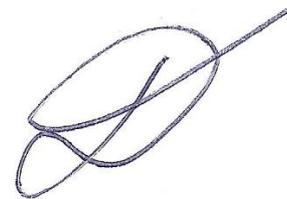


На правах рукописи



Губайдуллин Азат Гумарович

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОСЛОЖНЕНИЙ,
ВЫЗВАННЫХ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИМ
ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ СТЕНОК НАКЛОННО НАПРАВЛЕННЫХ И
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН**

Специальность 25.00.15 – «Технология бурения и освоения скважин»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа - 2017

Работа выполнена на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Могучев Александр Иванович

Официальные оппоненты: **Двойников Михаил Владимирович,**
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»/ кафедра «Бурение скважин»,
заведующий кафедрой

Живаева Вера Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»/ кафедра
«Бурение нефтяных и газовых скважин»,
заведующий кафедрой

Ведущая организация: ГБОУ ВО «Альметьевский государственный
нефтяной институт», (ГБОУ ВО «АГНИ»)

Защита диссертации состоится 15 февраля 2018 года в 14-00 на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат диссертации разослан « ___ » _____ 2017 года.

Ученый секретарь
диссертационного
совета



Ш.Х. Султанов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Истощение запасов углеводородного сырья в традиционных районах добычи требует бурения скважин и ввода в эксплуатацию новых месторождений нефти и газа. Важным направлением в повышении качества строительства скважин является разработка эффективных методов прогнозирования и предупреждения осложнений, обусловленных неустойчивостью открытого ствола. Характерными осложнениями на площадях Прикаспийской впадины, Западной и Восточной Сибири, Северного Кавказа является неустойчивость открытого ствола скважины в отложениях упруговязкопластичных глинистых и хемогенных горных пород вследствие проявления горного давления. Неустойчивость ствола скважины характеризуется вязкопластическим течением горных пород, что приводит к прихватам породоразрушающего инструмента и бурильных колонн.

Несовершенство существующих методов прогнозирования и предупреждения осложнений в упруговязкопластичных породах существенно осложняет проводку наклонно направленных и горизонтальных скважин.

Степень разработанности проблемы

Аналитическому и экспериментальному исследованию процессов деформации горных пород в околоскважинной зоне и их влиянию на устойчивость ствола скважин посвящены работы М.М. Алиева, А.М. Алимжанова, М.Т. Алимжанова, Б.Д. Альсеитова, В.С. Байдюка, Ф.З. Булюковой, Г.Г. Войтенко, М.М-Р. Гайдарова, Н.Н. Головкиной, М.В. Двойникова, В.В. Живаевой, Е.Г. Леонова, Р.А. Меликберова, А.С. Оганова, Л.М. Ормана, А.Н. Попова, М.К. Сеид-Рза, Г.А. Семенычева, А.И. Спивака, А.Н. Спорыхина, Н.С. Тимофеева, Т.Г. Фараджева, А.А. Шамсиева, А.И. Шашкина, Л.А. Шрейнера, Р.С. Яремийчука и др.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют формуле специальности 25.00.15, а именно пункту 2 - Напряженное состояние нарушенного массива горных пород при бурении скважин, взаимодействие его с крепью на различных этапах строительства и эксплуатации скважин с целью разработки научных основ проектирования конструкции скважин и технологии бурения, прочностных расчетов обсадных колонн.

Цель работы

Предупреждение осложнений, обусловленных деформированием поперечного сечения открытого ствола наклонно направленных и горизонтальных скважин в упруговязкопластичных горных породах.

Для достижения указанной цели решались следующие **задачи**:

1 Анализ методов и результатов существующих исследований деформационных процессов в околоскважинной зоне наклонно направленной и горизонтальной скважины и предупреждения связанных с ними осложнений.

2 Решение задачи упруговязкопластического радиального перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважины во времени, вызванного деформированием горной породы после вскрытия ее породоразрушающим инструментом при неравномерном радиальном давлении горной породы на начальной стадии неустановившейся ползучести.

3 Разработка мероприятий по предупреждению осложнений (заклинивания породоразрушающего и бурильного инструмента при подъеме) в пластах упруговязкопластичных горных пород.

Научная новизна

Получено и подтверждено экспериментальными данными аналитическое решение задачи о радиальном деформировании стенок бурящейся скважины на начальной стадии неустановившейся ползучести упруговязкопластичных горных пород при их неравномерном радиальном давлении относительно оси скважины применительно к расчету времени безопасного ведения работ с целью предупреждения затяжек и заклинивания долот при подъеме.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей нестационарного процесса упруговязкопластического деформирования поперечного сечения открытого ствола наклонно направленных и горизонтальных скважин при различных горно-геологических и технологических условиях.

Практическая значимость состоит в следующем:

- на основании полученных математических моделей и закономерностей упруговязкопластического деформирования поперечного сечения открытого ствола скважин разработана методика расчета упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной скважины после вскрытия горной породы долотом и ее программное обеспечение, которая используется в ООО «Сервис-Мастер» (дочернее предприятие АО «Башнефтегеофизика») при разработке мероприятий по предупреждению прихватов компоновок геофизического оборудования;

- полученные математические модели, зависимости и рекомендации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» при подготовке магистров по направлению 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», дисциплина «Решение нелинейных задач в проектных работах».

Методология и методы исследования

Решение задач выполнено с применением методов численного интегрирования и переменных модулей на основе результатов испытаний упруговязкопластического деформирования горных пород, опубликованных в печати и электронных ресурсах.

Положения, выносимые на защиту

1 Математическая модель упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважины во времени при неравномерном радиальном давлении горной породы относительно оси скважины.

2 Результаты численного моделирования упруговязкопластического перемещения стенок наклонно направленной и горизонтальной скважины во времени с изменением зенитного угла скважины.

3 Результаты расчета времени безопасного ведения работ и диаметра расширителя для предупреждения затяжек и заклиниваний долот в упруговязкопластичных горных породах.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов исследований определяется корректным использованием соответствующего математического аппарата, принятых допущений, вычислительного программного обеспечения и подтверждается сходимостью результатов расчета и фактических (промысловых) данных.

Основные положения и результаты диссертации докладывались на: I-ой Всероссийской научно-технической конференции нефтегазовой отрасли «Молодая нефть» (г. Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2014 г.); X-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Молодёжь и наука» (г. Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2014 г.); III-ей Всероссийской научно-технической конференции «Инновационное нефтегазовое оборудование: проблемы и решения» (г. Уфа, УГНТУ, 2014 г.); IX-ой Международной научно-технической конференции «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации)» (г. Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2014 г.); VII-ой международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники – 2014» (г. Уфа, УГНТУ); конкурсе научных работ студентов и аспирантов в рамках Российской технической нефтегазовой конференции и выставки SPE по разведке и добыче ROG-2014 (г. Москва, ВВЦ); конкурсе научных работ студентов и аспирантов в рамках Российской технической нефтегазовой конференции и выставки SPE по разведке и добыче ROG-2015 (г. Москва, Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина); Всероссийской

научно-технической конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещение: проблемы и пути решения» (г. Стерлитамак, филиал УГНТУ в г. Стерлитамаке, 2015 г.); III-ей межвузовской научно-технической конференции АО «Таргин» «Сервисные услуги в добыче нефти» (г. Уфа, УГНТУ, 2016 г.); IX-ой Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники-2016» (г. Уфа, УГНТУ, 2016 г.).

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано 14 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки России.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 152 страницы машинописного текста, в том числе 26 рисунков, 8 таблиц, список использованной литературы, включающий 152 наименования, и 9 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, практическая ценность, методы исследований, апробация работы.

В первой главе рассмотрено современное состояние исследований геомеханических процессов в горных породах околоскважинной зоны наклонно направленных и горизонтальных скважин и предупреждения, связанных с ними осложнений. Как известно, после вскрытия горной породы долотом в околоскважинной зоне происходит упруговязкопластическая деформация, приводящая к изменению размеров и формы поперечного сечения открытого ствола скважин. Это существенно осложняет проходимость породоразрушающего

и бурильного инструмента при спускоподъемных операциях. По данным А.К. Самодея, 34 % прихватов породоразрушающего и бурильного инструмента происходят вследствие сужения открытого ствола скважины и обусловленного им заклинивания бурильного и породоразрушающего инструмента при спускоподъемных операциях (рисунок 1).



Рисунок 1 – Распределение причин прихватов бурильного и породоразрушающего инструмента (%)

Для прогнозирования осложнений, связанных с сужением открытого ствола наклонно направленных и горизонтальных скважин необходимо определить величину упруговязкопластического перемещения стенки скважины. Существующие аналитические методики расчета не позволяют определить величину упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважины в реальном времени после вскрытия горной породы долотом. В связи с этим в данной диссертационной работе рассматривается задача прогнозирования упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважины.

Вторая глава содержит решение задач о деформировании поперечного сечения ствола наклонно направленной и горизонтальной скважины после вскрытия горной породы долотом на начальной стадии неустановившейся ползучести при гравитационном поле напряжений в массиве горных пород.

Радиальное упруговязкопластическое перемещение горной породы определяется суммой упругой составляющей и составляющей, обусловленной вязкопластической деформацией (И.А. Турчанинов, М.А. Иофис) (1):

$$u(t) = u_y + u_{en} \quad (1)$$

где $u(t)$ – упруговязкопластическое радиальное перемещение, мм; u_y – упругая составляющая радиального перемещения, мм; u_{en} – вязкопластическая составляющая радиального перемещения, мм; t – время, ч.

Упругая составляющая перемещения горной породы u_y в пристволевой зоне наклонно направленной и горизонтальной скважины определена Ф.З. Булюковой.

Для моделирования начальной стадии неустановившейся ползучести горной породы применяется теория линейной вязкоупругости (по результатам испытания горной породы). Для решения задачи применяется метод переменных модулей, предложенный Б.З. Амусиным и А.М. Линьковым, в соответствии с которым упругие показатели горной породы в формуле упругого перемещения стенки скважины можно заменить алгебраическими выражениями, содержащими функцию ползучести, при допущении, что граничные условия и объемные силы не зависят от времени (2 - 5):

$$E_t = \frac{E}{1 + L(t)}; \quad (2)$$

$$\mu_t = 0,5 - \frac{0,5 - \mu}{1 + L(t)}; \quad (3)$$

$$C_t = \frac{E_t}{1 - \mu_t^2}; \quad (4)$$

$$\lambda_{y,t} = \frac{\mu_t}{1 - \mu_t}; \quad (5)$$

где $E_t, \mu_t, C_t, \lambda_{y,t}$ - временные функции модуля упругости при одноосном сжатии E , МПа; μ - коэффициента Пуассона модуля упругости при вдавливании штампа

$C = \frac{E}{1 - \mu^2}$ МПа; и коэффициента бокового распора λ_y соответственно;

$L(t)$ – функция ползучести горной породы.

Первоначально получено решение при допущении несжимаемости горной породы. Граничные условия (рисунок 2):

- $R = R_c$ (R – расстояние до центра окружности ствола скважины, мм; R_c – радиус скважины, мм); $u(t) = \Delta R_c(t)$ (где $u(t)$ – упруговязкопластическое радиальное перемещение внутренней поверхности элементарного объема после вскрытия горной породы долотом, мм; $\Delta R_c(t)$ – упруговязкопластическое радиальное перемещение стенки скважины, мм); $\sigma_R = p_c$ (σ_R – радиальное напряжение, МПа; p_c – гидростатическое давление буровой промывочной жидкости в скважине, МПа);

- $R \rightarrow R_k, u = 0, \sigma_R = \sigma_t = p_\sigma = \lambda p_z$ (σ_t – тангенциальное напряжение, МПа; λ – коэффициент бокового распора; p_z – геостатическое давление, МПа; p_σ – боковое горное давление, МПа; R_k – радиус контура, мм).

Аналитическое решение задач определения упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважин получено численным интегрированием при условии плоской деформации.

Зону влияния вокруг скважины ограничили некоторым контуром радиусом R_k . На контуре и далее принимаем, что радиальное и тангенциальное напряжения равны естественному боковому давлению $p_\sigma = \lambda p_z$ горной породы, а

перемещение горной породы под влиянием скважины равно нулю. Внутри зоны влияния изменение размеров выделенного элемента обусловлено изменениями компонент напряжений по сравнению с напряжениями на контуре. Физико-химическое взаимодействие буровой промывочной жидкости с горной породой не учитывается.

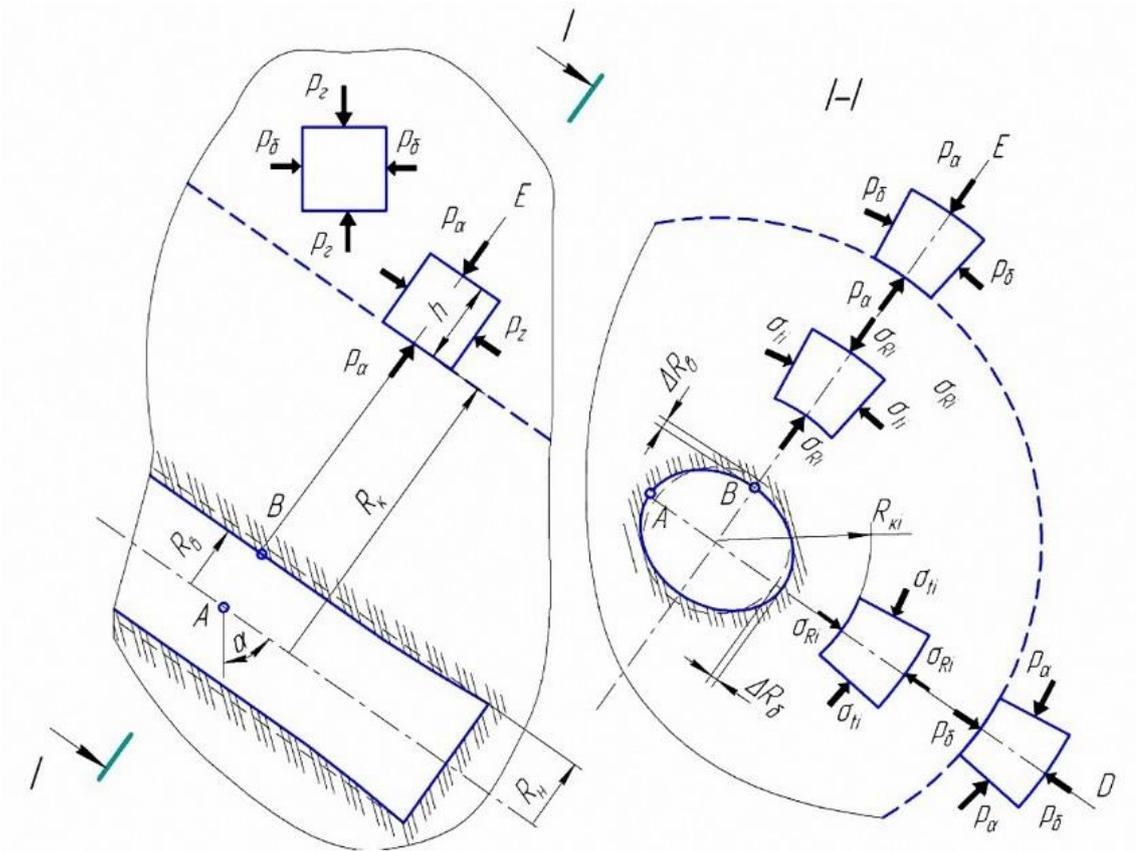


Рисунок 2 – Схема к расчету упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной скважины во времени

В результате решения получена формула для определения упруговязкопластического перемещения $R_c(t)$ стенки наклонно направленной и горизонтальной скважины во времени (6):

$$\Delta R_c(t) = \sum_{i=1}^{i=n} (\Delta R_i^y + \Delta R_i^{en}(t)); \quad (6)$$

где $\Delta R_c(t)$ – упруговязкопластическое радиальное перемещение стенки скважины, мм; ΔR_i^y – упругое радиальное перемещение i -го элемента массива горных пород, мм; $\Delta R_i^{en}(t)$ – вязкопластическое радиальное перемещение i -го элемента массива горных пород, мм (7):

$$\Delta R_i^{en}(t) = \frac{h}{C_t} (\Delta \sigma_{ri} - \lambda_{y,t} \Delta \sigma_{ti}); \quad (7)$$

где $\Delta \sigma_{r,i}, \Delta \sigma_{t,i}$ – изменение радиального и тангенциального напряжения i -го элемента массива горной породы соответственно (определяются формулами С.Г. Лехницкого), МПа; h – толщина i -го элемента массива горных пород, мм.

На втором этапе решения учитывается, что в реальных условиях залегания горная порода является сжимаемой, в связи с чем, формулы С.Г. Лехницкого для определения приращения напряжений должны быть уточнены.

Решение получено при следующих граничных условиях:

- в естественных условиях до вскрытия горной породы долотом:
 $\sigma_z = -p_c = const, \sigma_r = \sigma_t = -p_\sigma = const;$

- после вскрытия долотом на той же глубине при $r = R_c \sigma_r = -p_c$, при $r = R_k$
 $\sigma_r = \sigma_t = -p_\sigma = const, \sigma_z = -p_c.$

Приращение осевого напряжения $\Delta \sigma_{z,i}$ на стенке наклонно направленной и горизонтальной скважины (8):

$$\Delta \sigma_{z,i} = \frac{D(p_\sigma - p_c)}{R_{oi}^4} - \frac{2(p_a - p_\sigma)}{R_{oi}^2}, \quad (8)$$

где R_{oi} – средний радиус i -го элемента массива горных пород, мм;
 D – коэффициент, зависящий только от упругих постоянных (9):

$$D = \frac{(1 + \mu)^2}{16E(1 - \mu)^2(1 - 2\mu)}. \quad (9)$$

При расчете вязкопластической составляющей перемещения с учетом сжимаемости горной породы в соответствии с методом переменных модулей коэффициент D заменяется временной функцией $D(t)$ (10):

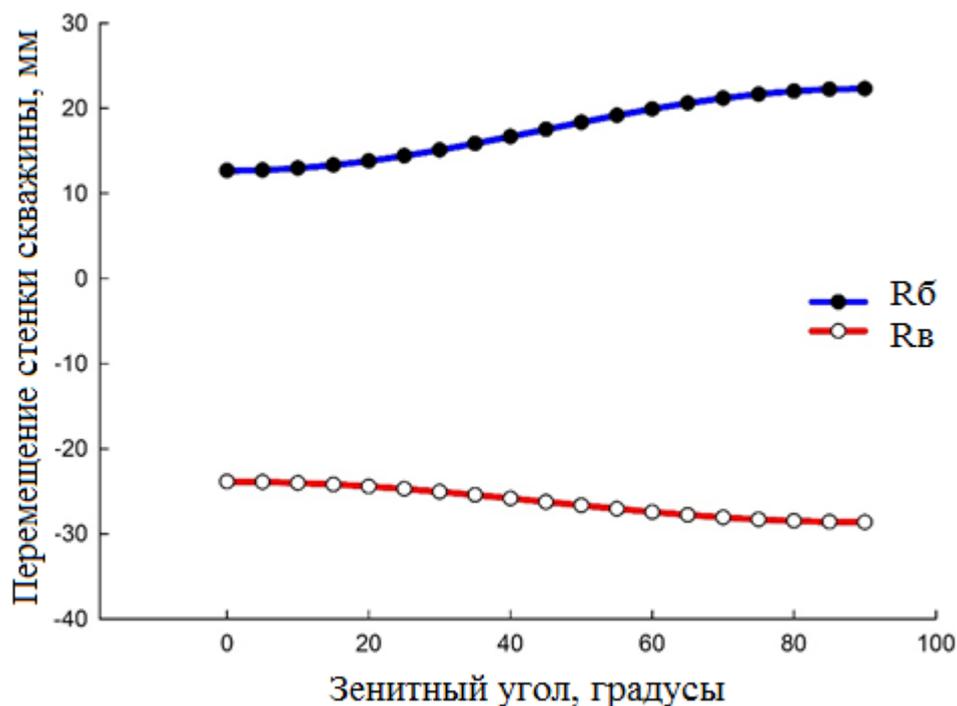
$$D(t) = \frac{(1 + \mu_t)^2}{16E_t(1 - \mu_t)^2(1 - 2\mu_t)}; \quad (10)$$

Радиальное вязкопластическое перемещение i -го элемента определяется уравнением (11):

$$\Delta R_i^{en}(t) = \frac{\mu_t(\Delta\sigma_{t,i} + \Delta\sigma_{z,i}) - \Delta\sigma_{r,i}}{E_t}; \quad (11)$$

На основе полученных аналитических зависимостей выполнен расчет упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной скважины в пласте каменной соли Астраханского газоконденсатного месторождения в зависимости от зенитного угла через сутки после вскрытия породы долотом (рисунок 3). Исходные данные: $p_z=93,41$ МПа; $p_c=50,6$ МПа; $E=6300$ МПа; $C=11822$ МПа; $\mu=0,27$; $R_c=148$ мм; коэффициенты ядра Абеля (функции ползучести) $\delta=0,32$ с $^{1-\alpha}$; $\alpha=0,7$.

Положительное перемещение принято за расширение ствола, а отрицательное - за сужение ствола. С увеличением зенитного угла скважины упруговязкопластическое перемещение верхней стенки непрерывно увеличивается с отрицательным значением, в то время как упруговязкопластическое перемещение боковой стенки увеличивается с положительным значением.



R_b – перемещение боковой стенки, R_v – перемещение верхней стенки

Рисунок 3 – Упруговязкопластическое перемещение стенки наклонно направленной скважины в пласте каменной соли в зависимости от зенитного угла

Таким образом, получено аналитическое решение задачи упруговязкопластического радиального перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважины после вскрытия горной породы долотом при гравитационном поле напряжений в массиве горных пород. В результате упруговязкопластического деформирования поперечное сечение открытого ствола наклонно направленных и горизонтальных скважин приобретает форму эллипса с большой осью в плоскости боковых стенок.

Третья глава содержит решение задачи расчета упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважины во времени при тектоническом поле напряжений в массиве горной породы (рисунок 4).

Напряжения в околоскважинной зоне наклонно направленной и горизонтальной скважины при тектоническом поле напряжений определены в работах J.C. Jaeger, E. Fjær, R.M. Holt, P. Horsrud, A.M. Raaen, J. Zhang, N.G.W. Cook, R.W. Zimmerman.

Граничные условия:

- при $r = \infty$ горная порода находится в естественном напряженном состоянии, определяемом тектоническим полем напряжений σ_H и σ_h , $u = 0$ (σ_H – тектоническое горное давление, МПа; σ_h – боковое горное давление, МПа);
- при $r = R_c$ $\sigma_R = p_c$; $u(t) = \Delta R_c(t)$.

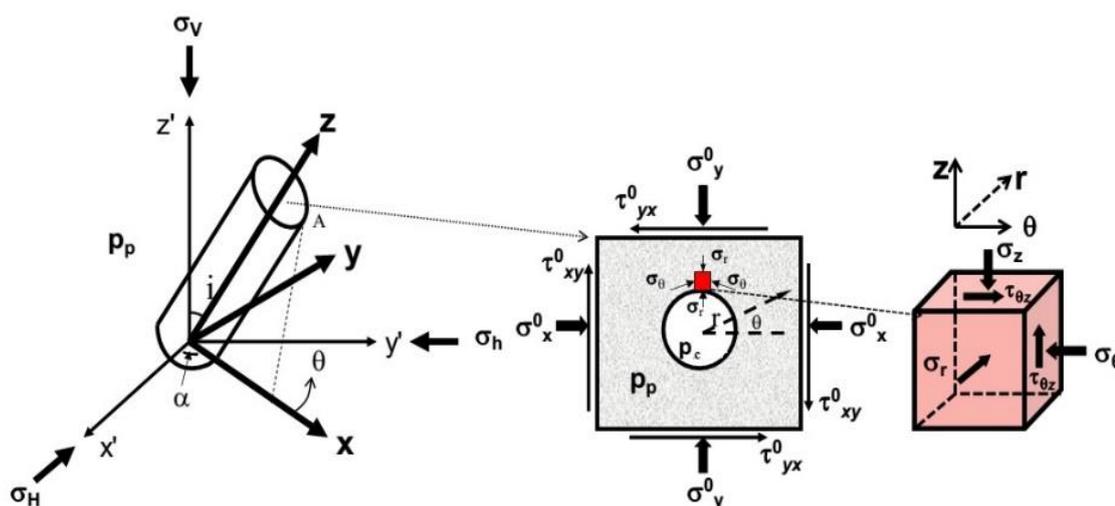


Рисунок 4 – Напряженное состояние горных пород околоскважинной зоны наклонно направленной скважины

Радиальное и тангенциальное перемещение горной породы при упруговязкопластическом деформировании горных пород (формулы (1) и (12)) определяются суммой упругой составляющей и составляющей, обусловленной вязкопластической деформацией (И.А. Турчанинов, М.А. Иофис):

$$v(t) = v_y + v_{en}; \quad (12)$$

где $v(t)$ – тангенциальное упруговязкопластическое перемещение горной породы во времени, мм; v_y – тангенциальное упругое перемещение горной породы, мм; v_{en} – вязкопластическая составляющая тангенциального перемещения горной породы, мм.

В результате совместного решения физических и геометрических уравнений теории линейной упругости и уравнений напряженного состояния приствольной зоны получены формулы упругих перемещений горной породы (13 - 14):

$$u_y = \frac{r}{C(1-\mu)} \cdot [\sigma_r - \mu(\sigma_\theta + \sigma_z)]; \quad (13)$$

$$v_y = \frac{r}{C(1-\mu)} \cdot [\sigma_\theta - \sigma_r]. \quad (14)$$

Формулы (15-18) для расчета вязкопластических и упруговязкопластических перемещений горной породы приствольной зоны наклонно направленных и горизонтальных скважин во времени при тектоническом поле напряжений получены методом переменных модулей с учетом формул (1) и (12):

$$u_{en} = \frac{r}{C_t(1-\mu_t)} \cdot [\sigma_r - \mu_t(\sigma_\theta + \sigma_z)]; \quad (15)$$

$$v_{en} = \frac{r}{C_t(1-\mu_t)} \cdot [\sigma_\theta - \sigma_r]; \quad (16)$$

$$u(t) = r[\sigma_r - \mu(\sigma_\theta + \sigma_z)] \cdot \left(\frac{1}{C(1-\mu)} + \frac{1}{C_t(1-\mu_t)} \right); \quad (17)$$

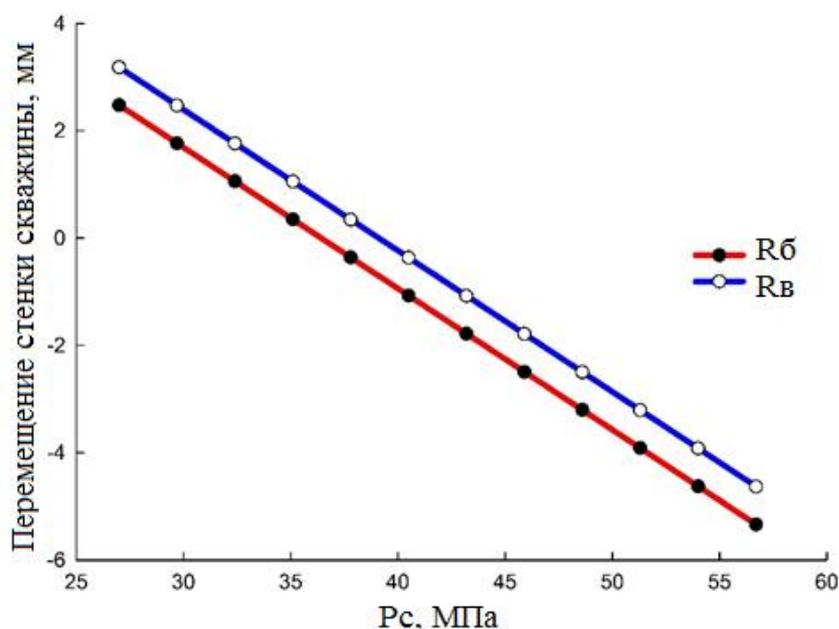
$$v(t) = r[\sigma_\theta - \sigma_r] \cdot \left(\frac{1}{C(1-\mu)} + \frac{1}{C_t(1-\mu_t)} \right). \quad (18)$$

Таким образом, получено аналитическое решение задачи упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважины при тектоническом поле напряжений в массиве горных пород. Полученные математические модели упруговязкопластического перемещения стенок скважин реализованы в программном обеспечении в среде

MS Excel, что позволяет применять их для разработки мероприятий по предупреждению осложнений при бурении скважин.

Четвертая глава содержит рекомендации по предупреждению осложнений в упруговязкопластичных горных породах. В вертикальных скважинах для профилактики осложнений как правило применяется повышение плотности буровой промывочной жидкости.

На рисунке 5 приведены результаты расчета упруговязкопластического перемещения стенки вертикальной скважины (зенитный угол 5°) с увеличением гидростатического давления буровой промывочной жидкости. Исходные данные: горная порода – аргиллит (месторождение в Западной Сибири; $C=1800$ МПа; $\mu=0,35$; коэффициенты ядра Абеля (функции ползучести) $\delta=0,0080$ $c^{1-\alpha}$ и $\alpha=0,71$; $R_c=108$ мм; $p_c=57$ МПа; $p_c=27$ МПа.



R_b – перемещение боковой стенки скважины, R_v – перемещение верхней стенки скважины

Рисунок 5 – Упруговязкопластическое перемещение стенки вертикальной скважины с увеличением гидростатического давления буровой промывочной жидкости через 96 ч после вскрытия горной породы

Как показано на рисунке 5, в вертикальной скважине повышение гидростатического давления буровой промывочной жидкости позволяет не только уменьшить сужение открытого ствола, но и при необходимости расширить открытый ствол.

Для условий горизонтальной скважины (зенитный угол 90°) выполнен расчет упруговязкопластического перемещения стенки в пласте аргиллита (месторождение Западной Сибири) при разбурировании открытого ствола номинальным диаметром 215,9 мм раздвижным расширителем РР202-240Н ООО НПП «Буринтех» с диаметром 240 мм при максимально выдвинутых лопастях. Результаты расчета упруговязкопластического перемещения стенки скважины приведены на рисунке 6.

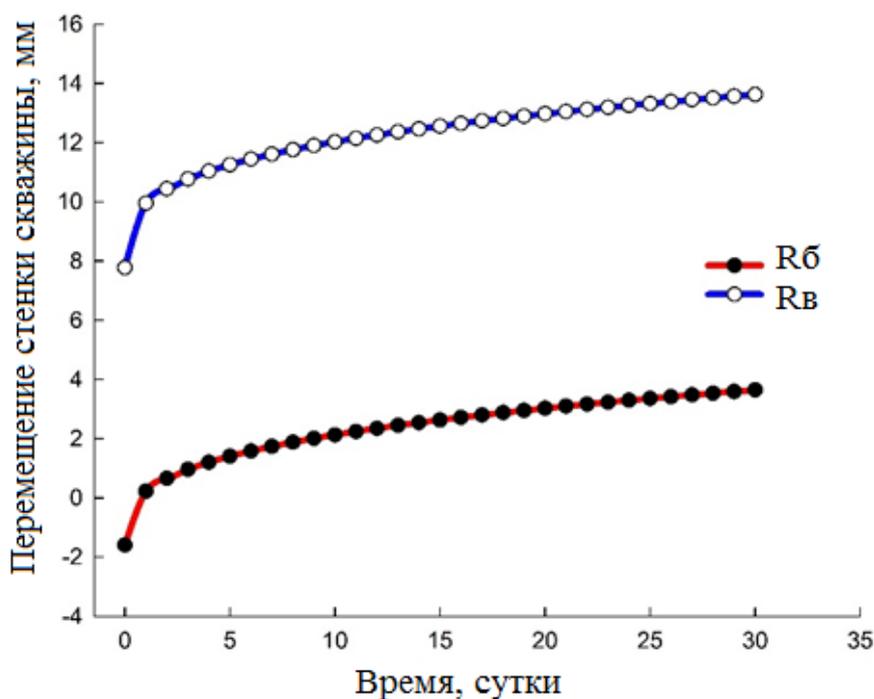


Рисунок 6 – Результаты расчета упруговязкопластического перемещения стенки горизонтальной скважины (зенитный угол 90°) при применении раздвижного расширителя

В качестве критерия предупреждения осложнений принимается время безопасного ведения работ, в течение которого упруговязкопластическое перемещение стенки скважины после вскрытия горной породы долотом или

расширителем станет равным разности радиуса расширителя (долота) и проектного радиуса ствола.

Далее выполнены расчеты времени безопасного ведения работ интервала скважины диаметром 295,3 мм при разбурировании расширителями различного диаметра (таблица 1). В качестве исходных данных приняты: пласт каменной соли Оренбургского газоконденсатного месторождения; зенитный угол интервала 30° ; $p_z=56,6$ МПа; $p_c=34$ МПа; $E=6300$ МПа; $\mu=0,44$; коэффициенты ядра Абеля $\alpha=0,69$; $\delta=0,32 \text{ с}^{1-\alpha}$.

Таблица 1 - Результаты расчета времени безопасного ведения работ при бурении с расширителем в пласте каменной соли при значении зенитного угла 30° и диаметре скважины 295,3 мм

Диаметр расширителя, мм	Расчетное время безопасного ведения работ, ч
394	116
398	138
444,5	328
495	616
510	704
585	1199

Определено время безопасного ведения работ для различных горных пород при следующих условиях: диаметр скважины 215,9 мм; диаметр расширителя 226 мм; $p_z=57$ МПа; $p_c=27$ МПа; зенитный угол 60° . Результаты расчета времени безопасного ведения работ приведены в таблице 2.

В течение времени безопасного ведения работ исключается прихват породоразрушающего и бурильного инструмента вследствие обеспечения проходимости инструмента при подъеме из открытого ствола скважины.

Таблица 2 – Результаты расчета времени безопасного ведения работ при бурении с расширителем в различных горных породах при значении зенитного угла 60°

Горная порода	C, МПа	μ	$\delta, c^{1-\alpha}$	α	$t_{\text{без}}, \text{ч}$
Каменная соль	12500	0,35	0,17701	0,745	12
Аргиллит	2821	0,28	0,0028	0,685	368
Алевролит	3565	0,32	0,0073	0,793	514

где $t_{\text{без}}$ - время безопасного ведения работ.

Таким образом, на основе полученных математических моделей и закономерностей упруговязкопластического перемещения стенок скважин разработаны рекомендации по предупреждению прихватов породоразрушающего и бурильного инструмента. По результатам расчета упруговязкопластического перемещения стенок скважины при проработке интервала расширителем определяется время безопасного ведения работ и диаметр расширителя.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1 Проведен аналитический обзор исследований прогнозирования деформационных процессов в околоскважинной зоне при бурении наклонно направленных и горизонтальных скважин, а также предупреждения связанных с ними осложнений. Показано, что одной из основных причин прихвата бурильного и породоразрушающего инструмента является его заклинивание при спускоподъемных операциях вследствие деформирования поперечного сечения открытого ствола наклонно направленных и горизонтальных скважин. По результатам анализа обоснована необходимость совершенствования математических моделей прогнозирования упруговязкопластического перемещения стенок открытого ствола наклонно направленных и горизонтальных скважин в условиях неравномерного поля напряжений в массиве горных пород.

2 Получено аналитическое решение задачи определения упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважин, и разработаны математические модели деформирования поперечного сечения открытого ствола скважин в условиях гравитационного и тектонического поля напряжений в массиве горных пород.

3 Показано, что в условиях упруговязкопластического деформирования поперечное сечение открытого ствола наклонно направленных и горизонтальных скважин во времени приобретает форму эллипса с большой осью в плоскости боковых стенок скважины. Упруговязкопластическое перемещение стенки скважины в заданный момент времени при прочих равных условиях увеличивается с ростом зенитного угла скважины.

4 На основе полученных математических моделей разработаны методика и программное обеспечение для ЭВМ с целью расчета упруговязкопластического перемещения стенки наклонно направленной и горизонтальной скважин при неравномерном поле напряжений в массиве горных пород.

5 По результатам моделирования упруговязкопластического перемещения стенок скважины определены время безопасного ведения работ и диаметр расширителя для различных горно-геологических и технологических условий, исключая возможность заклинивания породоразрушающего и бурильного инструмента при подъеме из скважины.

Основные положения диссертационной работы отражены в следующих работах:

В ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки России

1 Губайдуллин, А.Г. Смещение стенок наклонно направленных скважин при воздействии тектонических напряжений / А.Г. Губайдуллин, А.И. Могучев // Газовая промышленность. – 2015. – №12. – С. 88-92.

2 Могучев, А.И. Влияние трещиноватости горных пород на упруговязкопластическое перемещение стенок скважин / А.И. Могучев,

А.Г. Губайдуллин, В.М. Лобанков, А.С. Беляева // Нефтяное хозяйство. – 2016. – №5. – С. 41-43.

3 Губайдуллин, А.Г. Упруговязкопластическое смещение стенок наклонно-направленных и горизонтальных скважин / А.Г. Губайдуллин, А.И. Могучев // Территория Нефтегаз. – 2016. – №3 – С. 48-55.

4 Могучев, А.И. О предупреждении сужений открытого ствола наклонно направленных и горизонтальных скважин вследствие вязкопластической деформации горных пород / А.И. Могучев, А.Г. Губайдуллин, Ю.Г. Матвеев // Нефтепромысловое дело. – 2016. – №9. – С. 27-32.

В других изданиях

5 Губайдуллин, А.Г. Смещение стенки наклонно-направленной скважины в пласте упруго-пластичной горной породы // Актуальные проблемы науки и техники: Матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых.: в 2 т. / УГНТУ. – Уфа: РИЦ УГНТУ, 2014. – Том 2. – С. 132-134.

6 Губайдуллин, А.Г. Численное моделирование упругого деформирования стенки вертикальной скважины // Молодежь и наука: Матер. X-ой Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края. / СФУ. — Красноярск: СФУ, 2014. — URL: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/18397> (дата обращения: 14.09.2017).

7 Губайдуллин, А.Г. Численное моделирование смещения стенок горизонтальной скважины / А.Г. Губайдуллин, А.Е. Тихонов // Молодая нефть: Матер. I-ой Всеросс. молодежной науч.-техн. конф. нефтегазовой отрасли. / СФУ. – Красноярск: СФУ, 2014. – URL: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/21101> (дата обращения: 14.09.2017).

8 Губайдуллин, А.Г. Сужение ствола скважины вследствие упруговязкопластической деформации горных пород // Инновационное нефтегазовое оборудование: проблемы и решения: Матер. III-ей Всеросс. науч.-техн. конф. / УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. – С. 17-18.

9 Губайдуллин, А.Г. Обзор зарубежных исследований проблем устойчивости нефтяных и газовых скважин // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации): Матер. IX-ой Междунар. науч.-техн. конф. (посвященной 100-летию со дня рождения Протозанова Александра Константиновича): в 2 т. / ТюмГНГУ. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2014. – Том 1. – С. 75-78.

10 Губайдуллин, А.Г. Программное обеспечение для расчета перемещений стенок скважин при сужении ствола скважин, обусловленном вязкопластической

деформацией горных пород околоскважинной зоны // *Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещение: проблемы и пути решения: Матер. Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием.: в 2 т. / УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – Том 2. – С. 259-260.*

11 Губайдуллин, А.Г. Моделирование осложнений, связанных с сужением ствола наклонно направленных скважин при разбуривании пласта глинистого сланца // *Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещение: проблемы и пути решения: Матер. Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием.: в 2 т. / УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – Том 2. – С. 265-267.*

12 Методика расчета упруговязкопластического перемещения стенок наклонно направленных и горизонтальных скважин: учебно-методическое пособие / УГНТУ, каф. ТМО; сост.: А. Г. Губайдуллин, А. И. Могучев. – Уфа: УГНТУ, 2016. – 565 КБ. - Б. ц.

13 Губайдуллин, А.Г. Прогнозирование сужения открытого ствола скважины в пласте глинистого сланца Haynesville // *Актуальные проблемы науки и техники – 2016: Сб. науч. трудов IX-ой Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых.: в 2 т./ УГНТУ. — Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2016. – Том 1. — С. 57-59.*

14 Губайдуллин, А.Г. Упруговязкопластическое перемещение стенок наклонно направленных и горизонтальных скважин при сужении ствола в изотропном массиве горных пород // *Актуальные проблемы науки и техники – 2016: Сб. науч. трудов IX-ой Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых.: в 2 т. / УГНТУ. — Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2016. – Том 1. – С. 62-63.*