

Одним из основных показателей установки является значение его КПД. Как известно, КПД установки состоит из произведения КПД составляющих его элементов. В данном случае под элементами подразумеваются погружной насос, электродвигатель, передающий энергию элемент, потери в НКТ. Из анализа общего расчетного КПД установок: УЭПН занимает промежуточное положение между УЭЦН и СШНУ. Однако благодаря применению маслозаполненного ПЛЭД, насоса двустороннего действия и гидрозачиты маслозаполненного ПЛЭД, планируется достигнуть КПД равное 41%, что превышает КПД применяемых механизированных способов добычи из малодебитных скважин и может сделать его конкурентоспособным на рынке. Данные для сравнений были взяты из журнала «Нефтяная вертикаль», №15-16/2013 [1]

За последнее десятилетие фонд малодебитных скважин заметно возрос. Проблемы при использовании основных механизированных способов добычи, а также новые разработки в области линейных вентильных погружных электродвигателей (ПЛЭД) дали толчок к развитию бесштанговых плунжерных (поршневых) установок с линейным ПЭД. Опыт эксплуатации подобных установок в КНР и Канаде показал, что применение представленной системы позволит производить отбор нефти из стареющих месторождений и соответственно повысить коэффициент извлечения нефти, благодаря широкому диапазону регулировки подачи насосной установки. Был проведен анализ существующих погружных плунжерных насосов с линейным приводом, в результате которого был выявлен ряд существенных недостатков: низкая энергоэффективность и малый межремонтный срок эксплуатации. Для решения поставленных проблем был разработан научный проект по созданию скважинной поршневой насосной установки с маслонаполненным погружным линейным электродвигателем.

#### Литература

1. Дроздов А. Н. Разработка установки погружного плунжерного насоса с линейным электродвигателем для эксплуатации малодебитного фонда скважин // Нефтегазовая вертикаль. – 2013. – № 13 – С. 68-71.
2. Пат. 171485 Россия МПК F04B 47/06. Установка скважинного плунжерного насоса с погружным линейным электроприводом Ивановский В. Н. и др. Заявлено. 12.12.2016; Оpubл. 01.06.17., Бюл. №16. – 6 с.: ил.
3. Пат. 2229048 Россия МПК F16J 15/26. Механическое уплотнение Пономарев А. К. Заявлено. 2003.05.07; Оpubл. 20.05.04, Бюл. №17. – 6 с.: ил.
4. Бесштанговое погружное насосное устройство с чпу: [Электронный ресурс] // КитСтройСервис. 2013 – 2018. URL: <http://kitstroyservice.ru/pogruzhnye-nasosy>. (Дата обращения: 21.01.2018).
5. Установка насосная с линейным приводом: [Электронный ресурс] // Инженерно-технический центр инновационных технологий, 2016 - 2018. URL: <http://www.entechcenter.ru/technologies/ust-nasos/>. (Дата обращения: 21.01.2018).
6. Эффективные решения эксплуатации малодебитного фонда нефтяных скважин: [Электронный ресурс] // Корпорация Триол. 2005 - 2016. URL: <http://triolcorp.ru/problem-exploitation-marginal-wells/>. (Дата обращения: 21.01.2018).

### ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ К СКВАЖИНЕ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

А.А. Никонов, М.Е. Сундетов

Научный руководитель – профессор П.Н. Зятиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время большая часть запасов углеводородов приходится на трудноизвлекаемые, которые требуют применения новых подходов к разработке месторождений. Свои особенности проявляются для низкопроницаемых пластов, где длительность эксплуатации скважин на неуставившихся режимах, велико и может достигать нескольких месяцев. Данный период значительно влияет на динамику снижения добычи нефти за счёт снижения коэффициента продуктивности. В связи с этим приобретают актуальность модели, описывающие взаимодействие пласта и скважины на различных режимах работы.

Рентабельность разработки низкопроницаемых пластов обеспечивает проведение гидравлического разрыва пласта как на нововведенных скважинах, так и в рамках проведения геолого-технических мероприятий. После проведения гидроразрыва в пласте проявляются неуставившиеся режимы течения, отличные от радиального, во время которых происходит дополнительное снижение производительности скважин.

Целью данной работы является исследование режимов течения к скважине с трещиной гидроразрыва в низкопроницаемых коллекторах.

Уравнений, описывающих механические законы сохранения (неразрывности, импульса), недостаточно для полного описания пористой среды. Для того, чтобы система имела решение, она должна быть дополнена соотношениями, описывающими немеханические особенности состояния вещества. Применительно к рассматриваемой задаче это зависимости от термобарических основных физических свойств коллектора и вмещающего флюида (плотности, пористости, проницаемости, вязкости). В совокупности с перечисленными выше механическими уравнениями они составляют математическую модель фильтрации.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial P}{\partial r} \right) = \frac{\phi \mu c_t}{k} \frac{\partial P}{\partial t}$$

Данное дифференциальное уравнение служит основой исследования изменения коэффициента продуктивности при фильтрации флюида в пористом коллекторе. Оно же включает в себя понятие уравнения пьезопроводности, которое служит математической основой теории гидродинамических исследований. Это уравнение описывает неуставившееся, однофазное, одномерное течение флюида в пористой среде.

## СЕКЦИЯ 11. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Однако при использовании данного уравнения необходимо учитывать следующие допущения:

1. пласт вскрыт скважиной на всю эффективную мощность, поэтому приток к скважине имеет плоскорadiaльную горизонтальную структуру;
2. дебит не изменяется со временем;
3. пласт изотропный однородный;
4. эффективная толщина, проницаемость, сжимаемость, вязкость, пористость постоянны;
5. градиент давления мал;
6. незначительность гравитационных эффектов.

На практике удобнее и нагляднее представлять аналитические уравнения в безразмерных координатах. Для радиального режима уравнение пьезопроводности в безразмерных координатах будет иметь вид:

$$\frac{\partial^2 P_D}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial P_D}{\partial r_D} = \frac{\partial P_D}{\partial t_D}$$

Граничные условия играют важную роль при построении аналитического решения уравнения. Если использовать одно начальное и два граничных условия, то можно решить уравнение пьезопроводности и получить математическую модель, позволяющую определить давление в любой точке пласта в любой момент времени. В качестве граничных условий, определяющих условия работы скважины, используются следующие предположения.

Начальное условие:

$$P(r, t)|_{t=0} = P_i,$$

где  $P_i$  – начальное пластовое давление.

Для скважин, работающих при постоянном забойном давлении:

$$P(r, t)|_{r=r_w} = const,$$

где  $r_w$  – радиус скважины.

Для скважин, работающих с постоянным дебитом:

$$Q(r, t)|_{r=r_w} = \frac{2\pi kh}{\mu B} \left( r \frac{\partial P}{\partial r} \right)_{r_w} = const - \text{дебит жидкости на забое добывающей скважины.}$$

Внешние граничные условия, применяемые для пласта с бесконечно удаленным контуром питания, представляются в виде:

$$\begin{aligned} P|_{r \rightarrow \infty} &= P_i \quad \text{при } t > 0, \\ P|_{r=r_e} &= P_i \quad \text{при } t > 0, \\ \frac{\partial P}{\partial r}|_{r=r_e} &= 0 \quad \text{при } t > 0, \end{aligned}$$

где  $r_e$  – радиус пласта.

Представленные граничные условия соответствуют плоскорadiaльному притоку жидкости из пласта бесконечной протяженности. Условием, определяющим бесконечность пласта, является постоянство пластового давления на бесконечной удаленности от скважины и его значение равно начальное пластовое. Также данные граничные условия применимы в том случае, когда внешняя граница пласта является контуром питания, на котором при помощи естественных и искусственных источников пластовой энергии поддерживается постоянное пластовое давление равно начальному  $P_i$ .

Проведение ГРП в скважине значительным образом изменяет поведение давления в период неустановившегося режима течения по результатам гидродинамических исследований скважин. Радиальный режим не проявляется в системе «скважина-пласт» в чистом виде. В течение исследования могут развиваться различные структуры потока. В основном, встречаются режимы течения следующей геометрии: линейный, билинейный, псевдорadiaльный: [2]

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{1}{\chi} \frac{\partial P}{\partial t}, \quad \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{1}{\chi_x} \frac{\partial P}{\partial t}, \quad \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = \frac{1}{\chi_y} \frac{\partial P}{\partial t}, \quad \frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial P}{\partial r} = \frac{1}{\chi} \frac{\partial P}{\partial t}.$$

Линейный режим наблюдается при работе батареи скважин, на ранних этапах разработки пласта с трещиной гидроразрыва, горизонтальным стволом и других случаях. Для этого режима характерно симметрия поля давлений и скоростей фильтрации в пласте, а также форма линий тока в виде прямых линий, параллельных плоскопараллельным границам раздела.

Первым реализуется линейное течение в трещине. Добываемый флюид течет по пути наименьшего сопротивления: по трещине к стволу скважины, поскольку проницаемость трещины во много раз превышает проницаемость пласта, при этом линии тока параллельны стенкам трещины. Линейное течение из пласта в трещину проявляется после билинейного режима как для трещины конечной проводимости, так и для трещины бесконечной проводимости. Критерием наличия данного течения является  $F_{CD} > 80$ . Зависимость безразмерного давления от времени в безразмерных переменных для линейного в трещине и линейного в пласте течений соответственно:

$$P_D = \frac{2\sqrt{\pi}}{F_{CD}} \sqrt{\eta_{fD}} \sqrt{t_{Dx_f}},$$

$$P_D = \sqrt{\pi D_{x_f}}$$

Билинейный режим представляет собой комбинацию двух линейных потоков. Наиболее характерная модель – работа однородного изотропного пласта с аномально высокой проницаемостью. Линии тока в данном режиме течения ориентированы в коллекторе перпендикулярно друг к другу. Билинейный режим характерен для вертикальных трещин гидроразрыва, когда безразмерная проводимость трещины достигает определенных значений  $F_{CD} < 200$ , то есть в трещинах конечной проводимости. Часто билинейный режим течения также замаскирован эффектом влияния ствола скважины. Уравнение безразмерного давления, характеризующее данный режим течения записывается в виде:

$$P_D = \frac{2,45083}{\sqrt{F_{CD}}} \sqrt[4]{t_{DL_f}}$$

Псевдорadiaльный режим течения возникает, когда на форму воронки депрессии перестают оказывать влияние особенности скважины, такие как трещина ГРП или горизонтальный ствол. Необходимым условием для возникновения данного режима является достаточная протяженность пласта по простиранию. На ранних этапах при данных условиях реализуется эллиптический режим из-за преобладания влияния геометрии трещины ГРП или горизонтального ствола скважины. Уравнения безразмерных давления и времени представлены в виде: [2]

$$P_D = -\frac{1}{2} Ei - \ln\left(\frac{1}{4t_{D_{ref}}}\right), \quad t_D = \frac{0,00036 kt}{\phi \mu c_i r_{eff}^2}$$

Характер влияния трещины на давление в скважине меняется во времени. Сначала (при линейном и билинейном режимах течения) давление контролируется формой трещины. Затем (при радиальном режиме течения) трещина проявляет себя как одна из составляющих интегрального радиального скин-фактора. Причем ее воздействие, как правило, преобладает.

#### Литература

1. Эрлагер Р. Гидродинамические исследования скважин. – М. -Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004, 481 стр.
2. Экономидес М., Олини Р., Валько П. Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта: от теории к практике. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – 232 с.

### ВЛИЯНИЕ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ НА СНИЖЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОДУКТИВНОСТИ СКВАЖИН С ТРЕЩИНАМИ ГИДРОРАЗРЫВА

А.А. Никонов, М.Е. Сундетов

Научный руководитель – профессор П.Н. Зятиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Рентабельность разработки низкопроницаемых пластов обеспечивает проведение гидравлического разрыва пласта как на нововведенных скважинах, так и в рамках проведения геолого-технических мероприятий. После проведения гидроразрыва в пласте проявляются неустановившиеся режимы течения, отличные от радиального, во время которых происходит дополнительное снижение производительности скважин. Точная оценка снижения коэффициента продуктивности на неустановившихся режимах течения имеет важное значение для эффективного планирования разработки месторождения и подбора подземного оборудования при пуске скважин в эксплуатацию.

Актуальность данной темы заключается в разработке аналитических методов оценки производительности скважин. Высокая эффективность извлечения трудноизвлекаемых запасов достигается при помощи создания математических моделей и программных продуктов, позволяющих подбирать эффективные методы разработки низкопроницаемых пластов. Также важным нюансом является расчет технологических показателей работы скважин при наличии трещин ГРП.

Целью данной работы является оценка влияния неустановившегося режима течения на количественное снижение коэффициента продуктивности скважин с гидроразрывом Вахского месторождения.

Вахское месторождение характеризуется следующей особенностью: все объекты разработки локализованы в общем контуре нефтеносности. Дополнительно за счет ГТМ (гидроразрыв пласта, бурение боковых стволов, переводы, бурение эксплуатационных скважин) добывается до 50% нефти. Наибольшая доля дополнительной добычи нефти приходится на ГРП и выполненные на другие пласты ЗБС.

Ввиду того, что при превышении фактически выполненных ГТМ над проектными значениями дополнительная добыча не всегда достигает планируемых значений, и наибольшее превышение дополнительной добычи нефти по факту над проектным значением получено от ГРП, то остро встает вопрос о повышении качества прогнозирования ГТМ в частности прогнозирования добычи после проведения гидроразрыва.

Для проведения исследования выбраны скважины, на которых были проведены ГРП и имеется технологический режим на момент проведения гидроразрыва. Выбранные скважины сконцентрированы в одном регионе ввиду схожей проницаемости и одинакового временного периода, в течение которого проводились ГТМ.

Для анализа были взяты скважины с достижением по запускным параметрам и со сформированной системой ППД.