ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ

ГИДРОТЕХНИКА
МЕЛИОРАЦИЯ

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ ФАКУЛЬТЕТОВ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Под общей редакцией академика ВАСХНИЛ
С. Ф. АВЕРЬЯНОВА

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для слушателей факультетов повышения квалификации высших сельскохозяйственных учебных заведений.

МОСКВА «КОЛОС» 1973

631.6
О—69
УДК 631.67(075.8)

Авторы: доктор технических наук, профессор *Л. В. Скрипчинская* (гл. I); член-корр. ВАСХНИЛ *Б. Б. Шумаков* (гл. IV); кандидаты технических наук, доценты *М. Г. Мамаев* (гл. II, III, VI), *И. П. Айдаров* и *А. И. Голованов* (гл. V).

Предисловие академика ВАСХНИЛ *С. Ф. Аверьянова.*

О—69 **Оросительные** мелиорации. Под общ. ред. акад. ВАСХНИЛ С. Ф. Аверьянова. М., «Колос», 1973.

191 с. (Учеб. пособия для фак. повышения квалификации руководящих кадров и специалистов сельск. хоз-ва).

Изложены основные принципы проектирования и строительства оросительных систем с учетом новейших отечественных и зарубежных достижений в этой области. Даны рекомендации по теории и практике установления поливных режимов и способов полива. Рассмотрены меры борьбы с засолением орошаемых земель и водной эрозией почв.

О $\frac{0435—313}{035(01)—73}$ 315—73 631.6

© Издательство · «Колос» · 1973

ПРЕДИСЛОВИЕ

В нашей стране разработана и проводится в жизнь долговременная программа орошения и осушения земель. В решениях XXIV съезда КПСС и в последующих постановлениях ЦК КПСС и Совета Министров СССР намечено значительное ускорение темпов мелиорации, увеличение средств, выделяемых на эти цели, определены новые рубежи в развитии этого важнейшего направления интенсификации сельскохозяйственного производства. Лето 1972 г., отличавшееся невиданной засухой, наглядно показало, как важно для роста урожайности во многих зонах страны иметь совершенные мелиоративные системы. Они позволят стабилизировать и резко увеличить урожаи и валовые сборы хлопка, зерна, кормовых и овощных культур, картофеля.

В мелиорации наступил новый этап. Она развернулась небывало широко и проводится как на небольших колхозных участках, так и на огромных массивах во всех природных зонах СССР. Разработаны и строятся новые мелиоративные системы, технически совершенные, обеспечивающие наибольший выход продукции при минимуме совокупных затрат. Весьма характерно, что мелиоративными работами ныне охвачены крупные регионы, то есть влияние мелиорации распространяется очень широко.

В связи с этим перед мелиоративной наукой выдвигаются сейчас новые и серьезные проблемы. Одна из них — исследование и разработка методов наиболее полного регулирования (оптимизации) внешних условий жизни растений (водного, пищевого, теплового режимов) для получения устойчивых высоких урожаев в любой по климатическим условиям год с учетом экономической рентабельности. Для этого необходимо точно установить основные закономерности движения влаги, тепла и питательных веществ в системе почва — расте-

ние. Наукой и практикой накоплено немало данных, но подавляющая часть их рассматривает воздействие лишь какого-нибудь одного фактора, тогда как их надо изучать в совокупности. Общая теория этой проблемы разрабатывается, но исследования следует предельно ускорить.

Имеются также данные, свидетельствующие о неиспользуемых пока в земледелии больших биологических возможностях сельскохозяйственных культур и энергетических потенциалах различных зон СССР. При благоприятном сочетании всех факторов развития в полевых опытах на орошаемых землях Северного Кавказа получены урожаи пшеницы по 80—100 ц/га, а на хорошо осушаемых (и увлажняемых дождеванием) торфяниках Минской области — по 70—90 ц/га.

Выбор конкретных приемов мелиораций в каждом случае надо определять экономическими показателями рентабельности и степенью интенсификации хозяйства.

Острой проблемой в ряде мест становится бесперебойное снабжение оросительных систем водой, пригодной для полива той или иной культуры. Сейчас для нужд сельского хозяйства потребляется ежегодно около 140 км³ воды при общем потреблении всеми отраслями народного хозяйства примерно 240 км³. К 1986 г. потребность в воде для орошения возрастет до 200 км³ в год. Хотя общие водные ресурсы нашей страны велики (около 4700 км³ в год), распределены они крайне неравномерно: на самую обжитую и пригодную для сельского хозяйства территорию приходится только пятая часть речного стока.

Однако запасы воды не беспредельны, поэтому надо более экономно расходовать воду на орошаемых землях, что достигается, помимо проведения организационно-хозяйственных мер (полив без сбросов), реконструкцией старых и строительством новых, технически совершенных оросительных систем, закрытых или облицованных каналов. Если до последнего времени на оросительных системах страны терялось около половины воды, то в будущие 10—15 лет есть все основания повысить полезное использование ее до 80%. Конструкции таких систем уже разработаны, их надо шире применять.

Другой путь более экономного расходования воды — подпочвенное орошение, когда вода попадает непосредственно в корнеобитаемый слой почвы через пористые

или перфорированные трубки, расположенные под землей, или «капельный» метод, когда вода к растениям проводится по густой системе тонких пластмассовых трубок. Такое орошение требует значительных капитальных вложений и пока применяется главным образом при выращивании наиболее интенсивных культур. Ведутся исследования по применению пластмассовых труб, уложенных бестраншейным способом, что приближает экономику таких систем к нормативной.

Третий способ увеличения водообеспеченности оросительных систем — это регулирование стока рек путем строительства специальных водохранилищ. Например, в бассейне Сырдарьи создается целый каскад крупных водохранилищ: Кайраккумское, Чардаринское, Токтогульское и другие, в бассейне Амударьи — Нурекское, Туямуюнское. Советская гидротехника достаточно подготовлена к строительству крупных гидроузлов комплексного назначения.

Важный резерв получения воды для ирригации — более широкое использование ежегодно восстанавливаемых запасов подземных вод. Однако к этому вопросу следует подходить с большой осторожностью, не допуская истощения ресурсов пресных подземных вод — основного источника водоснабжения для нужд растущего населения.

Но и при использовании указанных возможностей естественное потребление воды сельскохозяйственными культурами при высоких урожаях таково, что для обеспечения развития орошаемого земледелия в перспективе необходима переброска части стока (нескольких десятков кубических километров) рек северных районов страны в южные. Эта сложная комплексная проблема затрагивает интересы сразу многих отраслей народного хозяйства и поднимает такие крупнейшие вопросы, как подъем уровня Каспийского моря, сохранение Аральского и предохранение от дальнейшего засоления Азовского. Возникающие при этом научно-технические проблемы весьма сложны, но принципиально разрешимы. Более трудным является научно обоснованный прогноз изменений природной среды, которые произойдут под влиянием такого решительного нарушения исторически сложившихся природных условий; поэтому исследования в этой области необходимо расширить. Осуществление таких уникальных научно-технических проектов, как

переброска части стока северных рек на юг в условиях планового социалистического хозяйства вполне реально и будет весомым вкладом в развитие широкого долговременного орошения на юге страны.

Важнейшей проблемой в мелиорации является разработка и внедрение таких способов и техники полива, которые позволили бы при сохранении его высокого качества резко повысить производительность труда. Этот вопрос решается путем применения дождевания и автоматизированной подачи воды в борозды и полосы, которые при тщательной планировке участка могут быть более длинными, что повысит производительность труда.

Широкий выпуск новых широкозахватных дождевальных машин «Фрегат» и «Волжанка» в дополнение к существующим позволит к концу пятилетки проводить искусственное дождевание на третьей части всех орошаемых земель. Тем не менее необходимо и дальше вести разработку дождевальных и других поливных машин различных конструкций и параметров, чтобы охватить ими все зоны с их природными различиями, а также искать новые приемы в самих способах полива, повышающие производительность труда.

Около половины орошаемых и намеченных к орошению земель засолено или склонно к засолению, недобор урожаев на них исчисляется сотнями миллионов рублей ежегодно. Наука и практика показали, что для борьбы с засолением служат в основном промывки и устройство дренажа — постоянного (закрытого) и временного (открытого), применяемого при капитальных промывках в течение 1—3 лет.

Касаясь теоретической стороны этой проблемы, можно утверждать, что уже созданы методы прогноза водно-солевого режима орошаемых земель, а также способы расчета дренажа и промывок, основанные на современных представлениях о закономерностях растворения и передвижения солей и подземных вод, позволяющие достаточно точно и научно обосновывать параметры промывок и дренажа.

Рассолению подлежит площадь в несколько миллионов гектаров, а закрытый дренаж имеется на площади только полумиллиона гектаров. Отсюда видно, как важно форсировать дренажное строительство.

В последнее время ведутся поисковые работы по усилению действия закрытого дренажа путем создания

вакуума, применения комбинированного дренажа (вертикально-горизонтального), а также ускорения рассоляющего влияния дренажа и промывок с помощью постоянного электрического поля.

Широкий разворот научных исследований по рассолению почв, использование современных машин и материалов при должном масштабе практических работ позволяет избавить орошаемые земли от засоления и в дальнейшем вводить их в оборот, заранее ликвидировав возможность засоления. Избавление от грозной опасности вторичного засоления было бы серьезным вкладом в развитие интенсивного земледелия во многих районах нашей страны.

ГЛАВА I
РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

●

Ограниченность земельных и водных ресурсов предъявляет в современных условиях к орошаемому земледелию два основных требования: получение максимума сельскохозяйственной продукции с единицы орошаемой площади и наиболее экономное и эффективное использование воды и земли.

Увеличение продуктивности орошаемых земель должно идти, с одной стороны, за счет интенсивного их использования, а с другой, за счет повышения урожайности, и тут большая роль принадлежит режиму орошения сельскохозяйственных культур.

Факторы, влияющие на режим орошения сельскохозяйственных культур

В понятие режима орошения входит определение:
общего водопотребления той или иной культуры;
оросительной нормы для данной культуры;
сроков и норм полива и согласование режима поливов с общей величиной оросительной нормы;
графика гидромодуля для севооборотного участка и его укомплектование.

Запроектированный режим орошения должен:
соответствовать потребностям растения в воде в каждую фазу его развития с учетом требований агротехники и вида культуры;
регулировать водный, питательный, солевой и тепловой режимы почвы;
способствовать повышению плодородия орошаемых земель, не допуская заболачивания, засоления и эрозии почвы.

Общее водопотребление или суммарное испарение влаги, слагающееся из транспирации растений и испарения с поверхности почвы, зависит от тепловой энергии,

климатических условий, влажности почвы и вида возделываемой культуры. Соотношение между транспирацией растений и испарением с поверхности почвы колеблется в широких пределах и связано с фазой развития растения, его особенностями и степенью покрытия почвы растениями.

Как показали многочисленные исследования, суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур возрастает с повышением порога предполивной влажности почвы, однако расход воды на 1 ц урожая уменьшается в связи с ростом последнего. Помимо этих факторов, на величину суммарного испарения оказывает влияние внесение удобрений, способствующее повышению урожая и увеличению водопотребления.

Суммарное потребление воды удовлетворяется поливами, осадками, использованием воды из зимних запасов почвы и возможным подпитыванием снизу пресными грунтовыми водами при близком их залегании от поверхности.

Таким образом, количество воды, которое нужно дать во время поливов, или оросительная норма, зависит от всех вышеуказанных факторов и выражается формулой А. Н. Костякова.

$$M = E - P_{\text{исп}} - \Delta W - W_{\text{гр}} \quad \text{м}^3/\text{га}, \qquad (1)$$

где E — суммарное водопотребление, м³/га;
$P_{\text{исп}}$ — используемые осадки расчетной обеспеченности, м³/га;
ΔW — используемый запас влаги из почвы, м³/га;
$W_{\text{гр}}$ — объем воды, поступающий при подпитывании от близко залегающих грунтовых вод, м³/га.

В зависимости от климатических, почвенно-мелиоративных условий и возделываемых культур все составляющие элементы оросительной нормы могут иметь разные количественные значения.

Используемыми осадками считают те, которые поступают непосредственно в активный слой почвы за рассматриваемый период, поэтому

$$P_{\text{исп}} = Pa,$$

где P — осадки, зарегистрированные на метеорологических станциях, м³/га;
a — коэффициент использования осадков, который рекомендуется различными авторами, а также

техническими условиями: для вегетационного периода $a=0{,}6-0{,}8$; для невегетационного $a=0{,}2-0{,}6$.

При расчете водопотребления и оросительной нормы по методу Алпатьева коэффициент использования осадков вообще не вводится в расчетные формулы.

Используемый запас влаги в почве (ΔW) определяют как разность между запасами влаги в начале и конце вегетации, то есть $\Delta W = W_{нач} - W_{кон}$. Как показали многочисленные наблюдения за наличными запасами влаги к началу вегетации в основных орошаемых районах, относящихся к зоне недостаточного увлажнения и засушливой, они оказываются значительно меньше запасов, соответствующих предельно полевой влагоемкости. Это обстоятельство послужило основанием для искусственного пополнения начальных запасов влаги в почве путем так называемых влагозарядковых или запасных поливов. Влагозарядковые поливы должны пополнять запасы влаги не только в активном слое почвы, но и в более глубоком (до 2—3 м).

Влагозарядковые профилактические поливы в Средней Азии — важный прием, регулирующий не только водный, но главным образом солевой режим почвогрунтов (см. главу V).

Объем воды ($W_{гр}$), поступающий в корнеобитаемый слой при подпитывании от близко залегающих грунтовых вод, зависит от многих факторов, основными из которых являются положение уровня грунтовых вод, водно-физические свойства почвогрунтов, климатические условия и вид сельскохозяйственных культур.

Таблица 1

Поправочные коэффициенты, учитывающие участие грунтовых вод в водообеспеченности растений

Механический состав почв	Глубина грунтовых вод, м		
	3—4	2—3	1—2
Легкие	1,0	0,86	0,66
Средние	0,96	0,84	0,62
Тяжелые	0,90	0,78	0,60

Большинство авторов оценивают величину подпитывания в зависимости от этих факторов в объемах или в долях от оросительной нормы или водопотребления. Например, для степной части Украины при пресных

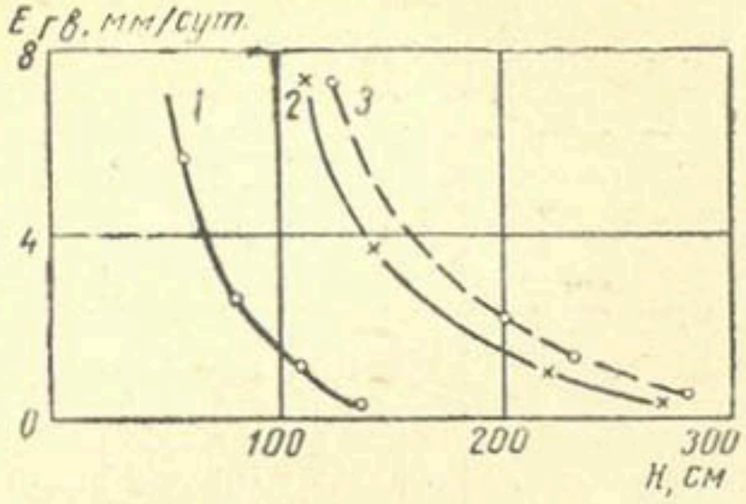


Рис. 1. Зависимость интенсивности испарения грунтовых вод ($E_{г.в}$) от глубины залегания их уровня (H) для:
1 — Западной Сибири; *2* — Бухары; *3* — Голодной степи.

грунтовых водах УкрНИИГиМ рекомендует вводить следующие поправочные коэффициенты (табл. 1).

Влияние климатических условий на интенсивность испарения грунтовых вод наглядно показано на графике (рис. 1).

При слабо- и среднеминерализованных грунтовых водах возможность и целесообразность их использования культурными растениями должна быть доказана путем составления прогноза солевого режима орошаемых земель (см. гл. V).

Величину поливной нормы определяют по формуле

$$m = 100 H \gamma (\beta_{max} - \beta_{min})\ K_и\ м^3/га, \qquad (2)$$

где H — активный слой почвы, м;

γ — среднее значение объемного веса для активного слоя, т/м³;

β_{max} — влажность грунта, соответствующая предельно полевой влагоемкости, % от веса сухой почвы;

β_{min} — влажность грунта для того же слоя перед поливом, соответствующая нижнему порогу влажности, % от веса сухой почвы;

$K_и$ — коэффициент, учитывающий потери воды на испарение в процессе полива.

Величина активного слоя (H), где располагается основная масса корней, зависит в основном от характера и фазы развития возделываемой культуры (табл. 2).

Таблица 2

Величина активного слоя почвы, принимаемая в различных районах орошения

Культуры	Величина активного слоя (м), принятая			
	Лысогоровым	Алпатьевым	Горюновым	в США
Зерновые	0,3—0,9	0,6—1,0	—	1,2
Кукуруза	0,3—1,0	0,6—1,0	—	1,2
Люцерна	0,4—1,5	0,7—1,0	—	1,2
Овощные	0,4—0,7	0,4—0,7	—	0,9
Хлопчатник	0,5—1,0	0,5—1,0	0,8—1,0	—
Сахарная свекла	—	0,6—1,0	0,8—1,0	0,9

Среднее значение объемного веса (γ) для активного слоя почвы зависит от структуры, сложения, механического состава (в меньшей мере) и колеблется в пределах 1,3—1,6 т/м³.

Влажность грунта, соответствующая предельно полевой влагоемкости, зависит от вида почвы, механического состава (табл. 3) и других факторов.

Таблица 3

Значение предельно полевой влагоемкости для различных почв и грунтов в метровом слое

Почвы	По Розову для Средней Азии		По Натальчуку для Поволжья		По Алпатьеву для Украины
	% от веса сухой почвы	м³/га	% от веса сухой почвы	м³/га	% от веса сухой почвы
Очень легкие супесчаные	—	—	11—15	1500—2100	6—12
Суглинки легкие	13—19	1800—2600	15—20	2100—2800	13—18
Суглинки средние	19—21	2100—2900	20—25	2800—3500	19—23
Суглинки тяжелые	22—26	3000—3600	25—28	3600—4000	24—26

Кроме того, на величину предельно полевой влагоемкости на почвах легкого механического состава оказывают влияние содержание гумуса и пылеватые фракции.

Нижний порог влажности (β_{min}) — это влажность активного слоя, при которой резко снижается доступ-

ность почвенной влаги для растений и замедляется их рост. Анализ многочисленных исследований по изучению влияния разной степени увлажнения почвы на рост и развитие различных культур позволил выявить оптимальный нижний порог почвенной влажности, основанный на чисто физиологических потребностях растения и определяющий его потенциальные способности к повышению урожая. Этим порогом является влажность, равная примерно 70—75% от предельно полевой влагоемкости (ППВ).

Как показали исследования С. Н. Рыжова (1968), поливы при большей влажности снижают урожай репродуктивной части, а поливы при меньшей уменьшают накопление всей органической массы. Исключением являются культуры, возделываемые для получения наибольшей вегетативной массы (овощи и кормовые), для которых нижний предел влажности принимается 80—85% от ППВ. Существенный фактор, ограничивающий пределы оптимальной влажности,— высокая концентрация почвенного раствора, создаваемая за счет повышенного содержания солей и ведущая к резкому снижению урожая. Для предотвращения этого отрицательного явления и получения на засоленных землях хорошего урожая хлопчатника, трав и других культур рекомендуется поддерживать влажность почвы между поливами 80—85% от ППВ.

При назначении нижнего порога влажности необходимо учитывать и целесообразность дополнительной затраты воды, особенно при ограниченности водных ресурсов. Прирост зеленой массы кукурузы идет интенсивно лишь до величины оптимального увлажнения почвы 70% ППВ. С увеличением степени увлажнения резко увеличивается расход оросительной воды на каждый центнер дополнительного урожая.

Для некоторых культур (хлопчатник и сахарная свекла) рекомендуется несколько снижать нижний порог влажности к моменту созревания и в начальный период. В течение всего остального времени даже кратковременное уменьшение влажности, особенно в критические периоды развития растений, приводит к потере урожая.

С точки зрения С. М. Алпатьева (1971), назначение нижнего предела влажности целесообразно дифференцировать не только по культурам, но и по характеру

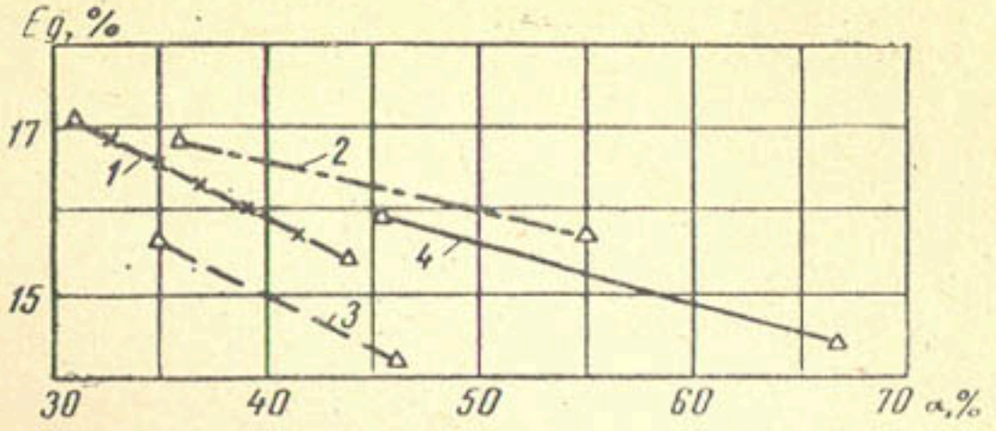


Рис. 2. Потери на испарение (*Eg*) в зависимости от относительной влажности воздуха (*a*):

1 — при *t*=30,5°, *v*=1,8—1,9 м/с; *2* — при *t*=31,1°, *v*=2,2 м/с; *3* — при *t*=30,9—31,4°, *v*=1,4—1,6 м/с; *4* — при *t*=27°, *v*=1,6—1,7 м/с.

почв и грунтов: на глинистых и тяжелосуглинистых нижний предел должен соответствовать 75—80% от ППВ, на суглинистых — 70—75%, а на легкосуглинистых и супесчаных — 55—65%. Есть некоторые рекомендации по назначению нижнего порога влажности в зависимости от гидрогеологических условий.

Коэффициент, учитывающий потери воды на испарение в процессе полива ($K_и$), при круглосуточном поливе поверхностным способом не превышает 2—3%, поэтому им можно пренебречь. Величина потерь воды на испарение при дождевании согласно техническим условиям и нормам проектирования составляет около 10% для зоны недостаточного увлажнения и 30—50% для засушливой. Потери при дождевании складываются из потерь воды с поверхности капель при полете, испарения воды с листовой поверхности и испарения из почвы в процессе полива. Величина потерь с поверхности капель зависит, как все остальные виды потерь, от климатических условий, но, кроме того, и от типа дождевальных насадок.

Потери с листовой поверхности зависят от вида растений и климатических условий: температуры, ветра, относительной влажности воздуха (рис. 2).

Наибольшее же влияние на величину испарения из почвы в процессе полива оказывает характер работы дождевальной машины. В условиях жаркого и сухого климата лучше работают дождевальные машины позиционного действия. Наиболее целесообразно применять там дождевание только при орошении земель с близким

залеганием неминерализованных грунтовых вод, когда надо давать сравнительно небольшие поливные нормы.

Кроме указанных факторов, на величину поливной нормы влияет назначение полива. Например, предпосевные и предпахотные поливы проводят поливной нормой 400—600 м³/га, посадочный полив — 250—400, подкормочные или удобрительные поливы — до 100, освежительные поливы — 30—100, противозаморозковые — 50—100, промывные — 1500—3000 м³/га и более.

В последнее время разрабатываются совершенно отличные от описанных способы подачи воды к растениям (импульсное и капельное орошение), которые позволяют наиболее полно, то есть непрерывно, удовлетворять потребность растений в воде и питательных веществах, в результате чего повышаются урожаи сельскохозяйственных культур и значительно экономится потребное количество воды. Эти виды орошения требуют совершенно иного подхода к расчету режима орошения по сравнению с существующим и находятся пока на стадии эксперимента и незначительного производственного применения.

Поливной режим культур разрабатывается для каждого почвенно-мелиоративного района с учетом метеорологических условий года, чтобы не допускать непроизводительной затраты оросительной воды и обеспечить нужную ее потребность в целях получения высоких урожаев. Поливной режим отдельных культур для года с расчетной обеспеченностью осадками определяется графоаналитическим методом А. Н. Костякова (1960) и корректируется данными опытных учреждений.

В последние годы используется метод С. М. Алпатьева (1971), согласно которому поливы также назначаются графоаналитическим способом, но при 95%-ной обеспеченности не только по осадкам, а и дефициту водного баланса.

В процессе эксплуатации поливной режим назначают в зависимости от конкретных метеорологических условий вегетационного периода. Определять оптимальные сроки полива можно различными способами. Наибольшее распространение получил способ определения по дефициту влажности корнеобитаемого слоя почвы, но он трудоемок и не всегда отражает истинную картину явлений. Поэтому разработаны способы назначения поливов по физиологическим показателям.

Как показали наблюдения, растения наиболее чувствительны к недостаточному водоснабжению в критические периоды своего развития. Поэтому получило распространение установление сроков поливов по фазам развития растений. Кроме того, для вычисления водопотребления в процессе выращивания сельскохозяйственных культур имеются еще физические и физико-биологические методы, основанные на учете метеорологических элементов.

Как у нас в стране, так и за рубежом установлены зависимости величины водопотребления от таких факторов, как температура воздуха, солнечная радиация, дефицит влажности воздуха и др. Но есть и такие зависимости, в которые (помимо указанных выше метеорологических факторов) входят и биологические, учитывающие особенности водопотребления отдельных культур. Результаты сравнения водопотребления, определенного экспериментальным путем и биофизическим методом, показали, что последний дает лучшие результаты сходимости, поэтому он получил широкое распространение и в СССР, и в других странах.

Для внедрения в практику режима орошения у нас рекомендован биофизический метод (УкрНИИГиМ). Определяя по этому методу водопотребление за определенный промежуток времени, а также зная исходный запас влаги и количество осадков, можно вычислить наличный запас влаги к концу заданного периода, сравнить его с допустимым нижним пределом и решить вопрос о необходимости очередного полива.

В США при назначении режима орошения применяют электронно-вычислительные машины, которые сконцентрированы в вычислительном центре, а информация туда и обратно идет по телетайпу.

При составлении программы для ЭВМ учитывается интенсивность солнечной радиации, суточная испаряемость влаги (потенциальная), поправочный коэффициент культуры.

На засоленных или подверженных засолению орошаемых землях применяют, как правило, промывной режим орошения (см. гл. V).

В целях более рационального использования поливной воды необходимо проводить технико-экономическое обоснование поливного режима. Экономически целесообразным следует считать такой поливной режим, ко-

торый обеспечивает наиболее рентабельное ведение сельскохозяйственного производства.

На основании установленного режима орошения (сроков и норм поливов) составляют график гидромодуля, ординаты которого укомплектовывают за счет изменения сроков и продолжительности поливов в допустимых пределах.

На величину ординат укомплектованного графика гидромодуля оказывает влияние тип поливной и дождевальной техники.

Анализ методов для определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур

В практике орошаемого земледелия существует несколько методов для определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур. Наиболее достоверные данные о величине водопотребления сельскохозяйственных культур можно получить в результате изучения водопотребления в полевых условиях или в лизиметрах. Этот метод непосредственного определения водопотребления основан на изучении водного и теплового балансов и требует много времени, больших затрат труда и средств.

При определении водопотребления расчетным путем в проектных режимах орошения в СССР наибольшее распространение получил метод А. Н. Костякова (1960), основанный на использовании плановой урожайности и коэффициента водопотребления. Однако коэффициент водопотребления зависит от многих факторов (климатические условия, урожайность, плодородие почвы и агротехника) и, несмотря на наличие густой сети опытных учреждений, получить правильные его значения не представляется возможным, что приводит к ошибкам при определении этой величины. Кроме того, из-за отсутствия соответствующих коэффициентов этим методом нельзя определить величину водопотребления в зависимости от степени засушливости года.

Ограниченность водных ресурсов и переход от самотечного орошения к механическому водоподъему диктуют необходимость точного вычисления потребности растений в воде, меняющейся по годам. Длительное изучение процессов испарения и транспирации позволило установить зависимости этих явлений от целого ряда

факторов: географических, энергетического баланса, а также климатических с учетом биологических особенностей возделываемой культуры.

Впервые в СССР учитывать биологический коэффициент при определении водопотребления, помимо суммы температур воздуха, стал Г. К. Льгов. За рубежом также имеется ряд формул, которые наряду с климатическими факторами учитывают влияние произрастающей культуры путем введения различных коэффициентов, характеризующих ее водопотребление. В последние годы в нашей стране, а также в Болгарии, Югославии, Чехословакии и других странах стал широко применяться так называемый биоклиматический метод А. М. Алпатьева, в основу которого положена зависимость водопотребления от дефицита влажности воздуха и биологической особенности сельскохозяйственных культур:

$$E = K\Sigma d, \qquad (3)$$

где E — водопотребление, мм;
K — биологический коэффициент, имеющий различные значения для отдельных культур и для различных периодов вегетации;
Σd — сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мб.

Этот метод широко применяют как для расчета проектных режимов, так и для корректировки режимов орошения в процессе эксплуатации, потому что он позволяет вычислять водопотребление за любой промежуток времени. Значение биологического коэффициента получают на основании данных исследований по водопотреблению культур при орошении с оптимальным увлажнением в различных орошаемых районах.

Влияние климатических факторов и географического месторасположения на значение биологических коэффициентов показано на рисунке 3.

Мелиоративное районирование орошаемой территории по режимам орошения сельскохозяйственных культур

Районирование режимов орошения, разработанных на основе учета природных и хозяйственных условий и биологических особенностей сельскохозяйственных культур, при наиболее эффективном использовании земель-

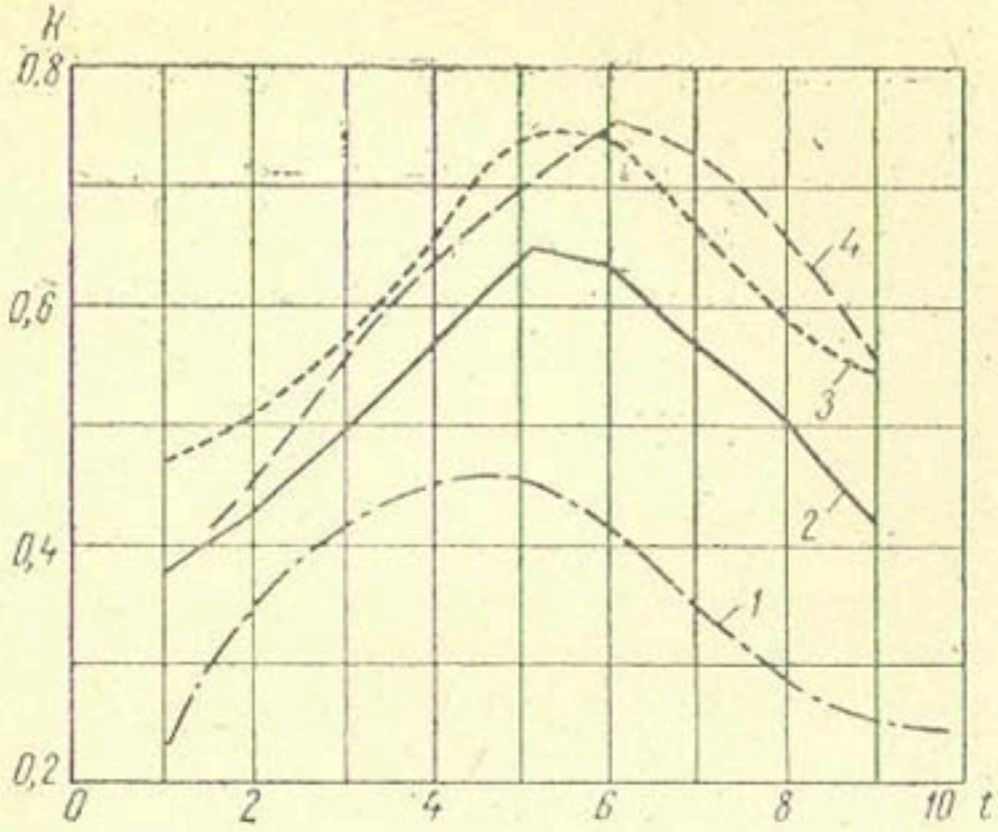


Рис. 3. Изменение коэффициента биологической кривой (K) водопотребления картофеля по данным различных авторов:

1 — С. М. Алпатьева (для степной зоны УССР); *2* — М. Г. Голченко (БССР); *3* — Э. А. Струнникова (Ленинград); *4* — А. М. Алпатьева (Пушкинская база ВИР); *t* — количество декад от всходов.

ных и водных ресурсов способствует повышению продуктивности орошаемого земледелия.

Первоначальное и основное районирование режимов орошения обычно ведут по климатическим условиям, а следовательно, и географическому положению орошаемого участка.

В отечественной и зарубежной литературе предложено много показателей, освещающих степень естественного увлажнения территории и, следовательно, необходимость искусственного увлажнения, характеризующегося определенным режимом орошения. Наибольшее распространение в СССР получили методы Н. Н. Иванова (1941), В. С. Мезенцева и др., основанные на анализе теплообеспеченности или испаряемости и характеристики естественного увлажнения. Испаряемость за вычетом осадков представляет собой объективный показатель дефицита влажности, выражающий потребность культурных растений в оросительной воде. Дефицит водного баланса в разных местах европейской части СССР различен для отдельных культур в год 95%-ной обеспеченности осадками (табл. 4). Биологи-

Таблица 4

Дефицит водного баланса некоторых культур в европейской части СССР

Пункт	Дефицит водного баланса, мм		
	озимая пшеница	овощи	люцерна
Астрахань — Гурьев	280	430	580
Украина (юг)	200	340	440
Полтава — Харьков	160	280	340

ческие особенности отдельных культур заметно влияют на величину оросительной нормы, если отсутствует подпитывание грунтовых вод и не используются запасы влаги в почве. В зависимости от климатических условий каждого года на одной и той же территории потребность культур в воде может резко меняться для зоны недостаточного и неустойчивого увлажнения (табл. 5).

Таблица 5

Изменение оросительной нормы для озимой пшеницы в зависимости от обеспеченности осадками (Одесская область)

Показатель	Обеспеченность осадками, %			
	95	75	50	25
Оросительная норма, м³/га	3400	2700	2000	1100

Засушливость отдельных лет для данного района может оказывать бóльшее влияние на величину оросительной нормы, чем территориальное изменение на значительном расстоянии.

При районировании земель с различными почвенно-мелиоративными условиями на территории Средней Азии проведено деление (Средазгипроводхлопок) почвенно-климатических зон на гидромодульные районы в зависимости от водно-физических свойств почв, их механического состава и глубины грунтовых вод. На засоленных или подверженных засолению орошаемых землях режимы орошения целесообразно дифференцировать в зависимости от степени и характера засоления почв, грунтов и грунтовых вод (см. гл. V).

Анализ водного и солевого режимов земель позволяет районировать орошаемые территории по необходимости проведения влагозарядковых и профилактических поливов.

Орошаемые территории можно районировать по природным условиям, по направлению хозяйств и технике полива, которые также накладывают свой отпечаток на режим орошения всей площади, обосновывая ту или иную величину расхода или ординаты гидромодуля.

При районировании территории на отдельные климатические зоны, обусловливающие принятие различного режима орошения, оценку можно вести и с точки зрения эффективности орошения той или иной культуры.

Гидромодуль

На основании установленного режима орошения для всех сельскохозяйственных культур проектируемого севооборота (оросительных и поливных норм, сроков и числа поливов) составляют неукомплектованный и укомплектованный графики гидромодуля (график удельных расходов воды). Пример таких графиков гидромодуля для хлопково-люцернового севооборота приведен на рисунке 4.

Согласно нормам и техническим условиям проектирования оросительных систем, рекомендуется максимальные ординаты гидромодуля для типовых севооборотов принимать в зависимости от климатических зон почвенно-мелиоративных районов и техники полива. При этом ординаты гидромодуля изменяются в следующих пределах: для хлопково-люцернового севооборота 1,0—0,40 л/с на 1 га, зернового севооборота 0,50—0,20, овоще-кормового севооборота 0,60—0,24 л/с на 1 га. Исходя из этих указаний, для овоще-кормового севооборота в условиях Нижнего Поволжья максимальные ординаты в зависимости от почвенно-мелиоративных районов составляют 0,6—0,7 л/с на 1 га.

Стремление передовых хозяйств наилучшим образом обеспечить растения влагой для получения высоких урожаев, а также более интенсивно использовать орошаемые земли путем широкого внедрения повторных посевов с круглогодовым использованием пашни и вовлечения в орошаемые севообороты засоленных земель диктует необходимость пересмотра существующих реко-

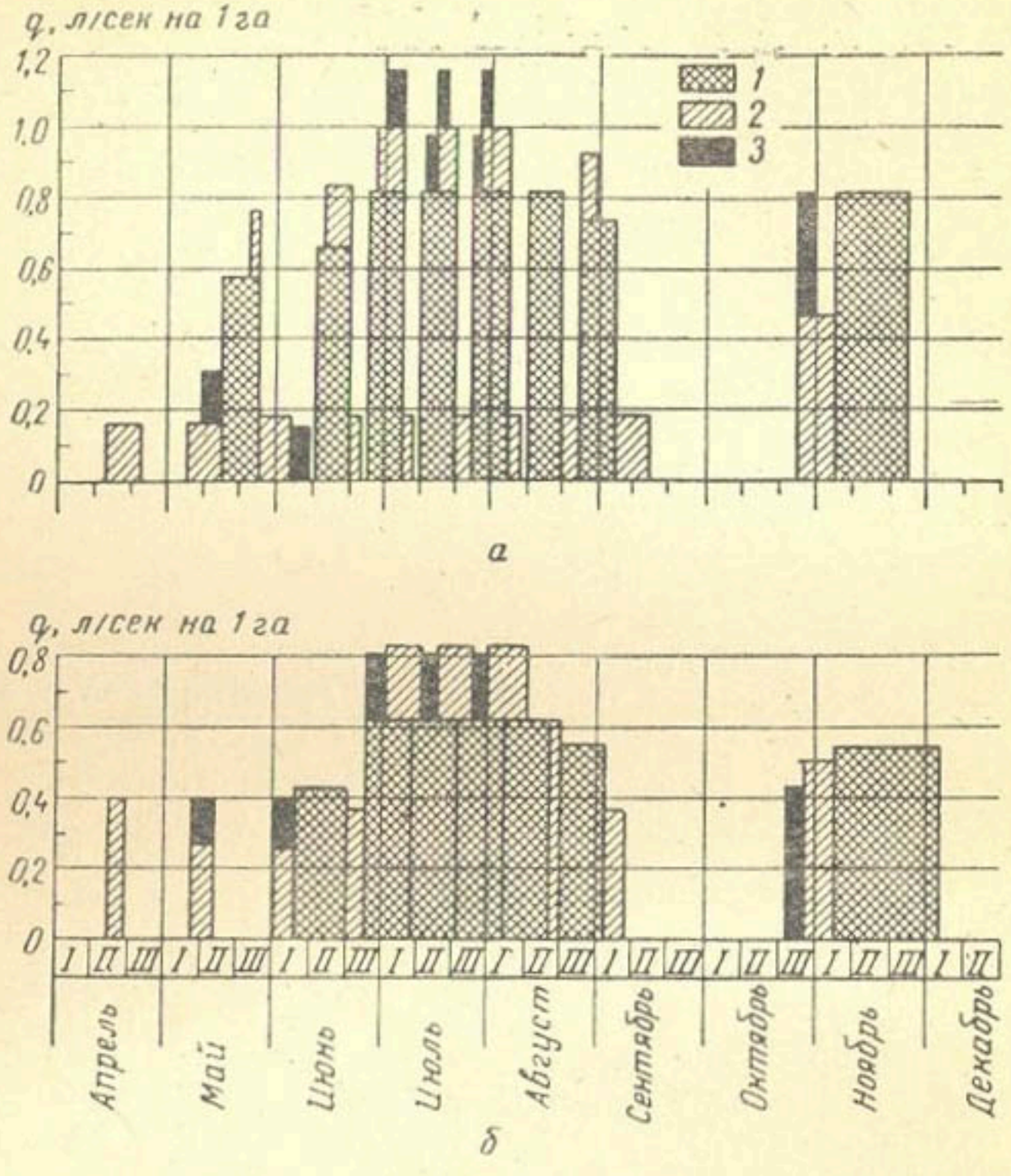


Рис. 4. Графики гидромодуля:
а — неукомплектованный; *б* — укомплектованный; *1* — хлопчатник; *2* — люцерна; *3* — кукуруза на зерно.

мендаций в сторону их некоторого увеличения. Не удовлетворяют существующие графики гидромодуля и требованиям современной дождевальной техники, особенно на больших массивах. Поочередное проведение поливов всех культур в установленные сроки, которые часто не превышают 1—2 суток, вызывают концентрацию большого числа дождевальных машин на одном поле севооборота, что значительно усложняет условия эксплуатации. В последние годы появилась новая высокопроизводительная дождевальная техника, имеющая свои

определенные циклы работы, которые совершенно не соответствуют времени, отводимому для полива отдельных культур согласно графику гидромодуля. Все это говорит о том, что при дождевании график режима орошения должен быть несколько видоизменен и увязан с расходами и характером работы принятых дождевальных машин.

Режим орошения риса

Режим орошения риса, возделываемого с затоплением, как известно, коренным образом отличается от режима орошения культур с периодическими поливами.

В отечественной практике возделывания затопляемого риса существуют три основных водных режима: постоянное, укороченное и прерывистое затопление риса.

Наибольшее распространение получили первые два режима, из которых укороченное затопление лучше отвечает физиологическим особенностям этой культуры. Как показала многочисленная практика рисосеяния, применение укороченного затопления с отсутствием слоя воды в период всходов возможно и на слабозасоленных почвах, но при наличии нисходящих токов, способствующих удалению солей из поверхностных горизонтов почвы.

Прерывистое затопление не получило широкого производственного применения, однако имеется много экспериментальных и производственных данных, говорящих о целесообразности его применения в определенных условиях. Как показали многочисленные исследования, непродолжительное отсутствие слоя воды в определенные фазы развития риса не только не снижает его урожая, а иногда даже способствует увеличению. Непродолжительное отсутствие слоя воды на незасоленных почвах не снижает урожая риса в том случае, если почва не пересушена и если слой воды на рисовом поле сохраняется в фазы колошения и цветения.

Применение прерывистого орошения наиболее целесообразно на землях со значительной фильтрацией (более 10—20 тыс. м³/га), а также при недостаточном источнике орошения в целях более рационального его использования. Чередование затопления с его отсутствием (5—6 дней) позволяет более чем в два раза сократить величину оросительной нормы, а при меха-

ническом водоподъеме снизить затраты энергии и, следовательно, себестоимость продукции. Некоторые авторы рекомендуют на системах снегового и смешанного типа питания с незарегулированным стоком в период прохождения паводка проводить орошение риса постоянным током, а после прекращения паводка — прерывистым способом с прекращением подачи воды в период молочной спелости, что позволит, помимо экономии воды, ускорить созревание риса.

Для определения величины оросительной нормы при возделывании риса с затоплением, согласно последним указаниям по проектированию рисовых оросительных систем (1970), рекомендуется применять несколько видоизмененную формулу А. Н. Костякова

$$M=(T+W+F+S_{пр}+S_{сб}+S_{пот})-PK, \qquad (4)$$

где M — оросительная норма риса;
T — величина суммарного испарения с поверхности рисового поля и транспирации растений;
W — объем оросительной воды, расходуемой на первоначальное насыщение почвенного слоя;
F — объем боковой и вертикальной фильтрации;
$S_{пр}$ — объем воды, расходуемой на создание проточности или дополнительные поверхностные сбросы;
$S_{сб}$ — объем поверхностных сбросов;
$S_{пот}$ — величина технических потерь (утечки воды через водовыпуски);
P — осадки за вегетационный период, которые учитываются только в районах Дальнего Востока (по году 75%-ной обеспеченности);
K — коэффициент использования осадков (обычно 0,3—0,5).

Как показали многочисленные исследования, величина суммарного испарения (T) для отдельных районов рисосеяния колеблется в незначительных пределах и зависит от возделываемого сорта и величины урожая. Так, по данным В. С. Макаровой и др. (1970), в условиях Голодной степи при урожае риса 77 ц/га суммарное испарение составило 14 210 м³/га, при 34,5 ц/га — 11 045 м³/га и при 11,4 ц/га — 10 322 м³/га. Наиболее резкое колебание суммарного водопотребления наблюдается в различных климатических зонах Советского

Союза: наименьшее для районов Дальнего Востока (5—6 тыс. м³/га) и наибольшее для районов Средней Азии (12—14 тыс. м³/га).

Значительно больших колебаний достигают объемы боковой и вертикальной фильтрации (F), которые по существу и определяют величину оросительной нормы, так как объемы оросительной воды, расходуемой на первоначальное насыщение почвы и грунтов (W), изменяются на рисовых массивах с близким залеганием уровня грунтовых вод в пределах 1—3 тыс. м³/га. Величина боковой и вертикальной фильтрации на некоторых участках орошаемой территории и в целом для массива может колебаться в пределах от 0 до 10—20 тыс. м³/га и более.

Основное влияние на процессы фильтрации оказывает: механический состав почв, высотное положение, наличие илистых фракций, а также кротовин и корневищ и др. Как показали наблюдения на рисовых системах дельты Дуная, значительно увеличивали фильтрацию прослойки торфа или ракушечника, вскрытые сбросными каналами, на глубине до 1 м от поверхности земли. Несмотря на то что эти прослойки были незначительной величины (5—20 см), а объемный вес их составлял 0,9—1 т/м³, оросительная норма на этих участках увеличивалась до 45—55 тыс. м³/га, в то время как средняя величина для системы была всего 26 тыс. м³/га.

Значительное влияние на величину фильтрационных потерь, особенно в почвах и грунтах легкого механического состава, оказывают отверстия, оставленные перегнившей растительностью, по которым устремляются фильтрационные струи, способствуя их расширению в процессе размыва. В результате при средней оросительной норме для системы 24—26 тыс. м³/га на некоторых чеках, примыкающих к групповым сбросам, она достигает 60—70 тыс. м³/га. Для предотвращения этого явления при освоении территорий, особенно с зарослями камыша, необходимо тщательно удалять растительный слой под насыпями дорог, проходящих вдоль сбросных каналов.

Сильно увеличивает (на 60—70% и более) объем оросительной нормы бесцельная проточность ($S_{пр}$). Многочисленные исследования на рисовых системах показали, что на незасоленных землях (особенно с неко-

торой фильтрацией) она совершенно не нужна, так как температура воды даже в условиях Средней Азии не превышает 35°, то есть оптимальной нормы для риса. Бороться же проточностью с водорослями бессмысленно и даже вредно, потому что водоросли обогащают почву азотом и, кроме того, способствуют увеличению содержания кислорода в воде рисовых чеков. Проточность нужна только на засоленных почвах с незначительной фильтрацией: меньше 1 см/сутки на среднезасоленных почвах и меньше 2 см/сутки на сильнозасоленных. Для удаления солей из почвы целесообразно на 3—4-й день после первоначального затопления проводить сброс всей воды с поверхности чека, слой которой не должен превышать 5 см (для лучшего прогревания, а следовательно, лучшего растворения солей и наименьшей затраты воды). Последующие периодические сбросы воды нужны в том случае, если минерализация в чеке превышает 2—3 г/л.

Нерационально с точки зрения экономии оросительной воды включать в оросительную норму два последних слагаемых: $S_{сб}$ и $S_{пот}$. Предлагаемые сбросы в период кущения и созревания необходимо заменить своевременным прекращением подачи оросительной воды, а для ликвидации технических потерь устанавливать более совершенные конструкции водовыпускных сооружений (конструкция В. И. Маковского).

Значительные изменения в режим орошения и водообеспеченность рисовых систем в целом вносятся при использовании химических средств борьбы с сорняками в посевах риса.

Согласно требованиям агротехники, за 2—3 дня до обработки гербицидами на рисовом поле не должно быть воды. В лучшем случае это достигается своевременным прекращением ее подачи, а в худшем — сбросом. После обработки просянок гербицидами в фазе 2—3 листьев, когда сорняки лучше поражаются, необходимо через 2—3 дня затопить чеки слоем воды 15 см, после чего просянки погибают. При этом рекомендуется точно назначать даты посева исходя из наличия авиатехники и ее производительности, а также возможности водообеспеченности в данный период. На затопление риса после обработки в среднем потребуется 2645 м³/га воды. При такой норме и продолжительности обработки всего севооборотного участка или системы

не более чем за 18 дней ордината гидромодуля составит 2,5—2,6 л/с на 1 га.

Согласно указаниям по проектированию рисовых систем (1970), режим орошения и величину поливных и оросительных норм сопутствующих рису в севообороте культур рекомендуется назначать в зависимости от глубины залегания грунтовых вод.

На многих рисовых системах, особенно построенных в последнее время, при назначении режима орошения сопутствующих рису культур необходимо учитывать степень засоления земель. Для получения высоких урожаев в данных условиях нужно выбирать более солеустойчивые культуры, хорошо затеняющие поверхность и активно использующие грунтовые воды при непрерывном их пополнении путем создания нисходящих токов воды при орошении. Лучшей культурой рисовых севооборотов в этом отношении является люцерна.

ГЛАВА II

СПОСОБЫ И ТЕХНИКА ПОЛИВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Техника полива зависит от характера орошаемых культур, хозяйственных и природных условий районов орошения.

Известны три основных способа полива:

поверхностный самотечный, дождеванием и подпочвенный.

При поверхностном самотечном поливе вода распределяется непосредственно на поверхности поля самотеком.

При поливе дождеванием происходит распыление оросительной воды над поверхностью почвы особыми дождевальными устройствами.

При подпочвенном поливе вода в почву подается по специальным водопроницаемым трубам или земляным ходам (кротовинам), устраиваемым на глубине 40—45 см от поверхности почвы и на определенных расстояниях друг от друга (0,7—2,0 м) в зависимости от системы полива и свойств почвы.

Поверхностный самотечный способ полива

Поверхностный самотечный способ полива наиболее распространен как в СССР, так и во всем мире.

К достоинствам этого способа относятся простота устройства поливной сети, отсутствие потребности в специальных машинах и дефицитных материалах, а также в дополнительной энергии.

Основные недостатки включают:

необходимость тяжелого ручного труда;

зависимость от рельефных условий и большие объемы планировочных работ при сложном микрорельефе местности;

разрушение структуры почвы и потребность в дополнительной культивации междурядий (при поливе широкорядных культур);

ухудшение воздушного режима почвы;

трудность регулирования степени увлажнения почвы;

неравномерность увлажнения почвы по длине поливных борозд и полос, приводящая к непроизводительным потерям воды, а иногда и подъему уровня грунтовых вод и засолению или заболачиванию орошаемых участков;

стеснение механизации сельскохозяйственных процессов.

Все это делает поверхностный самотечный полив технически несовершенным и требует его дальнейшей автоматизации, механизации или замены более совершенными способами.

Расчет элементов техники поверхностного полива

Из всех способов поверхностного полива наиболее целесообразен полив по сквозным бороздам и напуском по полосам без сброса (добеганием струи).

Основные исходные данные для расчета техники полива: уклон в направлении полива (I); поливная норма в виде слоя воды (m_0); расстояние между бороздами (a) или ширина поливной полосы (b); поперечное сечение борозды или полосы ($F_б$ или $F_п$).

Для расчета элементов техники полива по бороздам и полосам определяют скорость впитывания воды в почву, которая может быть выражена формулой А. Н. Костякова

$$K_t = \frac{K_1}{t^{\alpha}}, \qquad (5)$$

где K_t — скорость впитывания в конце любого времени t (обычно в м/ч);

K_1 — коэффициент водопроницаемости почвы, определяемый как скорость впитывания в конце первой единицы времени (м/ч);

α — параметр, характеризующий динамику изменения скорости впитывания воды в почву по времени; зависит от водно-физических свойств почвы, ее обработки и первоначальной влажности (перед поливом); изменяется для различных почв от 0,25 до 0,80.

Средний слой воды, который впитывается в почву за время t, определяют по формуле

$$h_t = K_{t\,ср}\, t = \frac{K_1}{(1-\alpha)}\, t^{(1-\alpha)}, \qquad (6)$$

где $\frac{K_1}{1-\alpha}$ принято обозначать через K_0.

В результате расчета находят: глубину борозды, глубину воды в борозде или на полосе ($h_б$, $h_п$); расход воды в борозде ($q_б$) или на полосе; время подачи воды в борозду (t) или на полосу; длину борозды ($l_б$) или полосы; скорость движения воды в голове борозды (v) или полосы. Взаимосвязь между отдельными элементами техники полива по бороздам выражается зависимостью

$$l_б = \frac{3{,}6 q_б t}{a m_0}\ м, \qquad (7)$$

где $q_б$ — расход воды, л/с;
t — время, ч;
a — расстояние между бороздами, м;
m_0 — поливная норма в виде слоя воды, м.

При определении $q_б$ учитываются параметры I, $F_б$ и v.

В формулу (7) входят три неизвестных параметра, находящихся во взаимной зависимости, поэтому принято задаваться одним из параметров, определяя поочередно другие. Наиболее удобно задаваться размерами борозды, что позволяет при наличии исходных данных определить v, $q_б$ и t, а затем $l_б$.

Аналогичной зависимостью можно пользоваться и для полива по полосам. Вопрос установления элементов техники поверхностного полива подробно рассмотрен в «Практикуме по сельскохозяйственным мелиорациям» (1971).

Производительность труда поливальщика за смену (в га) определяют по формуле

$$F_{см} = \frac{3{,}6 q_п t}{m} \beta_{см} \gamma_{см}, \qquad (8)$$

где $q_п$ — удельный расход поливной струи, которым оперирует поливальщик, л/с;
t — продолжительность смены, ч;
m — поливная норма, м³/га;

$\beta_{см}$ — коэффициент полезного использования времени на поливе; $\beta_{см} \leqslant 1$;

$\gamma_{см}$ — коэффициент, учитывающий сброс поливной воды за пределы участка, $\gamma_{см} \leqslant 1$.

Пути совершенствования техники самотечного полива по бороздам и полосам

Значительное повышение производительности и качества поверхностных поливов может быть достигнуто при тщательной планировке местности с одновременным внедрением автоматизации и механизации водоподачи в борозды и на полосы. За счет планировки создается возможность располагать поливную сеть в благоприятных условиях по уклону, расходу, длине. Это, в свою очередь, повышает производительность поливальщика, улучшает равномерность увлажнения почвы по длине борозд и полос. При благоприятных рельефных и почвенных условиях длину борозд следует увеличивать до 400—500 м.

Производительность полива по бороздам зависит от длины борозд. В некоторых хозяйствах Астраханской области при поливе овощей по коротким бороздам длиной 20—30 м производительность поливальщиков составляла 0,3—0,6 га за смену, тогда как в хлопковых хозяйствах при поливе по бороздам длиной 300—400 м производительность повышается до 2—3 га в смену.

Для улучшения поливов напуском по полосам и бороздам водовыпуски из временных оросителей или выводных борозд армируются простейшими приспособлениями: трубками или сифонами (гибкими или жесткими), щитками, устанавливаемыми в голове поливных борозд или полос. Пропускная способность сифонных трубок зависит от диаметра и разности горизонтов воды в оросителе (или выводной борозде) и в поливной борозде (полосе).

Устанавливая в голове борозды две-три сифонные трубки, можно изменять расход в поливные борозды (полосы), снимая поочередно эти трубки.

Сифонные трубки изготовляют из разных материалов, но наибольшее распространение получили полиэтиленовые трубки диаметром 20, 25, 32, 40, 50 мм, которые поставляет по заказу Рижский завод полиэтиленовых изделий.

Прямые издержки на одноразовом поливе гектара посевов с междурядьем 1 м обходятся с использованием трубок-сифонов в два раза дешевле, чем при поливе с неармированными водовыпусками в борозды. Производительность поливальщика возрастает до 2—3 га в смену.

Однако полив с помощью трубок-сифонов все же требует большого количества ручного труда по предварительной раскладке, зарядке и включению их в работу. Значительные усилия приходится прилагать и для обеспечения равномерности расхода между отдельными бороздами.

Облегчить распределение воды в поливные борозды и повысить производительность труда можно и без дополнительных приспособлений в оголовках поливных борозд. Для этого выводную борозду делают однобортной. Однобортные выводные борозды нарезают по тщательно спланированным трассам шириной 20—30 м с уклоном выводных борозд не более 0,001.

Механизировать и автоматизировать процесс распределения воды между бороздами и полосами можно заменой открытых земляных временных оросителей и выводных борозд стационарными или перемещаемыми транспортирующими и поливными трубопроводами, в которых имеются отверстия для подачи воды в борозды. Расстояния между поливными отверстиями должны соответствовать расстояниям между бороздами.

Широкие перспективы механизации и автоматизации поверхностного полива открываются при использовании жестких разборных и гибких перемещаемых трубопроводов, заменяющих временные оросители и выводные борозды. Полив сельскохозяйственных культур из таких трубопроводов резко снижает объем ручного труда на поливе, улучшает распределение воды между бороздами и снижает объем земляных работ по устройству регулирующей сети.

Наибольшее распространение получили гибкие поливные и распределительные трубопроводы, заменяющие временные оросители.

Для изготовления гибких трубопроводов применяют синтетические материалы, из которых наиболее пригодны для орошения полиэтилен, капрон и стеклоткань.

Отдельные звенья гибких трубопроводов соединяют с помощью легких металлических или пластмассовых

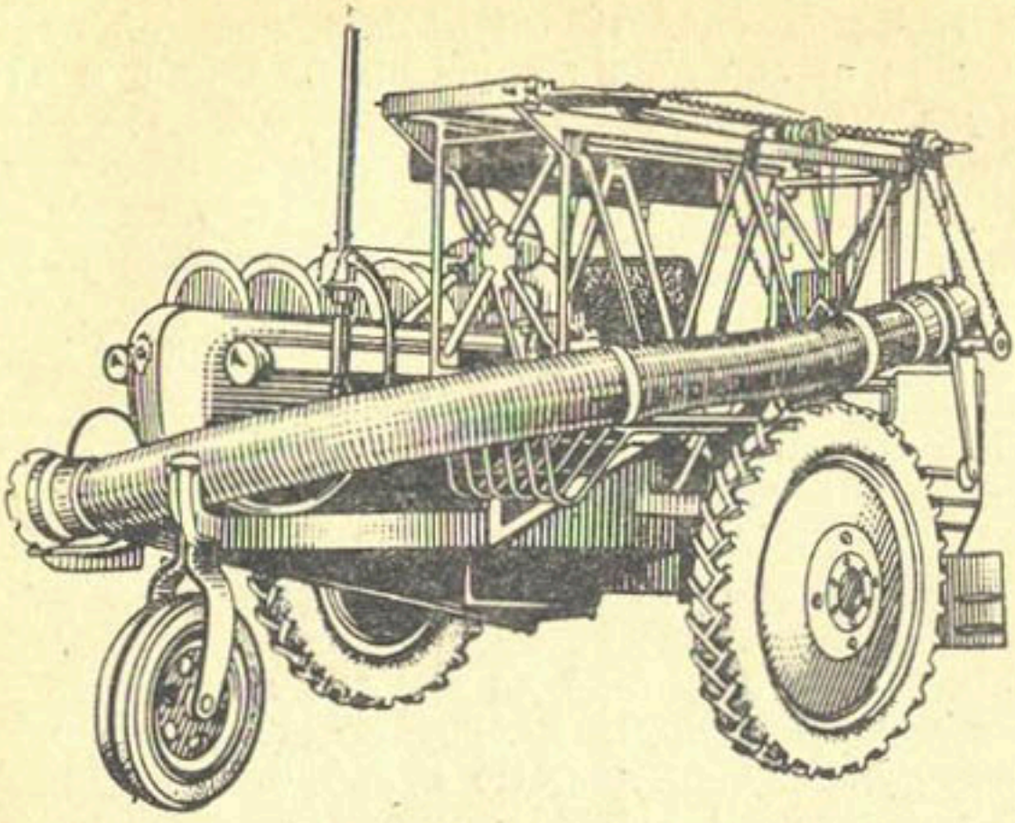


Рис. 5. Общий вид ПШН-165.

муфт с быстросъемными жестяными хомутами (бандажами), а также другими несложными приемами или без дополнительных приспособлений за счет вставки концов трубопровода одного в другой на расстояние $\geqslant 2D$.

Вода в гибкие трубопроводы подается из лотковой распределительной сети через специальные трубчатые водовыпуски или от закрытой низконапорной сети через гидранты со специальными патрубками.

Во избежание разрыва гибких трубопроводов на гидрантах с излишним напором устанавливают специальные гасители, снижающие напор воды в начале гибкого трубопровода независимо от напора в сети.

Использование на поливе гибких трубопроводов наиболее эффективно при их механизированной раскладке, сборке и перемещении.

Для раскладки и сборки трубопроводов можно применять специальные приспособления барабанного типа, навешиваемые на трактор. Однако наилучшим образом этот вопрос решен в поливной машине ПШН-165 (поливальщик шланговый навесной) на тракторе Т-28Х3 (рис. 5).

Производительность ПШН-165 составляет 165 л/с; площадь одновременного полива с применением комп-

лектов трубопроводов 10 га; обслуживающий персонал 2 человека; общая длина трубопровода 1200 м (транспортирующего — 700 м, поливного 500 м); производительность 8—10 га за сутки при поливной норме 700 м³/га.

Схема работы ПШН-165 на поливе поля показана на рисунке 6.

Кроме ПШН-165, в ГСКБ по ирригации Главсредазирсовхозстроя создан поливной передвижной агрегат ППА-165, который состоит из насосной станции, навешенной на трактор Т-28ХЗ, и тележки. Навесная насосная станция обеспечивает расход 165 л/с, ее узлы унифицированы с узлами ПШН-165. Прицепная тележка ТШП-400 представляет собой барабан для наматывания поливного шланга длиной до 400 м и диаметром 300—350 мм, смонтированный на двухколесной опоре.

Проходит государственные испытания поливной агрегат навесной ПАН-165, который отличается от

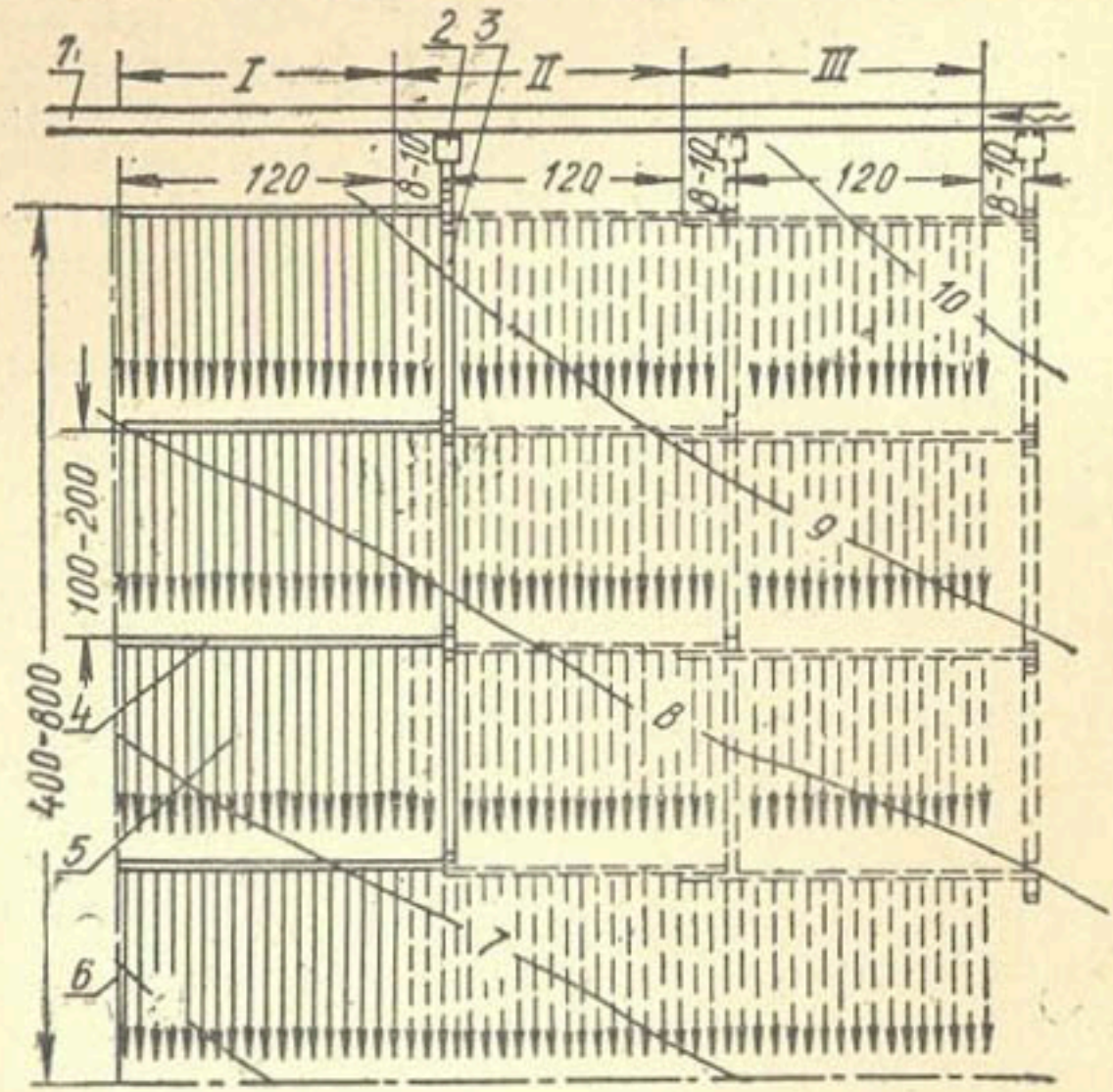


Рис. 6. Схема полива с помощью ПШН-165:

1 — оросительный канал; *2* — стоянка ПШН-165; *3* — транспортирующий трубопровод; *4* — поливной трубопровод; *5* — поливные борозды; *6* — граница поля; *7—10* — горизонтали; *I*, *II*, *III* — очередность позиций на поливе (размеры в м).

ПШН-165 и ППА-165 принципиально новым подвесным дистанционным способом сборки поливного трубопровода сразу после проведения полива без заезда на политый участок и без волочения трубопровода по поверхности земли.

Расход насоса ПАН-165 — 165 л/сек, узлы насосной станции унифицированы с ПШН-165.

Из принципиально отличающихся от рассмотренных заслуживают внимания поливные машины, подающие воду непосредственно в поливные борозды, минуя перемещаемый поливной трубопровод. Типичной схемой такой поливной машины является двухконсольная ферма, навешенная на самоходную тракторную опору. Ферма имеет водопроводящий трубопровод с отверстиями, из которых через короткие гибкие висячие шланги вода поступает непосредственно в поливные борозды. Конструкция этой машины впервые была разработана в институте ВНИИГиМ. В настоящее время в Туркменском НИИ земледелия создана поливная машина БДМ-200, которая обеспечивает полив как по бороздам, так и дождеванием.

В институте КазНИИВХ разработан автоматизированный дождевальнополивной агрегат АДПА-120 на базе двухконсольного дождевального агрегата ДДА-100М. АДПА-120 может поливать по бороздам, дождеванием и комбинированно. Забор воды происходит из эластичного шланга.

Поливные и транспортирующие трубопроводы бывают жесткие быстросборные металлические (из облегченных сплавов) или пластмассовые. Однако они пока не нашли распространения при поверхностных самотечных поливах вследствие нерешенного вопроса механизированной раскладки и сборки при перемещении на очередные позиции полива.

При длинных поливных бороздах (400 м и более) выводные борозды и временные оросители могут быть заменены стационарными лотками, из которых вода поступает непосредственно в каждую борозду или в группу борозд с помощью сифонов или отверстий с трубками в бортах лотков.

Для поверхностных способов полива возможна замена временных оросителей и выводных борозд транспортирующими и поливными стационарными подземными трубопроводами.

Вода в борозды из подземного поливного трубопровода поступает через отверстия в последнем, сделанные на расстоянии, равном расстоянию между бороздами. Такой способ подачи воды в поливные борозды был впервые предложен в Московском гидромелиоративном институте академиком И. А. Шаровым. Сущность его заключается в следующем. На глубине 0,45—0,5 м (от поверхности почвы до верха трубы) закладываются поливные трубопроводы из асбестоцементных или пластмассовых труб, в которых просверлены отверстия. Вода под напором 1,5—2 м выходит через отверстия из поливного трубопровода, насыщает верхний слой почвы и вытекает на поверхность поля в виде родничков, поступая в борозды.

Однако при этом способе полива возрастают капитальные затраты за счет резкого увеличения протяженности труб для подземных трубопроводов; возникает необходимость создания напора в поливных трубопроводах, усложняется их гидравлический расчет для обеспечения равных струй; при нарезке борозд может происходить их смещение относительно отверстий на поливном трубопроводе; отверстия и сам поливной трубопровод могут засоряться.

В настоящее время этот способ полива проверяется на опытных участках в Средней Азии, на Украине, в Поволжье.

Планировочные работы на орошаемых землях

Под планировкой подразумевается выравнивание рельефа поля (срезка повышений и засыпка понижений) и придание ему требуемого уклона.

Различаются два вида планировки орошаемых земель — капитальная (строительная) и текущая (эксплуатационная).

Капитальная планировка существенно изменяет поверхность поливных участков и проводится при строительстве или реконструкции оросительных систем за счет средств на капитальное строительство. Капитальную планировку выполняют либо в один этап (во время строительства оросительных систем), либо в два этапа (во время строительства и эксплуатации). На легковыдуваемых почвах капитальную планировку следует проводить после устройства оросительной сети и

подвода воды, с тем чтобы земли после планировки сразу же были засеяны и политы.

Текущую планировку проводят по мере необходимости перед пахотой или посевом для поддержания поверхности, созданной при капитальной планировке. Она заключается в устранении неровностей, образующихся после поливных работ или обработки почвы. Текущую планировку выполняют за счет издержек производства.

Методы планировки полей. В зависимости от рельефа, почв, техники полива, условий командования при самотечных поливах и экономических соображений проектирование планировочных работ проводят:

под топографическую поверхность (с наибольшим приближением к существующему рельефу);

под наклонную поверхность (одну или несколько);

под горизонтальную плоскость.

В зависимости от необходимого объема планировочных работ различают легкую планировку (с объемом до 300 м³/га), среднюю (400—700 м³/га) и тяжелую (800—1200 м³/га и более).

При проектировании и проведении планировочных работ не следует допускать глубоких срезок почвы, так как это не только увеличивает объем земляных работ и стоимость планировки, но и ухудшает плодородие почвы за счет срезки гумусового горизонта, что вредно отражается на развитии культурных растений. На почвах с мощным гумусовым горизонтом допускаемая величина срезок составляет 20—25 см (но не более половины мощности гумусового слоя), а на маломощных почвах — до 15 см.

В последнее время все шире применяют планировку с предварительным снятием верхнего плодородного слоя, перемещением его в определенные места («бурты», валы-кулисы) и последующим разравниванием почвы по участку после проведения основных планировочных работ. Планировка с предварительным «буртованием» верхнего плодородного слоя почвы увеличивает объем земляных работ, но позволяет свести к минимуму потерю плодородной почвы.

Капитальную планировку сильнозасоленных земель проводят до и после их промывки.

Проектирование планировки заключается в создании необходимой поверхности с установлением:

величин срезок и насыпей почвогрунта;

объемов земляных работ;
маршрутов перемещения земляных масс;
расстояний перемещения грунта;
стоимости планировочных работ.

Исходным материалом для проектирования планировочных работ являются: план поливного участка в масштабе 1 : 2000, составленный на основании нивелирования по квадратам 20×20 или 40×40 м, с сечением горизонталей через 0,25 м и нанесенной на него ситуацией. На плане в вершинах соединения квадратов обычно указывают величины:

срезки, см (в левом верхнем углу);
насыпи, см (в левом нижнем углу);
естественные отметки, м (в правом верхнем углу);
проектные отметки, м (в правом нижнем углу).

В состав планировочных работ входят:

подготовка участка (удаление камней, пней, кустарника и пр.);

рыхление участка (вспашка с последующим дискованием крупных глыб и др.);

срезка повышений и засыпка понижений;

придание необходимого уклона;

окончательное выравнивание поверхности.

Техника полива дождеванием

Искусственное дождевание достигается посредством специальных разбрызгивающих воду дождевальных устройств (установок, машин, агрегатов), вода к которым поступает от источника орошения по системе открытых каналов или закрытых трубопроводов.

К достоинствам полива дождеванием относятся:

механизация процесса полива, обеспечивающая снижение затрат ручного труда;

сохранение структуры почвы при соответствующей крупности и интенсивности дождя, отвечающей водно-физическим свойствам данной почвы;

большая подвижность и оперативность в отношении подачи воды более частыми, но меньшими нормами, что позволяет проводить посадочные и освежительные поливы;

возможность регулировать глубину увлажнения почвы, что особенно важно при близких грунтовых водах, маломощных почвах, просадочных грунтах;

проведение полива при сложном микрорельефе и повышенных уклонах (при напорных трубопроводах — независимо от рельефа, а при открытой сети — с уменьшением объема планировочных работ, так как в основном планируется лишь трасса оросителей и отпадает необходимость командования каналов над орошаемым участком;

увлажнение не только почвы, но и самих растений и приземного слоя почвы, что уменьшает интенсивность испарения и благоприятно влияет на физиологическое развитие культур;

создание условий для более высокого уровня механизации сельскохозяйственных процессов на полях, так как мелкая поливная сеть отсутствует, а оросители могит быть представлены стационарными подземными или перемещаемыми разборными жесткими или гибкими трубопроводами;

отсутствие или сведение к минимуму каналов водосборно-сбросной сети;

обеспечение более высокого коэффициента земельного использования орошаемой территории и коэффициента полезного действия оросительной системы;

повышение уровня автоматизации всего процесса полива;

возможность организации противозаморозковых поливов;

использование в самонапорных закрытых оросительных системах или отдельных трубопроводах остаточного (свободного) напора, что сокращает затрату средств на устройство сооружений для гашения напора на гидрантах-водовыпусках, а также уменьшает стоимость организации полива дождеванием.

Одной из основных оценок полива дождеванием является качество искусственно создаваемого дождя, то есть его интенсивность и крупность капель. Интенсивность дождя не должна превышать скорости впитывания воды данной почвой. Эта задача не простая, так как интенсивность дождевальных машин связана непосредственно с их расходом и площадью, поливаемой с одной позиции, и в итоге сказывается на производительности дождевальных машин.

Сочетание различных параметров полива дождеванием обусловливается технико-экономическими и конструктивными показателями дождевальных устройств.

Кроме отмеченных выше трудностей, связанных с получением дождя хорошего качества, слабыми сторонами полива дождеванием являются:

потребность в механической энергии для работы разбрызгивающих устройств;

влияние ветра на равномерность полива по площади;

потребность в металле на создание дождевальной аппаратуры и недостаточное совершенство дождевальной техники;

необходимость перемещения труб и дождевальных аппаратов по полю с затратами труда на это.

В связи с большим значением механизации и автоматизации полива для дальнейшего успешного освоения орошаемых земель к концу девятой пятилетки намечается довести площади с поливом дождеванием до 28%, а на более дальнюю перспективу до 51% всех орошаемых земель. В некоторых районах РСФСР, на Украине и в Молдавии уровень полива дождеванием уже в настоящее время достаточно высок (табл. 6).

Таблица 6

Площадь дождевания по некоторым республикам

Республики	Полито всеми способами, тыс. га	В том числе дождеванием	
		тыс. га	%
РСФСР	1597,4	633,2	39,6
Украинская	758,9	588,1	77,5
Молдавская	71,1	59,1	83,2

Дождевальные устройства и системы

Дождевальные устройства вместе с оросительной сетью, насосными станциями и другими элементами образуют дождевальные системы, которые делятся на передвижные, стационарные, полустационарные.

В передвижных дождевальных системах все ее звенья (в том числе и насосные станции) перемещаются по орошаемому участку.

В стационарных системах, наоборот, все части занимают постоянное (стационарное) положение; перемещаться же могут в случае необходимости только дождевальные аппараты.

В полустационарных системах насосно-силовое оборудование, главный трубопровод и чаще всего распределительный трубопровод имеют стационарное положение, а полевые трубопроводы с дождевальными устройствами перемещаются.

Передвижные системы дождевания характеризуются минимальными капитальными вложениями при максимальных эксплуатационных затратах; стационарные системы, наоборот,— максимальными капитальными вложениями при минимальных эксплуатационных затратах, но зато они создают условия автоматизации всего процесса полива. Полустационарные системы по затратам занимают промежуточное положение.

В нашей стране наибольшее распространение получили полустационарные дождевальные системы. Передвижные системы дождевания наиболее целесообразно применять на небольших орошаемых участках.

В настоящее время серийно выпускаются следующие дождевальные устройства.

ДДА-100МА — двухконсольный дождевальный агрегат, представляющий ферму, навешенную на трактор ДТ-75МХ-С4 с ходоуменьшителем. Ферма длиной 110,3 м в поперечном сечении имеет вид треугольника с нижним водопроводящим поясом из двух трубопроводов с расположенными на них 54 короткоструйными дефлекторными насадками. Необходимый напор обеспечивается насосом, смонтированным на тракторе. Агрегат ДДА-100МА поливает участок, двигаясь вдоль открытого оросителя.

ДДН-70* — дальнеструйный дождеватель навесной, самоходный, навешиваемый на трактор ДТ-75 или Т-74. Предназначен для позиционной работы от временной сети с вращением насадки вокруг вертикальной оси по кругу или по сектору (рис. 7).

Необходимый для образования струи напор обеспечивается насосом, смонтированным в комплекте с насадкой с отбором мощности от вала двигателя трактора. Дождеватель ДДН-70 может работать и от закрытой сети. В этом случае вместо плавучего всасывающего клапана используется специальное водозаборное устройство для присоединения к гидранту трубопровода. Напор на гидранте должен обеспечивать поступление

---

* Готовится к серийному выпуску ДДН-100 с расходом 100 л/с.

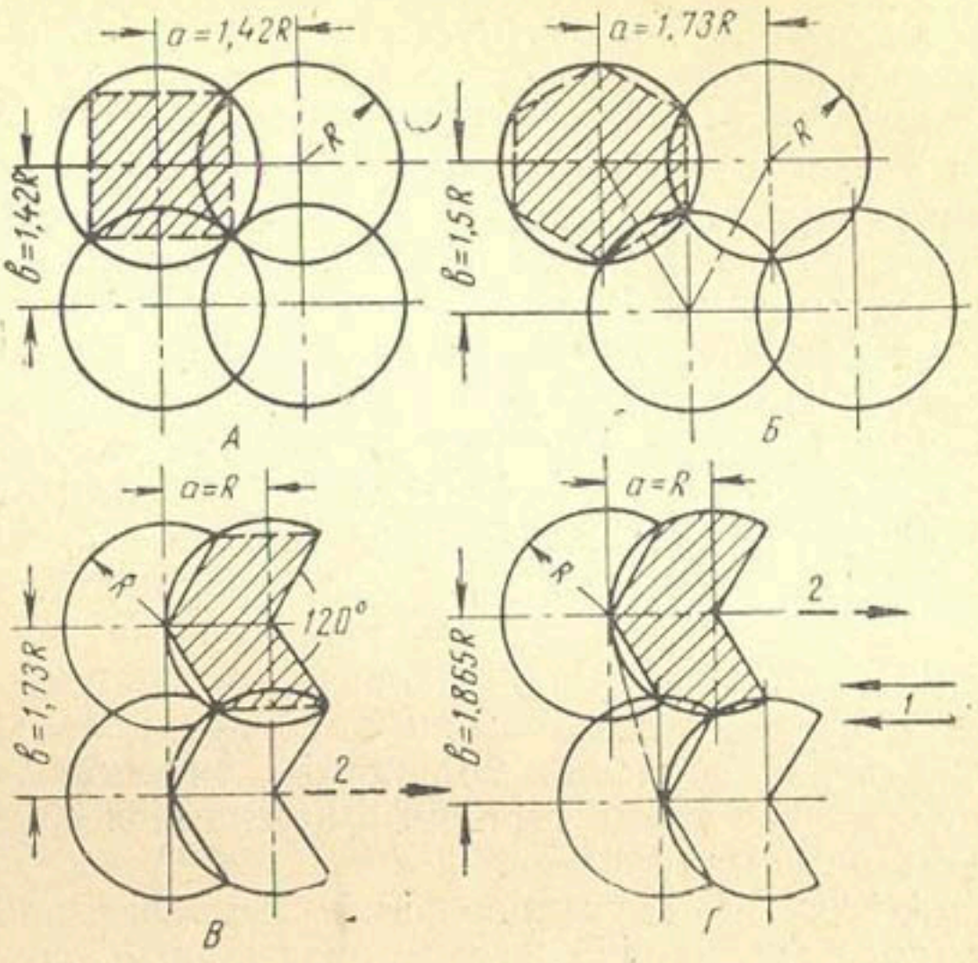


Рис. 7. Схема полива дальнеструйными дождевальными насадками:

А и *Б* — круговой полив; *В* и *Г* — полив по сектору; *а* — расстояние между дождевальными устройствами на оросительном канале или трубопроводе; *в* — расстояние между оросительными каналами или трубопроводами; *1* — направление ветра; *2* — направление перемещения дождевального агрегата на очередную позицию.

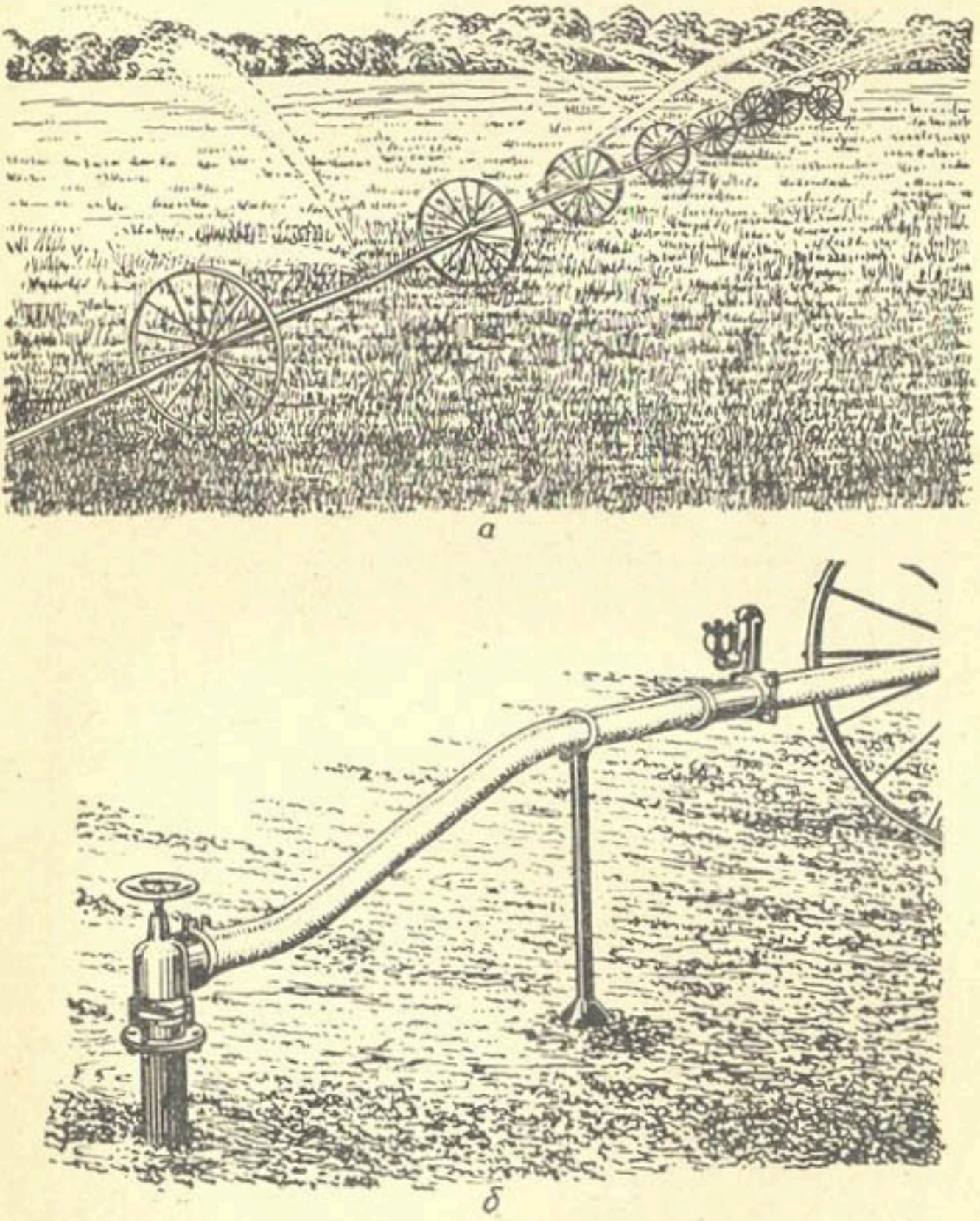
воды к насосу для его заливки перед включением в работу, величина напора должна быть 3—4 м.

КИ-50 «Радуга» — комплект ирригационный «Радуга» представляет полностью разборно-переносную среднеструйную дождевальную установку, состоящую из четырех крыльев длиной 128 м (два одновременно работают на поливе, а два других переносятся на очередные позиции), из двух полевых трубопроводов длиной 274 м, распределительного трубопровода длиной в пределах орошаемого участка 730 м и подводящего трубопровода от насосной станции до границы участка. Перемещение дождевальных крыльев на очередные позиции проводят вручную.

«Волжанка» — широкозахватная дождевальная установка, состоит из двух дождевальных крыльев длиной до 400 м каждое, представляющих трубопровод

со среднеструйными насадками на колесах (рис. 8,*а*). Работает от гидрантов закрытой напорной сети (рис. 8,*б*). Расстояние между гидрантами на сети равно 18 м, но может быть увеличено за счет применения вспомогательного трубопровода.

Установка работает на поливе позиционно. Дождевальное крыло перемещается на очередную позицию путем перекатывания при помощи ходовой тележки с бензиновым двигателем мощностью 4 л. с.



а

б

Рис. 8. ДКШ-64 «Волжанка» на поливе:
а — общий вид; *б* — подсоединение к гидранту на подземном трубопроводе.

Таблица 7

Основные технические показатели серийно выпускаемых дождевальных устройств

Показатели	Дождевальные устройства				
	ДДА-100МА	ДДН-70	КИ-50 „Радуга"	ДКШ-64 „Волжанка"	„Фрегат"
Расход Q, л/с	130	65	40	До 62,6 (при двух крыльях)	30—100
Напор (в насосе агрегата или на гидранте), м	37	55	30—50	35—40	50—65
Тип насадок	Дефлекторные	Дальнеструйные	Среднеструйные	Среднеструйные	Среднеструйные и одна дальнеструйная
Количество насадок, шт.	54	Основная и вспомогательная	На одном крыле 4	На одном крыле до 32	17
Радиус разбрызгивания насадок R, м	10	70	25—30	12—15	25—30
Длина одного крыла дождевального устройства, м	110,3	—	128	До 395,8	276,9—454,5
Количество дождевальных крыльев, шт.	1	—	4	2	1
Длина полосы увлажнения крылом с одной позиции с учетом перекрытия, м	120	—	146	До 400	276,9—454,5
Ширина полосы увлажнения с одной позиции, м	16	—	36,5	18	40
Площадь увлажнения с одной позиции с учетом перекрытия, м^2	Без движения 120×16	$\frac{\pi R^2}{\mu}$	$(146\times36{,}5)\times2$	$(400\times18)\times2$	$\pi(276{,}9-454{,}5)^2$

Средняя интенсивность дождя, мм/мин	Слой дождя за 1 проход 5—6 мм	0,63	0,16	0,25—0,30	0,2—0,32
Расстояние между соседними позициями, м	—	(1,42—1,73) R	36,5	18	553,8—909,0
Расстояние между гидрантами, м (для ДДН-70 при работе от трубопроводов)	—	(1,421—7,3) R	36,5	18	553,8—909,0
Расстояние между оросителями или трубопроводами, м	120	(1,42—1,5) R	292	До 800	553,8—909,0
Коэффициент использования времени на поливе (КИВ):					
за смену ($\beta_{см}$)	0,85	0,85	0,80	0,85	0,96
за сутки ($\beta_{сут}$)	0,80	0,80	0,75	0,85	0,96
за сезон ($\beta_{сез}$)	0,70	0,70	0,65	0,78	0,9
Средняя производительность за сезон, га	100—150	60—70	50	60—80	72—140
Обслуживающий персонал, человек	1—2	1	2	1 на 2—3 установки	1 на 3—4 установки
Скорость перемещения $\left(\frac{\text{при поливе}}{\text{транспортная}}\right)$, км/ч	$\frac{\text{До } 1{,}0}{4—5}$	$\frac{—}{7—12}$	—	$\frac{—}{9 \text{ м/мин}}$	1 оборот за 50—250 ч
Допустимые уклоны местности	0,005	0,05	0,05	0,02	0,02
Ориентировочная стоимость, руб.	6500	3000	11 250 (с насосной станцией)	10 000	18 000
Высота дождевального трубопровода над землей, м	1,5—4,8			0,89	2,2
Вес (без трактора и без воды), кг	4240	800	8520	5430	До 15 000

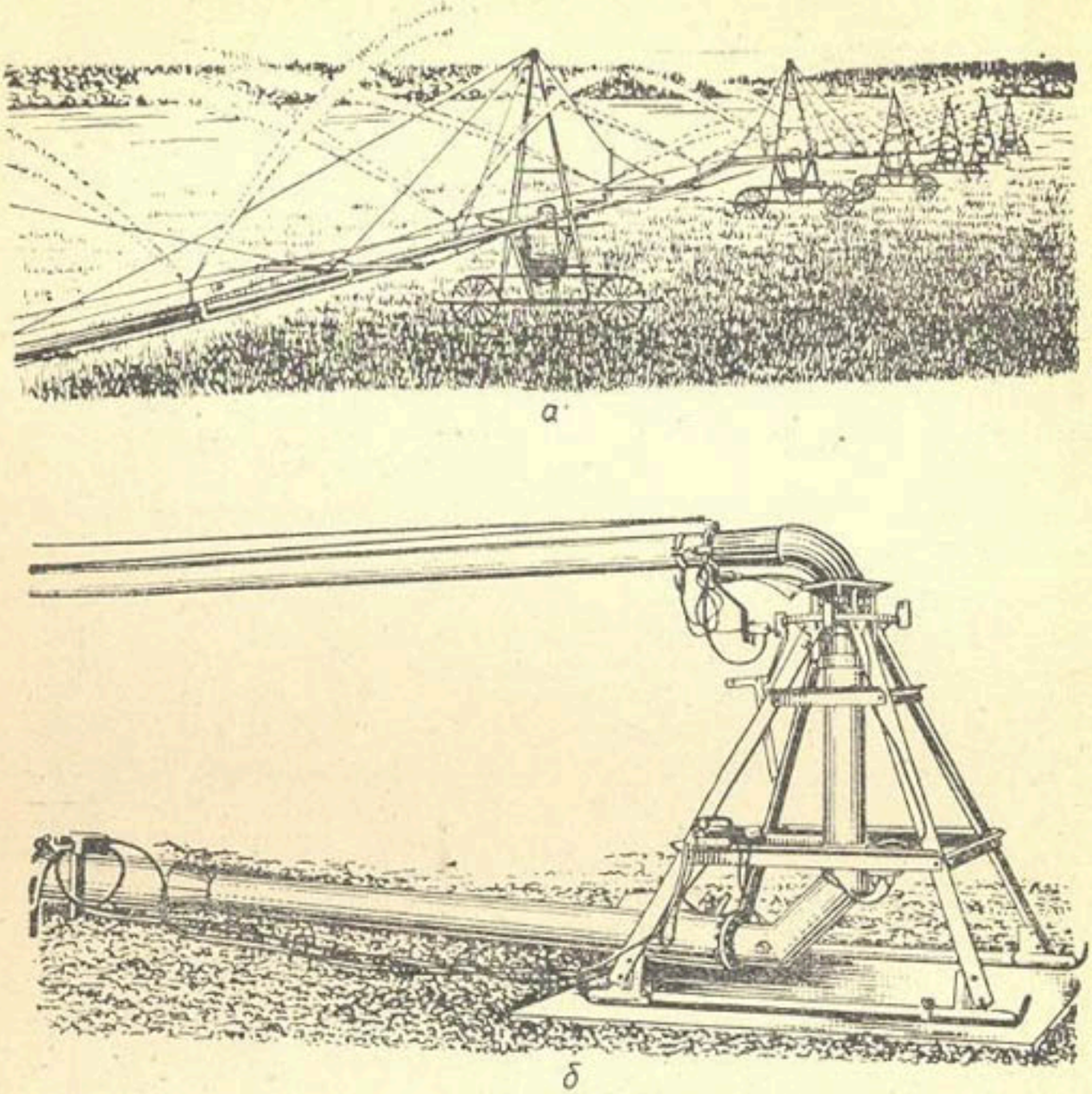


Рис. 9. «Фрегат» на поливе:

а — общий вид; *б* — неподвижная опора с вращающимся поворотным коленом для подключения трубопровода установки «Фрегат».

«Фрегат» — широкозахватная многоопорная дождевальная установка, представляет движущийся по кругу трубопровод, на котором расположены среднеструйные дождевальные аппараты. Трубопровод установлен на А-образных колесных опорах-тележках (рис. 9, *а*). Полив ведется во время движения установки по кругу. Движение тележек происходит за счет использования гидравлического напора в дождевальном трубопроводе. Для полива углов четырехугольного участка на конце установки имеется дальнеструйный дождевальный аппарат секторного действия с радиусом полива 30—35 м.

В таблице 7 приведены основные показатели перечисленных дождевальных устройств.

В этой таблице расходы, напоры и расстояния даны для установки «Фрегат», состоящей из трубопровода на 10 и 16 опорах. «Волжанка» может иметь меньшую длину, а следовательно, и расход. Для ДДН-70 расстояния между позициями и оросителями даны для двух схем расстановки дождевальных агрегатов на поливе: по вершинам квадратов и вершинам треугольников в плане (см. рис. 7).

Рассмотренные выше дождевальные устройства применяют на полустационарных и передвижных дождевальных системах. Для применения на стационарных дождевальных системах используются отдельные дождевальные насадки — аппараты. Конструкции таких насадок (как правило, дальне- и среднеструйных) разработаны и разрабатываются институтами ВИСХОМ, АзНИИГиМ, ГрузНИИГиМ, Гипроводхоз, СКБ Херсонского комбайнового завода и др.

Ведутся также разработки и исследования образцов новой дождевальной техники для различных природно-хозяйственных условий: импульсные дождевальные аппараты (МГМИ и др.), самоходный дождеватель-опрыскиватель ДОС-400 (ГКБ по ирригации Главсредазирсовхозстроя), дождевальный трубопровод-шлейф, перемещаемый в продольном направлении на тяге трактора (ТСХА), мощные дальнеструйные установки (ВИСХОМ) и др.

Расчет полива дождеванием

Расчет полива любой дождевальной машиной или установкой включает в себя определение: интенсивности дождя, времени работы на одной позиции (для ДДА-100МА на одном бьефе), производительности на поливе (часовой, сменной, суточной и сезонной), числа дождевальных устройств, необходимых для полива заданного участка, необходимого обслуживающего персонала.

Методика расчета элементов техники полива дождеванием подробно рассмотрена в «Практикуме по сельскохозяйственным мелиорациям» (под редакцией С. Ф. Аверьянова), поэтому в данном учебном пособии не приводится.

Выпускаемые серийно новые дождевальные установки «Волжанка» и КИ-50 «Радуга» работают позиционно,

и все элементы техники полива для них определяются так же, как для выпускавшихся ранее установок типа КДУ-55М, УДС-25. Что касается дождевальной установки «Фрегат», работающей подобно ДДА-100МА в движении, только не прямолинейно, а по кругу, то ее среднюю интенсивность и слой дождя за проход можно определять так же, как для ДДА-100МА.

Однако в связи с тем что «Фрегат» во время работы на позиции выливает заданную поливную норму за один оборот со временем 50—250 ч, скорость его кругового перемещения за одну минуту очень мала. Так, при максимальной длине установки 454,5 м и максимальной скорости один оборот за 50 ч путь конечной точки по окружности составит всего около 1 м/мин, ширина же полосы увлажнения при поливе равна в среднем 40 м. Поэтому для практических расчетов скоростью движения «Фрегата» можно пренебречь и определять среднюю интенсивность дождя, как для стационарно-поливающей дождевальной установки.

Число дождевальных устройств, необходимых для полива заданного участка, определяют, когда для севооборота составлен режим орошения и известна расчетная максимальная ордината гидромодуля q_{max}, причем $n_{д.у}$ округляют до целого числа, как правило, в большую сторону.

$$n_{д.у} = \frac{q_{max} \Omega^{нт}_{орош}}{\beta_{сез} C Q}, \qquad (9)$$

где q_{max} — расчетная максимальная ордината графика гидромодуля, составленного для круглосуточного полива, л/с на 1 га;
$\Omega^{нт}_{орош}$ — площадь орошаемого участка (нетто), га;
$\beta_{сез}$, Q — то же, что в таблице 7;
C — доля часов работы на поливе за сутки.

Если расчетная ордината гидромодуля неизвестна,

$$n_{д.у} = \frac{\Omega^{нт}_{орош}}{\omega_{сез}} \text{ шт.},$$

где $\Omega^{нт}_{орош}$ — площадь орошаемого участка (нетто) га;
$\omega_{сез}$ — сезонная производительность дождевального устройства, га.

Выбор дождевальных устройств

Дождевальное устройство, наиболее подходящее для полива заданного орошаемого участка, выбирают на основании следующих показателей:

соответствия средней интенсивности дождя и впитывающей способности почвы на орошаемом участке;

соответствия размеров и конфигурации орошаемого участка основным параметрам и показателям дождевальных устройств;

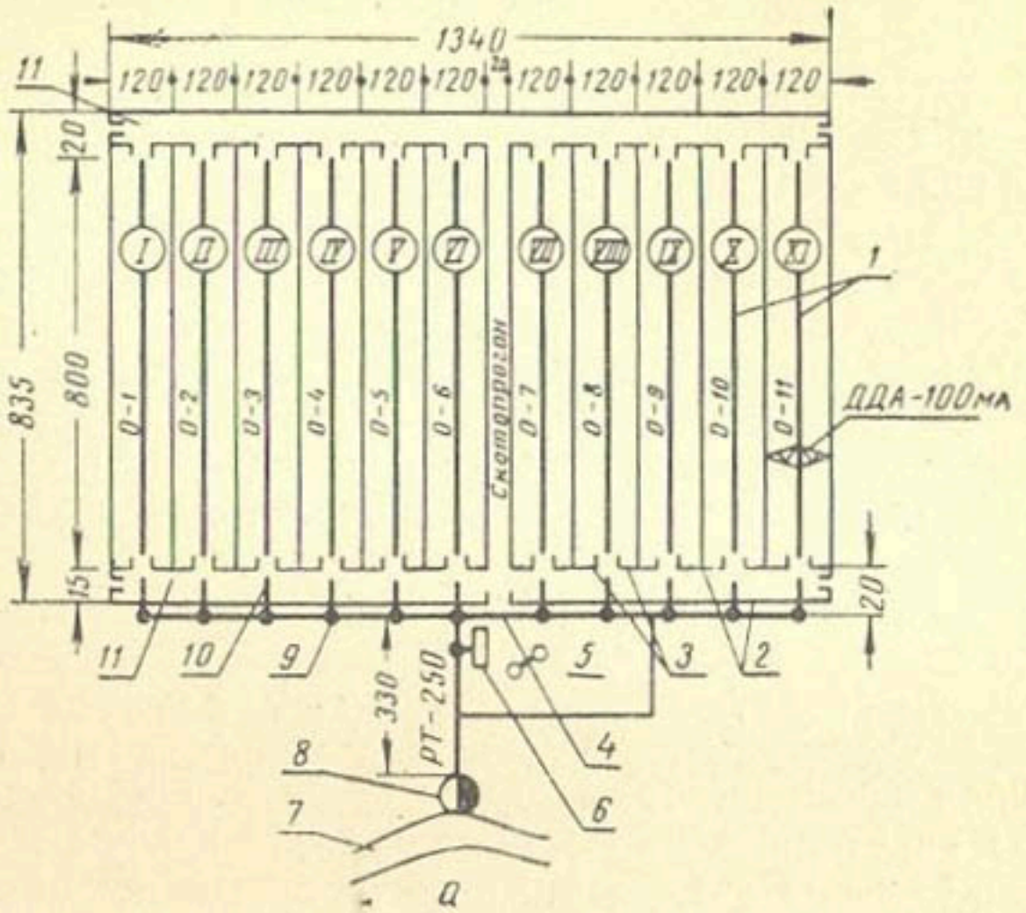
анализа климатических и топографических условий района (в первую очередь уклона местности участка);

хозяйственных условий и возможностей;

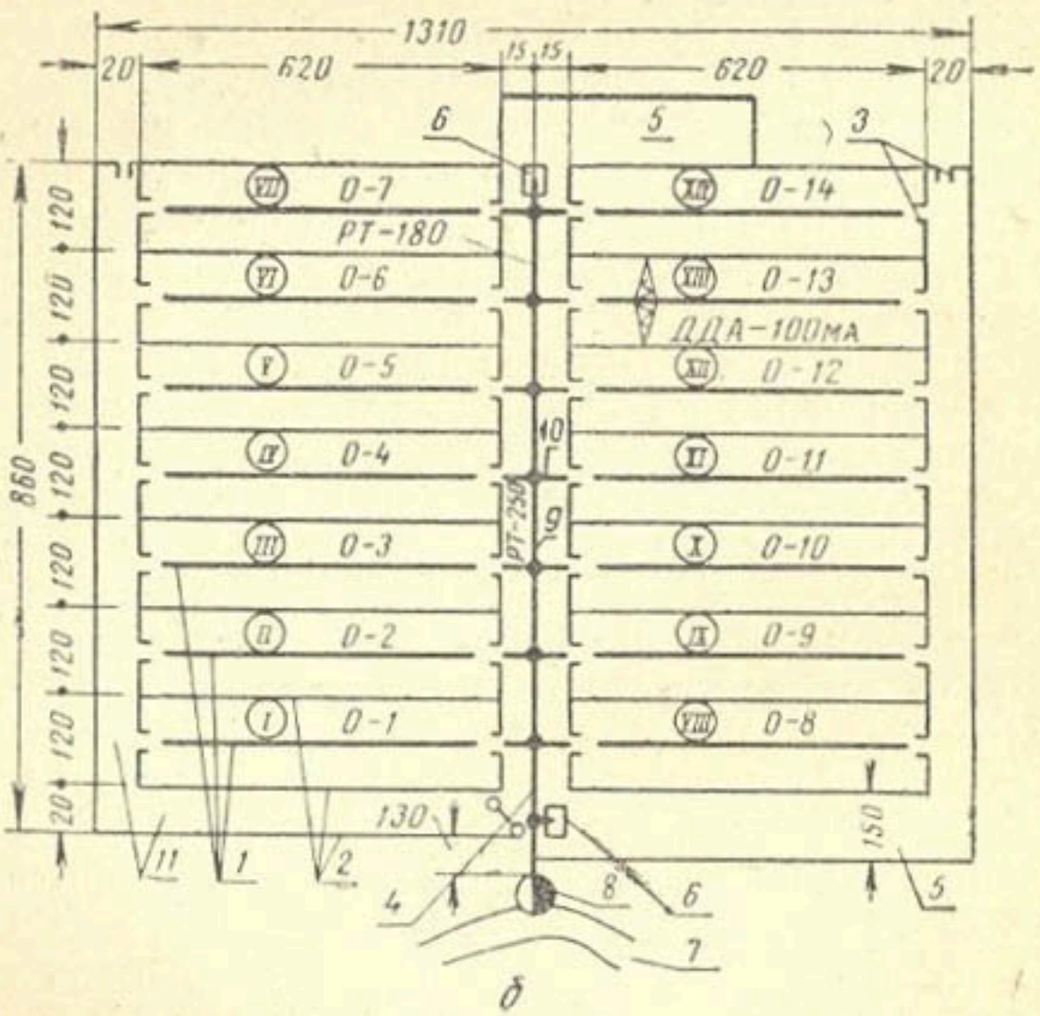
технико-экономических и эксплуатационных показателей дождевальных устройств.

Впитывающая способность почвы характеризуется кривой скорости впитывания воды на конец любого периода времени. Точки для построения кривой $K_t = f(t)$ определяют по формуле (5). На график $K_t = f(t)$ наносят точки, характеризующие среднюю интенсивность дождя дождевального устройства, приведенную к размерности скорости впитывания. Интенсивности откладываются на конец времени работы дождевального устройства на поливе с одной позиции, необходимого для подачи на увлажняемую с позиции площадь заданной поливной нормы. Так как по формуле 5 определяют скорость впитывания воды в почву при поливе поверхностным способом — затоплением, а при поливе дождеванием скорость впитывания воды в почву будет меньше примерно на 10—15%, то для обеспечения впитывания поливной воды необходимо, чтобы средняя интенсивность была на конец данного периода меньше скорости впитывания в почву на 10—15% и более.

Так анализируется и проверяется соответствие интенсивности дождя и впитывающей способности почвы для всех дождевальных устройств, кроме ДДА-100МА, для которого проверяется возможность впитывания почвой слоя дождя, выливаемого агрегатом за время последнего прохода по бьефу. Для этого строят кривую слоя впитывания в почву, точки которой находят по формуле (6). Необходимо, чтобы за время последнего прохода агрегата по бьефу слой воды, который может впитываться почвой, был больше слоя дождя, выливаемого агрегатом.


1340
120 120 120 120 120 120 120 120 120 120 120
835
800
120
15
20
I II III IV V VI VII VIII IX X XI
0-1 0-2 0-3 0-4 0-5 0-6 0-7 0-8 0-9 0-10 0-11
Скотопрогон
1
ДДА-100МА
11 10 9 330 РТ-250 5 3 2
4
8
6
7

а


1310
20 620 15 15 620 20
6 5 3
860
120 120 120 120 120 120 120 120
20
VIII 0-7
РТ-180
VI 0-6
V 0-5
IV 0-4
III 0-3
II 0-2
I 0-1
XIV 0-14
XIII 0-13
ДДА-100МА
XII 0-12
10
XI 0-11
РТ-250
9
X 0-10
IX 0-9
VIII 0-8
130
150
11 1 2
4 8 6
7
5

б

Использование для полива дождевальных устройств с интенсивностью и продолжительностью полива на позиции, не соответствующими впитывающей способности почвы, допустимо в исключительных случаях с обязательным условием принять необходимые меры по повышению впитывающей способности почвы (глубокое рыхление перед поливом) или предотвращению поверхностного стока за счет устройства прерывистых борозд и др.

В дополнение к основным технико-экономическим показателям, приведенным в таблице 7, анализируются: расход воды и сезонная производительность, приходящиеся на одного человека обслуживающего персонала; степень механизации процесса полива и условия для механизации сельскохозяйственных работ; протяженность сети на 1 га орошаемой площади; к. з. и. и к. п. д. оросительной сети; надежность дождевального устройства в процессе эксплуатации; влияние ветра на равномерность распределения дождя по площади; затраты энергии на создание 1 мм слоя дождя; стоимость 1 м^3 воды, подаваемой на полив; металлоемкость дождевальных устройств на 1 га сезонной производительности. На основании этого анализа выбирают для полива дождевальное устройство, обладающее наибольшим числом положительных показателей в конкретных хозяйственных и природных условиях.

Схемы работ дождевальных устройств на поливе

Полив агрегатом ДДА-100МА производится при движении его вдоль участка оросителя (бьефа). При поливе агрегат захватывает дождем полосу длиной 120 м, следовательно, расстояние между оросителями должно быть также равным 120 м (рис. 10). Вдоль оросителя предусматривается дорога, расположенная так, чтобы при движении агрегата во время полива ороситель находился справа от него.

Рис. 10. Схемы полива культурного пастбища агрегатом ДДА-100М: *а* — с односторонним расположением оросителей относительно распределительного трубопровода; *б* — то же, с двусторонним; *1* — открытые оросители; *2* — изгородь; *3* — ворота; *4* — переезд через РТ-250; *5* — площадка для отдыха; *6* — водопойная площадка; *7* — водоисточник; *8* — насосная станция; *9* — труба-гидрант РТ-250×180; *10* — РТ-100; *11* — скотопрогон.

Открытая земляная оросительная сеть — слабое место в применении ДДА-100МА для полива, так как занимает 5—7% орошаемой площади. Потери воды на фильтрацию и испарение в среднем составляют 5—10%, а в отдельных случаях достигают 20%. Кроме того, оросители, нарезанные через 120 м, мешают механизации сельскохозяйственных работ на орошаемых землях, зарастают сорной растительностью.

В настоящее время ведутся исследования по замене открытых оросителей такими трубопроводами, которые бы позволяли забирать из них воду при движении агрегата ДДА-100МА.

Дождевальный агрегат ДДН-70 выпускается серийно с всасывающей линией, предназначенной для забора воды из открытых оросительных каналов. Максимально допустимые расстояния между позициями агрегата на оросителе a и между оросителями b зависят от схемы размещения стоянок (см. рис. 7). На практике иногда эти параметры уменьшают примерно на 10%. При поливах ДДА-100МА и ДДН-70 размер поля в направлении, поперечном направлению оросителей, должен быть кратен расстоянию между ними. Крайние оросители располагаются от границ поля на расстоянии, равном половине расстояния между оросителями. Длину оросителей принимают в пределах 400—1000 м, допустимые уклоны $i \leqslant 0{,}002$.

Места стоянок ДДН-70 на оросителях намечают предварительно, глубина воды в оросителе у места стоянок должна быть не менее 0,5 м, что обеспечивается установкой переносного перегораживающего щитка.

К достоинствам дождевальных машин типа ДДН-70 (разработка ВИСХОМ) относятся: их компактность, высокая маневренность, малая металлоемкость, возможность полива любых высокостебельных культур, садов и других древесных насаждений.

Для полива высоких плодовых деревьев дождевальный агрегат оборудуют специальным патрубком, который вставляют в месте соединения фланцев ствола дождевателя с корпусом аппарата. Длина патрубка-вставки определяется высотой деревьев и расстоянием от них до дождевального агрегата.

Одним из основных недостатков современных конструкций дождевальных агрегатов типа ДДН-70 (помимо высокой энергоемкости, неравномерности распре-

деления дождя в ветреную погоду и высокой действительной интенсивности) является то, что они рассчитаны на забор воды из открытых оросительных каналов, располагаемых друг от друга обычно на расстоянии до 100 м.

В последнее время ведутся исследования и производственные опыты в направлении перевода агрегатов типа ДДН-70 на работу от трубопроводов. Наиболее простым решением этого вопроса являлась бы замена открытых оросительных каналов стационарными подземными трубопроводами с гидрантами в местах необходимых стоянок агрегатов на позициях полива. Однако это потребовало бы протяженности закрытой оросительной сети полевых трубопроводов 100 м на 1 га и более, что привело бы к большим капитальным затратам и громадному объему труб.

Технически эффективным и экономически оправданным принято считать размещение стационарных закрытых трубопроводов на расстоянии не менее 300—400 м друг от друга. Применение дождевальных агрегатов типа ДДН-70 на поливе от стационарных трубопроводов с расстоянием между ними более 300 м возможно при использовании перемещаемых поливных трубопроводов, от гидрантов которых агрегаты типа ДДН-70 могли бы забирать воду для полива (рис. 11).

Оптимальную длину перемещаемых трубопроводов определяют на основании анализа капитальных и эксплуатационных затрат. Увеличение их длины дает снижение капитальных затрат, но приводит к повышению затрат тяжелого ручного труда на сборку, перемещение и монтаж трубопроводов на новой позиции, так как до сих пор эти процессы полностью еще не механизированы.

С точки зрения механизации процессов сборки, раскладки и монтажа перемещаемого трубопровода большие перспективы имеются у гибких трубопроводов.

Для лучшей организации полива и повышения коэффициента использования рабочего времени дождевальных агрегатов на поливе целесообразно иметь несколько запасных комплектов перемещаемых трубопроводов, укладываемых на очередных позициях заранее с помощью специально приспособленных для этого тракторов. Это устранит необходимость сборки перемещаемого трубопровода непосредственно после полива, что

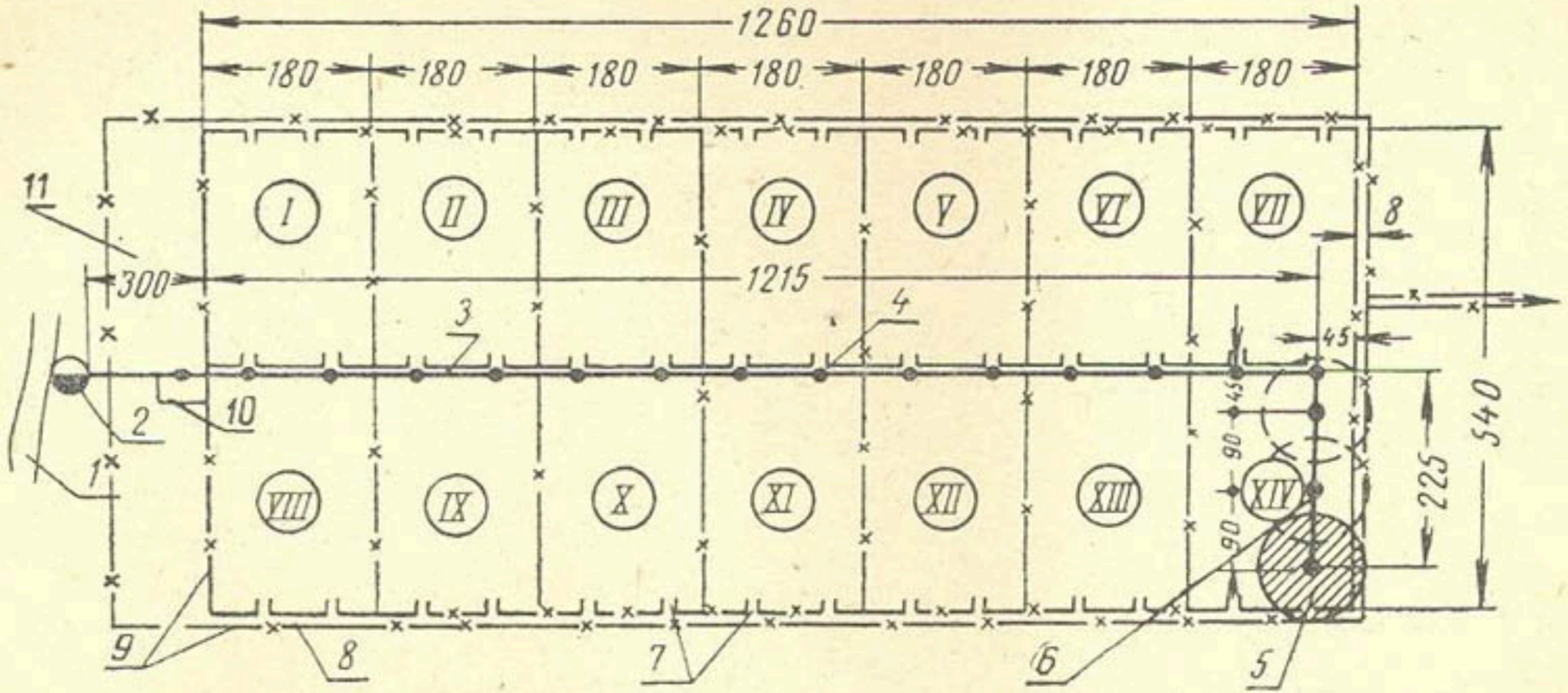


Рис. 11. Схема полива культурного пастбища агрегатом ДДН-70:

1 — водоисточник; *2* — насосная станция СНП 75/100; *3* — разборный трубопровод РТШ-250; *4* — труба-гидрант РТШ-250×150; *5* — площадь полива с одной позиции; *6* — разборный трубопровод РТШ-180; *7* — ворота; *8* — скотопрогон; *9* — изгородь; *10* — водопойная площадка; *11* — площадка для отдыха.

связано с определенными трудностями вследствие увлажнения почвы после полива.

Полив КИ-50 «Радуга». Типовая схема полива с помощью ирригационного комплекта «Радуга» показана на рисунке 12 на примере участка орошаемого пастбища площадью 55 га. На схеме указаны все расчетные параметры, принимаемые стандартными в границах участка, орошаемого КИ-50.

Оба полевых трубопровода работают на поливе одновременно. На каждом из них одновременно действуют по одному дождевальному крылу, а два других крыла в это время вручную переносят на очередные позиции. Дождевальные крылья по отношению к полевым трубопроводам могут размещаться по двум схемам — двухсторонней и односторонней. В первом случае дождевальные крылья работают на позициях по обе стороны от полевого трубопровода. При односторонней схеме оба дождевальных крыла поочередно работают на позициях по одну сторону полевого трубопровода. На одном трубопроводе имеется 8 переносных гидрантов. На каждом дождевальном крыле одновременно работают 4 дождевальные среднеструйные насадки.

Комплект КИ-50 выпускается полностью из разборных труб с передвижной насосной станцией. Однако КИ-50 может работать и от закрытой стационарной напорной сети с перемещаемыми полевыми и дождевальными или только дождевальными крыльями. В двух последних вариантах увеличиваются капитальные затраты, но зато снижаются затраты ручного труда за счет устранения необходимости переноса распределительного и полевых трубопроводов или только распределительного.

При поливе установкой КИ-50 с передвижной насосной станцией целесообразно иметь к ней устройство для автоматического выключения двигателя в случае возникновения технических неполадок.

К основным недостаткам полива дождевателем КИ-50 «Радуга» относится необходимость ручной переноски дождевальных крыльев на очередные позиции полива, что приводит к низкой производительности труда поливальщиков (два человека на одну установку).

Перспективным представляется механическое перемещение трубопроводов, поставленных на колеса и перекатываемых с позиции на позицию с помощью при-

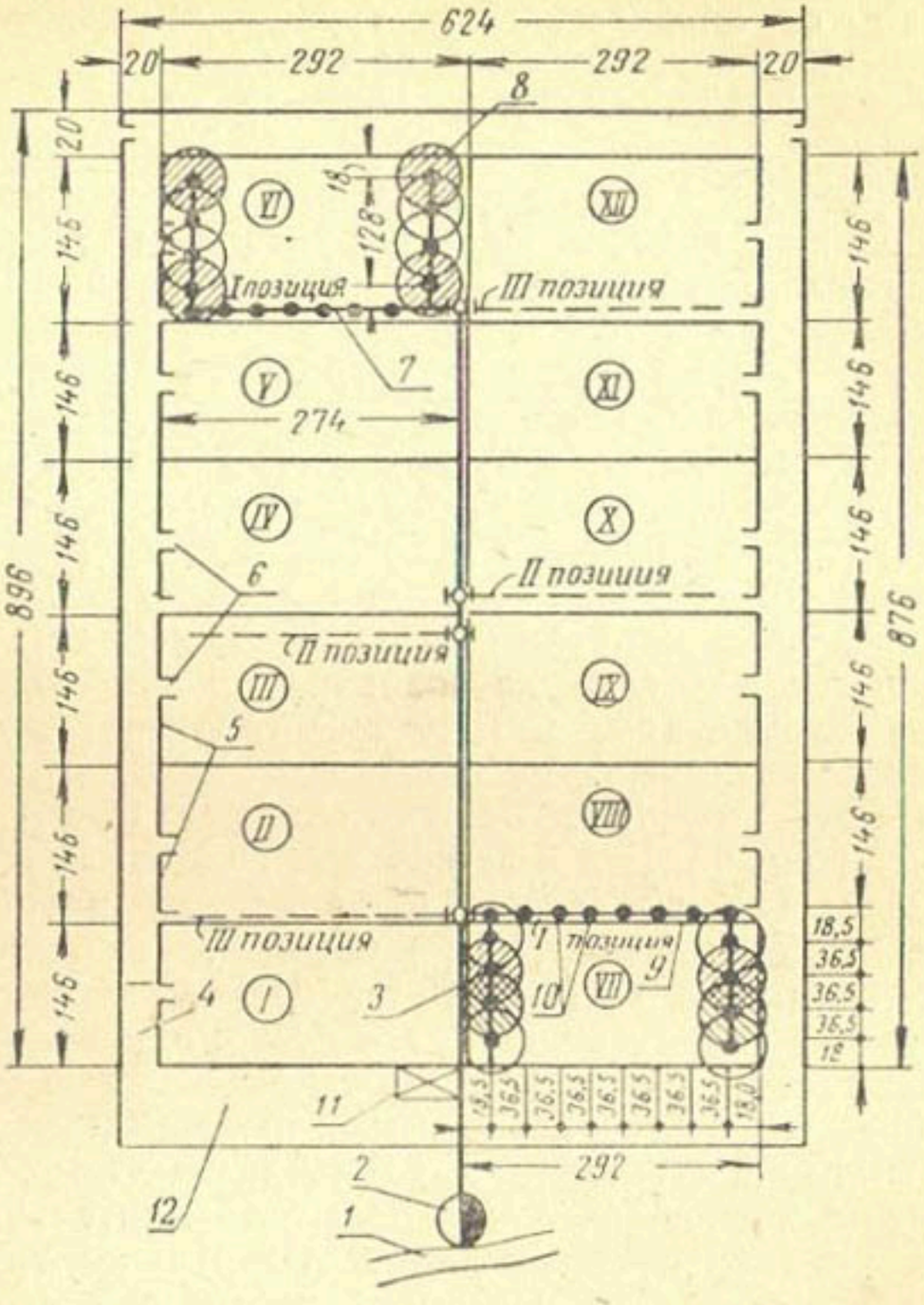


Рис. 12. Типовая схема полива участка культурного пастбища дождевальной установкой КИ-50 «Радуга»:

1 — водоисточник; *2* — насосная станция СНП 50/80; *3* — распределительный трубопровод с гидрантами; *4* — скотопрогон; *5* — изгородь; *6* — ворота; *7* — позиции первого полевого трубопровода с дождевальными крыльями *8*; *9* — позиции первого полевого трубопровода с дождевальными крыльями; *10* — гидранты на полевом трубопроводе через 36,5 м; *11* — водопойная площадка; *12* — площадка для отдыха.

водных тележек прямолинейно фронтально или по кругу вокруг неподвижной опоры. К таким дождевальным установкам, намеченным к широкому выпуску в СССР, относятся «Волжанка» и «Фрегат».

Полив установкой «Волжанка». Широкозахватный колесный дождеватель (ДКШ-64) «Волжанка» (рис. 8, *а*) предназначен для полива низкостебельных культур,

прежде всего зерновых, многолетних трав, культурных пастбищ и лугов.

ДКШ-64 может работать от гидрантов напорной сети как от стационарных, так и от разборных трубопроводов. Нормальная равномерность увлажнения поливаемой с позиции площади достигается при скоростях ветра до 5 м/с.

Установка состоит из двух дождевальных крыльев, располагаемых обычно по двухсторонней схеме относительно распределительного трубопровода. Каждое дождевальное крыло включает трубопровод, опорные колеса, дождевальные аппараты, приводную тележку с двигателем, узел присоединения к гидранту.

Технология проведения полива следующая. Первое дождевальное крыло, собранное на первой позиции у границы поля против гидранта напорного трубопровода, подсоединяют к гидранту и открывают задвижку. Вода из трубопровода поступает в дождевальное крыло, где под ее напором сливные клапаны автоматически закрываются и вступают в работу среднеструйные дождевальные аппараты. После того как будет вылита заданная поливная норма, задвижка на гидранте закрывается, давление в трубопроводе падает, а сливные клапаны автоматически открываются и выпускают воду из трубопровода. Затем крыло отсоединяют от гидранта, запускают двигатель на приводной тележке, и крыло перекатывается на новую позицию к следующему гидранту. Аналогичные операции проводят со вторым крылом. Оба крыла работают одновременно.

Максимальная полная длина одного дождевального крыла составляет 395,8 м, что позволяет поливать с одной позиции (с учетом перекрытия) полосу длиной 400 м (рис. 13).

В зависимости от размеров поливаемого участка дождевальное крыло можно уменьшить на определенное количество секций с соответствующим уменьшением расчетных расхода и длины полосы увлажнения.

На дождевальном крыле полной длины установлены 32 среднеструйных дождевальных аппарата, вращающихся по кругу с помощью поворотного коромысла ударного действия. Установка дождевального аппарата в рабочем вертикальном положении обеспечивается за счет специального устройства с противовесом независимо от положения трубопровода.

Скорость перекатывания трубопровода на новую позицию составляет 9 м/мин. Если при перекатывании отдельные колеса отстают, необходимо следить, чтобы искривление трубопровода не превышало 1,5 м, и периодически выравнивать его.

Так как дождевальные крылья ДКШ-64 перемещаются только фронтально, целесообразно закреплять за установкой площадь, не превышающую сезонной производительности. Поливной участок должен быть такой формы и размеров, чтобы его можно было поливать установкой, перемещающейся фронтально вперед и

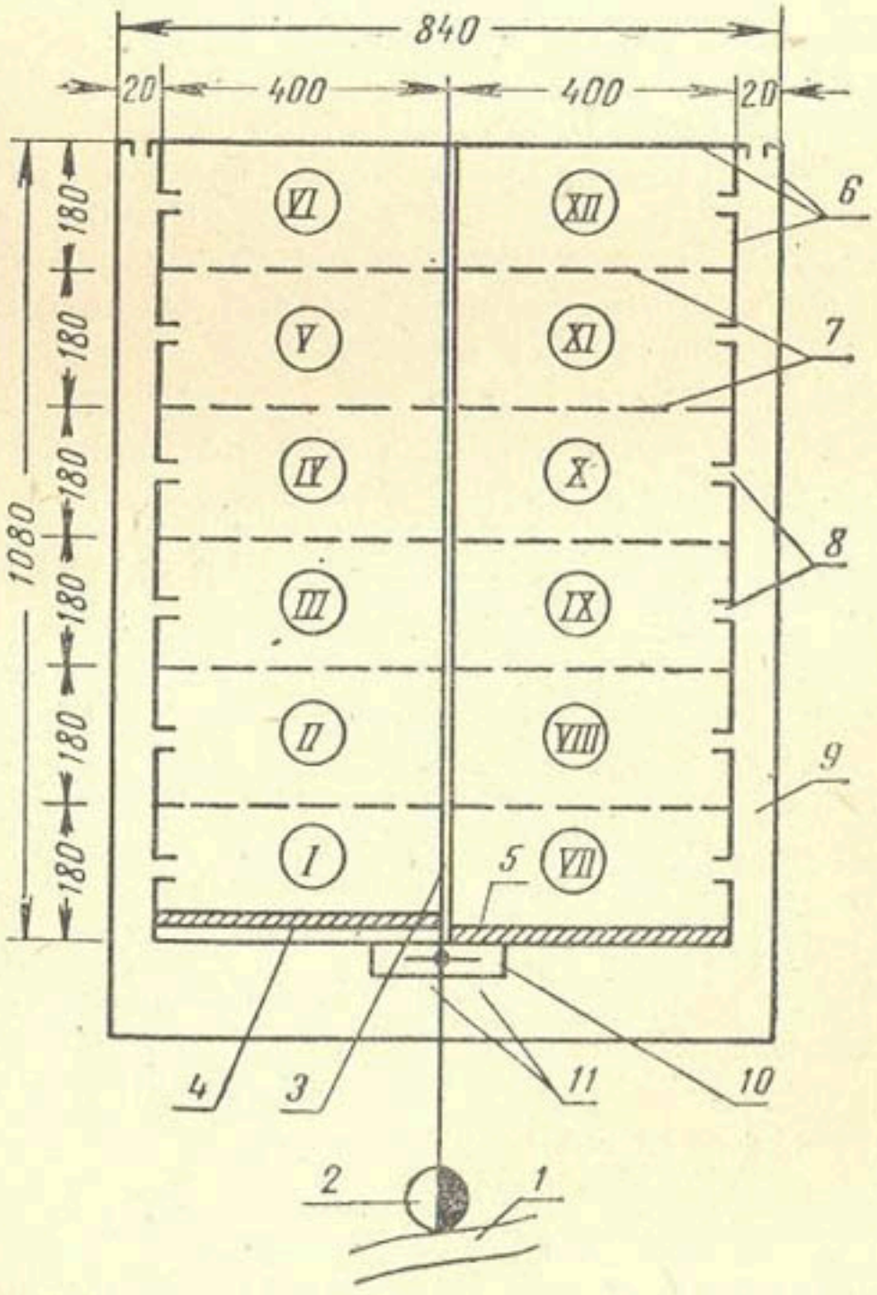


Рис. 13. Типовая схема полива участка культурного пастбища дождевальной установкой «Волжанка»:

1 — источник орошения; *2* — насосная станция; *3* — напорный трубопровод с гидрантами через 18 м; *4* — первое крыло «Волжанки»; *5* — второе крыло «Волжанки»; *6* — изгородь постоянная; *7* — временная изгородь; *8* — ворота; *9* — скотопрогон; *10* — водопойная площадка; *11* — площадка для отдыха.

назад без необходимости бокового перемещения на другие позиции.

Полив машиной «Фрегат». Дождевальная машина «Фрегат» представляет собой самоходную многоопорную автоматизированную дождевальную установку, производящую полив в движении по кругу вокруг неподвижной опоры (рис. 9, *б*).

Установка состоит из следующих основных узлов: водопроводящего трубопровода, опорно-ходовых тележек, дождевальных аппаратов, неподвижной опоры с поворотным коленом. На каждой самоходной опорно-ходовой тележке смонтированы гидропривод, обеспечивающий движение по кругу, и система автоматической синхронизации, с помощью которой контролируется изгиб трубопровода в горизонтальной плоскости и регулируется расход воды, поступаемой в гидропривод.

Для предотвращения поломок «Фрегат» оснащен двумя системами аварийной защиты — механической и электрической.

Машина может быть использована для полива как на одной, так и на нескольких позициях орошаемого участка.

Для повышения коэффициента политой на участке площади (в углах квадрата) «Фрегат» оборудуется дальнеструйным трехствольным аппаратом, который установлен на конце трубопровода и может работать на поливе по кругу и по сектору.

Трубопровод дождевальной машины имеет максимальную длину 454,5 м и опирается на 16 опорно-ходовых тележек.

В зависимости от размеров поля длину трубопровода и число опор можно уменьшать не меньше чем до десяти (табл. 8). Расстояния между опорами с первой (от центра) по седьмую составляет 24,7 м, с седьмой по шестнадцатую — 29,6 м; длина концевой консоли равна 15,2 м.

Высота трубопровода над поверхностью земли 2,2 м.

В нижней части фланцевых труб имеются штуцера для установки сливных клапанов, которые включаются и выключаются при определенном давлении.

При организации полива с помощью дождевальной машины «Фрегат» нужно учитывать следующие условия.

Гидрант устанавливается обязательно в центре участка, поливаемого с одной позиции. На поле не должно

Таблица 8

Длина, минимально необходимый напор и расход дождевальной машины «Фрегат» при разном количестве опорно-ходовых тележек

Количество опор в машине	Длина трубопровода, м	Напор на гидранте, м	Расход машины, л/с
16	454,5	65	100
15	424,9	62	85
14	395,3	60	70
13	365,7	55	55
12	336,1	53	48
11	306,5	51	40
10	276,9	50	30

быть линий электропередач, строений, оврагов, валунов, деревьев и др.

При работе машины на нескольких позициях предусматривают проезжие полосы для ее транспортировки (прямые, шириной не менее 5,5 м). Если дороги проходят через лесополосы, места строений, то в этих местах предусматривают проходы шириной не менее 6 м по обе стороны полосы. На дорогах не должно быть поперечных уклонов.

Местные уклоны участков не должны превышать 0,05, а общий — 0,02.

Транспортировку машины на другую позицию полива проводят за неподвижную опору, для этого в комплекте с машиной поставляется соответствующее оборудование.

Транспортировать «Фрегат» на другую позицию можно и без неподвижной опоры. В этом случае неподвижными опорами должны быть оборудованы все позиции; транспортируют машину на другую позицию буксировкой в продольном направлении.

Установку «Фрегат», а также каждое крыло установки «Волжанка» можно использовать на отдельном участке индивидуально. Однако наиболее целесообразно групповое размещение установок «Фрегат» и «Волжанка», что дает возможность одному человеку обслуживать несколько установок.

Коэффициент использования площади на участках, поливаемых «Фрегатом», может быть повышен (вплоть до 1) за счет применения других дополнительных дождевальных устройств для полива участков в углах квадратов.

Пути совершенствования дождевальной техники

Для совершенствования дождевальной техники необходимо:

улучшить структуру искусственного дождя (снижение интенсивности и крупности капель), чего можно достичь как за счет совершенствования конструкции насадок, так и за счет применения сменных насадок с соплами различных типоразмеров;

повысить производительность полива за сезон на одного человека обслуживающего персонала;

усилить эксплуатационную надежность дождевальных устройств;

обеспечить полную механизацию процесса полива;

устранить помехи для механизации сельскохозяйственных работ на орошаемых землях;

повысить коэффициент использования рабочего времени на поливе;

облегчить монтаж и демонтаж дождевальных крыльев и оросительных трубопроводов за счет совершенствования соединительных муфт;

снизить металлоемкость дождевальной техники на 1 га сезонной производительности;

сократить затраты энергии, необходимой для создания 1 мм искусственного дождя;

снизить стоимость 1 $м^3$ воды, подаваемой на полив с помощью дождевальных устройств;

автоматизировать процесс полива дождеванием;

снизить капитальные затраты на строительство дождевальных систем.

Автоматизация полива дождеванием

Основная задача этой проблемы — разработка методов расчета и конструкций оросительных систем с автоматизацией управления водораспределением на основе сигналов, поступающих от специальных устройств, устанавливаемых на полях (в почве или на растениях), о необходимости проведения поливов.

Эта задача наиболее успешно может быть решена на закрытых стационарных системах дождевания.

На автоматизированных оросительных системах возрастает производительность труда поливальщиков, об-

легчается и сводится к минимуму труд людей, обеспечивается рациональное использование воды и земли.

Полностью автоматизированная оросительная дождевальная система в дополнение к основным элементам оросительной системы должна быть оснащена дополнительным оборудованием, включающим устройства для возбуждения сигналов, управления (командования) ими и исполнения команд.

Возбуждение сигналов о начале и конце поливов может происходить с помощью специальных чувствительных элементов, размещаемых на орошаемых полях (тензометры, датчики, нейтронные влагомеры). Сигналы о начале поливов подаются в зависимости от требуемой влажности почвы, сосущей силы корневой системы растений, влажности приземного слоя воздуха, температуры воздуха или растений и др. Подача сигнала может проводиться также по заранее запрограммированному графику во времени и быть комбинированной: начало полива — по сигналам с поля; окончание одного цикла поливов — по программе.

Сигнал об окончании поливов можно давать также при наличии специальных устройств, регистрирующих определенные условия: например выпадение дождя слоем определенной величины (вылив заданной поливной нормы) при ветре, имеющем скорость выше допустимой и др.

Сигналы поступают на пульт автоматического дистанционного управления, откуда даются соответствующие команды на включение или выключение насосных станций и исполнительных механизмов (задвижек или клапанов).

Вопросы районирования техники полива

В ближайшие 10—15 лет для интенсивного развития орошения в СССР будут вводиться в эксплуатацию новые и реконструироваться существующие оросительные системы.

Одним из важный факторов, влияющих на успешное развитие орошения, является техника полива. Поэтому очень важно составить правильный прогноз распространения наиболее целесообразных и эффективных способов полива по отдельным регионам, оросительным си-

стемам и хозяйствам, то есть составить план районирования техники полива.

Районирование техники полива необходимо в целях:

правильного обоснования схем использования водных ресурсов;

определения потребности в различных видах поливной техники, оборудования, строительных конструкций и материалов;

правильного размещения и организации индустриальной базы для ирригационного строительства;

своевременного планирования заказов на поставки для ирригационного строительства по годам и регионам;

планирования подготовки соответствующих кадров для объектов ирригационного строительства и эксплуатации;

обоснования генеральных планов переустройства оросительных систем;

обоснования проектов переустройства внутрихозяйственной оросительной сети и техники полива в отдельных хозяйствах.

Основными факторами, влияющими на районирование техники полива, являются:

природно-климатические условия, то есть водно-физические свойства почвы (прежде всего водопроницаемость почвогрунтов), уклоны и характер рельефа территории, почвенный покров, температура, скорости и повторяемость ветров, мелиоративное состояние земель;

агротехнические условия, то есть план сельскохозяйственного использования орошаемых земель, режим орошения, агротехника, урожаи, затраты труда, себестоимость продукции;

хозяйственные условия или трудовые и энергетические ресурсы, финансовые и технические возможности.

Районирование техники полива проводят на основании анализа всех факторов, исходя из условия внедрения современных способов полива, позволяющих обеспечивать высокую производительность, механизацию и автоматизацию процессов при получении высоких устойчивых по годам урожаев, сохранения благоприятного мелиоративного состояния почвогрунтов, экономической целесообразности и технических возможностей.

Особенности организации и техники полива орошаемых культурных пастбищ

Культурные пастбища размещаются вблизи животноводческих ферм на землях, пригодных для создания высокопродуктивных травостоев. К ним в первую очередь относятся пойменные земли, низинные луга, осушаемые болота, суходолы и склоновые земли.

Участок под культурное пастбище следует выбирать с учетом возможности его дальнейшего расширения.

Культурные пастбища размещают на расстоянии до 2 км от скотных дворов для взрослого поголовья скота и не более 1 км для молодняка.

Если культурные пастбища расположены на большем расстоянии от ферм, необходимо устраивать для скота специальные летние лагеря с удобными скотопрогонами.

Для каждой хозяйственной группы скота следует организовывать самостоятельные участки культурных пастбищ.

Площадь такого участка устанавливают в зависимости от количества скота в стаде (гурте), потребности животных в зеленом корме, урожайности, травостоя, характера распределения его продуктивности по периодам пастбищного сезона. Необходимое количество кормовых единиц за пастбищный сезон на 1 корову (при среднесуточном удое 12 кг молока) составляет для лесолуговой зоны 1500—1600, лесостепной 1700—1800, степной 1900—1950 и сухостепной 2100—2200.

В 1 кг зеленого пастбищного корма содержится в среднем 0,2 кг кормовых единиц.

В среднем можно считать, что на 1 га высокопродуктивного пастбища (7—8 тыс. кормовых единиц) содержится в летний период 2—4 коровы (табл. 9). В одном стаде, пасущемся на участке культурного пастбища, допускается коров 200, молодняка крупного рогатого скота до 300, телят 100, овец до 1000 голов. Исходя из этого, площадь одного участка обычно составляет 50—70 га. Для содержания нескольких гуртов скота площадь культурных пастбищ увеличивается соответственно их числу.

На культурных пастбищах действует принцип: короткий период пастьбы, длительный отдых. Поэтому на всех современных пастбищах принята загонная система,

с тем чтобы на площади одного загона скот пасся не более 5—6 дней.

В каждой стране принято разбивать пастбища на определенное число загонов (например, в США на 6, в ГДР на 24)), а в СССР наиболее широко распространена 12-загонная система на культурных пастбищах с оптимальным соотношением сторон в загоне 1 : 2, 1 : 3. Лучшие сроки стравливания загонов 2—3 дня. Полный цикл стравливания травостоя во всех загонах не должен превышать периода отрастания зеленой массы, который для большинства травостоев составляет от 22 до 30 суток, в среднем 26 суток.

Таблица 9

Площадь культурного пастбища, потребная для выпаса одной коровы, га

Зона	Пастбища	
	бобово-злаковые	злаковые
Лесолуговая	0,40	0,32
Лесостепная	0,34	0,28
Степная	0,30	0,3
Сухостепная	0,27	0,28

Загоны ограждают постоянной или переносной изгородью. Для постоянных загонов используют бетонные или деревянные столбы высотой 1,1—1,3 м над поверхностью земли. Расстояние между железобетонными столбами 6—8 м, между деревянными 5 м. Изгородь устраивают из трех рядов гладкой или колючей проволоки (желательно оцинкованной) диаметром до 6 мм.

Для сообщения между загонами оставляют скотопрогоны шириной 10—15 м, со стороны которых в постоянных изгородях делают ворота шириной 6—8 м.

Для постоянных электроизгородей с толщиной проволоки 2—3 мм ограждающие столбы устанавливают высотой 0,8—0,9 м.

Временные (переносные) изгороди обычно делают электрическими. При длине загонов более 300—400 м ворота и скотопрогоны устраивают с обеих сторон загонов, так как дернина пастбища может быть разрушена скотоотбойными тропами.

На культурных пастбищах предусматривают площадки для отдыха скота и водопойные пункты.

Режим орошения травостоя. На культурных пастбищах в корнеобитаемом слое почвы должна поддерживаться влажность на уровне 70—80% от предельно полевой. Недостаток влаги в верхних слоях усиливает депрессию в отрастании лугопастбищных трав даже при среднегодовом количестве осадков 650—700 мм. Поэтому наиболее эффективны орошаемые пастбища.

Режим орошения трав на культурном пастбище устанавливается по общим принципам, рекомендуемым для сельскохозяйственных культур. При отсутствии подробных исходных данных по водопотреблению для конкретных условий района и состава травостоя размеры водопотребления пастбищных трав в различных зонах страны можно принимать по данным таблицы 10.

Таблица 10

Размер водопотребления пастбищных трав в различных природных зонах страны

Природные зоны	Продолжительность вегетации трав, дней	Сумма температур воздуха за период с температурой больше 5° С	Суммарное водопотребление, м³/га
Лесолуговая	150—170	1900—2400	4000—5000
Лесостепная	160—180	2200—2800	4500—6500
Степная	185—200	3000—3400	6000—8000
Полупустынная	195—210	3400—3800	7000—9000

Продолжение

Природные зоны	Дефицит водопотребления, м³/га	Расчетная суточная потребность в поливной воде	
		мм	л/с/га
Лесолуговая	800—2000	2,5—3,5	0,30—0,40
Лесостепная	1500—3000	3,0—4,5	0,35—0,55
Степная	3000—5000	4,0—6,5	0,45—0,75
Полупустынная	4500—7000	6,0—8,0	0,70—0,90

Режим орошения культурных пастбищ в различных природных зонах страны ориентировочно можно принимать по данным таблицы 11.

Таблица 11

Режим орошения пастбищ в различных природных зонах страны

Природные зоны	Оросительная норма, м³/га	Число поливов	Поливная норма, м³/га	Число стравливаний	Число поливов за цикл стравливания
Лесолуговая	800—2000	3—6	300—400	4—6	До двух
Лесостепная	1500—3000	4—8	300—500	5—6	
Степная	3000—5000	8—10	400—600	6—7	
Полупустынная	4500—7000	10—12	500—800	6—8	

Сроки поливов в период отрастания травы (между двумя стравливаниями) зависят от ботанического состава трав. Для злаковых трав первый полив проводят на 5—6-й день после стравливания.

Для клеверов первый полив рекомендуется давать сразу после стравливания. Пасти скот в загоне можно на 8—10-й день после полива.

При отрастании травы до пастбищной спелости при жаркой и сухой погоде рекомендуется давать обычно два полива за 24—26 дней: первый — после стравливания, второй — в середине периода отрастания.

Техника полива на культурных пастбищах. В принципе для полива культурных пастбищ можно применять как дождевание, так и самотечный способ полива напуском по полосам. Однако полив напуском по полосам требует нарезки ограждающих земляных валиков, которые разрушаются скотом при стравливании травостоя в загоне, а при восстановлении валиков вдоль них нарушается травостой. Поэтому полив напуском по полосам на культурных пастбищах распространения не получил и единственным целесообразным и эффективным способом полива следует считать дождевание.

Полив культурных пастбищ можно проводить дождевальными машинами и установками всех существующих типов. Основное требование организации территории культурного пастбища — увязка границ загонов, скотопрогонов, конструкций изгороди и ворот с параметрами дождевальных машин и установок.

Оросительная сеть на культурных пастбищах может быть закрытой, открытой и комбинированной, но предпочтение отдается закрытой подземной сети. Открытая

сеть нецелесообразна вследствие присущих ей общеизвестных недостатков. Кроме того, открытые каналы на культурных пастбищах нужно ограждать изгородями: с одной стороны — по бровке канала, с другой — на расстоянии 5 м от бровки для прохода дождевальных машин и механизмов для очистки каналов.

В случае комбинированной сети рекомендуется устраивать закрытую сеть на территории загонов, а открытую сеть выносить за границы культурного пастбища. Открытые каналы вдоль скотопрогонов следует ограждать и устраивать мостовые или трубчатые переходы шириной, равной ширине скотопрогонов, с ограждениями по краям. Сеть из разборных или стационарных трубопроводов, уложенных по поверхности земли в местах прохода скота, необходимо закрывать специальными кожухами.

Закрытую сеть проектируют и строят по принципам, изложенным ниже (см. гл. III).

Ниже рассмотрены типовые схемы и особенности организации территории участков культурного пастбища при поливе различными дождевальными машинами и установками.

На рисунке 10 приведены основные принципиальные схемы расположения оросительной сети для полива ДДА-100МА в увязке с границами и размерами загонов, в которых соотношение сторон загона составляет более 5, тогда как оптимальными считается 2—3. Увеличить же ширину загонов при той же длине можно лишь за счет сокращения количества загонов до 6—7, что не рекомендуется.

Лучшее соотношение сторон загонов при сохранении их числа возможно за счет устройства дополнительных позиций разборных трубопроводов и сокращения длины оросителей до 320—400 м. В этом случае может быть и несколько позиций передвижной насосной станции.

За счет увеличения капитальных затрат трубопроводы и насосная станция в рассмотренных схемах могут быть стационарными. Перемещаемые трубопроводы и насосные станции чаще всего бывают целесообразными на затапливаемых пойменных участках.

Опыт эксплуатации культурных пастбищ показал, что постоянная изгородь вдоль оросителей не требуется, так как последние делят каждый загон на несколько обособленных участков. Для прохода скота и машин в

каждый участок предусматривают ворота в обоих концах загона. Стравливание участков в загоне следует вести последовательно.

Типовые схемы составлены, исходя из сезонной производительности агрегата, принятой 100—110 га (брутто). Коэффициент земельного использования составляет в среднем 0,88. Повышение к. з. и. возможно при решении вопроса о замене открытых оросителей гибким трубопроводом, обеспечивающим подачу воды к движущемуся при поливе агрегату.

Приведенные на рисунке 10 схемы полива для ДДА-100МА приемлемы и для полива агрегатом ДДН-70 при изменении расстояний между оросителями. Однако полив агрегатами ДДН-70 наиболее целесообразно вести от закрытой сети, которая может быть любого типа — стационарной, передвижной, полустационарной. По условиям эксплуатации предпочтение следует отдать стационарной оросительной сети. На рисунке 11 показана принципиальная схема полива культурного пастбища агрегатом ДДН-70 от разборной трубчатой сети.

Число позиций агрегата на одном полевом трубопроводе может изменяться от 2 до 4, в зависимости от площади участка, количества загонов и их формы. В рассмотренной схеме полива к. з. и. участка составляет до 0,94.

Изгородь делается постоянной.

При поливе культурного пастбища дождевальной установкой «Волжанка» поливной трубопровод с гидрантами располагается посредине участка культурного пастбища, а два крыла установки размещаются по обе стороны трубопровода. Начало движения на поливе принимают по двум схемам: дождевальные крылья начинают полив с противоположных сторон или с одной стороны (рис. 13). В первом случае улучшаются гидравлические условия работы трубопровода, верхняя половина которого работает на половинный расход установки, но ухудшаются условия обслуживания крыльев установки при перемещении их на очередную позицию. Недостатком приведенных выше схем полива является то, что очередной цикл поливов приходится начинать с загонов, полив которых проводился позже. Устранить этот недостаток можно за счет холостого перекатывания (без остановок для проведения полива) дождевальных

крыльев через политые загоны к исходному положению. При этом несколько снижается коэффициент использования времени работы установки на поливе. Коэффициент земельного использования составляет 0,95. Изгородь загонов на пути перемещения «Волжанки» делается переносной.

Схема полива участка культурного пастбища дождевальной установкой КИ-50 «Радуга» показана на рисунке 12.

Весьма эффективно применение для полива участков культурного пастбища дождевальных машин «Фрегат», в особенности при орошении с использованием подземных вод. Капитальные затраты на строительство и организацию орошаемого пастбища, поливаемого «Фрегатом», составляют в среднем 500—700 руб/га.

На рисунке 14 показаны различные схемы организации территории участка культурного пастбища в зависимости от формы загонов. Следует отметить, что дождевальная машина «Фрегат» с одной позиции ведет полив по кругу, а наиболее распространенная форма участка культурного пастбища четырехугольная. На орошаемых культурных пастбищах приняты две формы участка, поливаемого этой машиной с одной позиции: квадратная, при которой неполиваемые углы квадрата включаются в площадь загонов, и восьмиугольная, при которой неполиваемые углы квадрата не используются для выпаса в загонах. В этом случае участок ограждается по площади восьмиугольника.

Четырехугольную форму участка рекомендуется применять в лесолуговой, лесостепной и частично степной зонах, где под воздействием естественного увлажнения в неполиваемых углах квадрата развивается травостой, обеспечивая выпас скота в первые два стравливания.

Восьмиугольная форма участка предлагается для зоны южных степей и полупустынь, где естественные осадки не позволяют без орошения сформировать пригодный для стравливания пастбищный травостой.

Выбор схемы размещения загонов и скотопрогонов зависит от конкретных хозяйственных и других условий и решается на основании технико-экономического сравнения вариантов, учитывающих протяженность скотопрогонов, изгородей, удобство эксплуатации, согласованность режима поливов загонов с режимом стравли-

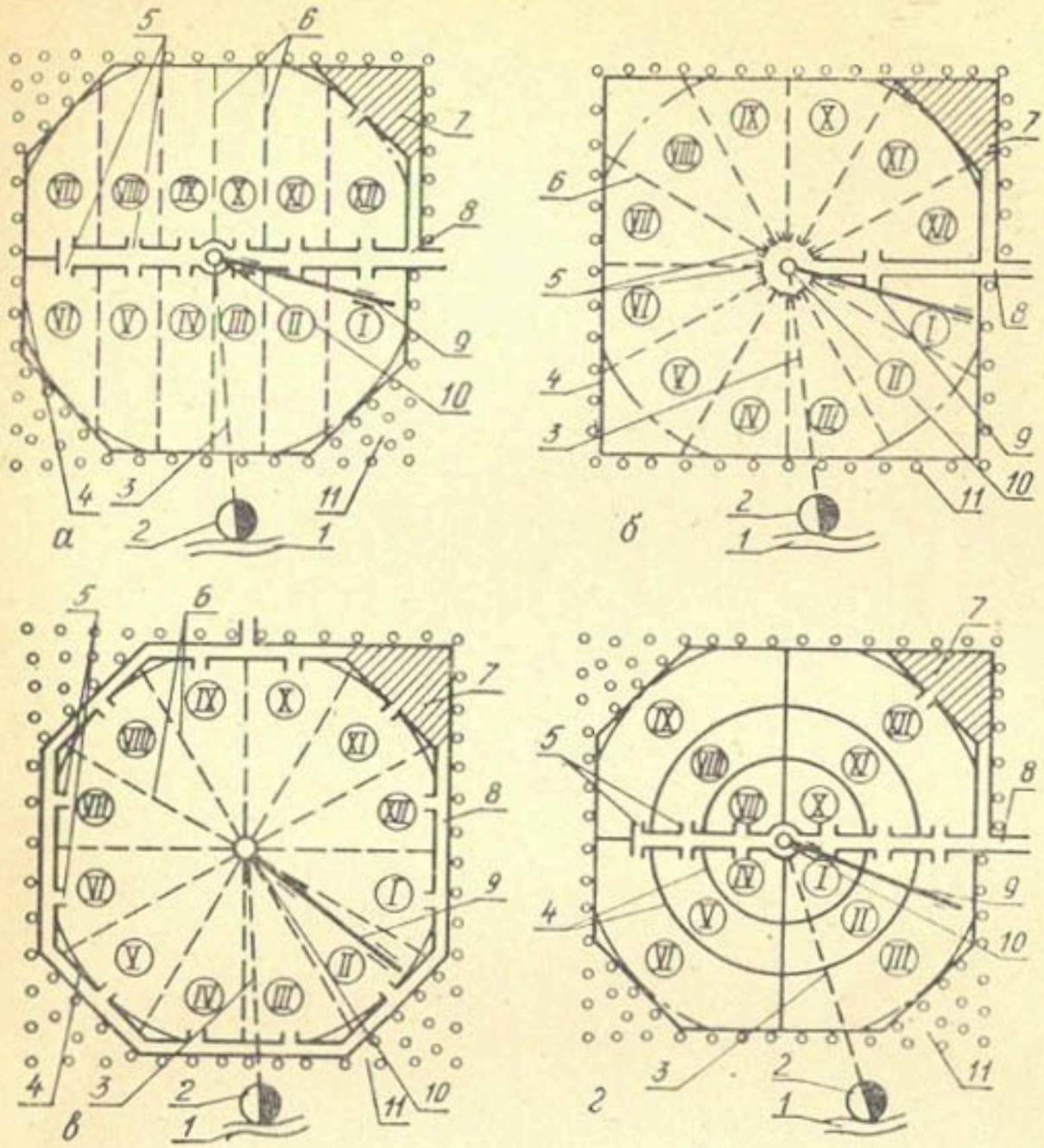


Рис. 14. Схемы организации территории участка культурного пастбища, орошаемого дождевальной установкой «Фрегат» с одной позиции с загонами:

а — прямоугольной и трапецеидальной формы; *б* — секторной формы со скотопрогоном и воротами в центре участка; *в* — то же, со скотопрогонами и воротами по периметру участка; *г* — с загонами сегментной формы; *1* — источник орошения; *2* — насосная станция; *3* — напорный трубопровод; *4* — постоянная изгородь; *5* — ворота; *6* — временная изгородь; *7* — летний лагерь; *8* — скотопрогон; *9* — «Фрегат»; *10* — гидрант; *11* — лесонасаждения.

вания, воздействие стада на травяной покров пастбища и пр.

Отметим основные достоинства и недостатки различных схем.

В первой схеме (рис. 14, *а*) прямоугольная форма загонов удобна для равномерного выпаса по площади. Недостатком является неодновременность полива одного загона.

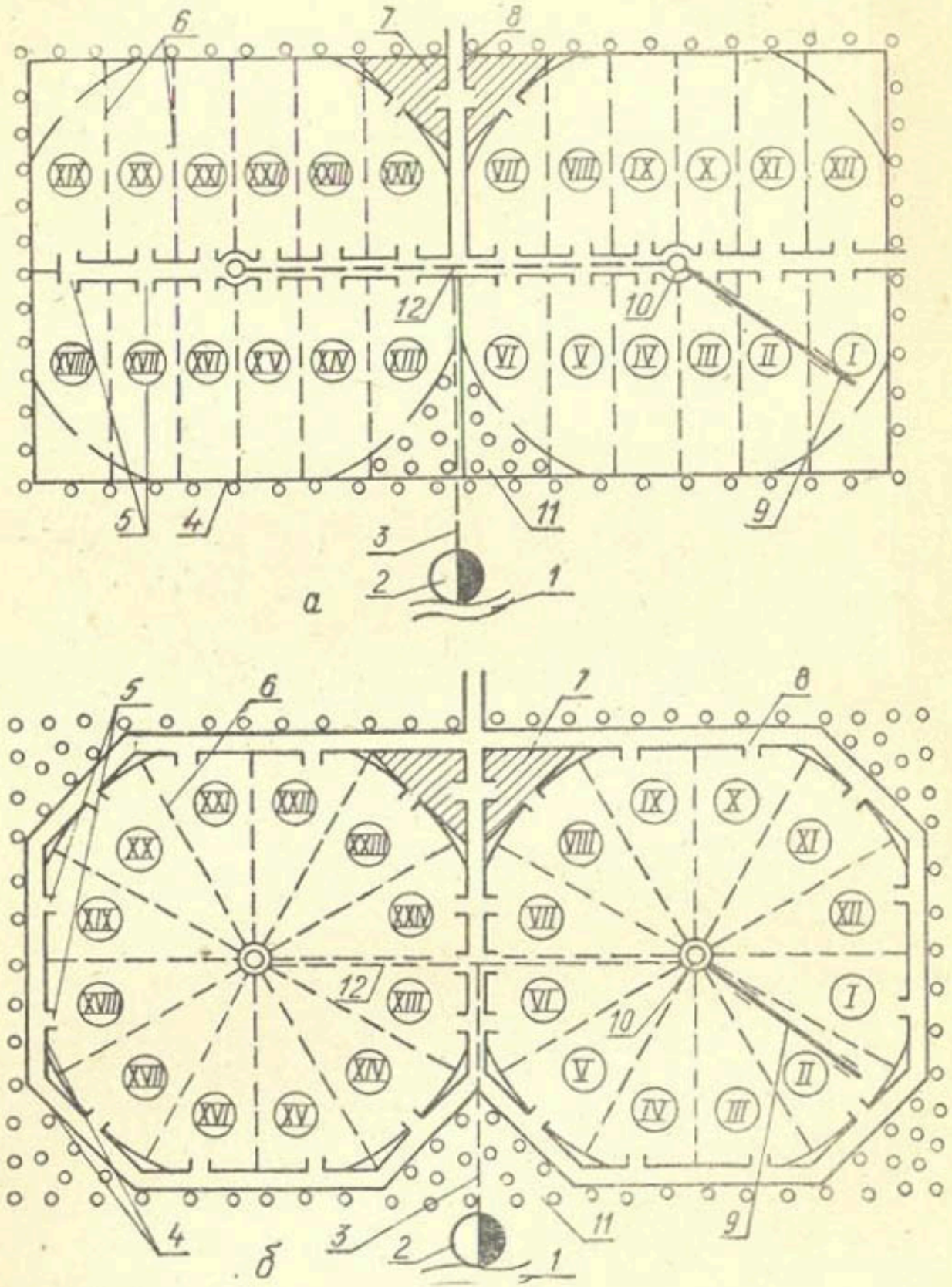


Рис. 15. Схемы организации территории участка культурного пастбища, орошаемого дождевальной установкой «Фрегат» с двух позиций:

а — с загонами прямоугольной или трапецеидальной формы; *б* — с загонами секторной формы (обозначения те же, что на рис. 14).

Схема (рис. 14, *б*) характеризуется минимальной длиной скотопрогона и одновременным поливом одного загона, но обладает стесненной частью со стороны ворот для прохода скота. Принято считать, что ширина загона должна быть такой, чтобы на каждую корову приходилось 0,5—0,7 м его ширины, что в этой схеме не выполняется.

Схема (рис. 14, *в*) аналогична предыдущей схеме, но в ней улучшены условия для входа стада в загон, однако увеличена протяженность скотопрогонов.

В схеме (рис. 14, *г*) форма загонов более удобна для выпаса скота, протяженность скотопрогонов средняя, но недостатком является одновременность полива трех загонов, что может создавать разрыв между оптимальными сроками поливов и стравливания в отдельных загонах.

На рисунке 15 показаны некоторые схемы организации территории культурного пастбища, поливаемого машиной «Фрегат» с двух позиций.

На участках, орошаемых машиной «Фрегат», постоянные изгороди обычно устраивают по внешним границам и по границам скотопрогонов. Границы между загонами ограждают чаще всего переносными электроизгородями («электропастухами»).

Исключение составляет схема (рис. 14, *г*), в которой кольцеобразную изгородь целесообразнее делать постоянной. Во всех постоянных изгородях должны быть предусмотрены ворота для прохода опор машины «Фрегат».

ГЛАВА III

ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Пути технического прогресса при устройстве оросительной сети

На всех оросительных системах нашей страны насчитывается свыше 340 тыс. километров оросительных каналов. По ним за год от источников орошения к полям подается 100—110 млрд. м³ воды. От конструкции и технического состояния каналов зависит величина потерь воды из них на фильтрацию, коэффициент полезного действия каналов и оросительных систем, а в итоге оросительная способность источников орошения и мелиоративное состояние орошаемых и окружающих их земель.

В настоящее время оросительная сеть в большинстве случаев представлена открытыми земляными каналами трапецеидального сечения. Как известно, открытые земляные каналы теряют много воды на фильтрацию, и часто коэффициент полезного действия (к. п. д.) их систем составляет 0,5—0,6. Это приводит к необходимости увеличивать пропускную способность оросительных каналов и сооружений, чтобы обеспечить потребные расходы воды, повышает капитальные затраты на строительство каналов с сооружениями и дренажа и расходы на оплату энергии при механическом подъеме воды насосными станциями.

Борьба с фильтрацией воды из каналов — одна из первостепенных задач, и в настоящее время ей уделяется большое внимание как при строительстве новых, так и при реконструкции существующих оросительных каналов.

Наиболее эффективные способы борьбы с фильтрацией из каналов — различные противофильтрационные мероприятия, замена земляных каналов лотками из железобетона или трубопроводами.

Предполагается, что к концу девятой пятилетки в земляном русле останется лишь 24% всей протяженно-

сти оросительных каналов (в том числе сеть каналов рисовых систем и систем, расположенных в дельтах рек).

К 1985 г. планируется снижение удельного веса открытых земляных каналов до 10% общей протяженности каналов, с противофильтрационной одеждой — до 11%, в лотках — до 22% с увеличением доли оросительной сети в виде трубопроводов до 57% общей протяженности сети.

Возрастающая роль закрытых оросительных систем объясняется прежде всего лучшими условиями для применения современной дождевальной, в том числе широкозахватной, техники, создания полностью автоматизированных систем. Эффективное решение вопроса об увеличении протяженности трубчатой оросительной сети будет связано также с внедрением в практику строительства закрытых оросительных трубопроводов не только из асбестоцемента, железобетона и металла, но и из различных пластических материалов (полиэтилена, поливинила, поливинилхлорида, винипласта и др.).

Каналы с различными одеждами и экранами

Способы снижения фильтрационных потерь воды из открытых оросительных каналов в земляном русле можно разделить на две основные группы — строительные и эксплуатационные.

Группа строительных мероприятий включает создание противофильтрационных одежд; устройство противофильтрационных экранов; снижение фильтрационной способности грунтов, слагающих ложе канала (механическими и химическими методами).

К группе основных эксплуатационных мероприятий относятся: внедрение планового водопользования на оросительной системе; своевременное проведение ремонта каналов и сооружений на них во избежание утечек воды.

Противофильтрационные одежды каналов могут быть из бетона и железобетона, битумных материалов, камня, полимерных пленок.

Экраны устраивают из полимерных пленок или из грунтов с пониженной фильтрационной способностью (суглинков и глин).

Наибольшее распространение в настоящее время получили одежды (облицовки) из бетона и железобетона.

Монолитные бетонные одежды бывают однослойные и многослойные (обычно двухслойные). Толщину монолитных однослойных бетонных одежд рекомендуется принимать 10—25 см, в зависимости от требований, предъявляемых к степени водопроницаемости облицовок с учетом механизации работ.

Для монолитного бетонирования небольших каналов используют специальные виброформы, для бетонирования больших каналов применяют специальные комплексы машин, обычно состоящие из экскаватора-профилировщика, бетоноукладчика и нарезчика швов, который, кроме нарезки температурных и усадочных швов шириной 20 мм, проводит полив бетонированной поверхности специальной пленкообразующей жидкостью.

Эффективность и долговечность службы бетонных одежд в значительной мере определяется качеством швов в них, поэтому в настоящее время вопросу надежной герметизации швов бетонной одежды уделяется большое внимание. Из материалов для герметической заделки швов в одежде наибольшее распространение получили битумные мастики различных составов (рис. 16).

Одежды из сборных железобетонных плит применяют, когда производство монолитных одежд сопряжено с трудностями организационно-технического порядка, при наличии баз ирригационной индустрии, для ликвидации сезонности работ, при строительстве в труднодоступных малонаселенных районах, при реконструкции одежд из монолитного бетона. Одежды из сборных железобетонных плит могут быть однослойными (сборными, сборными бетонно-пленочными) и многослойными (сборно-монолитными, сборно-монолитными с гидроизоляцией, бетонно-асфальтовыми и другими). Многослойные одежды с гидроизоляционным слоем рекомендуется применять на наиболее ответственных участках каналов (на косогорах, на участках с просадочными и неустойчивыми грунтами, у ответственных сооружений, населенных пунктов и пр.).

Для сборной железобетонной одежды, как правило, используют тонкостенные плиты из напряженного железобетона толщиной не менее 6 см.

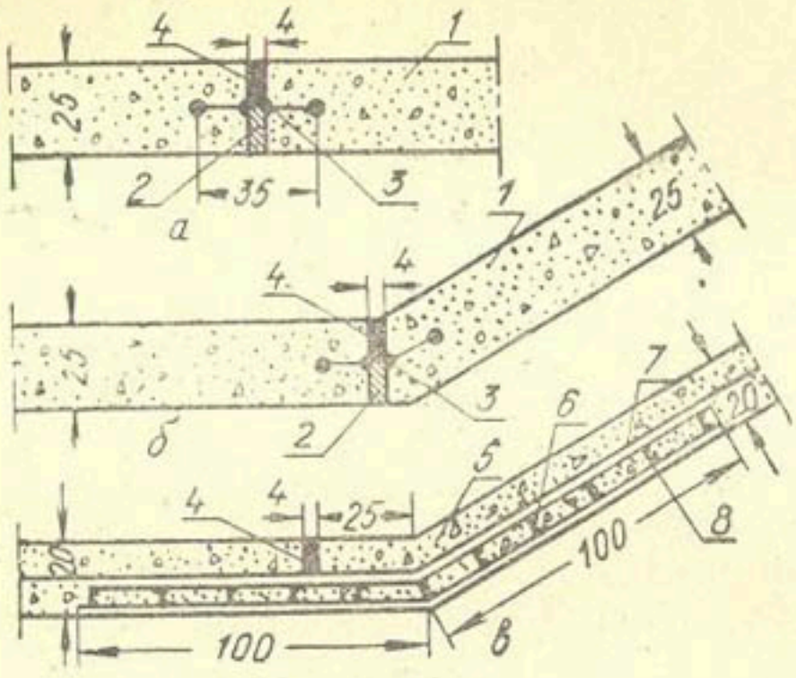


Рис. 16. Конструкции швов в однослойной и двухслойной бетонной облицовке:

а — поперечный температурный шов монолитной однослойной облицовки; *б* — продольный температурный шов монолитной однослойной облицовки; *в* — продольный температурный шов монолитной двухслойной облицовки; *1* — бетон; *2* — просмоленная доска; *3* — профильная прокладка δ = 1—1,5 см; *4* — битумная мастика; *5* — верхний слой бетона; *6* — нижний слой бетона; *7* — гидроизоляция δ = 0,5 см; *8* — двойная арматура (размеры в см).

В некоторых случаях на оросительных каналах применяют комбинации различных противофильтрационных мероприятий.

Срок окупаемости противофильтрационных мероприятий можно определить по формуле

$$n = \frac{P_к - P_д}{C_1 + C_2 - P_э} \text{ лет}, \qquad (10)$$

где $P_к$ — капитальные затраты на устройство противофильтрационных мероприятий;

C_1 — стоимость сэкономленной воды или стоимость дополнительной продукции, полученной за счет сэкономленной воды за год;

C_2 — снижение ежегодных затрат на предотвращение последствий от фильтрационных вод;

$P_э$ — ежегодные затраты на эксплуатацию противофильтрационных мероприятий;

$P_д$ — снижение капитальных затрат на устройство дренажа.

Лотковая оросительная сеть

Лотковая оросительная сеть представляет собой каналы-лотки, собранные из железобетонных звеньев, уложенных в местах их стыковки на опоры.

К достоинствам лотковой оросительной сети относятся:

резкое снижение фильтрационных потерь (до 90—95%), что уменьшает опасность засоления и заболачивания орошаемых земель;

повышение коэффициента земельного использования (к. з. и.);

предотвращение зарастания, заиления и размыва;

лучшие условия для обеспечения необходимого командования горизонтов воды в сети над орошаемой площадью, что особенно важно при проведении полива из стационарных распределительных и гибких поливных трубопроводов. При проведении трассы лотков по максимальному уклону местности возможно их двустороннее командование;

облегчение строительства в условиях пересеченного рельефа и выбора наиболее короткой трассы каналов;

меньший объем бетона по сравнению с устройством на каналах бетонных одежд;

возможность применения индустриальных методов строительства при комплексной механизации работ.

Недостатки лотковой оросительной сети:

подверженность механическим повреждениям торцов, углов и бортов звеньев лотков;

необходимость устройства перегораживающих сооружений на лотках в условиях бурного режима потока;

потребность в устройстве гидротехнических сооружений (дюкеров) в местах пересечений лотков с дорогами;

несовершенство приемов герметизации стыков звеньев лотков.

Отмеченные недостатки лотковой оросительной сети могут быть в значительной степени устранены при дальнейшем совершенствовании конструкции и технологии их изготовления, технологии и организации монтажных работ по строительству лотков-каналов, решении вопроса о надежной герметизации стыков звеньев лотков.

Конструкция лотков. Поперечное сечение лотка в принципе может быть любого очертания — параболическое, полукруглое (полуциркульное), трапецеидаль-

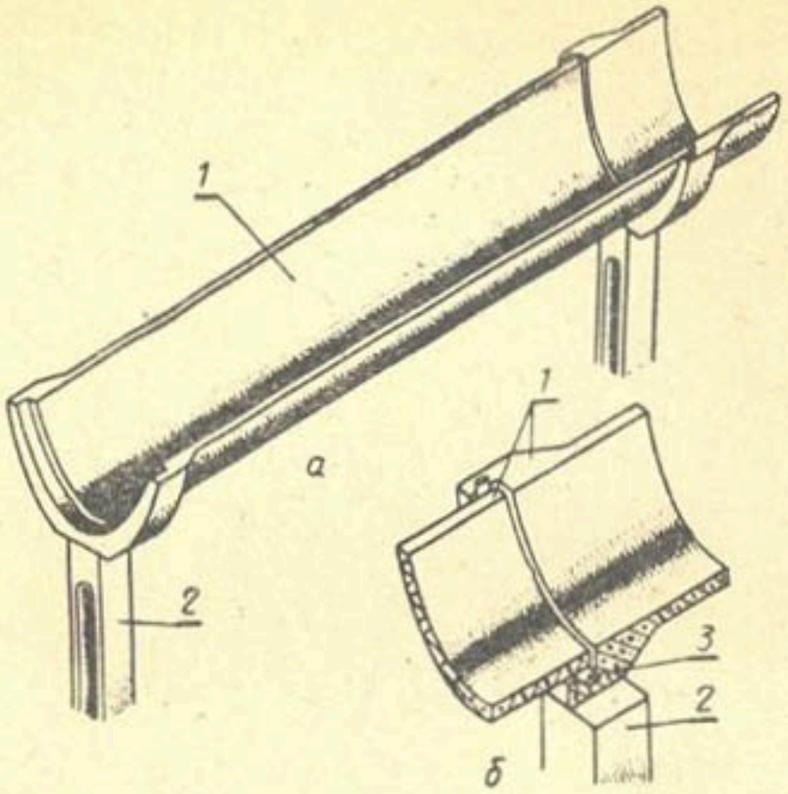


Рис. 17. Общий вид параболических лотков раструбного типа на свайных опорах (*а*) и деталь сопряжения конструкций (б):
1 — лоток с раструбом; *2* — свайная опора; *3* — уплотняющая стыковая прокладка.

ное и др. В настоящее время наиболее распространены лотки параболического сечения как наиболее экономичные.

Характер соединения отдельных звеньев лотков зависит от конструкции концов звена лотка. В настоящее время наиболее распространены две конструкции концов звена лотка.

Первая конструкция — один конец гладкий, другой в виде раструба (рис. 17); соединение лотков происходит за счет установки гладкого конца звена лотка в раструб на конце второго звена лотка. Такое соединение называется раструбным, а лотки с таким соединением имеют шифр Лр.

Вторая конструкция — оба конца у лотка гладкие. Лотки соединяются с помощью специальных седел, в которые устанавливаются концы двух звеньев лотков (рис. 18). Такое соединение называется седельным, а лотки с таким соединением имеют шифр Лс.

Герметизация стыков обеспечивается установкой в раструбе и седле под гладкими концами звеньев лот-

ков специальных уплотнителей. Наиболее простым уплотнителем служат пеньковые жгуты диаметром 20—30 мм, пропитанные битумом. Более надежным уплотнителем являются жгуты $d=20—25$ мм из специальных сортов резины (рис. 19, *а*, *б*).

В настоящее время широкое распространение для обеспечения герметизации стыков лотков получают полимерные материалы.

В некоторых случаях, в особенности при реконструкции лотковых каналов или ремонте их стыков, а также

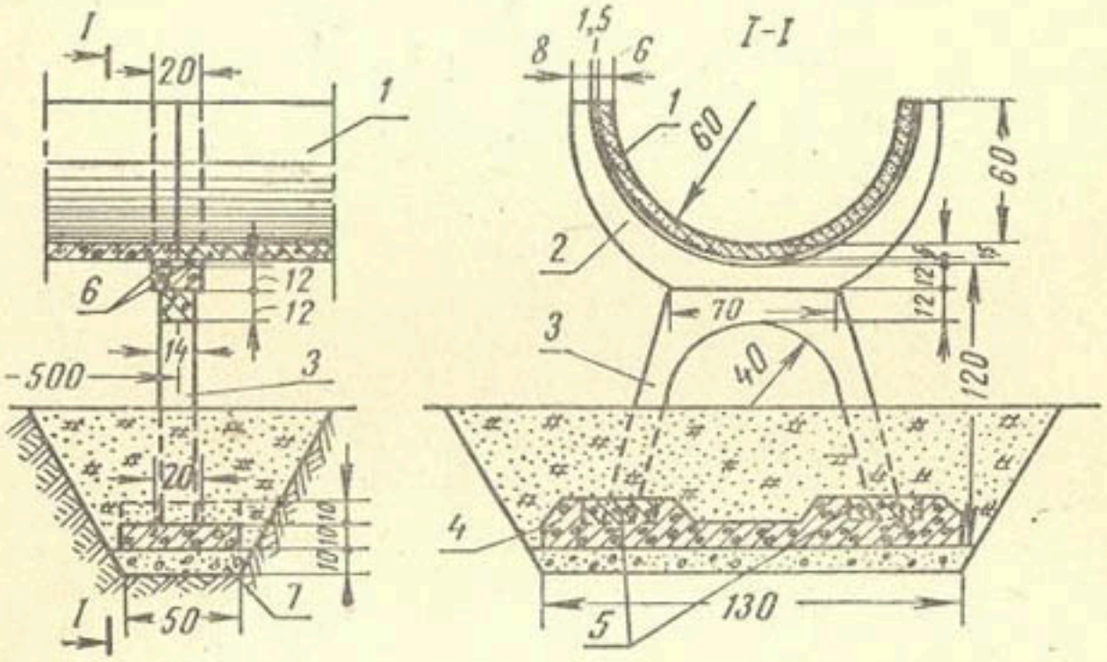


Рис. 18. Конструкция полуциркульных лотков, соединяемых с помощью седла на рамной стойке:

1 — лоток; *2* — седло; *3* — стойка; *4* — фундаментный блок; *5* — заделка цементным раствором; *6* — уплотняющие стыковые прокладки; *7* — подготовка из тощего бетона марки 25. Размеры в см.

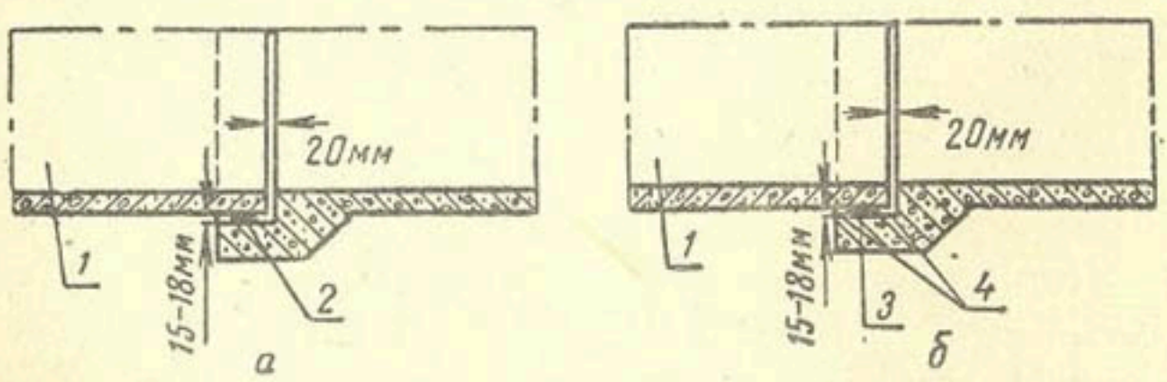


Рис. 19. Конструкция герметизации стыков раструбных лотков:

а — с помощью резинового уплотнителя; *б* — с помощью пенькового уплотнителя, пропитанного битумом; *1* — блоки лотков; *2* — прокладка из резины $d=20—25$ мм; *3* — жгут из пеньковой пряди $d=30$ мм, пропитанной битумом; *4* — окраска обитумом в два слоя.

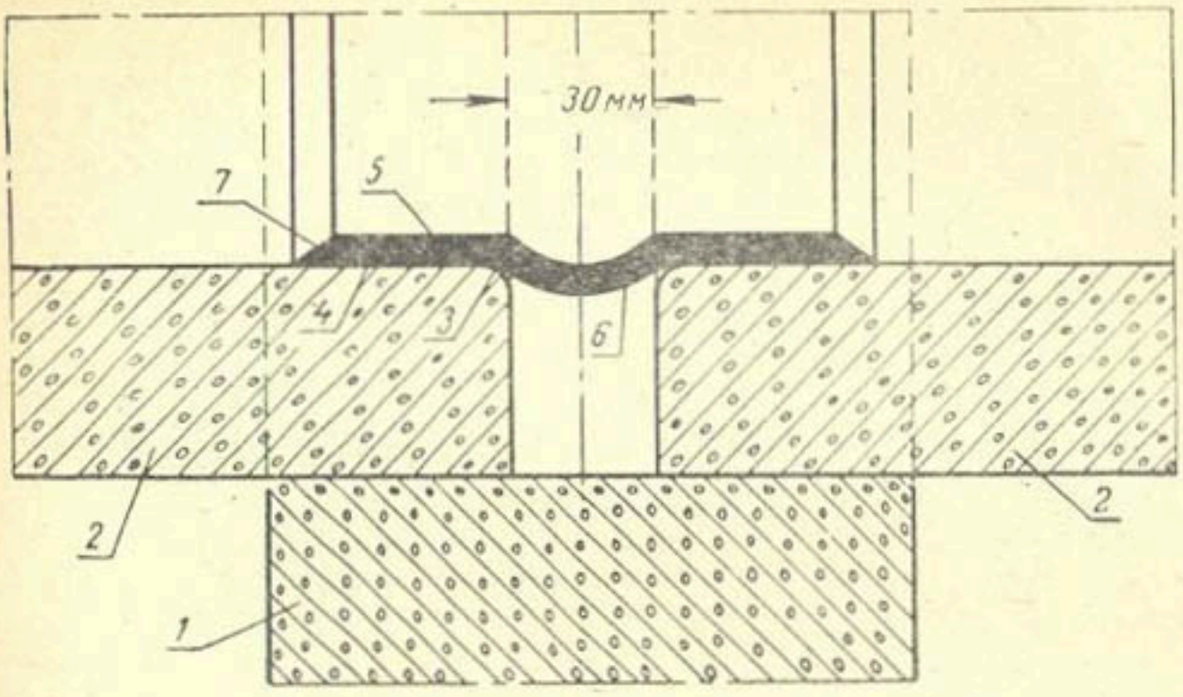


Рис. 20. Конструкция стыка лотков с гладкими концами с применением полимерных герметиков:

1 — опора в виде седла; *2* — блоки лотков; *3* — сглаженные кромки лотков; *4* — клей-мастика; *5* — стеклотиокол; *6* — компенсатор; *7* — подмазка мастикой.

при отклонениях геометрических размеров стыкуемых поверхностей лотков от стандартных целесообразно герметизировать стык специальными оклеечными армогерметиками — армированными высокопрочными тканными водо- и щелочестойкими материалами (рис. 20).

Лотки-каналы изготовляют из ненапряженного или напряженного железобетона. Лотки из напряженного железобетона имеют шифр Лрн, Лсн. Они имеют ряд преимуществ перед лотками из ненапряженного бетона.

Лотковую оросительную сеть в местах стыков звеньев лотков устанавливают на специальные опоры в виде свай, стоек, опорных плит. Как правило, лотковые каналы следует располагать выше поверхности земли не менее чем на 20 см.

Уменьшение указанной величины или заглубление дна лотка ниже поверхности земли допускается в виде исключения на отдельных участках при обязательном соблюдении командования в местах водовыпусков из лотков во временную сеть.

На таких участках для обеспечения водоотвода и нормальных условий эксплуатации предусматривают выемку на трассе лоткового канала с продольным уклоном для оттока воды. Выемку грунтом не засыпают.

На каналах-лотках, где размещены водовыпуски во временную оросительную сеть, превышение дна лотка над поверхностью земли должно быть не более 1,5 м, а во всех остальных случаях не более 3,5 м в соответствии с конкретными рельефными и проектными условиями.

Наиболее совершенна типовая конструкция параболических железобетонных лотков для оросительных каналов на расход до 5 м³/с.

Соединение лотков — раструбное, глубина их принята 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 120 см; длина 8 м.

Подбор лотков. Область целесообразного применения лотковых каналов в зависимости от уклонов по их трассам ориентировочно может быть принята в пределах $i=0{,}0005—0{,}003$.

При уклонах более 0,003 каналы-лотки допускается применять при соответствующем технико-экономическом обосновании и невозможности запроектировать закрытую самонапорную сеть.

При уклонах менее 0,0005 лотковые каналы также применяют после соответствующего технико-экономического обоснования (на участках переходов через пониженные места на пересеченной трассе; на участках с неблагоприятными геологическими условиями — скальные или просадочные грунты и др.). Как правило, на уклонах менее 0,0005 более эффективны земляные каналы с противофильтрационными мероприятиями.

Параметры лотков подбирают в соответствии с расчетными раходами и уклоном проектируемого канала по графикам гидравлических показателей параболических лотков, разработанным Гипроводхозом для типовых проектов. По этим графикам по известным Q и i находят глубину воды в лотке $h_в$. По полученной глубине воды $h_в$ и уклону определяют скорость движения воды в лотке v.

Строительную глубину канала-лотка для каждого участка (с разными Q или i) подбирают по условию

$$H_л \geqslant h_в + a,$$

где $h_в$ — глубина наполнения канала-лотка при пропуске форсированного или максимального расхода по заданному уклону, см;

a — запас бортов лотка над горизонтом воды при пропуеке форсированного или максимально-

го расхода; a принимают равным 10 см при $H_л < 100$ см и 15 см при $H_л \geqslant 120$ см.

Глубину наполнения канала-лотка $h_в$ можно определять по линейке инженера В. Ф. Пояркова для гидравлического расчета каналов, лотков и труб.

Проектирование лотковой оросительной сети. Расчетные отметки поверхности воды в лотках устанавливают во всех точках, где происходит выпуск воды из старших лотковых каналов в младшие. Превышение отметок воды в старших каналах-лотках над отметками воды в младших каналах должно быть не меньше величины потерь напора в водовыпуске. На практике эту величину часто принимают конструктивно в пределах 5—10 см. Превышение отметок воды в самых младших (участковых) каналах-лотках над поверхностью земли назначают в зависимости от техники полива, принятого типа водовыпуска и расчетных расходов во временной сети, а при подаче воды из лотков в перемещаемые или стационарные трубопроводы — в зависимости еще и от их длины и уклона местности по трассе укладки. Основное условие в этом случае — обеспечение в поливной сети потребных уровней или напоров воды.

При подаче воды из лоткового участкового канала в открытую оросительную сеть превышение горизонтов воды должно обеспечить пропуск необходимых расходов через водовыпуски.

Для сифонных водовыпусков во временные оросители превышение должно быть не менее 0,5 м. При водовыпуске из участкового лоткового канала в перемещаемый поливной трубопровод уровень воды в лотке должен быть таким, чтобы обеспечить подачу воды в трубопровод не только с заданным расходом, но и с необходимым напором, который требуется для нормальной работы поливного трубопровода. В этом случае

$$\nabla H_л = \Delta h_{л-т} + \nabla h_т, \qquad (11)$$

где $\nabla H_л$ — превышение отметки воды в лотке над поверхностью земли в месте подачи воды в трубопровод, м;

$\Delta h_{л-т}$ — потери напора в водовыпуске из лотка в трубопровод, м;

$\nabla h_т$ — напор в начале трубопровода, необходимый для нормальной работы последнего, м.

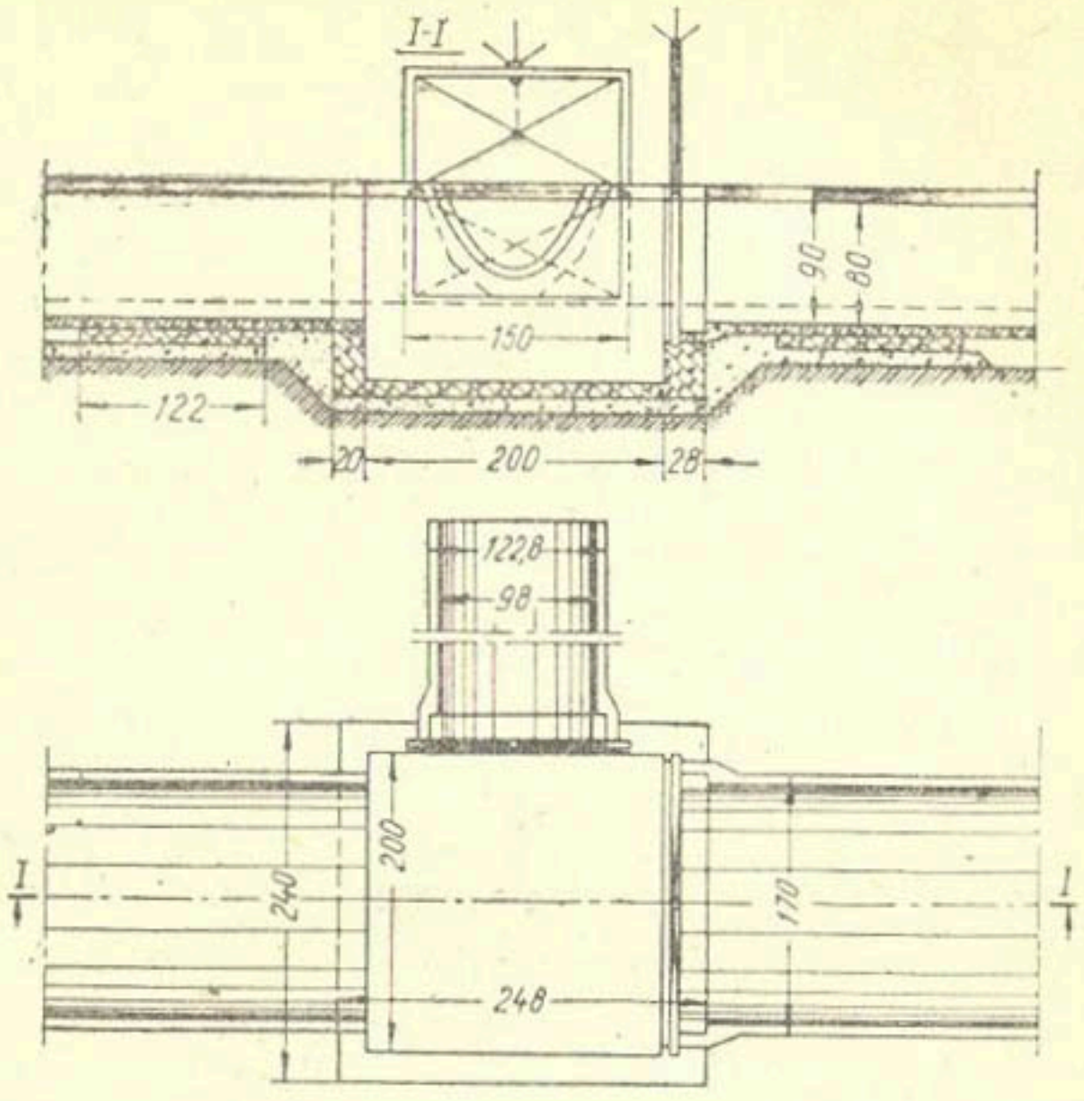


Рис. 21. Водовыпуск из одного лоткового канала в другой.

Необходимый напор в начале поливного трубопровода определяется как сумма следующих величин: потребного напора у поливных отверстий, потерь напора по длине трубопровода, диаметра поливного трубопровода. На практике минимальный напор в начале поливного трубопровода, необходимый для обеспечения нормального полива из него, принимается равным 2—3 диаметрам поливного трубопровода.

По формуле (11) можно определить необходимое превышение воды в лотке над поверхностью земли и при подаче воды из лотка в стационарный распределительный трубопровод.

Подробно этот вопрос рассмотрен в книге «Практикум по сельскохозяйственным мелиорациям» под редакцией академика С. Ф. Аверьянова.

При проектировании лотковых оросительных каналов в плане за основу принимаются принципиальные положения по организации орошаемой территории хозяйст-

ва. Лотковые каналы, имеющие наибольший удельный вес по протяженности, следует располагать по наибольшему уклону местности для уменьшения поперечного сечения и обеспечения по возможности двустороннего командования.

Минимально допустимая (критическая) скорость течения воды в канале-лотке должна обеспечить транспортирование взвешенных в воде наносов без их осаждения. Максимально допустимой считается скорость 6 м/с.

Сборные железобетонные элементы лотковых каналов доставляют на место монтажа автотранспортом (при дальности возки менее 100 км) или по железной дороге.

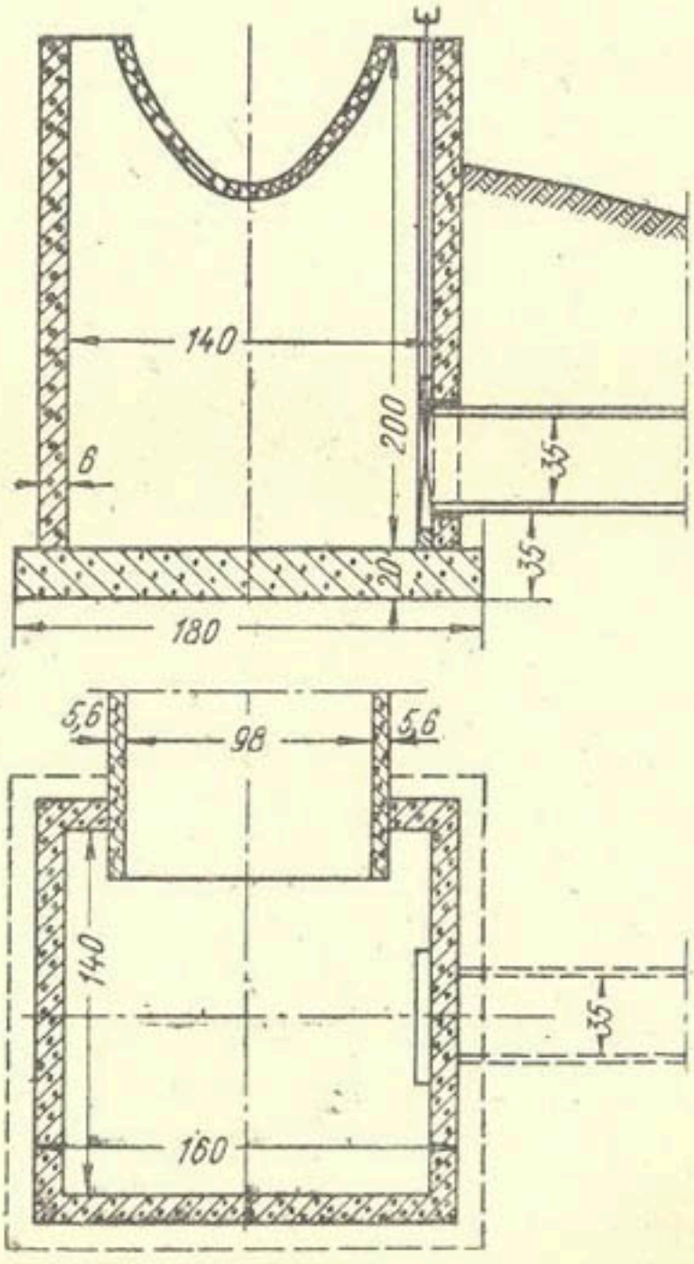


Рис. 22. Водовыпуск из лотка в стационарный трубопровод или ороситель.

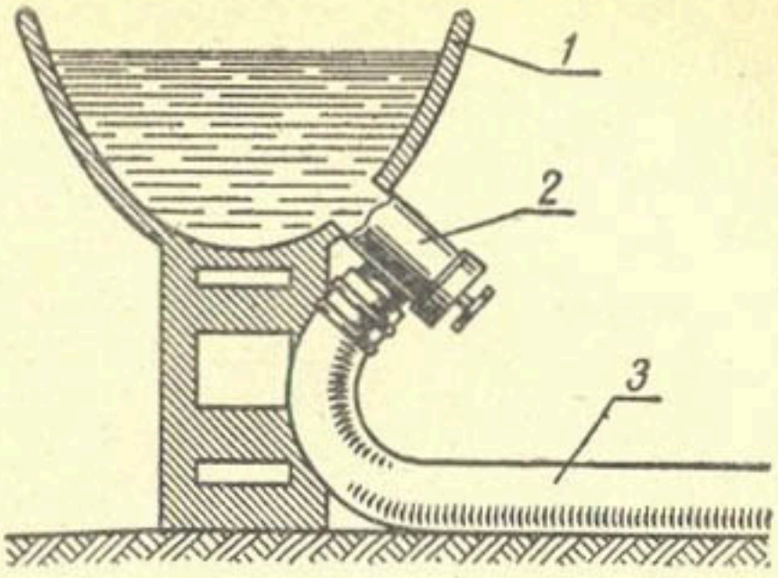


Рис. 23. Водовыпуск из лотка в гибкий трубопровод:

1 — лоток; *2* — водовыпуск из лотка; *3* — гибкий трубопровод.

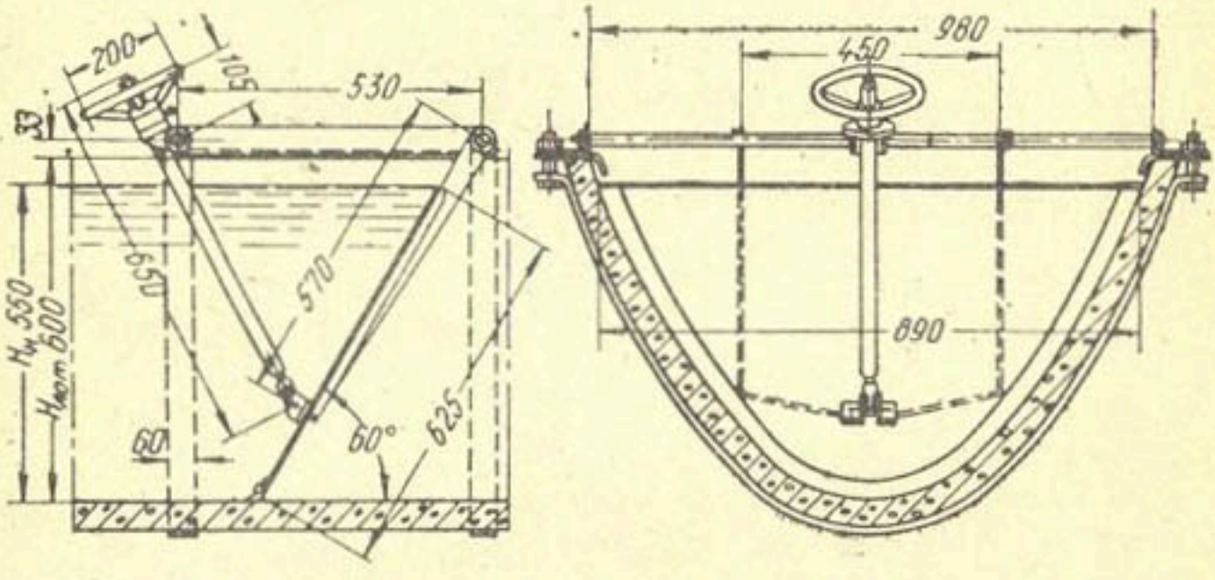


Рис. 24. Перегораживающее сооружение на лотковом канале.

Гидротехнические сооружения на лотковых каналах. Гидротехнические сооружения на каналах-лотках по назначению можно разделить на следующие группы:

для регулирования водоподачи и обеспечения планового водопользования — водовыпуски (рис. 21, 22, 23) и перегораживающие сооружения (рис. 24);

для сопряжения бьефов — различные сопрягающие сооружения в виде быстротоков, перепадов, колодцев;

для пересечения каналами-лотками дорог, коллекторов, водотоков, оврагов и других искусственных и естественных препятствий — трубчатые переезды, акведуки, дюкеры;

для предотвращения переполнения каналов-лотков — сбросные сооружения (концевые, аварийные и др.).

При выборе типа гидротехнических сооружений предпочтение следует отдавать тем, которые обеспечивают автоматическое регулирование уровней воды (при уклонах менее критических); полуавтоматическое вододеление, независимо от величин уклона; учет воды.

При организации орошаемой территории необходимо предусматривать вдоль трасс лотковых каналов полосы отвода (рис. 25), ширина которых B в зависимости от конкретных условий складывается из ширины

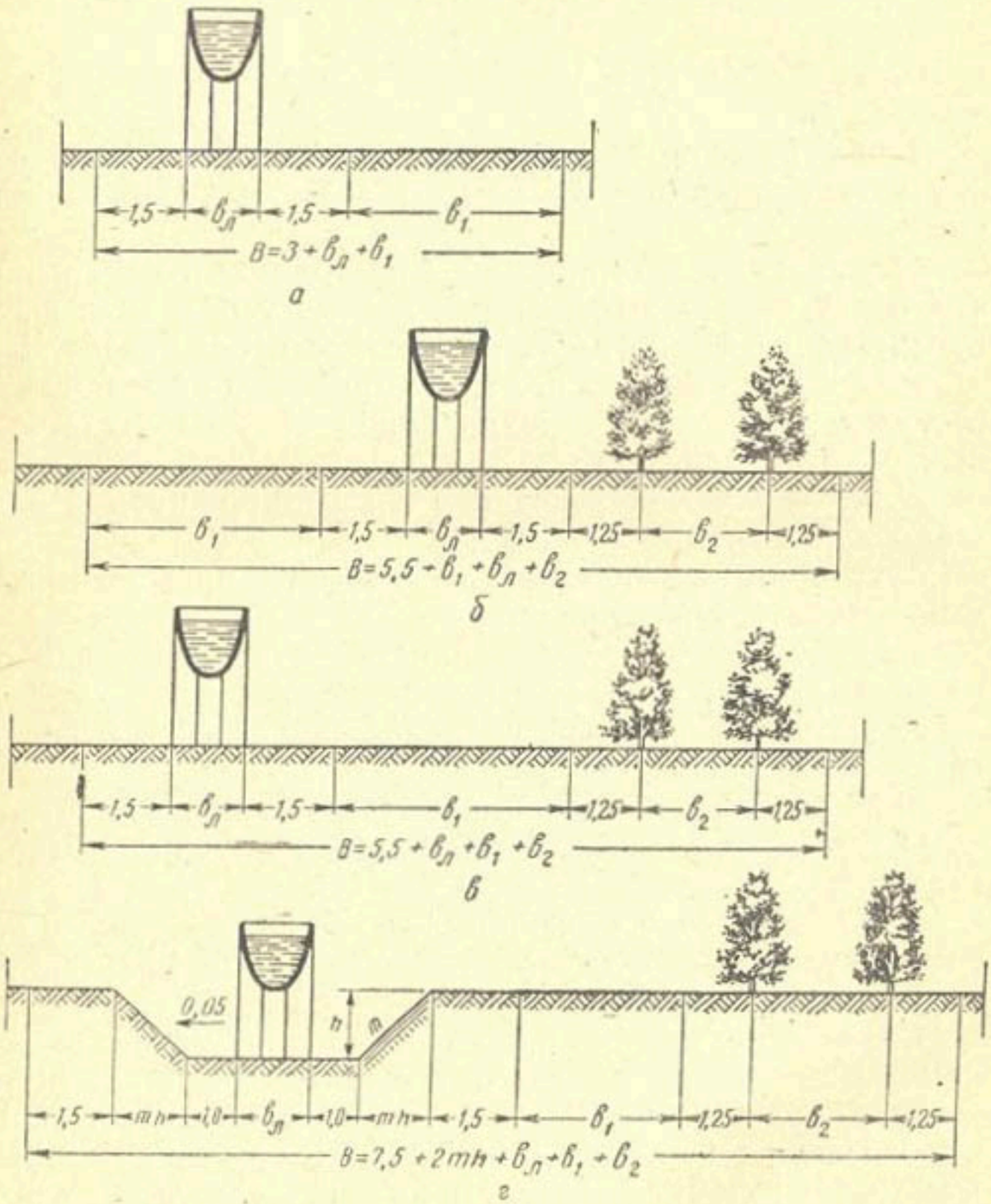


Рис. 25. Варианты полос отвода вдоль лоткового канала.

лотка по верху $b_л$, двух полос отчуждения шириной по 1,5 м, ширины дороги b_1, ширины лесной полосы b_2, двух полос отчуждения по сторонам лесополосы. Ширина дорог и лесополос принимается по соответствующим нормам.

Дороги вдоль лотка предусматриваются обычно с внешней (нерабочей) стороны. При двустороннем командовании лотка-канала расположение дороги выбирается из условий удобства эксплуатации и минимальных затрат. При расположении рядом двух лотковых каналов дорога предусматривается между ними.

Закрытая оросительная сеть

Закрытая оросительная сеть представляет собой систему трубопроводов. Она имеет следующие достоинства:

отсутствие потерь воды на фильтрацию и испарение, что обеспечивает высокий к. п. д. систем и повышает оросительную способность источников орошения;

высокий коэффициент земельного использования и отсутствие помех для механизации сельскохозяйственных работ и полива;

возможность распределения воды по орошаемой площади при сложном рельефе;

благоприятные условия для осуществления автоматизации работы оросительных систем;

возможность использования естественного напора на повышенных уклонах местности.

К недостаткам закрытой оросительной сети относятся:

потребность в большом количестве труб, что значительно повышает капитальные и эксплуатационные затраты;

необходимость в механическом создании нужного напора в трубопроводах при отсутствии или недостаточности естественного напора.

Отмеченные недостатки сдерживали развитие закрытых оросительных систем. Однако достоинства закрытых оросительных систем настолько существенны, что ставят их уже на ближайший период при дальнейшем техническом прогрессе в области выпуска труб в ряд наиболее перспективных.

Классификация закрытой напорной оросительной сети. Напорная закрытая оросительная сеть может быть самонапорной и с механической подкачкой воды.

В самонапорной закрытой оросительной сети (ЗОС) вода движется под напором, создаваемым за счет превышения величины естественного падения местности над величиной потерь напора по длине трубопровода, то есть при условии, что

$$iL > \Sigma h_{\text{потерь}},$$

где L — длина участка трубопровода;

i — средний уклон местности по длине L;

$\Sigma h_{\text{потерь}}$ — суммарные потери напора в трубопроводе по длине L.

Как показывает практика, применение самонапорных ЗОС целесообразно при уклонах от 0,003 и выше. На уклонах в пределах 0,003—0,015 естественного напора обычно хватает для подачи воды на самотечные поливы и на полив дождеванием машинами, забирающими воду из временных оросителей. Из самонапорной ЗОС на уклонах более 0,015 возможен полив дождеванием без дополнительной затраты энергии на создание дождя.

Закрытая оросительная сеть может быть стационарной, передвижной, полустационарной.

Стационарная ЗОС характеризуется постоянством размещения всех составляющих ее трубопроводов, которые, как правило, укладывают ниже поверхности земли.

Передвижная ЗОС представляет систему трубопроводов, конструкция которых допускает их демонтаж и транспортировку, что позволяет использовать их на разных участках.

В полустационарной ЗОС часть трубопроводов стационарные, остальные передвижные.

Стационарная ЗОС наиболее совершенная, так как позволяет полностью автоматизировать ее работу и использовать любую совершенную технику полива. Она характеризуется наибольшими капитальными затратами при наименьших эксплуатационных расходах и затратах труда.

Передвижная ЗОС может обслуживать бóльшую орошаемую площадь, поэтому характеризуется наи-

меньшими капитальными затратами при наибольших эксплуатационных расходах и затратах труда на перемещение трубопроводов. Наиболее целесообразно применять передвижные ЗОС в районах неустойчивого увлажнения при организации так называемого «подвижного» орошения.

Полустационарная ЗОС занимает по показателям промежуточное положение между стационарной и передвижной. Этот вид ЗОС в настоящее время является преобладающим, так как переносные поливные трубопроводы позволяют увеличить расстояния между распределительными трубопроводами и снизить капитальные затраты на строительство системы.

Для закрытых оросительных систем в зависимости от условий их работы и технико-экономического обоснования можно применять трубы: стальные, чугунные, из сплавов с облегченным удельным весом, асбестоцементные, железобетонные и бетонные, пластмассовые.

Все виды соединений труб можно разделить на раструбные, фланцевые, муфтовые и сварные.

Схемы расположения закрытой оросительной сети. В закрытой оросительной сети можно выделить следующие звенья: магистральный или главный трубопровод (МТ или ГТ), распределительные трубопроводы различных порядков (РТ-1, РТ-2, РТ-1-1, РТ-1-2 и т. д), полевые трубопроводы (ПТ).

Магистральный трубопровод транспортирует воду от места водозабора до орошаемого массива и распределяет ее между распределительными трубопроводами первого порядка (межхозяйственными или хозяйственными). Из распределителей первого порядка вода подается в распределители второго порядка (хозяйственные или внутрихозяйственные) и т. д.

Из распределительных трубопроводов последнего порядка (иногда называемых участковыми — УТ) вода подается в полевые трубопроводы с гидрантами, из которых она поступает к дождевальным машинам и установкам, а также к поливным устройствам.

Когда закрытая оросительная сеть обслуживает большую площадь, включающую несколько хозяйств, для удобства иногда целесообразно выделять межхозяйственные распределительные трубопроводы (МХТ) и хозяйственные трубопроводы (ХТ), которые могут быть также различных порядков.

Взаимное расположение звеньев закрытой оросительной сети должно быть увязано с организацией орошаемой территории в плане и с техникой полива дождеванием, при которой дождевальные устройства характеризуются определенными параметрами. Оптимальной формой поливных участков является прямоугольная, поэтому звенья закрытой оросительной системы, как правило, располагаются под прямым углом.

При классификации схем расположения закрытой оросительной сети может быть два принципиальных подхода: по отношению к основному уклону местности тех или иных составных звеньев закрытой оросительной сети и по взаимному расположению звеньев закрытой оросительной сети.

Исходя из первого принципа, академик А. Н. Костяков выделял две основные схемы.

В первой схеме магистральный трубопровод размещается по наименьшему уклону (в направлении горизонталей), распределители первого порядка отходят от МТ под прямым углом по наибольшему уклону (поперек горизонталей), распределители второго порядка отходят от распределителей первого порядка под прямым углом по наименьшему уклону (вдоль горизонталей) и т. д.

Во второй схеме магистральный трубопровод располагается по наибольшему уклону (поперек горизонталей), остальные звенья сети в зависимости от этого.

Выбор первой или второй схемы определяется требованиями трассирования по наивыгоднейшему уклону (для закрытой сети — по наибольшему уклону) трубопроводов, имеющих наибольшую удельную протяженность на 1 га орошаемой площади, или другими специфическими условиями.

Исходя из второго принципа можно выделить схемы с односторонним и двусторонним ответвлением младших трубопроводов относительно старших; например, по расположению полевых трубопроводов относительно распределительного трубопровода последнего порядка или по расположению распределительных трубопроводов первого порядка относительно магистрального трубопровода.

Схему расположения закрытой оросительной сети выбирают из условий, чтобы она для данного орошаемого участка была оптимальной по технико-экономиче-

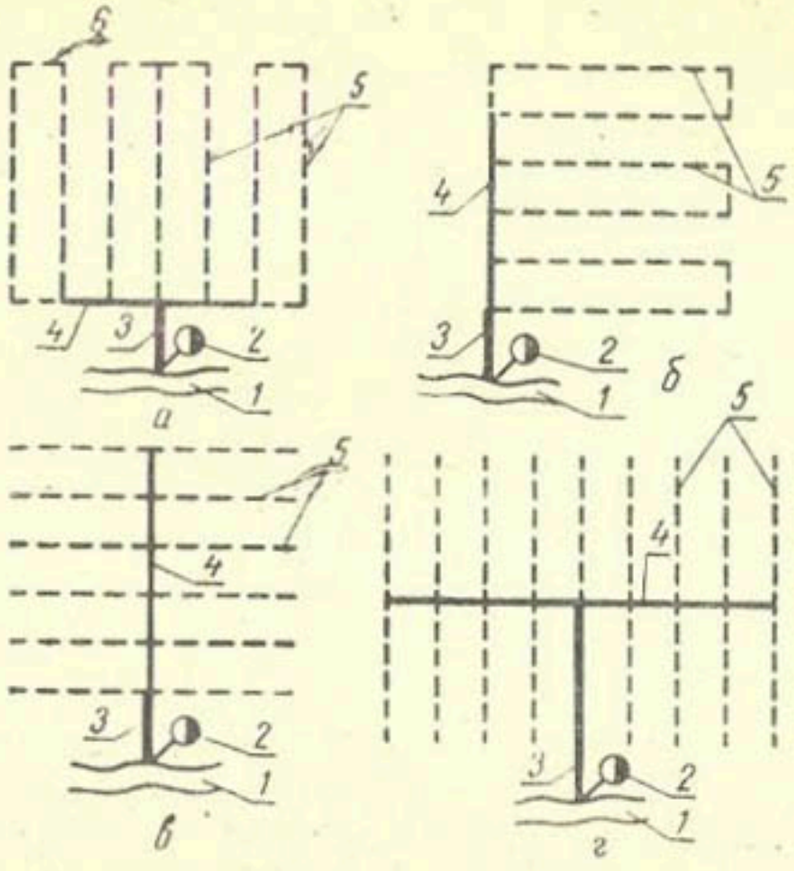


Рис. 26. Основные схемы закрытой оросительной сети:

а и *б* — с односторонним расположением полевых трубопроводов; *в* и *г* — с двусторонним расположением полевых трубопроводов; *1* — источник орошения; *2* — насосная станция; *3* — главный трубопровод (ГТ); *4* — распределительный трубопровод (РТ); *5* — полевые трубопроводы (ПТ); *6* — участок кольцевания отдельных ветвей полевых трубопроводов.

ским показателям, одновременно отвечая требованиям техники полива и организации возделывания сельскохозяйственных культур, позволяющим получать максимальный урожай.

В настоящее время оросительные системы с закрытой оросительной сетью, как правило, строят автономно в пределах одного хозяйства, севооборотного участка или отдельного участка со специфическими условиями и требованиями культур (например, орошаемое культурное долголетнее пастбище, сад, ягодник и пр.).

Для такого типа оросительных систем закрытая сеть обычно располагается по двум основным схемам: с односторонним и двусторонним расположением полевых трубопроводов по отношению к распределительному трубопроводу (рис. 26). Полевые трубопроводы могут быть тупиковыми или закольцованными.

Выбор той или иной схемы сети зависит от конфигурации и размеров орошаемых участков, рельефа поверхности, направления перемещения дождевальных

машин или установок при орошении участка. Как правило, крылья дождевальных устройств размещаются при поливе под прямым углом по отношению к полевым трубопроводам. В неблагоприятных рельефных условиях (например, при повышенных уклонах) дождевальные крылья желательно располагать вдоль горизонталей местности.

Чаще всего звеном, определяющим выбор схемы расположения закрытой оросительной сети, являются полевые трубопроводы, на долю которых приходится 70—80% всей протяженности сети. Расположение полевых трубопроводов по наибольшему уклону дает экономию в капитальных затратах (за счет уменьшения диаметра полевых трубопроводов, снижения веса труб и арматуры, облегчения монтажа трубопроводов), позволяет в большей степени использовать естественный напор в трубопроводах, создает лучшие условия для работы дождевальных устройств.

Диаметр полевых трубопроводов можно уменьшить при заданных расходах или увеличив скорости движения воды в них, или закольцевав их ветви, которые в процессе полива могут работать в соответствии с принятым режимом орошения поочередно.

Увеличение скорости движения воды в трубах вызывает повышение потерь напора в трубопроводах (что увеличивает общий напор, а следовательно, и стоимость энергии) и опасность разрушения трубопроводов от гидравлических ударов, которые могут возникнуть при прекращении работы насосной станции, дождевальных машин, закрытии задвижек и т. п. Обычно верхним пределом скоростей в асбестоцементных трубах, наиболее широко применяемых в закрытых оросительных системах, считается 2,5—3 м/с. Минимальные скорости воды в трубопроводах не должны быть менее 0,8—1 м/с из условий недопущения заиления трубопроводов. Чаще всего в длинных трубопроводах скорости принимаются в пределах 1,0—1,5 м/с.

Сплошное кольцевание сети уменьшает диаметр трубопроводов, обеспечивает бесперебойную подачу воды при авариях на отдельных участках трубопроводов. Однако оно увеличивает общую длину трубопроводов и количество арматуры на них, усложняет гидравлические расчеты. Поэтому кольцевание необходимо принимать на основании предварительных технико-экономических

сравнений различных вариантов расположения закрытой сети. Снижение капитальных затрат по сети достигается при парном кольцевании трубопроводов. При нечетном количестве ветвей ($\geqslant 5$) в одном из закольцованных участков сети может быть 3 ветви. Исследования показали, что парное кольцевание трубопроводов с расходом до 400 л/с дает экономический эффект в тех случаях, когда длина кольцующихся трубопроводов в два и более раза превышает расстояние между ними.

Длина полевых трубопроводов определяет расстояние между распределительными трубопроводами, что влияет на удельную протяженность последних. Поэтому необходимо стремиться к увеличению длины полевых трубопроводов, но без ущерба для условий их эксплуатации и с учетом допустимых рабочих напоров в них.

Как показывает практика, длина полевых трубопроводов может колебаться от 500 до 3000 м при условии обслуживания одним полевым трубопроводом не более двух полей севооборота.

На оросительных системах с закрытой сетью наиболее эффективен полив дождеванием. Поэтому расстояния между полевыми трубопроводами определяются параметрами дождевальных устройств. Полевые трубопроводы рекомендуется проектировать из условий двустороннего командования; в этих случаях расстояние между ними определяется двойной длиной полосы увлажнения дождевальным устройством с одной позиции.

В тех случаях, когда на основании технико-экономического обоснования из закрытой оросительной сети предусматривается полив поверхностными способами, расстояния между полевыми трубопроводами определяются длиной поливных трубопроводов, временных оросителей и поливных борозд в зависимости от одностороннего или двустороннего командования полевых трубопроводов.

На практике расстояния между полевыми трубопроводами в зависимости от техники полива могут колебаться от 200 до 900 м.

В передвижных и полустационарных закрытых оросительных системах используют перемещаемые разборные трубопроводы.

Передвижные закрытые оросительные системы применяются обычно на небольших площадях, потому

что они требуют больших эксплуатационных затрат, а главное, больших затрат ручного труда на монтаж и демонтаж и подготовку к транспортировке звеньев разборных трубопроводов, так как вопрос механизации процесса разборки и сборки звеньев трубопроводов пока еще не решен.

Передвижные разборные трубопроводы чаще всего применяют в полустационарных оросительных системах для замены стационарных полевых трубопроводов.

Из особых случаев целесообразности применения передвижной оросительной сети следует отметить устройство орошаемых участков на затапливаемых пойменных землях без их обвалования.

Для разборных трубопроводов можно использовать тонкостенные стальные, алюминиевые, пластмассовые трубы с быстросборными соединениями. В СССР до настоящего времени распространены разборные трубопроводы из тонкостенных стальных труб с раструбными соединениями, которые фиксируются крючками с накидываемыми на них стальными кольцами.

Гидравлический расчет закрытой оросительной сети. Гидравлический расчет трубопроводов заключается в подборе их диаметров соответственно расчетным расходам воды (при соблюдении допустимых максимальных и минимальных скоростей движения воды в них) и определении путевых и местных потерь напора для дальнейшего установления необходимого полного напора в голове и по участкам оросительной системы с трубопроводами.

На основании расчетных расходов и оптимальных скоростей движения воды в трубопроводах предварительные диаметры их подбирают по формуле

$$D=1000\sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}\ \text{мм}, \qquad (12)$$

где Q — расчетный расход для данного трубопровода, м³/с;

v — скорость воды в трубопроводе, м/с.

Затем по ГОСТ находят ближайший диаметр трубы. Если подобранный по ГОСТ диаметр значительно отличается от расчетного, необходимо определить новые скорости, соответствующие окончательно принятому диаметру.

Минимально допустимая скорость (так называемая критическая скорость $v_{кр}$) не должна допускать заиления труб наносами. Во избежание заиления трубопроводов необходимо, чтобы транспортирующая способность потока воды в нем (P кг/м^3) была больше мутности транспортируемой воды (p кг/м^3).

Для предотвращения разрушения трубопроводов от гидравлических ударов и повышенного давления на трубопроводах должны быть установлены гасители удара, клапаны для выпуска воздуха (вантузы), клапаны для пуска воздуха (аэрационные клапаны), клапаны, регулирующие давление в трубопроводе.

Окончательная оценка оптимальной скорости дается после технико-экономических расчетов.

Расчетный напор в начале трубопровода определяют по формуле

$$H = H_г + \Sigma h_l + \Sigma h_w + H_{св} \text{ м}, \qquad (13)$$

где $H_г$ — геодезическая разность в отметках в начале и конце расчетного участка трубопровода, м;

Σh_l — потери напора на расчетном участке по длине трубопровода l м;

Σh_w — потери напора на преодоление местных сопротивлений по длине трубопровода, м; обычно местные потери в оросительных трубопроводах составляют 5—10% от путевых, то есть $\Sigma h_w = (0{,}05-0{,}1)\Sigma h_l$;

$H_{св}$ — требуемый свободный напор в гидранте в расчетной точке трубопровода, м.

Расчетный напор для разветвленной закрытой оросительной сети определяют по трассе трубопроводов, подводящих воду к наиболее удаленному и имеющему наибольшую отметку поверхности земли гидранту (то есть неблагоприятно расположенному в отношении напоров).

Если анализ расположения в плане закрытой оросительной сети не позволяет с достаточной уверенностью выбрать расчетную трассу трубопроводов, то устанавливают все возможные неблагоприятно расположенные точки (гидранты) и находят полный напор для каждого варианта неблагоприятно расположенной трассы трубопровода. За расчетную принимают трассу с наибольшим необходимым напором в начальной части трубопровода.

Потери напоров определяют отдельно для каждого участка расчетной трассы трубопровода с разными расходами и диаметрами. Общие потери напора по расчетной трассе трубопровода находят суммированием потерь на отдельных ее участках.

Путевые потери напора можно определять по формулам, таблицам и номограммам различных авторов.

Наиболее широкое распространение для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных и пластмассовых труб получили таблицы, составленные Ф. А. Шевелевым. При отсутствии расчетных таблиц потери по длине h_l определяются по формуле

$$h_l = \lambda \frac{v^2 l}{2gD} \text{ м}, \qquad (14)$$

где l — длина участка трубопровода, м;

D — диаметр труб, м;

v — скорость движения воды в трубе, м/с;

λ — коэффициент гидравлического сопротивления.

В приближенных расчетах трубопроводов для определения коэффициента гидравлического сопротивления λ можно использовать эмпирическую формулу Дарси

$$\lambda = 0{,}02\left(1 + \frac{1}{40D}\right), \qquad (15)$$

где D — диаметр трубопровода, м.

Особенности проектирования и строительства закрытой оросительной сети. Глубина укладки в грунт стационарных подземных трубопроводов в основном зависит от двух факторов: глубины промерзания грунта и обеспечения сохранности трубопроводов от механических повреждений.

Если оросительные трубопроводы будут работать в период с отрицательными температурами (например, для проведения влагозарядковых поливов), верх трубопроводов должен находиться на 20 см ниже глубины промерзания. В этом случае увеличивается объем земляных работ и объем работ по сооружениям на трубопроводах, усложняются монтажные работы, возрастают капитальные затраты. Поэтому без особой необходимости нецелесообразно укладывать подземные оросительные трубопроводы, исходя из условий незамерзаемости воды в них, тем более, что по условиям предупреждения заиления трубопроводов рекомендуется опоражнивать их от воды полностью.

Исходя из второго условия — предохранения трубопроводов от механического повреждения динамическими нагрузками с поверхности почвы — минимальную глубину от поверхности почвы до верха трубопроводов для большинства труб обычно принимают в пределах 0,7—0,8 м. При такой глубине укладки трубопроводов в грунт во избежание замерзания воды в них и возможного разрушения необходимо обязательно опоражнивать все трубопроводы от воды до наступления периода с отрицательной температурой, способной вызвать промерзание толщи грунта на глубину укладки трубопровода. Поэтому особенно важно не допускать на трассах трубопроводов в вертикальной плоскости переломных участков с обратными уклонами, в нижних частях которых может остаться вода. Если при проектировании не удастся полностью избежать таких участков, то в нижних точках перелома трубопроводов необходимо предусмотреть специальные устройства для опоражнивания трубопровода от воды. На верхних точках перелома во избежание образования воздушных пробок необходимы специальные устройства для выпуска воздуха — вантузы. Участки трубопровода с нулевым уклоном не рекомендуются.

Сооружения на закрытой оросительной сети. Для обеспечения нормальной работы закрытой оросительной сети на трубопроводах должны быть предусмотрены специальные сооружения.

Распределительные колодцы (иногда называемые смотровыми) необходимы для регулирования распределения воды между отдельными звеньями закрытой стационарной оросительности сети. Для этого в распределительных колодцах на трубопроводах устанавливают задвижки. Как правило, задвижки располагают в начале полевых трубопроводов и в начале распределительных трубопроводов различного порядка, ответвляющихся от распределительных трубопроводов старшего порядка; на последних задвижки ставят за ответвлением трубопровода младшего порядка. На распределительных трубопроводах последнего порядка (участковых) задвижки ставят за ответвлениями полевых трубопроводов.

Соединительная арматура может быть чугунная, стальная или железобетонная. В некоторых случаях ответвление младшего распределительного или полевого

трубопровода от старшего производится без устройства задвижек. Распределительные колодцы в таких случаях обычно не предусматриваются.

Гидранты-водовыпуски предназначаются для вывода воды из трубопроводов на уровень выше поверхности земли и дальнейшей подачи воды к дождевальным и поливным устройствам. Гидранты-водовыпуски — самые многочисленные сооружения на закрытой оросительной сети. Они обычно располагаются на полевых трубопроводах. Расстояния между ними зависят от параметров и условий применения дождевальных и поливных устройств и принимаются от 18 м (при подаче воды в дождева́льную установку «Волжанка») до 909 м (при подаче воды в дождевальную установку «Фрегат»).

Наиболее простая конструкция наружного гидранта состоит из тройника, стояка, задвижки и приспособления для обеспечения удобного и быстрого подсоединения к гидранту трубопровода дождевального или поливного устройства (колено, тройник, специальный патрубок с элементами крепления с подсоединяемым трубопроводом). В гидрантах обычно используется стандартная чугунная водопроводная арматура (тройники, патрубки и др.), которая может быть заменена сварными тройниками из стальных или пластмассовых труб (чаще всего такие гидранты рекомендуется применять на стационарных дождевальных системах). Чтобы снизить стоимость устройства гидрантов, применяют такие конструкции их, при которых стояки прикрепляются непосредственно на трубы полевого трубопровода с помощью специальных седелок, накладываемых на отверстия, предварительно сделанные в полевом трубопроводе.

Однако рассмотренные конструкции надземных гидрантов имеют большой недостаток, заключающийся в их легкой подверженности разрушению механизмами в процессе выполнения сельскохозяйственных работ.

Для устранения этого недостатка гидранты устанавливают в специальных надземных колодцах, устраиваемых по типу распределительных с расположением задвижек ниже поверхности земли.

Надземные колодцы частично стесняют механизацию сельскохозяйственных работ и тоже могут повреждаться.

В последние годы в нашей стране и за рубежом (например, в Болгарии) ведутся исследования по разработке и внедрению на опытных участках подземных гид-

рантов телескопической конструкции, выдвигающихся над поверхностью орошаемой площади под действием напора воды, подаваемой на полив в трубопровод с установленными гидрантами. Заглубление гидранта под землю после полива производится или вручную, или под действием напора воды, для чего каждый гидрант должен иметь специальное дополнительное устройство в виде системы трубок и переключателей.

На комбинированных оросительных системах для подачи воды из закрытых подземных трубопроводов в открытую оросительную сеть гидранты-водовыпуски устраивают с колодцами, в которых происходит гашение энергии потока. Из колодцев вода поступает в открытые оросители.

Сбросные колодцы предназначаются для опоражнивания закрытой сети на зимний период и в случае ремонта. Вода сбрасывается по специальному ответвлению трубопровода в естественное понижение местности или в кювет дороги (так как специальной сбросной сети на оросительных системах с закрытой сетью не предусматривается), или в коллекторно-дренажную сеть.

При сложном рельефе может встретиться случай, когда участок трубопровода пересекает замкнутое понижение, не имеющее выхода для сбрасываемых вод. В таких условиях обычный сбросной колодец устроить невозможно. Для опоражнивания от воды участков трубопровода, имеющих уклон в сторону замкнутого понижения, устраивают водопоглощающие так называемые «мокрые» колодцы с водопроницаемым дном или устанавливают гидрант специальной конструкции. При открытии задвижки на таком гидранте часть воды под гидравлическим напором самостоятельно выльется через гидрант, остальное количество воды можно выкачать с помощью специальной передвижной насосной станции, всасывающая линия которой позволяет опускать ее внутрь гидранта. Задвижку на гидранте в таком случае временно снимают.

Устройства против гидравлического удара (так называемые гасители удара) предназначаются для предотвращения или уменьшения силы гидравлического удара, возникающего при внезапном выключении насосов и прекращении подачи тока воды, которое может привести к разрыву сплошности потока и образованию давления ниже атмосферного.

Предохранительные клапаны устанавливают для снятия повышенного давления воды в трубопроводах. К ним относятся пружинные и рычажные клапаны и диафрагмы.

Вантузы представляют собой клапаны, предназначаемые для автоматического удаления из трубопровода скапливающегося воздуха. Их устанавливают, как правило, в повышенных точках трубопровода (в верхних местах перелома трубопровода и др.).

Особенности самонапорной закрытой оросительной сети. Необходимым условием для устройства самонапорной закрытой оросительной сети является наличие естественных свободных напоров, которые могут быть в закрытых трубопроводах в тех случаях, когда падение местности по их длине превышает сумму потерь напора (путевых и местных), то есть

$$\Sigma l_{1,2,\ldots,n}\, i_{1,2,\ldots,n} - \Sigma h_{\substack{\text{потерь} \\ 1,2,\ldots,n}} = H_{\text{св}}, \qquad (16)$$

где $l_{1,2,\ldots,n}$ — длины участков трубопровода, м;

$i_{1,2,\ldots,n}$ — средние уклоны участков трубопровода;

$h_{\substack{\text{потерь} \\ 1,2,\ldots,n}}$ — суммарные путевые и местные потери напора по участкам трубопровода, м;

$H_{\text{св}}$ — свободный естественный напор, м.

Основной фактор, влияющий на целесообразность устройства самонапорных оросительных трубопроводов,— это уклон. Чем меньше уклон местности, тем большим должен быть диаметр самонапорного трубопровода. При этом увеличиваются капитальные затраты на строительство трубопровода и усложняются монтажные работы. Особенно это ощутимо при уклонах поверхности земли менее 0,003.

В самонапорных трубопроводах по мере удаления от источника орошения свободный напор увеличивается (исключение составляют склоны вогнутой формы, на которых с определенного расстояния свободный напор начинает уменьшаться), поэтому участки местности по длине самонапорного трубопровода характеризуются свободным напором различной величины.

Каждый способ полива предъявляет свои требования к необходимому напору, поэтому для решения вопроса о применимости того или иного способа полива по трассе самонапорного трубопровода выделяются четыре зоны с характерными напорами: 1) зона полива само-

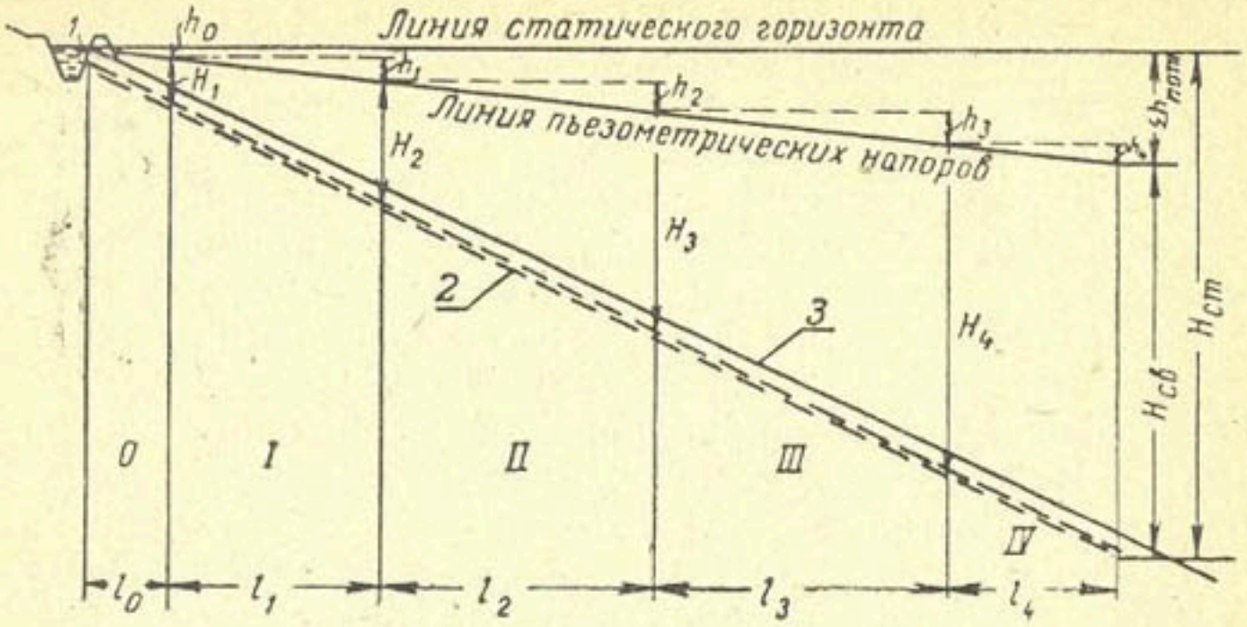


Рис. 27. Установление зон с различной техникой полива по длине самонапорного трубопровода:

1 — источник орошения; *2* — трубопровод; *3* — поверхность земли *0*, *I*, *II*, *III*, *IV* — зоны с различным свободным напором.

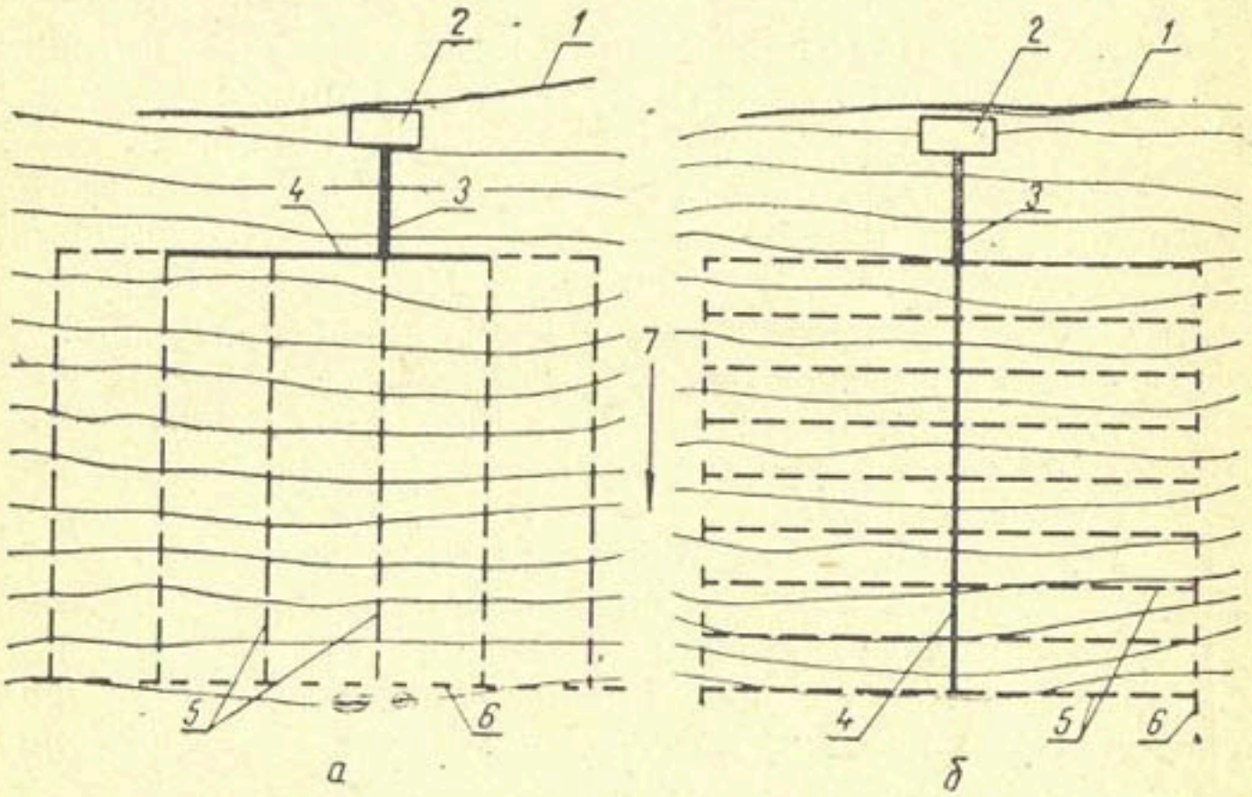


Рис. 28. Основные схемы расположения закрытой самонапорной оросительной сети:

а — с односторонним расположением полевых трубопроводов относительно распределительного; *б* — с двусторонним расположением полевых трубопроводов относительно распределительных; *1* — источник орошения; *2* — напорный бассейн; *3* — главный (магистральный) трубопровод; *4* — распределительный трубопровод; *5* — полевые трубопроводы; *6* — отвод воды при опоражнивании трубопроводов; *7* — направление уклона.

течными способами с распределением воды между бороздами и полосами, перемещаемыми поливными трубопроводами; в этой же зоне возможен полив дождеванием из открытых оросительных каналов или от перемещаемых трубопроводов. Величина необходимого свободного напора для этой зоны 1—5 м; 2) зона полива короткоструйными дождевальными установками, требующими свободного напора 20—30 м; 3) зона полива среднеструйными дождевальными установками; необходимый свободный напор здесь равен 30—50 м; 4) зона полива дальнеструйными дождевальными установками, требующими напора более 60 м.

Границы зон по длине склона удобно определять с помощью построенного профиля по трассе самонапорного трубопровода с нанесенной линией пьезометрических напоров (рис. 27). Протяженность зон зависит от величин требуемых свободных напоров для них.

Источниками орошения для самонапорных оросительных систем чаще всего служат каналы, но могут быть реки и подземные воды, собранные с помощью каптажа.

Основные схемы расположения закрытой самонапорной оросительной сети показаны на рисунке 28.

Напорный бассейн в самонапорных системах играет роль аккумулирующей емкости, отстойника, а также резервуара, воспринимающего ударные волны при возникновении в трубопроводах гидравлического удара. Во избежание поступления в систему воздуха горизонт воды в напорном бассейне должен быть выше верха входного отверстия магистрального трубопровода не меньше чем на 0,25—0,30 м.

Для разгрузки избыточного напора, возникающего в каких-либо точках самонапорной сети, необходимо предусматривать специальные гасители напора, места установки которых определяются из условия (рис. 29)

$$H_{ст} \leqslant H_{доп\ (треб)},$$

где $H_{ст}$ — статический напор;
$H_{доп\ (треб)}$ — допустимый (требуемый) напор.

Вода из трубопровода поступает в колодец (гаситель), где энергия ее гасится; с определенного уровня вода вновь поступает в нижерасположенный самонапорный трубопровод. Обычно гасители требуются на уклонах более 0,008.

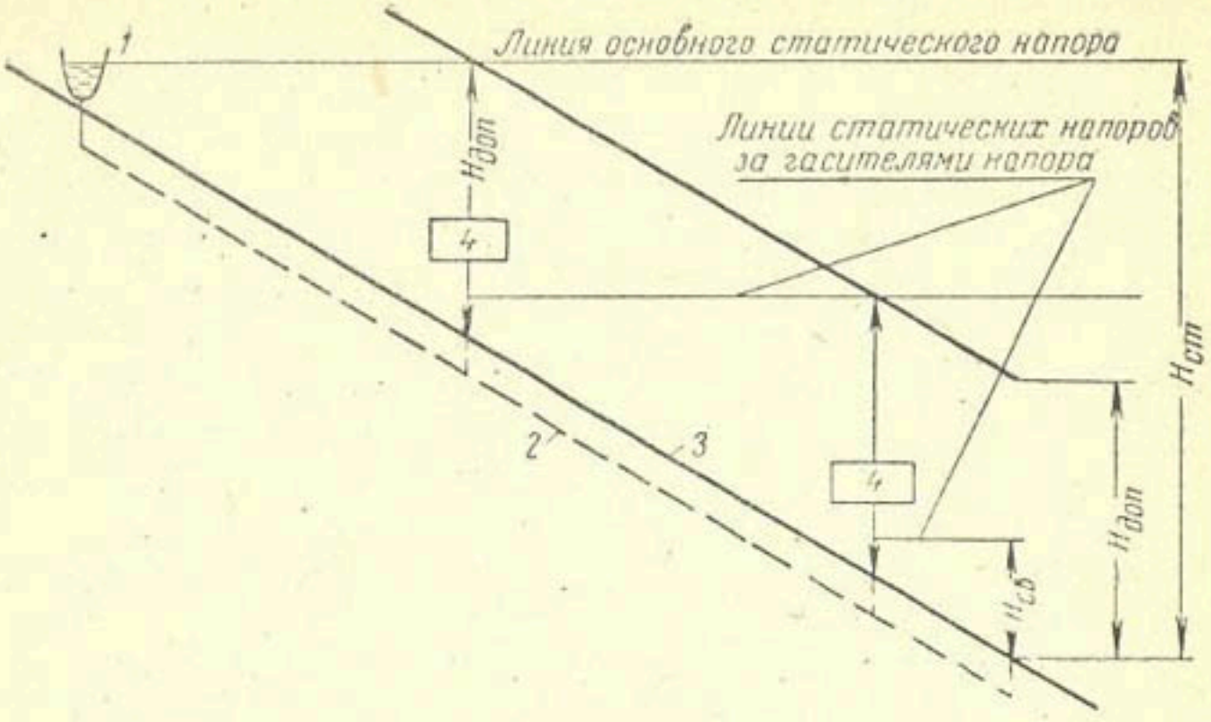


Рис. 29. Схема определения места установки гасителей напора на самонапорном трубопроводе:

4 — гаситель напора. Остальные обозначения те же, что на рисунке 27.

Надземная оросительная сеть из трубопроводов. В специфических условиях, например для полива древесно-кустарниковых плодовых и других насаждений, когда затруднен проход дождевальных и поливных устройств, можно применять сеть трубопроводов, располагаемую над землей на специальных опорах. На трубопроводах устанавливаются стационарные дождевальные насадки. Такие системы могут найти применение при проведении противозаморозковых поливов.

Комбинированная оросительная сеть

В комбинированной оросительной сети одни элементы представлены закрытыми трубопроводами, другие — открытыми оросительными каналами (в земляном или облицованном противофильтрационной одеждой русле или в лотках).

Комбинированную сеть чаще всего применяют на оросительных системах, занимающих большую площадь, когда в отдельных природных и хозяйственных условиях бывает невыгодно делать полностью закрытую сеть вследствие недостаточности свободных естественных напоров.

В комбинированной сети закрытыми обычно делают те ее элементы, которые имеют наибольшую суммарную протяженность, располагая их в плане в направлении максимального уклона местности. Наиболее часто закрытой делается внутрихозяйственная сеть, а в ней — трубопроводы последнего порядка, из которых вода подается в перемещаемые трубопроводы дождевальных или поливных устройств.

Однако есть примеры, когда трубопроводами представлена межхозяйственная оросительная сеть, а внутрихозяйственная сеть — открытыми каналами (например, на Салгирской оросительной системе в Крыму).

Окончательное решение о том, какие элементы сети будут построены в виде трубопроводов или открытых каналов, принимается на основании технико-экономических сравнений вариантов, исходя из оптимальных условий (технической возможности, экономической целесообразности, надежности и удобства эксплуатации в конкретных природных и хозяйственных условиях).

Установление расчетных расходов оросительной сети

Расчетные расходы нетто (без учета потерь воды из оросительной сети). Расчетный расход нетто оросительной сети зависит от характера ее работы во времени. Различают постоянно действующую оросительную сеть, подающую воду постоянно в соответствии с расчетным режимом орошения, и периодически действующую сеть, подающую воду периодически для проведения того или иного полива.

К постоянно действующим относятся распределители, подающие воду на севооборотный участок или на участок со специфическими требованиями и условиями, и все старшие распределители, а также и магистральный канал.

Поочередная подача воды в хозяйства допускается как исключение в следующих случаях: при малых орошаемых площадях в хозяйствах, в периоды малого потребления воды, в маловодные годы при недостатке воды в водоисточнике.

Внутри хозяйства на каждом самостоятельном севообороте участке вода распределяется поочередно внутрихозяйственными распределителями между полями севооборотов или поливными участками.

Такие распределители называют периодически действующими. Периодически действующий внутрихозяйственный распределитель последнего порядка (подводящий воду непосредственно к поливному участку или участку обработки) принято называть участковым.

В зависимости от типа оросительной сети распределители могут быть представлены открытыми земляными каналами, лотками, трубопроводами.

Для постоянно действующих каналов и трубопроводов расчетный расход нетто определяется по формуле

$$Q_{нт} = q\omega_{нт} \text{ л/с}, \qquad (17)$$

где q — расчетная ордината графика гидромодуля для состава сельскохозяйственных культур, возделываемых на площади, обслуживаемой данным каналом, л/с на 1 га;

$\omega_{нт}$ — орошаемая площадь нетто, обслуживаемая данным постоянно действующим каналом.

$$\omega_{нт} = \omega_{бр} \text{ к.з.и.},$$

где $\omega_{бр}$ — орошаемая площадь брутто, обслуживаемая данным каналом (с учетом площади отчуждения под каналы, дороги, лесополосы и прочее);

к. з. и. — коэффициент земельного использования, он зависит от типа оросительной сети, организации территории и характеризует степень использования земельного фонда мелиоративной системы.

За расчетные максимальные и минимальные ординаты графика гидромодуля следует принимать значения ординат, относящихся к периоду продолжительностью не менее 10 суток. Необходимо, чтобы минимальный расход был не менее 40% от максимального.

Расход нетто старшего постоянно действующего распределителя равен сумме расходов отходящих от него постоянно действующих распределителей.

Если постоянно действующий распределитель обслуживает площади с разными севооборотами (а следовательно, с разными режимами орошения), то его расход нетто можно определить по формуле (17) при известной средневзвешенной расчетной ординате суммарного графика гидромодуля для сельскохозяйственных культур всех севооборотных участков, обслуживаемых этим рас-

пределителем. Расчетный расход такого распределителя равен сумме расчетных расходов нетто, которые необходимо подавать на подвешенные к данному каналу площади с разными севооборотами.

При определении расчетных расходов нетто распределителей, обслуживающих площади, поливаемые с помощью дождевальных или поливных машин и установок, имеющих коэффициент использования времени на поливе меньше 1,0, необходимо вводить этот коэффициент в знаменатель формулы (17). Полученный при этом расход округляют до значения, кратного расходу дождевального или поливного устройства (обычно в большую сторону).

Расчетные расходы периодически действующих распределителей последнего порядка (участковых) определяют в соответствии с принятым водооборотом, исходя из двух условий: обеспечения необходимой суточной площади полива из данного периодически действующего распределителя, полива участка с ведущей культурой за заданное время.

Исходя из первого условия

$$Q_{уч} = \frac{\omega_{с.п} m}{86{,}4} \text{ л/с}, \qquad (18)$$

исходя из второго условия

$$Q_{уч} = \frac{\omega_{в.к} m}{86{,}4 t} \text{ л/с}, \qquad (19)$$

где $\omega_{с.п}$ — заданная площадь суточного полива, га; обычно

$$\omega_{с.п} = 12—16 \text{ га};$$

m — максимальная поливная норма, м³/га;

$\omega_{в.к}$ — площадь, занятая ведущей культурой на обслуживаемых данным периодически действующим каналом участках, га;

t — заданное время полива ведущей культуры, сутки.

Величина расхода периодически действующего распределителя должна быть такой, чтобы обеспечивать кратность величине расхода старшего постоянно действующего канала. Кроме того, расход воды периодически действующего распределителя должен быть кратен расходу дождевального или поливного устройства.

Как правило, расход, поступающий на севооборотный участок, не дробится, а поочередно полностью подается в периодически действующие распределители, если величина его не превышает 200—250 л/с.

Расходы временных оросителей определяются по формуле (19) исходя из условия, чтобы продолжительность их работы была не более двух суток за поливаемую площадь принимают площадь, обслуживаемую одним временным оросителем.

Особенность определения расчетных расходов полевых (периодически действующих) закольцованных трубопроводов заключается в установлении расчетных расходов, поступающих в одну и другую ветви кольца.

Как правило, закольцованную сеть принимают одного диаметра. В этом случае расход по участкам закольцованной сети определяется по зависимости

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\sqrt{l_1}}{\sqrt{l_2}}, \qquad (20)$$

где Q_1 и Q_2 — расходы, проходящие по участкам кольца l_1 и l_2 до точки забора воды из трубопровода.

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

где Q — расход, поступающий из распределительного трубопровода в закольцованный участок полевых трубопроводов.

Следовательно,

$$Q_1 = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{l_1}{l_2}}}. \qquad (21)$$

Расчетные расходы по закольцованной паре полевых трубопроводов целесообразно определять для случая, когда вода забирается из полевого трубопровода в наиболее удаленной точке кольца.

В этом случае обычно длины обеих ветвей кольца близки по величине и можно принимать их равными; следовательно, расход воды, поступающей в каждую из ветвей закольцованного полевого трубопровода, будет равен половине расхода, требуемого для работы тупикового периодически действующего трубопровода.

Расчетные расходы брутто распределителей. Расчетные расходы брутто учитывают все возможные потери воды из оросительной сети.

Основными потерями воды из оросительной сети считаются фильтрационные. Для определения фильтрационных потерь в земляных каналах существует ряд формул (А. Н. Костяков, В. В. Ведерников, Н. Н. Павловский, С. Ф. Аверьянов и др.).

Расход брутто в голове канала или его участка

$$Q_{бр} = Q_{нт} + Q_{пот}, \qquad (22)$$

где $Q_{нт}$ — расход нетто в конце канала или его участка;

$Q_{пот}$ — суммарные потери на фильтрацию и испарение по длине канала или его участка.

Отношение расходов брутто к расходам нетто определяет коэффициент полезного действия оросительной системы в целом, системы данного канала или только данного канала в зависимости от того, в каких каналах учитываются потери.

Таким образом

$$\frac{Q_{нт}}{Q_{бр}} = \eta, \qquad (23)$$

где η — коэффициент полезного действия (к. п. д.).

Если известен к. п. д. оросительной сети, расчетный расход брутто

$$Q_{бр} = \frac{Q_{нт}}{\eta}.$$

В оросительной сети, представленной трубопроводами и лотками, потери по формулам не подсчитываются, а характеризуются величиной к. п. д. Для трубопроводов принято принимать к. п. д. = 0,99—1,0 (при сведенных к минимуму технически-эксплуатационных потерях), для лотков — 0,97. Исходя из этого и находят расход брутто для трубопроводов и лотков.

Расчетными расходами оросительной сети для проведения гидравлического расчета служат: максимальный расчетный расход брутто (нормальный) — $Q_{бр}^{макс}$; минимальный расчетный расход брутто — $Q_{бр}^{мин}$; форсированный расход

$$Q_{фор} = Q_{бр}^{макс} K_{ф}, \qquad (24)$$

где $K_ф$ — коэффициент форсировки, обеспечивающий в необходимых случаях (в годы с осадками ниже расчетной обеспеченности, при замене сельскохозяйственных культур более влаголюбивыми и пр.) подачу повышенных расходов воды по каналам.

$Q^{макс}$ м³/с	Менее 1	1—10	Свыше 10
$K_ф$	1,3—1,2	1,2—1,15	1,15—1,10

Основным является нормальный расход, остальные расходы проверочные. По минимальному расходу проверяют условие командования, незаиляемость и незарастаемость каналов; по форсированному — допустимое превышение бровок дамб каналов или борта лотка над поверхностью воды в них и неразмываемость каналов.

На форсированный расход не проверяют периодически действующие распределители и постоянно действующие трубопроводы.

Коэффициент полезного действия для системы магистрального канала должен быть не менее 0,75—0,8, а для системы хозяйственных распределителей — не ниже 0,8—0,9.

Согласование работы дождевальных устройств и оросительной сети

Этот вопрос возникает в связи с тем, что некоторые дождевальные машины работают позиционно; следовательно, в момент перехода их на поле с одной позиции на другую (от одного гидранта к другому) вода на полив ими не забирается.

Согласованная работа оросительной сети и дождевальных устройств может быть обеспечена при:

применении запасных (подменных) дождевальных устройств;

аккумулировании воды в оросительной сети с последующей сработкой регулирующих емкостей в процессе полива;

аккумулировании оросительной воды в специальных бассейнах с последующим использованием накопленной воды для полива дополнительной площади;

перекрытии задвижек на закрытой оросительной сети.

Наиболее эффективны первые три пути. К недостаткам их относятся: потребность в запасных машинах и дополнительном обслуживающем персонале, необходимость устройства регулирующих емкостей на сети или специального наливного водоема, более сложная диспетчеризация процесса полива вследствие необходимости срабатывать заполненные регулирующие емкости, что влияет на установление расчетных расходов оросительной сети.

Подробно вопросы аккумулирования оросительной воды в оросительной сети и наливном водоеме рассмотрены в «Практикуме по сельскохозяйственным мелиорациям».

ГЛАВА IV

ИСТОЧНИКИ ОРОШЕНИЯ

Классификация и особенности источников орошения

Одним из основных элементов оросительной или обводнительной системы является источник орошения, который в большой степени определяет технические особенности системы и размеры орошаемой площади.

Источниками орошения служат: реки; поверхностный, местный сток, аккумулируемый в прудах, водохранилищах, толще почвогрунтов и озерах; подземные воды.

Рассматривая реки как источник орошения, следует выделять четыре их типа: равнинные, горные, степные и смешанного типа.

Характерные особенности равнинных рек состоят в том, что они имеют довольно растянутый период половодья, который наблюдается в период май — июнь; межень у них бывает зимой; минерализация воды незначительная, редко превышает 0,5 г/л; мутность также небольшая (не выше 500 гр/м^3).

Уклоны водной поверхности и дна равнинных рек малы, в результате чего воду из них в большинстве случаев забирают с помощью механического или плотинного подъема. Равнинные реки многоводны, поэтому они наиболее надежны как источники орошения. Однако водный режим равнинных рек плохо согласуется с режимом орошения сельскохозяйственных культур, так как период половодья не совпадает с периодом наибольшей потребности растений в воде. В связи с этим при использовании равнинных рек в качестве источников орошения возникает необходимость искусственного перераспределения стока, что достигается сезонным регулированием их стока в специально устраиваемых водохранилищах. Равнинные реки обычно служат источниками орошения на Украине, Северном Кавказе и в Поволжье.

Основное водное питание горных рек происходит как в результате весеннего таяния снега, так и ледников летом. Наибольшая доля питания горных рек приходится на ледниковое, в связи с чем половодье на этих реках наблюдается в наиболее жаркий период лета. В связи с этим водный режим горных рек лучше всего согласуется с режимом орошения сельскохозяйственных культур, так как в период наибольшей потребности растений в воде по этим рекам проходят наибольшие расходы воды с высокими уровнями.

Межень на горных реках наблюдается зимой. Минерализация воды незначительная и резко снижается в период прохождения паводка. Горные реки имеют большие уклоны дна (особенно в верхних течениях) и бурное течение потока, который наряду с жидким стоком несет значительный по величине твердый сток в виде взвешенных и влекомых по дну наносов. Горные реки создают благоприятные условия для забора воды в оросительные системы, но наличие значительного количества наносов в стоке создает трудности, обусловливающие необходимость противонаносных мероприятий (отстойники и др.)

Для водозабора из горных рек успешно применяют бесплотинный способ и водоподъемные плотины. На этих реках водохранилища сезонного регулирования, как правило, не устраивают ввиду хорошей согласованности речного режима с режимом ирригационного водопотребления. С целью улучшения водообеспеченности орошаемых площадей в верховьях горных рек устраивают водохранилища многолетнего регулирования, которые покрывают дефицит воды в наиболее засушливые и маловодные годы. Как источники орошения горные реки очень широко используют в Средней Азии, Закавказье, на Северном Кавказе.

К степным относятся реки, водосборная площадь которых расположена в пределах засушливых и сухих степей. Характерной особенностью степных рек является то, что сток их формируется в основном за счет вод весеннего снеготаяния, в связи с чем 80—95% всего годового стока проходит на протяжении весенних двух-трех месяцев. Степные реки протекают в наиболее засушливых районах страны, поэтому их сток интенсивно используется как для орошения, так и для водоснабжения.

Уклоны поверхности воды и дна степных рек незначительны, в связи с чем мутность воды их невелика. Межень на степных реках наблюдается в конце лета и осенью. Зимой бывают иногда паводки во время оттепелей. В наиболее засушливые годы некоторые степные реки пересыхают. Наименьшая минерализация воды в них наблюдается в период весеннего паводка (200—300 мг/л), а наибольшая — в меженный период (5—10 г/л), что недопустимо для использования в целях орошения.

Своеобразие водного и солевого режимов степных рек создает определенные трудности при использовании их стока для орошения. При регулировании стока степных рек в прудах и водохранилищах появляется возможность использования его для орошения, как правило, с механическим водоподъемом при помощи насосных станций. Аккумулирование стока проводят в водохранилищах как сезонного, так и многолетнего регулирования. При устройстве водохранилищ многолетнего регулирования необходимо учитывать солевой режим реки, с тем чтобы не допустить повышения минерализации воды, которое может произойти через несколько лет после начала эксплуатации водохранилища.

В нашей стране сток степных рек широко используют для орошения в Заволжье, северной части Казахстана, в степных районах Северного Кавказа и Украины.

К рекам смешанного питания относятся такие, у которых одна половина стока создается за счет таяния ледников и снега в пределах горных систем, а вторая — за счет вод весеннего снеготаяния и грунтового питания в пределах равнин. К рекам смешанного питания относятся все сибирские реки. Это перспективные источники орошения, пока очень мало используемые.

В засушливых и сухих районах нашей страны, там, где нет рек, исключительно важное значение приобретает для целей орошения и обводнения использование вод местного стока, то есть стока временных водотоков, образующегося во время весеннего снеготаяния или выпадения летних ливневых дождей.

Местный сток обладает рядом характерных особенностей, которые следует учитывать при использовании его для орошения. К числу этих особенностей относится большая изменчивость объема стока по годам, что вы-

зывает необходимость многолетнего регулирования и кратковременность его проявления, которая исчисляется от трех-пяти дней до двух-трех недель. Эти основные особенности местного стока обусловливают необходимость его аккумулирования и регулирования (сезонного или многолетнего).

Величину местного стока с какой-то определенной площади водосбора можно представить в виде следующего уравнения:

$$S = P_с + P_ж - W_{вп} - W_{з.п} - W_{обс} - И,$$

где S — объем стока, образовавшегося в результате весеннего снеготаяния;

$P_с$ — запас воды в снежном покрове до начала снеготаяния;

$P_ж$ — объем осадков, выпавших во время снеготаяния;

$W_{вп}$ — потери воды, идущие на впитывание в почву водосбора; $W_{вп} = W_1 + W_2$ (W_1 — во время снеготаяния, W_2 — во время движения воды по склону водосбора);

$W_{з.п}$ — объем склонового стока, расходуемый на заполнение замкнутых понижений, блюдец и западин;

$W_{обс}$ — потери стока при прохождении его по потяжинам, лощинам и овражно-балочной сети;

$И$ — потери стока на испарение.

Рассматривая местный сток как источник орошения, следует выделять его разновидности, обладающие своими характерными особенностями.

Первой разновидностью является склоновый сток, образующийся в результате весеннего снеготаяния непосредственно на склоне водосбора, движущийся тонким слоем вниз по склону и еще не сформированный в отдельные водные потоки. Характерно, что склоновый сток имеет малую продолжительность, которую можно принимать равной продолжительности снеготаяния. Гидрограф паводка имеет форму волнистой кривой, при которой расход стока изменяется синхронно изменению температуры воздуха (рис. 30). В результате кратковременности стока и малого пути движения потери минимальны, в результате чего модуль склонового в несколько раз больше модуля местного стока для дан-

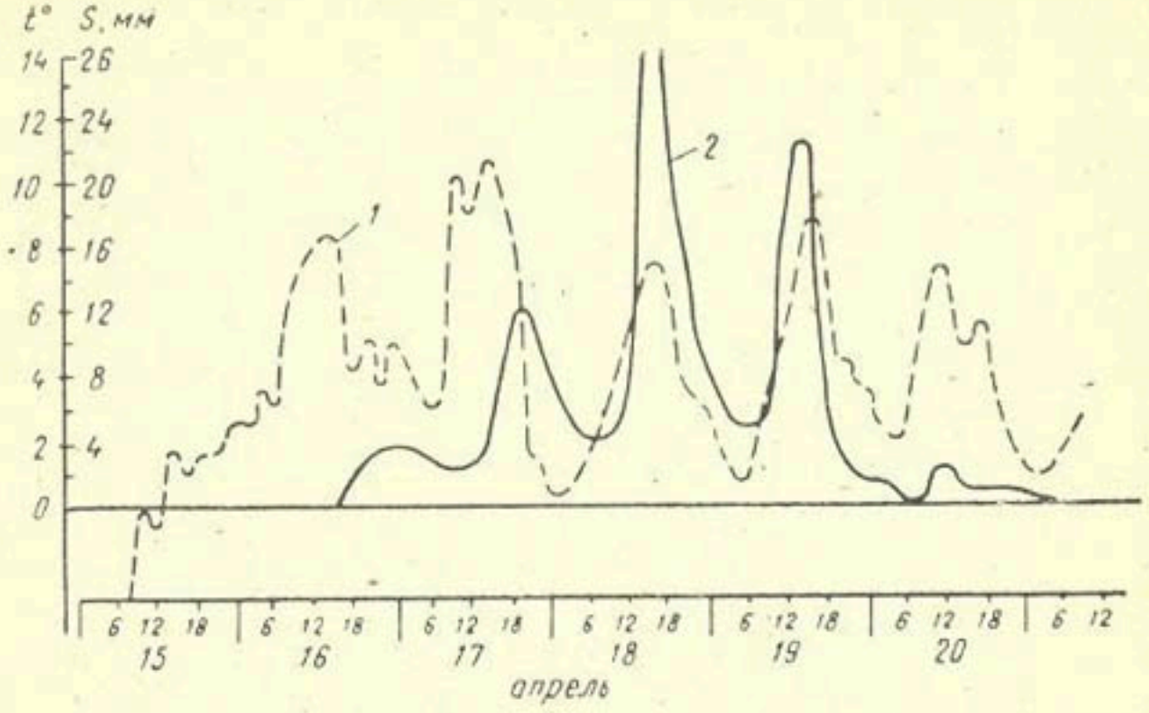


Рис. 30. Гидрограф склонового стока:
1 — ход температуры воздуха; *2* — ход интенсивности стока; *t°* — температура воздуха; *S* мм — сток за час.

ного бассейна. Склоновый сток оказывается больше местного стока с бассейна на величину потерь во время движения его по склону и по овражно-балочной сети.

Вторая разновидность — сток потяжин и лощин, представляющий собой весенние талые воды, сформированные в первичных элементах гидрографической сети. Особенностями этого стока являются также незначительная его продолжительность, близкая по величине продолжительности снеготаяния, пилообразная форма гидрографа паводка и увеличенное значение модуля.

Модуль стока с малых водосборов оказывается больше модуля речного стока на величину потерь талых вод, происходящих при движении по овражно-балочной сети. Разница между речным, склоновым и стоком с малых водосборов наибольшая в маловодные годы и наименьшая в многоводные, что наглядно иллюстрируется данными, приведенными в таблице 12.

К следующей разновидности относится сток овражно-балочной сети, который формируется в результате весеннего снеготаяния и поступления его с больших по размерам водосборных площадей, имеющих длину и ширину, равную нескольким десяткам километров. Продолжительность этого стока в несколько раз превышает

продолжительность снеготаяния на водосборе, гидрограф паводка имеет форму плавной кривой, модуль стока незначительно больше соответствующего модуля для речной сети.

Таблица 12

Соотношения руслового, склонового и стока с малых водосборов в бассейне р. Джурак-Сал

Годы	Весенний сток, мм			Продолжительность стока, сут.		Отношение руслового стока к стокам	
	русловый	с малых водосборов	склоновый	склонового	руслового	с малых водосборов	склоновым
1965	4,4	13,0	28,0	5	12,0	1:3	1:6
1966	12,0	25,0	38,0	3	4	1:3	1:6
1967	1,2	20,6	55,4	4	7	1:17	1:46
1968	3,7	12,8	29,0	5	8	1:3	1:8
1969	1,2	0,0	0,0	0	0	1:0	1:0
1970	19,2	35,5	42,0	3	8	1:2	1:2
Среднее за 6 лет	6,95	17,8	32,1	3,3	6,5	1:3	1:5

Последняя разновидность — сток замкнутых понижений представляет совокупность описанных трех разновидностей местного стока или различные варианты их сочетаний. Особенностью этого стока является то, что он не попадает в речную сеть, а аккумулируется в наиболее низких частях замкнутых понижений, что приводит к переувлажнению или заболачиванию значительной площади.

Каждая из описанных разновидностей местного стока может быть успешно использована для лиманного или регулярного орошения. Широко используется местный сток для регулярного и лиманного орошения в Заволжье, Северном Казахстане, Западной Сибири, Калмыкии и на Северном Кавказе.

Кроме речных вод и поверхностного местного стока, для целей орошения пригодны подземные воды, если они имеют достаточно большой дебит и запасы, а также допустимую минерализацию. В связи с этим использование подземных вод для орошения получило развитие в специфических геоморфологических условиях.

На аллювиальных равнинах горных рек, подстилаемых галечниками и песчаными отложениями, которые являются водоносными горизонтами, подземные воды имеют высокий дебит и допустимую минерализацию, не превышающую 1—2 г/л; они слабонапорны или безнапорны. Еще более благоприятные условия для использования подземных вод в предгорных равнинах конусов выноса, которые сложены пролювиально-галечниковыми отложениями большой мощности, являющимися водоносным пластом, питающимся в основном ледниковыми водами горных систем. В этих условиях подземные воды имеют еще больший дебит и значительно меньшую минерализацию, а на периферии конуса выноса обычно напорны и часто самоизливаются, что в значительной степени облегчает их использование.

На равнинных впадинах подземные воды залегают на бо́льшей глубине, являясь напорными, а в некоторых случаях самоизливающимися с весьма пестрой минерализацией. Дебит скважин также различен.

Во всех случаях использования подземных вод для орошения следует строго учитывать их минерализацию и возможность засоления орошаемых массивов. Кроме того, при интенсивной откачке подземных вод, превышающей естественное питание, происходит постепенное истощение их запасов и понижение уровня, что, в свою очередь, приводит к снижению дебита и резкому ухудшению водообеспеченности орошаемой площади. В связи с этим забор подземных вод для орошения и водоснабжения следует проводить в строгой увязке с величиной их естественного питания.

В зависимости от характера грунтовых вод существует три основных способа забора: каптаж ключей и родников, устройство шахтных колодцев и артезианских скважин, устройство водосборных галерей (в Закавказье — кяризов).

Широко используются подземные воды для орошения в США, Индии, Италии, Алжире, а также в СССР в предгорных районах Средней Азии, Молдавии, Крыму и Закавказье.

К источникам орошения предъявляют следующие основные требования:

источник должен обеспечивать забор из него расчетного расхода воды в любой момент оросительного периода работы системы при правильном согласова-

нии режима источника с проектным режимом орошения сельскохозяйственных культур;

источник должен иметь запас воды, необходимый для полива всех культур, возделываемых на орошаемых площадях данной системы, в расчетный по водности год, то есть размеры оросительной системы должны соответствовать фактической водообеспеченности источника орошения;

положение источника и горизонтов воды в нем должно обеспечивать оптимальный экономический вариант технической схемы орошения;

качество воды в источнике должно способствовать улучшению мелиоративного состояния орошаемых площадей и повышению их плодородия при минимальных эксплуатационных затратах, а также нормальной эксплуатации всех оросительных каналов и гидротехнических сооружений.

Наиболее рационально использовать источники орошения можно при наиболее полном согласовании режима работы оросительной системы с естественным водным режимом источника.

Качество оросительной воды

Под качеством оросительной воды понимается содержание в ней наносов, ее минерализация и температура. Наибольшее количество наносов содержится в воде горных рек, а наименьшее — в подземных водах.

Повышенное содержание взвешенных и донных наносов в реках, воды которых используются для орошения, приводит к заилению каналов, уменьшает их пропускную способность, что создает значительные затруднения в эксплуатации систем. Приходится выполнять большой объем земляных работ по очистке каналов от наносов. На оросительных системах, питаемых водами р. Амударьи, удельный ежегодный объем очистки каналов в пересчете на 1 га орошаемой площади достигает 25,7 м³/га, а на Терских оросительных системах соответствующий объем составляет 17,5 м³/га.

Наряду с отрицательным влиянием наносов, содержащихся в оросительной воде, определенная часть их оказывает положительное воздействие на орошаемые почвы.

Многочисленными исследователями установлено, что ирригационные наносы горных рек Средней Азии, Кавказа и Закавказья, а также таких рек, как Нил, Инд, Ганг, откладывающиеся на орошаемых полях, приводят, с одной стороны, к опесчаниванию поливных земель, а с другой — к их оглеению, что способствует как улучшению физических свойств почвы, так и мобилизации зольных элементов. Наносы улучшают агрегатное состояние полей, так как в процессе их осаждения происходят аккумуляция из оросительной воды углекислого кальция и обогащение почв органическим веществом, что способствует созданию комковатой структуры. Кроме этого, наиболее мелкие фракции ирригационных наносов содержат значительное количество питательных веществ и представляют определенную агрохимическую ценность.

Таблица 13

Химический состав речных наносов

Реки	Среднегодовая мутность воды, г/м³	Химический состав наносов, %					
		органическое вещество	P_2O_5	K	CO_2	N	CaO
Нил	1000	8,4	0,25	0,53—0,5	0,73	0,15	3,1—2,0
Колорадо	8600	10,8	0,15	—	—	0,08	7,1—5,3
Амударья	2600	15,3	0,16	3,7 —1,2	—	—	12,1—6,2
Сырдарья	1550	14,7	0,08	3,4 —1,3	—	—	14,7—8,7
Кура	1950	—	—	0,13—0,07	—	0,34—0,10	—
Терек	2220	1,86	0,16	5,3 —3,2	7,6—3,4	0,18—0,04	8,7—4,9
Волга	105	17,5	0,10	—	—	1,34	—

В таблице 13 приведены данные, характеризующие удобрительную ценность наносов наиболее крупных рек.

Наносы многих рек, являющихся источником орошения, содержат достаточное количество агрохимически ценных веществ, пренебрегать которыми в ирригационной практике нельзя. В условиях дельтовых оросительных систем реки Терек при средневзвешенной поливной норме 3000 м³/га за год на 1 га орошаемой площади поступает в среднем 2250 кг наносов, содержащих 6,7—380 кг гумуса, 3,8—28,7 кг азота, 11,5—30,2 кг фосфорного ангидрида, 0,3—8,5 кг калия и 326—1212 кг карбонатов кальция и магния.

Агрохимические исследования выявили зависимость содержания фосфорного ангидрида, азота и гумуса от механического состава наносов. Наибольшее количество удобрительных веществ содержат наносы, имеющие диаметр фракций менее 0,01 мм. Поэтому на оросительных системах, питаемых водами рек, нельзя допускать на поля лишь крупные песчаные фракции наносов, мелкие же фракции (диаметром менее 0,01 мм) целесообразно пропускать по каналам системы вместе с оросительной водой.

Наиболее минерализованы обычно грунтовые воды, однако в практике часто встречаются высокоминерализованные воды водохранилищ, прудов и озер. Допустимая для сельскохозяйственных культур и почвы минерализация оросительной воды составляет 1—1,5 г/л, при которой орошение следует проводить со всеми мерами, предотвращающими возможность засоления почв. При орошении минерализованными водами следует учитывать как химический состав солей, так и характер почв, учитывая, что наиболее вредными солями являются сода, хлористый и сернокислый натрий. На хорошо проницаемых почвах допустимым считается содержание следующих солей: $Na_2CO_3 < 0{,}1\%$; $NaCl < 0{,}2\%$; $Na_2SO_4 < 0{,}5\%$.

В последние годы за рубежом и в СССР в связи с ограниченностью источников пресной воды большое внимание стали уделять проблеме орошения соленой водой. Уже накоплен некоторый опыт применения соленых подземных и дренажных вод для орошения и промывок засоленных почв. В Туркменской ССР под руководством И. С. Рабочева проведены исследования, которые показали, что на фоне дренажа слабоминерализованные подземные воды могут быть использованы для промывки солончаков и орошения риса.

В практике земледелия степной зоны известны факты многолетнего орошения водой, содержащей солей более 1 г/л, без существенного ухудшения почвенного плодородия. Более чем 30-летний опыт Персиановской опытно-мелиоративной станции НИМИ по орошению водами, имеющими минерализацию 1,6—2,6 г/л, с постоянным получением высоких урожаев овощных и зерновых культур без прогрессирующего засоления почв (легких по механическому составу при хорошей дренированности) подтверждает это положение. Имеются

также аналогичные данные по орошению полей минерализованными шахтными водами Донбасса, сбросными водами рисовых оросительных систем и др.

При орошении определенное значение имеет температура оросительной воды. Подача на поля воды с низкой температурой может оказать пагубное воздействие на развитие растений. В жаркое лето полив холодной водой может вызвать физиологический шок и гибель сельскохозяйственных культур. В связи с этим при использовании для орошения вод горных рек или артезианских скважин, имеющих низкую температуру, необходимо предусматривать на оросительной системе устройство специальных бассейнов, обеспечивающих прогревание воды.

Оросительная способность источников орошения и пути ее повышения

Под оросительной способностью источника понимается площадь, которая может быть надежно орошена его водами. Приближенно оросительную способность источника орошения определяют по формуле

$$F = \frac{W_{op}\eta}{M_{ср.вз}} \text{ га}, \qquad (26)$$

где W_{op} — объем воды, которая может быть изъята из источника для нужд орошения, м³;

η — коэффициент полезного действия оросительной системы в целом;

$M_{ср.\ вз}$ — средневзвешенная оросительная норма сельскохозяйственных культур, возделываемых на орошаемых площадях данной системы.

Анализ данной формулы показывает, что повысить оросительную способность любого источника можно тремя основными путями: увеличением объема воды, используемого для орошения; совершенствованием оросительной системы, что приводит к увеличению ее коэффициента полезного действия; выбором оптимального режима орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающего получение максимального эффекта при минимальном расходовании воды. Следует отметить, что к первому пути повышения оросительной способности источника орошения прибегают тогда, когда ис-

черпаны второй и третий, так как увеличение забора воды из источника связано либо с ущемлением других водопотребителей, либо с дополнительными капиталовложениями.

Водообеспеченность такого источника орошения, каким являются воды поверхностного местного стока, можно увеличить в основном за счет повышения коэффициента полезного действия системы, что достигается применением закрытой оросительной сети и дождевания, при которых наиболее экономно расходуется вода. Увеличение оросительной способности подземных вод может быть достигнуто путем пополнения запасов грунтовых вод за счет неиспользуемых вод поверхностного стока.

Интенсивное использование подземных вод приводит к понижению их уровня, уменьшению дебита и ухудшению качества. В связи с этим большое значение приобретают методы искусственного пополнения запасов подземных вод, из которых распространены два основных — самотечной и напорной инфильтрации. Методы самотечной инфильтрации наиболее экономичны и легко осуществимы, метод напорной инфильтрации технически более сложен и менее эффективен.

Рассмотрим несколько методов самотечной инфильтрации.

Метод затопления применяется на местностях с равномерным пологим уклоном и состоит в затоплении заранее обвалованной площади. Вода на обвалованный участок подается по специальным каналам или трубопроводам с некоторым избытком, который сбрасывается обратно в реку или в нижний бьеф водохранилища.

Бассейновый метод пополнения подземных вод является высокоэффективным и простым в осуществлении. Суть его состоит в создании каскада бассейнов, образованных земляными валами по принципу устройства ярусных систем лиманного орошения, и последовательном их затоплении. Этот метод имеет следующие преимущества: вода из источника питания распределяется на большой площади инфильтрации, бассейны позволяют использовать сложный рельеф, взвешенные наносы оседают в верхнем бассейне, большая емкость бассейнов позволяет задерживать воду высоких паводков с последующей их медленной инфильтрацией в водоносные пласты и, наконец, бассейны устраивают путем насыпки дамб из местных материалов.

Русловый метод сводится к использованию русла постоянного или временного водотоков. Для увеличения потерь на фильтрацию эти русла расширяют, на них устраивают сооружения, уменьшающие скорость потока, проводят рыхление дна и другие мероприятия. Особенно эффективны для инфильтрации расширения и углубления русл с песчаными или гравелистыми грунтами.

Метод канав, борозд и естественных депрессий является составной частью бассейнового метода, но может рассматриваться и как самостоятельный. Суть его в устройстве неглубоких канав и борозд, по которым транспортируется вода, предназначенная для пополнения подземных вод. Этот метод применим в условиях каменистых или галечниковых почв и при больших уклонах местности, когда устройство инфильтрационных бассейнов невозможно.

Метод напорной инфильтрации заключается в нагнетании воды через скважины в толщу водоносного пласта. Его применяют в тех случаях, когда описанные методы неприемлемы. Он более сложен и дорог по сравнению с остальными методами, так как требует устройства дорогостоящих скважин и затрат дополнительной энергии для нагнетания воды в водоносный горизонт.

Комплексное использование источников орошения

Наибольший народнохозяйственный эффект получается, если водные ресурсы используются комплексно, то есть наряду с развитием орошения учитываются требования гидроэнергетики, судоходства, коммунального и рыбного хозяйства, здравоохранения и других отраслей.

В связи с этим при строительстве крупных оросительных систем, использующих воды рек, следует решать проблему комплексного использования стока данного источника орошения. При строительстве водозаборного узла, обеспечивающего подачу воды на орошение, сооружаются гидроэлектростанции, судоходный комплекс и сооружения, обеспечивающие сохранение и воспроизводство рыбных запасов. При определении объема воды для орошения нужно учитывать потребность всех смежных отраслей, причем часто возникает задача выявления ведущего и соподчиненных водопотребителей.

Комплексное использование водных ресурсов мест-

ного стока состоит в учете потребностей воды для орошения, водоснабжения, а также искусственного рыборазведения. При использовании подземных вод необходимо учитывать потребности в воде и для целей сельскохозяйственного водоснабжения.

Особенности использования вод местного стока для орошения

Величина местного стока подвержена ежегодным колебаниям, поэтому очень важно выбрать расчетный процент обеспеченности стока, используемого для орошения. Наиболее целесообразным является сток не ниже 75% обеспеченности. Если воды местного стока предназначены для лиманного орошения, то выбор расчетного процента обеспеченности должен основываться на принципе оптимизации, то есть наибольшего народнохозяйственного эффекта.

Критериями служат максимальная прибыль

$$\max \Phi_{(p)} = M[D_{(p)} - I_{(p)}] - E_0 K_{(p)} \qquad (27)$$

и минимальный срок окупаемости

$$\min T_{(p)} = \frac{K_{(p)}}{M[D_{(p)} - I_{(p)}]}, \qquad (28)$$

где $D_{(p)}$ — дополнительный доход;
$I_{(p)}$ — текущие затраты;
$K_{(p)}$ — капитальные затраты;
p — расчетный процент обеспеченности;
M — математическое ожидание случайной величины;
E_0 — норма эффективности.

Величина оптимального процента обеспеченности стока, для которого целесообразно проектировать лиманное орошение,— величина переменная, зависящая от конкретных гидролого-климатических, рельефных и почвенных условий района. Поэтому в каждом конкретном случае оптимальный процент обеспеченности стока принимает свое особое значение и для различного типа лиманов обычно находится в пределах 50—10%.

Использовать поверхностный местный сток для орошения следует с учетом особенностей основных его раз-

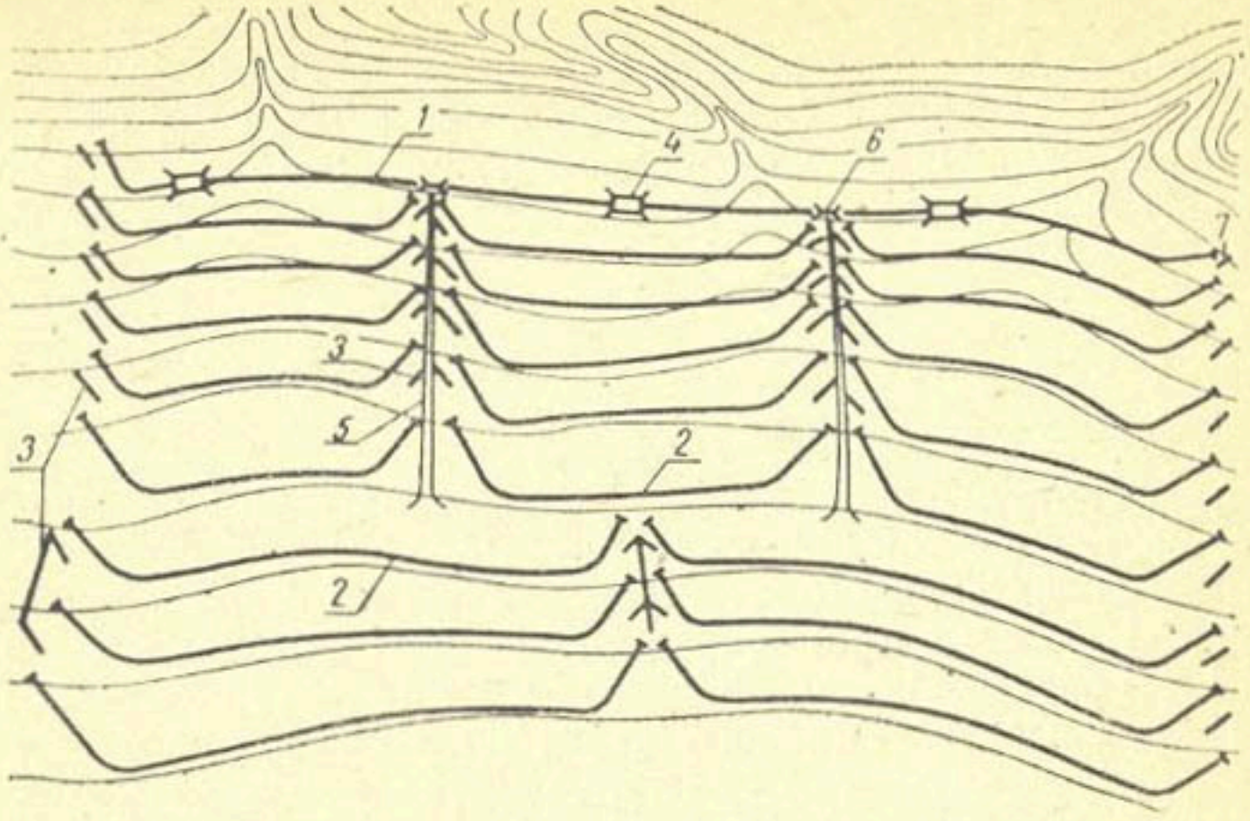


Рис. 31. Система ярусных лиманов, использующих склоновый сток и сток потяжин и лощин:

1 — распределительный вал; *2* — водоудерживающие валы; *3* — направляющие валики; *4* — водосливы-автоматы; *5* — распределительный канал; *6* — водозаборный водослив; *7* — водообходы.

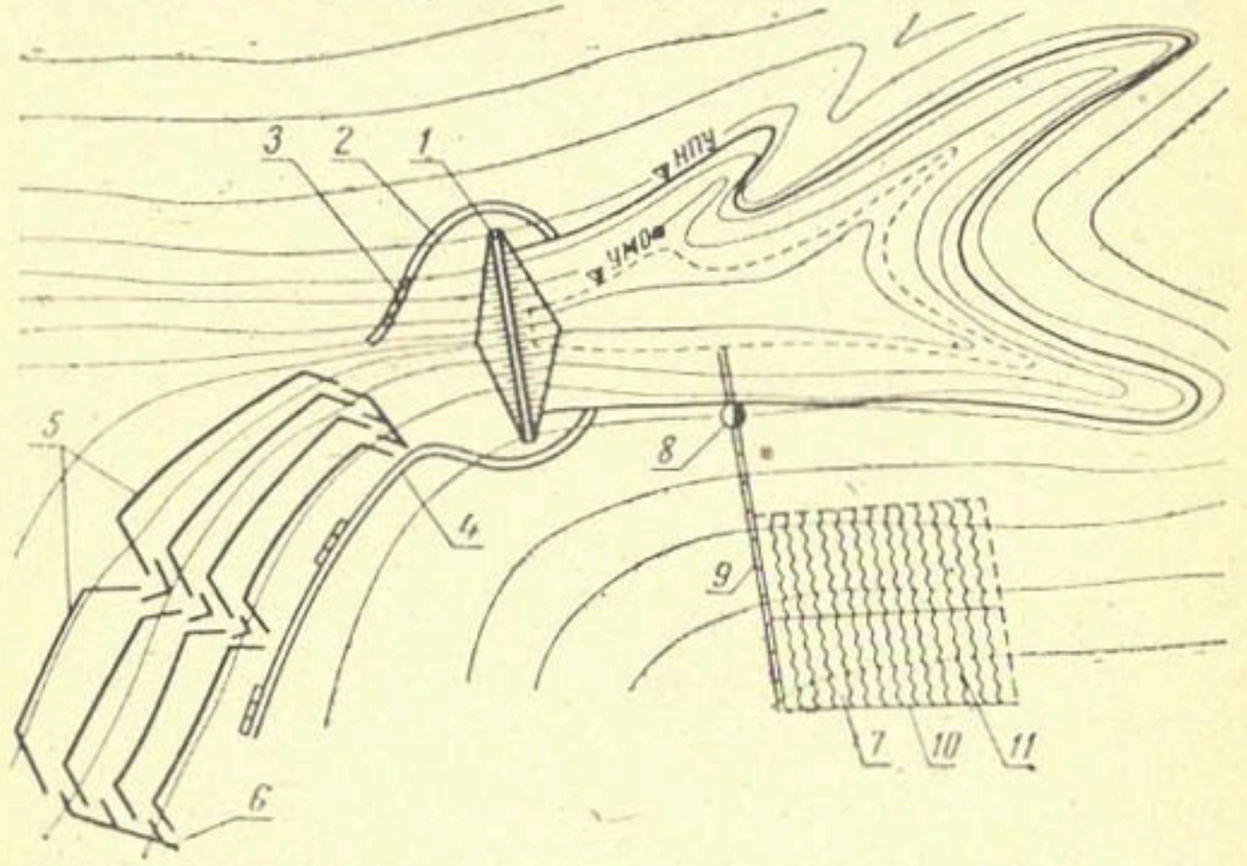


Рис. 32. Система мелкоярусных лиманов, питаемая сбросными водами из водохранилища:

1 — плотина, образующая водохранилище; *2* — паводковый сбросной канал; *3* — сопрягающее сооружение; *4* — канал лиманного орошения с водосливами-автоматами; *5* — земляные валы, образующие ярусы системы лиманов; *6* — струенаправляющие валики; *7* — участок регулярного орошения; *8* — насосная станция; *9* — напорный трубопровод; *10* — распределительные каналы или трубопроводы; *11* — временные оросители.

новидностей. Для лиманного орошения наиболее целесообразен склоновый сток и сток потяжин и лощин. Эти разновидности местного стока эффективно используются ярусными лиманами мелкого слоя затопления, которые устраивают путем насыпки земляных валов высотой до 1 м. Стоимость устройства таких лиманов в зависимости от уклона местности колеблется от 15 до 60 руб/га, срок окупаемости капиталовложений не превышает 2—3 лет. На рисунке 31 представлена система ярусных лиманов мелкого слоя затопления.

Сток овражно-балочной сети можно использовать как для регулярного, так и для лиманного орошения. Оптимальным вариантом является комплексное использование этого стока (рис. 32). При такой схеме уменьшаются размеры сбросного сопрягающего сооружения и появляется дополнительная площадь лиманного орошения, обеспечивающая получение дополнительной сельскохозяйственной продукции. Эти обстоятельства увеличивают эффективность использования водных ресурсов местного стока.

Сток замкнутых понижений можно использовать для устройства мелкоярусного лиманного орошения путем сооружения кольцеобразных в плане валов, трассируемых по горизонталям местности. При этом решаются следующие задачи: осуществляется мелиорация наиболее подверженной переувлажнению площади понижения и проводится лиманное орошение на дополнительной площади периферии замкнутого понижения, в результате чего в несколько раз увеличивается продуктивность данной площади.

Стоимость устройства таких систем не превышает 60 руб/га, а окупаемость их исчисляется 2—3 годами.

С учетом особенностей разновидностей местного стока и целесообразных способов использования его для орошения следует составлять побассейновые схемы, что обеспечит наиболее рациональное и эффективное использование ограниченных водных ресурсов местного стока.

ГЛАВА V

БОРЬБА С ЗАСОЛЕНИЕМ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Происхождение засоленных земель, их распространение и классификация

Избыточное содержание легкорастворимых солей в почвах приводит к резкому снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Наиболее вредные среди водорастворимых солей (по данным Л. П. Розова) NaCl, Na_2SO_4, Na_2CO_3, $MgCl_2$, $MgSO_4$ и $CaCl_2$.

Увеличение концентрации почвенных растворов сопровождается повышением осмотического давления. В связи с этим ухудшается водный режим растений, так как всасывающая сила корневых волосков становится недостаточной для отбора из почвы требуемого количества влаги. Это особенно сказывается при прорастании семян, так как их набухание резко замедляется и уменьшается энергия прорастания. Например, при концентрации почвенного раствора свыше 8,5 г/л почти полностью прекращается набухание семян хлопчатника.

Повышенное осмотическое давление почвенного раствора снижает интенсивность транспирации взрослых растений и нарушает их минеральное питание. Питательные вещества поступают в растение не только в виде механического тока с водой, но и в результате реакций адсорбционного поглощения и обмена. При сильном засолении почв некоторые вещества недоступны растению, так как они находятся в недиссоциированном состоянии или даже в твердой фазе. В первую очередь снижается поступление в растения Ca, S, Fe и Mn, вместо которых в больших количествах поступают Na, Cl, Mg. Эти вещества, попадая в листья, разрушают крахмал и резко ослабляют процесс фотосинтеза.

Таким образом, уменьшение транспирации и интенсивности фотосинтеза приводит к замедлению роста растений и снижению урожайности. Повышенное содержание солей в почве влияет на качество урожая сельскохозяйственных культур. Так, у хлопчатника сокращается длина волокна и снижается его крепость.

По данным И. С. Рабочева, в долине Амударьи урожай хлопчатника на слабозасоленных почвах был равен 36 ц/га, на среднезасоленных почвах — 25 ц/га, на сильнозасоленных почвах — 16 ц/га.

Необходимость борьбы с засолением орошаемых земель вызывается значительным их распространением. По данным на 1969 г., из общей площади ирригационно подготовленных земель, равной 9,4 млн. га, было в той или иной степени засолено 3,9 млн. га, или 41,5%. В хлопкосеющих районах засолено в среднем около половины орошаемых земель.

Острота борьбы с засолением орошаемых земель возрастает при выполнении обширной мелиоративной программы на ближайшие десятилетия, так как, по ориентировочным данным, земли, перспективные для орошения, в среднем засолены на 70—75%. Следует также иметь в виду, что на вновь орошаемых землях увеличиваются площади посева менее солеустойчивых культур по сравнению с хлопчатником.

К засоленным относятся земли, содержащие в почвах, грунтах или в грунтовых водах легкорастворимые соли в количествах, которые создают или могут создать в ближайшем будущем (например, при подъеме уровня грунтовых вод) токсичные условия в почвенном слое, препятствующие росту сельскохозяйственных культур.

Такое определение засоленных земель шире, чем понятие засоленные почвы, так как оно отражает особенности формирования водного и солевого режимов орошаемых земель. Практика показывает, что орошение земель всегда сопровождается увеличением питания грунтовых вод и подъемом их уровня. Соли, содержащиеся в грунтовых водах или в глубоких слоях грунтов, при этом поднимаются к поверхности земли и создают угрозу засоления почв.

Основной причиной образования легкорастворимых солей является их выделение при вулканической деятельности и в результате выветривания горных пород. Накопление солей в почвах, грунтах или грунтовых водах зависит от климатических и гидрогеологических условий. Засоленные земли в основном расположены в областях с жарким и сухим климатом на слабодренированных или безотточных территориях. Наиболее засолены земли в приморских или сухих дельтах, на великих аллювиальных равнинах и в областях тектони-

ческих прогибов. Сюда относятся дельты рек Сырдарьи, Амударьи, Мургаба, Теджена, Волги, Урала, Куры, Аракса; обширные территории среднего течения Сырдарьи (Голодная степь, Фергана), Амударьи (Вахшская долина, Чарджоуский оазис); приморские низменности (Присивашье, Прикаспийская низменность).

Засоленные почвы делятся на: 1) солончаки и солончаковатые почвы с избыточным содержанием солей в почвенном растворе или в твердой фазе; 2) солонцы и солонцеватые почвы, содержащие в почвенно-поглощающем комплексе избыточное количество натрия.

Подразделение солончаков и солончаковатых почв по типу засоления приведено в таблице 14.

Таблица 14

Типы засоления почвогрунтов

Тип засоления	Хлор в долях от общего содержания солей
Хлоридный	Более 0,4
Сульфатно-хлоридный	0,25—0,4
Хлоридно-сульфатный	0,12—0,25
Сульфатный	Менее 0,12

Помимо указанных в таблице 14, имеются также карбонатные и содовые солончаки.

Таблица 15

Классификация почвогрунтов по степени засоления

Степень засоления	Хлоридный и сульфатно-хлоридный тип засоления			Хлоридно-сульфатный и сульфатный тип засоления		
	плотный остаток	Cl	SO_4	плотный остаток	Cl	SO_4
	% от веса сухой почвы					
Незасоленные	<0,3	<0,01	—	<0,3	<0,01	<0,01
Слабозасоленные	0,3—0,5	0,01—0,05	—	0,3—1,0	0,01	0,1—0,4
Среднезасоленные	0,5—1,0	0,05—0,10	—	1,0—2,0	0,05	0,4—0,6
Сильнозасоленные	1,0—2,0	0,10—0,20	—	2,0—3,0	0,10	0,6—0,8
Солончаки	>2,0	<0,20	—	>3,0	—	>0,8

По глубине залегания солевого максимума различают почвы: солончаки и солончаковые — 5—30 см, солончаковатые — 30—70 см, глубокосолончаковатые — 70—100 см, глубокозасоленные — 100—150 см.

Классификация солончаков и солончаковатых почв по степени засоления дана в таблице 15 (по данным Н. И. Базилевич).

Допустимое содержание солей при мелиорации солончаков и солончаковатых почв приводится в таблице 16.

Таблица 16

Допустимое содержание солей в почвогрунтах

Тип засоления	Допустимое содержание солей, % от веса сухой почвы		
	плотный остаток	Cl	SO_4
Для районов Средней Азии			
Хлоридный	0,30	0,01—0,02	0,15
Сульфатно-хлоридный	0,40	0,01—0,02	0,15
Хлоридно-сульфатный и сульфатный	1,00	0,01—0,02	0,50
Для районов Азербайджана			
Хлоридный	0,30	0,02	—
Смешанный	0,50	0,04	—
Сульфатный	1,00	0,04	0,50

Мелиорация солончаков и солончаковатых почв заключается в растворении солей в почве и выносе их промывной водой. При мелком залегании уровней грунтовых вод промывная вода удаляется искусственным дренажем. Для предотвращения вторичного засоления необходимо поддерживать грунтовые воды на безопасной глубине, обеспечивать промывной режим орошения и строить постоянно действующий дренаж.

Солонцы и солонцеватые почвы отличаются по водным, физическим и химическим свойствам от солончаков и солончаковатых почв. Они требуют также и других методов мелиорации. Особенность солонцов и солонцеватых почв состоит в содержании в почвенно-поглощающем комплексе ионов натрия, что приводит к резкому ухудшению качества почв. Происходит набухание поч-

венных коллоидов, увеличивается щелочность и подвижность органических и минеральных веществ. При этом разрушается структура почв, ухудшаются ее водный и воздушный режимы, уменьшается содержание питательных веществ.

Различают солонцы с малым содержанием Na — менее 10% емкости поглощения, со средним содержанием Na — 10—25% и с высоким содержанием Na — более 25% емкости поглощения.

Мелиорация солонцов заключается в замещении поглощенного натрия кальцием или другими двух- или трехвалентными катионами и в последующем вымывании продуктов обмена промывной водой. При этом применяют гипс, серу, соли железа или алюминия.

С точки зрения минерализации (г/л) верхнего слоя грунтовых вод земли подразделяют по степени засоления следующим образом (по Н. Г. Минашиной): незасоленные — менее 2, слабозасоленные — 2—4, среднезасоленные — 4—8, сильнозасоленные — 8—16, очень сильно засоленные — более 16.

Прогнозирование водного и солевого режимов орошаемых земель

Орошение земель приводит к коренному изменению их водного и солевого режимов. Искусственное увлажнение корнеобитаемой зоны почвогрунтов всегда сопровождается сбросом части воды в более глубокие горизонты, что вызывает подъем уровня грунтовых вод. Этому подъему способствуют и фильтрационные потери из оросительной сети.

Подъем грунтовых вод, помимо угрозы заболачивания, создает предпосылки для ухудшения солевого режима земель. В процессе подъема грунтовые воды растворяют соли в верхних горизонтах и при малых глубинах начинают расходоваться на испарение. При этом происходит накопление солей в верхних почвенных горизонтах.

В задачу прогнозирования водного и солевого режимов входят:

оценка основных факторов, определяющих водный и солевой режимы в естественных условиях;

расчет режима грунтовых вод, изменения их минерализации и запасов солей в почве в проектных условиях

и установление на основании этого необходимости мелиоративных мероприятий: строительства дренажа, проведения промывок и осуществления промывного режима орошения;

выбор рациональных методов дренирования, расчет параметров дренажа и промывок.

Прогнозирование водносолевого режима невозможно без тщательного изучения естественных условий массива в процессе изысканий, режимных наблюдений, организации специальных водобалансовых исследований на опытных участках.

Одного изучения природных условий массива недостаточно для выводов о мелиоративном состоянии земель в проектных условиях.

Прогнозирование осуществляется на основе уравнений водного и солевого балансов и уравнений движения влаги и солей в почвогрунтах.

Уравнения водного баланса мелиорируемых земель существенно отличаются от подобных уравнений, применяемых, например, в гидрологии и в других науках. Особенности балансовых уравнений в рассматриваемом случае состоят в следующем:

искусственные подача или отвод значительных объемов воды часто превышают естественные приходные и расходные статьи баланса;

границы мелиорируемых массивов редко совпадают с линией водораздела поверхностных или грунтовых вод, что вызывает необходимость учета водообмена между орошаемыми и неорошаемыми землями;

наряду с общим уравнением водного баланса массива необходимо составлять частные уравнения баланса для поверхностных, почвенных (в зоне аэрации или неполного насыщения) и грунтовых вод, так как это расчленение позволяет учесть взаимодействие, например, между поверхностными и почвенными или почвенными и грунтовыми водами, что в основном и определяет мелиоративную обстановку на массиве;

водный баланс необходимо составлять не только для средних лет, но и для лет различной водообеспеченности, а также для отдельных периодов года — вегетационного, периода промывок и др.

В настоящее время применяют следующие методы прогнозирования водного и солевого режимов:

с помощью уравнений водного и солевого балансов;

с помощью теоретических формул, полученных при решении уравнений движения грунтовых вод или переноса солей;

с помощью моделирования фильтрационных потоков.

Уравнения водного баланса записывают в таком виде:

для поверхностных вод

$$\Delta W_{\text{пов}} = \text{Ос} + B + \text{п} - \text{И} - \text{о} - \text{Вп}; \qquad (29)$$

для почвенных вод

$$\Delta W_{\text{почв}} = \text{Вп} - T_{\text{р}} - g; \qquad (30)$$

для грунтовых вод

$$\Delta W_{\text{гр}} = g + \text{П} - \text{О} - q \pm P, \qquad (31)$$

где $\Delta W_{\text{пов}}$, $\Delta W_{\text{почв}}$, $\Delta W_{\text{гр}}$ — изменение запасов поверхностных, почвенных или грунтовых вод соответственно за расчетный промежуток времени;

Ос — атмосферные осадки;

B — подача оросительных вод на массив;

п, о — приток и отток поверхностных вод;

П, О — приток и отток грунтовых вод в горизонтальном направлении;

И — испарение с водной поверхности;

Вп — впитывание воды в почву;

$T_{\text{р}}$ — расходование почвенных вод на суммарное испарение (транспирацию и физическое испарение);

g — влагообмен между зоной аэрации и грунтовыми водами;

P — взаимодействие между грунтовыми водами первого с поверхности

водоносного горизонта с глубже залегающими (например, напорное питание);

q — дренажный сток.

Совместное рассмотрение уравнений баланса поверхностных и почвенных вод с некоторыми допущениями позволяет ориентировочно определить питание грунтовых вод при орошении:

$$g = Oc + Op + \Phi_к - T_р. \quad (32)$$

В выражении (32) предполагается, что баланс составляется для всего года, поэтому изменениями запасов поверхностных и почвенных вод можно пренебречь. Предполагается также, что естественного притока поверхностных вод на орошаемый массив нет, а их отток учитывается тем, что вместо суммарной водоподачи в уравнение (32) входят оросительная норма нетто (Ор) (с включением и профилактических промывных поливов) и фильтрационные потери из сети ($\Phi_к$). Эти потери при известном к. п. д. сети η можно определить как

$$\Phi_к = Op\left(\frac{1}{\eta} - 1\right). \quad (33)$$

Суммарное испарение с орошаемых земель $T_р$ наиболее достоверно определяется по данным лизиметрических наблюдений на опытных участках или с помощью испарителей, теплового баланса или других методов прямых измерений. При постановке таких наблюдений следует иметь в виду, что величина испарения существенно зависит от режима орошения и техники полива. Поэтому на опытных участках необходимо реализовывать проектные режим орошения и способы полива.

При отсутствии таких данных применяют расчетные способы определения суммарного испарения. В последнее время получили распространение способы Блейни-Криддла, А. Р. Константинова, А. М. Алпатьева и др.

В уравнении (32) необходимо водоподачу, фильтрационные потери и суммарное испарение относить к площади брутто, то есть умножать их на к. з. и., так как прогноз подъема грунтовых вод и строительство дренажа выполняют на всей площади брутто.

После определения среднегодового объема питания грунтовых вод от орошения необходимо рассчитать

подъем уровней грунтовых вод на массиве и установить потребность в дренаже. Способы этого расчета определяются гидрогеологическими условиями массива, видом и расположением границ фильтрационного потока. В технической литературе имеется большое количество формул, пригодных для тех или иных случаев. Наряду с этим на крупных объектах со сложными условиями применяют моделирование нестационарных фильтрационных потоков для получения прогнозного положения уровней или глубин грунтовых вод.

Если прогноз подъема уровня грунтовых вод на массиве покажет необходимость строительства дренажа, что бывает практически всегда, то его средняя по массиву мощность должна быть

$$q = g + \Pi - O \pm P, \qquad (34)$$

где q — среднегодовая средняя по массиву скорость отвода грунтовых вод дренажем, м/сутки.

В уравнении (34) величины притока $П$ и оттока O грунтовых вод, а также взаимодействие с глубже залегающими напорными пластами P должны быть взяты из предыдущих прогнозных расчетов при проектной глубине грунтовых вод, а не для бытовых условий. Для крупного массива мощность дренажа может быть большей в центральной его части по сравнению с периферийной.

Выбор типа дренажа зависит от многих факторов: гидрогеологических условий, условий производства работ, технических возможностей, экономического сравнения различных вариантов.

Взаимодействие между грунтовыми безнапорными и напорными водами оценивается формулой

$$P = \frac{K_0}{T_0}(h - H), \qquad (35)$$

где K_0, T_0 — коэффициент фильтрации и мощность слабопроницаемого грунта соответственно;

h — проектная глубина грунтовых вод;

H — пьезометрический напор в нижнем пласте, отсчитываемый от поверхности земли.

При определении величины P необходимо учитывать возможное изменение пьезометрических напоров в нижнем горизонте по сравнению с бытовым. Это может быть

при орошении и дренировании крупных массивов. Изменение пьезометрических напоров ΔH_p при изменении уровня грунтовых вод по сравнению с бытовым на величину Δh для массива, под которым залегает обширный водоносный горизонт с далеко отстоящими границами формирования (питания и разгрузки), можно определить по формулам С. Ф. Аверьянова. Если орошаемый массив принять в форме круга с радиусом R, то при изменении на нем уровней грунтовых вод на Δh напоры в нижнем горизонте в среднем по массиву изменятся на величину

$$\Delta H_p = \Delta h \varphi^*. \qquad (36)$$

Величина φ^* в этой формуле является функцией параметра

$$\alpha R = \sqrt{\frac{K_0}{T_0 K m}}\, R,$$

где K и m — соответственно коэффициент фильтрации и мощность пласта, содержащего напорные воды.

αR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
φ^*	0,987	0,960	0,927	0,891	0,854	0,818	0,746	0,680	0,545	0,445	0,318	0,244	0,197

Следует отметить, что формула (36) справедлива как при снижении грунтовых вод по сравнению с бытовым их положением (в этом случае и пьезометрические напоры понизятся), так и при их повышении, сопровождающемся увеличением напоров в нижнем горизонте.

Когда орошаемый массив соизмерим с плановыми размерами напорного горизонта (рис. 33), среднее превышение пьезометрической поверхности над уровнем грунтовых вод после устройства дренажа можно определить по формуле А. И. Голованова

$$(H-T_0)_{ср} = (H_0-T_0)\frac{\operatorname{th}\alpha l}{\alpha l} + i\,\frac{\operatorname{ch}\alpha l - 1}{\alpha^2 l \operatorname{ch}\alpha l}, \qquad (37)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_0}{K m T_0}}; \quad i = \frac{Q}{Km}; \qquad (38)$$

где T_0 — проектный уровень грунтовых вод, отсчитываемый от подошвы слабопроницаемого слоя;
Q — удельный приток грунтовых вод по напорному горизонту.

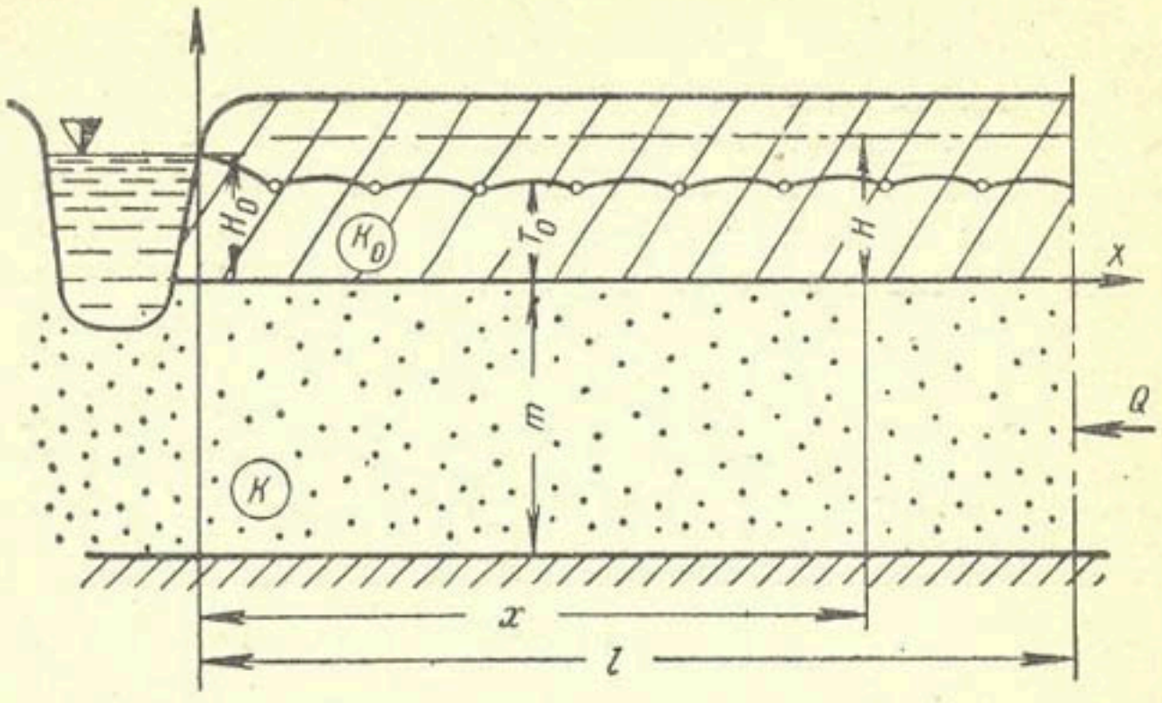


Рис. 33. Схема к расчету снижения напорности в нижнем пласте.

Для облегчения дренирования массива часть этого расхода может быть перехвачена линейным рядом вертикальных скважин. При орошении вышерасположенных участков возможно увеличение этого расхода по сравнению с бытовым.

Основная задача прогноза солевого режима на орошаемых землях — установить необходимость капитальных промывок и определить размеры профилактических промывных поливов, предохраняющих земли от вторичного засоления.

Капитальная промывка необходима для ввода орошаемых земель в сельскохозяйственное использование. Ее проводят перед сдачей оросительной системы в эксплуатацию в случае, если исходные запасы солей в верхнем 1,5—2-метровом слое почвогрунтов превышают допустимые.

Для определения величины профилактических промывных норм необходимо рассчитать изменение содержания солей по глубине на несколько лет вперед (обычно на одну ротацию севооборота). При этом по предложению А. И. Голованова выделяются следующие периоды:

вегетационный;

осенний, который условно можно назвать уборочным, когда прекращаются вегетационные поливы, но наблюдается заметное испарение почвенной влаги;

промывной, когда проводятся профилактические промывные поливы при норме порядка 1,5—3 тыс. м³/га;

холодный — с момента окончания промывных поливов до начала следующего вегетационного периода.

Для этих периодов с помощью балансовых расчетов находят скорость и направление движения почвенной влаги в расчетном слое почвогрунта.

Содержание солей на конец каждого периода определяют по формуле Л. М. Рекса, выведенной при условии, что начальная эпюра содержания солей имеет ступенчатый вид. В этом случае содержание солей C на произвольной глубине x м спустя время t суток

$$C=C_{в}+\sum_{i=0}^{n} C_i^{*} m_i, \qquad (39)$$

где $C_{в}$ — содержание солей в поливной воде;

$C_0^{*}=C_0-C_{в}$; $C_i^{*}=C_i-C_{i-1}$;

C_0, C_1, C_2,...,C_i — содержание солей в слое;

$$m_i=\frac{1}{2}\left\{\operatorname{erfc}\lambda_i+e^{r}\left[(1+4au_i)\operatorname{erfc}u_i-\frac{4a}{\sqrt{\pi}}e^{-u_i^2}\right]\right\};$$

$$a=\frac{v\sqrt{t}}{2\sqrt{D}};\quad r=\frac{v}{D}x;$$

$$\lambda_i=a\left(1+\frac{h_i}{vt}-\frac{x}{vt}\right);\quad u_i=a\left(1+\frac{h_i}{vt}+\frac{x}{vt}\right).$$

В этих формулах v — скорость движения влаги в обводненных порах грунта:

$$v=\frac{v_0}{tW}, \qquad (40)$$

где v_0 — количество оросительной воды, поступающей в грунтовые воды, или, наоборот, подпитывание почвенного слоя со стороны грунтовых вод (м):

$$v_0=\text{Ос}+\text{Ор}-(И+T_{р}); \qquad (41)$$

t — продолжительность периода;

W — влажность почвогрунта в долях объема;

$И$ — испарение с поверхности поля;

$T_{р}$ — транспирация;

h_i — расстояние от поверхности земли до верха i-того слоя;

D — коэффициент диффузии;
erfcλ — специальная функция;

$$\operatorname{erfc}\lambda = 1 - \operatorname{erf}\lambda = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\lambda} e^{-\lambda^2} d\lambda . \qquad (42)$$

Расчеты по формуле (39) обычно проводят с помощью ЭВМ. Размер промывных норм в этих расчетах подбирают таким, чтобы обеспечить прогрессирующее рассоление почвогрунтов.

Пример расчета. Необходимо дать прогноз солевого режима и определить величину профилактических промывных норм на орошаемом массиве в Голодной степи, на котором будет размещен девятипольный хлопково-люцерновый севооборот с таким чередованием культур: 1 и 2-й годы — хлопчатник; 3-й год — кукуруза с подсевом люцерны; 4 и 5-й годы — люцерна; 6, 7, 8 и 9-й годы — хлопчатник.

Таблица 17

Основные статьи водного баланса

Периоды	Осадки, мм	Подача оросительной воды на поле, мм			Суммарное испарение с поля, мм		
		с хлопчатником	с кукурузой и люцерной	с люцерной	с хлопчатником	с кукурузой и люцерной	с люцерной
1—31/I	45				15	15	15
1—28/II	35				30	30	30
1—31/III	60				50	50	50
1—15/IV	20				30	30	30
16—30/IV	10			70	40	60	60
1—31/V	20	70	100	120	90	100	120
1—30/VI	15	150	160	160	150	150	160
1—31/VII	5	230	180	210	220	200	210
1—31/VIII	0	190	170	170	210	180	190
1—15/IX	0		70	70	60	70	80
16—30/IX	5				40	50	60
1—16/X	10				30	30	50
17—31/X	10			250	30	20	50
1—15/XI	15		200		10	40	30
16—30/XI	20	250			40	10	10
1—31/XII	45				20	20	20
Сумма	315	890	880	1050	1065	1055	1165

Почвы — типичные сероземы, суглинистые, лессовидные, пористость $m=0{,}5$; объемный вес $\gamma=1{,}4$ г/см^3; предельная полевая влагоемкость — 0,4; в вегетационный период средняя влажность аэри-

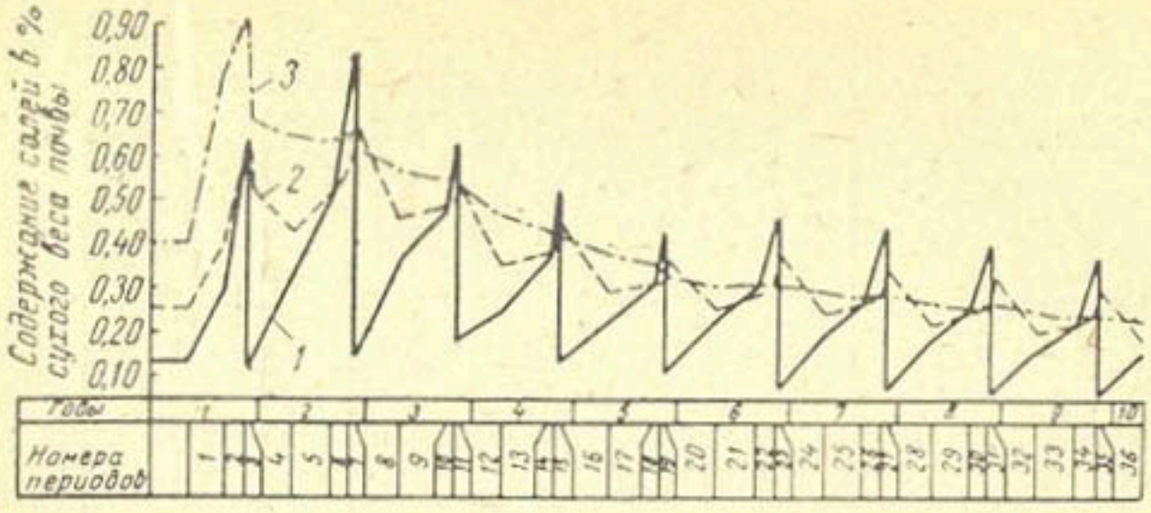


Рис. 34. Динамика солесодержания в % сухого веса почв:
1 — на глубине 0,2 м; *2* — на глубине 1 м; *3* — на глубине 2 м.

рованного слоя почвогрунта W составляет 0,75 ППВ или 0,30 объема; в период промывок W=ППВ=0,4; в холодный период и в период уборки W=0,5 ППВ=0,2. В поливной воде содержится 0,5 г/л солей или в пересчете на % солей к сухому весу почвы при средней влажности W=0,35

$$C_в = \frac{C_в^* W}{10\gamma} = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}35}{10 \cdot 1{,}4} = 0{,}012\%,$$

где $C_в^*$ — минерализация поливной воды, г/л.

В холодный период и при уборке поливная вода не подается, поэтому $C_в$=0. Величина коэффициента конвективной диффузии, определенная по данным опытных промывок, D^*=0,005 м²/сутки. Основные статьи баланса, определяющие скорость и направление движения влаги в аэрированном слое почвогрунта, даны в табл. 17.

В таблице 18 приведена разбивка всей ротации севооборота на периоды и определены исходные данные для расчета содержания солей на конец каждого периода.

До освоения почвогрунты на участке были сильно засоленными, среднее содержание солей в трехметровом слое составляло 2% сухого веса почвы, засоление сульфатно-хлоридное. Перед вводом земель в сельскохозяйственное использование была проведена капитальная промывка, в результате которой верхний двухметровый слой был опреснен до требуемого уровня — 0,4% сухого веса почвы (табл. 14).

Эти данные были использованы в качестве начальной эпюры распределения солей по глубине при прогнозе солевого режима, выполненного с помощью ЭВМ «Наири». Результаты этих расчетов приведены на рисунке 34. Они показывают, что, несмотря на интенсивную капитальную промывку, в первые три года благодаря диффузии содержание солей в верхнем метровом слое, где сосредоточена основная масса корней, в вегетационный период несколько превышает допустимые пределы (0,5 вместо 0,4%). Однако в дальнейшем по мере опреснения более глубоких горизонтов принятый промывной режим орошения обеспечивает прогрессирующее рассоление. В конце первой ротации, то есть спустя 9 лет, запасы солей в двухметровом слое стабилизируются на уровне 0,2—0,3%.

Таблица 18

Исходные данные для расчета содержания солей

№ периода	Наименование культуры и периодов	Даты начала и конца периода	t, сутки	$v_ф$, мм	W	v, мм/сутки	$C_в$, % сухого веса почвы
1	Хлопчатник	1/V—15/IX	138	—50	0,30	—1,2	0,012
2	Уборка	16/IX—15/XI	61	—70	0,20	—5.7	0
3	Промывка	16/XI—30/XI	15	+230	0,40	+38,3	0,012
4	Холодный период	1/XII—30/IV	151	+30	0,20	+1,0	0
5	Хлопчатник	1/V—15/IX	138	—50	0,30	—1,2	0,012
6	Уборка	16/IX—15/XI	61	—70	0,20	—5,7	0
7	Промывка	16/XI—30/XI	15	+230	0,40	+38,3	0,012
8	Холодный период	1/XII—30/IV	151	+30	0,20	+1,0	0
9	Кукуруза+люцерна	1/V—30/IX	153	—25	0,30	—0,54	0,012
10	Уборка	1/X—31/X	31	—30	0,20	—0,48	0
11	Промывка	1/XI—15/XI	15	+175	0,40	+29,2	0,012
12	Холодный период	16/XI—15/IV	151	+70	0,20	+2,3	0
13	Люцерна	16/IV—30/IX	168	—25	0,30	—0,5	0,012
14	Уборка	1/X—16/X	16	—40	0,20	—12,5	0
15	Промывка	17/X—31/X	15	+210	0,40	+35,0	0,012
16	Холодный период	1/XI—15/IV	166	+55	0,20	+1,7	0
17	Люцерна	16/IV—30/IX	168	—25	0,30	—0,5	0,012
18	Уборка	1/X—16/X	16	—40	0,20	—12,5	0
19	Промывка	17/X—31/X	15	+210	0,40	+35,0	0,012
20	Холодный период	1/XI—30/IV	181	+25	0,20	+0,7	0
21	Хлопчатник	1/V—15/IX	138	—50	0,30	—1,2	0,012
22	Уборка	16/IX—15/XI	61	—70	0,20	—5,7	0
23	Промывка	16/XI—30/XI	15	+230	0,40	+38,3	0,012
24	Холодный период	1/XII—30/IV	151	+30	0,20	+1,0	0
25	Хлопчатник	1/V—15/IX	138	—50	0,30	—1,2	0,012
26	Уборка	16/IX—15/XI	61	—70	0,20	—5,7	0
27	Промывка	16/XI—30/XI	15	+230	0,40	+38,3	0,012
28	Холодный период	1/XII—30/IV	151	+30	0,20	+1,0	0
29	Хлопчатник	1/V—15/IX	138	—50	0,30	—1,2	0,012
30	Уборка	16/IX—15/XI	61	—70	0,20	—5,7	0
31	Промывка	16/XI—30/XI	15	+230	0,40	+38,3	0,012
32	Холодный период	1/XII—30/IV	151	+30	0,20	+1,0	0
33	Хлопчатник	1/V—15/IX	138	—50	0,30	—1,2	0,012
34	Уборка	16/IX—15/XI	61	—70	0,20	—5,7	0
35	Промывка	16/XI—30/XI	15	+230	0,40	+38,3	0,012
36	Холодный период	1/XII—30/IV	151	+30	0,20	+1,0	0

Из рисунка 34 также отчетливо видна роль диффузионного переноса солей в холодный период года, когда скорость нисходящего потока влаги мала. При этом в опресненном после профилактических промывок верхнем 20-сантиметровом слое почвы наблюдается накопление солей, движущихся против направления движения влаги. Заметное накопление солей происходит также в верхнем горизонте в период уборки, когда прекращаются поливы, но испарение составляет значительную величину.

Вариант расчетов с уменьшенными на 500 м³/га промывными нормами показал, что содержание солей в вегетационный период даже спустя 9 лет будет несколько выше допустимого. Это говорит о необходимости тщательного подбора величины профилактических промывных норм.

Мелиорация засоленных земель

Наиболее эффективной мерой борьбы с первичным засолением и предупреждения вторичного засоления орошаемых земель являются промывки на фоне систематического дренажа. При этом в первый (мелиоративный) период применяют капитальные промывки для рассоления почвогрунтов до допустимых пределов в слое, достаточном для ликвидации угрозы реставрации засоления. Достигнутое в первый период опреснение поддерживают во время эксплуатации системой мелиоративных мероприятий, включающих наряду с совершенной техникой орошения и дренажем промывной режим орошения сельскохозяйственных культур, при котором создается общий нисходящий ток незначительной среднегодовой интенсивности и некоторый резерв опресненных грунтовых вод. Последнее обеспечивается в основном профилактическими промывками (норма 1,5—3 тыс. м³/га) во вневегетационный период (весна, осень) и в некоторых случаях увеличением поливных норм в вегетационный период.

Расчету промывных норм, необходимых для опреснения почвогрунтов, посвящено много работ. Следует, однако, отметить, что эти методы расчета носят эмпирический характер и содержат коэффициенты, по существу не являющиеся константами.

Более детально процесс передвижения солей при промывках рассмотрен В. Р. Волобуевым. Величину промывной нормы для метрового слоя почвогрунта он рекомендует определять по формуле

$$N = 10\,000\alpha \lg \frac{S_1}{S_2} \text{ м}^3/\text{га}, \qquad (43)$$

где α — показатель солеотдачи почвогрунта (при обеспеченном отводе промывных вод);

S_1 и S_2 — исходное и допустимое содержание солей в метровом слое, %.

Значения α для различных почвогрунтов и типов засоления приведены в работах В. Р. Волобуева.

Зависимость (43) позволяет найти величину промывной нормы, необходимой для опреснения метрового слоя почвогрунтов. Применение ее для определения промывной нормы в слое $x>1$ м дает неверные результаты.

В этом случае величину промывной нормы можно определять по формуле

$$N=10\,000\left(\alpha \lg \frac{S_1}{S_x}+\frac{\alpha}{\mu}x\right) \text{м}^3/\text{га}, \qquad (44)$$

где S_1 — исходное содержание солей в метровом слое, %;

S_x — требуемое содержание солей в конце промывки на глубине x, %;

μ — коэффициент, учитывающий скорость отвода промывных вод. По данным В. Р. Волобуева, для условий Голодной степи при грунтах с коэффициентами фильтрации 2 м/сутки и глубоком дренаже с междренными расстояниями 200 м $\mu=2{,}6$; при междренных расстояниях 100 м $\mu=3{,}7$; для условий Северной Мугани при грунтах с коэффициентами фильтрации 5—10 и глубоком дренаже с междренными расстояниями 400—700 м $\mu=8{,}0$;

x — требуемая глубина опреснения, м.

Процесс промывки нельзя рассматривать как простое вытеснение растворенных солей. Движение солей и влаги в почвогрунтах — это сложный физико-химический процесс. Данные опытов показывают, что при однократной смене почвенного раствора количество вытесненных солей всегда меньше 100%. При этом в песках выщелачивается до 90% солей, в пылеватых суглинках — до 80% и в агрегированных суглинистых грунтах — до 60%. Причина этого в том, что наряду с вытеснением свободного солевого раствора в сквозных порах почвогрунта происходит перенос солей в результате разности концентрации (диффузионный перенос), а также растворение солей твердой фазы и

обмен солевого раствора, находящегося внутри агрегатов. В зависимости от строения почвогрунта, скорости фильтрации и состава солей будет преобладать тот или иной процесс переноса солей. В песках солевой раствор, находящийся в основном в сквозных порах, вытесняется движущейся водой. В то же время в слабопроницаемых суглинистых грунтах перенос солей происходит медленнее и обусловливается в значительной степени процессами диффузии и обмена.

Величину промывной нормы нетто с учетом диффузии можно определить по формуле С. Ф. Аверьянова:

$$N = 10\,000\,(2A\sqrt{D^* t} + x)m \text{ м}^3/\text{га}, \qquad (45)$$

где x — расчетный слой опреснения, м;

t — продолжительность промывок, сутки;

m — пористость почвогрунтов в слое x, доли от объема;

D^* — коэффициент конвективной диффузии, м²/сутки.

Значения коэффициента A в зависимости от величины $c = \frac{S_2}{S_1}$, то есть от требуемой степени опреснения почвогрунта, следующие:

c	0	0.001	0,005	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12
A	∞	2,19	1,82	1,65	1,45	1,24	1,10	0,99	0,91	0,83

Продолжение

0,14	0,16	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
0,76	0,70	0,65	0,60	0,48	0,37	0,27	0,18	0,09	0

Выражение (45) показывает, что для опреснения расчетного слоя почвогрунта до заданного уровня необходимо подать воды больше, чем это требуется для одноразовой смены почвенного раствора. При этом дополнительное количество воды тем больше, чем больше значение коэффициента конвективной диффузии, продолжительность промывок и степень опреснения почвогрунта.

Приведенная зависимость, несмотря на ряд допущений, учитывает основные факторы, влияющие на процесс выноса солей из почвогрунта при промывках. К числу таких факторов относятся не только водно-физические свойства почвогрунтов, содержание и состав солей и особенности передвижения солей в почвогрунтах (диффузия, обмен), но и организационно-хозяйственные

факторы, такие, как время и продолжительность промывок, мощность опресняемого слоя и, что самое главное, скорость фильтрации, позволяющая учесть влияние дренажа на эффективность промывок.

Промывные нормы и особенно необходимая скорость отвода промывных вод зависят от продолжительности промывок. При сокращении продолжительности величина промывной нормы уменьшается, но необходимая скорость отвода промывных вод резко возрастает.

Таким образом, расчет капитальных промывок сводится к определению не только величины промывной нормы, но и продолжительности промывок и параметров временного дренажа, необходимого для обеспечения отвода промывных вод в установленные сроки. Продолжительность промывок выбирают на основании технико-экономических расчетов, учитывающих следующие затраты:

на оплату труда при проведении промывок. Эти затраты растут с увеличением промывных норм, так как при больших нормах промывки производятся по тактам. За один такт на поле подается 2—3 тыс. $м^3$/га, и после впитывания воды проводится ремонт временной оросительной и дренажной сети;

на строительство временной дренажной сети. Такие затраты уменьшаются при увеличении продолжительности промывки;

на строительство временных открытых коллекторов, временной оросительной сети, чеков, планировку поверхности перед промывкой, рыхление (вспашку) почвы; они мало зависят от продолжительности промывки;

на строительство дополнительной оросительной сети, устраиваемой в случае, когда пропускная способность постоянной сети будет недостаточна для подачи промывных вод в заданные сроки. Эти затраты уменьшаются с увеличением продолжительности промывки.

Оптимальным вариантом продолжительности промывки считается тот, который обеспечивает минимум суммарных затрат.

Наиболее надежным и проверенным типом временного дренажа в настоящее время является мелкий (0,8—1,2 м) открытый дренаж.

Эффективность работы временного дренажа оценивается количеством отведенных промывных вод и главным образом солей. Активная зона действия мелкого

временного дренажа составляет 2—3 его глубины, то есть 2—3 м. Следовательно, он в отличие от глубокого постоянного дренажа удаляет соли только из расчетного слоя почвогрунта.

В соответствии с этим временный дренаж необходимо предусматривать в следующих случаях:

когда уровень грунтовых вод до промывки расположен на глубине <5 м;

при поверхностном или равномерном по профилю засолении;

когда скорости отвода промывных вод, создаваемые постоянным дренажем, меньше необходимых скоростей отвода промывных вод:

$$v_{\text{п}} < v_{\text{н}} = \frac{N}{t}, \qquad (46)$$

где $v_{\text{п}}$ — скорость, создаваемая постоянным дренажем, м/сутки;

$v_{\text{н}}$ — необходимая скорость отвода промывных вод, м/сутки.

Если грунтовые воды до промывки расположены на глубине >5 м и если бóльшая часть промывной нормы может быть размещена в свободных порах зоны аэрации, то временный дренаж не нужен; в этом случае при расчете промывок можно принимать $v \cong K$, где K — коэффициент фильтрации почвогрунтов.

Временный дренаж нецелесообразен также при промывках глубокосолончаковых почвогрунтов, когда верхняя толща (1—2 м) опреснена.

Расчет совместного действия постоянного и мелкого временного дренажа ведется исходя из необходимой скорости отвода промывных вод и скорости, создаваемой постоянным дренажем при стоянии уровня грунтовых вод у поверхности земли, то есть временный дренаж должен обеспечить скорость

$$v_{\text{вр}} = v_{\text{н}} - v_{\text{п}}. \qquad (47)$$

Временный дренаж рассчитывают с учетом способа промывки. Если промывки проводят тактами, то есть промывную норму подают по частям, а перерыв между тактами достаточен для впитывания воды, то временный дренаж рассчитывают на инфильтрационное питание, равномерно распределенное по площади и равное $v_{\text{вр}}$.

При относительно глубоком залегании водоупора, что характерно для случаев, когда есть необходимость во временном дренаже, расстояния между дренами можно определить подбором по формулам

А. Н. Костякова

$$B=\frac{\pi Kh}{v_{вр}\left(\ln\frac{B}{d}-1\right)}\ м \qquad (48)$$

и С. Ф. Аверьянова — Цюй-Син-е

$$B=\frac{\pi Kh}{v_{вр}\ln\frac{2B}{\pi\sqrt{2dh}}}\ м, \qquad (49)$$

где h — глубина временных дрен, м (h=0,8—1 м);

K — коэффициент фильтрации почвогрунтов, м/сутки;

d — диаметр дрен,

$$d=0{,}5b+h_1\ м,$$

где b — ширина дрен по дну, м (b=0,2—0,5 м);

h_1 — глубина наполнения дрен, м.

Если промывки ведут при наличии постоянного слоя воды, например при выращивании риса, то расстояние между временными дренами можно рассчитывать по формуле В. В. Ведерникова

$$B=2{,}23(h+h_2)\sqrt{\frac{K}{v_{вр}}}\ м, \qquad (50)$$

где h — глубина временных дрен, м;

h_2 — слой воды на поверхности почвы, м.

Профилактические или эксплуатационные промывки проводят в осенне-зимний или весенний период в виде поливов при грузных нормах (1,5—3 тыс. м³/га).

Временный дренаж на период профилактических промывок не предусматривается.

Для расчета промывок и временного дренажа необходимы следующие данные: исходное засоление и состав солей, минерализация промывных вод, пористость и водопроницаемость почвогрунтов и коэффициент конвективной диффузии.

Исходное содержание и состав солей определяют на основании солевой съемки. При этом в пределах каж-

дого генетически однородного участка выбирают запасы солей расчетной обеспеченности, величину которой устанавливают на основании технико-экономических расчетов, учитывающих, с одной стороны, затраты на проведение промывки, с другой, ущерб из-за недопромывки земель с запасами солей выше расчетных. В первом приближении значение расчетной обеспеченности может быть принято равным ~10%.

Следует иметь в виду, что формула (45) получена для равномерного по профилю исходного засоления, поэтому при расчетах промывок запасы солей необходимо осреднять в пределах расчетной глубины опреснения почвогрунтов. Возможность такого осреднения доказана теоретическими проработками и опытно-производственными исследованиями.

Расчет промывок целесообразно проводить при хлоридном и сульфатно-хлоридном типах засоления по содержанию хлора, при хлоридно-сульфатном и сульфатном по сумме легкорастворимых солей. В соответствии с этим принимается и минерализация промывных и оросительных вод.

При решении вопросов опреснения почвогрунтов до безопасных для сельскохозяйственных растений пределов и ликвидации угрозы реставрации засоления при условии применения промывного режима орошения необходимая глубина рассоления может быть принята ~2 м.

Сроки проведения промывок назначают, исходя из организационно-хозяйственных условий с учетом наличия промывных вод, экономного их расходования, наличия рабочей силы, механизмов и др. Наиболее целесообразные сроки — октябрь — декабрь и февраль — март.

Коэффициент конвективной диффузии следует определять при проведении проектно-изыскательских работ путем опытных промывок на небольших площадках размером 20×20 или в крайнем случае 5×5 м. Для этого послойно определяют запасы солей и водно-физические свойства (пористость и водопроницаемость); проводят 2—3 такта промывки при нормах 2—3 тыс. м^3/га, при этом отмечают время начала затопления и конца впитывания воды; послойно определяют изменения запасов солей и влажности после каждого такта промывки.

Полученные данные позволяют определить коэффициент конвективной диффузии

$$D^{*}=\frac{(N-xm)^2}{4A^2m^2t}\ \text{м}^2/\text{сутки}. \qquad (51)$$

Величина D^{*}, по данным опытно-производственных исследований, колеблется в пределах $(1—50)\cdot10^{-3}$ м²/сутки.

Существенное значение имеет техника проведения промывок. В настоящее время применяют промывки по мелким чекам без сброса и перепуска воды из чека в чек, по мелким чекам с перепуском из чека в чек и с частичным сбросом, по крупным чекам (без сброса воды) и по глубоким бороздам со сбросом и без него.

Промывки по мелким чекам без сброса и перепуска промывной воды применяют на слабопроницаемых почвогрунтах, когда необходим временный дренаж. Размеры чеков определяются уклонами местности (отметки поверхности земли в крайних точках чека не должны быть больше 10 см) и расстояниями между временными дренами и оросителями. Обычно они колеблются от 20×20 до 50×50 м. Этот способ промывки самый трудоемкий и дорогой, но обеспечивает быстрое и равномерное опреснение почвогрунтов по ширине междренья. Слой воды в чеках 20—30 см.

Промывки по мелким чекам с перепуском и частичным сбросом промывной воды ведут одновременно с посевами риса. Этот способ менее трудоемок, но не обеспечивает достаточной глубины и равномерности опреснения по ширине междренья и главным образом по длине, то есть в направлении уклона и перепуска воды. Кроме того, он отличается значительными затратами промывных вод на испарение. Величина промывной нормы определяется не столько соображениями опреснения почвогрунтов, сколько условиями развития риса. Слой воды в чеках 10—20 см.

Промывки по крупным чекам (1—3 га) применяют при малых уклонах местности в тех случаях, когда нет необходимости во временном дренаже. Этот способ отличается высокой производительностью и простотой распределения промывной воды, но не обеспечивает равномерности опреснения по ширине междренья. Слой затопления 0,5—0,7 м.

Промывки по глубоким бороздам со сбросом проводят при наличии на поверхности земли пухлого солончакового слоя, без сброса — при проведении профилактических промывок.

Подготовка к капитальным промывкам включает планировку, глубокую вспашку (25—30 см), молование, нарезку чеков, временной оросительной и дренажной сети и устройство временных сооружений.

К планировке земель предъявляют следующие требования: в пределах чека существующий уклон местности должен быть сохранен, точность планировки ±5 см, на безуклонных участках должно быть обеспечено командование временных оросителей, поэтому подушки по трассам временных оросителей устраивают в процессе планировки. Если на поверхности имеется слой пухляка, его снимают по трассам и с поверхности резервов временных оросителей. Подушки отсыпают из подстилающего грунта, после чего слой пухляка разравнивают по поверхности резервов.

Валики высотой 0,4—0,6 м устраивают палоделателями или плантажными плугами всвал. При промывках по крупных чекам валики высотой до 1,5 м отсыпают бульдозерами. Временную оросительную и дренажную сеть нарезают после валиков. Такая последовательность производства работ сводит к минимуму ручные доработки.

Временную оросительную сеть нарезают с учетом возможности самостоятельной подачи промывной воды в каждый чек и рассчитывают на расход 50—100 л/с. Командование горизонта воды во временном оросителе над поверхностью почвы в чеках должно быть 20—30 см. В головах временных оросителей и в местах выпуска воды в чеки устраивают водовыпуски временного типа.

Временные дрены располагают между временными оросителями и выполняют в виде открытых каналов глубиной 0,8—1 м. Временные собирательные дрены делают глубиной 1,2 м. Форма поперечного сечения дрен и собирателей принимается трапецеидальная с одиночными откосами и шириной по дну 0,2—0,5 м, в зависимости от применяемой землеройной техники. Временные сбросные сооружения устраивают в местах сброса дренажных вод временных дрен в постоянную дренажную сеть.

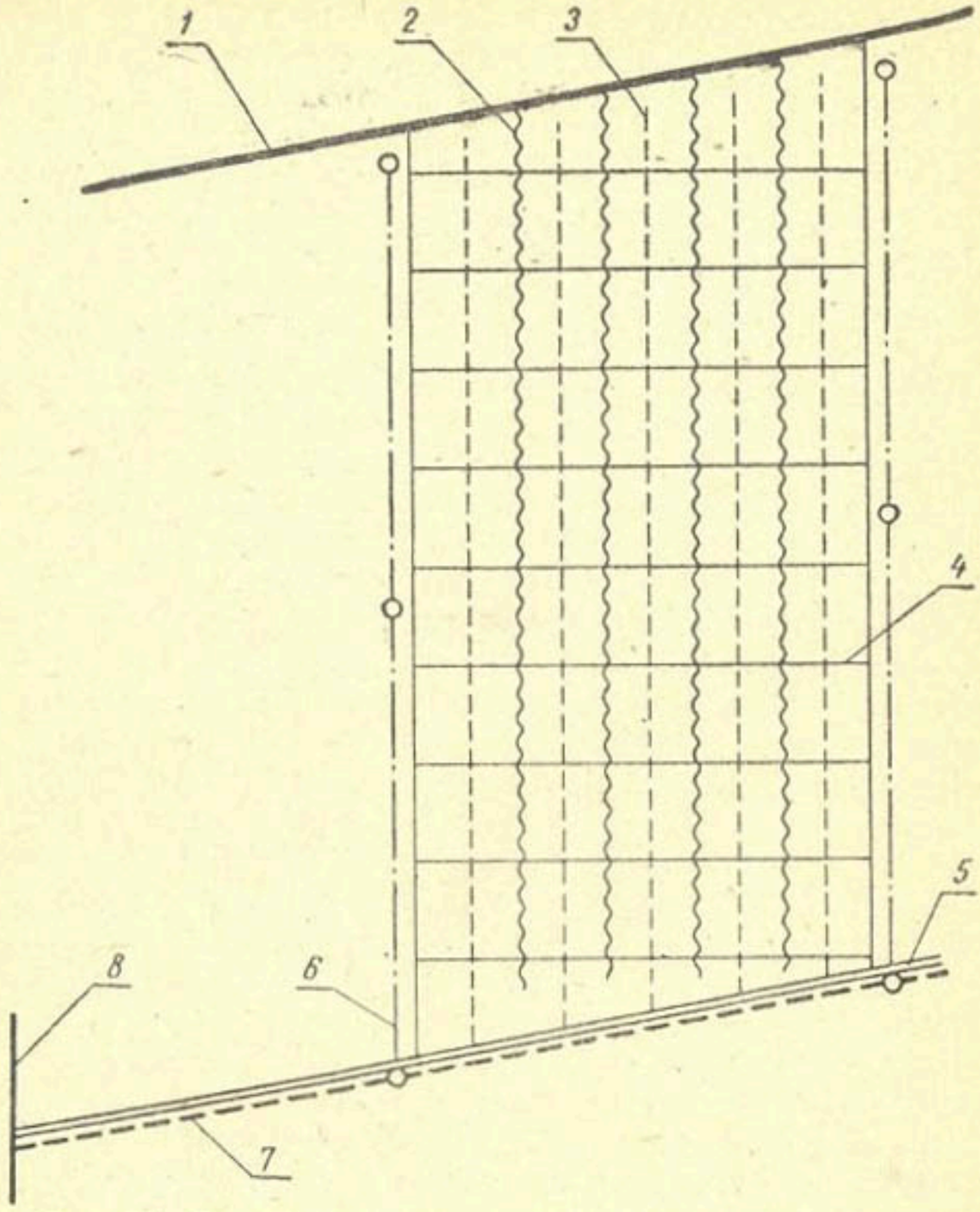


Рис. 35. Схема расположения оросительной и дренажной сети при промывках:

1 — участковый распределитель; *2* — временные оросители; *3* — временные дрены; *4* — оградительные валики; *5* — сбросной канал; *6* — постоянные закрытые дрены; *7* — закрытый коллектор; *8* — внутрихозяйственный коллектор.

Схема размещения временной оросительной и дренажной сети приведена на рисунке 35.

Промывка земель в колхозах и совхозах организуется по хозяйству в целом и должна проводиться по отдельным крупным массивам (отделения, севооборотные участки). Площадь одновременной промывки определяется пропускной способностью каналов межхозяйственной сети. В зависимости от величины принятой промыв-

ной нормы и организационно-хозяйственных условий полная промывка засоленных земель может быть завершена за один сезон или потребовать 2—3 года. В последнем случае обязательно освоение земель под солеустойчивые культуры с созданием интенсивного промывного режима орошения.

При наличии дренажа наиболее эффективна направленная (полосовая) промывка от центра междренья по направлению к дренам. Следующим по эффективности способом является равномерное инфильтрационное питание. Наименее эффективны единовременные промывки путем затопления всего междренья (промывки под рисом и по крупным чекам).

Промывную воду подают тактами по 2—3 тыс. м³/га. Промывка ведется круглосуточно с организацией сменной работы поливальщиков, нагрузка на поливальщика принимается 30—50 л/с.

В период промывок предусматриваются постоянные наблюдения за уровнем и минерализацией грунтовых вод, минерализацией промывных и дренажных вод, равномерностью распределения воды по поверхности промываемого поля и контроль за динамикой опреснения почвогрунтов. По окончании промывок проводят сплошную солевую съемку.

Горизонтальный дренаж на орошаемых землях

Горизонтальный дренаж представляет собой комплекс гидротехнических сооружений и устройств, включающих открытые и закрытые дрены с сооружениями, коллекторы и насосные станции.

Основное назначение дренажа — создание условий для устойчивого опреснения засоленных земель путем проведения капитальных промывок и поддержание водного и главным образом солевого режима почвогрунтов, полностью исключающего реставрацию засоления в период эксплуатации.

Горизонтальный дренаж устраивают на массивах со слабопроницаемыми отложениями мощностью $\geqslant$40 м, которые залегают на водоупоре или подстилаются водоносным (напорным, безнапорным) пластом с проводимостью (произведение коэффициента фильтрации водоносного пласта на его мощность), меньшей 100 м²/сутки.

Горизонтальный дренаж применяют, как правило, в центральных частях межгорных впадин, на широких аллювиальных террасах, периферийных частях конусов выноса и в межконусных депрессиях, на современных и древних приморских дельтах и низменностях.

В зависимости от назначения и расположения по отношению к дренируемой площади и источникам питания подземных вод различают систематический дренаж, выборочный дренаж, головные (ловчие) и береговые дрены.

Систематический дренаж представляет собой систему горизонтальных (открытых или закрытых) дрен, расположенных равномерно по дренируемой площади. Это основной вид дренажа на орошаемых землях. Он предусматривается во всех случаях, когда или почвы, или грунты, или грунтовые воды засолены и в соответствии с прогнозом водного режима ожидается подъем минерализованных грунтовых вод до глубины 2—3 м, при которой они начинают активно участвовать в почвообразовательном процессе. Систематический дренаж устраивают также при наличии напорного подпитывания со стороны минерализованных подземных вод.

Выборочный дренаж состоит из сравнительно редко расположенных преимущественно открытых дрен, приуроченных к пониженным элементам рельефа.

Такой дренаж глубиной 3—4 м предусматривается для отвода излишков грунтовых вод на опресненных почвах, грунтах и грунтовых водах при отсутствии напорного питания.

Головной (ловчий) и береговой дренаж — это система горизонтальных открытых или закрытых дрен, расположенных вдоль контуров питания подземных вод дренируемого массива.

Головной (ловчий) дренаж устраивают при наличии значительного внешнего питания подземных вод для частичного или полного перехвата подземного потока. Дренаж предусматривается вдоль верхней (по направлению потока) границы мелиорируемой площади. Устройство головного дренажа не исключает применения систематического или выборочного дренажа на самой мелиорируемой территории. Для обоснования необходимости и целесообразности строительства головного дренажа составляют прогноз водного режима для всего рассматриваемого массива.

Береговой дренаж проектируют при наличии подтопления со стороны рек или водохранилищ. Его применение связано с большими затратами на строительство и эксплуатацию (перекачка дренажных вод насосными станциями) и в каждом случае требует особого обоснования. Строительство берегового дренажа не исключает применения других видов дренажа на мелиорируемой территории и по ее границам.

Горизонтальный дренаж устраивают открытого и закрытого типа. До последнего времени основным типом был открытый дренаж, который отличается простотой устройства и относительно небольшими капитальными затратами (300—500 руб/га).

Однако практика показала, что открытый дренаж имеет ряд существенных недостатков: значительные эксплуатационные затраты на очистку, связанные с зарастанием, заилением и оползанием откосов дрен; потерю полезной площади и ухудшение условий механизации сельскохозяйственных работ.

В настоящее время основным типом следует считать закрытый дренаж, причем закрытыми выполняют первичные дрены и внутрихозяйственные коллекторы последнего порядка; хозяйственные и межхозяйственные коллекторы, расположенные не чаще чем через 800—1000 м, устраивают в виде открытых каналов.

Такой смешанный тип коллекторно-дренажной сети, несмотря на значительные капитальные затраты (800—1200 руб/га), является более совершенным и в целом достаточно экономичным благодаря снижению эксплуатационных затрат, повышению к. з. и. и уровня механизации сельскохозяйственных работ.

Открытые дрены и коллекторы выполняют в виде каналов трапецеидального сечения глубиной 3—6 м и более. Ширину по дну устанавливают на основании гидравлических расчетов с учетом типа применяемой землеройной техники. Заложение откосов дрен глубиной более 3 м назначают после соответствующих расчетов.

Закрытый дренаж выполняют в виде трубчатых дрен с круговой фильтрующей обсыпкой из различных природных и искусственных материалов (песок, гравий, песчано-гравийная смесь, стекловата, базальтовое волокно и др.).

При строительстве закрытого дренажа применяют гончарные трубы длиной 33 см, керамические длиной

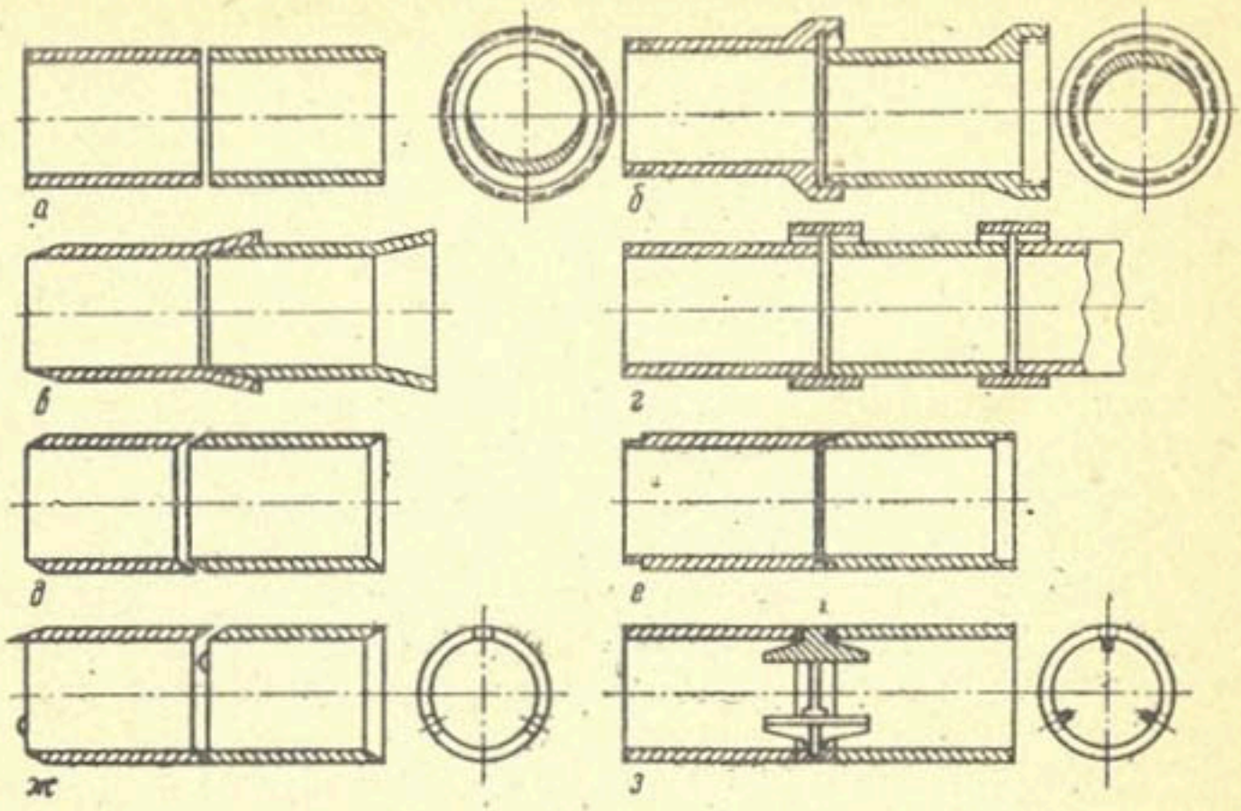


Рис. 36. Схема стыкования дренажных труб:

а — с прямыми торцами; *б* — с цилиндрическим раструбом; *в* — с коническим раструбом; *г* — с муфтой; *д* — с конической фаской; *е* — с цилиндрической заточкой наружного и внутреннего диаметров; *ж* — с рельефной конической фаской; *з* — с закладными соединительными деталями.

70 см, асбестоцементные безнапорные длиной 4 м, бетонные и железобетонные, а также трубы из различных полимеров (полиэтилен, полихлорвинил и др.) диаметром 100—300 мм и более. Наибольшее распространение получили гончарные, керамические и асбестоцементные трубы.

Дренажные трубы, применяемые при строительстве закрытого дренажа на орошаемых землях, должны отвечать двум требованиям: прочности и химической стойкости (в основном против действия сульфатов). Расчетное давление грунта на трубы, уложенные на глубину 3,5—4,5 м, равно 0,9—1,1 кг/см^2; при вакуумировании дренажа давление может быть увеличено на 0,1—0,5 кг/см^2, в зависимости от степени разрежения. Это значительно ниже предела прочности указанных выше труб.

Гончарные, керамические и пластмассовые трубы, отвечающие требованиям ГОСТ, не подвержены воздействию сульфатов.

Бетонные и асбестоцементные трубы в значительной степени подвержены воздействию сульфатов. Поэтому при устройстве дренажа их обмазывают битумом.

Дренажные трубы выпускают с прямыми торцами, цилиндрическими и коническими раструбами, конической фаской и др. (рис. 36).

Пластмассовые трубы выпускаются отечественной промышленностью гладкостенные и гофрированные диаметром 50—100 мм и длиной от 5 до 300 м с перфорацией в виде продольных щелей или круглых отверстий.

Вода поступает в полость дрен в зависимости от конструкции через зазоры между трубами или водоприемные отверстия (перфорацию). При использовании гончарных, керамических и бетонных труб длиной 33—70 см вода поступает через зазоры в стыках. При длине труб более 70 см устраивают дополнительную перфорацию в виде щелей, которые располагаются через 50—70 см по длине трубы, или круглых отверстий, суммарная площадь которых при наличии фильтрующей обсыпки составляет 0,5% поверхности трубы. Размеры водоприемных отверстий устанавливают с учетом крупности фракций фильтрующей отсыпки.

Ширину щелей принимают от 3 до 7 мм, диаметр круглых отверстий 5—15 мм (рис. 37).

Одним из основных элементов закрытого дренажа считается фильтрующая обсыпка, которая предотвращает вынос частиц дренируемого грунта и заиление дрен, а также увеличивает приток грунтовых вод к дрене и позволяет воде свободно поступать в дрену. От материала и качества устройства фильтрующей обсыпки зависит эффективность работы закрытого дренажа. Поэтому при проектировании должен быть правильно подобран материал фильтрующей обсыпки и установлены ее габариты.

В качестве материала дренажных обсыпок можно применять гравий, щебень и продукты выветривания изверженных или прочных разновидностей осадочных пород. В последнее время широкое распространение получают искусственные волокнистые материалы (стекловойлок, базальтовое волокно и различные изделия из них — маты, плиты и т. д.). Применение этих изделий в качестве дренажных фильтров позволяет сократить расходы материала, уменьшить транспортные расходы и механизировать процесс изготовления, монтажа и укладки фильтров. Экономические расчеты показывают, что замена песчано-гравийного фильтра минеральным снижает стоимость строительства дренажа на 20—30%.

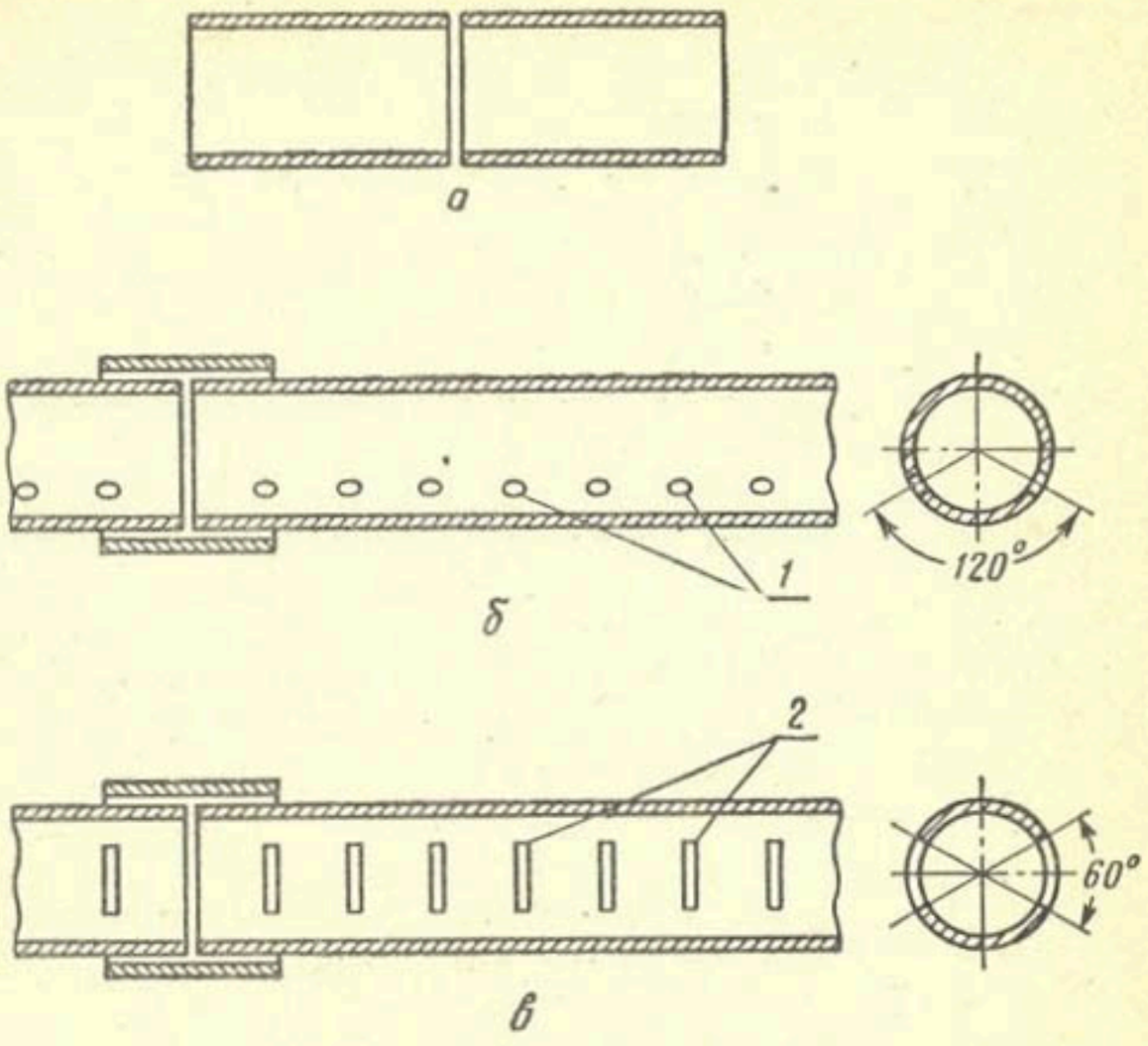


Рис. 37. Водоприемные отверстия в дренажных трубах:
а — в гончарных или керамических длиной 33—70 см; *б*, *в* — в асбестоцементных, пластмассовых и бетонных; *1* — круглые отверстия (диаметром 5—15 мм); *2* — щелевые (ширина щели 3—7 мм).

Фильтрующая обсыпка дрен должна быть сплошной по длине; прерывистые обсыпки затрудняют механизацию строительства дренажа и значительно снижают приток воды к дрене, особенно при малых диаметрах труб.

При назначении габаритов обсыпки необходимо соблюдать следующие условия. Ширину ее устанавливают в зависимости от внешнего диаметра дрены $B_0 = d_в + \delta$, где $d_в$ — внешний диаметр дренажной трубы, м; $\delta = 20—30$ см. Высота обсыпки H_0 при дренировании однородных грунтов определяется высотой высачивания. При глубоком залегании водоупора

$$H_0 = (0{,}17 - 0{,}26)\frac{Q}{K} \text{ м}, \qquad (52)$$

при близком залегании водоупора

$$H_0 = \sim 0{,}37\,\frac{Q}{K}, \qquad (53)$$

где Q — приток воды к дрене, м³/сутки на 1 м;
K — коэффициент фильтрации дренируемого грунта, м/сутки.

Строительство закрытого дренажа в зависимости от уровня грунтовых вод ведут механизированным или полумеханизированным способом. При глубине грунтовых вод >4—5 м горизонтальный дренаж целесообразно укладывать дреноукладчиками типа Д-301М, УДТ-3,5, Д-658, Д-659 и др.

При расположении грунтовых вод выше уровня заложения дрен строительство ведут полумеханизированным способом, при котором укладка дренажных труб и фильтрующей обсыпки производится вручную на полке (рис. 38).

При проектировании систематического дренажа в плане необходимо следить, чтобы коллекторно-дренажная сеть не создавала помех для механизации сельскохозяйственных работ и не увеличивала фильтрационные потери из оросительных каналов. Расстояния между открытыми коллекторами принимают не менее 800—1000 м. Их располагают по уклону местности в понижениях рельефа и по возможности совмещают с границами хозяйств, отделений, севооборотов и полей агроучастков.

Дренажную сеть размещают между постоянными оросительными каналами. Располагать дрены в непосредственной близости от каналов (10—20 м) допускается в тех случаях, когда каналы выполнены в железобетонных лотках или с капитальной одеждой (бетон, железобетон).

Учитывая, что систематический дренаж на орошаемых землях работает в основном на отвод инфильтрационных вод, коллекторно-дренажную сеть целесообразно размещать по направлению наибольшего уклона местности.

В местах пересечения закрытых дрен с оросительными каналами, проходящими в земляном русле, дрену выполняют глухой на длине $L = B_к + 5H$, где $B_к$ — ширина канала по урезу воды, м, а H — разность отметок воды в канале и дрене, м.

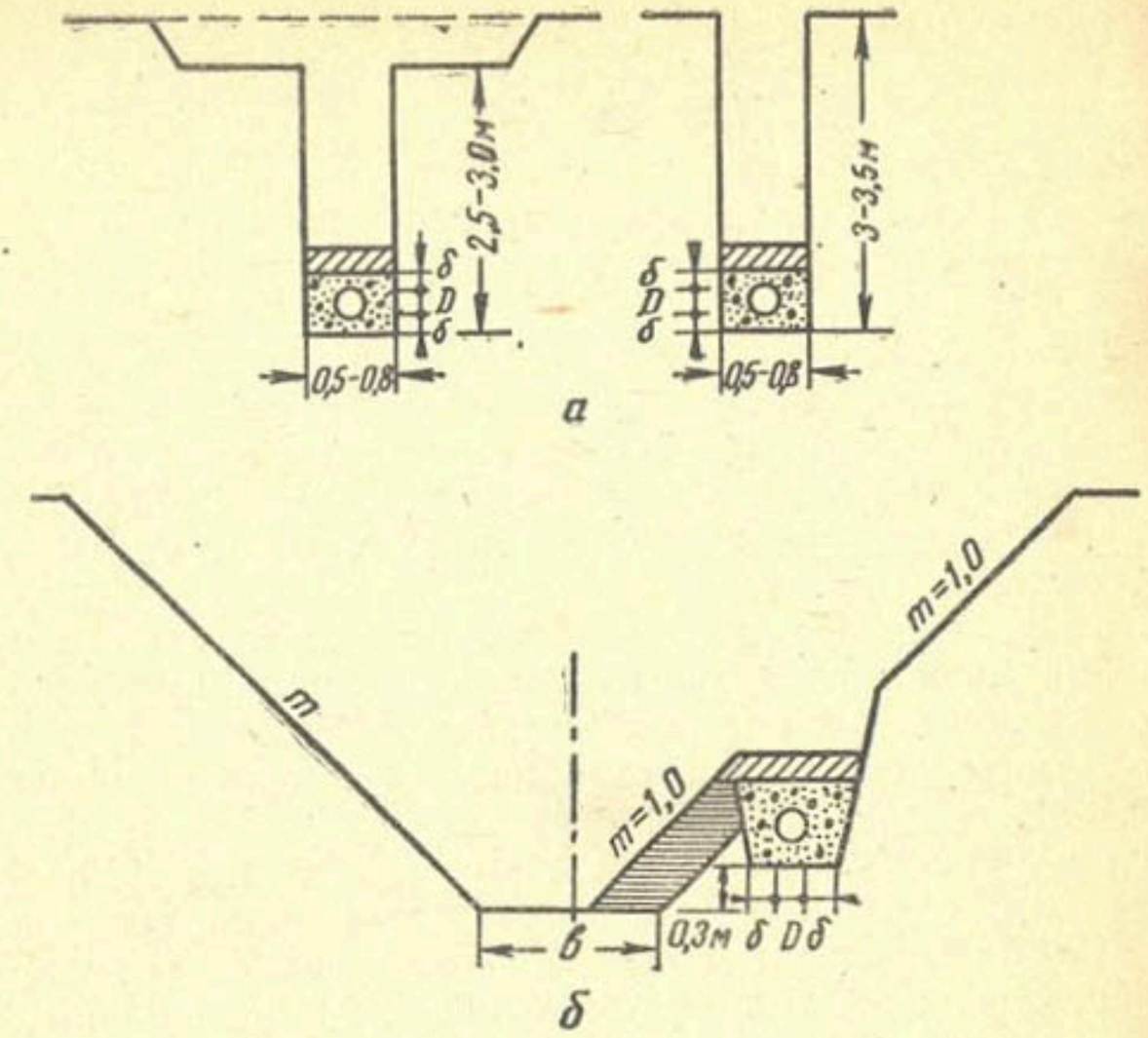


Рис. 38. Конструкции закрытых дрен:
а — при механизированном способе укладки; *б* — при ручном способе укладки.

Открытые дрены должны быть защищены от поступления поверхностных вод, прием которых следует организовать в определенных точках, оборудованных сбросными сооружениями.

Коллекторно-дренажную сеть оснащают гидротехническими сооружениями, необходимыми для нормальной работы сети в период эксплуатации. Эти сооружения должны обеспечивать сброс поверхностных вод без размыва и деформации откосов открытой коллекторно-дренажной сети, своевременный отвод дренажных вод без подпора, постоянный надзор за работой дренажа, сопряжение отдельных звеньев сети, а также учет количества отводимых дренажных вод.

Устьевые сооружения при впадении закрытых дрен и коллекторов в открытые выполняют в виде бетонных сборных и монолитных конструкций. При впадении закрытых дрен в закрытый коллектор обычно в качестве

устьевых сооружений используют смотровые колодцы. Для облегчения постоянного надзора за работой дрен и проведения промывки их от наносов смотровые колодцы устанавливают также в истоке дрен, на углах поворотов в плане и при изменении уклонов.

Стремление снизить стоимость строительства закрытого дренажа привело к разработке бестраншейного способа укладки дрен из тонкостенных гладких и гофрированных пластмассовых труб $d=50—70$ мм. В настоящее время пластмассовый дренаж, укладываемый бестраншейным способом на глубину до 3 м, проходит широкую производственную проверку.

Постоянный горизонтальный дренаж является капитальным сооружением, рассчитанным на длительный срок службы, поэтому параметры его устанавливают, исходя из среднегодовой нагрузки эксплуатационного периода с обязательной проверкой внутригодового колебания уровня грунтовых вод.

Среднегодовой модуль дренажного стока рассчитывается по формуле (34).

После определения нагрузки на дренаж на основании анализа гидрогеологических условий и расчетов, а также технико-экономических проработок выбирают тип постоянного дренажа и его параметры (глубина заложения, междренные расстояния, конструкция). Расчет постоянного дренажа во всех случаях ведут по формулам установившегося режима.

Проверку работы дренажа в отдельные периоды (необходимость снижения уровня грунтовых вод до 1,5—1,8 м к началу полевых работ после профилактических поливов) следует вести по формулам неустановившегося режима.

Основная расчетная схема осушающего и рассоляющего действия систематического и выборочного дренажа характеризуется периодической работой в течение года, постоянным для отдельных периодов питанием с поверхности (фильтрационные потери, промывной режим орошения) и напорным питанием.

Для головного (ловчего) и берегового дренажа расчетная схема характеризуется периодической работой и наличием потока подземных вод с одной или двух сторон.

В зависимости от гидрогеологических условий выделяются две основные схемы: более или менее однород-

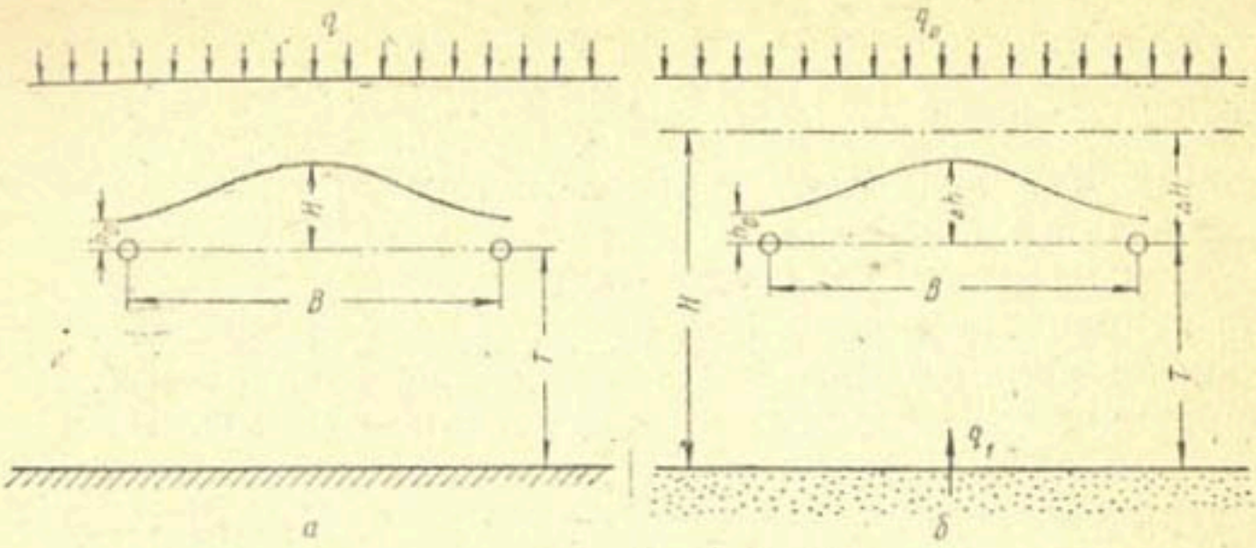


Рис. 39. Расчетные схемы:
а — однородный или слоистый грунт, залегающий на водоупоре; *б* — однородный грунт, подстилаемый напорным пластом.

ный или слоистый грунт, иногда значительной мощности, залегающий на водоупоре; однородный грунт, подстилаемый напорным пластом.

В первом случае источником питания служит инфильтрация с поверхности, во втором к инфильтрационному питанию прибавляется глубинное напорное подпитывание (рис. 39).

Расстояния между дренами при глубоком залегании водоупора $\left(\frac{B}{T}<3\right)$ определяют по формулам А. Н. Костякова, С. Ф. Аверьянова, Цюй-Син-е (см. гл. V). При мелком залегании водоупора $\left(\frac{B}{T}>3\right)$ применяется формула Кене с поправкой на несовершенство дрен, введенной С. Ф. Аверьяновым,

$$B=2\sqrt{\frac{2KHT}{q}\left(1+\frac{H}{2T}\right)}\alpha, \qquad (54)$$

где α — коэффициент висячести, учитывающий дополнительные сопротивления фильтрационного потока при сужении и поступлении его в несовершенную дрену по сравнению с каналом, прорезающим водоносный пласт. Коэффициент α находится по графику, приведенному на рисунке 40.

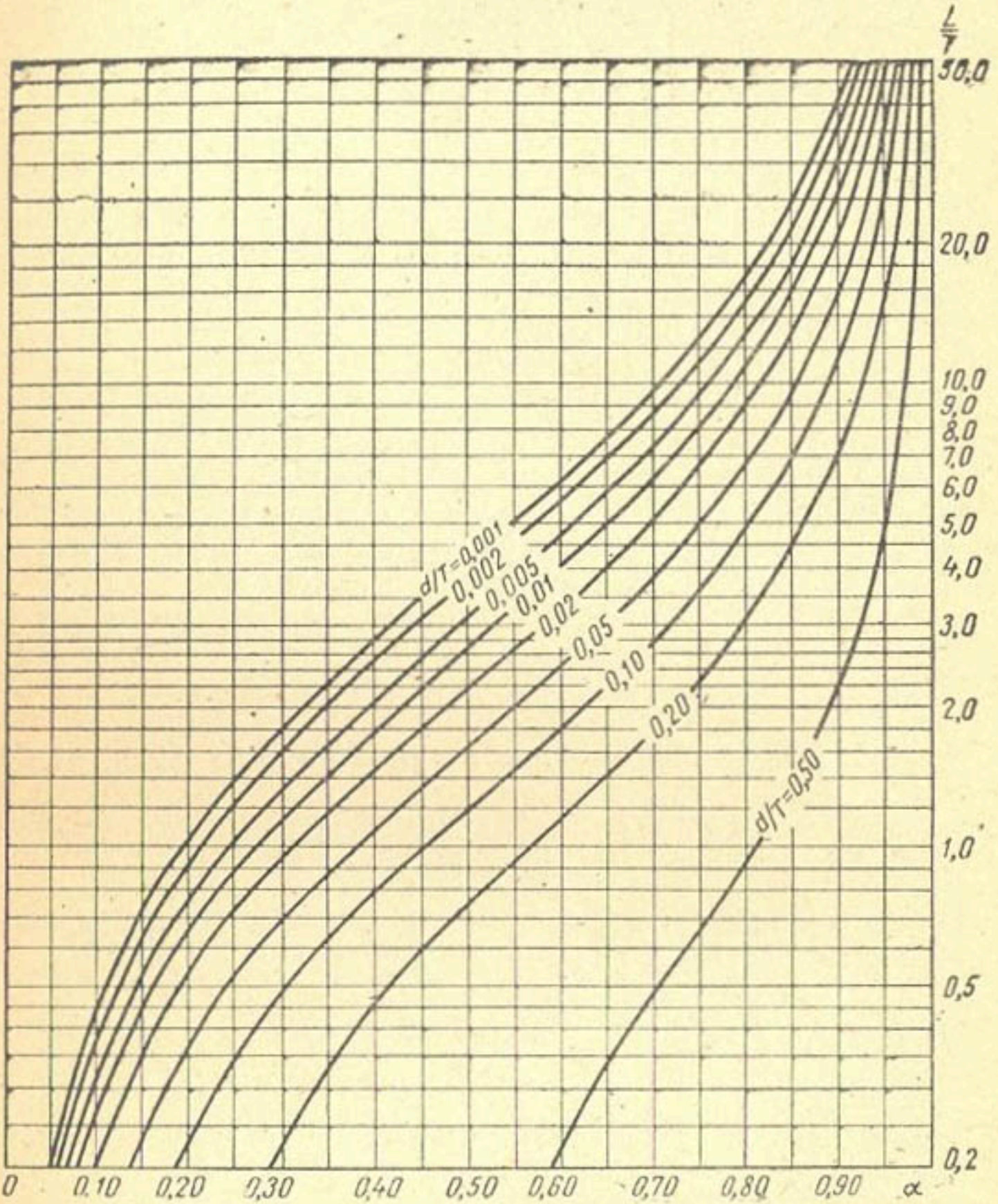


Рис. 40. График для определения коэффициента висячести дренажа: $\frac{L}{T}$ — относительное расстояние между дренами; $\frac{d}{T}$ — относительный диаметр дрен; $L=\frac{B}{2}$ — при ловчих дренах; $L=\frac{B}{4}$ — при систематическом дренаже; B — расстояние между дренами; T — мощность водоносного пласта; d — диаметр дрен.

Формулу (54) можно привести к виду, исключающему подбор при определении B,

$$B=T\left[2\sqrt{\frac{2KH}{qT}\left(1+\frac{H}{2T}\right)+Б^2}-Б\right], \qquad (55)$$

где $Б=2{,}94\lg\frac{2T}{\pi d}$.

Аналогичные формулы для определения междренных расстояний приведены в работе В. М. Шестакова (рис. 41):

$$B=4\left[\sqrt{\frac{KT}{2q}H+L_{\text{и.д}}^2}-L_{\text{и.д}}\right], \qquad (56)$$

где $L_{\text{и.д}}$ — характеристика несовершенства дренажа, представляющая собой расчетную длину зоны резкой деформации потока вблизи дрены.

Для однослойного пласта (рис. 41, *а*)

$$L_{\text{и.д}}=0{,}73m\lg\frac{2m}{\pi d}; \qquad (57)$$

для двухслойного пласта при $K_{\text{н}}>10K_{\text{в}}$ (рис. 41, *б*)

$$L_{\text{и.д}}=0{,}73m\frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{в}}}\lg\frac{8m_{\text{в}}}{\pi d}. \qquad (58)$$

В приведенных формулах d — диаметр дрены, остальные обозначения даны на рисунках 39 и 41.

Для второй схемы (рис. 39, *б*) используются формулы С. Ф. Аверьянова. При глубоком залегании напорного пласта $\left(\frac{B}{T}\leqslant 3\right)$ расстояние между дренами для обеспечения требуемого Δh определяется подбором по формуле

$$B=\frac{1{,}37T}{(\Delta\bar{H}-1)\lg\frac{2B}{\pi d^*}+0{,}3}, \qquad (59)$$

где

$$d^*=\sqrt{2d(\Delta h+d)};\quad \Delta\bar{H}=\frac{\Delta H+q\frac{T}{K}}{\Delta h}.$$

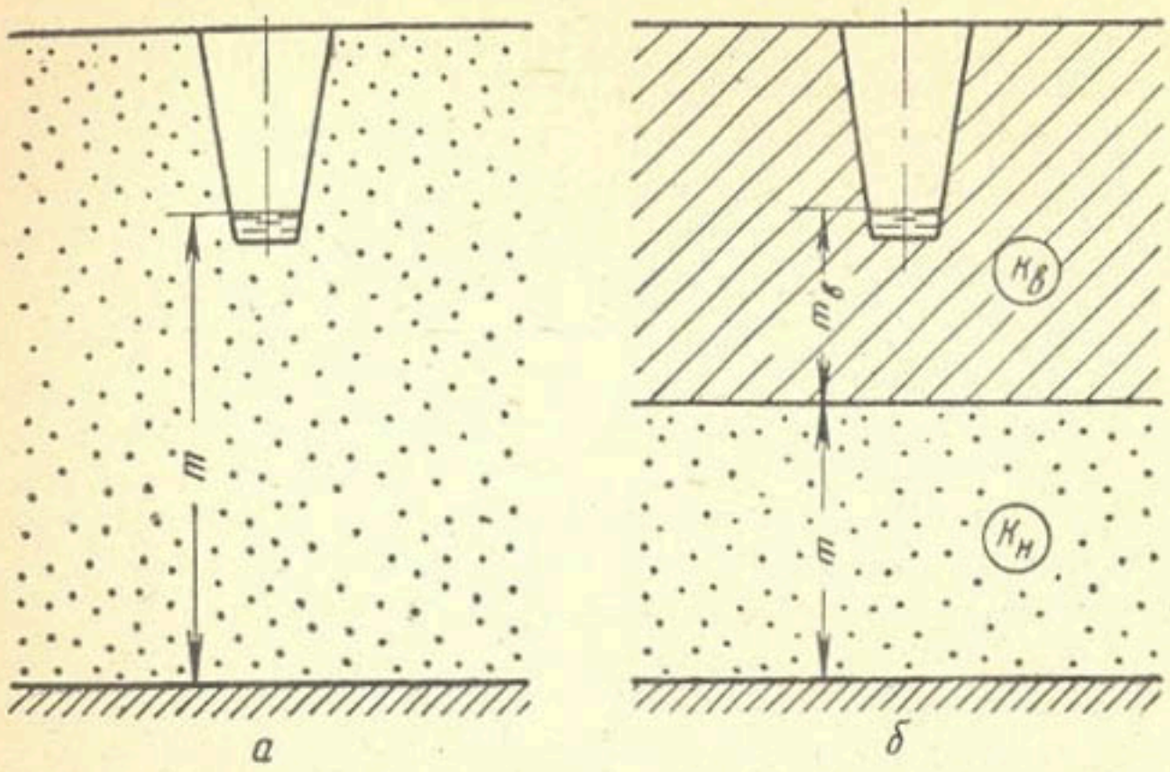


Рис. 41. Типовые схемы строения придренной области:
а — однослойное; *б* — двухслойное с дреной в верхнем слое.

Полный приток к дрене (инфильтрационный и напорный)

$$Q=(q+q_1)B=\frac{\pi K\Delta h(\Delta\bar{H}-1)}{\frac{\pi T}{B}-0{,}693}, \qquad (60)$$

где q_1 — интенсивность напорного подпитывания.

При относительно неглубоком залегании напорного пласта $\left(\frac{B}{T}>3\right)$ расстояние между дренами

$$B=\frac{4T}{\pi}\ln\frac{4}{\operatorname{th}\left[\frac{\Delta\bar{H}-1}{\Delta\bar{H}}\ln\frac{8T}{\pi d^*}\right]}, \qquad (61)$$

а приток к дрене определяется по формуле

$$Q=\frac{\pi K\Delta\bar{H}\Delta h}{\ln\frac{8T}{\pi d^*}}. \qquad (62)$$

Эффективность горизонтального дренажа оценивается количеством отведенных инфильтрационных вод и солей из активной толщи почвогрунтов. Напорное питание значительно увеличивает приток подземных вод в дрены и резко снижает эффективность его рассоляю-

щего действия, замедляя процесс опреснения почвогрунтов в период промывок и увеличивая опасность вторичного засоления в эксплуатационный период. Горизонтальный дренаж в этих условиях отводит значительное количество подземных вод (до 50% от общего дренажного стока). В связи с этим общее количество отведенных дренажем вод и солей не может служить показателем рассоления почвогрунтов.

Эффективность горизонтального дренажа, то есть соотношение инфильтрационных и подземных вод в общем дренажном стоке при прочих равных условиях, зависит от интенсивности инфильтрационного питания и параметров дренажа. С увеличением междренных расстояний и глубины заложения дрен доля подземного притока возрастает. Увеличение инфильтрационного питания снижает поступление подземных вод в дрены.

Стоимость строительства систематического горизонтального дренажа в современных проектах орошения и освоения засоленных или подверженных засолению орошаемых земель равна в среднем 600—1200 руб/га, или 20—25% стоимости водохозяйственного строительства.

Вертикальный дренаж на орошаемых землях

Система вертикального дренажа предназначена для отбора и отвода подземных вод. Она включает в себя вертикальные колодцы-скважины, насосные установки, водоотводящие тракты, линии электропередач, трансформаторные подстанции и пункты управления насосными агрегатами.

Различают систематический, выборочный, головной, или ловчий, и береговой вертикальный дренаж. При систематическом дренаже скважины размещаются более или менее равномерно по всей дренируемой площади в зависимости от границ севооборота, наличия подъездных путей, удобства отвода или использования откачиваемых вод. При выборочном дренаже скважины размещают на неблагоприятных по природным условиям участках орошаемого массива.

Головной, или ловчий дренаж в виде одного или нескольких рядов скважин, расположенных по фронту потока, применяют при значительном внешнем питании грунтовых вод для их перехвата.

Береговой дренаж также представляет ряд скважин, расположенных вдоль водохранилища или реки, подтопляющей территорию.

В зависимости от конструктивных особенностей различают вертикальный дренаж, состоящий из скважин, оборудованных насосами для откачки подземных вод; самоизливающихся скважин; лучевых горизонтальных дрен, проложенных в хорошо проницаемых грунтах и объединенных одной вертикальной скважиной большого диаметра с водоподъемным оборудованием.

Следует отметить, что вертикальный дренаж на орошаемых землях начали применять как средство добычи подземных вод для поливов. Особенно широко это практиковалось в США, где к настоящему времени эксплуатируется свыше 250 тыс. скважин, обеспечивающих водой примерно 40% орошаемых земель. Вертикальный дренаж широко применяют в Индии, Пакистане и некоторых других странах.

В Советском Союзе вертикальный дренаж начали строить после Великой Отечественной войны. В настоящее время можно привести несколько примеров эффективной работы вертикального дренажа.

Так, в зоне старого орошения в Голодной степи, расположенной в долине Сырдарьи, где имеются мощные слои гравийно-галечниковых отложений, вертикальные скважины дали хороший результат. В совхозе «Социализм» построены и эксплуатируются 28 скважин на площади 3000 га, в совхозе «Пахтаарал»— 72 скважины.

В Бухарском оазисе построено 104 скважины на площади 13 520 га. На Канибадамском массиве, подтопленном Кайраккумским водохранилищем, построены систематический и головной вертикальный дренаж.

Вертикальный дренаж по сравнению с горизонтальным имеет ряд преимуществ:

возможность большего воздействия на напорные пласты и глубокого понижения грунтовых вод;

меньшие потери площади;

использование дренажных вод на орошение.

Вместе с тем устройство вертикального дренажа более сложно, требует сооружения качественных фильтров на большой глубине, установки насосов и электродвигателей, значительных эксплуатационных расходов. На массиве должна быть в достаточном количестве электроэнергия.

В связи с этим вид дренажа (вертикальный или горизонтальный) выбирают на основании технико-экономического сравнения различных вариантов.

Расчет систематического вертикального дренажа заключается в определении количества скважин, обеспечивающих отвод с массива требуемого по условиям рассоления количества промывных вод при заданной глубине грунтовых вод.

Как капитальное сооружение его рассчитывают на долговременную нагрузку, то есть на нагрузку в эксплуатационный период. Повышенная нагрузка в период капитальных промывок может сниматься дополнительным временным горизонтальным дренажем.

В эксплуатационный период вертикальный дренаж можно рассчитывать по формулам для установившейся фильтрации, подставляя в них среднегодовую интенсивность питания грунтовых вод за счет орошения g [формула (32)]. Колебания инфильтрационного питания во времени компенсируются созданием регулирующей емкости осушенного грунта. Такой расчет возможен при постоянной работе скважин в течение года. Если скважины работают не полный год, расчет нужно вести по более сложным формулам неустановившейся фильтрации.

Для установившейся фильтрации дебит каждой скважины систематического дренажа

$$Q=\pi R^2(g+P), \tag{63}$$

где g — среднегодовая интенсивность питания грунтовых вод за счет орошения;

R — радиус круга, равновеликого площади, обслуживаемой одной скважиной, при размещении скважин по квадратной сетке с шагом a

$$R=\frac{a}{\sqrt{\pi}}=0{,}564a\,. \tag{64}$$

При известном радиусе влияния одной скважины R, а следовательно, и дебите скважины Q можно, задавшись проектной глубиной грунтовых вод между скважинами h, найти понижение уровня в скважине S_0, считая от поверхности земли (рис. 42):

$$S_0=h+\frac{Q}{4\pi Km}\left(\ln\frac{R}{r_\Phi}+\zeta\right), \tag{65}$$

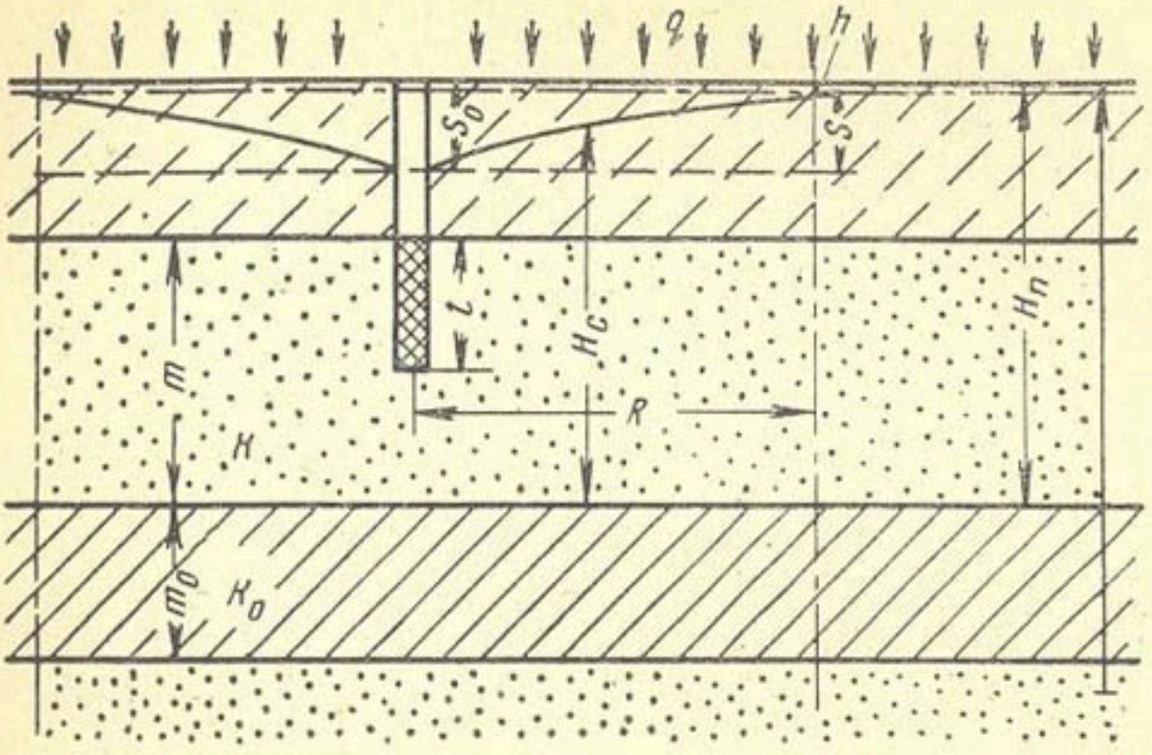


Рис. 42. Схема к расчету вертикального дренажа.

где $r_ф$ — внешний радиус фильтра скважины;

ξ — коэффициент, учитывающий несовершенство скважины,

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3, \tag{66}$$

где ξ_1 — коэффициент, учитывающий несовершенство скважины по степени вскрытия пласта; определяется по таблице 19, составленной Н. Н. Веригиным

Таблица 19

Зависимость коэффициента ξ_1 от отношений $\frac{l}{m}$ и $\frac{m}{r_ф}$

$\frac{l}{m}$	$\frac{m}{r_ф}$								
	1	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,05	0,135	2,30	12,60	35,5	71,9	94,0	126,0	149,0	169,0
0,1	0,122	2,04	10,40	24,3	42,8	53,8	68,5	79,6	90,9
0,3	0,0908	1,29	4,79	9,20	14,5	17,7	21,8	24,9	28,2
0,5	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,50	7,86	9,64	11,0	12,4
0,7	0,0167	0,237	0,879	1,69	2,67	3,24	4,01	4,58	5,19
0,9	0,0015	0,0251	0,128	0,30	0,528	0,664	0,846	0,983	1,12

ξ_2 — коэффициент, учитывающий входное сопротивление фильтра,

$$\zeta_2 = \frac{2m\delta}{r_0 l \alpha \zeta}, \qquad (67)$$

где l — длина фильтра;

r_0 — внутренний радиус фильтра скважины, то есть радиус фильтрового каркаса;

α — скважность фильтрового каркаса, то есть отношение площади отверстий к общей площади фильтрового каркаса;

ζ — коэффициент, учитывающий сужение фильтрационных струй при подходе к отверстиям фильтра; изменяется в пределах от 1 до $\frac{1}{\alpha}$;

δ — ширина отверстий;

ξ_3 — коэффициент, учитывающий сопротивление фильтровой обсыпки,

$$\zeta_3 = \frac{K}{K_\Phi} \ln \frac{r_\Phi}{r_0}, \qquad (68)$$

K_Φ — коэффициент фильтрации фильтровой обсыпки.

Из формулы (65) следует, что при разных расстояниях между скважинами для достижения одного и того же мелиоративного эффекта необходимо создавать в них различное понижение. Поэтому оптимальное количество скважин выбирают на основании технико-экономических расчетов разных вариантов.

Обычно одна скважина вертикального дренажа обслуживает 50—100 га, а иногда и более, дебит ее колеблется в пределах 30—200 л/с. Такие скважины — сложные и дорогие сооружения, которые должны быть долговечны и надежны в работе.

Конструктивно скважина состоит: из водоприемной части, оборудованной фильтром; эксплуатационной обсадной колонны, по которой транспортируется дренажная вода; насосно-силового оборудования.

Выбор конструкции водоприемной части и фильтра зависит от многих условий: литологического и гранулометрического состава дренируемого пласта, его мощности, химического состава воды, дебита скважины.

В крупнообломочных породах и в гравелисто-песчаных грунтах применяют наиболее простую конструкцию

фильтра — перфорированную трубу со щелевыми или круглыми отверстиями и редко с обмоткой сеткой.

Скважины, заложенные в мелкозернистых грунтах, для предотвращения суффозии требуют более сложной конструкции фильтра, то есть, кроме перфорированной трубы, необходимы искусственные фильтры: гравийная засыпка, блочные пористые фильтры, каркасные и др. При этом гравийные фильтры создаются в забое, а другие конструкции формируются на поверхности земли и опускаются в скважину.

Гравийные фильтры подразделяются на естественные, формируемые из крупных фракций грунта дренируемого пласта, и искусственные, создаваемые засыпкой гравия в забое (одно- или многослойные). Естественный фильтр формируется в гравелистых грунтах в результате выноса мелких частиц при первых прокачках и отложениях крупных частиц вблизи каркаса фильтра. Естественные фильтры сооружают, если в грунте содержится свыше 30—40% фракций крупнее проходных отверстий каркаса. В противном случае скважина будет долго песковать, что может привести к обвалу устья, искривлению фильтрового каркаса и выходу из строя насосов.

Для высокодебитных скважин хорошие результаты дают обсыпные фильтры благодаря малым входным сопротивлениям и устойчивости против кольматации. Однако для сооружения таких фильтров нужно бурить скважины большого диаметра (до 1 м), в глубоких скважинах засыпка гравия затруднена.

Длина фильтра при небольшой мощности дренируемого пласта назначается на 2—5 м меньше мощности. Предельная длина фильтра обычно равна 40—45 м. Диаметр фильтрового каркаса должен обеспечить свободный монтаж и демонтаж насосного оборудования, средств автоматики, минимальные потери напора.

Диаметр каркаса фильтра также должен быть таким, чтобы вблизи него скорость движения воды в порах грунта или фильтра не превышала критическую, примерно равную

$$v_к = \frac{0{,}6}{d_{10}} \text{ см/с},$$

где d_{10} — эффективный диаметр частиц, прилегающих к фильтру, мм.

Размер отверстий в каркасе фильтра зависит от гранулометрического состава прилегающего к фильтру грунта. Так, для однородных песков диаметр круглых отверстий равен $(2{,}5 \div 3)\, d_{50}$, ширина щелей $(1{,}0 \div 1{,}5)\, d_{50}$.

Опыт строительства обсыпных фильтров в Голодной степи показал, что для них можно использовать разнозернистый гравий с фракциями 2—20 мм из естественных карьеров, если дренируемый пласт сложен мелко- и среднезернистыми песками, и 2—30 мм при крупнозернистом и гравелистом песке. При этом в гравийной смеси фракций размером 2—7 мм должно быть не менее 50—60%. В противном случае формируется крупнопористый фильтр и усиливается вынос песка. Это приводит к образованию провальных воронок вокруг устья.

Скважины вертикального дренажа оборудуют артезианскими насосами серии ЭЦНВ, АТН, ВП, А. Производительность таких насосов колеблется от 33 до 330 л/с; они развивают рабочий напор от 30 до 60 м, требуют для своей установки скважины диаметром от 250 до 600 мм.

Стоимость сооружения одной скважины зависит от ее глубины, диаметра и условий строительства и колеблется в пределах 25—40 тыс. руб.

ГЛАВА VI

БОРЬБА С ВОДНОЙ ЭРОЗИЕЙ ПОЧВЫ

Различают плоскостную и линейную эрозию. Плоскостная эрозия — это смыв почвы, когда разрушение почвы происходит в верхнем поверхностном слое при стекании по ее поверхности воды тонким сплошным слоем. Линейная эрозия — это размыв почвы сосредоточенной сильной струей или потоком на всю толщу почвы и расположенной ниже материнской породы, при этом образуются узкие глубокие промоины, которые во время очередной обработки пашни не могут быть выровнены, становятся непроходимыми и в последующем превращаются в овраги.

В борьбе с водной эрозией можно выделить следующие характерные группы мероприятий: организационно-хозяйственные, агромелиоративные, лесомелиоративные, гидротехнические.

Для эффективной борьбы с водной эрозией необходим комплекс различных мероприятий.

Организационно-хозяйственные мероприятия

Мероприятия этой группы включают разработки по правильному выбору направления ведения сельского хозяйства и основных севооборотов, по правильной организации территории, выделению участков под основные севообороты и разбивке полей севооборотов, по выделению участков под специальные почвозащитные севообороты, полезащитные, водорегулирующие и овражно-балочные насаждения, по регулированию пастьбы скота, по правильному размещению дорожной сети и организации правильной хозяйственной деятельности человека. Все эти мероприятия направлены на предупреждение и прекращение различных видов эрозии почв (сельскохозяйственной, дорожной, ирригационной и др.).

Вспашка, культивация и рядовой посев или посадка сельскохозяйственных культур поперек склона. Все эти приемы просты, эффективны и не требуют дополнительных затрат на регулирование и задержание на водосборной площади поверхностного стока талых и ливневых вод, а следовательно, и на борьбу с водной эрозией почв.

Обвалование зяби и паров временными земляными валиками. Обвалование пашни временными земляными валиками высотой 15—25 см является еще более эффективным влагозадерживающим и противоэрозионным средством, чем пахота поперек склона, и применяется в сочетании с ней. Особенно эффективно обвалование с перемычками, покрывающее поверхность поля как бы замкнутыми бассейнами (микролиманами), в которых полностью задерживается вода.

Бороздование. Влагу на полях можно задержать также с помощью поделки борозд.

Борозды для задержания талых и дождевых вод прокладывают вдоль горизонталей, а для отвода ливневых вод (безопасно в отношении размыва почвы) — под острым углом к горизонталям.

Кротование почвы. Его проводят одновременно со вспашкой навесными или прицепными плугами. В производственных условиях приспособление для кротования обычно монтируют на втором корпусе плуга, на месте полевой доски. Кротовины диаметром 6—8 см нарезают на глубину 40—50 см от поверхности почвы. Вспашку с кротованием рекомендуется проводить поперек склона. Расстояние между кротовинами принимают 0,7—1,4 м.

Щелевание почв. Щели, заполненные рыхлой массой, нарезают путем глубокого рыхления почвы, но не всей площади, а отдельных узких полос. Щели можно нарезать специальным щелерезом или плугом-рыхлителем ПРН-75 с заменой стоек плуга ножами-щелерезами, а также глубокорыхлителем типа ГР-2,7 с отнятыми ножами — плоскорезами. Глубина щелей рекомендуется в пределах 40—50 см. Расстояние между щелями принимают 70—140 см. Сенокосы и пастбища можно щелевать как осенью для задержания талых вод, так и в течение всего лета для использования дождевой воды.

Кроме приведенных выше, к рассматриваемой группе мероприятий относятся: восстановление и сохранение структуры почвы с преобладающим количеством частиц диаметром более 1 мм; перекрестный, узкорядный и бороздовой сев, мульчирование посевов; повышение плодородия эродированных почв внесением удобрений; создание буферных полос; снегозадержание; углубление пахотного слоя; использование стерни при безотвальной вспашке.

Лесомелиоративные мероприятия

Противоэрозионная работа лесонасаждений характеризуется водорегулирующей и кольматирующей ролью лесной подстилки, ветроломным действием, способствующим более равномерному распределению зимних осадков и снеготаянию, снижению величины испарения с поверхности почвы, что повышает водо- и ветроустойчивость почвы.

Водорегулирующая роль лесонасаждений оценивается коэффициентом водопоглощения и коэффициентом влагоемкости.

Коэффициент водопоглощения выше всего под дубом, липой и другими лиственными породами; пониженное водопоглощение наблюдается под березовыми и еловыми насаждениями.

Наибольшей влагоемкостью отличается подстилка лиственных кустарников, наименьшая влагоемкость у подстилки хвойных пород.

При недостаточной водопоглощающей способности и при концентрированных потоках лесонасаждения не способны предотвратить водную эрозию и как следствие рост овражной сети.

По ветропроницаемости лесные полосы подразделяются на непродуваемые, ажурные и продуваемые.

У непродуваемых лесополос наблюдается затишье на заветренной опушке. Скорость ветра за лесополосой быстро нарастает (рис. 43). Мощные сугробы снега образуются в лесополосе и на опушках.

Внутри продуваемых лесополос скорость ветра повышается: наименьшая скорость ветра бывает на расстоянии, равном 5—10-кратной высоте лесополосы. Наиболее равномерное снегораспределение и наибольшая

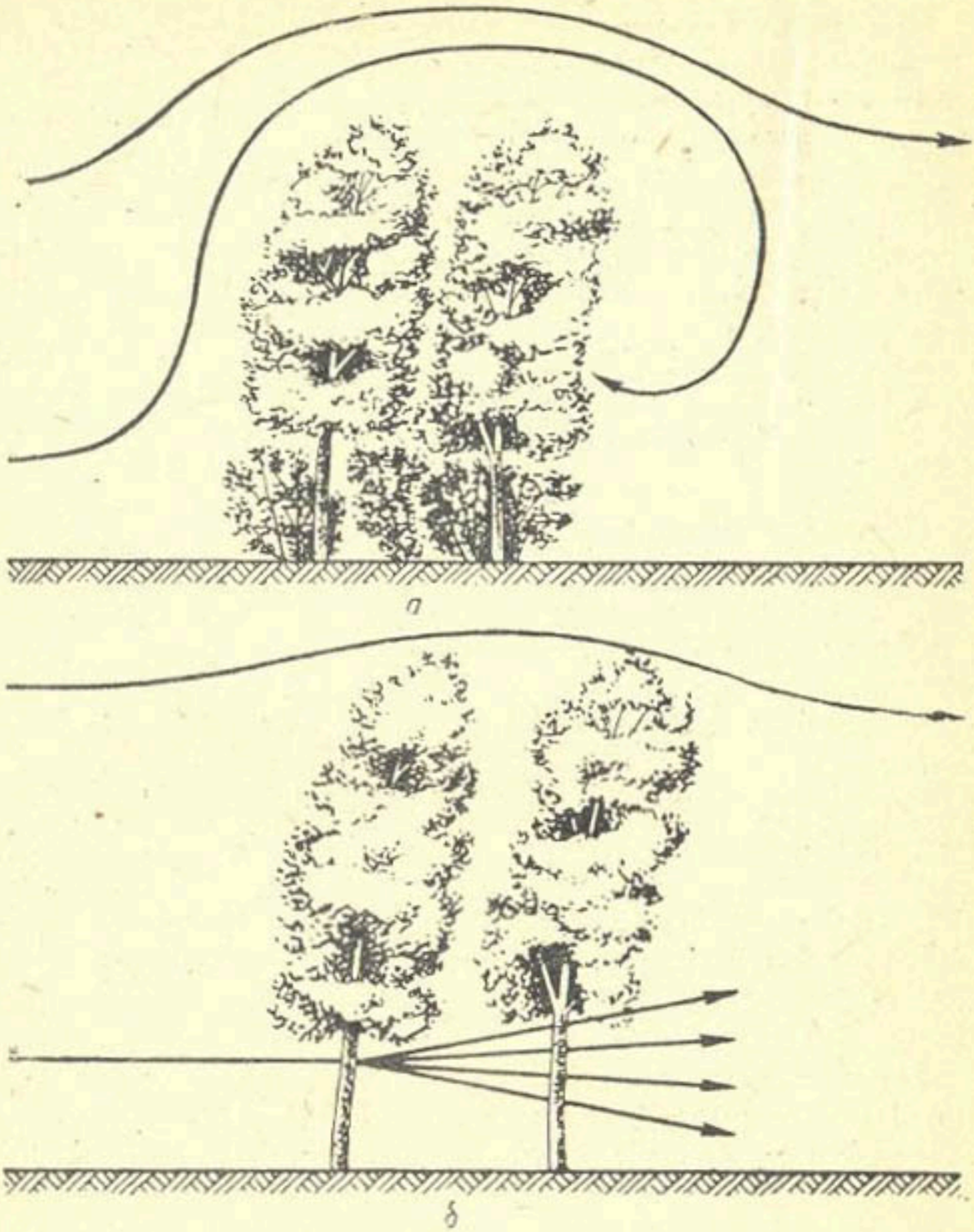


Рис. 43. Схема ветроломного действия непродуваемой (*а*) и продуваемой (*б*) лесных полос (по Д. Л. Арманд).

высота снегоотложения наблюдаются на расстоянии от лесополосы, равном 5-кратной высоте ее.

У ажурных лесополос наименьшая скорость ветра бывает с заветренной стороны на расстоянии, равном 3—5-кратной высоте полосы, но снег в основном задерживается у лесополосы.

В зависимости от назначения лесные полосы разделяются на полезащитные, водорегулирующие и прибалочно-приовражные.

Полезащитные лесные полосы, создаваемые преимущественно для защиты полей от вредных ветров, уменьшения непродуктивного испарения и задержания снега на полях, должны быть ветропроницаемыми древесными насаждениями, то есть продуваемой или ажурной конструкции.

Ветрозащитное действие лесных полос распространяется примерно на расстояние до 20—30-кратной высоты деревьев.

Расстояния между основными лесополосами, расположенными по длинным сторонам полей севооборота, принимают с учетом дальности действия полос и требований механизации полевых работ. Как правило, это расстояние не должно превышать 500—900 м на мощных почвах тучных, выщелоченных, обыкновенных, приазовских и предкавказских черноземов и 400—900 м на южных черноземах, каштановых почвах и в районах черных бурь, сильного смыва и размыва почв, на подверженных выдуванию песчаных и супесчаных почвах.

Из условий проведения механизированной обработки почвы между лесополосами в двух направлениях желательно минимальное расстояние между основными лесополосами принимать не менее 300—400 м, так как меньшая длина гона резко снижает коэффициент полезного использования сельскохозяйственных механизмов.

Расстояние между поперечными полосами (по коротким сторонам поля) принимают 1500—2500 м, с тем чтобы минимальная площадь межполосной клетки составляла 100 га.

Исключение могут составлять межполосные клетки в зоне темно-каштановых почв, площадь которых можно принимать 30—50 га.

Ширина лесных полос определяется их назначением. Основные полезащитные лесные полосы, создаваемые для защиты полей от суховейных ветров, в равнинных условиях рекомендуется создавать шириной 10—15 м, вспомогательные лесополосы, высаживаемые поперек основных,— 10 м.

Расположение лесных полос на местности также зависит от их назначения. Основные лесополосы ветрозащитного назначения ориентируют поперек направления преобладающих ветров. Однако на территориях с укло-

ном более 2° основные лесополосы проектируют поперек уклона.

Лесополосы в степи достигают высоты 10 м в возрасте 25 лет. Однако положительное действие их начинает сказываться с 3—5-летнего возраста насаждения.

Способ посадки — рядовой с расстоянием между растениями в ряду 0,7—1 м, а между рядами 2,5—3 м. Лесополосы могут быть чистыми и смешанными (из 2—3 пород).

При размещении полезащитных лесополос отклонение их от преобладающего направления ветров допускается до 45°.

Водорегулирующие полосы предназначены для поглощения поверхностного стока с вышерасположенной площади и одновременного задержания твердого стока. Исходя из этих задач, водорегулирующие полосы размещают, как правило, на присетевом фоне с уклонами 2—3° и устраивают непродуваемой конструкции для максимального снегозадержания и удлинения сроков снеготаяния с целью задержания, аккумулирования и поглощения поверхностного стока и перевода его в состояние почвенной влажности и грунтовые воды в зоне действия полосы.

Ширину водорегулирующих лесных полос принимают 20—30 м, ориентируют их обязательно по рельефу, располагая поперек склона.

Приовражно-прибалочные лесные полосы создают для задержания и поглощения поверхностного стока с целью локализации овражных образований и укрепления берегов гидрографической сети. Эти полосы рекомендуется размещать перпендикулярно линиям стока вдоль необлесенных балок и оврагов на расстоянии 3—5 м от их бровок. Лесополосы должны быть густыми, непродуваемыми с посадками кустарников. На водоподводящей ложбине создают вершинные насаждения по всей ширине ее, а в длину — до 50 м.

Если расстояние между двумя соседними вершинами оврагов менее 100 м, то высаживают одну сплошную полосу на два оврага на расстоянии 30—50 м от вершин.

На площадях между оврагами делают сплошное облесение или разводят сады.

Ширину приовражно-прибалочных полос рекомендуется принимать 20—30 м. На склонах оврагов и ба-

лок рекомендуется создавать сплошные лесонасаждения.

Лесонасаждения вокруг водоемов рекомендуется создавать шириной 10—20 м.

Гидротехнические мероприятия

Организационно-хозяйственными и агролесомелиоративными приемами на ограниченных площадях при определенных условиях можно задержать в отдельные годы до 80—100% поверхностного стока.

Окончательное и наиболее полное задержание стока на определенных площадях, а также безопасный пропуск части поверхностного стока в гидрографическую сеть возможны только при наличии в комплексе приемов по борьбе с водной эрозией почв гидротехнических мероприятий.

По своей направленности гидротехнические мероприятия подразделяются на две группы: а) обеспечивающие задержание поверхностного стока на водосборной площади или в элементах гидрографической сети; б) обеспечивающие безопасный в отношении размыва грунтов пропуск поверхностного стока в гидрографическую сеть.

Важнейшими гидротехническими сооружениями и мероприятиями по борьбе с водной эрозией являются:

системы горизонтальных или наклонных террас с широким основанием, которые полностью ликвидируют или значительно ослабляют сток и процессы смыва, улучшают условия увлажнения склонов (рис. 44);

валы-канавы, которые могут прекратить совершенно или значительно задержать поверхностный сток и ослабить процессы эрозии на нижележащих частях склонов и в пределах овражно-балочной сети;

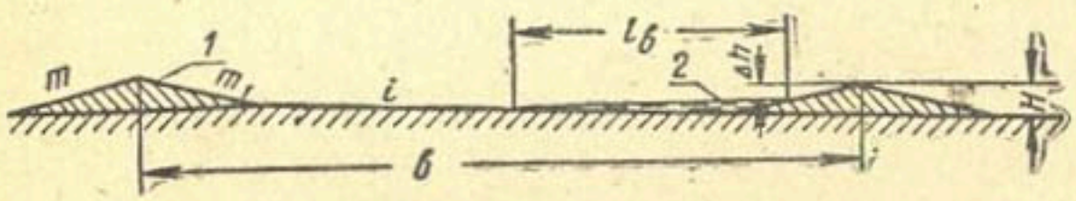


Рис. 44. Расчетная схема вала-террасы с широким основанием:

1 — земляной вал; *2* — поверхностный сток с террасы шириной *b*; *i* — уклон основания террасы; *H* — высота вала; *m* и m_1 — заложения верхового и низового откосов вала; Δh — допустимое превышение вершины вала над горизонтом задерживаемой воды.

водоотводные и водонаправляющие валы и канавы, предназначенные для отвода воды в хорошо задернованные ложбины;

вершинные сооружения, останавливающие дальнейший рост вершин оврагов (перепады, быстротоки, лотки, трубы);

донные сооружения, позволяющие прекратить дальнейший размыв (углубление) русла и превращающие продольный его профиль в систему горизонтальных площадок, образующих перепады, которые задерживают продукты выноса и создают условия для последующего облесения;

задержание поверхностного стока в лиманах;

задержание поверхностного стока в прудах и водоемах.

Валы-террасы с широким основанием, проходимые для сельскохозяйственных машин и орудий, наиболее целесообразно устраивать на слабопокатых площадях со склонами до 3°, но можно применять и на склонах крутизной до 6—8°. Если ось вала располагается параллельно горизонталям, то такие террасы называются горизонтальными; если же ось вала в плане располагается под некоторым углом к горизонталям, террасы называются наклонными.

Горизонтальные террасы устраивают в тех случаях, когда по почвенным условиям нет опасности заболачивания. Наклонные террасы применяют на тяжелых, маловодопроницаемых почвах, где при длительном стоянии воды может возникнуть заболачивание.

В отличие от горизонтальных наклонные террасы не могут задержать всю стекающую воду, поэтому часть ее должна сбрасываться в особый канал, расположенный вдоль склона, или в какую-либо балку-потяжину, укрепленную против местных размывов (например, прочным дерновым покровом). Уклон вала наклонной террасы принимают во избежание размыва не более 0,005.

По опытным данным валы-террасы рекомендуется делать следующих размеров: общая высота вала 0,3—0,6 м, рабочая высота вала (глубина воды у вала) 0,2—0,5 м, коэффициент откосов вала 4—5, ширина вала по низу приближенно равна удвоенному произведению общей высоты вала на коэффициент откосов.

Расстояние между валами, или ширина террасы, оп-

ределяется из условия, что объем стекающих осадков с полосы между двумя соседними валами будет задержан нижним валом. У горизонтальных террас по концам вала перпендикулярно к валу устраивают перемычки (шпоры) для удержания воды за валом. Длину их принимают равной ширине полосы задержанной воды. Валы с широким основанием обычно устраивают специальными орудиями — террасерами или грейдерами в сочетании с террасером.

Водозадерживающие валы-канавы предназначаются для задержания поверхностного стока в целях уменьшения линейной эрозии — роста вершин оврагов (рис. 45).

По площади водосбора оврага валы-канавы размещаются рядами параллельно горизонталям, причем первый от вершины вал-канаву устраивают на расстоянии, равном двойной или тройной глубине оврага (5—10 м) от его бровки (рис. 46).

Между валом и канавой оставляют площадку — берму, которая должна задерживать сползающие с мокрого откоса частицы грунта, уменьшая тем самым заиление канав. Кроме того, берма служит местом посадки древесных и кустарниковых растений. Оси валов проводят параллельно горизонталям, а чтобы вода задер-

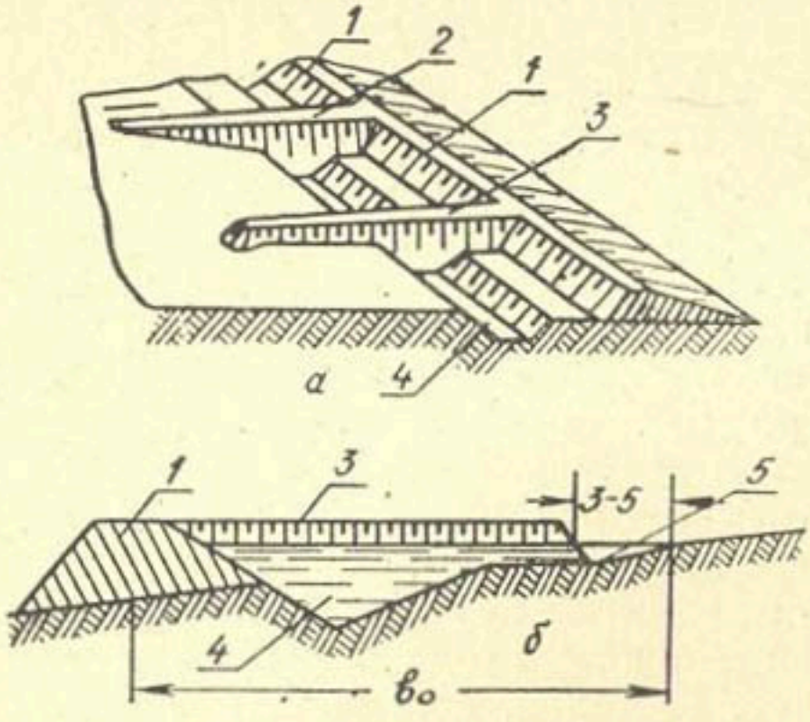


Рис. 45. Схема открытой и глухой перемычки у вала-канавы (*а*) и конструкция водообхода в конце перемычки (*б*):

1 — земляной вал; *2* — глухая перемычка; *3* — открытая перемычка; *4* — канава; *5* — водообход.

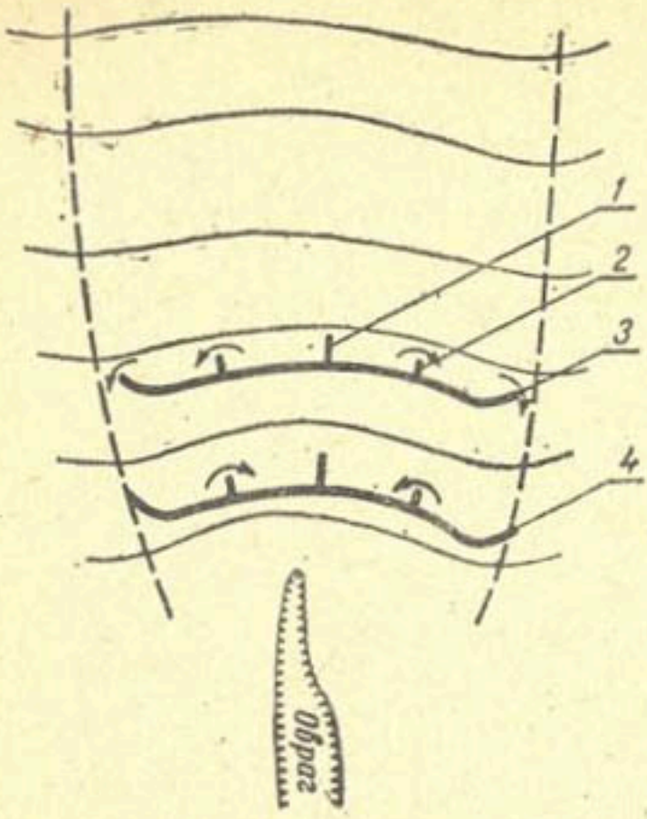


Рис. 46. Размещение водозадерживающих валов у вершины оврага:

1 — глухая перемычка; *2* — открытая перемычка; *3* — открытая шпора (водообход); *4* — глухая шпора.

живалась перед валами, концы их поворачивают вверх по уклону под углом 100—110° к оси вала. Эти повернутые части валов называют шпорами, которые могут быть глухими, когда вода из прудка, образованного валом, может уходить, только достигнув высоты гребня вала, и открытыми, когда в конце шпор устраивают водообходы. В первом случае высота шпоры в соответствии с рельефом уменьшается до нуля, а во втором она оканчивается при высоте около 0,35—0,5 м. Валы-канавы эффективны на участках с небольшими уклонами местности (не превышающими 0,1) и водосборной площадью до 1,5—2 га.

Во избежание прорывов валов и утечки всей задержанной воды перпендикулярно к ним вверх по уклону устраиваются через 50—60 м по длине перемычки того же профиля, что и шпоры.

Водоотводные и водонаправляющие валы и канавы перехватывают поверхностный сток и отводят его в специальные места, где пропуск его проходит без размыва почвы (рис. 47).

Дешевый и доступный способы крепления водотоков против размыва — закрепление их травосмесями. Для создания прочного травяного покрова, способного противостоять размывающему воздействию потока, в состав травосмесей должны входить рыхло- и плотно-кустовые злаковые растения, корневищевые растения и растения с мощной стержневой корневой системой. Для создания плотного покрова трав норма высева семян должна быть в 5—10 раз выше, чем при обычном залужении.

Размыв почвогрунтов на водотоках можно также предотвратить повышением водопрочности грунтов путем внесения различных добавок (эмульсий, полимеров и пр.).

Мероприятия по пропуску стока в гидрографическую сеть носят характер постоянных капитальных гидротехнических сооружений. К ним относятся перепады, быстротоки, лотки и трубы. К строительству сооружений этой группы приходится прибегать: при борьбе с бытовой эрозией, угрожающей населенным пунктам или отдельным зданиям и сооружениям, когда водосборная площадь по своему характеру не позволяет применить систему обычных мероприятий, регулирующих сток, и облесение; при борьбе с оврагами, угрожающими путям сообщения и требующими закрепления в кратчайшие сроки; когда водосборная площадь находится под сельскохозяйственными культурами, не допускающими устройства водорегулирующих сооружений и облесения.

Эффективными средствами по предотвращению размыва на склонах балок, ложбин и оврагов является их залужение и облесение. Для создания хорошего и прочного растительного покрова требуется 3—5 лет, а для создания укоренившейся древесно-кустарниковой расти-

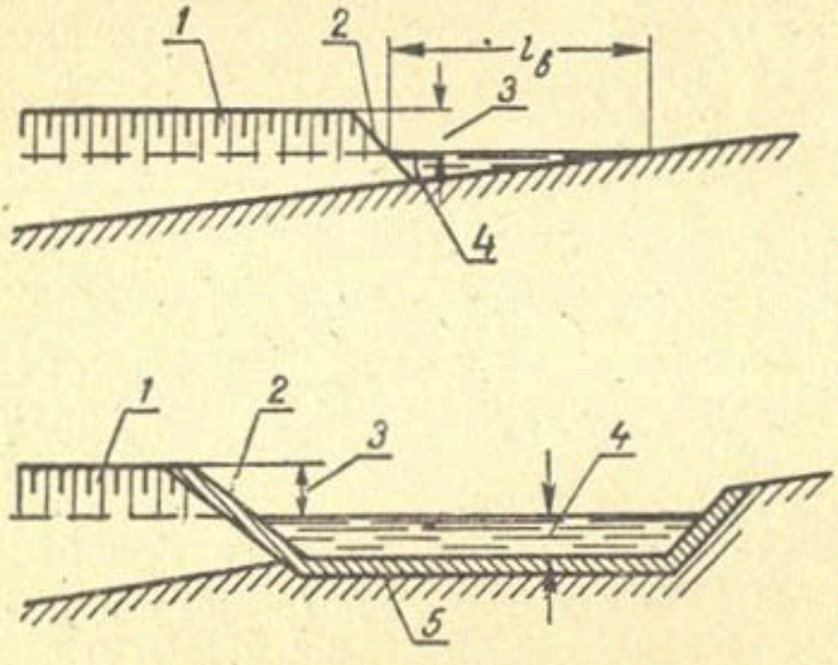


Рис. 47. Водообход у шпоры для пропуска воды (вверху — треугольного сечения без крепления; внизу — трапецеидального сечения с креплением):

1 — земляная шпора; *2* — откос шпоры у водообхода; *3* — превышение бровки шпоры над горизонтом воды; *4* — слой воды на водообходе; *5* — крепление водообхода.

тельности, способной противостоять силе потока и предотвращать размыв грунтов на участках облесения,— не менее 8—10 лет. В период, необходимый для укоренения растительности, следует применять временные мероприятия по предотвращению размыва грунта в местах концентрированного пропуска воды через водотоки.

Одним из таких мероприятий может служить крепление участков водотоков пластмассовой пленкой.

При полном охвате водосборных площадей комплексом противоэрозионных мероприятий, обеспечивающих полное задержание стока, можно рассчитывать на прекращение русловых размывов и естественное задернение откосов. Если же вершины оврагов закрепляются путем устройства быстротоков, перепадов, подпорных стенок, то для предотвращения донных размывов необходимы донно-закрепительные сооружения, основным видом которых служат запруды различных конструкций (плетневые, деревянные, каменные и др.).

Практикой установлено, что высота деревянных и хворостяных запруд не должна превышать 1 м, а плетневых — 0,5 м. Количество запруд и место их размещения определяются на основании продольного профиля по дну закрепляемого участка оврага.

Лиманы — это важное средство задержания и регулирования поверхностного стока. Они выполняют двойную роль: прерывают длину пробега поверхностного стока и обеспечивают одноразовое увлажнение почвы, которое называется влагозарядочным лиманным орошением.

Для борьбы с эрозией наиболее целесообразны мелководные многоярусные лиманы, которые наполняются талыми водами, поступающими в период снеготаяния непосредственно с вышележащей водосборной площади (склонов и водоразделов).

Положительная роль лиманов в борьбе с эрозией заключается также в том, что лиманы в основном используют для развития кормовой базы, то есть занимают естественными сенокосами, а также сеяными травами. Создаваемый на лиманах прочный травяной покров резко снижает поверхностный смыв почвы.

Пруды и водоемы устраивают для окончательного и наиболее полного задержания поверхностного стока. Емкость их рассчитывают на сток, остающийся

после задержания вод другими мероприятиями по влагонакоплению и борьбе с эрозией. Строительство прудов и водоемов широко распространено в степной и лесостепной зонах СССР. Ежегодно здесь строят более тысячи новых прудов и водоемов. Подавляющее большинство прудов и водоемов располагают в нижних частях рельефа на гидрографической сети (в оврагах, балках, ручьях). Выполняя функции водохранилищ, пруды и водоемы регулируют овражный и частично склоновый сток, что уменьшает развитие оврагов. Кроме того, орошение из водоемов обеспечивает лучшее развитие корневой системы растений, что ведет к уменьшению эрозии почвы.

Водоемы на гидрографической сети не уменьшают плоскостную эрозию почв с водосборных площадей. Они сами подвержены заилению частицами смываемой почвы и, как правило, служат не более 30—40 лет.

Плоскостную эрозию можно уменьшить лишь задержанием стока непосредственно на водосборных площадях. Для этого нужно устраивать водоемы на склонах в средней и верхней частях приводораздельного фона. Так как на этих частях склонов рельеф, как правило, изрезан слабо, водоемы в основном будут копаные с оградительными дамбами из грунта, вынимаемого со дна водоема-копани. Для увеличения площади, сток с которой будет поступать в данный водоем-копань, рекомендуется дополнительно устраивать водосборные ложбины-валики с пологими откосами, проходимыми для сельскохозяйственных машин. Ложбины-валики служат для перехвата поверхностного стока с дополнительной водосборной площади и отвода его в водоем-копань.

Борьба с эрозией в предгорных и горных районах. Особенностью природных условий предгорных и горных районов являются прежде всего пересеченность рельефа и большие глубины залегания базисов эрозии, что обусловливает значительную среднюю крутизну склонов водосборов, дающую средние уклоны до 0,16—0,25.

Пересеченность рельефа влечет за собой ускоренную концентрацию поверхностного стока, быстрый переход смыва в размыв, быстрое формирование сети струйчатых размывов, борозд, промоин и селевых потоков. Селевые потоки, формирующиеся в горах преимущест-

венно при выпадении ливневых осадков, значительно насыщены твердыми материалами, обладают значительной скоростью.

Вследствие большой разрушительной силы селевые потоки представляют серьезную опасность для сельскохозяйственной территории, путей сообщения, ирригационных сооружений и населенных пунктов.

Основные средства борьбы с горными потоками — это залужение, облесение и регулирование стока на водосборе склона и облесение самого склона.

Эти мероприятия имеют большое значение, так как уменьшают и делают более равномерным сток поверхностных вод и закрепляют поверхность склона. Только на базе этих мероприятий оказываются эффективными меры по укреплению образовавшихся промоин и лощин, по которым стекают главные массы горных потоков.

К мероприятиям, проводимым в самих руслах горных потоков, относятся: 1) очистка русл и удаление всего, что может мешать нормальному проходу вод и способствовать образованию заторов; 2) устройство донных сооружений, которые можно разделить на два вида: к первому относятся невысокие донные запруды, устанавливаемые преимущественно на небольших потоках; они образуют постоянные пороги на дне потока и закрепляют его от дальнейшего размыва и углубления; ко второму относятся более высокие плотины, разбивающие большое падение потока на ряд участков с небольшим уклоном, разделенных хорошо укрепленными перепадами или водосливными плотинами. Образованные такими запрудами водоемы постепенно заиляются наносами, при этом дно потока заиляется, поднимается и расширяется, вследствие чего скорость течения значительно уменьшается и паводки не могут образовывать таких размывов и нести столько наносов, как раньше.

Запруды на горных потоках должны быть очень прочными, так как должны выдерживать давление воды и грязекаменной массы селевого потока.

Крупные горные потоки нужно разгружать отводом части их стока в особые ливневоды или закрепленные тальвеги. Важное значение в борьбе с последствиями от горных потоков имеют также выправление устьевых участков горных потоков и устройство дамб, отклоняющих селевые потоки от защищаемых объектов.

Комплекс мероприятий по борьбе с эрозией почвы, который был рассмотрен выше, эффективен на склонах с крутизной до 5—6°, то есть с уклонами до 0,07—0,1. В горных районах значительная часть склонов имеет бóльшую крутизну. На склонах с крутизной более 5—6° сплошную глубокую обработку почвы заменяют ленточной, оставляя нераспаханные полосы, заросшие травой. Ширина распахиваемых лент зависит от крутизны и задерненности склонов: при крутизне более 7—8° они могут быть шириной до 4—6 м с нераспаханными лентами шириной 2—3 м.

При крутизне более 8—9° ленточная обработка уже не обеспечивает поглощения почвогрунтом паводковых и ливневых вод; на таких склонах вводится дополнительное мероприятие — террасы, которые устраивают с горизонтальным и наклонным полотном, с полотном обратного уклона, с откосами валов различной крутизны. Террасы рассчитывают из условий, чтобы каждая из них задерживала воду с водосборного участка, расположенного выше нее.

При проведении горно-облесительных работ на склонах более 15—20° применяют террасы-канавы (один из видов ступенчатых террас), такие террасы-канавы полностью регулируют сток и увлажняют горные склоны.

Ирригационная эрозия. В районах орошения необходимо предусматривать мероприятия, исключающие появление ирригационной эрозии, то есть смыва и размыва почвы поливными водами. Эти мероприятия заключаются в основном в подборе соответствующей техники полива.

При самотечных способах полива расход борозд и полос и их длина должны быть согласованы с уклоном местности. Наиболее эффективным средством борьбы с ирригационной эрозией является применение подпочвенного способа полива и полива дождеванием при интенсивности дождевания и скорости впитывания воды в почву, обеспечивающих впитывание поливных норм без образования луж и поверхностного стока.

Предупреждение оползней. Оползание земляных масс происходит в условиях увлажнения, когда сила сцепления частиц грунта уменьшается. Земляная масса, насыщенная водой, становится неустойчивой и легко оползает на крутых склонах. При слоистом строении

грунтов достаточно бывает увлажнения поверхности соприкосновения отдельных слоев и наличия уклона поверхности подстилающего слоя.

Оползни вызываются как поверхностными водами, просачивающимися через верхние проницаемые слои грунта, менее проницаемого, так и подземными водами. Грунты могут оползать и в соответствии с траекторией движения водяных струй в данном грунте по направлению к откосу грунта.

К основным мероприятиям по предотвращению оползневых явлений относятся:

изолирование опасного в оползневом отношении участка от притока к нему поверхностных и подземных вод с помощью нагорных и ловчих каналов и др.;

осушение поверхности соприкасания отдельных слоев грунта, оползание которых нужно предупредить;

обеспечение устойчивости основания сползающего откоса путем устройства подпорных стенок, придания более пологого откоса, поднятия его подошвы, устройства берм, защиты от подмыва текучими водами и т. д.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Аверьянов С. Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель (расчет). М., АН СССР, 1959.

Аверьянов С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. Сб. Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. М., «Колос» 1965.

Аверьянов С. Ф. О расчете осушающего действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания. Ученые записки МИИВХ, т. XXII. М., Сельхозгиз, 1960.

Андреев Н. Г. и др. Орошаемые культурные пастбища. М., «Колос», 1972.

Васильев С. В., Веригин Н. Н. и др. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. М., «Колос», 1970.

Волобуев В. Р. Развитие опреснения вглубь почвогрунтов. «Гидротехника и мелиорация», 1967, № 5.

Зайцев В. Б. Рисовая оросительная система. М., «Колос», 1968.

Захаров П. С. Эрозия почв и меры борьбы с ней. М., «Колос», 1971.

Зюликов Г. М. Закрытые оросительные системы. М., «Колос». 1966.

Костяков А. Н. Основы мелиораций. М., Сельхозгиз, 1960.

Лебедев Б. М. Дождевальные машины. М., «Машиностроение», 1965.

Нормы и технические условия проектирования оросительных систем. Выпуск первый, 1966.

Практикум по сельскохозяйственным мелиорациям. Под ред. акад. ВАСХНИЛ С. Ф. Аверьянова, М., «Колос», 1970.

Розов Л. П. Мелиоративное почвоведение. М., Сельхозгиз,, 1966.

Руководство по проектированию, созданию и использованию культурных пастбищ. М., 1971.

Чичасов В. Я., Изюмов В. В., Носенко В. Ф., Штоколов Д. А. Техника полива сельскохозяйственных культур. М., «Колос», 1970.

Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М., издание МГУ, 1965.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Глава I. **Режим орошения сельскохозяйственных культур** . 8
Факторы, влияющие на режим орошения сельскохозяйственных культур 8
Анализ методов для определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур 17
Мелиоративное районирование орошаемой территории по режимам орошения сельскохозяйственных культур . . . 18
Гидромодуль 21
Режим орошения риса 23
Глава II. **Способы и техника полива сельскохозяйственных культур** 28
Поверхностный самотечный способ полива 28
Расчет элементов техники поверхностного полива . . . 29
Пути совершенствования техники самотечного полива по бороздам и полосам 31
Планировочные работы на орошаемых землях 36
Техника полива дождеванием 38
Дождевальные устройства и системы 40
Расчет полива дождеванием 47
Выбор дождевальных устройств 49
Схемы работ дождевальных устройств на поливе . . . 51
Пути совершенствования дождевальной техники 61
Автоматизация полива дождеванием 61
Вопросы районирования техники полива 62
Особенности организации и техники полива орошаемых культурных пастбищ 64
Глава III. **Вопросы совершенствования оросительной сети** . 74
Пути технического прогресса при устройстве оросительной сети 74
Каналы с различными одеждами и экранами 75
Лотковая оросительная сеть 78
Закрытая оросительная сеть 88
Комбинированная оросительная сеть 104
Установление расчетных расходов оросительной сети . 105
Согласование работы дождевальных устройств и оросительной сети 110
Глава IV. **Источники орошения** 112
Классификация и особенности источников орошения . . 112
Качество оросительной воды 119
Оросительная способность источников орошения и пути ее повышения 122

Комплексное использование источников орошения . . . 124
Особенности использования вод местного стока для орошения 125
Глава V. **Борьба с засолением орошаемых земель** . . 128
Происхождение засоленных земель, их распространение и классификация 128
Прогнозирование водного и солевого режимов орошаемых земель 132
Мелиорация засоленных земель 143
Горизонтальный дренаж на орошаемых землях . . . 153
Вертикальный дренаж на орошаемых землях . . . 166
Глава VI. **Борьба с водной эрозией почвы** 173
Организационно-хозяйственные мероприятия 173
Агромелиоративные мероприятия 174
Лесомелиоративные мероприятия 175
Гидротехнические мероприятия 179
Указатель литературы 189