

Первоначальный расчет сделан по формуле $T=130q$,

где q – удельный дебит, л/с.

Последующие расчёты проведены в программе Excel методом Джейкоба, после чего работа проводилась в программном комплексе ANSDIMAT, который предназначен для обработки данных опытно-фильтрационных опробований различными методами практически по всем распространенным в гидрогеологической практике типовым схемам. ANSDIMAT позволяет определить такие параметры пласта как коэффициент фильтрации (k), коэффициент водопроницаемости пласта (T), коэффициент уровне- и пьезопроводности (a и a^*) и другие.

Для обработки и построения графиков понижения использовался метод Джейкоба, способ временного прослеживания. Оценка параметров по восстановлению уровня производилась методом Хорнера.

Полученные результаты сведены в единую таблицу (табл.1).

Таблица 1

Результаты обработки опытно-фильтрационных работ различными методами.

Метод расчетов	ANSDIMAT		Excel "Метод Джейкоба"	T=130q	Формула Дюпюи
	Временное прослеживание	Метод Хорнера			
Т, м ² /сут	0,299	0,73	1,48	78	5,82
a*, м ² /сут	1,09	1,38	1,96		

Анализ результатов расчетов позволил сделать следующие выводы:

1. Значения k -та водопроницаемости, полученные в программном комплексе ANSDIMAT, в программе Excel и по формуле Дюпюи, близки. В качестве конечного рекомендуется использовать осредненное значение или значение, полученное при обработке в ANSDIMAT, поскольку это сокращает временные и трудовые затраты, особенно при большом количестве опытно-фильтрационных работ.

2. Прикидочные расчеты, полученные по формуле $T=130q$, не следует использовать при обработке кратковременных опытов, во время которых не достигнута стабилизация уровня режима.

3. Коэффициент пьезопроводности составил 1,24 м²/сут. При рекомендуемом значении 10⁵ м²/сут [2], как и отмечается многими исследователями [3], по кратковременной пробной откачке определить невозможно, поскольку эта характеристика скорости распространения воронки депрессии, которая не успевает сформироваться за время проведения откачки.

Литература

1. Аузина Л.И., А.Ю. Чернов динамика подземных вод Иркутск 2004г.
2. Бочеввер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчётов Недр, Москва, 1965 г.
3. Бочеввер Ф.М. Гидрогеологические расчеты крупных водозаборов подземных вод и водопонижительных установок, государственное издательство литературы по строительству, Москва, 1963 г.
4. Соколов А.А. Глава 23. Восточная Сибирь // Гидрография, СССР, 1954 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ДЕПРЕССИОННЫХ КРИВЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИМ РЕШЕНИЕМ И МЕТОДАМИ ФИЗИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**К.В. Белов, Н.С. Горбатенко, А.Д. Пономарев
Научный руководитель доцент К.В. Белов**

**Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва, Россия**

При решении народно-хозяйственных проблем, связанных с подземными и поверхностными водами широко применяются методы моделирования. Под гидрогеологическим моделированием понимают искусственное воспроизведение на различных моделях процессов фильтрации подземных вод и связанных с ними явлений, для эффективного решения различных гидрогеологических задач [1, 2, 3, 7]. Среди способов моделирования наиболее известными являются моделирование на фильтрационных лотках (физическое моделирование) [2, 4, 5], математическое моделирование методом электрогидродинамической аналогии (ЭГДА) [1, 2] и численное компьютерное моделирование [7]. Целью работы является сопоставление депрессионных кривых, полученных аналитическим решением и методами физического и математического моделирования (ЭГДА).

Фильтрационный лоток (ФЛ) впервые сконструирован Ф. Форхгеймером в 1898 году. Авторами настоящей работы сконструирован лоток длиной 1,2 м, высотой 0,6 м и шириной 0,2 м. Лоток имеет три отсека, разделенных мелкоячеистой металлической сеткой. Два крайних отсека (длина каждого 0,1 метра) служат для задания граничных условий. В центральный отсек (длиной один метр) засыпан речной песок. В передней стенке лотка установлены пьезометры для измерения напора по пути движения потока воды (55 штук). Пьезометры представляют собой прозрачные трубки из ПВХ диаметром 5 мм. Крайние ряды пьезометров установлены практически на границе с сеткой (в 4 см от нее).

На ФЛ моделировался междуречный массив без инфильтрационного питания с совершенными врезами рек. Уровень воды в крайнем левом отсеке поддерживался постоянным на отметке 0,41 м, на правой границе уровень задавался на отметках 0,35, 0,30 и 0,25 м соответственно. Показания напоров снимались спустя один час после начала опыта.

Для построения теоретической депрессионной кривой использовалось уравнение Дюпюи [4, 5]. В основу его положены следующие предпосылки: 1) водоносный горизонт безнапорный; 2) водоупор (основание лотка) горизонтально; 3) инфильтрационное питание отсутствует; 4) водоносные породы (засыпка) однородны по фильтрационным свойствам. Уровень воды H , расположенный на расстоянии a от правой границы между двумя известными уровнями (H_1 и H_2 , соответственно уровень на левой и правой границах, L - расстояние между ними) находится по уравнению Дюпюи:

$$H = \sqrt{\frac{a \cdot (H_1^2 - H_2^2)}{L}} + H_2 \quad (1)$$

В 70-ых годах получил широкое распространение метод электрогидродинамической аналогии (ЭГДА), основанный на физическом подобии законов Ома и Дарси. Этот метод предложен академиком Н.Н. Павловским для исследования фильтрации подземных вод (ПВ) под гидротехническими сооружениями в 1918 году [1, 2, 3, 4, 5].

Дифференциальные уравнения, описывающие закон фильтрации и закон Ома выглядят следующим образом:

$$\frac{d^2 H}{dx^2} + \frac{d^2 H}{dy^2} = 0 \text{ - закон фильтрации; } \frac{d^2 u}{dx^2} + \frac{d^2 u}{dy^2} = 0 \text{ - закон Ома (H - напор, м, U- напряжение, В).}$$

Как видно, уравнения, выражающие закон Дарси и закон Ома, аналогичны.

Исследуя процесс фильтрации воды на фильтрационном лотке, зафиксированы следующие значения напоров (Таблица 1).

Таблица 1

Фактические показания пьезометров

	Величина напора, см											H, см
	40,4	39,8	39,2	38,7	38,1	37,7	37,1	36,6	36,4	35,7	35,2	
H=41 см	40,3	39,8	39,2	38,8	38,1	37,7	37,3	36,6	36,4	35,7	35,2	35
	40,2	39,8	39,2	38,7	38,1	37,7	37,2	36,7	36,4	35,8	35,2	
	41,0	39,4	38,7	37,5	36,4	35,9	34,5	33,3	32,5	31,2	30,3	30
41,0	39,5	38,7	37,5	36,4	35,8	34,4	33,3	32,4	31,0	30,3		
40,5	39,5	38,7	37,5	36,4	35,5	34,3	33,0	32,0	31,0	30,0		
25	39,8	38,7	37,2	36,1	35,0	33,6	32,2	30,8	29,2	-	-	25
	39,7	38,9	37,2	36,3	35,0	33,6	32,2	30,8	29,1	27,3	26,0	
	39,6	40,0	37,2	36,2	35,0	33,6	32,0	30,8	29,1	27,2	26,0	
	длина пути фильтрации, см											
0	4	10	20	30	40	50	60	70	80	90	96	100

По формуле (1) рассчитаны теоретические уровни. Результаты расчета представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Теоретические уровни депрессионной кривой, вычисленные по формуле (1)

H, см	Значения уровней, м											H, см
	0,41	0,40	0,40	0,39	0,39	0,38	0,38	0,37	0,36	0,36	0,35	
41	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,31	35
	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,31	30
	0,40	0,40	0,38	0,37	0,35	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,26	25
	Длина пути фильтрации (L), см											
0	4	10	20	30	40	50	60	70	80	90	96	100

Методом ЭГДА решалась профильная задача по нахождению депрессионной кривой и нахождению линий равного напора. Для решения задачи в масштабе на электропроводной бумаге вырезалась модель лотка и задавались граничные условия (уровни). Затем, по методике изложенной в [1], подбирались депрессионная кривая. В результате решения задачи авторами работы получено три модели (для уровней на правой границе 0,35, 0,30 и 0,25 м). Так как модель представляет собой вырезанный фрагмент электропроводной бумаги без численных значений уровня, эти фрагменты были отсканированы и затем оцифрованы. Результаты решения задачи по нахождению депрессионной кривой методом ЭГДА представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Значения уровней, полученные в результате решения задачи методом ЭГДА

Н, см	Значения уровней, м											Н, см
	41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	
0,41		0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	30
0,41		0,40	0,39	0,37	0,36	0,34	0,33	0,32	0,30	0,28	0,27	25
Длина пути фильтрации (L), см												
0	4	10	20	30	40	50	60	70	80	90	96	100

Для анализа формы фактической депрессионной кривой использовались показания верхних пьезометров (в таблице 1 выделены жирным шрифтом).

Анализируя результаты работы можно сделать следующие выводы.

1. При исследовании фильтрации на лотке ниже расположенные пьезометры практически всегда фиксируют более низкие уровни, чем верхние (Таблица 1). При незначительном перепаде разница в показаниях нижнего и верхнего пьезометров практически нет. Этот факт согласуется с теоретическим положением: чем больше угол наклона депрессионной кривой, тем больше линии равных напоров не соответствуют вертикальным сечениям.

2. При решении задачи на фильтрационном лотке построить «правильную» гидродинамическую сетку по показаниям пьезометров не представляется возможным. Некоторые пьезометры имеют погрешность в измерениях около 1-2 мм. Эта погрешность связана с техническими особенностями лотка. Для правильного построения необходима корректировка значений.

3. Анализируя данные в таблицах 1, 2 и 3 можно отметить высокую сходимость результатов (ошибка до 1 см). Однако уровни, построенные по результатам решения по методу ЭГДА, всегда находится несколько выше вычисленных теоретических, а фактические кривые, зафиксированные на фильтрационном лотке, находятся либо ниже, либо совпадают с ними.

4. При решении задачи на фильтрационном лотке при максимальном напорном градиенте возрастают отклонения от теоретического распределения. Это может быть связано как с техническими особенностями, так и с зоной капиллярной каймы, мощность которой, в таком случае, становится также максимальной.

Литература

1. Вевиоровская М.А., Кравченко И.П., Румянцев С.А. Метод гидравлических аналогий В.С. Лукьянова и метод электрогидродинамических аналогий Н.Н. Павловского применительно к фильтрационным расчетам. Москва, Издательство Московского Университета, 1962.
2. Жернов И.Е., Павловец И.Н. Моделирование фильтрационных процессов. Киев, «Виша школа», 1976.
3. Жернов И.Е., Шестаков В.М. Моделирование фильтрации подземных вод, Москва, «Недра», 1971.
4. Каменский Г.Н. Основы динамики подземных вод. Часть 2 (Теория движения подземных вод в водоносных пластах), Москва-Ленинград, Научно техническое издательство НКТП СССР Главная редакция геологоразведочной и геодезической литературы, 1935.
5. Каменский Г.Н. Основы динамики подземных вод. Второе переработанное и дополненное издание. Государственное издательство геологической литературы комитета по делам геологии при СНК СССР., Москва, 1943.
6. Климентов П.П. Сборник задач по динамике подземных вод, Москва, Государственное издательство геологической литературы, 1951.
7. Лукнер Л. , Шестаков В. М. Моделирование геофильтрации, Москва, «Недра», 1976.