

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД  
ОСУШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ В СИСТЕМЕ КАНАЛ—КОЛЛЕКТОР—ДРЕНЫ

Водный режим территории с осушительной сетью формируется сочетанием приходных и расходных составляющих водного баланса. Причем при формировании уровня грунтовых вод существенно воздействие регулирующей и проводящей сети осушительно-увлажнительных систем.

Анализ литературных данных показывает, что в решениях по совместному влиянию открытых каналов и дренажа на параметры последнего [1], а также динамику грунтовых вод [2] допускаются значительное упрощение реальных процессов и пренебрежение потерями напора по длине мелиоративной сети. В работах [3,4] рассмотрены задачи для одиночных дрен взаимно перпендикулярных с проводящей сетью.

В настоящей работе описана математическая модель режима уровней грунтовых вод и стока территории, осушаемой систематическим дренажем совместно с открытой проводящей сетью (рис. 1).

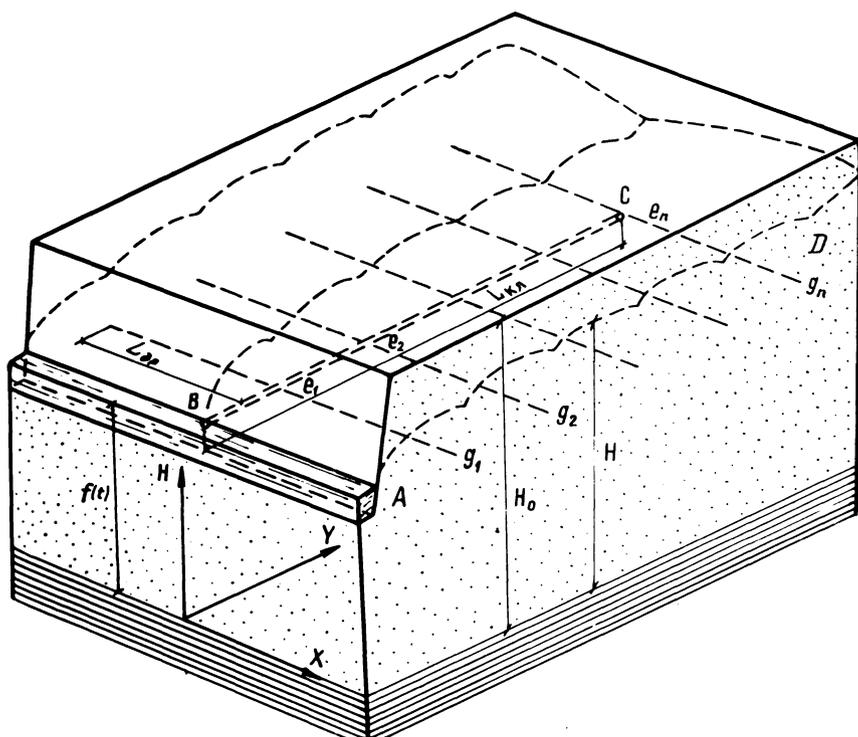


Рис. 1. Расчетная схема.

Симметрия моделируемого мелиоративного объекта позволяет ограничиться рассмотрением расчетной ячейки, ограниченной каналом [AB], коллектором [BC] и водоразделами смежных дренажных систем [CD] и [DA], внутри которой отрезки  $[e_i, g_i]$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  соответствуют регулирующим дренам. Динамика грунтовых вод в рассматриваемой области моделируется уравнением

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{K_{\phi}}{\mu} (H \nabla H) + \frac{E(x,y)}{\mu} + \frac{q_{др}(x,y)}{\mu}, \quad (1)$$

где  $H(x,y)$  – напор грунтовых вод, отсчитываемый от горизонтального водоупора;  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации;  $\mu$  – коэффициент водоотдачи;  $E(x,y)$  – интенсивность испарения;  $q_{др}(x,y)$  – интенсивность присоединения воды к дренам:

$$q_{др}(x,y) = K_{\phi} H \left. \frac{\partial H}{\partial y} \right|_+ - K_{\phi} H \left. \frac{\partial H}{\partial y} \right|_- = \begin{cases} 0, & y \notin [e_i, q_i] \\ q_{др,i}(x), & y \in [e_i, q_i]. \end{cases} \quad (2)$$

Привлечение нелинейного уравнения фильтрации (1) обусловлено тем, что при  $H \leq 5$  м использование линеаризованных аналогов (1) дает расхождение в решении  $\approx 5\%$ .

Граничными условиями для уравнения (1) являются:

1) на открытом канале [AB]:

$$H - L_{нк} \left. \frac{\partial H}{\partial y} \right|_{y=0} = f(t), \quad (3)$$

где  $f(t)$  – напор в канале на момент  $t$ ;  $L_{нк}$  – фильтрационное сопротивление для открытого канала, принимаемое по С.Ф.Аверьянову;

2) по линии коллектора [BC]:

$$K_{\phi} H \left. \frac{\partial H}{\partial x} \right|_{x=0} = 0,5q_{кл}(y), \quad (4)$$

где  $q_{кл}(y)$  – приточность к коллектору из грунта;

3) по водоразделам [CD], [DA]:

$$\left. \frac{\partial H}{\partial y} \right|_{y=L_{кл}} = 0; \quad \left. \frac{\partial H}{\partial x} \right|_{x=L_{др}} = 0. \quad (5)$$

Начальное распределение УГВ по территории:

$$H|_{t=0} = H_0(x, y). \quad (6)$$

Для моделирования динамики движения воды в дренах и коллекторе использованы стационарные уравнения Коновалова-Петрова:

$$\frac{dh_{дрi}}{dx} = -\frac{2Q_{дрi} q_{дрi}}{g \omega_{др}^2} + \frac{Q_{дрi} |Q_{дрi}|}{K_{дрi}^2}; \quad (7)$$

$$\frac{dh_{кл}}{dy} = -\frac{2Q_{кл} q_{кл}}{g \omega_{кл}^2} + \frac{Q_{кл} |Q_{кл}|}{K_{кл}^2},$$

где  $h_{др}$ ,  $h_{кл}$  – напоры в дренах и коллекторах;  $q_{др}$ ;  $q_{кл}$  – расходы присоединения;  $Q_{дрi}$ ;  $Q_{кл}$  – расходы в любом сечении  $i$ -той дрены и коллекторе;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $K_{дрi}$ ;  $K_{кл}$  – расходные характеристики дрены и коллектора,  $K = \omega \sqrt{R}$ .

Рассматривать нестационарные уравнения для моделирования движения воды в дренах и коллекторах нерационально, так как реальные волновые процессы, обусловленные временными производными, затухают за 1–10 мин, что намного меньше времени опускания уровня воды в канале (1–10 суток).

Присоединение грунтовых вод к дренажному стоку принимается по линейному закону [5]

$$q_{дрi}(x) = \alpha_{др} (H - h_{дрi}); \quad (8)$$

$$q_{кл}(y) = \alpha_{кл} (H - h_{кл}),$$

где  $\alpha_{дрi}$ ;  $\alpha_{кл}$  – коэффициенты водообмена;  $H$  – напор в грунте,  $h_{дрi}$ ;  $h_{кл}$  – напоры в дренах и коллекторе;

$$q_{дрi} = -\frac{dQ_{дрi}}{dx}; \quad q_{кл} = -\frac{dQ_{кл}}{dy}. \quad (9)$$

В узлах слияния дрен с коллектором действуют балансовые соотношения:

$$Q_{\text{кл}}(y_i)_+ - Q_{\text{кл}}(y_i)_- + 2Q_{\text{др}i}(0) = 0; \quad (10)$$

$$h_{\text{кл}}(y_i) = h_{\text{др}i}(0), \quad (11)$$

где индексами (+) и (-) отмечены расходы в коллекторе до и после узла слияния.

Граничные условия для уравнений (7)–(8)

$$Q_{\text{др},i}/x = L_{\text{др}} = 0; \quad H_{\text{кл}}(0) = f(t) \quad (12)$$

замыкают постановку задач (7)–(12).

Стыковка сформулированных задач осуществляется на уровне граничного условия (4), функции источников (2) и линейных законов присоединения (8), поскольку только эти соотношения содержат параметры обеих задач.

Основная идея алгоритма решения общей задачи заключается в последовательном решении для каждого расчетного интервала (шага) времени сначала задачи (7)–(12), а затем на основании полученных значений  $Q_{\text{кл}}(y)$  и  $q_{\text{др},i}(x)$  – задачи (1)–(6).

Алгоритм решения общей задачи (1)–(12) – пошажное (временное) расщепление – разработан и апробирован авторами в работе [4].

Для скоростей изменения уровня воды в канале порядка 1 м/сут предлагаемый алгоритм не требует дополнительных уточняющих итераций как по нелинейным членам уравнения (1), так и при стыковке общих параметров (1)–(6) и (7)–(12).

Численная реализация задачи (1)–(6) основана на методе конечных разностей (неявная схема второго порядка точности по пространству и первого по времени) и осуществлялась продольно-поперечными прогонами

Алгоритм решения (7)–(12) также основан на конечно-разностной аппроксимации дифференциальных уравнений и осуществлен методом линейных итераций. Поскольку запись разностных уравнений весьма громоздка, в настоящей статье она не приводится.

Расчеты процессов осушения выявили хорошую результативность выбранной математической модели и численного алгоритма: точность, сходимость, устойчивость решения в широком диапазоне определяемых параметров.

Так, расчет ниже предлагаемого варианта на ЭВМ ЕС-1020 требует около 2 ч машинного времени при погрешности решения 2%.

Моделировалась дренажная система, включающая коллектор диаметром  $d = 10$  см, длиной 320 м, к которому двусторонне подключались по 10 дрен диаметром  $d = 5,0$  см, длиной 100 м и расстоянием между дренами 30 м. Шероховатость дрен и коллектора  $p = 0,014$ , дрены работают в

затопленном состоянии. Мощность водоносного горизонта 10 м, коэффициент фильтрации  $K_{\phi} = 3,0$  м/сут, коэффициент водоотдачи  $\mu = 0,1$ . Начальный уровень в канале и уровень на осушаемой территории одинаковы и в канале уровень равномерно понижается в течение полутора суток с интенсивностью 0,5 м/сут, затем он сохраняет постоянное положение.

Полученные результаты распределения напоров в дренах и по коллектору дренажной системы и кривые депрессии на последовательные моменты времени показывают, что в связи с непрерывным присоединением воды по длине коллектора и дрен потери напора интенсивно возрастают на начальных участках, а закон изменения напоров в регулирующих дренах существенно отличается от заданного в принимающем канале (рис. 2) и неодинаков для дрен, находящихся на различном удалении от принимающего канала.

Кривые депрессии по территории формируются главным образом в соответствии с ходом изменения давления в дренах. Здесь в определенной мере сказывается осушительное действие канала.

Чтобы выяснить влияние канала на понижение уровней грунтовых вод по осушаемой территории, выполнены расчеты режима УГВ для вариантов дренажной системы принятых выше параметров, но с последовательным исключением ближайших к каналу одной, двух, трех и четырех дрен.

На рис. 3 приведены кривые депрессии уровней грунтовых вод, соответствующие базовому варианту и вариантам с исключением двух и трех дрен.

Полученные результаты показывают, что осушительное действие канала в течение расчетного периода продолжительностью 6–10 сут сказывается на территории, примыкающей непосредственно к каналу. Так, при исключении первых двух дрен уровни грунтовых вод в зоне второй междренней полосы в течение первых суток оставались на исходных отметках, а на последнем междренье снижались.

Более интенсивное снижение УГВ на самом удаленном междренье наблюдалось в течение 5 суток. И только к концу 7-х суток горизонты уравнились. Это имеет место в условиях моделирования совершенного канала. В реальных условиях несовершенного канала осушительное действие его на прилегающую территорию меньше. При исключении трех дрен уровни на территории между каналами и дренами снижались менее интенсивно, нежели в самой удаленной точке дренажной системы. В этом случае появлялся вторичный эффект, имело место более интенсивное снижение УГВ на второй половине дренажной системы в сопоставлении с базисным вариантом. Обусловлен этот эффект меньшими суммарными потерями напора в устьевой части коллектора и соответствующим возрастанием действующего напора в отмеченной части дренажной системы.

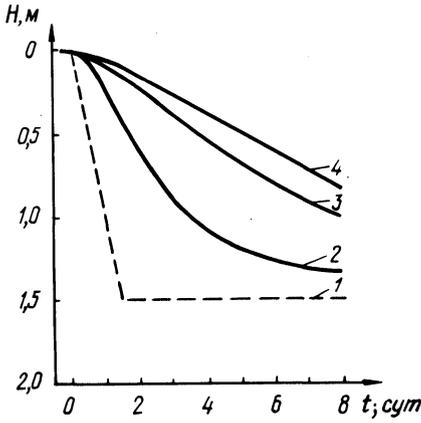


Рис. 2. Изменение напора: в канале (---), в дренах (—).  
 1 —  $h=f(t)$  в канале; 2 —  $h=f_1(t)$  в 1-й дрене; 3 —  $h=f_4(t)$  в 4-й; 4 —  $h=f_7(t)$  в 7-й дрене.

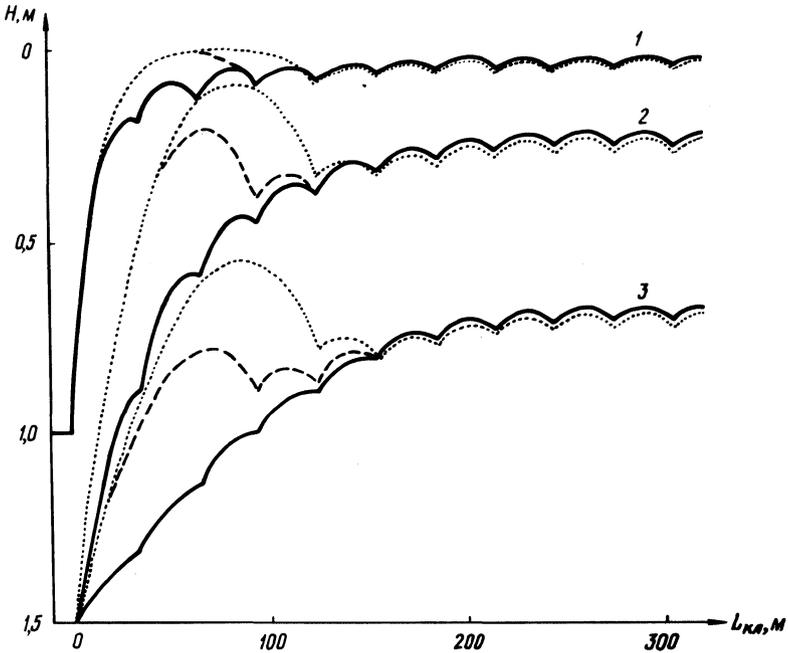


Рис. 3. Кривые депрессии на осушаемой территории: базовой системы (—); с уменьшенным числом дрен у канала: на две дрены (---), на три дрены ( . . . ) при изменении уровней воды в канале с интенсивностью 0,5 м/сут в течение полутора суток и постоянном горизонте воды в последующие дни; 1 — первые сутки, 2 — третьи, 3 — седьмые сутки.

Полученные результаты показывают, что расстояние, на котором прослеживается осушительное действие канала, несущественно изменяется за расчетный период времени. Фактором, определяющим зону прямого оттока в канал, являются ближайшие к каналу дренажные линии.

### Л и т е р а т у р а

1. И в и ц к и й А.И. Теория расчета расстояний между дренами с учетом осушительного действия проводящей сети. — ДАН БССР, т. XII, 1968, №11.
2. Б р у с и л о в с к и й Ш.И., П и с е ц к и й Г.А. Теория расчета динамики грунтовых вод при одновременном действии водопроводящей и регулирующей сети. — В сб.: Мелиорация переувлажненных земель. Минск, 1977, т. XXV, 1977.
3. Решение задачи о распределении напоров по длине и междренном пространстве в условиях неустановившейся фильтрации/ П.И. З а к р ж е в с к и й, Г.И. А ф а н а с и к, О.Р. А р м о н и к и д р. — В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. Минск, 1977, вып. 7.
4. З а к р ж е в с к и й П.И., Н о в и к о в А.А. Некоторые вопросы прогноза уровней грунтовых вод. — В сб.: Мелиорация переувлажненных земель. Минск, 1979, т. XXVI.
5. З а к р ж е в с к и й П.И., В а х о н и н Н.К. Экспериментальные исследования водопримной способности затопленных дрен. — В сб.: Конструкция и расчеты осушительно-увлажнительных систем. Минск, 1978, вып. 3.

УДК 532.546

И.А. В е р е м ч у к

### ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗ КАНАЛА С ОДНОВРЕМЕННЫМ ПОЛИВОМ ПОЛОСОБРАЗНОГО УЧАСТКА

Важное значение при орошении имеет возможность теоретического определения уровня грунтовых вод. Настоящая работа посвящена определению уровня этих вод при полосообразном поливе дождевальными установками и фильтрации из канала.

В однородном анизотропном пласте, подстилаемом непроницаемым грунтом, вдоль одного из главных направлений анизотропии (ось  $Ox_1$ ) прорезан канал с вертикальными стенками до непроницаемого грунта (рис. 1). В начальный момент уровень грунтовых вод постоянный и равен  $H_0$ . Затем с целью поднятия уровня грунтовых вод канал перекрывают, и тогда в одной его части (при  $x_2 > 0$ ) уровень воды с течением времени поднимается по закону  $H_2 e^{c_2 t}$  ( $H_2$  и  $c_2 - \text{const}$ ), а в другой — при  $x_1 < 0$  поддерживается равным  $H_1$  ( $H_1 - \text{const}$ ). Одновременно над полосой  $h_1 < y_2 < h_2$  ( $0 < h_1 < h_2$ ) происходит полив с изменяющейся во времени интенсивностью по закону  $\epsilon = q_0 t^\alpha$  (где  $q_0$  и  $\alpha$  — положительные константы). При  $q_0 < 0$  полив надо физически истолковывать как испарение.