



Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Нефтегазозаготовка и гидропневмоавтоматика»

Т. В. Атвиновская, В. А. Колодко

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОМЕХАНИКА

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по выполнению курсовой работы
для студентов специальности 1-51 02 02
«Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2024

УДК 621.87.658.345(075.8)
ББК 33.361-113я73
А92

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 20.06.2022 г.)*

Рецензент: начальник отд. обучения работников нефтяного блока
УПК РУП «ПО «Белоруснефть» С. В. Козырева

Атвиновская, Т. В.

А92 Подземная гидромеханика : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» днев. и заоч. форм обучения / Т. В. Атвиновская, В. А. Колодко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 31 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит основные требования, предъявляемые к структуре, содержанию, оформлению курсовой работы, изложены рекомендации по разработке практической части работы, подготовке работы к защите.

Для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.87.658.345(075.8)
ББК 33.361-113я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2024

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение и защита курсовой работы является одной из форм обучения студентов по специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений» в соответствии с образовательным стандартом Республики Беларусь ОСРБ 1-51 02 02–2007.

Целями выполнения курсовой работы являются:

- углубление и закрепление теоретических знаний, полученных студентами во время лекционных, лабораторных и практических занятий;

- выработка у студентов навыков самостоятельного применения теории, привлечения дополнительных данных, оценки и проверки правильности решения;

- закрепление навыков расчета с применением вычислительной техники, привлечения справочно-реферативной литературы, оформления и ведения инженерно-технической документации.

Процесс выполнения курсовой работы включает несколько этапов:

- получение задания на курсовую работу;

- изучение настоящих методических указаний;

- составление плана работы и изучение литературы по теме;

- проведение необходимых расчетов и их анализ;

- обоснование выводов и предложений;

- оформление курсовой работы;

- защита курсовой работы.

К общим требованиям к курсовой работе относятся следующие:

- логическая последовательность изложения материала;

- глубина исследования и полнота освещения вопросов;

- убедительность аргументаций;

- краткость и точность формулировок;

- конкретность изложения результатов работы;

- доказательность выводов и обоснованность рекомендаций;

- грамотное оформление.

Курсовое проектирование является необходимым этапом подготовки и обучения студентов, становления их как высококвалифицированных специалистов и играет важную роль в формировании самостоятельного творческого мышления студента.

Курсовая работа представляет собой комплексную учебно-исследовательскую работу студента, которая выполняется на основе теоретических и практических знаний, накопленных в процессе обучения дисциплине «Подземная гидромеханика». Она является многоцелевым элементом учебного процесса и позволяет привить студентам навыки и умения сбора, анализа, обобщения информации по данной предметной области. Данное практическое руководство содержит основные требования, предъявляемые к структуре, содержанию, оформлению курсовой работы, предлагает рекомендации по разработке практической части работы, подготовке работы к защите.

Курсовая работа выполняется по заданию руководителя.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

1.1 Задачи курсовой работы

Основными задачами курсового проектирования по дисциплине «Подземная гидромеханика» являются:

- привитие навыков самостоятельной работы с учебной и научной литературой;
- выработка аналитического мышления при изучении и решении поставленных вопросов и задач;
- выработка умения грамотно и сжато излагать суть вопроса, поставленного в теме курсовой работы;
- привитие навыков выполнения расчетов по формулам, применения системы единиц измерения СИ;
- привитие умения делать анализ, комментировать и оценивать полученные результаты – давать физическую их интерпретацию и формулировать выводы по проведенной работе;
- оформление работы в соответствии с ГОСТом;
- публичное представление полученных результатов.

1.2 Общие положения

Общие требования и положения по курсовому проектированию по дисциплине «Подземная гидромеханика» приняты на методическом семинаре кафедры «Нефтегазозащита и гидропневмоавтоматика».

1. Тематика заданий утверждается на методическом семинаре кафедры.

2. Задания по курсовым работам должны быть выданы своевременно и включать задачи, решение которых предполагает использование изученного в курсе «Подземная гидромеханика» материала.

3. Задание по курсовой работе оформляется на бланке установленного образца в двух экземплярах, один из которых хранится на кафедре в течение года (Приложение 2).

4. Пояснительная записка должна быть оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105–95 «Общие требования к текстовым документам».

1.3 Требования к структуре и содержанию пояснительной записки

Курсовая работа должна содержать:

1. Титульный лист
2. Задание на курсовую работу
3. Введение
4. Разработка теоретического вопроса
5. Расчетное задание
6. Заключение
7. Список литературы

Объем пояснительной записки должен составлять 30–35 листов. Стандартный вид титульного листа приведен в приложении 1.

Содержание включает наименование всех разделов и подразделов с указанием номеров начальных страниц, на которых размещаются эти разделы.

Во введении обосновывается актуальность темы и ее значимость, указываются цели и задачи работы. Не следует перегружать введение излишней информацией и теоретическим материалом (формулами, определениями и т.д.). Объем введения – до 3 страниц.

Теоретическая часть курсовой работы должна содержать анализ научно-технической литературы по сути рассматриваемых вопросов, четко, полно и последовательно освещать изучаемую проблему на основе современных научных методов, различных теоретических направлений. Начинать раскрывать тему необходимо с рассмотрения основополагающих понятий. Представленный теоретический материал должен сопровождаться графическими и цифровыми материалами, схемами, рисунками, поясняющими и подтверждающими излагаемый материал. При этом следует приводить ссылки на используемую литературу. Тема теоретической части выдается каждому студенту индивидуально руководителем курсовой работы. Объем раздела – до 8 страниц.

В расчетной части приводятся гидродинамические расчеты по полученным формулам. Расчеты рекомендуется выполнять в системе СИ с указанием размерностей физических величин. Объем раздела – до 15 страниц.

В заключении дается краткое подведение итогов, формулируются основные выводы, полученные при выполнении курсовой работы. Объем заключения – до 2 стр.

Список используемых источников составляется в порядке появления ссылки на соответствующий источник в тексте пояснительной записки и оформляется согласно требованиям ГОСТ. Список должен содержать не менее четырех источников.

При написании пояснительной записки необходимо использовать язык и стиль научной работы, придерживаться строгой последовательности изложения. Текст документа должен быть кратким и четким с применением общепринятых в научно-технической литературе терминов, определений и обозначений. Не допускается применение оборотов разговорной речи, произвольных словообразований, сокращений слов, кроме установленных правилами орфографии.

Материал пояснительной записки должен быть строго структурирован. Разделы следует при необходимости разбивать на подразделы. Названия разделов должны соответствовать изложенному в них тексту.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Текст пояснительной записки должен быть оформлен в соответствии с требованиями к оформлению текстовых документов, установленными ГОСТ 2.105–95.

Текст набирается через 1 интервал шрифтом 14–15. Объем печатного текста – 30-35 страниц. Поля страниц (примерно): левое – 30, правое – 15, верхнее – 25, нижнее – 30 мм. Форматирование текста по ширине, отступ на 1,15 см.

1. Использовать только один размер шрифта. Для выделения рубрикаций и различного уровня подзаголовков и т. д. применять жирный, наклонный или разряженный шрифты, подчеркивание. Не использовать одновременно два признака.

2. Избегать необоснованного выделения абзацев (по 1–2 строчки).

3. Главы начинать с новой страницы. После номера главы и названия точка не ставится.

5. Ссылки на рисунки (рисунок 1), таблицы (таблица 1) и литературу [5] обязательны.

6. Рисунки и таблицы должны быть озаглавлены и пронумерованы в пределах каждой главы, таблицы – вверху, рисунки – внизу. Названия рисунков и таблиц должно четко и кратко отражать приводимые сведения.

7. Последняя страница каждого раздела (главы) должна быть заполнена не менее чем на 1/3.

8. Нумерация страниц ставится внизу, посередине строки, без точки. В нумерацию входят все страницы, включая рисунки и таблицы, титульный лист. Номер страницы на титульном листе не проставлять.

9. Написание темы курсового проекта обязательно.

10. Титульный лист оформляется в соответствии с приложением 1.

11. Работа должна быть подписана исполнителем.

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ И ЗАЩИТЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Выполнение курсовой работы ведется в соответствии с календарным планом, предложенным руководителем при выдаче задания. После каждого этапа студент предоставляет руководителю результаты работы, расчеты и другие материалы на проверку. Руководитель указывает и разъясняет ошибки и недоработки, дает рекомендации по их исправлению.

Работа над курсовой начинается с детального изучения теоретических сведений по заданной теме. В результате работы над теоретическим материалом должен быть сформулирован алгоритм решения поставленной задачи.

В практической части работы необходимо по предложенной методике произвести расчет параметров фильтрации нефти при заданных условиях.

Текст «Заключения» должен начинаться с названия темы, цели данной работы и решаемых задач. Это необходимо в связи с тем, что далее следует дать оценку полноты выполнения цели и решения поставленных задач. Все данные должны быть конкретные, определенные.

Законченная курсовая работа, оформленная в строгом соответствии с изложенными выше требованиями и подписанная студентом, представляется руководителю в срок, установленный календарным планом. Выполненная работа может быть сдана на проверку руководителю до срока, указанного в плане. Руководитель рецензирует представленную пояснительную записку и назначает дату защиты в соответствии с утвержденным расписанием защиты курсовых работ. Курсовые работы рецензируются и возвращаются преподавателем на кафедру в течение семи дней. Если отзыв руководителя отрицательный, работа возвращается студенту на доработку. После внесения исправлений и доработки студент повторно представляет руководителю курсовую работу для проверки, но не позднее, чем за три дня до защиты. Студентам рекомендуется приложить к курсовой работе страницы с ответами на замечания руководителя. Это дает возможность видеть работу студента и аргументировать оценку. Не допускается замена страниц, на которых были отмечены ошибки. Повторная проверка работы проводится только по замечаниям, указанным в рецензии. Если замечания не

устранены, то работа вновь возвращается студенту для доработки. Если при рецензировании преподаватель установит, что работа выполнена студентом самостоятельно, то она не может быть зачтена. Защита курсовых работ производится перед комиссией, создаваемой на кафедре, в составе не менее двух человек с участием руководителя курсового проектирования. На сообщение по курсовой работе отводится 5–7 минут. В нем должны быть отражены тема, цели и задачи работы, приведены основные расчетные формулы, выводы и результаты проведенных исследований. При защите курсовой работы студенту могут быть заданы дополнительные вопросы, позволяющие оценить глубину проработки студентом поставленной задачи. Решение о выставлении оценки принимается членами комиссии с учетом качества и своевременности выполнения работы, самостоятельности и рациональности решений, знаний студента по исследуемой проблеме, умения излагать результаты работы, обосновывать принятые решения и отвечать на заданные при защите вопросы.

4. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Темы теоретической части курсовой работы по дисциплине «Подземная гидромеханика» (тема выдается каждому студенту индивидуально руководителем курсовой работы):

1. Основные понятия, законы фильтрации нефти, газа, воды. Системы единиц измерений, применяемые в подземной гидромеханике.

2. Границы применимости закона Дарси и нелинейные законы в задачах фильтрации пластовых флюидов.

3. Исследование одномерных фильтрационных потоков несжимаемой жидкости и газа в неоднородных пластах по закону Дарси.

4. Исследование движения жидкости со свободной поверхностью в пористой среде.

5. Плоские установившиеся фильтрационные потоки. Использование функции комплексного переменного.

6. Изучение интерференции совершенных скважин при фильтрации нефти и газа.

7. Расчет дебитов рядов скважин в залежах при фильтрации нефти и газа.

8. Изучение особенностей притока жидкости и газа к несовершенным скважинам (при линейных и нелинейных законах фильтрации).

9. Дифференциальные уравнения неустановившейся фильтрации упругой жидкости по различным законам фильтрации в упругой пористой среде.

10. Исследование одномерных фильтрационных потоков упругой жидкости и газа (прямолинейно-параллельный и плоскорадиальный потоки).

11. Исследование задач интерференции скважин в условиях упругого режима.

12. Определение параметров пласта по кривой восстановления давления (кривой падения давления) при упругом режиме.

13. Приближенные методы решения задач теории упругого режима фильтрации.

14. Исследование неустановившегося движения газа в пористой среде (дифференциальное уравнение Лейбензона).

15. Изучение приближенных методов решения задач притока газа.
16. Методы решения задач фильтрации газа с помощью уравнения материального баланса.
17. Исследование задач движения границ раздела при взаимном вытеснении жидкостей и газов.
18. Анализ явления образования конуса подошвенной воды и газовых конусов.
19. Расчет параметров вытеснения одной жидкостью другой.
20. Анализ задачи Баклея–Леверетта и ее обобщения.
21. Движение газированной жидкости в пористой среде.
22. Исследование особенностей фильтрации неньютоновской жидкости.
23. Движение жидкостей и газов в трещиноватых и трещиновато-пористых средах. Исследование задач установившейся фильтрации.
24. Применение методов теории размерностей в подземной гидромеханике.
25. Дифференциальные уравнения изотермической фильтрации флюидов в нефтегазоносных пластах (вывод, примеры использования).
26. Примеры исследования задач фильтрации при различных зависимостях параметров флюидов и пористой среды от давления.
27. Математическое моделирование задач фильтрации при различных начальных и граничных условиях (сравнительный анализ).
28. Анализ притока одномерных установившихся потоков жидкости и газа в пористой среде.
29. Сравнительный анализ установившихся потоков жидкости и газа в пористой среде.
30. Анализ притока жидкости и газа к горизонтальным скважинам.
31. Исследование одномерных фильтрационных потоков упругой жидкости для различных моделей пластовых фильтрационных систем (точное решение уравнения пьезопроводности).
32. Анализ задач притока упругой жидкости к укрупненной скважине.
33. Определение параметров пласта при неустановившейся фильтрации газа.

34. Изучение основ теории фильтрации многофазных систем.
35. Изучение задач фильтрации трехфазной смеси.
36. Изучение гидродинамических моделей методов повышения нефте- и газоконденсатоотдачи пластов.
37. Изучение основ теории неизотермической фильтрации.
38. Изучение неустановившейся фильтрации жидкости и газа в трещиноватых и трещиновато-пористых средах.
39. Анализ вытеснения нефти водой из трещиновато-пористых и неоднородных сред.
40. Исследование задач моделирования основных процессов фильтрации пластовых флюидов.

5. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рассчитать параметры фильтрации нефти к скважине и группе скважин при различных (заданных) вариантах их расположения в плоском круговом пласте с ограниченным контуром питания для водонапорного и упругого режимов работы пласта.

Порядок выполнения работы

1 этап

Расчет параметров нефти при водонапорном установившемся режиме

Давление на контуре питания является постоянным. Скважина эксплуатируется при постоянном забойном давлении P_c .

1. Определить коэффициент совершенства скважины.
2. Определить установившийся дебит одиночной скважины Q для четырех вариантов ее расположения в круговом пласте и построить график зависимости дебита скважины от ее расположения.

Варианты расположения:

- а) в центре;
 - б) на расстоянии $0,25 \cdot R_k$ от ее центра;
 - в) на расстоянии $0,5 \cdot R_k$ от ее центра;
 - г) на расстоянии $0,1 \cdot R_k$ от ее контура.
3. Определить коэффициенты продуктивности скважины при заданных выше вариантах расположения скважины в пласте и построить индикаторные линии.
 4. Оценить применимость линейного закона Дарси для рассматриваемых случаев фильтрации нефти.
 5. Определить давления на различных расстояниях от скважины (0,5 м, 1 м, 2 м, 5 м, 10 м, 20 м, 50 м, 100 м) и построить кривые депрессии $P(r)$ при заданном забойном давлении P_c для скважины, расположенной в центре пласта. Определить средневзвешенное по объему пластовое давление \tilde{P} .
 6. Определить условное время отбора всей нефти из пласта при поддержании постоянных давлений P_k и P_c и при расположении скважины в центре пласта.

7. Определить изменение дебита скважины, расположенной в центре пласта, если на расстоянии L м расположить такую же скважину с тем же забойным давлением.

8. Определить дебит скважин и суммарный дебит, если данный круговой пласт разрабатывается пятью скважинами, из которых 4 расположены в вершинах квадрата со стороной A м, а пятая – в центре. Все скважины идентичны и работают с одинаковым забойным давлением P_c .

9. Определить дебит кольцевой батареи скважин, расположенных по кругу на расстоянии $0,6 \cdot R_k$ от центра (определить зависимость дебита одной скважины и суммарного дебита батареи скважин от их числа в батарее: 4, 5, 6, 8, 10, 12). Все скважины идентичны и работают с одинаковым забойным давлением P_c . Построить график зависимостей дебита одной скважины и суммарного дебита батареи скважин от числа скважин в батарее.

10. Определить изменение распределения давления и дебита одиночной скважины, расположенной в центре кругового пласта, при стягивании контура нефтеносности под напором контурных вод. Расчеты выполнить при расположении контура нефтеносности: $r_H = R_k$; $r_H = 0,75 R_k$; $r_H = 0,5 R_k$; $r_H = 0,25 R_k$; $r_H = 0,1 R_k$ от оси скважины. Для указанных значений r_H построить кривые депрессии давления в призабойной зоне ($r_H \leq 0,1 R_k$). Построить график зависимости дебита скважины от положения контура нефтеносности r_H , а также графики зависимостей, средневзвешенных по объему порового пространства давлений водоносной и нефтеносной областей, от положения контура нефтеносности.

11. Определить время вытеснения всей нефти водой от контура питания до ствола скважины, положение фронта водонасыщенности в различные моменты времени $r_\phi(t)$. Определить фронтовую водонасыщенность, если начальная водонасыщенность $\sigma_0 = 12\%$.

2 этап

Расчет параметров нефти при упругом неустановившемся режиме

Замкнутый горизонтальный круговой пласт с радиусом контура R_k имеет начальное пластовое давление P_k . Одиночная скважина,

расположенная в центре пласта, эксплуатируется при постоянном забойном давлении P_c .

1. Определить упругий запас нефти в пласте при уменьшении давления от P_k до P_c , объем нефти, который отбирается из пласта за счет упругого расширения жидкости и породы, а также полный запас нефти.

2. Определить изменение дебита скважины после пуска ее в эксплуатацию $Q(t)$.

3. Скважина продолжительное время (200 суток) работала с постоянным забойным давлением P_c , а затем была остановлена. Определить давление на забое скважины в моменты $t = 1$ ч, 5 ч, 20 ч, 100 ч., 500 ч. после остановки и построить график изменения давления на забое скважины во времени $P_c(t)$.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1 этап

1. Определяем коэффициент совершенства скважины:

$$\delta = \frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{сов}}},$$

где $Q_{\text{сов}}$ – дебит совершенной скважины, соответствующий потенциальным природным условиям пласта; $Q_{\text{факт}}$ – фактический дебит скважины.

Фактический дебит гидродинамически несовершенной скважины при этом подсчитывается по формуле Дюпюи:

$$Q_{\text{факт}} = \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + C_1 + C_2 \right)},$$

где k – естественная проницаемость пласта, m^2 ; h – эффективная толщина пласта, m ; P_k – давление на контуре питания, Pa ; P_c – давление на забое скважины, Pa ; $\Delta P = P_k - P_c$ – депрессия, под действием которой жидкость притекает к скважине, Pa ; μ – динамическая вязкость флюида, $Pa \cdot c$; R_k – радиус контура питания, m ; r_c – радиус скважины по долоту, m ; C_1 – безразмерная величина, определяющая дополнительное фильтрационное сопротивление, обусловленное несовершенством скважины по степени вскрытия пласта; C_2 – безразмерная величина, определяющая дополнительное фильтрационное сопротивление, обусловленное несовершенством скважины по характеру вскрытия пласта [4].

Величина C_1 может быть определена по формуле А.М. Пирвердяна:

$$C_1 = \left(\frac{1}{\bar{h}} - 1 \right) \left(\frac{1}{1 - \frac{r_c}{b}} \ln \frac{b}{r_c} - 1 \right) = \left(\frac{1}{\bar{h}} - 1 \right) \left(\frac{1}{1 - \frac{D_c}{2b}} \ln \frac{2b}{D_c} - 1 \right),$$

где b – глубина вскрытия пласта, m ; \bar{h} – относительное вскрытие пласта, m ; D_c – диаметр скважины, m .

$$\bar{h} = \frac{b}{h}.$$

Величина C_2 может быть определена аналитически по формуле [1]:

$$C_2^{\text{аналит}} = 3,58 \cdot a \cdot b \cdot c - 1,$$

где $a = 0,34 - 0,3 \cdot \ln(l) + 0,17 \cdot \ln^2(l)$; $b = 2,07 - 1,64 \cdot \ln(n \cdot D_c) + 0,41 \cdot \ln^2(n \cdot D_c)$;
 $c = 0,3 - 0,24 \cdot \ln \alpha + 0,01 \cdot \ln^2 \alpha$.

$$l = \frac{l'}{D_c},$$

где l' – глубина проникновения пуль в породу, м; n – число перфорационных отверстий на один метр вскрытой толщины пласта (плотность перфорации), м^{-1} .

$$\alpha = \frac{d_0}{D_c},$$

где d_0 – диаметр перфорационных отверстий (каналов), м;

Значения параметров C_1 и C_2 можно также найти графически по графикам В.И. Щурова, построенным по данным исследования притока жидкости к скважине на электролитических моделях.

$$a = \frac{h}{D_c},$$

$$C_1^{\text{граф}}(a, \bar{h}) = C_1^{\text{граф}}(a_1, \bar{h}) + \frac{a - a_1}{a_2 - a_1} [C_1^{\text{граф}}(a_2, \bar{h}) - C_1^{\text{граф}}(a_1, \bar{h})],$$

где $C_1^{\text{граф}}(a_1, \bar{h})$ и $C_1^{\text{граф}}(a_2, \bar{h})$ находим графически [4, рис. 11];

$$C_2^{\text{граф}}(l, a_1, n \cdot D_c) = C_2^{\text{граф}}(l_1, a_1, n \cdot D_c) + \frac{l - l_1}{l_2 - l_1} [C_2^{\text{граф}}(l_2, a_1, n \cdot D_c) - C_2^{\text{граф}}(l_1, a_1, n \cdot D_c)]$$

$$C_2^{\text{граф}}(l, a_2, n \cdot D_c) = C_2^{\text{граф}}(l_1, a_2, n \cdot D_c) + \frac{l - l_1}{l_2 - l_1} [C_2^{\text{граф}}(l_2, a_2, n \cdot D_c) + C_2^{\text{граф}}(l_1, a_2, n \cdot D_c)]$$

$$C_2^{\text{граф}}(l, \alpha, n \cdot D_c) = C_2^{\text{граф}}(l, \alpha_2, n \cdot D_c) + \frac{\alpha - \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} [C_2^{\text{граф}}(l, \alpha_2, n \cdot D_c) - C_2^{\text{граф}}(l, \alpha_1, n \cdot D_c)],$$

где $C_2^{\text{граф}}(l_1, \alpha_1, n \cdot D_c)$, $C_2^{\text{граф}}(l_1, \alpha_2, n \cdot D_c)$, $C_2^{\text{граф}}(l_2, \alpha_1, n \cdot D_c)$, $C_2^{\text{граф}}(l_2, \alpha_2, n \cdot D_c)$ находим графически [4].

$$Q_{\text{сов}} = \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{R_k}{r_c}},$$

Учитывая формулы объемного дебита совершенной и несовершенной скважин, получим следующее выражение:

$$\delta = \frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{сов}}} = \frac{\ln \frac{R_k}{r_c}}{\ln \frac{R_k}{r_c} + C_1 + C_2} = \frac{\ln \frac{2R_k}{D_c}}{\ln \frac{2R_k}{D_c} + C_1 + C_2},$$

$$\delta^{\text{аналит}} \approx \delta^{\text{граф}}.$$

2. Определяем установившийся дебит одиночной скважины для четырех вариантов ее расположения в круговом пласте по формуле [6]:

$$Q_{\text{сов}} = \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \ln \left[\frac{R_k}{r_c} \left(1 - \frac{\delta_n^2}{R_k^2} \right) \right]}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

где $\delta_0 = 0$, $\delta_0 = 0,25 \cdot R_k$, $\delta_0 = 0,5 \cdot R_k$, $\delta_0 = 0,1 \cdot R_k$.

С поправкой на гидродинамическое несовершенство скважины рассчитаем ее фактический дебит по формуле

$$Q_n^{\text{факт}} = \delta^{\text{аналит}} Q_n^{\text{сов}}$$

3. Для определения фильтрационных характеристик пласта определим коэффициент продуктивности скважины:

$$K = \frac{Q_n^{\text{факт}}}{\Delta P}, \frac{\text{м}^3}{\text{Па} \cdot \text{с}}.$$

По результатам расчета коэффициентов продуктивности построим индикаторные линии, то есть графики зависимостей расхода от разности давлений на контуре питания и галерее для различных вариантов расположения скважины в пласте, которые в пределах закона Дарси представляют прямые линии.

4. Оцениваем применимость линейного закона Дарси для рассматриваемых случаев фильтрации нефти. можно выделить *верхнюю* и *нижнюю* границы применимости закона Дарси и соответствующие им две основные группы причин. *Верхняя граница* определяется группой причин, связанных с проявлением инерционных сил при достаточно высоких скоростях фильтрации, и связывается с некоторым критическим значением числа Рейнольдса, определяемого по следующей формуле:

$$Re = \frac{v \bar{d} \rho}{\mu},$$

где v – скорость фильтрации, $\frac{м}{с}$; \bar{d} – некоторый характерный линейный размер поровых каналов; μ – динамический коэффициент вязкости флюида, $Па \cdot с$.

Линейный параметр поровых каналов может быть определен одним из следующих способов:

- по В.Н. Щелкачёву:

$$\left. \begin{aligned} \bar{d} &= \frac{10\sqrt{k}}{m^{2,3}} \\ 1 \leq Re_{кр} &\leq 12 \end{aligned} \right\},$$

- по М.Д. Миллиончикову:

$$\left. \begin{aligned} \bar{d} &= \frac{\sqrt{k}}{m^{1,5}} \\ 0,022 \leq Re_{кр} &\leq 0,29 \end{aligned} \right\},$$

где k – коэффициент проницаемости пористой среды, $м^2$; m – коэффициент пористости; $Re_{кр}$ – критическое значение числа Рейнольдса, за пределами верхней границы которого фильтрация становится неламинарной и линейный закон фильтрации Дарси становится неприменим.

Нижняя граница определяется проявлением неньютоновских реологических свойств жидкости: ее взаимодействием с твердым скелетом пористой среды при достаточно малых скоростях фильтрации [3].

На основе вышеизложенных формул определим применимость закона Дарси для фильтрации нефти в скважину при ее расположении, обеспечивающем максимальный дебит:

$$v_3 = \frac{Q_3^{\text{факт}}}{s} = \frac{4Q_3^{\text{факт}}}{\pi d_0^2 n b}, \frac{м}{с}.$$

5. Определяем давления на различных расстояниях от скважины по следующим эквивалентным формулам (на выбор) [7]:

$$P(r) = P_c + \frac{P_k - P_c}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{r_n}{r_c},$$

$$P(r) = P_k + \frac{P_k - P_c}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{R_k}{r_n}.$$

По данным расчета строим кривую депрессии $P(r)$ при заданном забойном давлении P_c .

Определяем средневзвешенное по объему порового пространства V_n давление. Для этого пользуемся следующей формулой [4]:

$$\tilde{P} = \frac{1}{V_{\Pi}} \int_{V_{\Pi}} P dV = P_k - \frac{P_k - P_c}{2 \ln \frac{R_k}{r_c}}$$

6. Определяем условное время отбора всей нефти из пласта T при поддержании постоянных давлений на контуре питания и на забое скважины, расположенной в центре пласта:

$$T_0 = \frac{V_{\Pi}}{Q_0^{\text{факт}}} = \frac{\pi t h (R_k^2 + r_c^2)}{Q_0^{\text{факт}}}, \text{ с.}$$

7. Рассчитываем изменение дебита скважины, расположенной в центре пласта в результате ее взаимодействия с введенной аналогичной скважиной с таким же забойным давлением при условии, что расстояние между ними – L м.

$$\Delta Q_0^{\text{факт}} = Q_0^{\text{факт}} - \frac{2\pi k h (P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{R_k^2}{L r_c}} \delta^{\text{аналит}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

8. Круговой пласт разрабатывается пятью скважинами. Все скважины идентичны, работают с одинаковым забойным давлением P_c , четыре из них располагаются в вершинах квадрата со стороной A м, пятая скважина находится в центре пласта.

Определяем дебит скважин и суммарный дебит по формулам:

$$\Delta Q_0^{\text{факт}} = Q_0^{\text{факт}} - \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \left[\ln \frac{R_k}{r_c} \cdot \frac{\ln \frac{4\sqrt{2r_c}}{A}}{\ln \frac{\sqrt{2r_c}}{A}} + 4 \ln \frac{R_k}{A} \right]} \delta_{\text{аналит}}$$

$$\Delta Q_0^{\text{факт}} = Q_0^{\text{факт}} - \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \left[\ln \frac{R_k}{r_c} \cdot \frac{\ln \frac{\sqrt{2r_c}}{A}}{\ln \frac{4\sqrt{2r_c}}{A}} + 4 \ln \frac{R_k}{A} \right]} \delta_{\text{аналит}}$$

$$Q_{\Sigma}^{\text{факт}} = 4Q^{\text{факт}} + Q_V^{\text{факт}}$$

9. Определим дебит кольцевой батареи скважин по формуле:

$$Q^{\text{факт}}(n) = \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \left[\ln \frac{R_k^n}{nr_c R^{n-1}} \left(1 - \left(\frac{R}{R_k} \right)^{2n} \right) \right]} \frac{M^3}{c}$$

где R – радиус батареи, $R = 0,6R_k$ (по условию); n – число скважин в батарее [4].

Суммарный дебит батареи скважин определим по формуле:

$$Q_{\Sigma}^{\text{бат}}(n) = n \cdot Q^{\text{бат}}(n), \frac{M^3}{c}$$

Строим графики зависимостей дебита одной скважины и суммарного дебита батареи скважин от числа скважин в батарее.

10. Определим изменение распределения дебита одиночной скважины, расположенной в центре кругового пласта, при стягивании контура нефтеносности под напором контурных вод по формуле:

$$\Delta Q = - \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu_B \ln \frac{R_k}{r_f} + \mu_H \ln \frac{r_f}{r_c}} \frac{M^3}{c}$$

Изменение распределения давления в водоносной и нефтеносной областях при заданных расположениях контура нефтеносности рассчитываем по формулам [9]:

$$P_B = P_k - \frac{P_k - P(t)}{\ln \frac{R_k}{r_f}} \ln \frac{R_k}{r}, \text{ МПа,}$$

$$P_H = P_C - \frac{P(t) - P_c}{\ln \frac{R_f}{r_c}} \ln \frac{r}{r_c}, \text{ МПа,}$$

Результаты заносим в таблицу.

Таблица 1 – Распределение давления в круговом пласте при вытеснении нефти водой

		Текущее положение контура нефтеносности, м			
		0,75R _к	0,5R _к	0,25R _к	0,1R _к
Текущее значение радиус-вектора, м	0,5	-	-	-	-
	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	5	-	-	-	-
	10	-	-	-	-
	20	-	-	-	-
	50	-	-	-	-
	100	-	-	-	-
	...	-	-	-	-
	...	-	-	-	-
	...	-	-	-	-
	0,75R _к	-	-	-	-

– распределение давления в водоносной области, МПа;

– распределение давления в нефтеносной области, МПа.

Расчеты выполнить при расположении контура нефтеносности: $r_H = R_k$; $r_H = 0,75 \cdot R_k$; $r_H = 0,5 \cdot R_k$; $r_H = 0,25 \cdot R_k$; $r_H = 0,1 \cdot R_k$ от оси скважины. Для указанных значений r_H строим график зависимости дебита скважины от положения контура нефтеносности ($r_H \leq 0,1 \cdot R_k$), а также кривые депрессии давления в призабойной зоне как графики кусочно-заданных функций:

$$P(r) = \begin{cases} P_c + \frac{\mu_H(P_k - P_c)}{\mu_B \ln \frac{R_k}{r_f} + \mu_H \ln \frac{r_f}{r_c}} \ln \frac{r}{r_c}, & r \leq r_f \\ P_k - \frac{\mu_B(P_k - P_c)}{\mu_B \ln \frac{R_k}{r_f} + \mu_H \ln \frac{r_f}{r_c}} \ln \frac{R_k}{r}, & r_f \leq r \end{cases}$$

Для построения графиков зависимостей, средневзвешенных по объему порового пространства давлений водоносной и нефтеносной областей от положения контура нефтеносности, воспользуемся формулами:

$$\tilde{P}_B = P_k - \frac{\mu_B(P_k - P_c)}{\mu_B \ln \frac{R_k}{r_f} + \mu_H \ln \frac{r_f}{r_c}} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{r_f^2}{R_k^2 - r_f^2} \ln \frac{R_k}{r_f} \right\}$$

$$\tilde{P}_H = P_c - \frac{\mu_H(P_k - P_c)}{\mu_B \ln \frac{R_k}{r_f} + \mu_H \ln \frac{r_f}{r_c}} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{r_f^2}{r_f^2 - r_c^2} \ln \frac{r_f}{r_c} \right\}$$

11. Определим время вытеснения нефти водой по формуле:

$$T = \frac{m}{4k(P_k - P_c)} \left\{ 2 \ln \frac{R_k}{r_c} (\mu_H R_k^2 - \mu_B r_c^2) + (\mu_B - \mu_H)(R_k^2 - r_c^2) \right\}$$

Для определения положения фронта водонасыщенности в различные моменты времени проинтегрируем предыдущее уравнение в пределах от r и получим r до R_k . После преобразования получим:

$$t(r) = \frac{m}{4k(P_k - P_c)} \left\{ 2 \left(\mu_H R_k^2 \ln \frac{R_k}{r_c} - \mu_B r_c^2 \ln \frac{R_k}{r} \right) + (\mu_B - \mu_H)(R_k^2 - r_c^2) - 2\mu_H r^2 \ln \frac{r}{r_c} \right\}.$$

Для определения фронтовой водонасыщенности воспользуемся аналитическим методом, задав относительные фазовые проницаемости для воды k_B и нефти k_H в наиболее простом виде [10]:

$$k_B(\sigma) = \sigma^2,$$

$$k_H(\sigma) = (1 - \sigma)^2,$$

где σ – коэффициент водонасыщенности.

Этим фазовым проницаемостям отвечает функция Леверетта $f(\sigma)$:

$$f(\sigma) = \frac{k_B(\sigma)}{k_B(\sigma) + \mu_0 k_H(\sigma)} = \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \mu_0(1-\sigma)^2},$$

где $\mu_0 = \frac{\mu_B}{\mu_H}$ – относительный коэффициент вязкости.

Производная функции Леверетта будет определяться по формуле:

$$\frac{df(\sigma)}{d\sigma} = \frac{2\mu_0\sigma(1-\sigma)}{(\sigma^2 + \mu_0(1-\sigma)^2)^2}.$$

Формула для определения фронтальной насыщенности σ_ϕ имеет вид:

$$(\sigma_\phi - \sigma_0) \frac{df(\sigma_\phi)}{d\sigma_\phi} = f(\sigma_\phi) - f(\sigma_0),$$

где σ_0 – коэффициент начальной водонасыщенности, $\sigma_0 = 12\%$.

Значение фронтальной насыщенности определяем графически на пересечении графиков функции Леверетта и вспомогательной функции для определения фронтальной насыщенности.

2 этап

Расчет параметров нефти при упругом неустановившемся режиме.

1. Определяем упругий запас нефти в пласте по формуле:

$$\Delta V_3 = \beta^* \cdot V_{II} \Delta P$$

где β^* – коэффициент упругоёмкости пласта:

$$\beta^* = m((1-\sigma_0)\beta_H + \sigma_0\beta_H) + \beta_c,$$

V_{II} – объем пласта:

$$V_{II} = \pi(R_k^2 - r_c^2)h.$$

Находим объем нефти, который можно отобрать из пласта за счет упругого расширения жидкости и породы [11]:

$$\Delta V_H = (1-\sigma_0)mV_{II},$$

Также рассчитаем полный запас нефти:

$$V_H = (1-\sigma_0)mV_{II}.$$

2. Определим изменение дебита скважины после пуска ее в эксплуатацию по формуле [5]:

$$Q(t) = \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{l(t)}{r_c}}$$

где $l(t) = 2\sqrt{Xt}$; X – коэффициент пьезопроводности, характеризующий темп перераспределения пластового давления в условиях упругого режима, $\frac{M^2}{c}$:

$$X = \frac{k}{\mu\beta^*}$$

Строим график изменения дебита скважины с течением времени с учетом гидродинамического несовершенства.

3. Скважина продолжительное время (200 суток) работала с постоянным забойным давлением P_c , а затем была остановлена. Определим давление на забое скважины в различные моменты времени после остановки. Для этого воспользуемся формулой:

$$P_c(t) = P_k + \frac{Q\mu}{4\pi kh} \ln \frac{t}{t+T}$$

Строим график изменения давления на забое скважины во времени $P_c(t)$.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.О. СУХОГО**

1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений»

Кафедра «Нефтегазозаготовка и гидропневмоавтоматика»

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовой работе**

по дисциплине «Подземная гидромеханика»

на тему: «Расчет параметров фильтрации нефти к скважине и группе
скважин»

Вариант ____

Исполнитель: студент гр. НР__

Ф.И.О.

Руководитель: преподаватель

Ф.И.О.

Дата проверки: _____

Дата допуска к защите: _____

Дата защиты: _____

Оценка работы: _____

Подписи членов комиссии
по защите курсовой работы: _____

Гомель 20__

Приложение 2

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого

Факультет Машиностроительный
Кафедра Нефтегазозаработка и гидropневмоавтоматика

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой _____

(подпись)

«___» _____ 2022 г. _____

ЗАДАНИЕ ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Студенту _____

1. Тема работы: Расчет параметров фильтрации нефти к скважине и группе скважин

2. Сроки сдачи студентом законченной работы _____

3. Исходные данные к работе: Вариант № _____

Рассчитать параметры фильтрации нефти к скважине и группе скважин при различных вариантах их расположения в плоском круговом пласте с ограниченным контуром питания для водонапорного и упругого режимов:

R_k – горизонтальный однородный пласт с радиусом контура питания =

h – мощность пласта =

m – коэффициент пористости пласта =

k – коэффициент проницаемости пласта =

μ_n – динамический коэффициент вязкости нефти =

ρ_n – плотность нефти =

β_n – коэффициент сжимаемости нефти =

β_c – коэффициент сжимаемости породы пласта =

σ_0 – водонасыщенность нефтяного пласта =

μ_v – коэффициент вязкости пластовой воды =

β_v – коэффициент сжимаемости пластовой воды =

b – глубина, на которую вскрывается пласт =

D_c – диаметр скважины = _____
Забой скважины обсажен и перфорирован. _____
 P_k – пластовое давление = _____
 P_c – постоянное забойное давление = _____
 n – число круглых отверстий на 1 м забоя = _____
 d_0 – диаметр отверстий = _____
 l^2 – глубина проникновения пуль в породе _____

4. Содержание расчетно-пояснительной записки: 1.1. Расчет коэффициента совершенства скважин 1.2 Расчет дебита одиночной скважины 1.3 Расчет коэффициента продуктивности скважины 1.4 Оценка применимости закона Дарси 1.5 Расчет давления на различных расстояниях от скважины 1.6 Расчет условного времени отбора нефти 1.7 Расчет изменения дебита скважины, расположенной в центре пласта (пласт разрабатывается двумя скважинами) 1.8 Расчет дебита скважины (пласт разрабатывается пятью скважинами) 1.9 Расчет дебита кольцевой батареи скважин 1.10 Расчет изменения распределения давления и дебита одиночной скважины 1.11 Расчет положения фронта водонасыщенности. 2.1 Расчет упругого запаса нефти в пласте 2.2 Расчет изменения дебита после пуска скважины в эксплуатацию 2.3 Расчет давления на забое после остановки скважины

5. Перечень графического материала: 1. Схемы расположения скважин в пласте 2. Схемы расположения группы скважин в пласте 3. Индикаторные диаграммы скважин 4. График изменения дебита скважины при смещении ее от центра кругового пласта 5. Графики депрессий в призабойной зоне скважин 6. Зависимость дебита скважины от времени разработки пласта

6. Консультанты по работе _____

7. Дата выдачи задания «_____» _____

8. Календарный график работы над работой на весь период проектирования _____

Руководитель _____
(подпись)

Задание принял к исполнению _____
(дата и подпись студента)

ЛИТЕРАТУРА

1. Басниев, К. С. Подземная гидромеханика : учебник для вузов / К. С. Басниев, И. Н. Кочина, В. М. Максимов. – М. : Недра, 1993. – 416 с. : ил.
2. Басниев К. С. Нефтегазовая гидромеханика: учебное пособие для вузов / К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Г. Д. Розенберг. – М.–Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2005. – 544 с.
3. Борхович, С. Ю. Подземная гидромеханика: учеб.-метод. пособие / С. Ю. Борхович. – Ижевск : Удм. гос. ун-т, 2005. – 59 с.
4. Итенберг, С. С. Геофизические исследования в скважинах / С. С. Итенберг, Т. Д. Дахкильгов. – М. : Недра, 1982. – 351 с.
5. Куштанова, Г. Г. Подземная гидромеханика : учеб.-метод. пособие для магистрантов физ. фак. по направлению «Радиофизические методы по областям применения» / Г. Г. Куштанова, М. Н. Овчинников. – Казань : изд-во Казан- федер- ун-та, 2010.– 67 с.
6. Михневич А. В. Подземная гидромеханика : практикум к занятиям по одноименному курсу для студентов специальности Т. 20.02.03 / А. В. Михневич, Б. П. Минеев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2004. – 59 с.
7. Моделирование гидродинамического несовершенства скважин / А. А. Мордвинов [и др]. // Сб. науч. тр. материалы науч.-техн. конф., Ухта, 2001 г. – Ухта: УГТУ, 2002. – С. 10–14.
8. Муфазалов, Р. Ш. Скин-фактор и его значение для оценки состояния околоскважинного пространства продуктивного пласта / Р. Ш. Муфазалов // Разведка. – № 9. – С. 18–36.
9. Ольховская, В. А. Подземная гидромеханика / В. А. Ольховская. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2004. – 148 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Общие требования к курсовой работе.....	5
1.1. Задачи курсовой работы.....	5
1.2. Общие положения.....	5
1.3. Требования к структуре и содержанию пояснительной записки...	6
2. Требования к оформлению пояснительной записки.....	9
3. Последовательность разработки и защиты курсовой работы.....	11
4. Теоретическая часть курсовой работы.....	14
5. Практическая часть курсовой работы.....	17
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	27
ЛИТЕРАТУРА.....	30

**Атвиновская Татьяна Владимировна
Колодко Виктория Александровна**

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОМЕХАНИКА

**Учебно-методическое пособие
по выполнению курсовой работы
для студентов специальности 1-51 02 02
«Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 19.03.24.

Пер. № 79Е.
<http://www.gstu.by>