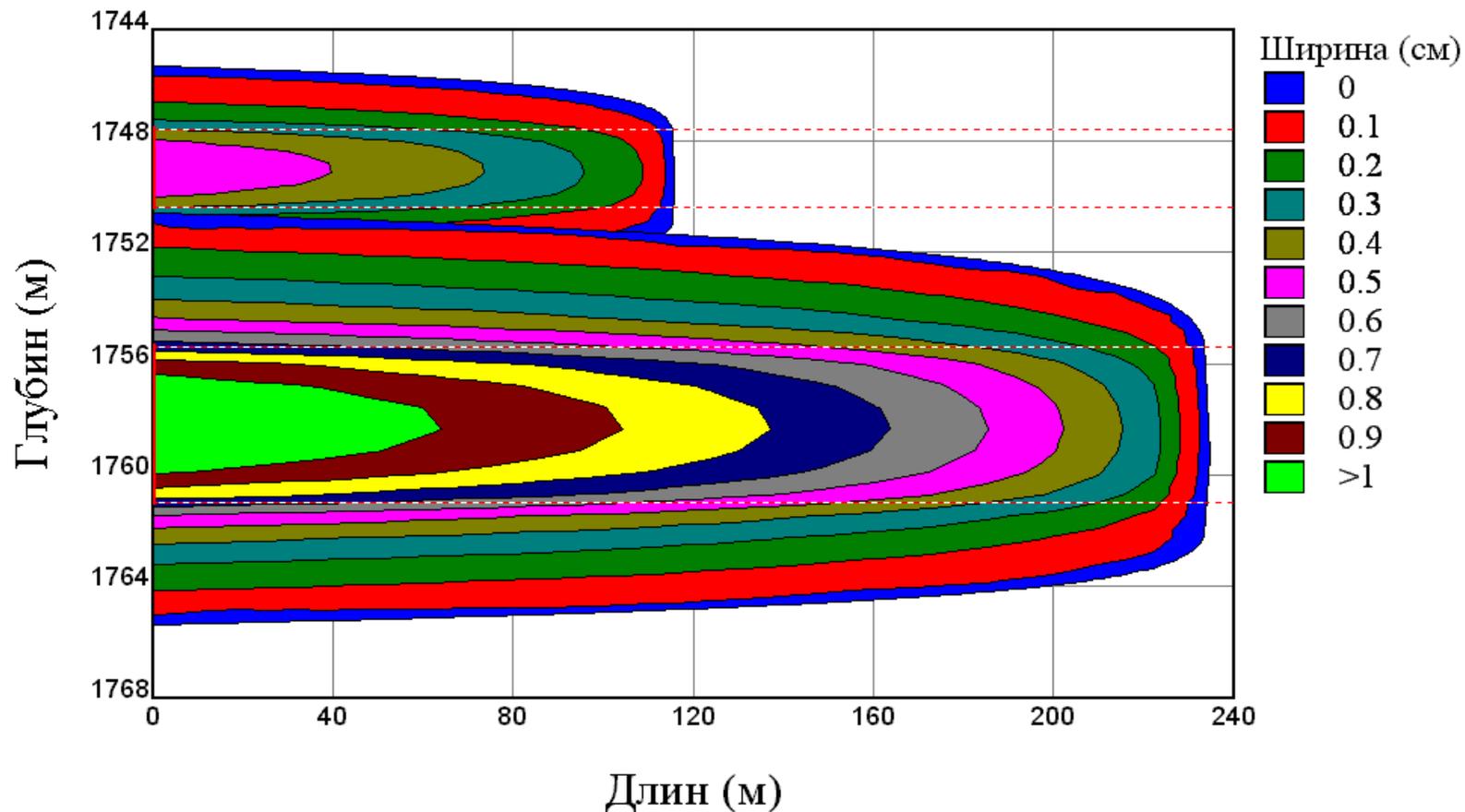
5. Жидкости должны постепенно деградировать - вязкость их уменьшается за счет добавления понизителей вязкости (окислители и энзимы)

# Процесс ГРП.

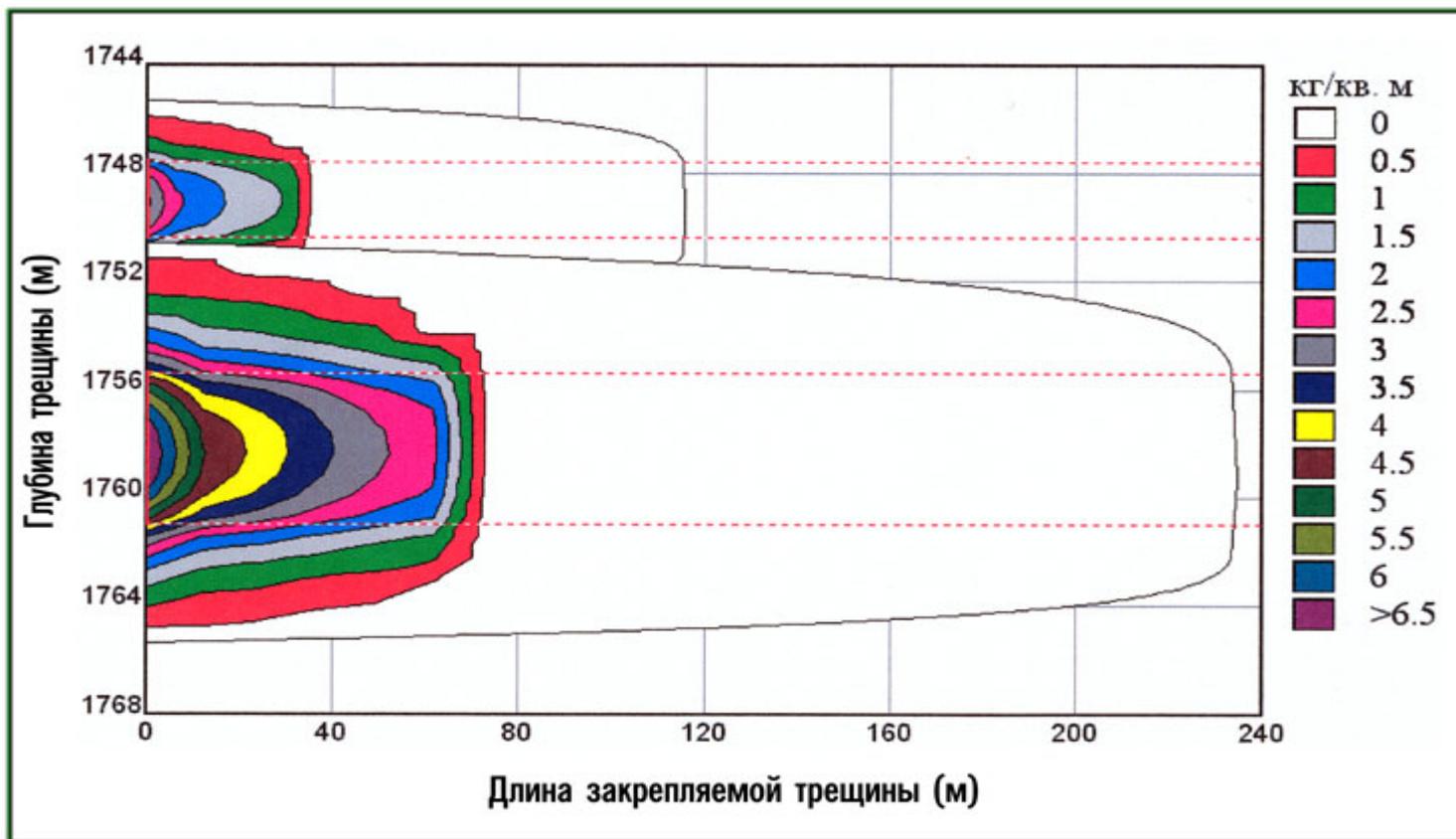


# Параметры получаемые при моделировании.

## Контуры профиля ширины

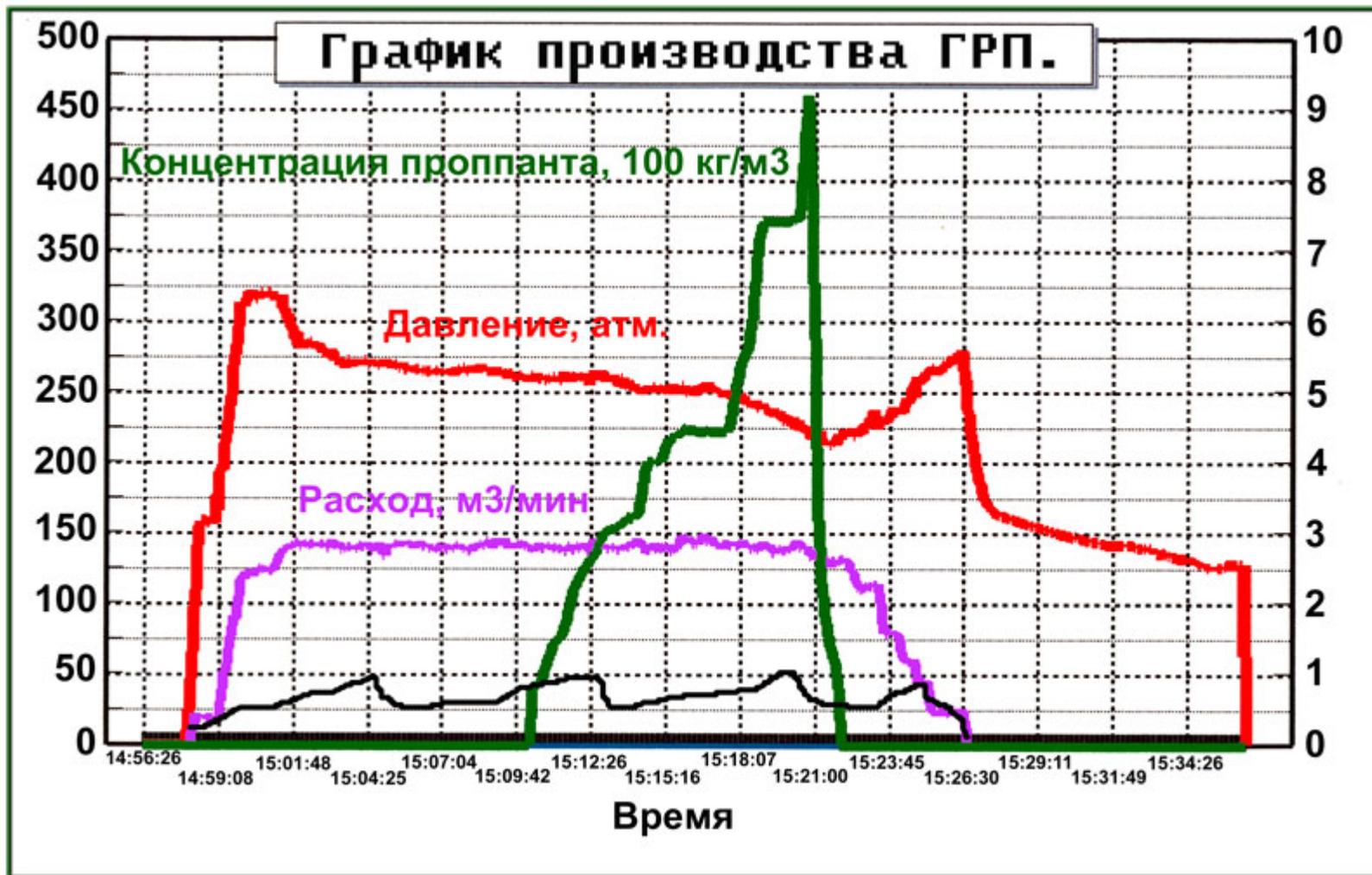


# Параметры получаемые при моделировании.



**КОНЦЕНТРАЦИЯ НА ПЛОЩАДЬ(КОНЕЦ ЗАКАЧКИ)**

# Параметры получаемые в процессе ГРП.



**Для производства операции ГРП на гелированных жидкостях используется**

- 1) мобильный комплекс (флот)**
- 2) скважинного оборудования (пакеры, скреперы, НКТ, устьевые головки).**

**Состав  
комплекса  
(пример)**

- 1) пескосмесительная установка (Блендер)**
- 2) насосный агрегат FS-2251**
- 3) блок манифольда IS-200**
- 4) песковоз (Сандтрак)**
- 5) станция контроля EC-22ACD**
- 6) емкости для приготовления технических жидкостей**
- 7) гидратационная установка, предназначенная для замешивания жидкости ГРП и подачи загеленной жидкости в поток, а также установка подогрева и фильтрации воды, предназначенная для подогрева жидкости для ГРП.**

## Насосный агрегат СИН-31



**Тип насоса** – трехплунжерный горизонтальный одностороннего действия

**Диаметр плунжера** – 100 мм

**Наибольшее давление** – 70 МПа

**Наибольшая производительность** – 17,7 (63) л/с (м<sup>3</sup>/час)

**Условный диаметр:** всасывающего коллектора – 100 мм  
нагнетательного коллектора – 50 мм

## Смесительный агрегат MS-60



**Расход жидкости - 11,13 м<sup>3</sup>/мин.**

**Мах давление нагнетания - 0,5 МПа.**

**Мах плотность нагнетания - 2,5 кг/л.**

**Мах подача проппанта - 7000кг/мин.**

## Насосный агрегат АНА – 105М



**Тип насоса – трехплунжерный горизонтальный одностороннего действия.**

**Диаметр плунжера – 114,3 мм**

**Подача за один оборот коленчатого вала при объемном КПД 100% - 6,3 л/мин**

**Максимальное давление – 105 МПа**

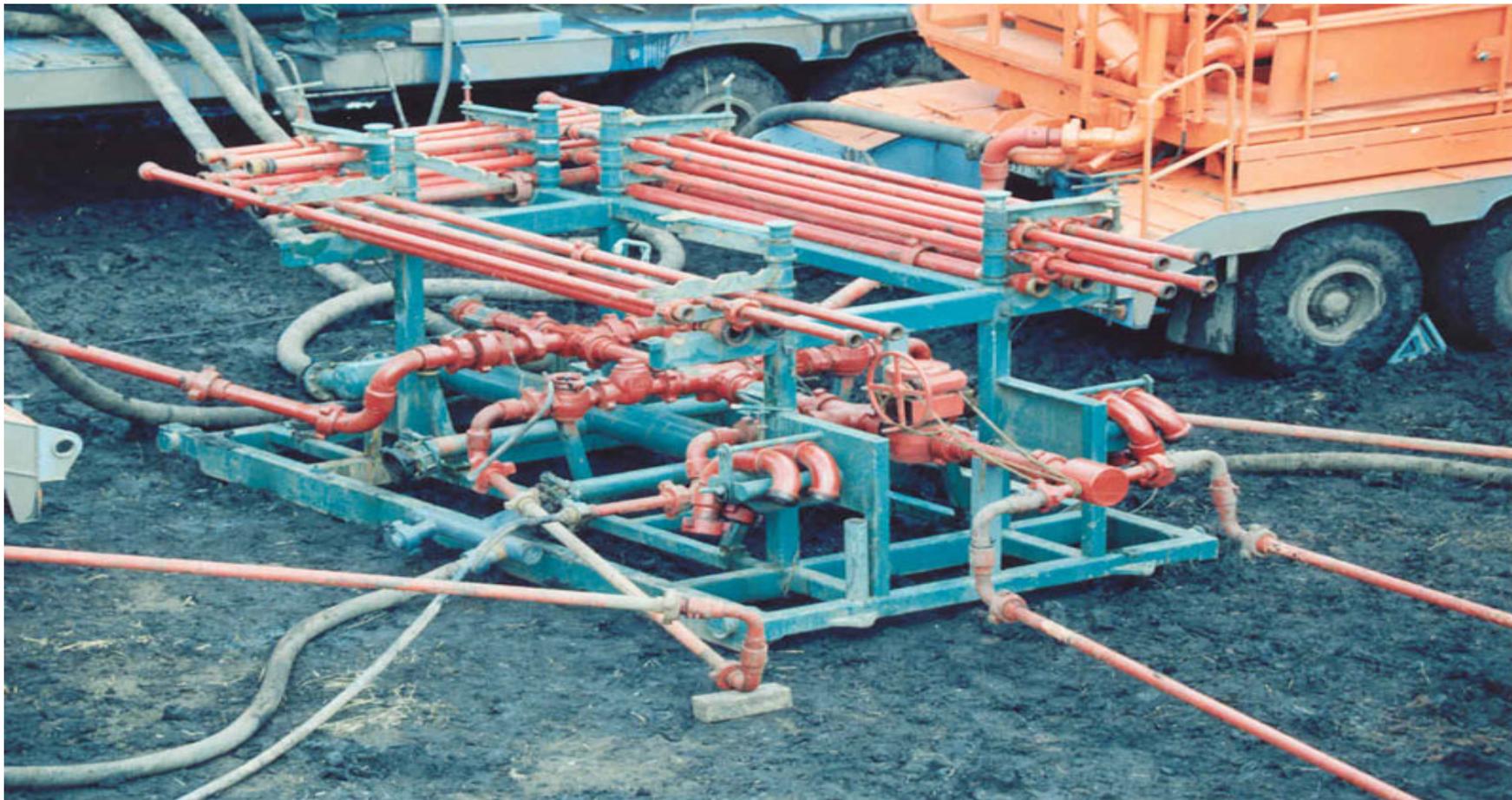
**Максимальный расход (теоретический) – 2063 л/мин**

## Блок сбора данных и управления процессом ES-22ACD



**Панель индикации состояния работ.  
Компьютеры и аппаратное обеспечение.  
Программное обеспечение.  
Коммуникационная система.**

## Блок манифольдов IS – 320



**Линия низкого давления** четыре 4" входных патрубка и четыре 4" выпускных патрубка.

**Линия высокого давления** три 3" крестовины шесть 2" линий высокого давления. Максимальное давление – 1050 атм.

# Комплекс ГРП после внедрения АНА – 105М.

