

$$= 100 \sqrt{30 \frac{10}{200}} \sqrt{\frac{1}{-0,9+4,4}} \approx 65 \text{ м.}$$

Сравнительно большое расстояние между дренами объясняется хорошими фильтрационными свойствами подстилающих торф песков и существенным ухудшением водного режима трав только при больших расстояниях между дренами (ущерб возникает только при $B > 57$ м, рис. 2,б). Несмотря на сложные выражения для вычисления модулей дренажного стока, времени понижения УГВ (от расстояния между дренами), стоимостные зависимости оказываются достаточно простыми, а поэтому и расчетные формулы (4) и (5) также простые.

Л и т е р а т у р а

1. Шебеко В.Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий. Минск, 1970. 2. Чочков Б. Экономически наивыгоднейшее расстояние между дренажными линиями. — Гидротехника и мелиорация, 1966, № 9. 3. Канцибер Ю.А. Вопросы обоснования воднобалансовой методики расчета инфильтрационного притока воды к осушителям. Автореф. канд. дис. Минск, 1975. 4. Минаев И.В. Техничко-экономический расчет параметров вертикального дренажа методом аппроксимации. — В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. Вып. 2. Минск, 1972. 5. Аверьянов С.Ф. Расчет понижения и подъема грунтовых вод при осушении системой каналов (дрен). — Гидротехника и мелиорация, 1957, № 12,

УДК 556.3.01

М.О. Чабан, З.Г. Эльяшевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПЛАСТА НА РАСХОД ПОТОКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОМОДЕЛИРОВАНИЯ

Проведение достоверных количественных оценок в динамике подземных вод вызывает большие трудности, что связано с чрезвычайной сложностью геолого-гидрогеологических условий. Ошибки и несоответствия возникают как под влиянием невыявленных при изысканиях факторов, так и вследствие схематизации исходных гидрогеологических материалов при построении расчетных моделей. Величина ошибки зависит от сложности

природных условий, применяемых расчетных методов, опытности специалиста и может достигать 500% и более. В связи с этим вопросы достоверности результатов фильтрационных расчетов, проводимых при изысканиях, проектировании и эксплуатации объектов, связанных с подземными водами, приобретают большое значение.

Задача гидрогеологической схематизации состоит в выявлении основных свойств водоносного горизонта и главных факторов, воздействующих на поток подземных вод в данных природных условиях. Итогом схематизации является гидродинамическая модель, которая реализуется с помощью расчетной схемы (для аналитических или приближенных расчетов) или же методом аналогий (гидравлическая, электрическая и другие модели). Как расчеты, так и моделирование с помощью материальных моделей основано на аналогии дифференциальных уравнений и краевых задач, которые в первом случае решаются точными или приближенными методами, а во-втором исследуются на модели.

Математически задача заключается в исследовании пределов устойчивости решения краевых задач теории фильтрации относительно колебаний начальных условий процесса, границ и условий на них, свойств области фильтрации, добавления дополнительных и отбрасывания существующих границ и условий [1].

Исследовать величину допустимых колебаний можно с помощью анализа и сравнения имеющихся решений краевых задач. Более широко применимым и конструктивным является метод электрического моделирования, который позволяет рассмотреть более сложные условия. Наибольший интерес для инженерной практики представляет исследование неоднородностей пласта, так как допустимые при схематизации ошибки получаются в основном из-за неучета этих неоднородностей.

Методика исследования соответствия выбранной расчетной схемы реальным природным условиям заключается в анализе влияния различных нарушений расчетной схемы (неоднородностей пласта) на точность определения параметров пласта и потока подземных вод. Для этого строится электрическая модель, соответствующая выбранной расчетной схеме, на ней измеряются искомые параметры, а затем задаются отклонения от исходных условий расчетной схемы (рис. 1). Проводимые измерения показывают величину влияния вносимых нарушений первоначальной модели.

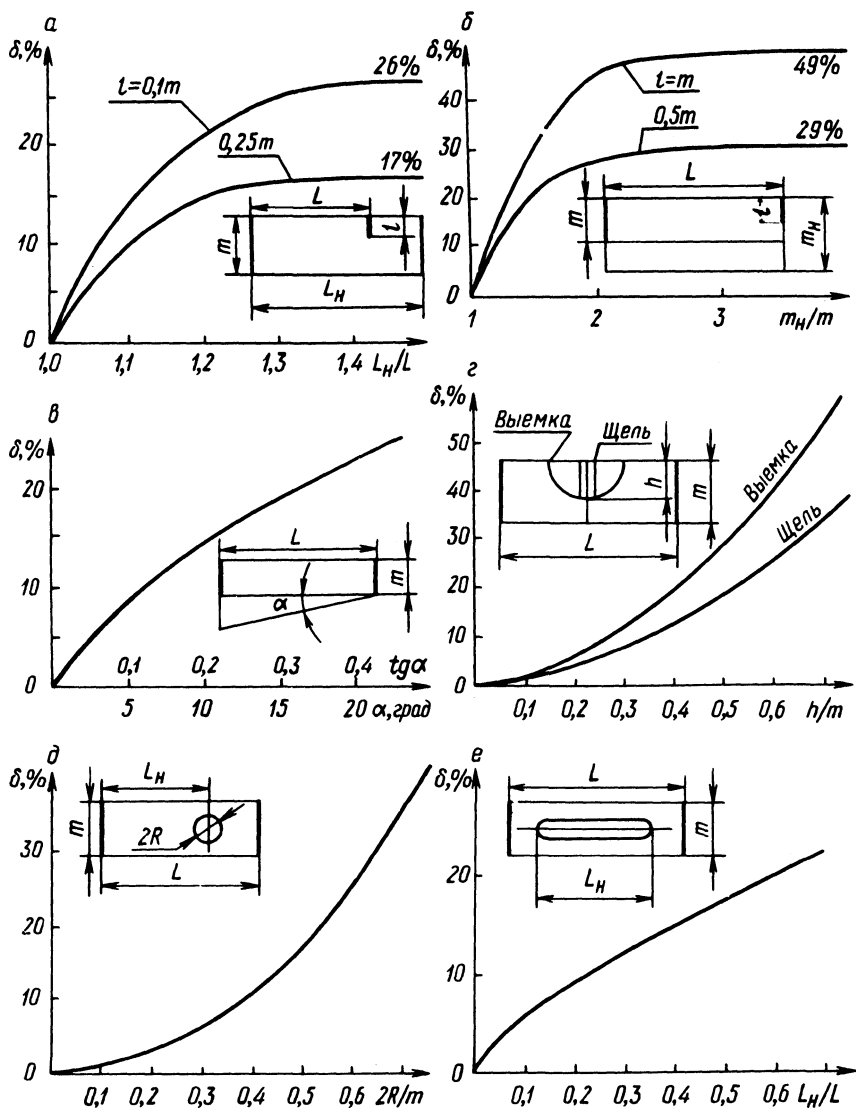


Рис. 1. Графики оценки величины влияния неоднородностей пласта: а, б – неограниченность по простиранию и мощности; в – угол наклона водоупора; г – неоднородные включения, небольшие по длине, примыкающие к кровле или подошве пласта; д – небольшие неоднородные включения внутри пласта; е – неоднородные включения, протяженные в плане.

Недостатком метода электро моделирования является ошибка, возможная при построении модели из-за материала модели и неточности задания необходимых параметров и при измерении из-за погрешностей приборов. Методика анализа влияния неоднородностей пласта с помощью электрического моделирования предусматривала сведение перечисленных ошибок к минимуму. Для этого опыты проводились на одной и той же модели одновременно, результаты вычислялись в относительных величинах (что позволило значительно уменьшить влияние материала модели и задания исходных параметров), применялись приборы высокой точности, погрешность которых на несколько порядков ниже изменяемых величин и погрешностей схематизации. Кроме того, опыты дублировались на моделях с различными свойствами, проводились контрольные опыты. В качестве моделей использовалась электропроводная бумага разных номиналов, измерения проводились на интеграторе конструкции ЦНИИКИВР с выдачей результатов на цифровой вольтметр или же на цифropечатающее устройство.

Проведена оценка влияния неоднородностей пласта на расход потока подземных вод с помощью формулы для относительной погрешности

$$\delta = \frac{Q - Q_n}{Q} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где Q — расход потока без учета неоднородности пласта, соответствующий простой расчетной схеме; Q_n — расход в сложных условиях с учетом неоднородности — нарушения расчетной схемы. Формула (1) удобна тем, что позволяет выявить величину погрешности в процентах, а также при относительной погрешности значительно упрощается процесс перевода данных моделирования в натуру. Поскольку масштаб расходов входит и в числитель и в знаменатель, его можно сократить и в итоге относительная погрешность расходов равна относительной погрешности токов.

На моделях исследовалось влияние следующих факторов: ограниченности пласта по простиранию и мощности, в том числе и гидродинамическое несовершенство источников, наклон водоупора, неоднородное включение различной формы и расположения.

Результаты обработки данных электро моделирования показаны на рис. 1. Графики позволяют количественно оценивать величину погрешности, допускаемой при отбрасывании различ-

ных факторов, влияющих на поток подземных вод (L , m — расчетные длина и мощность пласта, неизменные в течение опыта; L_H , m_H , α , h , $2R$ — изменяемые в процессе опыта параметры, влияние которых исследуется).

На рис. 1,а показано влияние неограниченности пласта по простиранию (L — расстояние между источниками (расчетная длина пласта); L_H — реальная длина пласта). Очевидно, что увеличение L_H после некоторого предела незначительно влияет на поток подземных вод. На рис. 1 показаны два случая несовершенства источника (река, канал, водохранилище, водозабор и пр.) глубиной $l = 0,1$ м и $l = 0,25$ м. Если степень несовершенства вреза источника $\frac{l}{m} \geq 0,25$, то практически можно ограничиться рассмотрением только внутренней (между источниками) части пласта (погрешность не превышает 17% при любом простирании пласта в плане).

На рис. 1,б оценивается влияние мощности пласта на приток к дрене, реке, каналу. Известно, что в пластах большой мощности в формировании потока подземных вод участвуют только верхние прилегающие к источникам слои.

Эксперимент подтверждает эту качественную сторону процесса и позволяет получить количественные критерии оценки величин вовлекаемой в движение зоны. Графики показывают, что в движении участвует только часть пласта, имеющая мощность $m_H = 0,1$ — $0,3$ м. Здесь m — принятая в расчете мощность пласта или глубина источника. Остальная нижняя часть пласта на расход подземного потока почти не влияет. По рис. 1 можно найти величину погрешности при отбрасывании в расчете части мощности, что приходится делать при расчете по формулам для совершенных источников или же в случае колебаний мощности пласта. Например, если действительная мощность в 1,2 раза больше принятой в расчете, то при $l = 0,5$ м погрешность определения притока будет около 12%. Рис. 1 позволяет проанализировать влияние несовершенства источников, а также различных отношений мощности пласта к его длине, что дает возможность в дальнейших опытах ограничиться только одним отношением $m/L = 3/7$.

На рис. 1,в показана погрешность, возникающая при неучете наклона водоупора, причем график применим как для анализа наклона подстилающего водоупора, так и перекрывающего или же кривой депрессии. Например, если угол наклона водо-

упора $\alpha \leq 5^\circ$ ($\operatorname{tg} \alpha \leq 0,08$), то водоупор можно считать горизонтальным с погрешностью менее 8%.

На рис. 1,г построен график оценки влияния погрешности, возникающей при наличии в однородном пласте неоднородных включений с резко отличающимися свойствами. Здесь рассмотрен крайний случай, когда неоднородное включение водонепроницаемо ($k = 0$). Тем более эти результаты применимы при $k \neq 0$. Эксперименты показали, что определяющим фактором является поперечный размер включения — часть перекрытого потока подземных вод. В опытах изменялась как величина включения, так и его расположение. На рис. 1, г неоднородное включение примыкает к кровле или подошве пласта, а на рис. 1,д находится внутри пласта. Сравнение графиков для щели и внутренней неоднородности показывает их очевидную близость, что говорит о слабом влиянии места расположения неоднородности (в средней части пласта) внутри или на границе пласта. Графики (рис.1,г,д) применимы для любого положения неоднородности по длине пласта в его средней части от 0,25 м до 0,75 м. При перемещении этой неоднородности в средней части пласта погрешность изменяется в пределах 2%.

На рис. 1,г одна кривая построена для шелевидного включения высотой h , вторая — для круглой выемки радиусом R . Очевидно, что при небольших величинах выемки погрешность близка к погрешности щели. При возрастании этой величины разница увеличивается, но остается меньше самой величины погрешности. Оценка величины протяженности неоднородности в плане приводится на рис. 1,е. Погрешность от такой неоднородности гораздо меньше, чем от перекрывающей поток.

Реальное неоднородное включение (например, линзу глин) можно свести к одному из рассмотренных типов: протяженное в плане, небольшое по длине, примыкающее к границе или расположенное внутри пласта — и затем по соответствующему графику оценить погрешность, получаемую при отбрасывании в расчетах влияния имеющейся неоднородности.

Таким образом, с помощью методов электромоделирования и разработанной методики проанализирована необходимость учета в фильтрационных расчетах различных факторов, влияющих на поток подземных вод. Построены графики, которые позволяют схематизировать природные условия с определением допусковой погрешности.

Если исследуется поток подземных вод между источниками в пласте неограниченном или достаточно большом по простиранию, в расчете следует учитывать только часть пласта, рав-

ную 1,3...1,4 расстояния между источниками. Особенно важен этот факт при моделировании. Для пласта большой мощности в расчетах следует учитывать только верхнюю, прилегающую к источникам зону мощностью 2,4 глубины источника.

При расчете в пластах с наклонными водоупорами углом наклона $\alpha = 3^\circ$ ($\operatorname{tg}\alpha = 0,05$) можно пренебречь с точностью 5%, при $\alpha \leq 7^\circ$ ($\operatorname{tg}\alpha \leq 0,12$) погрешность будет не более 10% и при определении притока к источнику в наклонном пласте, если $\alpha \leq 18^\circ$ ($\operatorname{tg}\alpha \leq 0,32$), пласт считают горизонтальным с погрешностью, не превышающей 20%.

Наличие в средней части пласта линз глины небольшой протяженности снижает расход потока на 5% при высоте линзы, равной 0,25 мощности пласта, на 10% -- при $2R/m \leq 0,38$ и на 20% -- при $2R/m \leq 0,52$. Линза может быть как внутри, так и примыкать к горизонтальной границе пласта: оценки при этом остаются прежние. Линзы протяженные в плане дают относительно меньшие погрешности: 5% при длине линзы, равной 0,09 длины пласта; 10% -- при $L_n = 0,21L$ и 20% -- при $L_n = 0,61L$.

Полученные результаты можно применять при фильтрационных расчетах горизонтальных и вертикальных водозаборов подземных вод, мелиоративных систем, строительного дренажа, осушения карьеров, каналов, водохранилищ, плотин, дамб и др.

Л и т е р а т у р а

1. Чабан М.О. Рекомендации по применению расчетных формул в практических фильтрационных расчетах. Минск, 1976.

УДК 628.862.1:533.5

Т.П. Горезко

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ К ВАКУУМИРОВАННОЙ ДРЕНЕ В ТЯЖЕЛЫХ ГРУНТАХ

С целью изучения интенсификации водоотведения из почв тяжелого механического состава при вакуумировании дрен были проведены экспериментальные исследования работы вакуумированного дренажа в лабораторном лотке (с размерами $h = 1,0$ м; $b = 1,0$ м; $l = 15$ м) и на опытно-полевом участ-