

Сведения об авторах

Яковлева Наталья Павловна, соискатель ученой степени к. г.-м. н., кафедра геологии месторождений нефти и газа Тюменского индустриального университета, старший научный сотрудник лаборатории геологии юрских и доюрских отложений отделения геологии, Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпилмана, г. Тюмень, тел. 8(3452)229710, e-mail: znatta@mail.ru

Мясникова Галина Петровна, д. г.-м. н., главный научный консультант, Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпилмана, профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа Тюменского индустриального университета, г. Тюмень, тел. 8(3452)229710

Чернова Галина Александровна, старший научный сотрудник лаборатории геологии юрских и доюрских отложений отделения геологии, Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпилмана, г. Тюмень, тел. 8(3452)229710

Information about the authors

Yakovleva N. P., Applicant for Scientific Degree of Candidate of Geology and Mineralogy, Department of Geology of Oil and Gas fields, Industrial University of Tyumen, Senior Researcher at the Laboratory of Geology of Jurassic and Pre-Jurassic Sediments at the Department of Geology, Scientific and Analytical Centre for Rational Use of the Subsoil named after V. I. Shpilman, Tyumen, phone: 8(3452)229710, e-mail: znatta@mail.ru

Myasnikova G. P., Doctor of Geology and Mineralogy, Chief Scientific Consultant, Scientific and Analytical Centre for Rational Use of the Subsoil named after V. I. Shpilman, Tyumen, Professor of the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)229710

Chernova G. A., Senior Researcher at the Laboratory of Geology of Jurassic and Pre-Jurassic Sediments at the Department of Geology, Scientific and Analytical Centre for Rational Use of the Subsoil named after V. I. Shpilman, Tyumen, phone: 8(3452)229710

Бурение скважин и разработка месторождений

УДК 622.276.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ПЛАСТОВЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА STUDY OF FILTRATION OF FORMATION FLUIDS AFTER HYDRAULIC FRACTURING

Абасс Садам Яхиа
Abass Sadam Yahia

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта; скин-фактор; трещина ГРП; безразмерная проводимость; толщина глинистого экрана
Key words: hydraulic fracturing; skin factor; fracture crack; dimensionless conductivity; clay screen thickness

В работе рассмотрены задачи, связанные со стационарной фильтрацией пластовых жидкостей к вертикальной скважине с трещинами ГРП. Для этого была построена сеточная модель фильтрации пластовых жидкостей к вертикальной скважине с трещиной ГРП. Предполагается, что горизонтальный нефтенасыщенный пласт постоянной толщины, равномерная пористость и проницаемость ограничены сверху и снизу непроницаемыми пластами, жидкость не сжимается. Будем также считать, что вследствие нарушения фильтрационно-емкостных свойств пласта цилиндрическая наружная граница находится в однородном потенциале, при условии, что он не слишком близко подходит к трещине. Система трещины представлена единой плоскостью, вертикальная трещина ограничена радиальной протяженностью и непроницаемой матрицей выше и ниже продуктивного пласта. На рисунке 1 представлена общая трехмерная геометрическая модель гидроразрыва пласта (ГРП) [1].

Если пренебречь гравитационными эффектами, поведение в пласте не будет зависеть от вертикального положения. Это означает, что поведение потока в поврежденном пласте может быть описано с помощью двумерной текучести, показанной в горизонтальном поперечном сечении пласта (см. рис. 1).

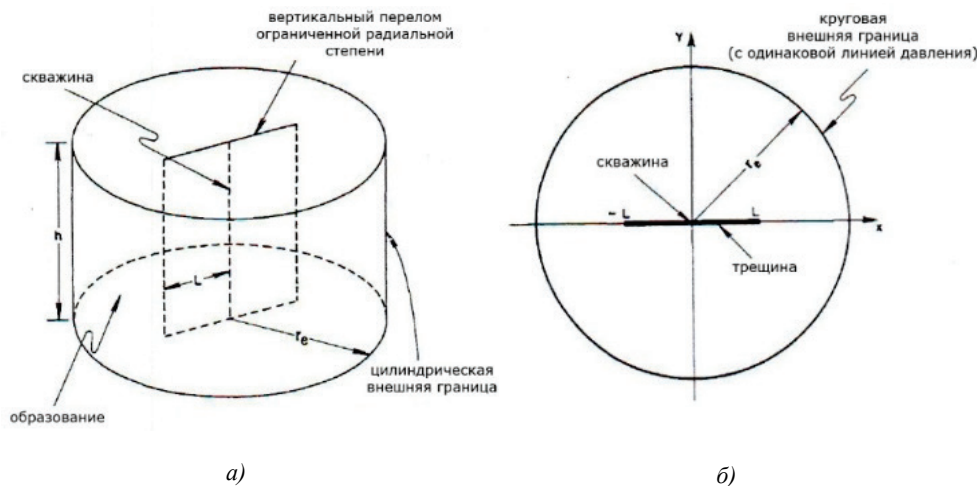


Рис. 1. Трехмерная геометрическая модель ГРП: а) общий вид, б) вид сверху

Способ решения, используемый для получения распределения давления в системе с вертикальными трещинами. Предполагаем, что жидкость несжимаемая, и двумерные геометрические и постоянные свойства подчиняются закону Дарси. В соответствии с этими предположениями давление подчиняется уравнению Лапласа в пласте

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

Безразмерная форма может быть создана с помощью уравнений

$$p_D = \frac{kh}{q\mu} (p - p_{wf}), \quad x_D = \frac{x}{x_f}, \quad y_D = \frac{y}{x_f}. \quad (2)$$

Тогда безразмерная форма уравнения Лапласа будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial^2 p_D}{\partial x_D^2} + \frac{\partial^2 p_D}{\partial y_D^2} = 0. \quad (3)$$

Безразмерная форма уравнения Лапласа с помощью конечно-разностного метода

$$\frac{(p_{D(i-1,j)} - 2p_{D(i,j)} + p_{D(i+1,j)}))}{(\Delta x_D)^2} + \frac{(p_{D(i,j-1)} - 2p_{D(i,j)} + p_{D(i,j+1)}))}{(\Delta y_D)^2} = 0. \quad (4)$$

По граничным условиям [2] при

$$x_D, y_D = 0, \quad p_D = 0, \quad (5)$$

$$\frac{k_f}{\mu} \frac{\partial^2 p_f}{\partial x^2} = \frac{1}{b_f} \frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \Big|_{y=0}, \quad (6)$$

Безразмерная форма уравнения (6)

$$\frac{\partial^2 p_{fD}}{\partial x_D^2} = \frac{1}{(k_f b_f)_D} \frac{\partial p_D}{\partial y_D} \Big|_{y_D=0}, \quad (7)$$

$$\frac{(p_{fD(i-1,0)} - 2p_{fD(i,0)} + p_{fD(i+1,0)}))}{(\Delta x_D)^2} = \frac{1}{(k_f b_f)_D} \frac{p_{D(i,1)} - p_{fD(i,0)}}{\Delta y_D}. \quad (8)$$

С помощью этой численной модели вышеуказанные уравнения решены итеративно, число точек в направлениях x_D и y_D равно 24, а решение принято после 50 циклов [3].

Эффект трещины на распределение давления в самой трещине и в противном случае (при нулевом скин-факторе до ГРП) доказывает, что распределение давления является функцией трех параметров. Первый из них может быть по формуле

$$(k_f b_f)_D = \frac{k_f w_f}{k x_f}, \quad (9)$$

где k — проницаемость пласта; $k_f b_f$ — проницаемость трещины; x_f — полудлина трещины; w_f — ширина трещины.

Оставшиеся два параметра описывают только геометрию системы, то есть размер ствола скважины и дренажного радиуса относительно степени трещины от оси скважины x_f . Эти параметры обозначаются r_{wD} и r_{eD} .

Таким образом, для заданной геометрии, эффективность трещины описывается параметром безразмерной проводимости $(k_f b_f)_D$. Для очень эффективной трещины, то есть трещины, имеющей большую способность осуществлять поступление жидкостей в скважину, параметр относительного потенциала очень большой и приближается к предельному значению бесконечности для бесконечной проницаемости трещин. Точно так же для очень несущественных изломов, имеющих низкую безразмерную проводимость, параметр $(k_f b_f)_D$ приближается к нулю для предельного случая без трещины.

Практические значения параметра $(k_f b_f)_D$, как представляется, меньше чем 10, когда проницаемость трещин такая же как у проппанта, используемого в обработке ГРП. Когда нарушаются фильтрационно-емкостные свойства пласта в результате обработки ГРП, к повреждению проницаемости и глубины поврежденной зоны (по отношению к длине трещины) добавляются параметры. В этом случае эффекты скважины и распределение давления в трещине не учитываются, для того чтобы упростить представление результатов.

В исследовании предоставляется информация двух видов. Первый, например распределение давления внутри и вблизи трещины, дает общую картину и понимание действий трещины на поведение давления в пласте; второй количественно описывает действие трещины в зависимости от величины падения давления в трещине и усовершенствования дебита. Безразмерный перепад давления между концом трещины и любой другой ее точкой, по существу, не зависит от размера пласта. Однако падение давления в значительной степени зависит от величины параметра безразмерной проводимости $(k_f b_f)_D$. Рисунок 2 показывает изменение этого безразмерного падения давления в трещине с безразмерным расстоянием от скважины. Это безразмерное падение давления задается

$$\Delta p_{D(x_f, x)} = \frac{kh}{q\mu} (p_{fD}|_{x_f} - p_{fD}|_x). \quad (10)$$

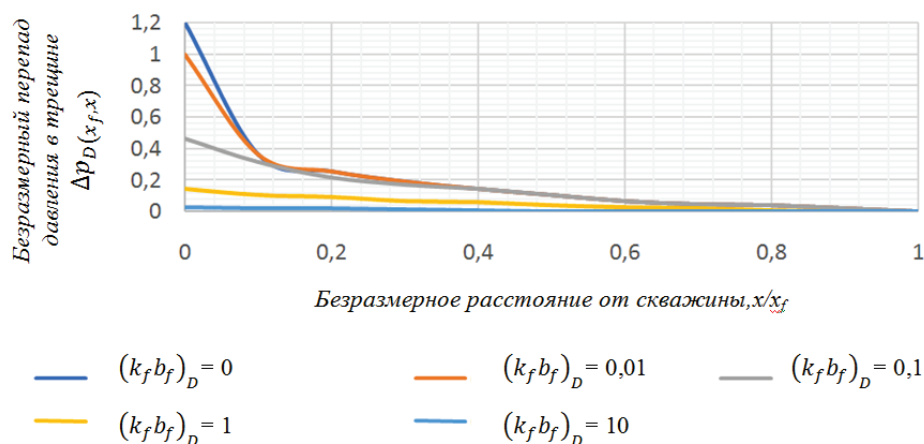


Рис. 2. Распределение давления в трещине для различных значений ее безразмерной проводимости

В уравнении (10) $p_{fD}|_{x_f} - p_{fD}|_x$ является перепадом давления между концом трещины в точке ($x = x_f$) в системе координат на рисунке 2 и любой точкой в трещине с расстоянием x от оси скважины. Кривые (см. рис. 2) показывают, что чем меньше безразмерная проводимость $(k_f b_f)_D$, тем больше безразмерное распределение давления в трещине, в результате чего образуется поток радиального характера. В противном случае чем выше безразмерная проводимость $(k_f b_f)_D$, тем изменение давления в трещине становится меньше. В малых $\Delta P_{(x_f, x)}$ (см. рис. 2) перепад давления в трещине незначителен, если проппант не загрязнен мелкими частицами из пласта или в ходе обработки ГРП, или после того как скважина введена в эксплуатацию. Исключение составляет только предельный случай на трещине, заданной кривой для $(k_f b_f)_D = 0$, если давление ведет себя как $(\ln r)$ вблизи скважины.

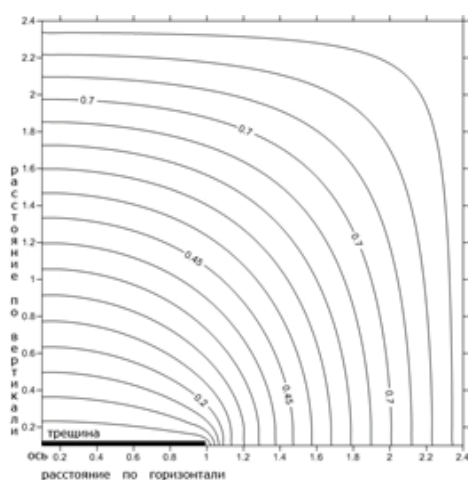


Рис. 3. Распределение давление вокруг трещины $(k_f b_f)_D = \infty$

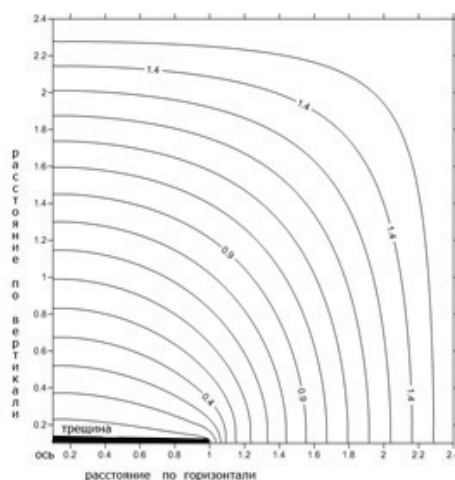


Рис. 4. Распределение давления вокруг трещины $(k_f b_f)_D = 10$

Таким образом, для данного дебита результатом трещин является снижение распределения давления вблизи скважины. На рисунках 4 и 5 показано распределение давления в пласте для $(k_f b_f)_D = 10$ и $1,0$ соответственно. Распределение давления в случае отсутствия перепада давления в трещине $((k_f b_f)_D = \infty)$ дается конфокальной эллипсов, как показано на рисунке 3. На рисунке 6 $((k_f b_f)_D = 0)$, трещина не имеет влияния, и контурное давление линии представляет собой концентрические окружности с осью скважины.

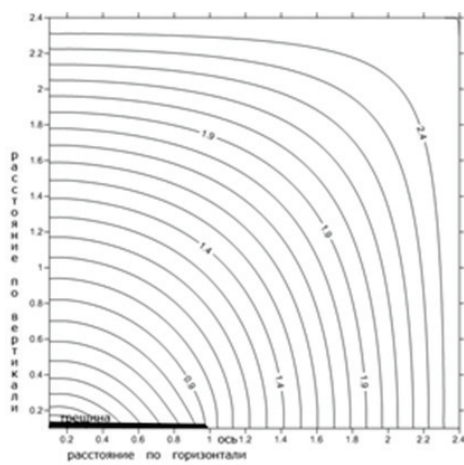


Рис. 5. Распределение давления вокруг трещины $(k_f b_f)_D = 1,0$

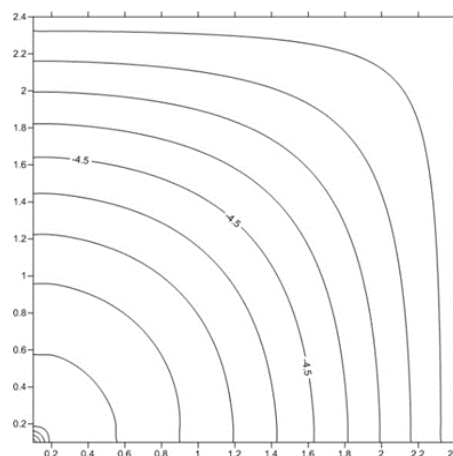


Рис. 6. Распределение давления вокруг трещины $(k_f b_f)_D = 0$

Таким образом, вышеуказанные графики свидетельствуют о том, что распределение давления вокруг трещины напрямую зависит от величины безразмерной проводимости.

Список литературы

1. Пратс М. Влияние ГРП на поведение потока // SPE – (июнь 1961). – С. 105–118.
2. Синко-Лей Х., Менг Х. З. Анализ нестационарного давления скважин с конечной проводимостью трещин в коллекторах с двойной пористостью // SPE – 1988.
3. Вилсон С. Количественные методы разработки нефтяных скважин. – 2000.

Сведения об авторе

Абасс Садам Яхия, магистрант, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89504964464, e-mail: saddam.1991yemen@gmail.com

Information about the author

Abass S. A., Master's Student, Industrial University of Tyumen, phone: 89504964464, e-mail: saddam.1991yemen@gmail.com