

Как видно, уровень грунтовых вод на защищаемой территории оказался выше допустимого. Увеличим диаметр дрены $D = 0,7$ м. Проверяется наличие участка нависания над дренажной линией $l_r = 2,461$; $|l_r^2 - 3,281| = 2,016$; $(\frac{l}{D})^{2,7} = 98,81$, $q_r = 0,99$ (вычислено в начале примера), $(\frac{\Delta h}{D})^2 = -0,811$, т.е. участок нависания отсутствует. При отсутствии участка нависания (см. начало примера) $q_r^0 = 0,22$; $f_1 = 1,138$; $f_2 = 0,13$; $q_1 = 4,95$ м²/сут. По уравнениям (2) и (3) определяются координаты кривых депрессий. Расчеты сводятся в таблицу 4.

Л и т е р а т у р а

1. Веригин Н.Н. и др. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. М., 1970. 2. Беседнов Н. А. Опыт строительства и эксплуатации глубоких трубчатых дрен при мелиорации засоленных земель в Азербайджане. -- Гидротехника и мелиорация, 1951, № 2. 3. Дубовик Г.И. Разгрузочная приоткосная дрена как один из способов обеспечения устойчивости откосов осушительных каналов. -- Мелиорация и водное хозяйство, 1972, № 12. 4. Михайлов Г.И. О суммарных сопротивлениях некоторых конструкций горизонтальных дрен. -- Экспресс-информация ЦБНТИ. Сер. 2. Осушение и осушительные системы, 1972, вып. 3. 5. Круглов Г. Г. Влияние участка нависания грунтового потока на работу придамбовой несовершенной дрены. -- В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. Вып. 7. Минск, 1977. 6. Круглов Г.Г. Определение участка нависания грунтового потока над придамбовой несовершенной дренажной линией. Научно-техническая информация. -- Мелиорация и водное хозяйство, 1977, № 11.

УДК 628.367

И.В. Минаев

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ДРЕНАМИ

В качестве элементарной дренажной системы рассматривается коллектор с присоединенными к нему дренажными линиями. Элементарные дренажные системы вместе с проводящей сетью каналов и сооружений составляют основную производственную часть мелиоративной системы.

При оптимизации двух основных параметров дренажа — глубины закладки дрен и расстояний между ними — элементы про-

водящей сети будут оказывать влияние на оптимальные размеры этих параметров, так как при вариантном заглублении дрен увеличиваются глубины заложения всех элементов подводящей сети и возрастает стоимость их устройства. При вариантном увеличении расстояний между дренами изменяется модуль дренажного стока, в связи с чем будет изменяться и стоимость трубок коллектора. Обратное влияние также имеет место. Однако если коллектор впадает в открытый канал (а не в другой коллектор), то практическое влияние расстояний между дренами на остальные элементы системы (каналы, сооружения) прекращается из-за малости дренажного стока по сравнению с водопропускной способностью этих элементов системы.

Стоимость коллектора определяется двумя разнородными факторами: глубиной его заложения и диаметрами трубок (переменных по длине и зависящих от модуля дренажного стока). Стоимость устройства одной дрены обусловлена глубиной ее заложения, но не зависит от расстояний между дренами, однако удельная стоимость дренажа на единицу площади (1 га) находится в зависимости от расстояний между дренами.

Удельные приведенные затраты по устройству элементарной дренажной системы в зависимости от расстояния между дренами ($B, м$) (при постоянной глубине их заложения) можно представить в виде следующей функции цели:

$$\bar{S}_{\text{пр}}(B) = \frac{S_{\text{др}}}{F_{\text{др}}(B)} + \frac{S_{\text{кл}}[q(B)]}{F_{\text{кл}}} + \frac{\sum_{k=1}^3 Y_k(B)}{F_{\text{кл}}} + \frac{C_o}{F_{\text{кл}}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $S_{\text{др}} = K_{\text{др}}(\eta_{\text{д}} + E)$; $S_{\text{кл}}[q(B)] = K_{\text{кл}} \Gamma(\eta + E)[q(B)] -$

приведенные стоимости по устройству одной дрены и коллектора; $K_{\text{др}}$, $K_{\text{кл}}$ — стоимость устройства одной дрены и стоимость трубок коллектора, руб; $\eta_{\text{д}}$, $\eta_{\text{к}}$ — доли амортизационных отчислений по дрене и коллектору; E — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; q — модуль дренажного стока, л/с·га; $F_{\text{др}}(B) = l_{\text{др}} \cdot B \cdot 10^{-4}$, га; $l_{\text{др}}$ — длина одной дрены; m ; B — расстояние между дренами, м; $F_{\text{кл}}$ —

площадь, обслуживаемая коллектором, га; $\sum_{k=1}^3 Y_k(B)$ — ущерб, вычисляемые в связи с потерей урожая от неудовлетворительного водного режима дренируемого участка при вариантных расстояниях между дренами.

Развитие отечественной и зарубежной науки о мелиорации в гумидной зоне преследовало цель создания оптимального водного режима для растений в почве на междренях. Однако только изменением расстояний между дренами и глубиной их закладки добиться регулируемой оптимальной влажности по сезонам невозможно. Существуют, однако, периоды года, когда влажность почвы и урожай культур определяются практически полностью параметрами дренажа и особенно важнейшим из них — расстоянием между дренами. Одним из таких периодов является предпосевной. В этот период интенсивность водоотведения и понижения УГВ оказывает самое существенное влияние на урожай культур, так как оно определяет поспевание почвы и начало весенних полевых работ, а следовательно, и сроки сева (посадки) культур. Неоптимальные сроки сева приводят к существенным потерям урожайности культур или к

ущербам (в денежном выражении потерь). Часто расстояния между дренами, определенные из условия снижения УГВ в предпосевной период, удовлетворяют условиям других периодов посевного сезона культур [1]. Ущерб от недобора урожая культур в связи с опозданием со сроками сева может быть ликвидирован только увеличением интенсивности понижения УГВ, а ущерба вегетационного периода (в связи с отклонением влажности почвы от оптимальной) — увлажнительными мероприятиями (подачей воды в дренажную сеть, дождеванием и др.). Условия предпосевного периода предопределяют необ-

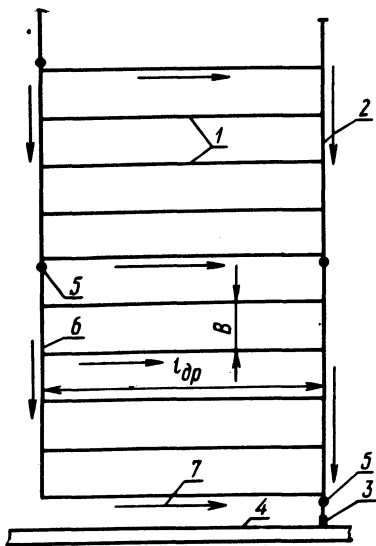


Рис. 1. Элементарная осушительно-увлажнительная система: 1 — дренажи; 2 — коллекторы; 3 — оголовки; 4 — собирающие каналы; 5 — колодец; 6 — подводящий трубопровод (канал); 7 — направление движения воды.

ходимость расчета расстояния между дренами на водоотведение, т.е. на осушение почвы. Ликвидация засушливых периодов предполагает устройство таких систем, которые позволяют вводить необходимый режим увлажнения. На рис. 1 представлена элементарная осушительно-увлажнительная система, состоящая из дрен, коллектора, водоподводящего канала и подпорных сооружений. Для такой системы функция цели имеет вид

$$\begin{aligned}
 S_{\text{пр}}(h, B) = & \frac{S_{\text{др}}(h)}{F_{\text{др}}(B)} + \frac{S_{\text{кл}}^{\text{II}}[q(h, B)]}{F_{\text{кл}}} + \frac{S_{\text{кл}}^{\text{I}}(h)}{F_{\text{кл}}} + \\
 & + \frac{S_{\text{нк}}^{\text{I}}(h)}{F_{\text{нк}}} + \frac{S_{\text{нк}}^{\text{II}}[Q(h, B)]}{F_{\text{нк}}} + \frac{Y_1(h, B)}{F_{\text{кл}}} + \\
 & + \frac{P_{\text{э}}(h, B)}{F_{\text{нк}}} + \frac{C_1}{F_{\text{кл}}} \rightarrow \min, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где S (с индексами) — приведенные затраты по элементам системы; $S_{\text{кл}}^{\text{I}}$, $S_{\text{кл}}^{\text{II}}$ — приведенные затраты, зависящие от глубины заложения коллектора и от диаметра трубок; $S_{\text{нк}}^{\text{I}}$, $S_{\text{нк}}^{\text{II}}$ — приведенные затраты, зависящие от глубины заложения водоподводящего трубопровода (канала) и размеров (диаметров труб или поперечного сечения канала); Y_1 — ущерб предпосевного периода; $P_{\text{э}}$ — доля затрат на эксплуатацию системы, зависящая от глубины заложения дрен и расстояния между ними; C_1 — затраты, не зависящие от оптимизируемых параметров; $F_{\text{др}}$, $F_{\text{кл}}$, $F_{\text{нк}}$ — площадь между двумя дренами, обслуживаемая коллектором и подводящим каналом ($F_{\text{кл}} = F_{\text{нк}}$).

Функция цели (2) содержит приведенные затраты по подводящему каналу, которые зависят от варьирующей глубины заложения дрен (h) и расхода (Q), поступающего в дренаи для подъема УГВ. В свою очередь расход обусловлен глубиной заложения дрен и расстоянием между ними; от величины расхода зависят и эксплуатационные затраты $P_{\text{э}}$. Введение такого элемента, как водоподводящий канал, в состав системы позволяет ликвидировать ущерб от потерь урожая в засушливые периоды.

При проектировании дренажных систем расстояния между дренами определяются по расчетным формулам. В основе расчета лежит нормированная глубина до УГВ (норма осушения) в расчетный период. Инженерный расчет дает возможность выбрать параметры мелиоративной сети (в том числе и расстояние между дренами), агроэкономический обосновывает перспективную урожайность и срок окупаемости капиталовложений в строительство мелиоративной системы.

Функции цели (1) и (2) с наложенными ограничениями на изменения переменных и некоторые функции (например, ущерб от недобора урожая не должен быть более планируемого) представляют собой математическую модель, которая позволяет соединить инженерный расчет и агроэкономическое обоснование. Отметим, что элементарная дренажная система представляет собой систему "дрены—коллектор" (системы "дрены" конструктивно не существует, поскольку обычно группу дрен объединяют коллектором). Известные формулы [2, 3] для вычисления оптимальных расстояний между дренами получены в результате взятия производной от функции цели для системы "дрены" с подстановкой в функцию формул фильтрационного расчета. Такой подход к получению формул для определения оптимального расстояния между дренами имеет существенный недостаток: формулы фильтрационных расчетов для практически приемлемых случаев (особенно для случая неустановившейся фильтрации) включают функции, производные от которых оказываются более сложными, чем первообразные (иногда включают вспомогательные графики и таблицы). Поэтому прямой путь дифференцирования функций цели приводит к необходимости использования простейших зависимостей Дюпюи, Кене и др. Эти зависимости нельзя признать удовлетворительными, так как существуют более обоснованные формулы и для широкого диапазона гидрогеологических условий (формулы С.Ф. Аверьянова, А.Я. Олейника, А.И. Ивицкого, В.М. Шестакова и др.).

Каждая функция — слагаемое в функции цели — выражает затраты, зависящие (или независящие C_1) от рассматриваемых параметров, и может быть заменена (аппроксимирована) эмпирической функцией. Взятие производной с приравнением нулю позволяет затем получить расчетную формулу для одной переменной или применить градиентный метод для вычисления оптимальных значений двух (или более) переменных.

Во многих практически приемлемых случаях эмпирические зависимости стоимостей элементов дренажной системы и ущербов от ее параметров являются линейными.

Для функции цели (1) линейными и реже квадратичными являются функции, выражающие стоимости трубок коллектора и ущерб предпосевного периода на реальном (от 10 до 80 м) отрезке изменения переменной $[B_1; B_n]$: $S_{\text{кл}}[q(B)] = (A_3 + A_1 B)$; $Y(B) = (A_4 + A_2 B)$.

В частном случае, когда дрены укладываются на водоупоре или глубина их заложения задана, функция цели (1) принимает вид

$$\bar{S}_{\text{пр}}(B) = \frac{S_{\text{др}} 10^4}{B l_{\text{др}}} + \frac{A_3 + A_1 B}{F_{\text{кл}}} + \frac{A_4 + A_2 B}{F_{\text{кл}}} + \frac{C_0}{F_{\text{кл}}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где A_1, A_2, A_3, A_4 — коэффициенты эмпирических зависимостей, при этом коэффициент A_1 зависит от длины коллектора (т.е. $A_1(L_k)$, где L_k — длина коллектора).

Производная от функции цели (3) позволяет получить формулу для вычисления оптимального расстояния между соседними дренами:

$$B_{\text{опт}} = \sqrt{10^4 F_{\text{кл}} \frac{S_{\text{др}}}{l_{\text{др}} [A_1(L_k) + A_2]}}. \quad (4)$$

Решение существует при $(A_1 + A_2) > 0$. При отсутствии оптимального решения или данных, позволяющих получить функцию ущерба, определять расстояние следует инженерным расчетом. Применение формулы (4) предполагает не замену инженерного расчета оптимизационным, а продолжение инженерного расчета.

Для функции цели (2) возникает необходимость аппроксимации функций от двух переменных в результате вычисления расхода, модуля дренажного стока и ущерба при вариантных значениях h и B на отрезках их изменения $[h_1; h_m][B_1; B_n]$. Аппроксимация от двух переменных возможна обычно многочленными функциями, поэтому взятие частных производных не представляет затруднений и становится возможным применение градиентных методов или последовательного подбора [4].

Коэффициенты A_1 и A_2 в формуле (4) получены как результат взятия производных от линейных зависимостей. Если

функция ущерба и функция затрат по трубкам коллектора будут нелинейными, то вместо указанных коэффициентов следует подставить производные по B от нелинейных функций. Тогда формула (4) будет иметь вид

$$B_{\text{опт}} = 100 \sqrt{F_{\text{кл}} \frac{S}{I_{\text{др}}} \frac{1}{(S'_{\text{кл}}(B) + Y'_1(B))}}, \quad (5)$$

где $F_{\text{кл}}$ — площадь, обслуживаемая коллектором, га; $\frac{S}{I_{\text{др}}}$ — удельные (на 1 пог.м) приведенные затраты на одну дрену

($\frac{\sum S_{\text{др}}}{\sum I_{\text{др}}}$ при различных длинах дрен); $S'_{\text{кл}}(B)$, $Y'_1(B)$ — производные нелинейных функций затрат и ущербов.

По формуле (5) $B_{\text{опт}}$ вычисляется подбором или решением уравнения (обе части формулы (5) возводятся в квадрат и находится алгебраическое уравнение относительно B). Подходящим будет положительный корень уравнения, который при подстановке в функцию (1) обеспечивает наименьшее значение $\bar{S}_{\text{пр}}(B)$.

Для дренажной системы, состоящей из коллектора длиной 1500 м и дрен, примыкающих к коллектору, длиной 200 м, получены расчетные значения расстояний между дренами и времени понижения УГВ в предпосевной период (по формулам С.Ф. Аверьянова [5]). При глубине заложения дрен $h = 1,1$ м расстояния между дренами (B), модуль дренажного стока (q), стоимость трубок коллектора ($K_{\text{кл}}$) и ущерб от недобора (Y_1) приведены в табл. 1.

Площадь элементарной дренажной системы в данном случае составляет 30 га. Ущерб от снижения урожайности трав вы-

Т а б л и ц а 1. Расчетные значения параметров и стоимостей

B , м	46	50	54	57	60	63	66	69	72
t , сут	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q , л/с·га	1,09	0,99	0,91	0,85	0,80	0,75	0,72	0,69	0,66
$K_{\text{кл}}$, руб/га	33,9	32,7	31,6	30,8	30,0	29,4	28,9	28,4	27,8
Y_1 , руб/га	—	—	—	—	13,2	26,3	39,5	52,6	65,8
$K'_{\text{др}}$, руб	84	84	84	84	84	84	84	84	84

числялся (по эмпирической зависимости) начиная с одиннадцатых суток снижения УГВ; чем больше расстояние между дренами, тем медленнее снижение УГВ и больше вероятность с задержкой нормальной вегетации трав, а значит, и недобора урожая первого укоса.

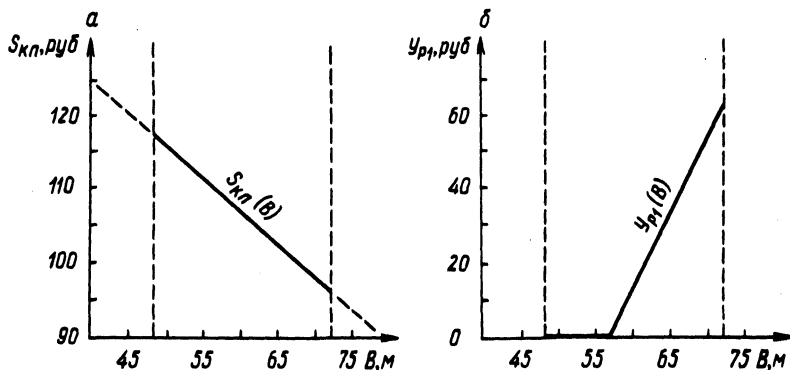


Рис. 2. Зависимость приведенных затрат по трубкам коллектора (а) и ущерба, связанного со снижением урожая трав (б), от расстояний между дренами.

Стоимость одной дрены 84 руб., доли амортизационных отчислений по дренам и коллектору $\gamma_{др} = \gamma_{кл} = 0,019$; $E = 0,1$ (для луговых угодий); $S_{др} = 84(0,019 + 0,1) = 10$ руб. Значения приведенных затрат $S_{кл} [q(B)]$ и ущерба $Y_1(B)$ показаны на рис. 2. Так как возрастающая функция ущерба в данном случае единственная, отрезком изменения переменной будет отрезок [57; 72]. На этом отрезке изменения переменной B получены линейные зависимости (рис. 2)

$$S_{кл} [q(B)] = A_4 + A_1 B = 160,7 - 0,9 B, \quad (6)$$

$$Y_1(B) = A_3 + A_2 B = 249,9 + 4,4 B. \quad (7)$$

Оптимальное значение расстояния между дренами вычисляется по формуле

$$B_{опт} = 100 \sqrt{\frac{S_{др}}{F_{кл}} \frac{1}{l_{др}}} \sqrt{\frac{1}{A_1 + A_2}} =$$

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

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