

Гидравлический разрыв пласта

Сущность метода заключается в нагнетании в проницаемый пласт жидкости при высоком давлении (до 100 Мпа), под действием которого пласт расщепляется, либо по плоскостям напластования, либо вдоль естественных трещин. Для предупреждения смыкания трещин при снятии давления в них вместе с жидкостью закачивается крупный песок (проппант), сохраняющий проницаемость трещин, в тысячи раз превышающую проницаемость ненарушенного пласта. На пласт в вертикальном направлении действует сила, равная весу вышележащих пород. Плотность горных осадочных пород обычно принимается равной 2300 кг/м^3 .

Давление горных пород будет равно $P_r = \rho_p \cdot g \cdot H$.
За миллионы лет существования осадочных пород внутреннее напряжение породы по всем направлениям стало одинаковым и равным горному. Для расслоения пласта, т. е. для образования в пласте горизонтальной трещины, необходимо внутри пористого пространства создать давление P_p , превышающее горное на величину сопротивления горных пород на разрыв, так как надо преодолеть силы сцепления частиц породы,

$$P_p = P_r + \sigma_z$$

Гидравлический разрыв пласта

Фактические давления разрыва меньше горного, т. к. в ПЗС создаются области разгрузки, в которых внутреннее напряжение меньше горного P_g . Это обусловлено причинами геологического характера, например, в процессе горообразования могло произойти не только сжатие пород, но и их растяжение. Другое объяснение локального уменьшения P_g - сама проводка ствола скважины нарушает распределение напряжений в примыкающих породах, и эти нарушения (уменьшения) тем больше, чем ближе порода к стенкам скважины. Локальное уменьшение внутреннего напряжения больше, если в разрезе имеются слои глин, обладающие свойствами пластичности, которые в процессе бурения набухают и часто выпучиваются в ствол скважины.

Давление разрыва P_p не поддается надежному теоретическому определению, ибо связано с необходимостью знания некоторых параметров пласта, измерение которых недоступно.

При ГРП возникают давления, превышающие допустимые для обсадных колонн, поэтому предварительно в скважину спускают НКТ, способные выдержать это давление.

Гидравлический разрыв пласта

Выше кровли пласта или пропластка, в котором намечается произвести разрыв, устанавливают пакер, изолирующий кольцевое пространство и колонну от давления, и гидравлический якорь. По спущенным НКТ нагнетается сначала жидкость разрыва в объемах, чтобы получить на забое давление, достаточное для разрыва пласта. В момент разрыва на поверхности отмечается резкое увеличение расхода жидкости (поглотительной способности скважины) при том же давлении на устье скважины или резкое уменьшение давления на устье при том же расходе. Более объективным показателем, характеризующим момент ГРП, является коэффициент поглотительной способности.

$$k_{п} = \frac{Q}{P_{с} - P_{пл}}$$

Условный коэффициент
 $k_{п}$

$$k_{п} = \frac{Q}{P_{у}}$$

При ГРП происходит резкое увеличение $k_{п}$. Однако вследствие трудностей, связанных с непрерывным контролем за величиной $P_{с}$, а также вследствие того, что распределение давлений в пласте - процесс существенно неустановившийся, о моменте ГРП судят по условному коэффициенту k

Гидравлический разрыв пласта

Резкое увеличение k в процессе закачки интерпретируется как момент ГРП. Имеются приборы для снятия этой величины.

После разрыва пласта в скважину закачивают **жидкость-песконоситель** при давлениях, удерживающих образовавшиеся трещины в раскрытом состоянии. Это более **вязкая жидкость, смешанная (180 - 350 кг песка на 1 м³ жидкости) с песком или другим наполнителем**. Песок вводится на возможно большую глубину для предотвращения смыкания трещин при снятии давления и переводе скважины в эксплуатацию.

Жидкости-песконосители проталкивают в пласт **продавочной жидкостью**, в качестве которой используется **маловязкая недефицитная жидкость**. Для проектирования процесса ГРП важно определить давление разрыва P_p . Накопленный статистический материал говорит об отсутствии четкой связи между глубиной залегания пласта и давлением разрыва. Фактические значения P_p лежат в пределах между величинами полного горного и гидростатического давлений.

При малых глубинах (менее 1000 м) P_p ближе к горному давлению, а при больших глубинах - к гидростатическому.

Гидравлический разрыв пласта

Приближенные значения для давления разрыва:

для неглубоких скважин (до 1000 м):

$$P_{\text{п}} = (1,74 \div 2,57) \cdot P_{\text{ст}}$$

для глубоких скважин ($H > 1000$ м)

$$P_{\text{п}} = (1,32 \div 1,97) \cdot P_{\text{ст}}$$

где **P_{ст}** - гидростатическое давление столба жидкости, высота которого равна глубине залегания пласта.

Сопротивление горных пород на разрыв обычно мало **σ_р = 1,5 - 3 МПа**, и не влияет существенно на **P_р**. Давление разрыва на забое **P_р** и давление на устье скважины **P_у** связаны соотношением

$$P_{\text{р}} = P_{\text{у}} + P_{\text{ст}} - P_{\text{тр}}$$

где **P_{тр}** - потери давления на трение в НКТ. Из уравнения следует

$$P_{\text{у}} = P_{\text{р}} + P_{\text{тр}} - P_{\text{ст}}$$

P_{ст} - статическое давление, определяется с учетом кривизны скважины

Гидравлический разрыв пласта

$$P_{\text{ст}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot H \cdot \cos\beta$$

где **H** - глубина скважины; **β** - угол кривизны (усредненный); **ρ_ж** - плотность жидкости в скважине. Если жидкость содержит наполнитель (песок, стеклянные шарики, порошок из полимеров и др.), то плотность подсчитывается как средневзвешенная м):

$$\rho = \rho_{\text{ж}} \cdot \left(1 - \frac{n}{\rho_{\text{н}}} \right) + n$$

где **n** - число килограммов наполнителя в 1 м³ жидкости; **ρ_н** - плотность наполнителя (для песка **ρ_н = 2650 кг/м³**). Потери на трение определить труднее, так как применяемые жидкости иногда обладают неньютоновскими свойствами. Присутствие в жидкости наполнителя (песка) увеличивает потери на трение. В американской практике используются различные графики зависимости потерь давления на трение на каждые 100 фут НКТ разного диаметра при прокачке различных жидкостей.

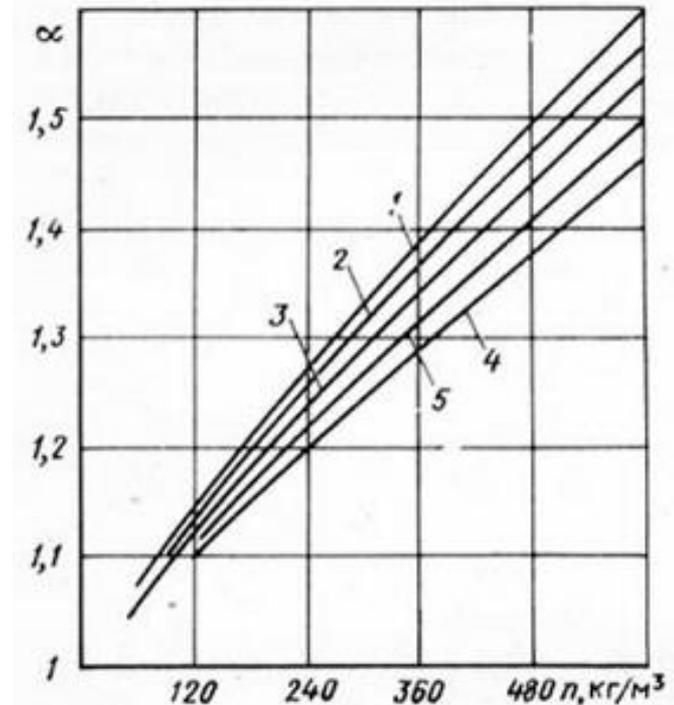
Гидравлический разрыв пласта

При больших темпах закачки, соответствующих турбулентному течению, структурные свойства жидкостей с различными загустителями и химическими реагентами исчезают, и потери на трение **можно определить по формулам трубной гидравлики.**

$$P_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{H}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} \cdot \rho \cdot g \cdot \alpha$$

где λ - коэффициент трения, определяемый по соответствующим формулам в зависимости от числа Рейнольдса; w - линейная скорость потока в НКТ; d - внутренний диаметр НКТ; ρ - плотность жидкости; H - длина НКТ; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; α - поправочный коэффициент, учитывающий наличие в жидкости наполнителя (для чистой жидкости $\alpha = 1$) и зависящий от его концентрации.

Применяемые жидкости. Применяемые для ГРП жидкости приготавливаются на нефтяной, либо на водной основе.



Гидравлический разрыв пласта

По своему назначению жидкости разделяются на три категории: жидкость разрыва, жидкость-песконоситель и продавочная жидкость.

Жидкость разрыва должна хорошо проникать в пласт или в трещину, но иметь высокую вязкость, чтобы не рассеиваться в объеме пласта, и вызывать необходимое расклинивающее действие в образовавшейся трещине. В качестве жидкостей разрыва используют сырые дегазированные нефти с вязкостью до 0,3 Па·с; нефти, загущенные мазутными остатками; нефтекислотные эмульсии (гидрофобные); водонефтяные эмульсии (гидрофильные) и кислотнo-керосиновые эмульсии.

Жидкости на углеводородной основе применяют при ГРП в добывающих скважинах. В нагнетательных скважинах в качестве жидкости разрыва используют чистую или загущенную воду. К загустителям относятся компоненты, имеющие крахмальную основу, полиакриламид, сульфит-спиртовая барда (ССБ), КМЦ (карбоксилметилцеллюлоза).

Некоторые глинистые компоненты пластов чувствительны к воде и склонны к набуханию. В таких случаях в жидкости на водной основе вводят химические реагенты, стабилизирующие глины при смачивании.

Гидравлический разрыв пласта

Жидкости-песконосители изготавливаются из нефтяной и водной основах. Для них важна пескоудерживающая способность и низкая фильтруемость, за счет увеличения вязкости и придания жидкости структурных свойств. **Используются те же жидкости, что и для разрыва пласта.**

При высокой фильтруемости перенос песка в трещине ухудшается, так как о скорость течения по трещине быстр становится равной нулю, и **развитие ГРП затухает вблизи стенок скважины.** Хорошей песконесущей способностью обладают **кислотно-керосиновые эмульсии, имеющие высокую стойкость, не разрушающиеся в жаркую погоду при транспортировке с наполнителем.**

При закачке песконосительной жидкости, из-за большой вязкости, наличия в ней наполнителя - песка и необходимости вести закачку на большой скорости возникают **большие устьевые давления.** Хотя насосные агрегаты делаются в износостойком исполнении, **при работе на высоких давлениях они быстро изнашиваются.** **Для снижения потерь на трение на 12 - 15 % разработаны химические добавки к растворам на мыльной основе, а также тяжелые высокомолекулярные углеводородные полимеры.** Около 90 % операций ГРП осуществляются с использованием жидкостей на водной основе в силу дешевизны.

Гидравлический разрыв пласта

Продавочные жидкости закачивают в скважину для того, чтобы довести жидкость-песконоситель до забоя скважины. Объем продавочной жидкости равен объему НКТ. К расчетному объему НКТ прибавляется объем затрубного пространства между башмаком НКТ и верхними дырами фильтра. В качестве продавочной жидкости используется чаще всего вода.

Наполнитель служит для заполнения трещин и предупреждения их смыкания при снятии давления. **Известны факты эффективного ГРП без наполнителя.** Однако эффект менее продолжителен. Наполнитель при заполнении трещины воспринимает нагрузку от горного давления после снижения давления жидкости. Он частично разрушается и вдавливаются в породу и должен обладать высокой прочностью. **В идеале наполнитель должен иметь плотность, равную плотности жидкости-песконосителя, чтобы перенос его по трещине и ее заполнение были бы успешными.** Размеры зерен наполнителя должны обеспечить его проникновение в самые удаленные части трещины и высокую их проницаемость при последующей эксплуатации скважин. **Для ГРП применяют песок размером от 0,5 до 1,2мм. В первые порции жидкости-песконосителя замешивается более мелкая фракция (0,5 - 0,8 мм), а в последующую - более крупные фракции.**

Гидравлический разрыв пласта

Чистый кварцевый песок имеет большую плотность (2650 кг/м^3), что способствует его оседанию из потока жидкости и затрудняет заполнение трещин. Его плотность на смятие бывает недостаточной. В мировой практике в последнее время находят применение в качестве наполнителя стеклянные шарики, а также зерна агломерированного боксита соответствующего размера и молотая скорлупа грецкого ореха. Плотность стеклянных шариков примерно равна плотности кварца, т. е. 2650 кг/м^3 , но они прочнее и меньше вдавливаются в породу. Плотность порошка агломерированного боксита 1400 кг/м^3 . Производятся промышленные испытания наполнителя из особо прочных искусственных синтетических полимерных веществ, имеющих плотность, близкую к плотности жидкости (1100 кг/м^3) песконосителя.

Современная техника и применяемые жидкости позволяют осуществлять закачку при средней концентрации песка порядка 200 кг/м^3 жидкости. Применяются большие и меньшие концентрации. Количество закачиваемого песка, расходуемого на одну операцию ГРП, по данным фирмы Халибартон, составляет в среднем до $22,5 \text{ т}$, а количество жидкости в среднем (жидкость разрыва + жидкость-песконоситель) до $151,4 \text{ м}^3$

Осуществление гидравлического разрыва

Осуществление ГРП рекомендуется в следующих скважинах.

- Давших при опробовании слабый приток.
- С высоким пластовым давлением, но с низкой проницаемостью коллектора.
- С загрязненной призабойной зоной.
- С заниженной продуктивностью.
- С высоким газовым фактором (по сравнению с окружающими).
- Нагнетательных с низкой приемистостью.
- Нагнетательных для расширения интервала поглощения.

Не рекомендуется проводить ГРП в скважинах, технически неисправных и расположенных близко от контура водоносности или от газовой шапки.

Эффективность ГРП зависит от размеров трещины. Формула для оценки радиуса трещины имеет вид:

$$r_c = (0,0134 - 1,6 \cdot 10^6 \cdot H) \cdot \left[Q \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot t}{k}} \right]$$

где **Q** - л/с; **μ** - Па·с; **t** - с; **k** - м²; **H** - м; **r_T** - м.

Осуществление гидравлического разрыва

Определение ширины трещины затруднительно, хотя и имеются формулы для ее вычисления. У стенки скважины ширина трещины наибольшая и к концу убывает до нуля.

При закачке маловязкой жидкости, легко проникающей в горизонтальный проницаемый прослой, возникает, как правило, горизонтальная трещина, в которой давление превышает локальное горное. В результате происходит упругое расщепление пласта по наиболее слабым плоскостям.

При закачке нефилтующейся жидкости образуются вертикальные трещины, так как вследствие отсутствия фильтрации в пласт явление разрыва подобно разрыву длинной трубы с толстыми стенками. При наличии в пласте естественных трещин разрыв происходит по их плоскостям независимо от фильтруемости жидкости.

Формула для определения ширины и объема вертикальной трещины имеет вид:

$$w = \frac{8 \cdot (1 - \nu)^2}{E} \Delta P \cdot L$$

где **w** - ширина трещины у стенки скважины; **ν** - коэффициент Пуассона (0,1 - 0,2); **Δp** - превышение давления на забое скважины над локальным горным; **E** - модуль Юнга для горной породы [(1 - 2) · 10² МПа]; **L** - длина трещины.

Осуществление гидравлического разрыва

Полагая, что вертикальная трещина имеет форму клина с основанием w высотой L и длиной h ., равной толщине пласта, получим ее объемами

$$V_{\tau} = \frac{w \cdot h \cdot L}{2} \cdot \frac{4 \cdot (1 - \nu)^2}{E} \Delta P \cdot h \cdot L^2$$

Ширина трещин может достигать нескольких сантиметров. Имеются факты закачки в трещины при ГРП шариков диаметром более 1 см, которые заклинивались в трещинах и не извлекались при последующей эксплуатации скважины.

Обработка результатов электро моделирования дает следующую формулу для оценки гидродинамической эффективности ГРП в скважине с открытым забоем:

$$\phi = \frac{Q_{\tau}}{Q_0} = 1 + N_{\nu} \cdot \left(\frac{r_{\tau}}{r_c} \right)^{n(b)}$$

где ϕ - кратность увеличения дебита после ГРП; Q_{τ} - дебит скважины после ГРП; Q_0 - дебит до ГРП; N_{ν} - коэффициент, зависящий от величины $b = h/2r_c$; h - толщина пласта; r_{τ} - радиус трещины; r_c - радиус скважины; $n(b)$ - коэффициент, также зависящий от b .

Осуществление гидравлического разрыва

Полагая, что вертикальная трещина имеет форму клина с основанием w высотой L и длиной h , равной толщине пласта, получим ее объем

Таблица 5.3. Значения коэффициентов $N(b)$ и $n(b)$

b	$n(b)$	$N(b)$
17,0	0,44	0,15
22,72	0,55	0,106
28,41	0,61	0,064
38,65	0,70	0,041
89,80	0,93	0,0108

Для промежуточных значений b соответствующие величины n и N находятся интерполяцией. Имеются приближенные формулы для оценки гидродинамической эффективности ГРП.

Можно предположить, что вся притекающая к скважине жидкость на расстоянии $r = r_t$ попадает в трещину и далее без сопротивления движется по ней до стенки скважины. Это соответствует радиальному притоку жидкости к скважине с радиусом, равным радиусу трещины r_t . В таком случае можно записать

Осуществление гидравлического разрыва

$$Q_T = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h \cdot \Delta P}{\mu \cdot \sum n \frac{R_K}{r_T}}$$

Деля на дебит Q_o несовершенной скважины, имеющей приведенный радиус $r_{пр}$, получим

$$\phi = \frac{Q_T}{Q_o} = \frac{\sum n \frac{R_K}{r_{пр}}}{\sum n \frac{R_K}{r_T}}$$

Числовые оценки показывают, что

при $R_K = 200$ м; $r_{пр} = r_c = 0,1$ м; $r_T = 20$ м $\phi = 3,3$;
при $R_K = 400$ м; $r_{пр} = r_c = 0,1$ м; $r_T = 10$ м $\phi = 2,25$.

Таким образом, дебит в увеличивается в 2 - 3 раза.

Осуществление гидравлического разрыва

При другой схематизации течения жидкости к скважине предполагается что от контура питания R_k до радиуса $r = r_T$ жидкость движется по пласту, имеющему гидропроводность,

$$\varepsilon_1 = \frac{k_1 \cdot h_1}{\mu}$$

а от радиуса $r = r_T$ до стенки скважины $r = r_c$ по трещине с гидропроводностью:

$$\varepsilon_2 = \frac{k_2 \cdot w}{\mu}$$

Здесь k_2 - проницаемость трещины и w - ширина трещины (раскрытость). При такой схематизации приток может быть выражен через сумму фильтрационных сопротивлений этих двух областей, а именно:

$$Q_T = \frac{P_k - P_c}{\frac{\mu}{2 \cdot \pi \cdot k_1 \cdot h_1} \cdot \boxtimes n \frac{R_k}{r_T} + \frac{\mu}{2 \cdot \pi \cdot k_2 \cdot h_2} \cdot \boxtimes n \frac{r_T}{r_c}}$$

Осуществление гидравлического

разрыва

Деля на дебит несовершенной скважины, имеющей приведенный радиус $r_{пр}$,

$$Q_o = \frac{P_k - P_c}{\frac{\mu}{2 \cdot \pi \cdot k_1 \cdot h_1} \cdot \ln \frac{R_k}{r_{пр}}}$$

получим после некоторых сокращений:

$$\varphi = \frac{Q_T}{Q_o} = \frac{\frac{1}{k_1 \cdot h_1} \cdot \ln \frac{R_k}{r_{пр}}}{\frac{1}{k_1 \cdot h_1} \cdot \ln \frac{R_k}{r_T} + \frac{1}{k_2 \cdot w} \cdot \ln \frac{r_T}{r_c}}$$

Деля числитель и знаменатель на $1/k_1 h_1$, получим

Осуществление гидравлического разрыва

$$\phi = \frac{Q_T}{Q_o} = \frac{\sum_n \frac{R_k}{r_{пр}}}{\sum_n \frac{R_k}{r_T} + \frac{k_1 \cdot h_1}{k_2 \cdot w} \cdot \sum_n \frac{r_T}{r_c}}$$

При $r_{пр} = r_c$, т. е. при гидродинамически совершенной скважине, оценки значений по этой формуле будут меньше, чем в предыдущем случае. Практически значения ϕ часто бывают намного больше.

Если пласт сложен из нескольких самостоятельных пропластков, эффективность ГРП в таком пласте будет значительно меньше, так как образование трещины в одном пропластке может существенно изменить приток жидкости только из этого пропластка, но не суммарный приток из всех пропластков. Приток жидкости из нескольких пропластков можно записать как сумму

$$Q_o = q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_1^n q_i$$

Если в результате ГРП в одном (скажем, в первом) пропластке произошло увеличение дебита в 4 раза, ($\phi = 4$), то новый дебит скважины будет равен

Осуществление гидравлического разрыва

$$Q_{\tau} = q_1 \cdot \varphi + q_2 + q_3 + \dots + q_n = q_1 \cdot \varphi + \sum_2^n q_i$$

Кратность увеличения дебита скважины после гидроразрыва слоистого пласта составит

$$\varphi_i = \frac{Q_{\tau}}{Q_o} = \frac{q_1 \cdot \varphi + \sum_2^n q_i}{\sum_1^n q_i}$$

Прибавляя и отнимая в числителе q_1 получим после упрощений и деления

$$\varphi_i = \frac{Q_{\tau}}{Q_o} = \frac{q_1 \cdot (\varphi - 1)}{\sum_1^n q_i} + 1$$

Поскольку приток из одного пропластка q_1 мал по сравнению с притоком всех пропластков $\sum q_i$, то общее увеличение дебита такой слоистой системы φ_i будет также мало.

Осуществление гидравлического разрыва

В таком случае надлежащий эффект в многослойном пласте или в пласте со слоистой неоднородностью по разрезу может быть достигнут двумя методами:

1. Либо созданием одной вертикальной трещины, рассекающей все прослойки, за одну операцию ГРП.
2. Либо созданием горизонтальных трещин в каждом пропластке при поинтервальном или многократном ГРП.

Многократный разрыв - это осуществление нескольких разрывов в пласте за одну операцию. После регистрации разрыва какого-то прослоя и введения в него нужного количества наполнителя в нагнетаемый поток жидкости вводятся упругие пластмассовые шарики, плотность которых примерно равна плотности жидкости. Поток жидкости шарики увлекаются и закрывают те перфорационные отверстия, через которые расход жидкости наибольший. Диаметр этих шариков примерно 12 - 18 мм, один шарик может перекрывать одно перфорационное отверстие. Этим достигается уменьшение или даже прекращение потока жидкости в образовавшуюся трещину. Давление на забое возрастает и это вызывает образование новой трещины в другом прослое, что регистрируется на поверхности изменением коэффициентов поглотительной способности скважины.

Осуществление гидравлического

разрыва

После этого в поток снова вводятся шарики без снижения давления через специальное лубрикаторное устройство, устанавливаемое на устье скважины для закупорки второй образовавшейся трещины.

Разработаны и иные технологические приемы многократного ГРП с использованием закупоривающих шаров, а также с помощью временно закупоривающих мелкодисперсных веществ (нафталин), которые растворяются в нефти при последующей эксплуатации скважины. При последующем дренировании скважины закачанные шарики вымываются на поверхность и открывают все образовавшиеся трещины.

Поинтервальный разрыв - это ГРП в каждом прослое, при котором намеченный интервал изолируется сверху и снизу двумя пакерами и подвергается обработке. После окончания операции ГРП пакеры освобождаются и устанавливаются в пределах второго интервала, который обрабатывается как самостоятельный.

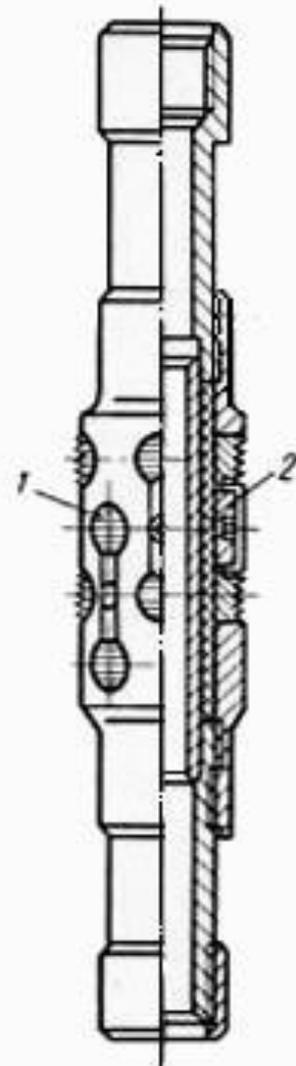
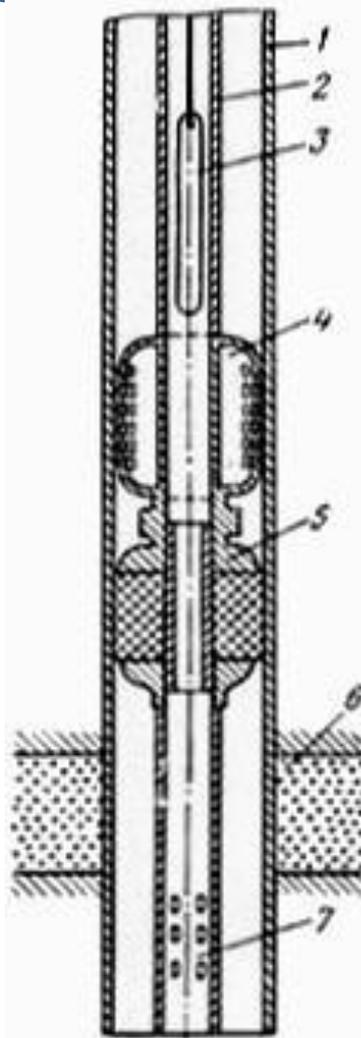
Поинтервальный разрыв возможен в случаях, когда общим фильтром разрабатываются несколько пластов или пропластков, изолированных друг от друга слоями непроницаемых пород, имеющих толщину несколько десятков метров, с хорошим перекрытием - цементным камнем заколонного пространства. Это необходимо для размещения пакеров и якорей выше и ниже намеченного для ГРП интервала, а также для предотвращения ухода жидкости в пласты, не предназначенные для обработки во время данной операции.

Осуществление гидравлического разрыва

Для защиты обсадных колонн от высокого давления в скважину опускают НКТ с пакером и якорем на нижнем конце, которые устанавливаются выше кровли пласта, намеченного для ГРП.

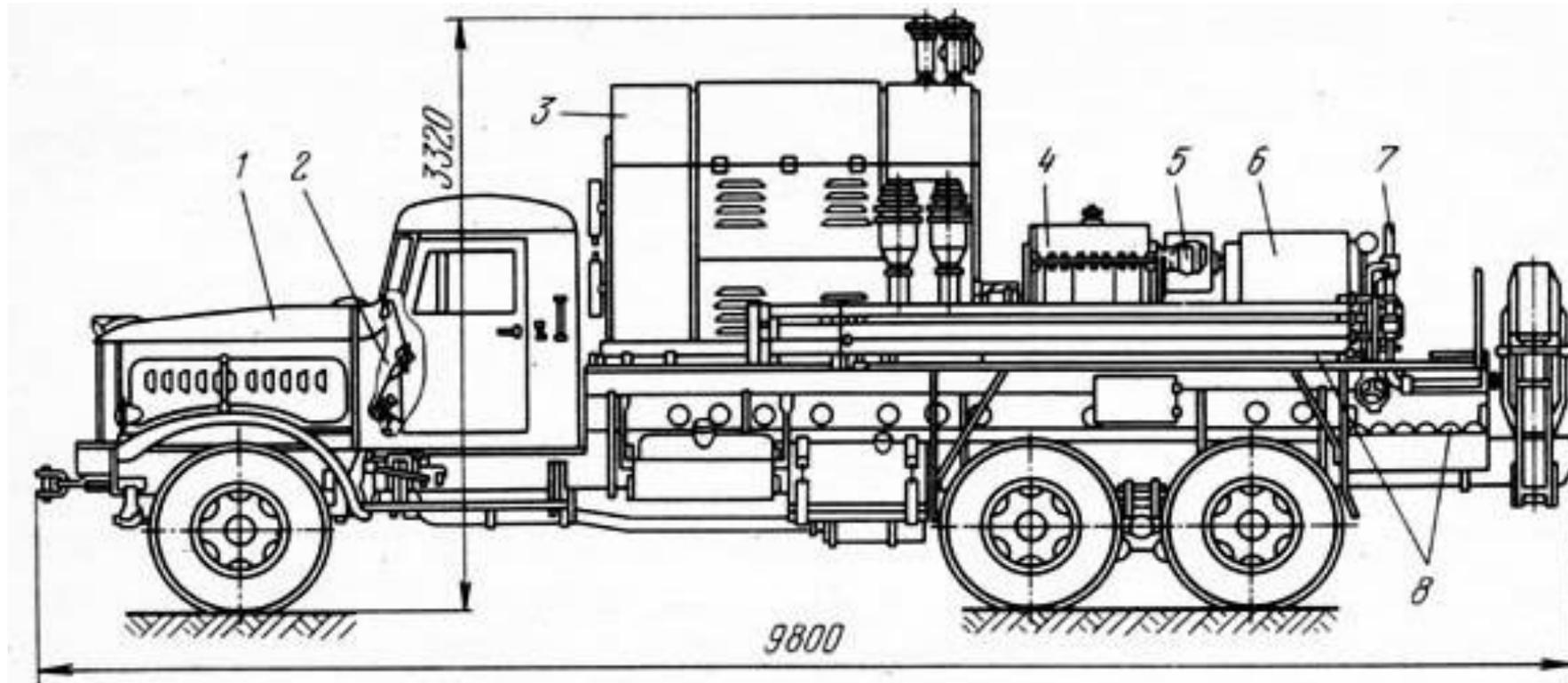
Пакеры разделяются на пакеры с опорой на забой (пакеры ПМ6"; ГШ8"; ОПМ6"; ОПМ8") и пакеры без опоры на забой (плашечные пакеры ПШ6", ПШ8", ПШ5"-500, ПШ6"-500, ПС5"-500, ПС6"-500, ПГ5"-500, ПГ6"-500).

Пакеры допускают перепад давления (при правильной посадке) 30 - 50 МПа над ним и под ним и имеют проходное сечение от 47 до 68 мм в зависимости от типа и размера обсадной колонны.



Осуществление гидравлического разрыва

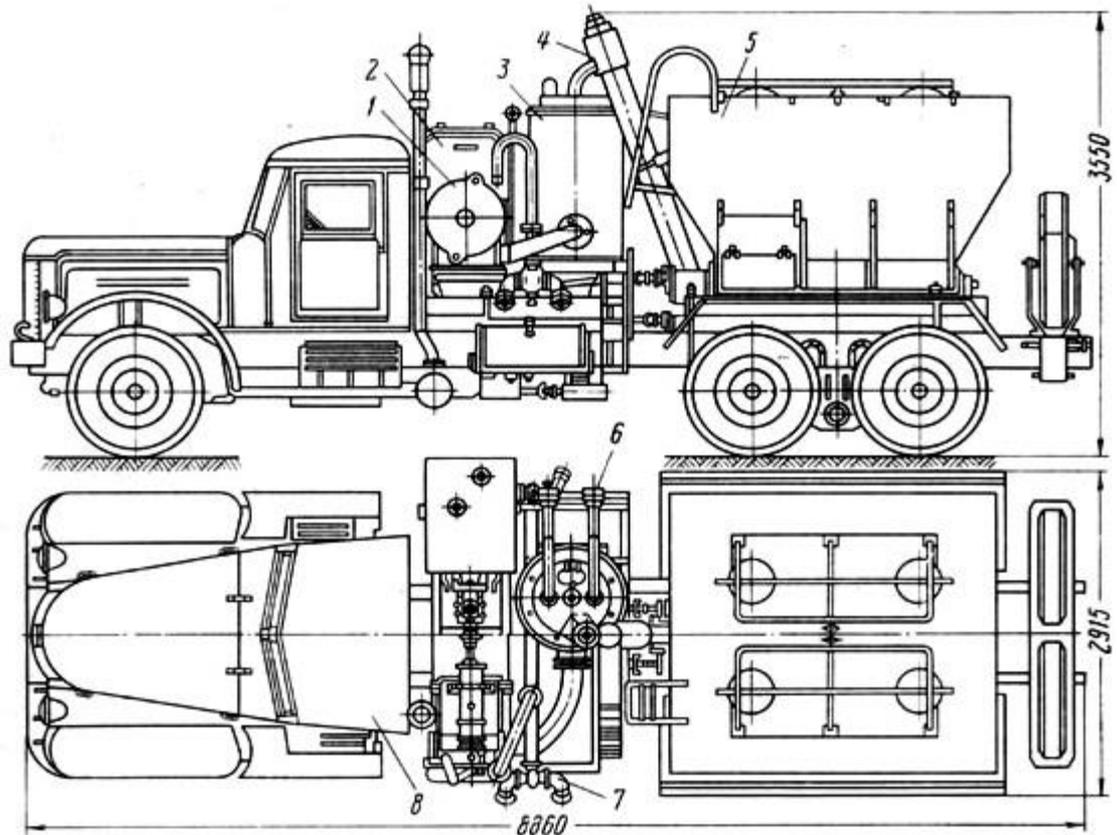
Для осуществления ГРП применяются специальные насосные агрегаты в износостойком исполнении, смонтированные на шасси трехосных тяжелых грузовых машин КрАЗ-257 грузоподъемностью 10 - 12 т. В качестве привода к силовому насосу используется дизельный двигатель мощностью 588 кВт.



Осуществление гидравлического

Для приготовления жидкости-песконосителя служат песко-смесительные агрегаты, со сложными автоматическими дозирующими жидкость и песок устройствами. Обычный пескосмесительный агрегат ЗПА представляет собой смонтированный на шасси тяжелого грузовика КраЗ-257 бункер 5 с коническим дном. Бункер перегороден продольной перегородкой для перевозки мелкого и крупного песка. Под дном бункера имеется два горизонтальных шнековых вала, приводимых во вращение тяговым двигателем через коробку

назрлива



Осуществление гидравлического разрыва

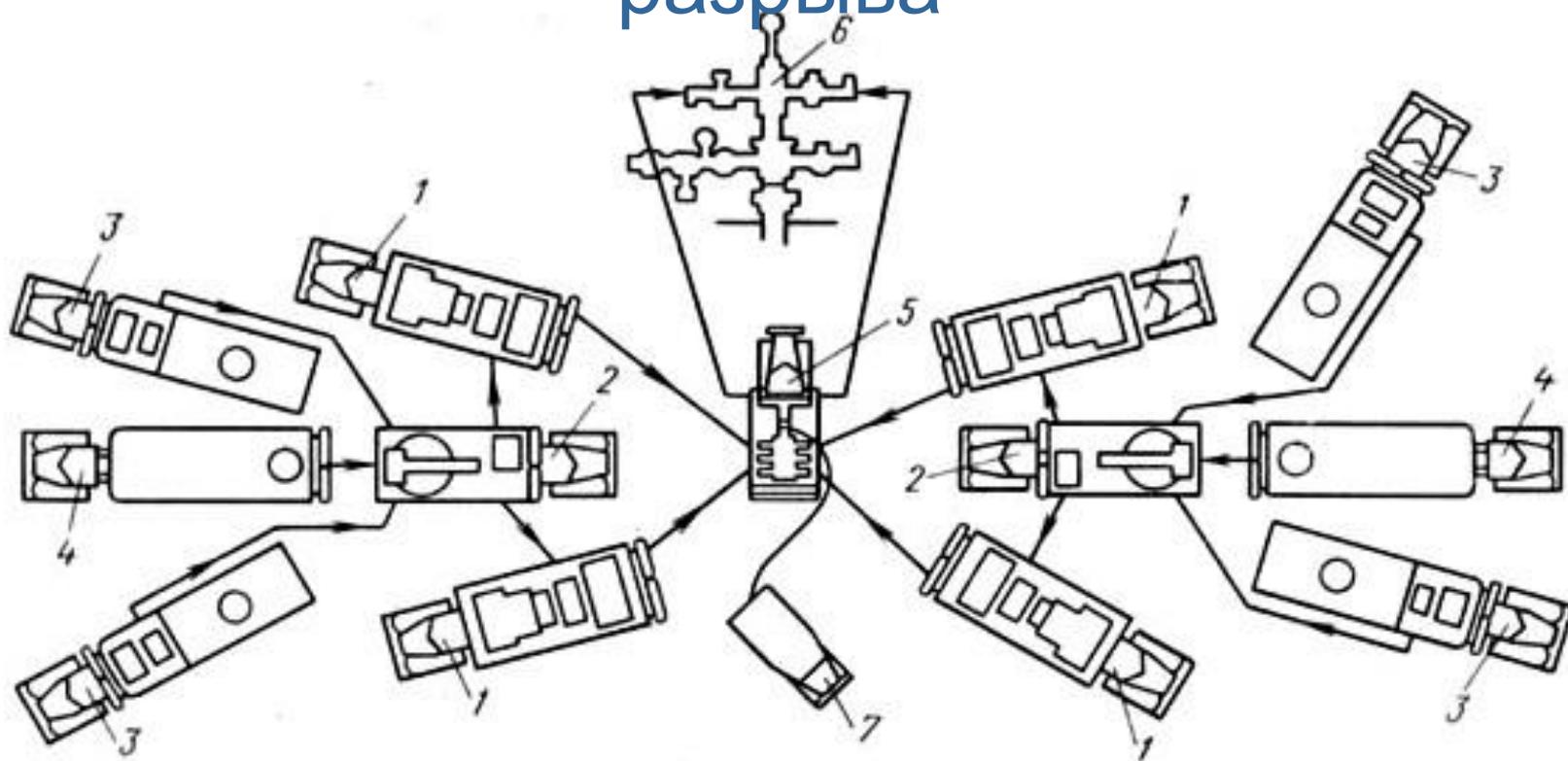


Схема расположения оборудования при ГРП:

1 - насосные агрегаты 4АН-700; 2 - пескосмесительные агрегаты ЗПА; 3 - автоцистерны ЦР-20 с технологическими жидкостями; 4 - песковозы; 5 - блок манифольдов высокого давления; 6 - арматура устья 2АУ-700; 7 - станция контроля и управления процессом (расходомеры, манометры, радиосвязь)