

УДК 622.276

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА
ПЛАСТА В НИЗКОПРОНИЦАЕМОЙ ЗОНЕ ПЛАСТА**

**DETERMINATION OF ECONOMIC EXPEDIENCY OF APPLICATION
TECHNOLOGY OF A FORMATION HYDRAULIC FRACTURING
IN A FORMATION LOW PERMEABLE ZONE**

Шакурова Ал. Ф., Шакурова Ай. Ф.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
филиал, г. Октябрьский, Россия

Al. F. Shakurova, Ai. F. Shakurova

FSBEI SPE Ufa state petroleum technological university, branch of Oktyabrsky, Russia

e-mail: alsu0017@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается сопоставление разных моделей эффективности гидравлического разрыва пласта, зависящей от положения скважины в системе добывающих и нагнетательных, в результате которых получены близкие показатели по отборам, а по давлению установлены существенные отклонения. Поэтому предложено моделирование гидравлического разрыва пласта проводить на основе альтернативной модели.

Проведен анализ экономических показателей скважин с гидравлическим разрывом пласта. Исследована динамика прироста накопленного чистого дисконтированного дохода по вариантам и с разной длиной трещин в низкопроницаемой зоне. Установлено, что чем больше длина трещины вблизи нагнетательных скважин в низкопроницаемой зоне, тем ниже накопленный чистый дисконтированный доход и наоборот.

Abstract. The article studies comparison of different models of efficiency of a formation hydraulic fracture depending upon a well location in the system of production and injection wells. The studies resulted in getting very close showings of oil removals and essentially different showings of pressure. So, it was suggested to carry out modeling of a formation hydraulic fracture on the basis of an alternative model.

Showings of wells with a formation hydraulic fracturing are analyzed. Dynamics of growth of accumulated net present value as per variants with different length of cracks in low permeable zone is studied. It is proved that the more the length of a crack near production wells in low permeable zone is, the less accumulated net present value is and vice versa.

Ключевые слова: модель пласта; скин-фактор; проницаемость; анизотропия; фильтрация; экономические показатели.

Keywords: model of a formation, skin-factor; permeability; anisotropy; filtration, economic showings.

В статье рассмотрены вопросы влияния гидравлического разрыва пласта (ГРП), проводимого в единичной скважине (или в группе скважин) на эффективность выработки запасов участка залежи со сформированной системой разработки.

Исследования проделаны на основе математического моделирования процессов извлечения нефти из однородных и неоднородных по проницаемости коллекторов.

Влияние гидравлического разрыва пласта на выработку запасов нефти описывалось двумя способами – заданием скин-фактора и локальным изменением поля проницаемости. Показано, что, несмотря на близкие результаты, описание трещины ГРП заданием скин-фактора скважины приводит к нефизичным результатам.

Для добывающих скважин, находящихся в непосредственной близости от нагнетательных скважин, проведение гидравлического разрыва пласта характеризуется резким и относительно непродолжительным ростом дебита нефти. Для скважин удаленных от нагнетательных (второй ряд) применение гидравлического разрыва пласта позволит значительно увеличить дебит нефти на более продолжительный период.

В однородных по проницаемости пластах применение технологии ГРП на отдельных скважинах дает эффект по данным скважинам, величина которого при всех прочих равных условиях зависит от положения скважины. Это позволяет предположить, что работа скважины с ГРП повлияет на работу остальных скважин. Показано, что эффект от гидравлического разрыва пласта на отдельной скважине должен определяться с учетом работы окружающих добывающих скважин. Определение эффекта только по скважине с ГРП приводит к кратному превышению значения объема дополнительно добытой нефти.

Для условий рассмотренной задачи эффект от гидравлического разрыва пласта, определенный по скважине WPRD2 на конец расчетного периода составил 97,8 тыс.м³ дополнительно добытой нефти, в то время как в целом по участку по данному варианту эта величина значительно меньше и составляет 6,8тыс. м³. Т.е. эффект определенный по отдельной скважине завышен более чем в 14 раз (рисунок 1).

Рассмотрены условия оптимального применения технологии гидравлического разрыва пласта в зонально-неоднородном по проницаемости пласте. При этом рассматривались следующие возможные случаи – низкопроницаемая зона располагается в непосредственной близости от ряда

нагнетательных скважин и низкопроницаемая зона удалена от нагнетательных скважин (второй ряд).

Исследовано влияние протяженности и ориентации трещин ГРП относительно рядов скважин. Рассматривались две ориентации трещин – вдоль ряда добывающих скважин («параллельно») и вдоль прямой, соединяющей нагнетательный и добывающий ряд («перпендикулярно»). Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

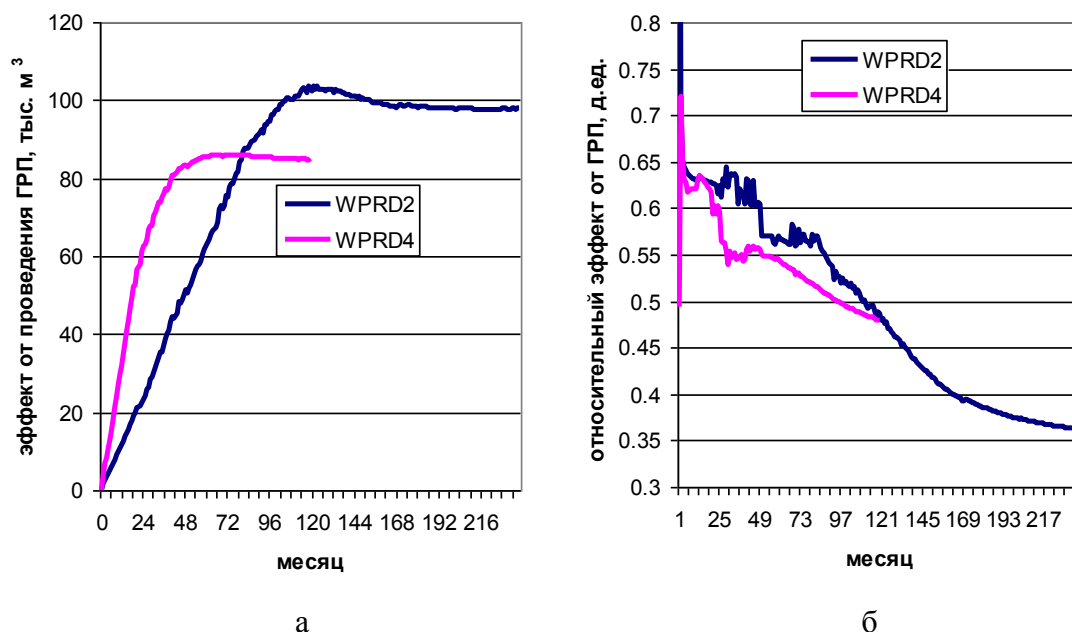


Рисунок 1. Динамика накопленных абсолютного (а) и относительного (б) эффектов от проведения гидравлического разрыва пласта на скважинах WPRD2 (второй ряд) и WPRD4 (первый ряд)

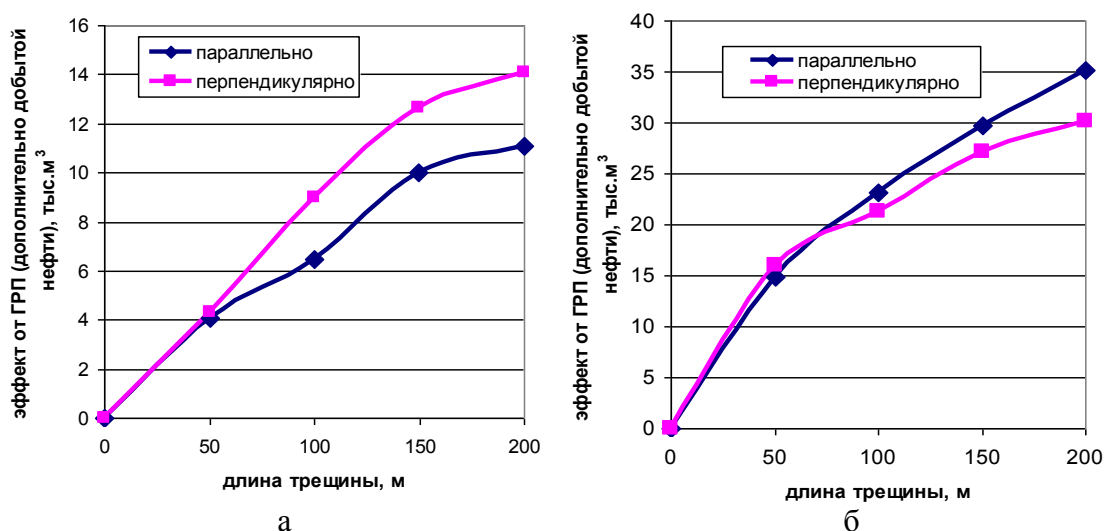


Рисунок 2. Зависимость прироста низ участка от длины и ориентации трещины при проведении гидравлического разрыва пласта на скважине: а – WPRD4 (низкопроницаемая зона вблизи от нагнетательных скважин), б – WPRD2 (низкопроницаемая зона вдали от нагнетательных скважин)

Применение гидравлического разрыва пласта влияет на эффективность выработки запасов в целом по участку. В этом отношении технология ГРП выступает не только как мероприятие, интенсифицирующее выработку нефти, но и как технология, направленная на повышение коэффициента охвата воздействием. В однородном по проницаемости пласте максимальный коэффициент извлечения нефти (КИН) достигается при проведении ГРП в застойной области пласта. В неоднородном по проницаемости пласте результаты применения гидравлического разрыва пласта зависят от того, где расположена низкопроницаемая зона. Если низкопроницаемая зона пласта расположена в непосредственной близости от нагнетательных скважин, то в этом случае максимальный коэффициент извлечения нефти достигается в случае, когда трещина ГРП имеет максимальную длину и ориентирована вдоль прямой, соединяющей нагнетательный и добывающий ряды.

Если низкопроницаемая зона пласта расположена в тупиковой или застойной зоне пласта в удалении от нагнетательных скважин, то в этом случае максимальный коэффициент извлечения нефти достигается в случае, когда трещина ГРП имеет максимальную длину и ориентирована перпендикулярно прямой, соединяющей нагнетательный и добывающий ряды.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие **выводы:**

1. Для скважин, вскрывающих нефтенасыщенные пласты и находящихся в непосредственном окружении от нагнетательных скважин, проведение ГРП характеризуется резким и относительно непродолжительным ростом дебита нефти. Для скважин удаленных от нагнетательных (второй ряд) применение гидроразрыва пласта позволит значительно увеличить дебит нефти на более продолжительный период.

2. Относительная эффективность от применения ГРП максимальна в начальный период эксплуатации скважины и стремительно снижается при начале обводнения.

3. По абсолютному значению эффект от применения ГРП максимален для удаленных от нагнетательного ряда добывающих скважин, что связано с большим для этих скважин объемом дренирования. Однако относительный прирост НИЗ за счет проведения ГРП максимален для ближайших к нагнетательному ряду добывающих скважин.

4. В однородных по проницаемости пластах применение технологии гидравлического разрыва пласта на отдельных скважинах дает эффект по данным скважинам, величина которого при всех прочих равных условиях зависит от положения скважины. Это позволяет предположить, что работа скважины с ГРП повлияет на работу остальных скважин. Поэтому более корректным является оценка вклада технологии ГРП в выработку запасов нефти в целом по участку залежи.

Эффективность применения технологии ГРП в выработке запасов нефти участка с низкопроницаемой зоной определяется с точки зрения ее экономической целесообразности. Для этого изучалась зависимость накопленного за расчетный период чистого дисконтированного дохода предприятия от длины трещины и от цены на нефть на внешнем рынке.

В качестве оценочных показателей для проведения расчетов использовались данные экономической деятельности одного из нефтедобывающих предприятий Татарстана.

Область экономической целесообразности применения технологии обуславливалась выбором таких значений длины трещины L , при которых суммарный за все время выработки запасов нефти (достижения предельной обводненности) прирост (относительно базового варианта) накопленного чистого дисконтированного потока денежной наличности $\Delta \Sigma NPV(Q_0, q) > 0$.

Дисконтированный чистый поток денежной наличности (NPV) рассчитывается в соответствии с Регламентом составления проектных технологических документов на разработку нефтяных и газонефтяных месторождений (РД 153-39-007-96), «Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов», изд-во «Экономика», Москва, 2000; «Методическими рекомендациями по проектированию разработки нефтяных и газонефтяных месторождений» (М., 2007).

Очевидно, что дизайн ГРП определяется как требуемой технологической эффективностью проводимого геолого-технологического мероприятия (ГТМ), так и экономическими показателями, характеризующими рентабельность данного мероприятия.

Необходимый объем проппанта определяется как длиной трещины, так и ее высотой и раскрытостью, т.е. зависит от L при неизменных значениях толщины коллектора и раскрытости трещины: $V_{проп} = f(L)$.

Объем дополнительно добытой нефти также есть функция от L . Поэтому можно установить зависимость объемов дополнительно добытой нефти со стоимостью проведения ГРП. Кроме того, применение ГРП приводит к изменению объемов попутно добываемой воды и объемов закачиваемого вытесняющего агента. При определении оптимальных параметров технологии (с точки зрения экономических показателей) необходимо учесть как увеличение объемов реализации продукции, изменение затрат на добычу попутной воды и закачку вытесняющего агента, так и увеличение расходов на реализацию самой технологии гидравлического разрыва пласта.

Таким образом, экономический показатель – прирост накопленного чистого дисконтированного дохода (НЧДД) предприятия ($\Sigma \Delta NPV$) относительно базового варианта за рассматриваемый период времени – является функцией от параметров технологии (длины трещины). Максимум этой величины соответствует оптимальным параметрам реализуемой технологии ГРП.

Зависимость экономического эффекта от длины трещины показана на рисунке 3 и в таблице 1. В случае, когда ГРП проводится в низкопроницаемой зоне, локализованной вблизи от нагнетательных скважин (рисунок 2а), кривая экономического эффекта имеет максимум при $L=50$ м. При этом, ГРП вскрывает область низкопроницаемого коллектора, составляющую небольшую долю общего объема низкопроницаемой зоны. Несмотря на прирост начальных извлекаемых запасов (НИЗ) за счет применения ГРП с трещинами различной протяженности, увеличение объемов добываемой воды при больших трещинах существенно снижает эффективность технологии.

В отличие от рассмотренного случая, при проведении ГРП в низкопроницаемой зоне коллектора, удаленной от нагнетательных скважин, все рассмотренные варианты с разными длинами трещин имеют положительную экономическую эффективность.

Таблица 1. Основные технико-экономические показатели вариантов применения ГРП в зависимости от длины трещины, а – низкопроницаемая зона находится вблизи от нагнетательных скважин, б – низкопроницаемая зона находится вдали от нагнетательных скважин.

а (скважина WPRD4)				б (скважина WPRD2)			
Длина трещины, м	Стоимость ГРП, млн. руб	Прирост НИЗ, тыс.м ³	Прирост НЧДД, млн. руб	Длина трещины, м	Стоимость ГРП, млн. руб	Прирост НИЗ, тыс.м ³	Прирост НЧДД, млн. руб
50	4,5	4,31	1,07	50	4,5	15,98	11,63
100	6,5	9,02	-1,57	100	6,5	21,26	17,52
150	8,5	12,65	-11,91	150	8,5	27,13	26,45
200	10,5	14,10	-15,13	200	10,5	30,20	29,57

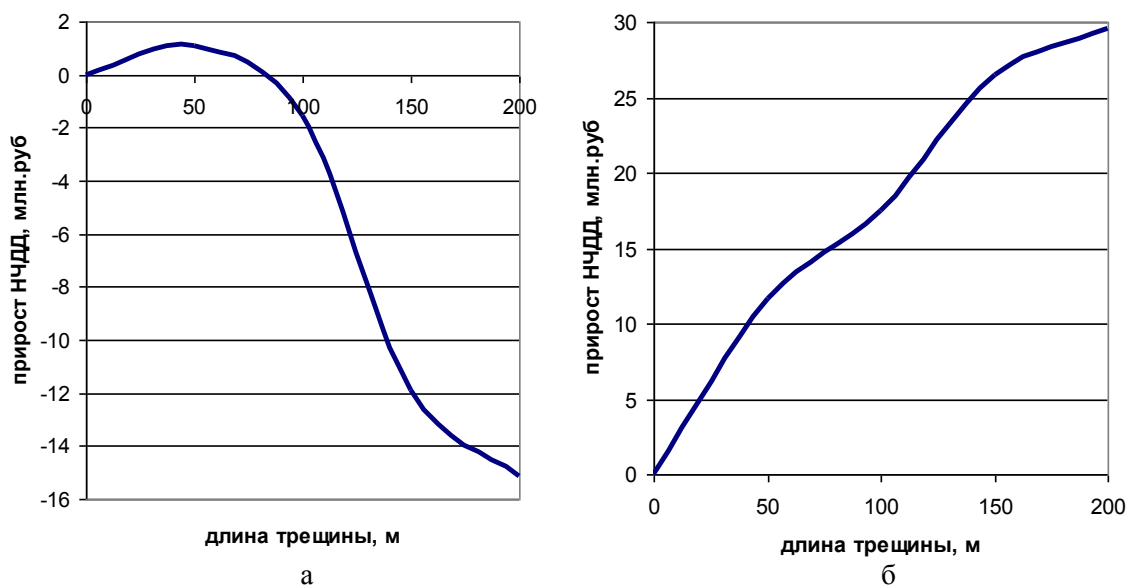


Рисунок 3. Зависимость прироста накопленного чистого дисконтированного дохода за счет применения технологии ГРП от длины трещины для разных положений низкопроницаемой зоны пласта относительно нагнетательных скважин: а – вблизи, б – вдали

Выводы

1. Если низкопроницаемая зона располагается вдали от нагнетательных скважин, то применение гидравлического разрыва пласта на скважине, локализованной в этой зоне, технологически и экономически эффективно, причем, чем больше длина трещины, тем выше эффект.

2. Если низкопроницаемая зона располагается вблизи от нагнетательных скважин, то применение ГРП на скважине, локализованной в этой зоне, технологически эффективно, причем, чем больше длина трещины, тем выше технологический эффект (дополнительная добыча нефти). Однако, экономические расчеты показывают, что вследствие значительного роста объема попутно добываемой воды, экономический эффект от применения гидравлического разрыва пласта при длинах трещины более 70-80 метров становится отрицательным.

3. Если имеется возможность выбора низкопроницаемых заводненных зон для проведения гидравлического разрыва пласта, то необходимо отдать предпочтение зонам, удаленным от нагнетательных скважин. Такой выбор позволит получить максимальный технико-экономический эффект.

Литература

1. Обоснование выбора математической модели для оценки и распределения эффекта от ГРП в единичной скважине на окружающие /Владимиров И.В.и др.// Нефтепромысловое дело. 2012. № 1. С.12-13.

2. О некоторых особенностях моделирования гидроразрыва пласта/ Владимиров И.В. и др. // Нефтепромысловое дело. 2012. № 1. С.13-14.

3. Влияние ориентации и протяженности трещины ГРП на коэффициент извлечения нефти и плотность сетки скважин /Владимиров И.В.и др. // Нефтепромысловое дело. 2012. № 1. С.14-15.

References

1. Obosnovanie vybora matematicheskoi modeli dlya ocenki i raspredeleniya efekta ot GRP v edinichnoi skvazhine na okruzhayushie /Vladimirov I.V.i dr.// Neftepromyslovoe delo. 2012. № 1. S.12-13.

2. O nekotoryh osobennostyakh modelirovaniya gidrorazryva plasta/ Vladimirov I.V. i dr. // Neftepromyslovoe delo. 2012. № 1. S.13-14.

3. Vliyanie orientacii i protyazhennosti treshiny GRP na koefficient izvlecheniya nefiti i plotnost' setki skvazhin /Vladimirov I.V.i dr. // Neftepromyslovoe delo. 2012. № 1. S.14-15.

Сведения об авторах

Шакурова Ал. Ф., доцент кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Октябрьский.

Al. F. Shakurova, associate professor of department "Exploration and development of oil and gas fields", FSBEI SPE USPTU, branch of Oktyabrsky, Russia.

Шакурова Айгуль Ф., доцент кафедры «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений», ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Октябрьский.

Ai. F. Shakurova, associate professor of department "Exploration and development of oil and gas fields", FSBEI SPE USPTU, branch of Oktyabrsky, Russia

e-mail: alsu0017@mail.ru