

УДК 622.276.66

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРП В УСЛОВИЯХ  
СЕВЕРО-САВИНОБОРСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**



**DESIGN OF THE HYDRAULIC FRACTURING IN THE CONDITIONS  
OF THE SEVERO-SAVINOBORSKOYE OIL FIELD**

**Дерли Наталия Александровна**

студент  
направления подготовки Нефтегазовое дело  
Ухтинский государственный технический университет  
nata\_kovalchuk@mail.ru

**Савенок Ольга Владимовна**

доктор технических наук, профессор  
кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и  
газовых месторождений и подземной гидромеханики,  
Ухтинский государственный технический университет  
olgasavenok@mail.ru

**Аннотация.** Геолого-промысловые исследования Северо-Савиноборского нефтяного месторождения, расположенного в юго-восточной части Республики Коми на территории Вуктыльского района, показали низкую проницаемость в призабойной зоне пласта. Уровень добычи нефти падает на 7 тыс. тонн ежегодно. В связи с этим необходимо провести гидравлический разрыв пласта с целью повышения проницаемости призабойной зоны. В статье описывается проектирование ГРП в условиях этого месторождения, который необходим для образования новых или раскрытия уже существующих трещин с целью повышения проницаемости призабойной зоны пласта и увеличения производительности скважины. Показано, что процесс проведения ГРП экономически обоснован, т.к. окупается за 3,5 месяца, что является сравнительно небольшим сроком. Дополнительно добытая нефть за сутки получается 31 тонна, а увеличение объёмов добычи всегда было целью любой нефтяной компании.

**Ключевые слова:** теоретические основы гидравлического разрыва пласта; подбор скважин для проведения ГРП; порядок проведения работ по подготовке к ГРП; жидкости для проведения ГРП; техника для гидравлического разрыва пласта; расчёт параметров процесса ГРП; технико-экономическое обоснование ГРП.

**Derly Natalia Alexandrovna**

Student,  
Training Direction Oil and Gas Engineering,  
Ukhta State Technical University  
nata\_kovalchuk@mail.ru

**Savenok Olga Vadimovna**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Development and  
Operation of Oil and Gas Fields and  
Underground Hydromechanics,  
Ukhta State Technical University  
olgasavenok@mail.ru

**Annotation.** Geological field studies of the Severo-Savinoborskoye oil field located in the southeastern part of the Komi Republic in the Vuktyl region showed low permeability in the bottomhole formation zone. The level of oil production falls by 7 thousand tons annually. In this regard, it is necessary to carry out hydraulic fracturing in order to increase the permeability of the bottomhole zone. The article describes the design of hydraulic fracturing in the conditions of this field, which is necessary for the formation of new or opening of existing fractures in order to increase the permeability of the bottomhole formation zone and increase well productivity. It is shown that the process of hydraulic fracturing is economically justified, since pays off in 3.5 months, which is a relatively short period. Additional oil produced per day is 31 tons, and increasing production volumes has always been the goal of any oil company.

**Keywords:** theoretical foundations of hydraulic fracturing; selection of wells for hydraulic fracturing; the procedure for carrying out work to prepare for hydraulic fracturing; hydraulic fracturing fluids; hydraulic fracturing equipment; calculation of the parameters of the hydraulic fracturing process; feasibility study of hydraulic fracturing.

**Теоретические основы гидравлического разрыва пласта**

**В** настоящее время в разработку широко вовлекаются трудноизвлекаемые запасы нефти, приурочены к низкопроницаемым, слабодренлируемым, неоднородным и расчленённым коллекторам. Одним из эффективных методов повышения продуктивности скважин, вскрывающих такие пласты, и увеличения темпов отбора нефти из них, является гидравлический разрыв пласта. Гидравлический разрыв может быть определён как механический метод воздействия на продуктивный пласт, при котором порода разрывается по плоскостям минимальной прочности, благодаря воздействию на пласт давления, создаваемого закачкой в пласт флюида. Флюиды, посредством которых с поверхности на забой которых с поверхности на забой передаётся энергия, необходимая для разрыва, называется жидкостями разрыва. После разрыва

под воздействием давлений жидкости трещина увеличивается, возникает её связь с системой естественных трещин, не вскрытых скважиной, и с зонами повышенной проницаемости; таким образом, расширяется область пласта, дренируемая скважиной. В образованные трещины жидкостями разрыва транспортируется зернистый материал, закрепляющий трещины в раскрытом состоянии после снятия избыточного давления.

Одним из важнейших параметров проведения ГРП является давление гидроразрыва, при котором образуются трещины в материале породы. В идеальных условиях давление раскрытия трещин  $p_{грп}$  должно быть не меньше горного давления  $p_{гор}$ , создаваемого толщей вышележащих пород. Однако в реальных условиях может выполняться неравенство  $p_{грп} \ll p_{гор}$ , что объясняется наличием в пласте глинистых пропластков, обладающих хорошими пластичными свойствами. В процессе бурения, когда ствол скважины не обсажен, под действием веса вышележащих пород может произойти выдавливание глины из пласта в скважины и частичное разгружение пласта, расположенного под глинистыми пропластками, что и приводит к снижению давления гидроразрыва.

Гидроразрыв проводят по следующей технологии. В начале под большим давлением закачивают жидкость с песком. Обычно и жидкость разрыва и жидкость-песконоситель при обработке добывающих скважин приготавливают на углеводородной основе. Концентрация в жидкости-песконосителе обычно колеблется в пределах от 100 до 500 кг / м<sup>3</sup> и зависит от её фильтруемости и удерживающей способности.

Далее закачивают продавочную жидкость для доведения жидкости-песконосителя до пласта. Для этих целей чаще всего используют воду.

К жидкости разрыва предъявляются следующие требования. Во-первых, она должна быть высоковязкой, чтобы не произошло её быстрое проникновение в глубь пласта, иначе повышение давления вблизи скважины будет недостаточным. Во-вторых, при наличии в разрезе скважины нескольких продуктивных пропластков необходимо обеспечить по возможности равномерный профиль приёмистости. Для гидроразрыва пласта необходимо использовать жидкость, вязкость которой не зависит от скорости фильтрации.

### **Подбор скважин для проведения ГРП**

Перед непосредственным расчётом ГРП проверим готовность скважины к запланированному мероприятию. Объектом для проведения технологии ГРП могут быть пласты-коллекторы, сложенные как терригенными, так и карбонатными породами.

Наиболее благоприятными объектами для проведения ГРП являются пласты, обладающие высокой пластовой энергией и нефтенасыщенностью. Предпочтение следует отдавать объектам воздействия:

- продуктивные пласты, которых сложены низкопроницаемыми коллекторами с остаточной вертикальной трещиноватостью;
- продуктивность которых в данной скважине ниже, чем у близлежащих скважин, пробуренных на тот же объект;

Кроме того:

- потенциальный дебит (максимальный дебит за всю историю эксплуатации) – не менее 3 тонн / сут.;
- толщина перекрывающих и подстилающих экранов – не менее 3 м;
- отношение текущего пластового давления к начальному – от 0,8 до 0,9;
- состояние цементного камня в интервале перфорации  $\pm 10$  м – хорошее;
- скважина не должна иметь заколонных перетоков;
- зенитный угол ствола скважины в интервале пласта – не более 10°.

### **Порядок проведения работ по подготовке к ГРП**

Перед проведением гидравлического разрыва проводятся следующие мероприятия:

- производится промывка забоя до чистой воды;
- колонна НКТ приподнимается на 5,0 м выше кровли пласта;
- по НКТ производится перфорация зарядами ПКР-42С или при необходимости углубленная перфорация зарядами ПКС-105С, ПЛ-70;

- при необходимости производится очистка эксплуатационной колонны гидравлическим скребком в месте посадки пакера и якоря;
- производится замена эксплуатационной устьевого арматуры на специальную фонтанную арматуру для ГРП;
- в скважину спускаются технологические трубы с пакером и якорем и опрессовочным седлом;
- осуществляется посадка пакера с якорем.

### **Жидкости для проведения ГРП**

Жидкости ГРП предназначены для проведения операций по интенсификации процессов добычи нефти за счет увеличения каналов гидравлического взаимодействия пластов со скважиной.

Различные жидкости разрыва перед использованием их в том или ином пласте должны быть проверены на взаимодействие с породой и насыщающими данный пласт жидкостями. Это определяет возможность использования той или иной жидкости разрыва в данном пласте. Чрезвычайно важно уменьшить возможность образования вторичных эмульсий и отделения от породы мелкодисперсных частиц, которые будут мешать движению потока жидкости по трещине. Проверка на взаимодействие поможет обнаружить такие поверхностно-активные вещества и химические реагенты, которые при введении их в жидкость разрыва предотвратят указанные вредные процессы.

Для выбора необходимой жидкости разрыва, подходящей для рассматриваемого месторождения, важно учесть такой параметр как пластовая температура. Это связано с тем, что при высоких температурах некоторые жидкости теряют значительный процент своей эффективности.

Рекомендуется использовать жидкости разрыва на основе полисахаридов, разработанные ООО «ПермьНИПИнефть».

Составы жидкостей ГРП готовятся на водной основе и отличаются невысокой стоимостью, способностью к изменению реологических свойств в широких пределах, а также управляемой скоростью деструкции. Свойства жидкостей ГРП на основе полисахаридов обеспечивают проведение работ по гидроразрыву низко- и высокопроницаемых пород. В зависимости от соотношения ингредиентов, входящих в состав, жидкости ГРП могут использоваться как жидкость разрыва и как жидкость-песконоситель.

Жидкость ГРП содержит полисахаридный полимер, неорганическую соль для обеспечения необходимой плотности, сшивающий агент, реагент-терморегулятор и деструктор.

Жидкость ГРП имеет следующие показатели:

- динамическая вязкость при температуре 20 °С (по вискозиметру Хепплера), от 200 до 2000 мПа · с;
- пескоудерживающая способность при концентрации песка в жидкости до 700 кг / м<sup>3</sup> при 20 °С – не менее 8 часов, при 80 °С – не менее 6 часов;
- плотность от 1020 до 1180 кг / м<sup>3</sup>;
- время хранения в промысловых условиях при 20°С – от 3 до 5 сут.;
- не образует водонефтяных эмульсий;
- не изменяет своих свойств при контакте с породой и пластовыми флюидами.

Жидкость-песконоситель используется для транспортирования песка с поверхности до трещины и заполнения последней песком. Она должна быть инертна по отношению к продукции пласта и длительное время не изменять своих свойств, также обладать минимальной фильтруемостью и высокой удерживающей способностью в отношении взвешенного в ней песка. В качестве жидкости-песконосителя возьмём проппант средней прочности, т.к. песок не выдерживает горного давления после ГРП и трещина смыкается. Плотность проппанта около 2,7 г / см<sup>3</sup>.

### **Техника для гидравлического разрыва пласта**

Как правило, ГРП проводят по колонне НКТ, спускаемой в скважину и закрепляемой на расчетной глубине пакером или якорем. Так как в процессе разрыва под паке-

ром создаётся высокое давление, существенно превышающее гидростатическое давление столба жидкости, на пакер действует значительная страгивающая сила, что может вызывать его перемещение вверх и продольный изгиб НКТ. Во избежание этого выше пакера устанавливают гидравлический якорь плашечного типа. При создании внутри якоря избыточного давления зубчатые плашки раздвигаются и вдавливаются в обсадную колонну, надёжно фиксируя спущенное в скважину оборудование.

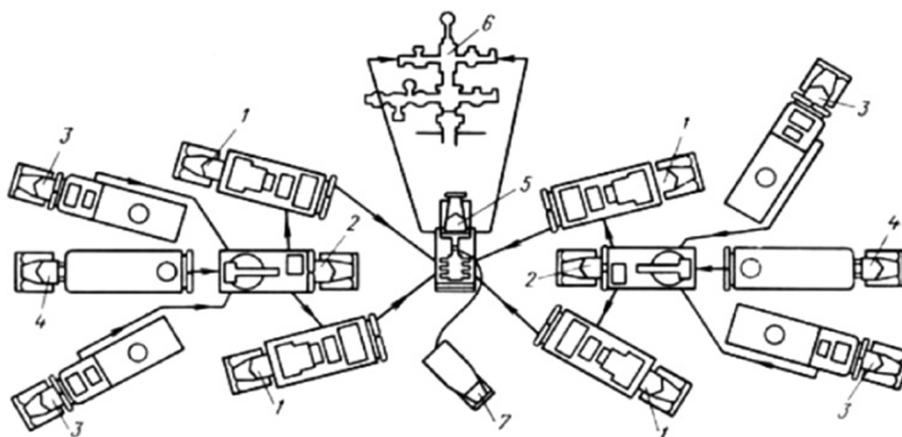
Поверхностное оборудование для производства ГРП включает: специальные насосные агрегаты износостойкого исполнения, например, 4АН-700. Привод силового насоса этого агрегата – дизельный двигатель, который связан с приводным валом силового насоса.

Для приготовления смеси жидкость-песконоситель используют пескосмесительные агрегаты с автоматически регулируемым дозаторами жидкости и наполнителя. Принципиально такой агрегат включает двигатель привода насоса, центробежный пульповый насос, специальный двухкамерный бункер для наполнителя, смесительное устройство с четырёхлопастными мешалками.

Для доставки к скважине рабочей жидкости используем автоцистерны 4-ЦР ёмкостью 10 м<sup>3</sup>.

При производстве ГРП обязательным элементом является манифольдный блок высокого давления, предназначенный для обвязки выкидных насосных агрегатов и присоединения их к специальной арматуре устья скважины. Принципиальная схема расположения оборудования и обвязки устья при гидроразрыве показана на рисунке 1.

Все насосные агрегаты управляются одним оператором из станции контроля. В станцию контроля на центральный компьютер передаются такие параметры как: давление на НКТ, давление на затрубе, скорость потока жидкости и др.



**Рисунок 1** – Схема обвязки наземного оборудования при ГРП: 1 – насосный агрегат 4АН-700; 2 – пескосмесительный агрегат; 3 – автоцистерна; 4 – песковоз; 5 – блок манифольда 1БМ-700; 6 – арматура устья 2АУ-700; 7 – станция контроля и управления процессом

## Расчёт параметров процесса ГРП

Исходные данные для расчёта.

Плотность пластового флюида, кг / м <sup>3</sup>	848
Давление в пласте, МПа	25,6
Температура в пласте, °С	65
Пористость, %	14
Проницаемость, м <sup>2</sup>	$4,6 \cdot 10^{-15}$
Градиент трения в НКТ, Па / м	$6,5 \cdot 10^3$
Гидростатический градиент, Па / м	$10^4$
Подача жидкости при основном ГРП, м <sup>3</sup> / с	0,0467
Потери давления на перфорации, МПа	1,85
Забойное давление, МПа	19,5
Динамическая вязкость, Па · с	$0,9 \cdot 10^{-3}$
Дебит скважины до разрыва пласта, м <sup>3</sup> / с	90,1

В таблице 1 даны характеристики обсадной колонны и НКТ, используемых в проектируемом процессе ГРП.

Таблица 1 – Характеристики обсадной колонны и НКТ

Характеристика труб	Обсадная колонна	НКТ
Внешний диаметр, мм	177,8	88,9
Внутренний диаметр, мм	157,0	75,9
Давление деформации, МПа	56,3	70,1
Прочность на смятие, МПа		72,6
Общая глубина, м	2515	
Интервал перфорации, м	2443,0; 2461,0; 2465,0; 2467,0	2455,0; 2458,0; 2474,0; 2481,0
Объем до верхнего уровня перфорации, м <sup>3</sup>	16,9	–
Вертикальная глубина до среднего уровня перфорации, м	2291,0	
Глубина спуска пакера, м	2433,0	–

Количество жидкости разрыва колеблется от 4 до 10 м<sup>3</sup>. Это зависит от вязкости жидкости, от степени поглощения, расхода в единицу времени, от давления разрыва. Для данной скважины примем средний объем  $V_{\text{ср}} = 7 \text{ м}^3$ . Опираясь на опыт по проведению ГРП по различным месторождениям, возьмём количество закачиваемого песка 8 тонн. Концентрацию песка примем  $C = 300 \text{ кг / м}^3$ . Зная концентрацию песка и его количество, можно рассчитать  $V$  жидкости-песконосителя:

$$V_{\text{жп}} = \frac{M_{\text{пес}}}{C} = \frac{7}{0,3} = 23,3 \text{ м}^3.$$

Найдём оптимальную концентрацию песка:

$$C = \frac{4000}{V} = \frac{4000}{15} = 266,6 \text{ кг / м}^3,$$

где  $V$  – скорость падения зёрен песка диаметром 0,8 мм в метр в час (определяем скорость по графику зависимости скорости падения зёрен песка от вязкости жидкости-песконосителя).

Найдём содержание песка в объёме 23,3 м<sup>3</sup>:

$$G_{\text{пес}} = C \cdot V_{\text{жп}} = 266,6 \cdot 23,3 = 6211,78 \text{ кг} = 6,2 \text{ тонн}.$$

Зная глубину скважины и внутренний диаметр обсадной колонны, можно определить требуемый объём продавочной жидкости:

$$V_{\text{пр.ж}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2}{4} \cdot H \cdot 1,3 = \frac{3,14 \cdot 0,157^2}{4} \cdot 2515 \cdot 1,3 = 63,2 \text{ м}^3.$$

Общая продолжительность процесса ГРП:

$$T = \frac{V_{\text{ср}} + V_{\text{жп}} + V_{\text{пр}}}{Q},$$

где  $Q$  – суточный расход рабочей жидкости, м<sup>3</sup> ( $Q = 1300 \text{ м}^3$ ).

$$T = \frac{7 + 23,3 + 63,3}{1300} = 0,072 \text{ сут.} = 2 \text{ часа } 18 \text{ мин.}$$

Для определения радиуса горизонтальной трещины необходимо знать время закачки жидкости разрыва, которая рассчитывается по формуле:

$$T_p = \frac{V_{\text{ср}} \cdot 1440}{Q} = \frac{7 \cdot 1440}{1300} = 7,8 \text{ мин.} = 465 \text{ с.}$$

Радиус горизонтальной трещины определяем по формуле:

$$r_{\text{тр}} = C \cdot \left( Q \cdot \left( \frac{\mu \cdot t_p}{k} \right)^{0,5} \right)^{0,5},$$

где  $C$  – эмпирический коэффициент, зависящий от горного давления и характеристики горных пород, который для нашей скважины принимается равным 0,02;  $Q$  – расход жидкости разрыва, равный  $15 \text{ л / с} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$ ;  $t_p$  – время закачки жидкости разрыва;  $\mu$  – вязкость жидкости разрыва, равная  $50 \text{ сП} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;  $k$  – проницаемость пород.

Тогда радиус горизонтальной трещины будет равен:

$$r_{\text{тр}} = 0,02 \cdot \left( 15 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 465}{4,5 \cdot 10^{-15}} \right)^{0,5} \right)^{0,5} = 20,76 \text{ м}.$$

Проницаемость горизонтальной трещины определяем по формуле:

$$k_{\text{тр}} = \frac{10^8 \cdot w^2}{12},$$

где  $w$  – толщина трещины (принимаем  $w = 0,1 \text{ см}$ ).

$$k_{\text{тр}} = \frac{10^8 \cdot 0,1^2}{12} = 83 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2.$$

Проницаемость призабойной зоны пласта будет равна:

$$k_{\text{пз}} = \frac{k_{\text{п}} \cdot h + k_{\text{тр}} \cdot w}{h + w},$$

где  $k_{\text{п}}$  – проницаемость пласта ( $k_{\text{п}} = 4,5 \cdot 10^{-15} \cdot \text{м}^2$ );  $h$  – эффективная толщина пласта ( $h = 35 \text{ м}$ ).

Отсюда  $k_{\text{пз}} = 2,37 \cdot 10^{-12} \cdot \text{м}^2$ .

Проницаемость всей дренажной системы рассчитаем по формуле:

$$k_{\text{дс}} = \frac{k_{\text{п}} \cdot k_{\text{пз}} \cdot \lg \left( \frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{СКВ}}} \right)}{k_{\text{пз}} \cdot \lg \left( \frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{тр}}} \right) + k_{\text{п}} \cdot \lg \left( \frac{r_{\text{тр}}}{r_{\text{СКВ}}} \right)},$$

где  $R_{\text{к}}$  – радиус контура питания скважины (принимаем  $R_{\text{к}} = 250 \text{ м}$ );  $r_{\text{СКВ}}$  – радиус забоя скважины ( $r_{\text{СКВ}} = 0,01 \text{ м}$ ).

Отсюда  $k_{\text{дс}} = 0,012 \cdot 10^{-12} \cdot \text{м}^2$ .

Так как потери напора в трещине очень малы, то можно принять, что максимальный дебит скважины после ГРП с образованием в призабойной зоне горизонтальных или вертикальных трещин определяется по формуле:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{дс}} \cdot h \cdot \Delta P}{\mu \cdot \ln \left( \frac{R_{\text{к}}}{r_{\text{тр}}} \right)},$$

где  $Q$  – максимальный дебит,  $\text{м}^3 / \text{сут}$ .

$$\Delta P = P_{\text{пл}} - P_{\text{заб}} = (25,6 - 19,5) \cdot 10^6 = 6,1 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2.$$

Отсюда  $Q = 24$  тонн / сут.

Давление разрыва пласта рассчитаем по формуле

$$P_{\text{разр}} = P_{\text{верт}}^{\text{гор}} + P_{\text{пл}} + \sigma_{\Gamma},$$

где  $P_{\text{верт}}^{\text{гор}}$  – давление вышележащих пород.

$$P_{\text{разр}} = (61,7 + 24,5 + 2) \cdot 10^6 = 88,2 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2.$$

Допустимое давление на устье скважины:

$$P_{\text{уст}} = \frac{D_{\text{н}}^2 - D_{\text{в}}^2}{D_{\text{н}}^2 + D_{\text{в}}^2} \cdot \frac{\sigma_{\Gamma}}{K} + P_{\text{пл}} + \frac{\gamma}{10 \cdot (h - L)},$$

где  $D_{\text{н}}$  – наружный диаметр обсадных труб;  $D_{\text{в}}$  – внутренний диаметр нижней части колонны труб;  $\sigma_{\Gamma}$  – предел текучести;  $K$  – запас прочности ( $K = 1,5$ );  $h$  – потери напора на трение в обсадной колонне;  $\gamma$  – плотность жидкости разрыва;  $L$  – длина обсадной колонны.

Потери напора в трубах для скважины глубиной 2515 м:

$$h = \frac{56 \cdot 2515}{1750} = 81 \text{ м ст. жидк.}$$

Подставляя численные значения, найдём допустимое давление на устье скважины, которое равно  $19,74 \cdot 10^6$  Па.

Рассчитаем допустимое давление на устье скважины в зависимости от прочности резьбы верхней части колонны труб на страгивающие усилия:

$$P_{\text{уст}} = \frac{\left( \frac{P_{\text{стр}}}{K} - G \right)}{\frac{\pi \cdot D_{\text{в}}^2}{4}},$$

где  $P_{\text{стр}}$  – страгивающая нагрузка для обсадных труб;  $G$  – усилие затяжки при обвязке обсадной колонны.

$$P_{\text{уст}} = \frac{\left( \frac{125}{1,5} - 50 \right)}{\frac{3,14 \cdot 15,7^2}{4}} = 17,2 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Из полученных двух значений устьевого давления выбираем меньшее ( $17,2 \cdot 10^6$  Па).

Давление разрыва на забое и давление на устье скважины связаны соотношением:

$$P_{\text{заб}} = P_{\text{уст}} + P_{\text{ст}} = (17,2 + 25,4) \cdot 10^6 = 42,6 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

При ГРП с закачкой жидкости по обсадной колонне при  $P_{\text{уст}} = 17,2 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2$  цементировочные агрегаты ЦА-320М. Для принятого темпа закачки жидкостей  $q = 15 \text{ л / с}$  необходимое число насосных агрегатов при одном резервном составит:

$$n = \frac{q}{q_{\text{ар}}} + 1,$$

где  $q_{\text{ар}} = 5,1 \text{ л / с}$  – производительность одного агрегата на II скорости при  $P = 17,2 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2$ .

$$n = \frac{15}{5,1} + 1 = 4 \text{ агрегата.}$$

Для смешивания песка с жидкостью применяем специальный пескосмесительный агрегат ЗПА, имеющий бункер на 8 тонн песка и механическую лопастную мешалку.

Для доставки к скважине рабочей жидкости применяются автоцистерны 4-ЦР ёмкостью 10 м<sup>3</sup>.

Устьевое оборудование АУ-5 предназначено для подключения к устью скважины насосных агрегатов и контрольно-измерительных приборов.

Ожидаемый эффект от ГРП предварительно определяем по приближённой формуле:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{k_2 \cdot \lg\left(\frac{R}{r_{скв}}\right)}{k_2 \cdot \lg\left(\frac{R}{r_{тр}}\right) + k_1 \cdot \lg\left(\frac{r_{тр}}{r_{скв}}\right)} = 2,3,$$

где  $Q_2$  – дебит скважины после гидроразрыва, тонн/сут.;  $Q_1$  – дебит скважины до гидроразрыва, тонн/сут.;  $k_1$  – естественная проницаемость пласта, Дарси;  $k_2$  – средняя проницаемость призабойной зоны скважины;  $R$  – радиус дренажа скважины, м.

Указанное выше отношение дебитов является теоретическим обоснованием ГРП.

#### Технико-экономическое обоснование ГРП

Основная цель расчётов – экономическая оценка предлагаемого проекта по ГРП на Северо-Савиноборском месторождении, отвечающая критерию достижения максимального экономического эффекта от возможно более полного извлечения нефти и получения прибыли за счёт дополнительной добычи при соблюдении требований экологии и охраны окружающей среды.

Экономическая эффективность проекта выражается в расчёте прибыли от дополнительной добычи нефти. При этом учитываются все статьи затрат: затраты на подготовительные работы, проведение ГРП, эксплуатационные затраты, затраты на электроэнергию, налоговые исчисления. Таким образом, необходимо выполнить экономическое обоснование предлагаемых мероприятий, т.к. только на основании экономических показателей (таких как показатель экономического эффекта и прибыль от реализации продукции) можно судить об экономической эффективности предлагаемых мероприятий. Численные значения этих показателей дают полное представление об экономической эффективности предлагаемых мероприятий. В таблице 2 приведено сравнение технико-экономических показателей вариантов разработки с проведением ГРП и без проведения ГРП.

По результатам расчётов эффективным по основным экономическим параметрам является вариант с применением ГРП, так как увеличилась годовая добыча нефти.

**Таблица 2** – Сравнение технико-экономических показателей вариантов разработки с проведением ГРП и без проведения ГРП

Показатель	До ГРП	После ГРП	Разница
Годовые эксплуатационные расходы на добычу нефти, млн руб.	96,096	226,208	130,112
Выручка от реализации нефти, млн руб.	128,419	295,364	166,945
НДС, млн руб.	23,115	53,166	30,051
Прибыль к налогообложению, млн руб.	12,707	44,436	31,729
Налог на прибыль млн руб.	6,465	13,831	7,366
Чистая прибыль от реализации нефти, млн руб.	55,325	66,389	11,064
Годовая добыча нефти, тыс. тонн	8723	20092	11369

Средний дебит исследуемой скважины до проведения ГРП составлял 24 тонн / сут., после проведения ГРП он составил 55,2 тонн / сут. Следовательно, дополнительно добытая нефть равна 31,2 тонн / сут. По расчётам получается, что ГРП окупается примерно за 3,5 месяца.

### Выводы и рекомендации

В статье спроектирован процесс ГРП в условиях Северо-Савиноборского месторождения, который необходим для образования новых или раскрытия уже существующих трещин с целью повышения проницаемости призабойной зоны пласта и увеличения производительности скважины.

Месторождение Северо-Савиноборское подходит для процесса ГРП, т.к. полностью соответствует всем требованиям данного мероприятия, а именно: продуктивный горизонт приурочен к терригенным отложениям, глубина скважины менее 3000 м (2522 м), дебит скважины более 3 тонн / сут. (24 тонн / сут.), пластовая температура меньше 100 °С (65 °С), отношение текущего пластового давления к начальному – не менее 0,8–0,9.

На основании анализа результатов расчёта гидравлического разрыва пласта могут быть сделаны следующие выводы:

- применяемые технические средства соответствуют необходимым техническим требованиям и позволяют реализовать спроектированный гидравлический разрыв пласта для Северо-Савиноборского месторождения в полном объёме;
- ожидаемый эффект от ГРП составляет примерно 2,3 раза.

Необходимые рекомендации:

- по окончании процесса ГРП скважину оставляют под давлением до момента падения его на устье скважины до нуля;
- после этого замеряют забой и уровень, при наличии на забое песчаной пробки скважину необходимо промыть, после чего она поступает в освоение и на исследование;
- во избежание возможного поступления обратно в скважину песка из трещины освоение следует проводить методом плавного запуска, т.е. путём постепенного повышения депрессии.

### Литература

1. Авторский надзор за внедрением технологических схем и проектов разработки месторождений ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» за 2004 год // Книга 1. Группа месторождений ООО «Тэбук-Ухтанефтегаз»: Отчёт / ПечорНИПИнефть. Руководитель Ерикова Л.Е. – Ухта, 2005. – 401 с.
2. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для студентов вузов / А.И. Булатов [ и др.] . – Краснодар : Просвещение – Юг, 2011. – 603 с.
3. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах: учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
4. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
5. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
6. Пластоиспытательное оборудование для гидродинамических исследований пластов нефтяных и газовых скважин / П.С. Варламов [и др.]. – Уфа : Уфимский полиграфкомбинат, 2004. – 620 с.
7. Ладенко А.А., Савенок О.В. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений. – М. : Инфра-Инженерия, 2020. – 244 с.
8. Геоинформатика нефтегазовых скважин // В.В. Попов [ и др.] . – Новочеркасск : Издательство «Лик», 2018. – 292 с.
9. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
10. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 275 с.
11. Экологические аспекты при строительстве нефтяных и газовых скважин: монография // О.В. Савенок [ и др.] . – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 652 с.

12. Савенок О.В. Проектирование разработки нефтяных месторождений: учебное пособие. – Ухта : Издательство Ухтинского государственного технического университета, 2021.
13. Экономидес М., Олайни Р., Валько П. Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта // Наведение мостов между теорией и практикой. – М. : Петроальянс Сервисис Компани Лимитед, 2004. – 194 с.
14. Антонов Е.Н., Шиян С.И. Техника и технология проведения гидравлического разрыва пласта на скважинах Самотлорского месторождения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 48–57.
15. Антонов Е.Н., Шиян С.И., Шаблий И.И. Анализ эффективности производства ГРП на объекте АВ<sub>1</sub><sup>1-2</sup> Самотлорского месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 2. – С. 55–72.
16. Арутюнов Т.В., Березовский Д.А., Кусов Г.В. Анализ технологии проведения гидравлического разрыва пласта в условиях объекта Ю<sub>1</sub> Снежного месторождения // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2017. – № 2 (2). – С. 85–113.
17. Батыров М.И., Савенок О.В. Анализ эффективности проведения ГРП на Ем-Ёговской площади Красноленинского месторождения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 75–81.
18. Григулецкий В.Г., Савельев Ю.П. Направленный многостадийный гидравлический разрыв пласта. Особенности технологии. Контроль и управление свойствами технологических жидкостей. Часть 1 // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 8. – С. 18–25.
19. Григулецкий В.Г., Савельев Ю.П. Направленный многостадийный гидравлический разрыв пласта. О динамических и температурных полях при измерении показателей технологических жидкостей. Часть 2 // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2016. – № 7. – С. 15–20.
20. Дерли Н.А., Савенок О.В. Анализ текущего состояния и перспективы разработки Северо-Савиноборского нефтяного месторождения // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 193–201.
21. Куликов Э.В., Залоев П.Д., Лешкович Н.М. Особенности применения ГРП на Приразломном месторождении // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 127–132.
22. Павельева О.Н., Басов А.О., Павельева Ю.Н. Анализ проведения ГРП на переходящем фонде скважин на Приобском месторождении // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 198–200.
23. Павельева О.Н., Басов А.О., Павельева Ю.Н. Технологический анализ эффективности применения ГС с ГРП в сравнении с ННС на Приобском месторождении // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 201–203.
24. Поздняков А.А., Виноградова И.А., Иванова Ю.И. Мониторинг гидроразрыва пласта на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь» // Нефтяное хозяйство, 2006. – № 11. – С. 38–41.
25. Савенок О.В., Кусов Г.В. Повышение эффективности газоконденсатоотдачи с помощью гидроразрыва пласта на Ново-Уренгойском газоконденсатном месторождении // ГеоИнжиниринг, 2006. – № 2. – С. 88–91.
26. Трофименко Д.Д., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Применение гидроразрыва пласта в низкопроницаемых коллекторах Тасовского месторождения и способ повышения его эффективности // Инженер-нефтяник. – 2019. – № 4 (49). – С. 5–15.
27. Анализ эффективности применения ГРП на Ельниковском нефтяном месторождении / А.Л. Яковлев [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 1. – С. 128–151.
28. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. База данных «Гидравлический разрыв пласта». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620811. Заявка № 201562082. Дата поступления 27 марта 2015 г. Дата государственной регистрации в Реестре баз данных 25 мая 2015 г.

## References

1. Author's supervision over implementation of technological schemes and projects of development of TPP «LUKOIL-Ukhtaneftegaz» fields in 2004 // Book 1. Group of fields of «Tebuk-Ukhtaneftegaz» LLC: Report / PechorNIPIneft. Report / PechoraNIPIneft. head – L.E. Erikova – Ukhta, 2005. – 401 p.
2. Ecology in the construction of oil and gas wells: a textbook for students of universities / A.I. Bulatov [et al.]. – Krasnodar : Prosveshchenie – South, 2011. – 603 p.
3. Bulatov A.I., Savenok O.V. The practical course of the discipline «oil and gas well completion» in 4 volumes: a training manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – Vol. 1–4.

4. Bulatov A.I., Savenok O.V. Capital underground repair of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – Vol. 1–4.
5. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremiyuchuk R.S. Scientific bases and practice of oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
6. Plast-testing equipment for hydrodynamic research of oil and gas wells / P.S. Varlamov [et al.]. – Ufa : Ufa Printing Works, 2004. – 620 p.
7. Ladenko A.A., Savenok O.V. Theoretical bases of oil and gas fields development. – M. : Infra-engineering, 2020. – 244 p.
8. Geoinformatics of oil and gas wells / V.V. Popov [et al.]. – Novocheerkassk : Publishing house «Lik», 2018. – 292 p.
9. Savenok O.V., Kachmar Y.D., Yaremichuk R.S. Oil and gas engineering in well development. – M. : Infra-engineering, 2019. – 548 p.
10. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of oil and gas fields. – Krasnodar : Izd. FGBOU VO «KubGTU», 2019. – 275 p.
11. Environmental aspects in the construction of oil and gas wells: a monograph // O.V. Savenok [et al.]. – M. ; Vologda : Infra-Engineering, 2021. – 652 p.
12. Savenok O.V. Designing the development of oil fields: a training manual. – Ukhta : Publishers Ukhta State Technical University, 2021.
13. Economides M., Olaini R., Valko P. Unified Hydraulic Fracturing Design // Bridging Theory and Practice. – M. : Petroalliance Services Company Limited, 2004. – 194 p.
14. Antonov E.N., Shiyani S.I. Technique and technology of hydraulic fracturing in wells of the Samotlor field // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 48–57.
15. Antonov E.N., Shiyani S.I., Shabliy I.I. Analysis of effectiveness of hydraulic fracturing in the object AB<sub>1</sub><sup>1-2</sup> of the Samotlor field // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskii Vestnik). – 2020. – № 2. – P. 55–72.
16. Arutyunov T.V., Berezovsky D.A., Kusov G.V. Analysis of hydraulic fracturing technology in the conditions of the object Y<sub>1</sub> Snezhnoye field // Bulletin of Student Science Department of Information Systems and Programming. – 2017. – № 2 (2). – P. 85–113.
17. Batyrov M.I., Savenok O.V. Analysis of Hydraulic Fracturing Efficiency at the Yem-Yogovskaya Ploschad Krasnoleninskoye field // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 2 – P. 75–81.
18. Griguletsky V.G., Saveliev Y.P. Directional multistage hydraulic fracturing. Features of Technology. Control and management of properties of technological fluids. Part 1 // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2015. – № 8. – P. 18–25.
19. Griguletsky V.G., Saveliev Y.P. Directional multistage hydraulic fracturing. About dynamic and temperature fields when measuring indicators of technological fluids. Part 2 // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2016. – № 7. – P. 15–20.
20. Derli N.A., Savenok O.V. Analysis of the current state and prospects for the development of the North Savinoborskoe oil field // Bulatov readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 193–201.
21. Kulikov E.V., Zaloev P.D., Leshkovich N.M. Features of hydraulic fracturing application at Prirazlomnoye field // Bulatovkie readings. – 2017. – Vol. 2. – P. 127–132.
22. Pavelieva O.N., Basov A.O., Pavelieva Y.N. Analysis of hydraulic fracturing on the transient stock of wells in the Priobskoe field // Bulatov readings. – 2017. – Vol. 2. – P. 198–200.
23. Pavelieva O.N., Basov A.O., Pavelieva Yu.N. Technological analysis of the effectiveness of hydraulic fracturing in comparison with oil extraction at Priobskoe field // Bulatovskie readings. – 2017. – Vol. 2. – P. 201–203.
24. Pozdnyakov A.A., Vinogradova I.A., Ivanova Y.I. Monitoring of hydraulic fracturing in the fields of LUKOIL-West Siberia // Oil industry, 2006. – № 11. – P. 38–41.
25. Savenok O.V., Kusov G.V. Increase of gas-condensate recovery efficiency by means of hydraulic fracturing at the Novo-Urengoi gas-condensate field // GeoEngineering, 2006. – № 2. – P. 88–91.
26. Trofimenko D.D., Savenok O.V., Arutyunyan A.S. Application of hydraulic fracturing in low-permeability reservoirs of the Tasovskoye field and the way to improve its efficiency // Engineer-neftyanik. – 2019. – № 4 (49). – P. 5–15.
27. Analysis of the effectiveness of hydraulic fracturing at the Yelnikovskoye oil field / A.L. Yakovlev [et al.] // Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnicheskii vestnik). – 2017. – № 1. – P. 128–151.
28. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Database «Hydraulic fracturing». Certificate of state registration of the database № 2015620811. Application № 2015620282. Date of receipt March 27, 2015. Date of state registration in the Register of databases May 25, 2015.