

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ  
ПОНИЖЕНИЕМ НАПОРА НА БАТАРЕЕ СКВАЖИН ПРИ ПОДДЕРЖКЕ  
ПОСТОЯННЫХ НАПОРОВ СВЕРХУ И СНИЗУ ПЛАСТА**

К.Р. Кодиров

Доцент университета шёлкового пути и инновации  
[qahramon@rambler.ru](mailto:qahramon@rambler.ru)

**Аннотация**

Разработан эффективные вычислительные алгоритмы для определения и прогнозирования изменений основных параметров процесса движения подземных вод в пластовых системах с учетом понижения напоров на управляемой батарее скважин.

**Ключевые слова:** математическая модел, аналитическое решение, численный алгоритм, вычислительных алгоритм, пластовая фильтрация, батарее скважин, пористая среда, геофильтрация.

**Introduction**

Совершенствованием методов математического моделирования геофильтрационных процессов при решении таких задач, как оценка ресурсов подземных вод, состояния гидрогеологических мелиоративных систем, а также задач геофильтрации подземных вод в многослойных пористых средах занимались многие выдающиеся ученые. Основы науки о движении подземных вод (гидрогеологии) связаны с именами А. Дарси, Ж. Дюпюи, Н.Е. Журковского, Ф. Форхгеймера и др. Большую роль в разработке математических методов с интенсивным развитием теории и практики движения подземных вод сыграли также труды Ф.Б. Абуталиева, П.Я. Полубариновой-Кочиной, М.Б.Баклушина, В.И. Аравиной, С.Н. Нумеровой, Г.Н. Каменского, А.И. Силина-Бекчурина, П.П. Климентова, Г.Б. Пыхачева, В.А. Мироненко, И.К. Гавича и др. [2,4,5,6]

В Узбекистане в области разработки математических моделей геофильтрационных процессов и численных алгоритмов решения задач можно отметить труды таких видных узбекских ученых как Н.И. Ходжибаев, У.У. Умарова, И. Хабибуллаев, Р.Н. Усманов, Ж.С. Сидикова, Н. Равшанов, Ж. Джуманов и многих других, которые в частности, активно исследовали гидродинамическое состояние территорий, прилегающих к акватории Аральского моря, выполняли расчеты эксплуатационных запасов подземных вод.

Создание математической модели процессов геофильтрации подземных вод в многослойных пористых средах зависит от классификации массива горных пород в гидросфере региона, водоудерживающих свойств, физико-механических свойств и степени непрерывности. В связи с этим, недостаточно представлено достигнутые на настоящий момент результаты по исследованию уровня и состояния для принятия решений [1].

Разработанное программное обеспечение «ZPV-monitor» позволяет осуществлять мониторинг и прогнозирование процессов движения подземных вод в пластовых системах, а также обеспечивает поддержку принятия решений по защите подземных вод от источников загрязнения [7,8].

Ниже приведены примеры результатов вычисления скорости фильтрации при заданных входных данных (рис. 1.1 - 1.4).

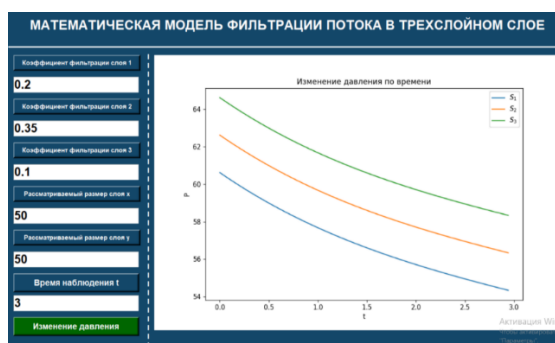


Рис. 1.1. Определение понижения напоров на галерее скважин при  $S_1=0.2$ ,  $S_2=0.33$ ,  $S_3=0.1$ ,  $x=50$ ,  $y=50$ ,  $t=3$ .



Рис. 1.2. Определение понижения напоров на галерее скважин при  $S_1=0.31$ ,  $S_2=0.34$ ,  $S_3=0.21$ ,  $x=125$ ,  $y=125$ ,  $t=12$ .

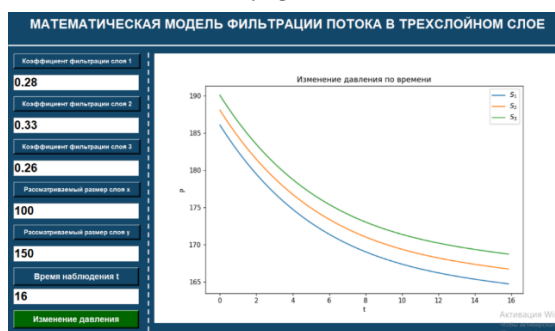


Рис. 1.3. Определение понижения напоров на галерее скважин при  $S_1=0.28$ ,  $S_2=0.33$ ,  $S_3=0.26$ ,  $x=100$ ,  $y=150$ ,  $t=16$ .



Рис. 1.4. Определение понижения напоров на галерее скважин при  $S_1=0.21$ ,  $S_2=0.33$ ,  $S_3=0.24$ ,  $x=150$ ,  $y=250$ ,  $t=20$ .

Для определения и прогнозирования основных параметров рассматриваемого процесса с учетом понижения напоров на управляемой батарее скважин были проведены вычислительные эксперименты на основе разработанного программного обеспечения проведена серия вычислительных экспериментов (рис. 1.5 - 1.8).

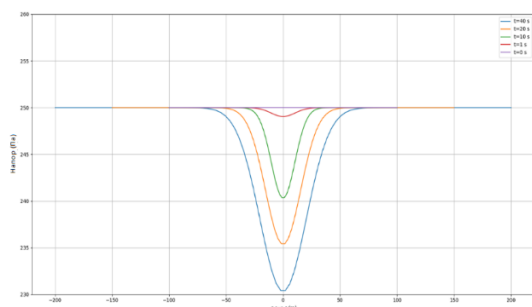


Рис. 1.5. Изменения напоров в пластах по длине фильтрационных слоёв без учёта упругого режима при  $S_1=0,31$ ,  $S_2=0,34$ ,  $S_3=0,21$ ,  $x=125$ ,  $y=125$ ,  $t=40$

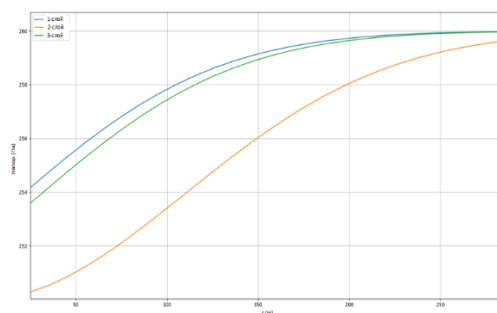


Рис. 1.6. Изменение напора в верхнем фильтрационном слое без учёта упругого режима.

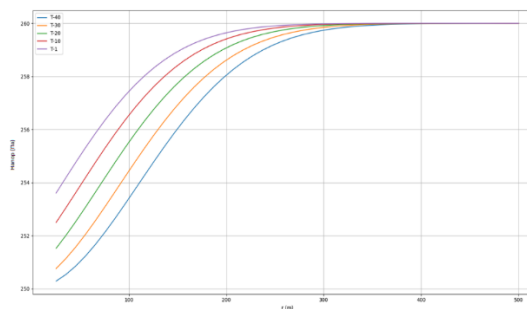


Рис. 1.7. Изменения напоров по времени в верхнем и нижнем фильтрационных слоях без учёта упругого режима.

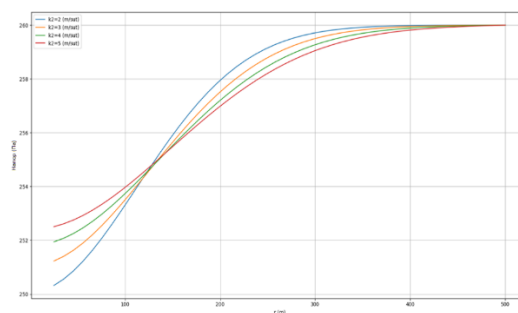


Рис. 1.8. Изменения напоров по времени в верхнем и нижнем фильтрационных слоях без учёта упругого режима.

Анализ проведенных расчетов показал, что переток жидкостей через границу раздела фильтрационных слоев существенно зависит от проводимости соответственно верхнего и нижнего хорошо проницаемых слоев, коэффициента пьезопроводности хорошо проницаемых слоев, а также от коэффициентов фильтрации и пьезопроводности слабопроницаемого слоя.

С помощью разработанного программного комплекса «ZPV-monitor» была проведена серия вычислительных экспериментов по определению и прогнозированию основных параметров процесса движения подземных вод в пластовых системах с учетом понижения напоров на управляемой батарее скважин.

Результаты численных расчетов задач позволили установить степень влияния упругого режима фильтрации в слабопроницаемом слое на перетекание в соседних пластах.

Разработанное математическое и программное обеспечение было внедрено для практического применения на объектах хозяйствующих субъектов Республики Узбекистан.

---

**Список литературы**

1. Абуталиев Ф.Б., Баклушин М.Б. Применение теоремы Миттага-Лефлера к решению задач теории перетекания в слоистых средах // Изв. АН УзССР. Сер. техн. наук. – 1987. – №1. – С. 50-56.
2. Антонцев С.Н., Капранов Ю.И., Кашеваров А.А., Рыбакова С.Т., Эмих В.Н. Математические модели фильтрации в почвогрунтах. В сб.: Проблемы теории фильтрации. – М.: Наука, 1987, с. 5-15.
3. Баклушин М.Б., Кодиров К.Р. Способ управления напором галерей скважин при нахождении уровня подземных вод со свободной поверхностью // Проблемы информатики и энергетики. – 2009. – №1. – С. 31-35.
4. Бочевер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов. М.: Недра, 1969, 368 с.
5. Кашеваров А.А. Численное моделирование взаимосвязи напорной фильтрации и поверхностного стока. В сб.: Вычислительная и прикладная гидродинамика (Динамика сплошной среды). / Ин-т гидродинамики СО РАН, Новосибирск, 1996, вып. 111, с. 40-48.
6. Полубариново-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. – М.: Наука, 1977. – 664 с.
7. Равшанов Н., Кодиров К.Р. Моделирование процесса фильтрации потока подземных вод в хорошо проницаемом слое // Роль современных информационных коммуникационных технологий в повышении эффективности образования и научных исследований: материалы респ. науч.-практ. конф. – Карши, 2017. – С. 117-120.
8. Равшанов Н., Кодиров К., Муродиллоева З.Х. Численное моделирование процесса фильтрации подземных вод во взаимодействующих слоистых пористых средах // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2023. – №6/1(54). – С. 98-113.