

И. В. Минаев

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДРЕНАЖА

Оптимальная влажность почвы является одним из основных факторов высоких урожаев на мелиорируемых землях. Эта влажность в период вегетации определяется приходными и расходными статьями водного баланса. Значительную роль в формировании влажности почвы играет близкий к поверхности уровень грунтовых вод. Баланс почвенной влаги при близком к поверхности земли уровне грунтовых вод складывается таким образом, что подпитывание снизу доминирует над другими приходными статьями водного баланса. Уровень грунтовых вод, при котором создается оптимальная влажность корнеобитаемого слоя почвы, называется нормой осушения. Однако, как показывают исследования последних лет [11, 12], на системах, работающих только на сброс избыточной воды, баланс почвенной влаги зависит от других факторов (осадки, испарение), которые снижают роль нормы осушения как определяющего момента в создании режима влажности корнеобитаемого слоя и в получении высоких и устойчивых урожаев на дренируемых территориях. Функциональную зависимость между глубиной грунтовых вод и величиной урожая можно вывести для мелиоративных систем двойного регулирования влажности; на системах же одностороннего действия такая зависимость возможна по отношению к показателям влажности почвы, т. е. определяющим фактором здесь следует считать соотношение приходных и расходных статей водного баланса.

Существует период в работе дренажной системы, когда норма осушения играет определяющую роль для расчета ее элементов (глубина закладки дрен, расстояние между ними, поперечные сечения проводящей сети). В весенний период необходимо понизить уровень грунтовых вод на такую глубину, чтобы можно было произвести предпосевную обработку почвы. Этот период (предпосевно-посевной) определяется количеством дней от даты схода снега до начала посевных работ в данной местности. За начало посевных работ на осушенных болотах, по предложению А. И. Ивицкого, в условиях БССР принято считать дату, к которой накапливается сумма среднесуточных температур, равная  $130^{\circ}\text{C}$  [7]. Эта сумма температур была определена в предположении нормального осушения болота. Однако позже П. И. Закржевским [6] было установлено, что сумма  $130^{\circ}\text{C}$  соответствует глубине до грунтовых вод 30—40 см. При больших глубинах начало посевного периода сдвигается в сторону меньших температур. Так, при глубине 0,5—0,6 м дата сева яровых зерновых определяется накоплением среднесуточных положительных температур до суммы  $60^{\circ}\text{C}$ .

Перед началом таяния снега дно и стенки каналов проводящей сети находятся в промерзшем состоянии и поэтому талые воды, проникаю-

щие в почву с поверхности, идут на пополнение грунтовых вод, уровень которых поднимается до поверхности земли [2]. С началом работы дренажной сети по отводу грунтовых вод уровень последних начинает понижаться и к наступлению даты посева он должен находиться на

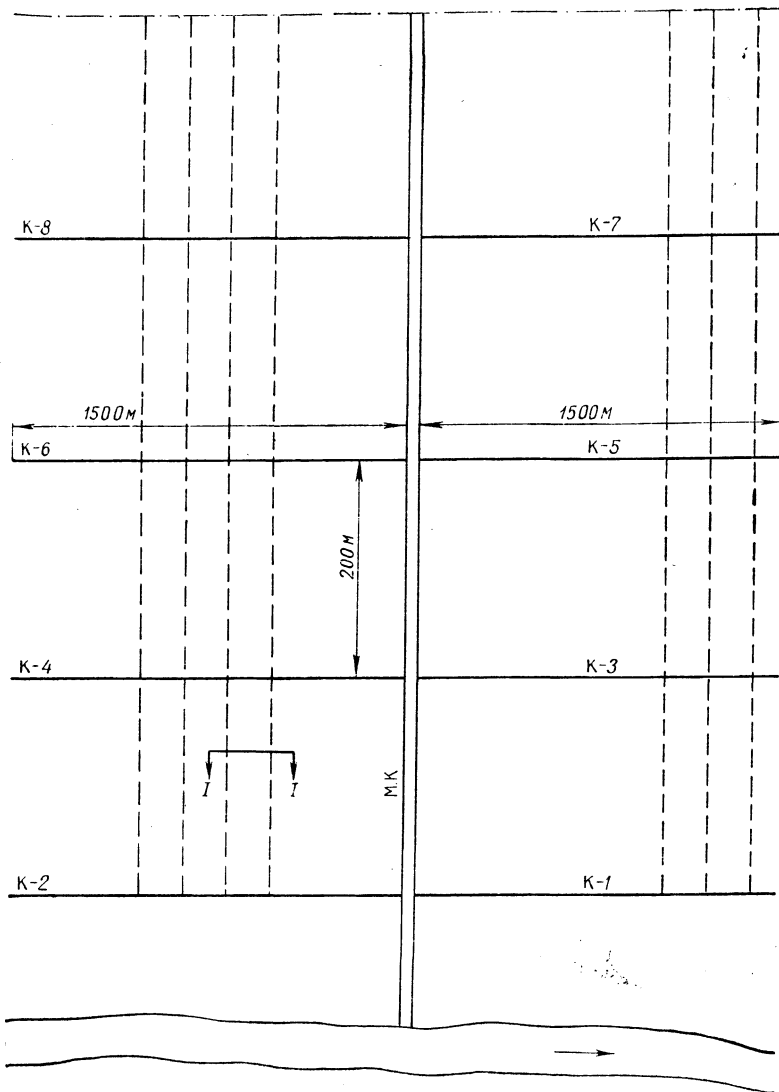


Рис. 1. План «типичного» участка дренирования.

глубине 0,5—0,6 м («машинная норма осушения» [5]). Можно с некоторым приближением считать, что почвогрунты в этот период насыщены влагой до предельной полевой влагоемкости и поэтому все осадки этого периода идут на пополнение грунтовых вод. Можно также пренебречь величиной испарения из-за невысоких температур воздуха или принять ее равной 1,2 мм/сутки [4] для условий Полесья. В этот период сток по поверхности торфяной залежи, как правило, не наблюдается.

Таким образом, при сделанных допущениях (вполне обоснованных для условий Белорусского Полесья) работа дренажа в предпосевно-посевной период заключается в том, чтобы понизить уровень грунтовых вод от поверхности земли до принятой нормы осушения при учете осадков этого периода, идущих на пополнение грунтовых вод.

В настоящей работе рассматриваются вопросы методики определения оптимальных параметров дренажа в предпосевно-посевной период. Произведенный расчет основывается на экспериментальных данных различных авторов для условий Белорусского Полесья на примере некоторого «типового» участка площадью 300 га. Такой участок (рис. 1) может явиться самостоятельной единицей площади дренирования или частью более общей системы. Осушительная сеть состоит из закрытых дрен длиной 200 м, десяти закрытых коллекторов длиной 1500 м каждый, магистрального канала (транспортирующего собирателя) длиной 1000 м и водоприемника (реки). Уклон поверхности в направлении стока по дренам равен 0,004, а в направлении стока по коллектору — 0,003.

От поверхности земли на глубину до 0,6 м залегает хорошо разложившийся торф, ниже — пески с коэффициентом фильтрации  $k = 2$  м/сутки мощностью 10 м. Интенсивность инфильтрации вычислена по осадкам 10%-ной обеспеченности и составляет 0,00287 м/сутки; средний коэффициент водоотдачи торфяной залежи и песка принят равным 0,17.

В результате технико-экономического расчета определяются следующие параметры системы (принимая значения переменных в процессе расчета): глубина заложения дрен, от которой зависит расстояние между дренами, и время понижения уровня грунтовых вод до нормы осушения в предпосевной период (принята 0,5 м).

Функция цели, зависящая от двух переменных, определяет строительные затраты по дренажной системе. Рассмотрение строительных затрат вместо ежегодных издержек объясняется специфичностью эксплуатационных затрат на дренажных системах. Здесь обнаруживается слабая коррелятивная зависимость затрат от длины открытой проводящей сети и водоприемника, но, как правило, эти затраты исчисляются средней величиной на единицу дренируемой площади. Поэтому оптимальные параметры, определенные для строительных и ежегодных затрат, должны совпадать.

Строительные затраты принимаются только по основным элементам сети (при этом не учитывается стоимость строительства дорог, труб-перезездов, колодцев и др). Однако стоимость устья зависит от количества коллекторов и это в расчете учтено (16 руб. одно устье [10]).

В общем виде функция цели может быть представлена следующей суммой:

$$K + Y_1(t)T = \min, \quad (1)$$

где  $K$  — строительные затраты по системе на 1 га, руб.;  $Y_1(t)$  — функция ущерба в зависимости от времени наступления предпосевно-посевного периода, руб.;  $T$  — величина, обратная нормативному коэффициенту эффективности (срок окупаемости).

Строительные затраты по «типовой» системе складываются из стоимости устройства дрен, коллекторов, магистрального канала и водоприемника.

Строительные затраты на 1 га представляются в виде суммы затрат по дренажной линии ( $K_{др}$ ), коллектору ( $\bar{K}_{кол}$ ), магистральному каналу ( $\bar{K}_{м.к}$ ) и водоприемнику ( $\bar{K}_в$ ):

$$\bar{K} = \frac{K_{др}}{F_{др}} + \bar{K}_{кол} + \bar{K}_{м.к} + \bar{K}_в, \quad (2)$$

где  $K_{др}$  — строительная стоимость на одну дренажную линию длиной 200 м, руб.;  $\bar{K}_{кол}$ ,  $\bar{K}_{м.к}$ ,  $\bar{K}_в$  — строительные стоимости по коллектору, магистральному каналу и водоприемнику, отнесенные на 1 га при общей площади дренирования 300 га.

Площадь

$$F_{др} = BL, \quad (3)$$

где  $B$  — расстояние между двумя соседними дренами, м;  $L$  — длина дренажных линий, равная 200 м.

При изменении переменной  $h$ , т. е. с увеличением глубины заложения дрены, расстояние между дренами возрастает (при постоянной норме осушения). С увеличением расстояния между дренами возрастает площадь  $F_{др}$  и поэтому удельные строительные затраты по дренажным линиям уменьшаются. Однако в связи с заглублением дрен необходимо увеличить глубину коллекторов, магистрального канала и затраты по регулированию водоприемника.

Таким образом, в роли функции ущерба по первой переменной выступает зависимость стоимости проводящей сети от ее глубины.

Стоимость строительства дренажной линии зависит от диаметра гончарных трубок и глубины их закладки и складывается из стоимости этих трубок и стоимости производства работ. С началом работы дренажа в весенний период напор грунтовых вод над дренажной линией будет уменьшаться (рассматривается неустановившееся движение грунтовых вод) от максимального до определяемого нормой осушения. В расчете предполагается, что при любом из возможных напоров пропускная способность дрены будет достаточной для отвода воды при безнапорном движении или напорное движение будет весьма кратковременным (при большой глубине заложения дрены). Исходя из этих соображений, диаметр дрены принят равным 7,5 см. Стоимость 1 пог. м гончарных трубок диаметром  $d=0,075$  м составляет 0,22 руб., стоимость работ по дренажу в зависимости от глубины его закладки принята по проектным материалам Белгипроводхоза [9]. Суммарная стоимость дренажной линии длиной 200 м в зависимости от глубины ее заложения приведена в табл. 1.

Для определения площади дренирования (одной дренажной линией) подсчитывалось расстояние между дренами по формуле С. Ф. Аверьянова [3] для неустановившегося движения грунтовых вод

$$h = H_0(1 - \varphi) - \frac{1}{2} H_0 \eta (1 - \varphi_1), \quad (4)$$

где  $\eta = \frac{\varepsilon_0 B^2}{4kTH_0\alpha}$ ;  $(1 - \varphi)$ ,  $(1 - \varphi_1)$  — функции, зависящие от некоторого аргумента  $\beta_0$ , которые можно определить по графикам, приведенным

в работах [2, 3], или по таблицам, имеющимся в работах [1, 2]. Эти функции определяются временем понижения уровня грунтовых вод в междуренье. Здесь  $\alpha$  — коэффициент несовершенства дрен (коэффициент висячести по С. Ф. Аверьянову),  $k$  — коэффициент фильтрации водонесного слоя,  $m/сутки$ ;  $B$  — расстояние между дренами,  $m$ .

$$\text{Здесь } \alpha = \frac{1}{1 + \frac{2T}{B}}; B = 2,94 \lg \frac{2T}{\pi d};$$

$$\beta_0 = \frac{t}{\tau}, \quad (5)$$

где  $t$  — время понижения уровня грунтовых вод до необходимой нормы осушения (причем  $h$  и  $H_0$  определяются одной и той же отметкой поверхности грунтовых вод; в нашем расчете эта поверхность совпадает с поверхностью земли);  $\tau = \frac{\delta B^2}{4kT\alpha}$  — время стабилизации («показывает порядок времени, необходимого, чтобы поток грунтовых вод вер-

Таблица 1

Глубина закладки дрены $h_{др}$ , м	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
Стоимость устройства дрены (200 м) (с учетом стоимости труб) $k_{др}$ , руб.	76,8	78,6	80,0	82,0	84,0	86,0	88,0
Глубина закладки коллектора $h_{кол}$ , м	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Стоимость работ по закладке коллектора (без стоимости трубок) на 1 га $\bar{K}_{кол}$ , руб.	9,50	9,82	10,03	10,58	11,03	11,51	12,12
Глубина магистрального канала $h_{м-к}$ , м	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
Стоимость работ по устройству магистрального канала на 1 га $\bar{K}_{м-к}$ , руб.	20,6	21,6	23,0	24,0	25,3	26,8	28,0
Глубина до воды от бровки берега водоприемника $h_{в}$ , м	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
Величина понижения уровня воды в водоприемнике от начального $\Delta$ , м	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Стоимость работ по водоприемнику на 1 га $\bar{K}_{в}$ , руб.	21,0	27	33,2	40,0	46,9	54,2	62,1

нулся к более или менее установившемуся режиму, после того как этот режим был нарушен какой-либо причиной» [2]);  $\delta$  — коэффициент водоотдачи. Остальные обозначения приведены на рис. 2.

Расстояние между дренами находится по формуле (4) методом подбора. Задавшись какой-либо величиной  $B$ , подсчитывают значение  $h$  и сравнивают его с принятой нормой осушения; в случае несовпадения

необходимо задаться новой величиной расстояния между дренами. Время  $t$  определяется в зависимости от того, за какое количество суток требуется достичь принятой нормы осушения.

Стоимость коллекторов определена при одностороннем примыкании дрен (по условиям рельефа) с учетом того, что к устью коллектора расход увеличивается, следовательно, должен увеличиться и диаметр. Стоимость коллектора также складывается из стоимости трубок разного

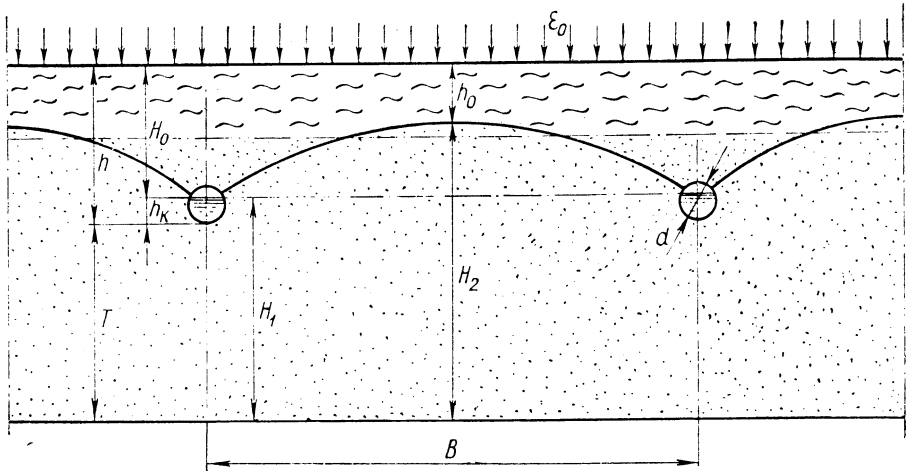


Рис. 2. Расчетная схема для формул С. Ф. Аверьянова.

диаметра и стоимости их укладки. Однако здесь следует учитывать, что стоимость коллектора зависит от двух разнородных аргументов: от глубины закладки гончарных труб и стоимости трубок разного диаметра, причем величины диаметров зависят от модуля стока.

В табл. 2 приводится расчет стоимости трубок коллектора длиной 1500 м для модуля дренажного стока 1 л/сек/га при уклоне 0,003. Подобные подсчеты для других модулей позволяют построить кривую зависимости стоимости трубок коллектора от модуля дренажного стока на 1 га дренируемой площади (рис. 3). Эти расчеты удобно производить с помощью номограммы гидравлического расчета диаметров дренажных труб [5].

Таблица 2

Номер участков коллектора	Диаметр трубок коллектора, см	Дренируемая площадь, га	Длина коллектора с соответствующим диаметром, м	Сумма расстояния от начала коллектора, м	Стоимость трубок коллектора, руб.
1	7,5	1,10	55	55	12,1
2	10,0	2,48	124	179	39,6
3	12,5	4,70	235	414	108,2
4	15,0	7,60	380	794	243,5
5	17,5	11,80	590	1384	460,0
6	20,0	17,2 (2,32) 30,0	860 (116)	1500	106,8 970,2
Сумма	—	30,0	—	1500	970,2

Модуль дренажного стока ( $q$ , л/сек/га) определялся при расчетах расстояний между дренами как расход дрены, деленный на площадь дренирования одной дренаей. Расход дрены подсчитывался по формулам С. Ф. Аверьянова [3]:

$$Q = Q'_d \psi + Q_0 \psi_1, \quad (6)$$

где  $\psi = f(\beta_0)$ ;  $\psi_1 = f_1(\beta_0)$  — функции, графики которых приводятся в работах С. Ф. Аверьянова [3];  $Q'_d$  — расход дрены за счет сработки уровня грунтовых вод при понижении до нормы осушения на 1 пог. м

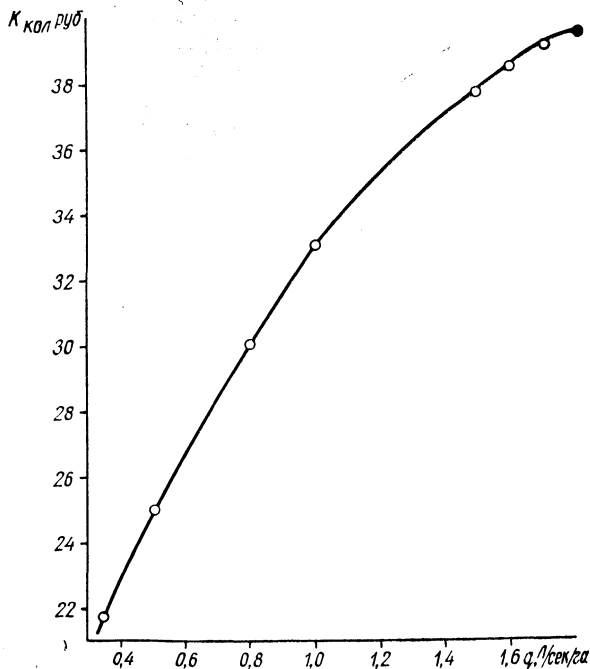


Рис. 3. Зависимость стоимости гончарных трубок коллектора (1500 м) от модуля дренажного стока.

дрены (для  $Q'_d$  формула аналогична формуле Дюпюи, но учтено несовершенство дрен коэффициентом  $\alpha$ );  $Q_0$  — расход дрены за счет инфильтрации с поверхности земли в грунтовые воды на 1 пог. м дрены:

$$Q'_d = \frac{4kTH_0}{B} \alpha; \quad (7)$$

$$Q_0 = B\varepsilon_0. \quad (8)$$

При установившемся движении ( $t = \infty$ )  $Q = Q_0$ , т. е. расход дрены формируется только за счет инфильтрации. Следовательно, формула (5) учитывает весь расход, отводимый дренажем, а поэтому модуль стока определится как

$$q = \frac{QL}{F_{др}} = \frac{Q}{B}, \quad (9)$$

где  $L$  — длина дрены,  $m$ .

По величине модуля стока и графику (см. рис. 3) находится стоимость трубок (разного диаметра) коллектора на 1 га площади дренирования.

Стоимость производства работ в зависимости от глубины закладки коллектора исчислена по проектным материалам Белгипроводхоза [9] и приводится в табл. 1 с учетом стоимости устьев.

Стоимость работ по магистральному каналу подсчитывалась с учетом технологии работ по его выполнению. Ширина канала по дну принята равной 1 м, заложение откосов при глубине канала до 2 м принималось равным  $m=2$ , при глубине до 3 м  $m=2,5$  и до 4 м  $m=3$ , наименьшая глубина 1 м.

При мощности торфяной залежи от 0,5 до 0,7 м и глубине канала 1,0 м состав работ был следующим: отрывка канала, разравнивание грунта, планировка дна и откосов канала, одерновка откосов в минеральном грунте (на высоту от дна 0,5—0,3 м) и подсев трав по откосам. При больших глубинах в технологической схеме производства работ изменялась только площадь одерновки на величину, определяемую заглублением канала в минеральный грунт. Сумма затрат при каждой глубине в соответствии с действующими ценниками на устройстве канала длиной 1000 м относилась ко всей площади дренирования (300 га). Стоимость устройства 1 га магистрального канала в зависимости от его глубины приведена в табл. 1.

Стоимость работ по регулированию водоприемника зависит в каждом конкретном случае от его состояния и от величины необходимого понижения уровня воды в нем.

При подсчете стоимостей по элементам дренажной сети учитывалась вертикальная их увязка: глубина заложения коллектора принята на 10 см больше, чем глубина заложения дрен; устье коллектора выше дна магистрального канала на 0,5 м, поэтому минимальная глубина магистрального канала равна 1,3 м.

Уровень воды в водоприемнике находится на 1,0 м ниже бровки берега (в месте впадения магистрального канала). Первый этап регулирования русла реки-водоприемника требует понижения уровня на 0,3 м, с тем чтобы сопряжение магистрального канала с водоприемником было по схеме: дно (канала) — в горизонт (водоприемника) — в бытовой период.

Гидравлический расчет показывает, что в предпосевной период уровень воды в магистральном канале не ниже уровня воды в водоприемнике. Для понижения уровня воды на 30 см предполагается расчистка русла и придание трапециевидной формы на некоторых участках. При дальнейшем заглублении дрен углубится вся проводящая сеть, а также понизится уровень воды в водоприемнике на большую глубину. Потребуется частичное спрямление русла, затем решительное спрямление (для значительного увеличения уклонов), а с еще большим заглублением — расширение и углубление русла. Наконец, при очень больших понижениях уровня воды в водоприемнике последний не сможет отводить необходимое количество воды из-за более высоких уровней в реке. Очевидно, в этом случае необходимо предусматривать строительство



насосной станции на магистральном канале, стоимость которой будет зависеть от ее мощности.

Для нахождения зависимости стоимости регулирования водоприемника от величины понижения уровня воды в нем были использованы проектные данные по многим водоприемникам (которые согласуются с данными, приведенными в работе [9]).

Эти данные выравнивались по следующей формуле:

$$\bar{K}_B = 10,4 + 99x + 7,5x^2, \quad (10)$$

где  $x = (\Delta - 0,2)$ . Здесь  $\Delta$  — величина понижения уровня воды в реке-водоприемнике (от 0,3 до 2,0).

Выравненные величины стоимости регулирования водоприемника на 1 га площади дренирования в зависимости от глубины уровня воды в нем приводятся в табл. 1.

Таким образом, функция цели в зависимости от одной переменной (глубина заложения дрен  $h$ ) выражается формулой (2), где каждая величина получает теперь определенное цифровое значение.

Для подсчета значений функции (2) необходимо определить расстояние между дренами и, следовательно, площадь дренирования одной дрены в зависимости от величины ее заглубления по формуле (4). При этом количестве дней, необходимых для понижения уровня до заданной нормы осушения, можно принять равным количеству дней от даты схода снега до посевного периода. Однако следует иметь в виду, что чем больше дней будет взято при расчете, тем больше расстояние между дренами и тем менее напряженной будет работа дренажа (при одной и той же норме осушения). Увеличение времени будет приводить к снижению стоимости строительных работ. С другой стороны, увеличивая число дней понижения уровня, мы будем задерживать начало посевных работ, что приводит к снижению урожайности культур. Так, по данным А. И. Ивицкого, каждый день опоздания с посевом ранних яровых зерновых культур на торфяных почвах снижает урожай этих культур на 0,3—1,0 ц/га [8].

В нашем расчете взят один из районов Полесья, для которого сумма температур 60°C достигается через 13 дней после даты схода снега (учитывая принятую в расчете норму осушения 0,5 м). За вторую переменную принято время  $t$  от даты схода снега.

Расчет ведется от даты наступления предпосевно-посевного периода (пять дней спустя после схода снега). Увеличивая количество дней, мы пропускаем дату посевного периода (13 дней после даты схода снега). С этого момента необходимо отсчитывать дни опоздания с началом посевных работ. Опоздание за счет медленного снижения уровня грунтовых вод формирует функцию ущерба по времени. При этом предполагается, что посевной период может начаться только после достижения заданной нормы осушения (0,5 м). При меньших значениях нормы осушения работа машин на полях затруднена или вовсе невозможна.

Функция ущерба по времени организована следующим образом. По данным различных авторов, приведенным в статье П. И. Закржевского [6], вычислялся недобор урожая по яровым зерновым (овса, ячменя, яровой пшеницы) за каждый день опоздания со сроком сева. По вычисленным данным (по каждой культуре) строился график для определения тесноты коррелятивной связи. Для всех трех культур эта связь неодинакова: близкая (внутри данного года) к функциональной

для овса и с некоторым разбросом точек при нанесении на график данных разных лет, с весьма большим разбросом для ячменя и особенно для яровой пшеницы. С учетом недостаточной тесноты коррелятивной связи между потерянными урожаем (за каждый день опоздания) и количеством дней опоздания, были наложены дополнительные условия, хотя это и уменьшило общность расчета. Из всех лет был выбран год, который более всего близок к тем климатическим условиям, для которых ведется расчет, а именно: был взят год, для которого

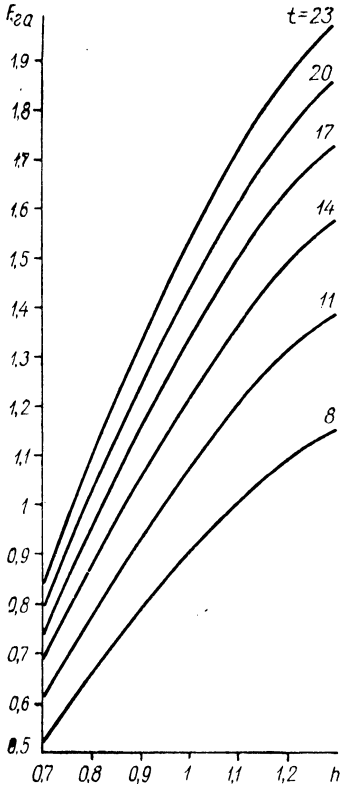


Рис. 4. Зависимость расстояний между дренами от глубины их заложения и времени водопонижения.

того количества дней от даты схода снега до начала посевного периода (14 дней) наиболее близко к принятым в расчете (13 дней), а сумма температур — к 60°С. Потери урожая за каждый день опоздания для этого года (1948) составляют в среднем по овсу 0,218 ц/га, а по ячменю — 0,192 ц/га (данных по яровой пшенице за этот год не приведено). В среднем для двух культур потеря урожая за каждый день опоздания составляет около 0,20 ц/га. Следует отметить, что для некоторых лет эта величина близка к нижней границе, указанной А. И. Ивицким [8], а для других лет — к верхней (1 ц/га). Верхняя граница характерна для лет, когда урожай примерно в 1,5 раза выше, чем в годы с нижней границей. Учитывая, что средняя закупочная цена для двух культур составляет 8,5 руб. за 1 ц, получим прямолинейную функцию потерь урожая на 1 га в зависимости от количества дней опоздания ( $t_{оп}$ ) со сроком сева

$$Y_1(t_{оп}) = 1,7t_{оп}. \quad (11)$$

Ввиду того что за критерий оптимальности системы принята сумма строительных затрат, функция ущерба от недобора урожая умножается на обратную величину нормативного коэффициента эффективности капиталовложений (для зерновых  $E=0,11$ ;  $T=9$ ), т. е. на срок окупаемости. Таким образом, функция цели от двух переменных будет иметь вид

$$\bar{K} = \frac{K_{др}}{F_{др}} + \bar{K}_{кол} + \bar{K}_{м.к} + \bar{K}_в + Y_1(t_{оп})T. \quad (12)$$

Следует отметить, что функция ущерба от недобора урожая оказалась быстро возрастающей.

Площадь дренирования  $F_{др}$  находится при постоянной длине дренай  $L=200$  м по расстояниям между дренами, определенным по уравнению (4). Величина  $B$  считается определенной, если при подстановке ее в формулу (4) получается норма осушения  $h_0$  при заданном времени  $t$ . Результаты расчета расстояний между дренами представлены

на рис. 4. Учитывая, что длина дрен постоянна ( $L=200$  м), можно найти площадь дренирования одной дренажной системой.

Результаты подсчетов по уравнению (12) приведены в табл. 3, где даны стоимости строительства дренажа на 1 га в зависимости от глубины заложения дрен и времени водопонижения.

Таблица 3

$t_{оп}$	0	0	0	1	4	7	10
$t$	5	8	11	14	17	20	23
$h$							
0,7	282,70	224,90	200,70	201,02	238,70	277,75	319,75
0,8	251,77	206,42	186,67	189,19	226,37	266,72	307,22
0,9	232,63	204,33	181,88	184,93	222,63	262,68	304,13
1,0	231,38	197,48	180,23	185,38	223,53	263,90	305,78
1,1	232,43	199,93	183,75	188,28	227,48	268,23	310,58
1,2	236,71	204,76	189,30	194,96	235,06	275,21	317,81
1,3	245,82	211,97	197,27	202,87	242,67	283,77	326,42
1,4	252,80	221,80	205,65	211,80	251,60	293,25	335,30
1,5	263,78	232,43	216,03	222,33	261,73	302,83	345,38

Рассматривался диапазон глубин заложения дрен от 0,7 до 1,5 м и время водопонижения от 5 до 23 суток. Функция ущерба вычислялась начиная с 13-х суток после даты схода снега.

Как видно из табл. 3, существует оптимальная глубина заложения при любом времени  $t$  (из рассмотренных значений). Величины стоимости вблизи точек минимума различаются незначительно, поэтому следует говорить о диапазоне оптимальных глубин, который можно принять от 0,9 до 1,1 м. С уменьшением и увеличением глубин заложения дренажа по сравнению с оптимальными стоимости возрастают незначительно.

Для всех рассмотренных глубин существует и оптимальное время понижения уровня грунтовых вод до нормы осушения, отсчитываемое от даты схода снега (при условии, что дата схода снега и начало водопонижения (работа дренажа) совпадают). Минимальное значение функции цели по времени оказывается вблизи одного и того же значения  $t=11$  дней. Это означает, что расчетный период — посевной, определенный из условия получения высоких урожаев, является одновременно и оптимальным сроком по стоимости строительства дренажной системы. Несколько иных результатов можно ожидать, если функция ущерба по времени будет определена для культур, менее требовательных к посевному сроку. В полученном результате нет отклонений от выработанных наукой и практикой рекомендаций, очевидно, потому, что в основе расчетных периодов лежат соображения экономического порядка [7].

Оптимальное значение по двум переменным определено при значениях, равных 1,0 м и 11 суткам соответственно. Это говорит о том, что для типичных условий устройства дренажных систем установленные опытом проектирования рекомендации по обоим переменным близки к оптимальным. Однако при других сочетаниях исходных (при-

родных) данных отклонения от оптимальных значений могут быть существенными, что и приводит к необходимости технико-экономических расчетов дренажных систем.

### Литература

1. *Аверьянов С. Ф.* Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. Сб. «Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод». М., 1956.
2. *Аверьянов С. Ф.* Об осушении низинных болот. Науч. зап. Моск. ин-та водн. х-ва, т. XIX, 1957.3. *Аверьянов С. Ф.* Расчет понижения и подъема грунтовых вод при осушении системой каналов (дрен). «Гидротехника и мелиорация», 1957, № 12.
4. *Бавина Л. Г.* Гидрологический режим и расчеты водного баланса болот Белоруссии. Автореф. канд. дисс., 1967. 5. *Гейтман Б. Г., Писарьков Х. А.* Осушение сельскохозяйственных земель. М.—Л., 1965. 6. *Закржевский П. И.* Начало посевного периода при мелиорации болот Белоруссии. Сб. «Мелиорация и использование осушенных земель», т. XV. Минск, 1967. 7. *Ивицкий А. И.* Предпосевной период и предпосевно-посевной сток в условиях БССР. Тр. ин-та болотного х-ва, т. 1, 1938. 8. *Ивицкий А. И.* Основные полсжения и методы сельскохозяйственного осушения болот. Сб. «Осушение болотных и заболоченных почв нечерноземной зоны Европейской части СССР». Минск, 1960. 9. *Колобаев А. Н.* Вопросы оптимизации параметров водохозяйственных систем (на примере БССР). Дисс. М., 1966. 10. *Мурашко А. И., Клишко В. Т., Лебедев Ф. А.* Новые конструкции дренажных устьев. Сб. «Мелиорация и использование осушенных земель», т. XV. Минск, 1967. 11. *Шебеко В. Ф.* Водный баланс мелиорируемых низинных болот. Автореф. докт. дисс. М., 1967. 12. *Шишков К., Станкевич В.* Условия применения двустороннего регулирования водного режима на осушенных пойменных землях. «Вест. с.-х. науки», 1967, № 4.