

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова»

**А.Н. Вихарев, И.И. Долгова**

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ПОДЗЕМНОЙ ГИДРАВЛИКЕ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB**

*Учебное пособие для вузов*

Архангельск  
САФУ  
2017

УДК [622:532](075)  
ББК [33.25:22.253]я73  
В 548

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом  
Северного (Арктического) федерального университета  
имени М.В. Ломоносова

*Рецензенты:*

*Л.Н. Иконникова*, доцент кафедры бурения скважин, разработки нефтяных  
и газовых месторождений, кандидат технических наук;  
*И.И. Василюшин*, заведующий кафедрой информатики и информационной  
безопасности, кандидат технических наук, доцент

**Вихарев, А.Н.**

В 548      Решение задач по подземной гидравлике с использованием  
Matlab: учебное пособие для вузов / А.Н. Вихарев, И.И. Долгова;  
Сев. (Арктич.) федер. ун-т. – Архангельск: САФУ, 2017. – 158 с.  
ISBN 978-5-261-01266-5

Приведены необходимые теоретические положения и расчетные зависимости для решения прикладных задач по подземной гидравлике. Рассмотрены методики расчета одномерных фильтрационных потоков жидкости и газа, фильтрация в неоднородных пластах, плоские фильтрационные потоки, приток жидкости к совершенным и несовершенным скважинам, группе скважин. Показано использование Matlab для решения задач, построения депрессионных поверхностей, гидродинамических полей.

Даны примеры расчетов параметров фильтрационных потоков и задачи для самостоятельного решения.

Предназначены для студентов специальностей 21.03.01 «Нефтегазовое дело», 21.05.02 «Прикладная геология» дневной и заочной форм обучения.

УДК [622:532](075)  
ББК [33.25:22.253]я73

ISBN 978-5-261-01266-5

© Вихарев А.Н., Долгова И.И., 2017

© Северный (Арктический) федеральный  
университет им. И.В. Ломоносова, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
1. Общие сведения о фильтрации .....	7
1.1. Пористая среда и ее фильтрационные характеристики .....	7
1.2. Скорость фильтрации. Линейный закон фильтрации (закон Дарси) .....	14
1.3. Нелинейные законы фильтрации .....	17
1.4. Зависимость параметров флюидов и пористой среды от давления .....	19
2. Одномерные установившиеся фильтрационные потоки несжимаемой жидкости и газа в однородных пластах .....	24
2.1. Прямолинейно-параллельный фильтрационный поток несжимаемой жидкости .....	24
2.2. Плоскорадиальный фильтрационный поток несжимаемой жидкости.....	28
2.3. Радиально-сферический фильтрационный поток несжимаемой жидкости .....	30
2.4. Аналогия между фильтрацией жидкости и газа.....	33
2.5. Прямолинейно-параллельный фильтрационный поток совершенного газа .....	34
2.6. Плоскорадиальный фильтрационный поток совершенного газа.....	37
2.7. Радиально-сферический фильтрационный поток совершенного газа .....	38
3. Фильтрационные потоки несжимаемой жидкости в неоднородных пластах .....	41
3.1. Прямолинейно-параллельный поток несжимаемой жидкости .....	42
3.2. Плоскорадиальный поток несжимаемой жидкости .....	47
3.3. Безнапорные потоки жидкости .....	49
3.4. Плоскорадиальный фильтрационный поток при нелинейных законах фильтрации.....	53
4. Приток жидкости к несовершенным скважинам .....	62
5. Плоские установившиеся фильтрационные потоки несжимаемой жидкости .....	72
5.1. Общие сведения о потенциальном движении жидкости .....	72
5.2. Приток жидкости к скважине в пласте с прямолинейным контуром питания .....	77

5.3. Приток жидкости к скважине, эксцентрично расположенной в круговом пласте .....	82
5.4. Приток жидкости к скважине, расположенной вблизи непроницаемой прямолинейной границы .....	86
5.5. Приток жидкости к бесконечной цепочке скважин .....	93
5.6. Приток жидкости к группе скважин в пласте с удаленным контуром питания .....	97
5.7. Приток жидкости к кольцевой батарее скважин .....	99
6. Неустановившееся движение жидкости и газа в упругом пласте .....	106
6.1. Подсчет упругого запаса жидкости в пласте .....	107
6.2. Прямолинейно-параллельный фильтрационный поток упругой жидкости .....	108
6.3. Плоскорадиальный фильтрационный поток упругой жидкости .....	112
6.4. Метод последовательной смены стационарных состояний (ПССС) .....	113
6.5. Интерференция скважин в условиях упругого режима .....	115
7. Взаимное вытеснение жидкостей и газов .....	122
7.1. Прямолинейно-параллельное вытеснение нефти водой .....	122
7.2. Плоскорадиальное вытеснение нефти водой .....	125
7.3. Устойчивость движения границы раздела .....	127
Задачи .....	133
Библиографический список .....	158

---

## ВВЕДЕНИЕ

Подземная гидравлика в отличие от гидромеханики рассматривает не движение жидкостей и газов вообще, а особый вид их движения – фильтрацию. Подземная гидравлика является теоретической основой разработки нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений.

Начало развитию подземной гидравлики было положено французским инженером А. Дарси, который в 1856 г. экспериментально и теоретически обосновал линейный закон фильтрации. Значительный вклад в развитие подземной гидравлики был сделан Ч.Слихтером. Он рассмотрел модели идеального и фиктивного грунта и показал, что пористость фиктивного грунта зависит не от диаметра частиц, а от плотности их укладки.

В конце XIX в. Н.Е. Жуковский опубликовал работу «Теоретическое исследование о движении подпочвенных вод», в которой привел дифференциальные уравнения фильтрации и показал, что напор как функция координат удовлетворяет уравнению Лапласа. Н.Н. Павловский развил теорию фильтрации в гидротехническом направлении.

Бурное развитие подземная гидравлика получила в начале XX в. Основателем этого направления в России был Л.С. Лейбензон. В 1934 г. он опубликовал первую в мире монографию «Нефтепромысловая механика», им проведены исследования по проблеме вытеснения газированной жидкости, созданы основы теории фильтрации природных газов.

В последнее время под влиянием новых задач, выдвигаемых практикой разработки нефтяных и газовых месторождений, подземная гидромеханика получает дальнейшее развитие. Интенсивно развиваются: теория многофазовой многокомпонентной фильтрации флюидов в деформируемых неоднородных пластах; физико-химическая гидродинамика новых методов извлечения нефти и газа из недр; подземная гидродинамика неньютоновских жидкостей; подземная гидротермодинамика и др. направления.

Существует довольно много специализированных программных продуктов для выполнения расчетов, связанных с разработкой нефтяных и газовых месторождений. Но в них скрыты алгоритмы решения, что затрудняет понимание студентами физической сущности происходящих процессов. В учебном пособии рассматривается использование системы Matlab. Пользователь Matlab имеет возможность самостоятельно разрабатывать программы, создавать свои пакеты расширений, библиотеки процедур и функций.

Эффективность Matlab связана с использованием матричного вычисления, упрощенного задания циклов, средствами работы с многомерными массивами, многими типами данных. Matlab имеет мощные средства графики и комплексной визуализации вычислений.

Учебное пособие рассчитано на студентов, владеющих основами пользования Matlab.