мелиорация
и водное
хозяйство

СПРАВОЧНИК

ОРОШЕНИЕ

СПРАВОЧНИК

мелиорация и водное хозяйство

6 ОРОШЕНИЕ

Под редакцией академика ВАСХНИЛ
Б. Б. Шумакова

Москва ВО «Агропромиздат» 1990

ББК 40.62
М 47
УДК 631.67 (031)

Авторский коллектив: *И. П. Айдаров, К. П. Арент, В. П. Баякина, А. С. Барутенко, Н. Ф. Беспалов, В. Д. Бердышев, Е. Б. Величко, Н. В. Винникова, А. П. Гитник, Д. П. Гостищев, К. В. Губер, Н. В. Данильченко, Т. И. Иванцова, В. В. Игнатова, П. И. Коваленко, С. Н. Казаков, В. И. Канардов, И. П. Кружилин, Н. Т. Лактаев, В. Г. Луцкий, В. П. Маслов, Ц. Е. Мирцхулава, В. Ф. Носенко, Е. Е. Овчаров, В. И. Ольгаренко, В. И. Остапов, В. П. Остапчик, Л. Ф. Пестов, Л. М. Рекс, А. И. Столяров, В. А. Сурин, Н. С. Тимченко, Е. С. Усов, Г. Ю. Шейнкин, И. А. Шишова, Б. Б. Шумаков, А. М. Якиревич.*

Главная редакционная коллегия: *Н. Ф. Васильев* (главный редактор), *П. А. Полад-заде* (заместитель главного редактора), *И. И. Бородавченко* (заместитель главного редактора), *В. Ф. Моховиков, Л. С. Литвак, Б. С. Маслов, Л. Г. Балаев, Б. Б. Шумаков, В. П. Орлова* (ответственный секретарь).

Редакционная коллегия справочника «Мелиорация и водное хозяйство. 6. Орошение»: *Б. Б. Шумаков* (главный редактор), *В. Ф. Носенко* (заместитель главного редактора), *В. Д. Бердышев, Г. В. Воропаев, И. П. Кружилин, Ц. Е. Мирцхулава, В. П. Орлова, Л. М. Рекс*

Составители: *В. Д. Бердышев, К. В. Губер, Г. С. Нестерова.*

Редактор *Г. В. Еливаветская.*

Мелиорация и водное хозяйство. 6. Орошение: Справочник/Под ред. Б. Б. Шумакова.— М.: Агропромиздат, 1990.. 415 с.: ил.

М 47

ISBN 5—10—000355—3

Освещены способы регулирования водного режима почв и требования сельскохозяйственного производства к проведению поливов. Описана техника поверхностного орошения, дождевания, внутрипочвенного и капельного орошения. Даны схемы, расчеты и конструкции оросительных систем регулярного орошения, рисовых, на местном стоке и с использованием сточных вод. Рассмотрены реконструкция оросительных систем, их эксплуатация и автоматизация. Приведены сведения о природоохранных мероприятиях при поливе сточными водами, по борьбе с эрозией и засолением орошаемых земель. Описаны техника и технология промывки почв от засоления.

Для специалистов системы мелиорации и водного хозяйства.

М $\frac{3804010000—259}{035\,(01)—90}$ 103—90

ББК 40.62

ISBN 5—10—000355—3

© Коллектив авторов, 1990

Расчетные значения произвольной величины X употребляются без индекса; средние значения обозначаются X_m; нормативные X_n; предельные X_{lim}; допускаемые X_{adm}; наибольшие X_{max}; наименьшие X_{min}; абсолютные X_{abs}; начальные X_o; конечные по времени X_t; конечные по длине X_L; исходные X_i; временные X_{tem}; переменные X_{var}; верхние X_{up}; нижние X_{inf}; наблюдаемые X_{obs}; критические X_{cr}; постоянные X_{cst}; внутренние X_{int}; внешние X_{est}; приведенные X_{red}; относительные X_{rel}; потребные X_{ser}; установившиеся X_{st}; неустановившиеся X_{uns}; эффективные X_{ef}.

a — расстояние; размер
A — площадь; скважность почвы
A_{br}, A_{nt} — орошаемая площадь брутто, нетто
A_g — валовая площадь системы, включающая неорошаемую и орошаемую площадь брутто
A_{com} — площадь подвешенная
A_{ml} — площадь модульного участка
A_K, A_r — годовые амортизационные отчисления на капитальный ремонт, на восстановление (реновацию)
A_{rot} — площадь севооборота
A_W — водосборная площадь
b, B — ширина
C — коэффициент Шези; эксплуатационные затраты
C_V — коэффициент вариации
C_S — коэффициент асимметрии
C_0, C_{adm} — исходное и допустимое содержание солей в метровом слое почвы
d — внутренний диаметр; глубина
d_d — глубина заложения дрен
d_{wb} — дефицит влаги в одном балансе
D — наружный диаметр; дефицит испаряемости и водопотребления; количество мелиоранта; коэффициент эффективной диффузии
d_{wm} — средневзвешенный дефицит влаги в водном балансе
d_φ — дефицит влажности воздуха
e — основание натуральных логарифмов
E — испарение, испаряемость
E_V — испарение за вегетационный период
E_X — изотермическое испарение
ET — суммарное водопотребление
E_f — коэффициент полезного использования воды
E_n — нормативный коэффициент
E_s — коэффициент использования воды оросительной системы
E_w — количество воды, испарившееся с водной поверхности
f — частота; повторяемость; модульный коэффициент
F — сток; полная влагоемкость; полезная влагоемкость
F_{fl} — паводковый сток
F_{sub} — подземный сток
FC — наименьшая влагоемкость
g — ускорение свободного падения
h — высота; глубина; слой осадков, воды, почвы
h_{top} — пахотный слой

H — напор воды
ΔH — градиент напора
H_l — потери напора
H_0, H_l — потери напора на вход, на выход
H_f — потери напора на трение
H_{pz} — пьезометрический напор
H_v — скоростной напор
i — уклон местности, канала, борозды
i_H — гидравлический уклон
k — коэффициент фильтрации
k_{wb} — коэффициент водного баланса
k_0 — микроклиматический коэффициент
k_p — коэффициент водопроницаемости, впитывания, порозность
k_a — коэффициент земельного использования
k_{ads} — коэффициент поглощения
k_E — коэффициент испарения
k_g — коэффициент использования валовой площади
k_{gr} — коэффициент использования грунтовых вод
k_d — коэффициент использования рабочего времени суток
k_u — коэффициент увлажнения
k_W — весовой коэффициент
k_{sat} — коэффициент насыщения
k_Y — коэффициент, учитывающий снижение урожайности
k_φ — коэффициент, учитывающий влажность воздуха
k_{st} — коэффициент установившейся скорости впитывания
k_l — коэффициент потерь азота
K — капитальные вложения
l, L — длина, пролет
l_d — упругость насыщенного пара
L_{br}, L_{nt} — промывная норма брутто, нетто
L_f — общие фильтрационные сопротивления по степени и характеру вскрытия пласта
m — масса; поливная норма; коэффициент заложения откосов; активная пористость
m_{br}, m_{nt} — поливная норма брутто, нетто
M — оросительная норма
M_{br}, M_{nt} — оросительная норма брутто, нетто
M_{bf} — оросительная норма брутто поля
M_{nf} — оросительная норма нетто поля
M_{mbr} — оросительная норма брутто средневзвешенная по сельскохозяйственным культурам (хозяйства, севооборота) с учетом потерь в оросительной сети
M_{mnt} — средневзвешенная оросительная норма нетто
M_F — модуль стока
n — число лет, точек, поливов, проходов, оборотов, увлажнителей, циклов; коэффициент шероховатости
N_{obs} — продолжительность солнечного сияния
N_{max} — максимально возможная продолжительность солнечного сияния
P — осадки; водопроницаемость; впитывание; вероятность превышения; давление; капиллярная порозность; планировка; приведенные затраты
P_{ef} — эффективные осадки
PWP — точка завядания
q — гидромодуль; ордината гидромодуля; удельный расход воды
q_d — модуль дренажного стока
q_{lim} — предельный расход воды в борозды
q_{max}, q_{mn} — максимальная и минимальная ординаты гидромодуля
Q — расход воды
Q_n — нормативный (действующий) расход воды при водообороте

Q_{br}, Q_{nt} — расход воды брутто, нетто
Q_{sd} — расход воды дождевальной машиной
Q_{ch} — расход воды при затоплении чеков
r — радиус
R — гидравлический радиус; солнечная радиация; сопротивление; число Рейнольдса
S — стоимость; площадь живого сечения; засоленность почвы
S_s — стоимость оборудования, системы
S_0 — начальная стоимость
S_p — стоимость планировки
S_c — стоимость сооружений
t — температура; время; срок службы; толщина; коэффициент трения
Δt — межполивной период
T — транспирация; период; число секунд; водопроводимость пласта; мощность
v — скорость течения, ветра
v_f — скорость фильтрации
v_b — донная скорость потока
v_{adm} — допустимая неразмывающая скорость
v_{non} — скорость неравномерного движения
v_{cr} — критическая скорость
V — объем
V_d — объем мертвого запаса воды в почве; мертвый объем водохранилища
V_c — водосбор
V_f — объем потерь воды на поле на фильтрацию
V_L — объем воды при влагозарядковых поливах
V_{gr} — объем используемых грунтовых вод
V_{ts} — технологические сбросы воды из оросительной сети
V_{us} — объем полезно используемой воды
V_r — объем воды, подлежащий отводу
V_{sp} — объем воды, идущей на сброс
w — влажность почвогрунта, влагоемкость
w_F — влагоемкость полная
w_{FC} — влажность, соответствующая наименьшей влагоемкости (водоудерживающей способности) почвы
w_{PWP} — влажность завядания
w_{act} — фактическая влажность
w_{lim}, w_{cr} — допустимая или критическая влажность в слое почвы
W — запасы влаги в почве
W_{act} — активные (продуктивные) запасы влаги в почве, используемые растениями
W_{FC} — запасы влаги, соответствующие наименьшей влагоемкости
Y — урожай
α — альбедо поверхности; коэффициент затухания скорости впитывания, стока, солеотдачи, использования осадков
β — водоносность источника; коэффициент, учитывающий потери рабочего времени по метеоусловиям
γ — план водозабора; объемная масса; удельный вес
σ — продолжительность солнечного сияния
Δ — превышение; высота призмы на лимане
ε — коэффициент водооборота (на рисовых системах); коэффициент увязки расходов при водообороте; коэффициент сжатия, электропроводимости
ξ — высота волны; отношение гидромодуля сброса к гидромодулю подачи
η — коэффициент полезного действия (КПД) сети оросительной системы
η_c — КПД канала
θ — угол поворота

λ — длина волны; коэффициент теплопроводности
μ — коэффициент расхода отверстия, насадки; микроклиматическая поправка, вязкость, коэффициент стока
ρ — интенсивность дождя, плотность почвогрунта, водоудерживающая способность, мутность
τ — коэффициент, учитывающий возможные потери рабочего времени
φ — относительная влажность воздуха; коэффициент скорости вытекания
Φ — абсолютная влажность воздуха
ω — угловая частота, гидравлическая крупность
χ — смоченный периметр
Ω — сезонная нагрузка на поливную машину

Обозначения индексов

a — площадь; воздух
b — валик, бьеф
c — канал; водоток; сооружение
d — дрена; нижний бьеф
e — бровка канала
f — поле, фильтрация
p — трубопровод; водопроницаемость
s — система; почва; струя воды
w — вода; волна
z — зона; пласт
ar — пашня
ch — чек
eg — оборудование
fl — лоток; паводок
ls — супесь
sd — дождевальная машина
st — поток
up — верхний бьеф
res — ресурсы
bar — полоса
bas — лиман
fur — борозда
nut — питательные вещества
out — водовыпуск
sal — засоление
res — водохранилище
sed — наносы
sh — рабочая смена
sor — поглощение
sub — засоление
sur — поверхностный
spr — дождевание

Глава 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ

1.1. ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Оросительные сельскохозяйственные мелиорации представляют собой систему организационно-хозяйственных и технических мероприятий для коренного улучшения неблагоприятных природных (почвенных, климатических, гидрологических) условий мелиорируемых территорий путем направленного изменения и регулирования водного и связанного с ним воздушного, питательного и теплового режимов их в целях прогрессивного повышения плодородия почв и обеспечения высоких устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Орошение земель эффективно только в сочетании с соответствующей системой агротехнических мероприятий.

Регулирование водного и питательного режимов почв мелиорируемых территорий является не целью, а средством мелиорации, целью же — неуклонное повышение плодородия почв.

Оросительные мелиорации подразделяют на увлажнительные, удобрительные, отеплительные и теплорегуляционные. Увлажнительные мелиорации восполняют дефицит влаги в почве. К удобрительным мелиорациям относятся поливы сточными водами, разбавленными пресной водой. Отеплительные мелиорации применяют для согревания почвы теплыми водами подземных водоисточников и тепловых электростанций. К теплорегуляционным водным мелиорациям относятся противозаморозковое дождевание и аэрозольное увлажнение (мелкодисперсное дождевание), при которых повышается или понижается температура самих растений, чем предотвращается завядание их от переохлаждения или перегрева.

В настоящее время применяют три основных способа орошения: поверхностный, дождевание, подпочвенный (внутрипочвенный). Каждому из них присущи соответствующие способы полива — способы перевода подаваемой воды из состояния водяного тока в состояние почвенной влажности.

При поверхностном способе орошения различают поливы по бороздам, по полосам и затоплением чеков. Лиманное орошение, которое, по сути, относится к поверхностным способам, ввиду своей нерегулярности по размерам и времени затопления талыми водами выделяют в специальный вид.

Для орошения дождеванием применяют дождевальные машины и установки, которые по дальности полета воды делятся на коротко-, средне- и дальнеструйные, по другим признакам — на стационарные установки, машины и агрегаты, работающие в движении, и позиционные. По расположению распылителей различают подкроновое (приповерхностное), надкроновое и обычное дождевание.

При подпочвенном (внутрипочвенном) орошении используют следующие виды поливов: подтопление с искусственным подъемом почвенно-грунтовых вод до уровня, обеспечивающего капиллярный подток влаги в корнеобитаемую зону почвы, кротово-трубчатый (так называемый внутрипочвенный полив) с подачей воды в кротовины, горизонтальные трубчатые увлажнители и очаговый полив с подачей воды в вертикальные скважины, заполненные фильтрующим материалом. Специфическим видом подпочвенного орошения является машинно-инъекционный полив, при котором вода в почву и подпочву подается через инъекторы под давлением при движении поливной машины по междурядьям пропашных культур или через скважины в корнеобитаемый слой многолетних насаждений.

Капельное орошение при расположении капельниц в почве классифицируется как разновидность стационарного подпочвенного (внутрипочвенного) орошения. Но, принимая во внимание специфический режим орошения и возможность расположения капельниц над землей, его выделили в специальный вид.

Орошение по времени и эффективности воздействия подразделяют на регулярное и разовое. При регулярном орошении воду подают в зависимости от потребности сельскохозяйственных культур, метеорологических и почвенных условий с учетом технической возможности водоподачи.

Разовое, или однократно действующее, орошение осуществляют путем задержания весенних талых вод на участке (лиманное) или подачи воды на участок во время летнего паводка (паводковое).

Для орошения земель создают как комплекс гидротехнических сооружений оросительные системы для забора воды из источника орошения, транспортирования ее до поливного массива, распределения по поливным участкам и полива земель с целью создания оптимального водно-солевого режима почв. В задачу оросительных систем входит также отвод с орошаемого массива дренажных, сбросных и грунтовых вод.

В состав оросительной системы входят земельная территория, источник орошения, оросительная, коллекторно-дренажная и сбросная сеть каналов или закрытых трубопроводов, водозаборные, распределительные и измерительные гидросооружения, вертикальные дрены, дороги, линии связи и электропередачи.

По способу забора воды из источника орошения оросительные системы делятся на самотечные и с машинным водоподъемом. В горных условиях устраивают также самонапорные закрытые системы, использующие разницу гидравлического напора в трубопроводах.

К специальным видам систем относятся оросительно-обводнительные, осушительно-оросительные, осушительно-увлажнительные, рисовые оросительные системы и системы лиманного орошения.

1.2. ПЛОЩАДИ ОРОШЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ МИРА

К началу XIX столетия общая площадь орошаемых земель в мире была равна примерно 8 млн га. К началу XX столетия она увеличилась до 40 млн га, а к середине достигла 100 млн га. За 20 последующих лет площадь орошаемых земель удвоилась и достигла примерно 200 млн га. В начале 80-х гг., по оценке ФАО, она составила 210,4 млн га (табл. 1.1).

1.1. Площадь орошаемых земель в мире по данным ФАО, тыс. га

Континент, страна	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1985 г.	Доля орошаемых площадей от всей площади пашни, %
Всего в мире	167 399	188 048	210 443	220 312	16
Европа (без СССР)	10 728	12 755	14 658	16 093	12
Албания	284	331	371	392	66
Болгария	1001	1128	1197	1229	31
Великобритания	88	86	140	152	2
Венгрия	109	156	134	138	4
Германская Демократическая Республика	140	160	165	166	4

Продолжение

Континент, страна	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1985 г.	Доля орошаемых площадей от всей площади пашни, %
Греция	730	875	961	1099	34
Дания	90	180	391	405	15
Испания	2379	2818	3029	3217	31
Италия	2561	2720	2870	3000	—
Нидерланды	380	430	480	530	61
Норвегия	30	40	74	90	—
Польша	213	231	100	100	1
Португалия	622	625	630	630	21
Румыния	731	1474	2301	2956	25
Федеративная Республика Германия	284	308	315	320	5
Франция	750	805	1088	1170	7
Чехословакия	126	136	123	187	4
Швейцария	25	25	25	25	—
Швеция	33	48	53	53	
Югославия	130	133	145	164	2
Азия	109 727	121 578	132 217	138 279	—
Афганистан	2340	2480	2650	2660	34
Бангладеш	1058	1441	1569	2073	21
Бирма	839	976	990	1085	11
Вьетнам	980	1000	1542	1770	25
Израиль	168	181	203	271	64
Индия	30 440	33 730	38 478	40 100	24
Индонезия	4370	4825	5418	7059	36
Ирак	1480	1567	1750	1750	33
Иран	5200	5900	4948	5740	31
Йеменская Арабская Республика	210	230	245	247	9
Йеменская Демократическая Республика	52	56	60	62	—
Китай	38 123	42 668	45 317	44 461	46
Корейская Народно-Демократическая Республика	500	900	1050	1070	48
Лаос	176	40	115	119	14
Малайзия	262	308	320	334	33
Монголия	10	23	35	42	—
Непал	117	230	520	650	10
Оман	29	34	38	41	—
Пакистан	12 950	13 630	14 680	15 440	73
Саудовская Аравия	365	375	390	415	38
Сирия	451	516	539	652	11
Таиланд	1960	2419	3015	3600	20
Турция	1800	1980	2070	2150	9
Филиппины	826	1040	1219	1430	18
Шри-Ланка	465	480	525	583	51
Южная Корея	1000	1060	1150	1220	59
Япония	3415	3171	3055	2931	77
Африка	7620	8169	9340	10 626	—
Алжир	238	244	253	338	51

Продолжение

Континент, страна	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1985 г.	Доля орошаемых площадей от всей площади пашни, %
Арабская Республика Египет	2843	2825	2447	2486	107
Гвинея	50	64	68	70	—
Зимбабве	46	90	120	175	4
Мозамбик	26	38	62	82	—
Мадагаскар	330	490	820	1020	19
Ливия	175	200	225	234	—
Мали	135	170	260	350	5
Марокко	340	425	510	523	7
Нигерия	82	160	760	1280	—
Сенегал	110	160	170	175	3
Сомали	115	120	140	180	16
Судан	1750	1565	1600	1700	—
Тунис	90	125	156	215	6
Танзания	38	52	120	140	—
Южно-Африканская Республика	1000	1017	1128	1128	9
Северная Америка	20 955	22 853	27 671	25 361	—
Гаити	60	70	70	70	—
Гватемала	56	60	68	75	
Гондурас	70	80	82	85	—
Доминиканская Республика	125	140	165	198	16
Канада	421	500	580	635	2
Коста-Рика	26	36	61	110	—
Куба	450	580	762	865	40
Никарагуа	40	67	80	86	—
Мексика	3583	4479	4980	4980	24
Пуэрто-Рика	39	39	39	39	
Сальвадор	20	33	110	110	20
Соединенные Штаты Америки	16 000	16 690	20 582	18 102	11
Южная Америка	5681	6587	7386	8131	—
Аргентина	1280	1440	1580	1680	6
Боливия	80	120	140	160	1
Бразилия	796	1300	1800	2300	3
Венесуэла	264	300	315	324	10
Гайана	115	120	125	127	27
Колумбия	250	260	310	324	8
Парагвай	40	55	60	65	–
Перу	1106	1130	1150	1210	37
Суринам	28	33	42	50	—
Чили	1180	1242	1255	1257	24
Уругвай	52	57	79	94	–
Эквадор	470	510	520	540	35
Австралия и Океания	1588	1620	1684	1875	4
Австралия	1476	1469	1500	1620	4
Новая Зеландия	111	150	183	250	25
СССР	11 100	14 486	17 437	19 951	8

Глава 2. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

2.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ

Режим орошения — совокупность норм и сроков поливов сельскохозяйственных культур. В зависимости от почвенно-мелиоративных и климатических условий и своему назначению различают следующие режимы орошения:

увлажнительный, обеспечивающий благоприятный (оптимальный) для роста и развития растений водный режим в почве и приземном слое атмосферы; рекомендуется для земель с нормальным водно-солевым балансом (незасоленные почвы с устойчиво глубоким залеганием минерализованных грунтовых вод);

увлажнительно-промывной, который предусматривает дополнительные затраты воды на создание нисходящего тока влаги в активном слое почвы для поддержания благоприятного солевого режима в почве;

специальные: влагозарядковые, освежительные, удобрительные, приживочные, противозаморозковые и др.

В гидромелиоративной практике различают проектный и эксплуатационный режимы орошения.

Проектный режим орошения разрабатывают на стадии проектирования оросительных системы для выполнения водохозяйственных расчетов и установления расходных характеристик оросительной сети. Расчетные параметры проектного режима орошения определяют с учетом принимаемых в проекте способов, техники и технологии полива для экономически обоснованного уровня водообеспеченности системы.

В процессе эксплуатации оросительной системы ежегодно на предстоящий вегетационный период разрабатывают **эксплуатационные режимы** орошения для планирования сезонного и оперативного на одну-две декады внутрихозяйственного водопользования.

Эксплуатационные режимы орошения в каждом конкретном случае должны учитывать изменения почвенно-мелиоративных, погодных и организационно-хозяйственных условий, которые неизбежно возникают на оросительных системах в процессе их многолетней эксплуатации. При механизированных и автоматизированных поливах эксплуатационные режимы орошения используют для разработки эксплуатационных графиков работы поливных и дождевальных машин и их систематической корректировки на протяжении поливного сезона.

Для определения оптимальных режимов орошения сельскохозяйственных культур самым надежным, но в то же время наиболее трудоемким и дорогим является метод полевого эксперимента. Поэтому в отечественной и зарубежной практике проектирования и эксплуатации гидромелиоративных систем широкое применение получили расчетные методы установления поливных режимов сельскохозяйственных культур.

2.2. СУММАРНОЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ

Суммарное водопотребление (эвапотранспирация) — это объем воды, расходуемой сельскохозяйственным полем на транспирацию растениями и испарение с почвы. Его измеряют в $м^3/га$ или в мм слоя воды.

Количественно интенсивность суммарного водопотребления — функция влажности почвы, физиологических свойств растений, метеорологических условий и уровня агротехники. При оптимальных запасах влаги в почве водопотребление зависит от состояния растительного покрова и термического режима внешней среды, то есть имеет биоклиматический характер.

Для определения суммарного водопотребления у нас в стране и за рубежом широко применяют косвенные (расчетные) методы, основанные на использовании уравнений, характеризующих динамику тепло- и влагообмена в системе почва — растение — атмосфера.

Теоретической основой расчетных методов служит то, что при оптимальном водоснабжении растений существует тесная связь между испарением влаги сельскохозяйственным полем и энергетическими ресурсами атмосферы, которые оцениваются таким комплексным показателем, как испаряемость (потенциальная эвапотранспирация).

В большинстве случаев при определении суммарного водопотребления (эвапотранспирации) за основу принимают испаряемость, скорректированную коэффициентами, учитывающими роль растений и климата в испарении влаги орошаемым полем.

Суммарное водопотребление (мм) с учетом этих коэффициентов находят по зависимости

$$ET = k_b k_0 ET_0, \tag{2.1}$$

где k_b — биологический коэффициент, характеризующий роль растений; r_0 — микроклиматический коэффициент; ET_0 — испаряемость (потенциальная эвапотранспирация), мм.

Из зарубежных методов определения испаряемости (потенциальной эвапотранспирации) наиболее широкое распространение имеют расчетные модели Х. Л. Пенмана, Л. Тюрка и Х. Ф. Блейни — В. Д. Криддла.

Расчетная зависимость Х. Л. Пенмана в общем виде описывается уравнением

$$ET_0 = k_W R_{ef} + (1 - k_W) E_x, \tag{2.2}$$

где ET_0 — потенциальная эвапотранспирация, мм/сут; k_W — весовой коэффициент, учитывающий влияние высоты над уровнем моря и температуры воздуха на потенциальную эвапотранспирацию (табл. 2.1); R_{ef} — суммарная остаточная эффективная солнечная радиация в эквивалентном слое испарения, мм/сут; E_x — изотермическое испарение, мм/сут.

В уравнении (2.2) левая часть характеризует энергетическую долю испарения, а правая — аэродинамическую.

Суммарную остаточную (эффективную) радиацию определяют по зависимости

$$R_{ef} = (1 - \alpha) R_s - R_e, \tag{2.3}$$

где α — альбедо испаряющей поверхности (для водной поверхности $\alpha = 0{,}95$); R_s — приходящая коротковолновая радиация, мм/сут, вычисляемая по формуле

$$R_s = (0{,}18 + 0{,}55 N_{obs}/N_{max}) R_a, \tag{2.4}$$

R_a — солнечная радиация на границе атмосферы (табл. 2.2), мм/сут; N_{obs} — фактическая продолжительность солнечного сияния, ч/сут; N_{max} — максимально возможная продолжительность солнечного сияния, ч/сут (табл. 2.2); R_e — остаточная длинноволновая радиация (мм/сут), является функцией температуры воздуха $f(t)$, фактической упругости водяного пара $f(l_d)$ и продолжительности солнечного сияния $f(N_{obs}/N_{max})$ (табл. 2.3), то есть

$$R_e = f(t) f(l_d) f(N_{obs}/N_{max}). \tag{2.5}$$

Значения функций $f(t)$, $f(l_d)$ и $f(N_{obs}/N_{max})$ рассчитаны по следующим формулам:

$$f(t) = \sigma t_K^4 = 118 (273 + t)^4 10^{-9}/L, \tag{2.6}$$

где σ — постоянная Стефана — Больцмана; t_K — температура в °К ($t_K = 273 + t$ °С); t — температура воздуха, °С; L — скрытая теплота парообра-

2.1. Значения коэффициента k_W в уравнении (2.2)

Высота над уровнем моря, м	Температура воздуха t, °С					
	6	8	10	12	14	16
0	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64
500	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65
1000	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66
2000	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69

Продолжение

Высота над уровнем моря, м	Температура воздуха t, °С						
	18	20	22	24	26	28	30
0	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78
500	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79
1000	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80
2000	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82

2.2. Радиация на границе атмосферы R_a и максимальная продолжительность солнечного сияния

Северная широта, °	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
	Радиация R_a, мм/сут							
36	12,1	14,7	16,4	17,2	16,7	15,4	13,1	10,6
38	11,8	14,5	16,4	17,2	16,7	15,3	12,8	10,0
40	11,4	14,3	16,4	17,3	16,7	15,2	12,5	9,6
42	11,0	14,0	16,2	17,3	16,7	15,0	12,2	9,1
44	10,6	13,7	16,1	17,2	16,6	14,7	11,9	8,7
46	10,2	13,3	16,0	17,2	16,6	14,5	11,5	8,3
49	9,8	13,0	15,9	17,1	16,5	14,3	11,2	7,8
50	9,4	12,7	15,8	17,1	16,4	14,1	10,9	7,4
52	9,0	12,4	15,7	17,0	16,3	13,9	10,6	7,0
54	8,6	12,1	15,6	17,0	16,2	13,7	10,3	6,6
56	8,2	11,7	15,5	16,9	16,1	13,5	10,0	6,2
58	7,8	11,3	15,4	16,8	16,0	13,4	9,7	5,9
60	7,5	11,0	15,3	16,7	15,8	13,3	9,5	5,4
	Продолжительность солнечного сияния N_{max}, ч/сут							
36	11,9	13,1	14,0	14,6	14,4	13,5	12,4	11,3
38	11,9	13,2	14,2	14,8	14,5	13,6	12,5	11,2
40	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2
42	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,6	11,1
44	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0
46	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9
48	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9
50	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	10,8
52	11,8	14,0	15,6	16,6	16,2	14,7	12,7	10,8
54	11,8	14,2	15,8	16,9	16,4	14,9	12,7	10,7
56	11,7	14,5	16,0	17,2	16,6	15,1	12,8	10,7
58	11,7	14,7	16,2	17,4	16,8	15,3	12,8	10,6
60	11,7	14,9	16,4	17,6	16,9	15,5	12,8	10,6

зования, кал/мм, $L=59{,}7-0{,}055t$;

$$f(l_d)=0{,}56-0{,}092\sqrt{l_d}, \tag{2.7}$$

где l_d — фактическая упругость насыщения, мм;

$$f(N_{obs}/N_{max})=0{,}1+0{,}9N_{obs}/N_{max}. \tag{2.8}$$

Изотермическое испарение в формуле (2.2) определяется по зависимости

$$E_x=(l_a-l_d)\,f(v)=0{,}35d\,(1+0{,}54v), \tag{2.9}$$

где l_a — упругость насыщенного пара, мм; l_d — фактическая упругость насыщения, мм; d — дефицит упругости насыщения, мм; v — скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли, м/с.

Расчеты по формуле Х. Л. Пенмана не представляют затруднений при наличии исходных данных.

Формулу Х. Ф. Блейни и В. Д. Криддла для расчета испаряемости (потенциальной эвапотранспирации) в последние годы применяют в модифицированном виде

$$ET_0=n\,(0{,}46t+8{,}13)\,k_\sigma, \tag{2.10}$$

где ET_0 — потенциальная эвапотранспирация, мм/сут; n — средняя суточная продолжительность дневного времени в % от годовой; t — температура воздуха, °С; k_σ — поправочный коэффициент, учитывающий влажность воздуха, продолжительность солнечного сияния и скорость ветра.

$$k_\sigma=f(\varphi)\,f(N_{obs}/N_{max})\,f(v), \tag{2.11}$$

где $f(\varphi)=2\,(1-0{,}009\,\varphi)$; $f(N_{obs}/N_{max})=0{,}34+0{,}5\,N_{obs}/N_{max}$; $f(v)=1+0{,}06\,v_2$, здесь φ — относительная влажность воздуха, %; v_2 — скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли, м/с.

Формула Х. Ф. Блейни и В. Д. Криддла очень проста и базируется на использовании доступной исходной информации, частично приведенной в таблице 2.3 и ниже.

2.3. Средняя суточная продолжительность дневного времени n в % от годовой

Северная широта, °	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
36	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25
38	0,27	0,30	0,32	0,33	0,32	0,30	0,28	0,25
40	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25
42	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25
44	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25
46	0,27	0,30	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24
48	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24
50	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24
52	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24
54	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23
56	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23
58	0,26	0,32	0,37	0,40	0,39	0,34	0,28	0,23
60	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22

Формула Л. Тюрка для определения потенциальной эвапотранспирации (мм/мес) имеет следующий вид:

$$ET_0=23{,}4\,(R_{act}+0{,}85)\left(\frac{t}{t+15}\right). \tag{2.12}$$

Солнечная радиация R_{act}, поступающая на горизонтальную поверхность (мм/сут),

$$R_{act}=R_a\,(0{,}18+0{,}62N_{obs}/N_{max}), \tag{2.13}$$

где R_a — солнечная радиация на границе атмосферы, мм/сут; t — средняя суточная температура воздуха, °С; N_{obs} — наблюдаемая продолжительность солнечного сияния, ч/сут; N_{max} — максимально возможная продолжительность солнечного сияния, ч/сут.

Значения функций $f(t)$, $f(l_d)$ и $f(N_{obs}/N_{max})$

Температура воздуха t, °С	6	8	10	12	14	16	18
Функция $f(t)$	12,0	12,4	12,7	13,1	13,5	13,8	14,2
Фактическая упругость водяного пара l_d, мм	6	8	10	12	14	16	18
Функция $f(l_d)$	0,34	0,30	0,27	0,24	0,22	0,19	0,17
Отношение N_{obs}/N_{max}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Функция $f(N_{obs}/N_{max})$	0,10	0,19	0,28	0,37	0,46	0,55	0,64

Температура воздуха t, °С	20	22	24	26	28	30	32
Функция $f(t)$	14,6	15,0	15,4	15,9	16,3	16,7	17,2
Фактическая упругость водяного пара l_d, мм	20	22	24	26	28	30	32
Функция $f(l_d)$	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04
Отношение N_{obs}/N_{max}	0,7	0,8	0,9	1,0			
Функция $f(N_{obs}/N_{max})$	0,73	0,82	0,91	1,0			

Значение функции влажности воздуха $f(\varphi)$

Относительная влажность воздуха φ, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Функция $f(\varphi)$	1,82	1,64	1,46	1,28	1,10	0,92	0,74	0,56	0,38

Значение функции, учитывающей солнечное сияние $f(N_{obs}/N_{max})$

N_{obs}/N_{max}	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Функция $f(N_{obs}/N_{max})$	0,44	0,49	0,54	0,59	0,64	0,69	0,74	0,79	0,84

Значение ветровой функции $f(v)$

Скорость ветра на высоте 2 м, м/с	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Функция $f(v)$	1,0	1,06	1,11	1,18	1,24	1,30	1,36	1,42	1,48

В нашей стране из расчетных методов определения испаряемости и водопотребления наибольшее практическое применение получил метод А. М. и С. М. Алпатьевых, основанный на использовании упрощенной формулы Н. Н. Иванова, которая имеет следующий вид:

$$ET_0 = k_{pr}\Sigma d_\varphi, \qquad (2.14)$$

где ET_0 — испаряемость, мм, k_{pr} — коэффициент пропорциональности между испаряемостью и дефицитом влажности воздуха, равный 0,61; Σd — сумма дефицитов влажности воздуха за расчетный период, мм.

Из-за нелинейности связи между ET_0 и d_φ при изменении температуры воздуха для определения суммарного водопотребления в качестве коэффициента пропорциональности в формуле (2.14) используют биологический коэффициент k_b, устанавливаемый экспериментально как отношение фактического суммарного испарения к сумме дефицитов влажности воздуха за расчетный период (табл. 2.4—2.7).

При определении испаряемости используют данные испарения с испарометра ГГИ-3000. При отсутствии таких данных или их коротких рядах предлагается для расчета испаряемости (мм) использовать уравнение

$$ET_0 = Ad_\varphi^{Bt}, \qquad (2.15)$$

2.4. Значения биологического коэффициента k_b для Кулундинской степи

Сумма среднесуточных температур воздуха от начала вегетации, °С	Яровая пшеница	Кукуруза	Горох	Люцерна	Сахарная свекла	Капуста	Огурцы	Томаты	Картофель
0...100	0,18	0,19	0,17	0,13	0,17	0,17	0,19	0,22	0,23
101...200	0,22	0,22	0,18	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,24
201...400	0,31	0,26	0,19	0,20	0,22	0,26	0,28	0,29	0,28
401...600	0,40	0,31	0,21	0,29	0,29	0,32	0,35	0,33	0,32
601...800	0,45	0,33	0,24	0,44	0,31	0,36	0,37	0,37	0,36
801...1000	0,48	0,38	0,27	0,62	0,31	0,38	0,39	0,40	0,39
1001...1200	0,50	0,42	0,30	0,57	0,32	0,40	0,40	0,42	0,41
1201...1400	0,49	0,42	0,30	0,41	0,37	0,42	0,41	0,46	0,43
1401...1600	0,47	0,43	0,31	0,33	0,47	0,45	0,43	0,47	0,42
1601...1800	0,43	0,45	0,33	0,35	0,50	0,52	0,46	0,44	0,41
1801...2000	0,38	0,40	0,34	0,45	0,46	0,50	0,46	0,39	0,38
1001...2200	0,33	0,36	0,33	0,50	0,45	0,49	0,30	0,35	0,33
1201...2400	—	0,31	0,23	0,41	0,47	0,46	0,20	0,28	0,23
2401...2600	—	0,27	—	0,36	0,47	0,25	—	0,17	0,18
2601...2800	—	0,12	—	0,32	0,32	—	—	—	—
2801...3000	—	—	—	0,29	—	—	—	—	—

где t и d_φ — среднесуточные значения температуры воздуха в °С и дефицита влажности воздуха в мб.

Безразмерные коэффициенты A и B в этом уравнении названы зональными, предположительно учитывающими влияние климатических и других местных условий на связь $ET_0=f(d_\varphi t)$.

2.5. Значение биологического коэффициента k_b для Волгоградской области

Сумма среднесуточных температур воздуха от начала вегетации, °С	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Кукуруза на зерно	Люцерна на сено	Сенокосы и пастбища
0...100	0,21	0,23	0,21	0,34	—
101...200	0,33	0,34	0,24	0,40	0,27
201...400	0,44	0,42	0,28	0,43	0,40
401...600	0,52	0,48	0,32	0,42	0,50
601...800	0,53	0,50	0,36	0,36	0,52
801...1000	0,50	0,44	0,39	0,43	0,49
1001...1200	0,43	0,42	0,41	0,42	0,43
1201...1400	0,36	0,33	0,42	0,35	0,37
1401...1600	0,28	0,27	0,43	0,34	0,34
1601...1800	0,22	0,24	0,43	0,33	0,32
1801...2000	0,21	0,23	0,42	0,33	0,33
2001...2200	—	—	0,41	0,37	0,37
2201...2400	—	—	0,40	0,33	0,40
2401...2600	—	—	0,37	0,26	0,40
2601...2800	—	—	0,32	0,19	—
2801...3000	—	—	0,27	0,14	—
3001...3200	—	—	0,20	—	—
3201...3300	—	—	0,14	—	—

2.6. Значения биологического коэффициента k_b для степной зоны Украины

Сумма среднесуточных температур воздуха от начала вегетации, °С	Сахарная свекла	Кукуруза	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Томаты	Картофель весенней посадки
0...200	0,28	0,23	0,53	0,30	0,23	0,23
201...400	0,32	0,27	0,52	0,36	0,32	0,35
401...600	0,35	0,30	0,50	0,41	0,39	0,41
601...800	0,37	0,34	0,47	0,47	0,46	0,46
801...1000	0,39	0,38	0,43	0,44	0,52	0,47
1001...1200	0,41	0,41	0,41	0,40	0,53	0,45
1201...1400	0,43	0,44	0,34	0,37	0,50	0,42
1401...1600	0,46	0,48	0,26	0,30	0,45	0,37
1601...1800	0,48	0,49	0,19	0,27	0,40	0,35
1801...2000	0,49	0,46	—	—	0,38	0,30
2001...2200	0,50	0,43	—	—	0,37	0,27
2201...2400	0,47	0,37	—	—	0,35	0,25
2401...2600	0,45	0,32	—	—	0,35	—
2601...2800	0,42	0,26	—	—	0,33	—

Для определения коэффициентов A и B предлагаются зависимости

$$A = 0{,}00097\Sigma t - 0{,}94; \tag{2.16}$$

$$B = 0{,}0104A - 0{,}0411, \tag{2.17}$$

где Σt — местная средняя многолетняя сумма температур воздуха в °С за период май — октябрь.

Н. В. Данильченко для расчета испаряемости (мм) использует модифицированную формулу Н. Н. Иванова

$$ET_0 = k_t d_\varphi f(v), \tag{2.18}$$

где k_t — энергетический фактор испарения, мм/мб; d_φ — дефицит влажности воздуха, мб; $f(v)$ — функция, учитывающая влияние скорости ветра.

В этой формуле параметры d_φ и $f(v)$ характеризуют аэродинамическую часть испарения, а k_t — энергетическую.

2.7. Значения биологического коэффициента k_b для Белоруссии

Декады от начала вегетации	Капуста	Клевер луговой	Картофель
1-я	0,44	0,22	0,38
2-я	0,50	0,28	0,42
3-я	0,57	0,36	0,52
4-я	0,63	0,45	0,58
5-я	0,70	0,55	0,65
6-я	0,74	0,59	0,64
7-я	0,72	0,44	0,58
8-я	0,67	0,40	0,58
9-я	0,61	0,45	0,43
10-я	0,57	0,48	—
11-я	0,52	0,52	—
12-я	0,49	0,55	—
13-я	—	0,56	—

2.8. Значения энергетического фактора k_t (мм/мб) в зависимости от температуры воздуха

Десятки градусов	Единицы градусов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,61	0,62	0,62	0,62	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61	0,60
10	0,60	0,60	0,59	0,58	0,57	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53
20	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44
30	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,38	0,37	0,36	0,36

Энергетический (температурный) фактор k_t, учитывающий нелинейность связи ET_0 и d_φ при изменении температуры воздуха, принимают по таблице 2.8 или определяют по зависимости

$$k_t = 0{,}0061\,(25 + t)^2 / l_a, \qquad (2.19)$$

где t — температура воздуха, °С; l_a — упругость насыщенного пара, соответствующая этой температуре, мб.

Дефицит влажности воздуха (упругости насыщения) при отсутствии данных наблюдений рассчитывают по уравнению

$$d_\varphi = l_a\,(1 - 0{,}01\varphi), \qquad (2.20)$$

где φ — относительная влажность воздуха, %.

Ветровую функцию (табл. 2.9) определяют по следующей зависимости:

$$f(v) = 0{,}64\,(1 + 0{,}19 v_2), \qquad (2.21)$$

где v_2 — скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли, м/с.

Для перехода от флюгерной (наблюденной) скорости ветра к скорости ветра на высоте 2 м пользуются коэффициентом снижения скорости.

Значения коэффициента перехода от флюгерной скорости ветра к скорости на высоте 2 м

Фактическая высота измерения, м	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Коэффициент снижения скорости ветра	0,93	0,88	0,85	0,83	0,81

Фактическая высота измерения, м	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0
Коэффициент снижения скорости ветра	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74

В формуле (2.1) микроклиматический коэффициент k_0, характеризующий возможное изменение микроклимата на сельскохозяйственном поле под влия-

2.9. Значения ветровой функции $f(v)$

Скорость ветра, м/с	Десятые доли скорости ветра, м/с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74
1,0	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86
2,0	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
3,0	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10
4,0	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22
5,0	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34
6,0	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	1,42	1,43	1,44	1,45	1,46
7,0	1,48	1,49	1,50	1,51	1,52	1,54	1,55	1,56	1,57	1,58

2.10. Зависимость микроклиматического коэффициента k_0 от размера орошаемой площади и увлажненности территории

Орошаемая площадь, га	Коэффициент увлажнения территории k_u										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
100	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99
1000	0,81	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99
10 000	0,76	0,82	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
50 000	0,72	0,78	0,83	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98

нием орошения (снижение температуры воздуха и скорости ветра, повышения влажности воздуха), носит зональный характер и зависит от размера орошаемой площади и природной обеспеченности региона теплом и влагой. Он изменяется в течение вегетации в пределах 1,0. . .0,75. Например, в лесной зоне с избыточным увлажнением ($k_u > 1,0$) микроклиматический коэффициент для орошаемых площадей 100. . .1000 га в целом за вегетацию равен примерно 1,0 и лишь в отдельные засушливые декады снижается до 0,94. . .0,96. В лесостепной влажной зоне ($k_u \leqslant 1,0$) он за этот же период составляет 0,98. . .1,0, в засушливые декады может уменьшаться до 0,9. . .0,94. Для практических расчетов можно пользоваться данными таблиц 2.10 и 2.11.

Пользуясь данными таблиц 2.10 и 2.11, микроклиматический коэффициент можно определить дифференцированно по площади и во времени.

Биологический коэффициент k_b представляет собой коэффициент пропорциональности между фактическим испарением воды с поля и испаряемостью. Помимо биологической роли растений, он учитывает частоту и обильность выпадения атмосферных осадков в вегетационный период, уровень агротехники и др. В связи с этим биологические коэффициенты разных культур различны, что объясняется как индивидуальным характером биологических ритмов роста и развития растений, так и природно-хозяйственными различиями территории.

Для определения водопотребления сельскохозяйственных культур по расчетной модели Н. В. Данильченко можно использовать коэффициенты, приведенные в таблицах 2.12...2.15.

Суммарное водопотребление за вегетацию в условиях оптимального водообеспечения растений приведено в таблице 2.16.

Суммарное водопотребление существенно изменяется и по годам. Так, если в степной зоне (табл. 2.16) среднее многолетнее суммарное водопотребление сахарной свеклы составляет 570. . .640 мм, то в среднесухой год (повторяется один раз в четыре года) оно возрастает до 630. . .690 мм, а в сухой год (повторяется один раз в 20 лет) может достигать 700. . .750 мм.

2.11. Внутрисезонное колебание микроклиматического коэффициента k_0 в различных природных зонах

Природная зона	Месяц							Среднее значение
	04	05	06	07	08	09	10	
Лесостепная	1,0	0,96	0,96	0,96	0,97	0,99	1,0	0,98
Степная	1,0	0,95	0,93	0,91	0,90	0,93	0,99	0,93
Сухостепная	1,0	0,93	0,89	0,86	0,85	0,87	0,95	0,88
Полупустынная	0,99	0,90	0,85	0,83	0,82	0,83	0,91	0,85
Пустынная	0,98	0,86	0,81	0,80	0,80	0,80	0,84	0,82

2.12. Значения биологического коэффициента k_b в лесной зоне

Культуры	Сумма температур Σt (°С) от начала периода водопотребления *											
	0...200	201...400	401...600	601...800	801...1000	1001...1200	1201...1400	1401...1600	1601...1800	1801...2000	2001...2200	2201...2400
Озимые колосовые (пшеница, рожь)	0,92	0,94	0,98	1,04	1,08	1,04	0,92	0,05	—	—	—	—
Яровая пшеница	0,82	0,86	0,95	1,03	1,08	1,05	0,93	0,73	—	—	—	—
Кукуруза, подсолнечник (на силос)	0,78	0,80	0,85	0,90	0,98	1,04	1,08	1,07	1,03	0,97	0,90	—
Картофель поздний	0,78	0,80	0,85	0,96	1,06	1,10	1,04	0,92	0,72	0,89	—	—
Кормовые корнеплоды (свекла)	0,79	0,81	0,85	0,92	1,04	1,08	1,05	0,97	0,85	0,72	—	—
Капуста ранняя	0,92	0,94	1,00	1,06	1,08	1,06	1,02	1,00	—	—	—	—
Капуста поздняя	0,86	0,92	0,96	1,01	1,05	1,08	1,06	1,03	1,01	1,00	—	—
Овощные (огурцы, лук, морковь, столовая свекла)	0,84	0,86	0,91	0,98	1,04	1,08	1,05	1,00	0,94	—	—	—
Люцерна прошлых лет	0,92	0,95	1,01	1,06	1,10	0,86	0,90	1,01	1,10	0,86	0,90	—
Орошаемые пастбища	0,93	0,96	1,02	0,86	0,94	1,02	0,86	0,94	1,02	0,86	0,94	—

* В таблицах 2.12...2.15 началом периода водопотребления для многолетних культур является возобновление вегетации, для однолетних — дата посадки (посева).

2.13. Значения биологического коэффициента k_b в лесостепной зоне

Культуры	Сумма температур Σt (°С) от начала периода водопотребления											
	0...200	201...400	401...600	601...800	801...1000	1001...1200	1201...1400	1401...1600	1601...1800	1801...2000	2001...2200	2201...2400
Озимые колосовые (пшеница, рожь)	0,82	0,87	0,96	1,06	1,10	1,05	0,87	0,60	—	—	—	—
Яровая пшеница	0,77	0,81	0,92	1,04	1,10	1,06	0,92	0,70	—	—	—	—
Кукуруза, подсолнечник (на силос)	0,76	0,78	0,82	0,88	0,97	1,05	1,10	1,09	1,03	0,94	0,85	—
Картофель поздний	0,76	0,78	0,85	0,96	1,06	1,10	1,04	0,91	0,68	0,52	—	—
Кормовые корнеплоды (свекла)	0,74	0,77	0,83	0,91	1,02	1,10	1,00	0,90	0,80	0,68	—	—
Капуста ранняя	0,85	0,91	0,96	1,04	1,09	1,08	1,03	0,96	—	—	—	—
Капуста поздняя	0,81	0,85	0,90	0,95	1,02	1,08	1,10	1,08	1,02	1,00	0,98	0,97
Овощные (огурцы, лук, морковь, столовая свекла)	0,80	0,82	0,88	0,96	1,05	1,10	1,06	1,01	0,92	—	—	—
Люцерна прошлых лет	0,82	0,89	0,98	1,07	1,10	0,81	0,87	1,01	1,10	0,81	0,87	1,01
Орошаемые пастбища	0,86	0,96	1,07	0,82	0,93	1,05	0,82	0,93	1,05	0,82	0,93	1,05

2.14. Значения биологического коэффициента k_b в степной зоне

Культуры	Сумма температур Σt (°С) от начала периода водопотребления														
	0...200	201...400	401...600	601...800	801...1000	1001...1200	1201...1400	1401...1600	1601...1800	1801...2000	2001...2200	2201...2400	2401...2600	2601...2800	2801...3000
Озимые колосовые (пшеница)	0,76	0,82	0,94	1,07	1,12	0,99	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—
Яровая пшеница	0,63	0,69	0,80	1,01	1,11	1,05	0,80	0,57	—	—	—	—	—	—	—
Кукуруза на зерно	0,60	0,67	0,70	0,83	0,92	1,04	1,11	1,12	1,03	0,85	0,65	—	—	—	—
Картофель поздний	0,61	0,65	0,72	0,84	1,01	1,12	1,12	1,02	0,82	0,60	—	—	—	—	—
Сахарная свекла	0,62	0,66	0,72	0,78	0,85	0,94	1,02	1,09	1,14	1,14	1,09	1,02	0,91	0,90	0,66
Пожнивная кукуруза	0,52	0,55	0,62	0,73	0,86	0,97	1,05	—	—	—	—	—	—	—	—
Капуста поздняя	0,72	0,78	0,97	0,98	1,06	1,10	1,11	1,08	1,03	0,95	0,96	0,80	—	—	—
Овощные (томаты, столовая свекла и др.)	0,76	0,79	0,88	0,98	1,06	1,10	1,10	1,04	0,97	0,89	0,82	—	—	—	—
Подпокровная люцерна	0,53	0,58	0,70	0,91	1,08	0,76	0,82	—	—	—	—	—	—	—	—
Люцерна прошлых лет	0,76	0,83	1,00	1,12	0,75	0,83	1,01	1,11	0,75	0,83	1,01	1,10	0,75	0,83	1,01
Орошаемые пастбища	0,80	0,91	1,07	0,79	0,91	1,06	0,79	0,91	1,06	0,79	0,91	1,06	0,79	0,91	1,06

2.15. Значения биологического коэффициента k_b в полупустынной зоне

Культуры	Сумма температур Σt (°С) от начала периода водопотребления														
	0...200	201...400	401...600	601...800	801...1000	1001...1200	1201...1400	1401...1600	1601...1800	1801...2000	2001...2200	2201...2400	2401...2600	2601...2800	2801...3000
Озимые колосовые (пшеница)	0,70	0,76	0,90	1,08	1,13	0,95	0,60	—	—	—	—	—	—	—	—
Яровая пшеница	0,56	0,62	0,79	1,01	1,12	1,03	0,76	0,50	—	—	—	—	—	—	—
Кукуруза на зерно	0,53	0,56	0,65	0,76	0,89	1,02	1,11	1,12	1,04	0,84	0,63	—	—	—	—
Картофель	0,54	0,58	0,66	0,79	0,96	1,10	1,12	1,01	0,80	0,57	—	—	—	—	—
Сахарная свекла	0,56	0,63	0,68	0,74	0,82	0,92	1,00	1,08	1,13	1,12	1,08	1,00	0,90	0,77	—
Пожнивная кукуруза	0,50	0,54	0,60	0,71	0,87	0,99	1,08	1,10	1,08	—	—	—	—	—	—
Капуста поздняя	0,70	0,77	0,88	0,97	1,05	1,11	1,10	1,05	0,96	0,87	0,80	0,76	—	—	—
Овощные (томаты, столовая свекла и др.)	0,72	0,75	0,86	0,97	1,06	1,10	1,10	1,03	0,90	0,80	0,72	—	—	—	—
Подпокровная люцерна	0,50	0,55	0,66	0,90	1,08	0,71	0,80	1,00	—	—	—	—	—	—	—
Люцерна прошлых лет	0,75	0,83	1,01	1,12	0,71	0,80	1,00	1,12	0,71	0,80	1,00	1,12	0,71	0,80	1,00
Орошаемые пастбища	0,76	0,90	1,07	0,76	0,92	1,06	0,80	0,92	1,06	0,80	0,92	1,06	0,80	0,92	1,06

2.16. Суммарное водопотребление (эвапотранспирация) сельскохозяйственных культур в различных природно-хозяйственных зонах страны, мм

Культуры	Вероятность превышения, %	Природная зона					
		лесная, k_u=0,86...1,0	лесостепная, k_u=0,51...0,85	степная, k_u=0,41...0,5	сухостепная, k_u=0,31...0,4	полупустынная, k_u=0,19...0,3	пустынная, k_u=0,05...0,18
Зерновые колосовые	50	270	310	360	390	420	450
	75	290	350	400	430	460	560
	95	320	390	460	480	530	560
Кукуруза	50	320	400	470	530	580	640
	75	350	440	520	580	630	690
	95	400	500	590	650	700	760
Картофель	50	280	350	420	450	500	—
	75	310	380	450	490	540	—
	95	350	430	490	540	600	—
Сахарная свекла	50	—	480	570	640	710	790
	75	—	550	630	690	750	830
	95	—	630	700	750	810	870
Овощные (капуста, томаты, лук, огурцы и др.)	50	280	360	430	470	520	620
	75	320	390	460	500	560	650
	95	370	440	510	550	610	700
Кормовые корнеплоды	50	280	380	440	480	540	640
	75	320	410	480	530	590	690
	95	360	460	540	600	650	740
Люцерна прошлых лет	50	360	480	580	660	720	830
	75	400	510	630	690	760	860
	95	480	590	710	770	830	920

2.17. Внутрисезонное распределение суммарного водопотребления (мм) кукурузы на зерно в различных природно-хозяйственных зонах страны

Фазы развития	Природная зона			
	лесостепная, k_u=0,51...0,85		умеренно степная, k_u=0,41...0,5	
	за сутки	за период	за сутки	за период
Посев — выход в трубку (45...50 сут)	2,0...2,5	100	2,5...3,0	120
Выход в трубку — цветение (30...35 сут)	3,5...4,0	120	4,0...4,5	140
Цветение — молочно-восковая спелость (30...35 сут)	4,5...5,0	160	5,0...6,0	180
Молочно-восковая — полная спелость (20...25 сут)	3,0...3,5	70	3,0...4,0	80
За вегетацию	3,0...3,5	450	3,5...4,0	530

Продолжение

Фазы развития	Природная зона					
	сухостепная, k_u=0,31...0,4		полупустынная, k_u=0,19...0,3		пустынная, k_u=0,05...0,18	
	за сутки	за период	за сутки	за период	за сутки	за период
Посев — выход в трубку (45...50 сут)	2,5...3,0	140	3,0...3,5	150	3,5...4,0	170
Выход в трубку — цветение (30...35 сут)	5,0...5,5	170	5,0...6,0	180	6,0...6,5	200
Цветение — молочно-восковая спелость (30...35 сут)	6,5...7,5	220	6,5...7,5	230	7,5...9,0	250
Молочно-восковая — полная спелость (20...25 сут)	3,5...4,5	90	4,0...5,0	100	4,5...5,5	100
За вегетацию	4,5...5,0	620	4,5...6,5	660	5,5...6,5	720

Внутрисезонный ход суммарного водопотребления определяется темпами роста и развития вегетативной массы растений и изменением метеорологических условий. Наибольшая интенсивность суммарного испарения полем отмечается при совпадении периодов «пикового» спроса растений на воду и наиболее напряженных метеорологических условий. Это хорошо иллюстрируется данными таблицы 2.17, в которой показано внутрисезонное распределение суммарного водопотребления кукурузы.

2.3. ОРОСИТЕЛЬНАЯ НОРМА

Оросительная норма — объем воды, подаваемой на гектар орошаемой площади за вегетационный период. Ее определяют как разницу между суммарной потребностью культуры в воде и ее природной влагообеспеченностью и измеряют в м³/га или мм слоя воды. Обычно она соответствует дефициту водопотребления культуры за вегетационный период

$$M_{nt} = \sum_{i=1}^{n} d_{wh}, \tag{2.22}$$

где M_{nt} — оросительная норма нетто; $\sum_{i=1}^{n} d_{wh}$ — суммарный дефицит водопотребления за вегетационный период культуры.

Дефицит водопотребления для какого-либо периода вегетации можно рассчитать по уравнению водного баланса, которое в упрощенном виде имеет следующий вид:

$$d_{wh} = ET_{crop} - W_a - P_{ef} - V_{gr}, \tag{2.23}$$

где ET_{crop} — суммарное водопотребление культуры за расчетный период; W_a — активные запасы почвенной влаги, которые могут быть использованы растениями; P_{ef} — эффективные атмосферные осадки за период; V_{gr} — используемые грунтовые воды.

В этом уравнении активные для растений запасы почвенной влаги определяют как разность между фактическими запасами влаги W_0 (мм) в расчетном слое почвы h_w и допустимыми (предполивными) запасами влаги W_{cr} (мм)

в том же слое, то есть

$$W_a = W_0 - W_{cr}, \tag{2.24}$$

здесь

$$W_0 = \gamma h_w w_0; \tag{2.25}$$

$$W_{cr} = \gamma h_w w_{cr}, \tag{2.26}$$

где γ — объемная масса почвы, т/м³; h_w — расчетный слой почвы, м; w_0 — фактическая влажность в расчетном слое, % массы абсолютно сухой почвы; w_{cr} — критическая или допустимая влажность в том же слое почвы, %.

Критическую (предполивную) влажность почвы можно определить по уравнению

$$w_{cr} = 0{,}5(w_{FC} + w_{PWP}), \tag{2.27}$$

где w_{FC} — влажность, соответствующая наименьшей влагоемкости (водоудерживающей способности) почвы, %; w_{PWP} — влажность завядания, %.

При отсутствии данных о влажности завядания критическую влажность почвы можно принять в долях от w_{FC}:

для песчаных и супесчаных почв	$w_{cr} = (0{,}50 \ldots 0{,}65)\ w_{FC}$
для суглинистых почв	$w_{cr} = (0{,}65 \ldots 0{,}75)\ w_{FC}$
для глинистых почв	$w_{cr} = (0{,}75 \ldots 0{,}8)\ w_{FC}$

Более низкий предел предполивных запасов влаги соответствует засухоустойчивым культурам, а верхний — влаголюбивым.

Ориентировочные данные о влагоемкости, критических W_{cr} и активных W_a влагозапасах почвы приведены в таблице 2.18.

2.18. Ориентировочные значения наименьшей влагоемкости, критических и активных влагозапасов в метровом слое почвы, мм

Почвы	W_{FC}	W_{cr}	W_{act}
Песчаные и супесчаные	120...200	60...120	60...80
Среднесуглинистые	210...280	150...190	60...90
Тяжелосуглинистые и глинистые	290...360	220...260	70...100

Количество используемых атмосферных осадков зависит от частоты и обильности их выпадения. На стадии проектных расчетов коэффициент использования осадков α оценивают следующим образом. Есл

$$P \leqslant ET_{crop} + (W_{FC} - W_0), \tag{2.28}$$

то $\alpha = 1$, а если

$$P > [ET_{crop} + (W_{FC} - W_0), \tag{2.29}$$

то

$$\alpha = [ET_{crop} + (W_{FC} - W_0)]/P, \tag{2.30}$$

где ET_{crop} — суммарное водопотребление (эвапотранспирация) за расчетный период, мм; W_{FC} — наименьшая влагоемкость (водоудерживающая способность) максимального расчетного слоя почвы для данной культуры, мм; W_0 — начальные (перед выпадением дождей) запасы влаги в том же слое почвы, мм; P — количество осадков, мм.

В зоне избыточного увлажнения энергетические ресурсы атмосферы зачастую недостаточны для испарения дождевых осадков, в связи с чем часть их теряется на поверхностный сток и фильтрацию за пределы корнеобитаемой зоны. В отдельные периоды вегетации сельскохозяйственные культуры не используют здесь до 40. . .50 % дождевых осадков. По этой причине, а также и в связи с тем, что свободная аккумулирующая емкость расчетного слоя поч-

2.19. Зависимость коэффициента использования пресных грунтовых вод k_{gr} от глубины их залегания, почв и агрофона

Глубина залегания пресных грунтовых вод h_{gr}, м	Легкие по механическому составу почвы				Тяжелые по механическому составу почвы			
	Агрофон							
	поверхность без растительности	культуры с корневой системой			поверхность без растительности	культуры с корневой системой		
		до 0,6 м	до 1 м	более 1 м		до 0,6 м	до 1 м	более 1 м
0,5	0,45	0,85	1,00	1,00	0,55	0,75	0,95	1,0
1,0	0,15	0,40	0,55	0,90	0,25	0,35	0,50	0,95
1,5	—	0,15	0,25	0,55	0,05	0,20	0,30	0,65
2,0	—	—	0,10	0,30	—	0,05	0,15	0,10
2,5	—	—	—	0,15	—	—	0,05	0,25
3,0	—	—	—	0,05	—	—	0	0,10

Примечание. Если грунтовые воды минерализованы, то приведенные в этой таблице значения коэффициента k следует уменьшить в 1,5...2 раза.

вы всегда ограничена (не более 50...100 мм), в этой зоне при большом сезонном слое осадков возникает необходимость в орошении сельскохозяйственных угодий. Поэтому интервал для балансовых расчетов оросительной нормы в зоне избыточного увлажнения не должен превышать декады. Расчет по месячным данным приводит здесь к занижению на 20...50 % оросительной нормы.

Роль грунтовых вод в обеспечении растений влагой зависит от глубины их залегания, мощности корневой системы растений, литологического строения зоны аэрации, а также частоты смачивания поверхности почвы атмосферными осадками и поливами. При отсутствии экспериментальных данных для учета капиллярного использования грунтовых вод можно применить следующую зависимость:

$$V_{gr} = ET_{crop} K_{gr}, \quad (2.31)$$

где V_{gr} — используемые грунтовые воды; ET_{crop} — суммарное водопотребление за расчетный период; K_{gr} — коэффициент использования грунтовых вод, в долях водопотребления.

Для ориентировочных расчетов коэффициент использования грунтовых вод можно принимать по данным таблицы 2.19 или рисунку 2.1.

На склонных к засолению землях (например, при близком залегании минерализованных грунтовых вод) для обеспечения промывного режима орошения необходимое количество оросительной воды определяется прогнозом солевого режима зоны аэрации (см. гл. 15).

При определении дефицитов водопотребления активный (корнеобитае-

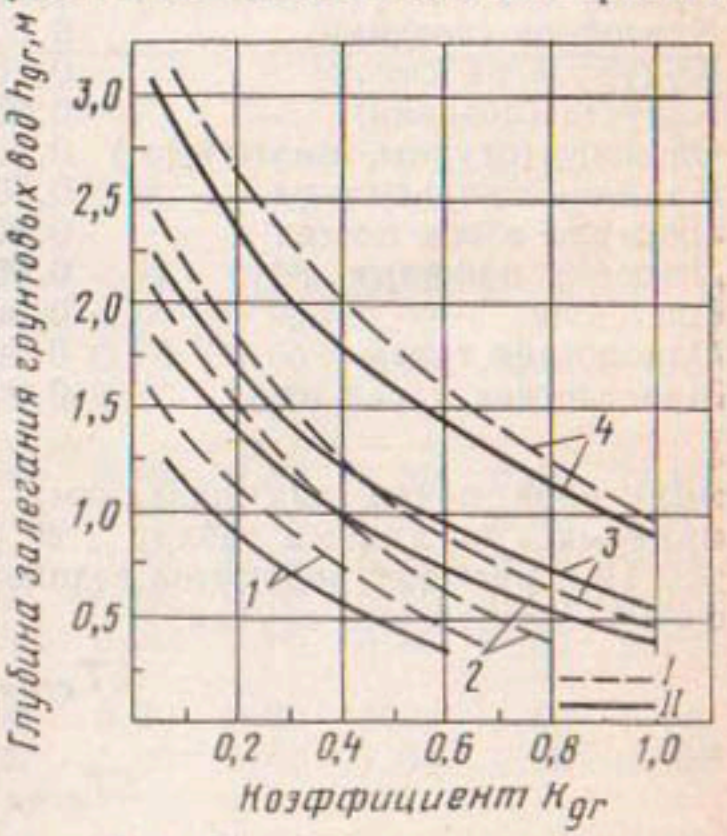


Рис. 2.1. Изменение коэффициента K_{gr}, характеризующего использование грунтовых вод в долях суммарного испарения (водопотребления):

1 — поверхность без растительности; *2* — растения с глубиной корней до 0,6 м; *3* — то же с глубиной до 1 м; *4* — то же более 1 м; *I* — тяжелые по механическому составу почвы; *II* — легкие по механическому составу почвы

2.20. Внутрисезонная динамика нарастания активного (корнеобитаемого) слоя почвы (м) на орошаемых полях в гумидной зоне

Культуры	Порядковый номер декады от начала вегетации						
	1	2	3	4	5	6	7
Озимые зерновые (колосовые)	0,50	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,80
Яровые зерновые (колосовые)	0,35	0,35	0,40	0,55	0,70	0,75	0,80
Картофель (поздний)	0,30	0,30	0,35	0,45	0,55	0,60	0,65
Кукуруза на силос	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80
Капуста (поздняя)	0,30	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55
Овощные (огурцы, томаты и др.)	0,30	0,35	0,40	0,45	0,80	0,50	0,50
Кормовые корнеплоды	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70	0,70
Люцерна в год посева	0,30	0,30	0,35	0,45	0,60	0,70	0,75
Люцерна прошлых лет	0,55	0,60	0,70	0,85	0,90	0,90	0,90
Пастбища	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60
Однолетние травы	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70	0,70
Многолетние насаждения	0,60	0,65	0,70	0,85	0,90	0,90	0,90

Продолжение

Культуры	Порядковый номер декады от начала вегетации						
	8	9	10	11	12	13	14
Озимые зерновые (колосовые)	0,80	0,80	—	—	—	—	—
Яровые зерновые (колосовые)	0,80	0,80	—	—	—	—	—
Картофель (поздний)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	—	—
Кукуруза на силос	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	—	—
Капуста (поздняя)	0,55	0,55	0,55	0,60	0,60	0,60	—
Овощные (огурцы, томаты и др.)	0,50	0,50	0,50	0,50	—	—	—
Кормовые корнеплоды	0,70	0,70	0,70	—	—	—	—
Люцерна в год посева	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	—
Люцерна прошлых лет	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	—
Пастбища	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	–
Однолетние травы	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	—
Многолетние насаждения	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90

мый) слой почвы для различных сельскохозяйственных культур можно принимать по данным таблиц 2.20 и 2.21.

При расчетах дефицитов водопотребления за отдельные интервалы возможны следующие случаи:

$$ET_{crop} > P_t + W_a \tag{2.32}$$

или

$$ET_{crop} < P_t + W_a, \tag{2.33}$$

где ET_{crop} — суммарное водопотребление за расчетный интервал; P_t — атмосферные осадки за интервал; W_a — активные запасы влаги в расчетном слое почвы.

В первом случае дефицит водопотребления положителен и вычисляется по зависимости $d_{ET} = ET - P_t\alpha_t - W_a - V_{gr}$, во втором — принимается равным нулю, то есть $d_{ET} = 0$.

Опыт применения расчетных методов определения оросительных норм свидетельствует о целесообразности декадного счета (по декадным значениям

2.21. Внутрисезонная динамика нарастания активного (корнеобитаемого) слоя почвы (м) на орошаемых полях в аридной зоне

Культуры	Порядковый номер декады от начала вегетации						
	1	2	3	4	5	6	7
Озимые зерновые (колосовые)	0,55	0,65	0,75	0,85	0,90	0,90	0,90
Яровые зерновые (колосовые)	0,40	0,45	0,55	0,70	0,80	0,85	0,90
Картофель (поздний)	0,35	0,40	0,45	0,55	0,65	0,70	0,75
Кукуруза на зерно, силос	0,35	0,45	0,50	0,65	0,75	0,85	0,90
Капуста (поздняя)	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
Овощные (огурцы, томаты и др.)	0,30	0,35	0,40	0,50	0,55	0,60	0,60
Сахарная свекла	0,35	0,40	0,45	0,55	0,70	0,75	0,80
Люцерна прошлых лет	0,60	0,70	0,75	0,85	0,90	0,90	0,90
Люцерна в год посева	0,35	0,35	0,40	0,50	0,65	0,75	0,80
Пастбища	0,45	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60	0,60
Многоукосные травосмеси (сенокосы)	0,50	0,55	0,65	0,75	0,80	0,80	0,80
Однолетние травы	0,35	0,40	0,50	0,60	0,75	0,80	0,80
Многолетние насаждения	0,75	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00

Продолжение

Культуры	Порядковый номер декады от начала вегетации						
	8	9	10	11	12	13	14
Озимые зерновые (колосовые)	0,90	0,90	—	—	—	—	—
Яровые зерновые (колосовые)	0,90	0,90	0,90	—	—	—	—
Картофель (поздний)	0,75	0,75	0,85	0,75	0,75	—	—
Кукуруза на зерно, силос	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	—	—
Капуста (поздняя)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	—
Овощные (огурцы, томаты и др.)	0,60	0,60	0,60	0,60	—	—	—
Сахарная свекла	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Люцерна прошлых лет	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Люцерна в год посева	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Пастбища	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Многоукосные травосмеси (сенокосы)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Однолетние травы	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Многолетние насаждения	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

исходных данных). При увеличении расчетного интервала достоверность результатов снижается.

Оросительная норма, являясь производной погодно-климатических условий и биологических свойств возделываемых культур, существенно изменяется территориально и по годам.

Территориальные оросительные нормы изменяются в зависимости от тепло- и влагообеспеченности, которые могут быть оценены коэффициентом увлажнения k_u (табл. 2.22, рис. 2.2).

Рис. 2.2. Районирование европейской территории СССР по коэффициенту увлажнения k_u:

$k_u=(W_a+P)/ET$, где W_a — активные влагозапасы в метровом слое почвы на начало расчетного периода; P — осадки за тот же период; ET — испаряемость (потенциальная эвапотранспирация) за период с t воздуха 5 °С

Оросительная норма и коэффициент увлажнения, представляющий собой комплексную климатическую характеристику территории, находятся в обратной зависимости. С уменьшением коэффициента увлажнения возрастает оросительная норма и наоборот. Изменчивость оросительной нормы по годам характеризуется коэффициентом вариации C_V. Чем засушливее территория, тем меньше C_V. В условиях пустынь коэффициент вариации оросительных норм составляет 0,05. . .0,1, в лесостепи он достигает 0,8. . .1,0.

Изменчивость оросительной нормы некоторых сельскохозяйственных культур территориально и по годам показана в таблицах 2.22. . .2.31. В них приведена оптимальная биоклиматическая норма нетто в средний (вероят-

2.22. Оптимальные биоклиматические оросительные нормы многолетних трав в различных природно-климатических зонах СССР при глубоком залегании грунтовых вод

Экономический район	Коэффициент увлажнения k_u	Оросительная норма нетто (мм) различной вероятности превышения (%)			Природная зона
		50	75	95	
Центральный и Волго-Вятский	1,1...1,2	65	90	180	Лесная
	1,1...1,0	80	130	220	»
	1,0...0,9	105	160	260	»
	0,9...0,8	130	190	360	»
	0,8...0,7	170	240	370	Лесостепная
	0,7...0,6	210	290	490	»
Центрально-Черноземный	0,8...0,9	130	190	310	Лесная
	0,7...0,8	170	240	360	Лесостепная
	0,6...0,7	210	300	430	»
	0,5...0,6	280	360	480	»
	0,4...0,5	320	410	530	Степная
Поволжский	0,6...0,7	200	290	410	»
	0,5...0,6	270	350	470	»
	0,4...0,5	330	400	510	»
	0,3...0,4	430	510	620	Сухостепная
	0,2...0,3	570	640	740	Полупустынная
	0,1...0,2	720	790	880	Пустынная
Казахстанский	0,6...0,7	210	280	400	Лесостепная
	0,5...0,6	270	350	470	»
	0,4...0,5	320	390	500	Степная
	0,3...0,4	420	500	610	Сухостепная
	0,2...0,3	570	640	740	Полупустынная
	0,1...0,2	720	780	880	Пустынная
	0,05...0,1	830	890	980	»

2.23. Оптимальные биоклиматические оросительные нормы нетто (мм) сельскохозяйственных культур в различных природно-климатических зонах СССР при глубоком залегании грунтовых вод

Культуры	Вероятность превышения, %	Природная зона					
		лесная, k_u=0,86...1,20	лесостепная, k_u=0,51...0,85	степная, k_u=0,41...0,5	сухостепная, k_u=0,31...0,4	полупустынная, k_u=0,19...0,3	пустынная, k_u=0,05...0,18
Кукуруза	50	60	160	260	320	400	500
	75	110	220	320	380	460	550
	95	210	320	410	460	540	630
Сахарная свекла	50	—	190	300	390	540	680
	75	—	270	390	470	600	740
	95	—	380	490	570	690	830
Многолетние травы	50	80	200	320	430	570	760
	75	130	280	410	510	640	830
	95	220	390	530	620	740	920
Картофель	50	60	140	230	300	370	—
	75	100	190	300	360	430	—
	95	170	270	380	440	500	—

Культуры	Вероятность превышения, %	Природная зона					
		лесная, k_u=0,86...1,20	лесостепная, k_u=0,51...0,85	степная, k_u=0,41...0,5	сухостепная, k_u=0,31...0,4	полупустынная, k_u=0,19...0,3	пустынная, k_u=0,05...0,18
Овощные (капуста, томаты, лук, огурцы и др.)	50	70	160	250	300	380	490
	75	120	210	300	350	430	540
	95	200	310	390	440	520	630
Кормовые корнеплоды	50	60	150	240	310	380	490
	75	100	200	310	370	440	550
	95	190	300	390	460	530	640

2.24. Оптимальные биоклиматические нормы нетто (мм) сельскохозяйственных культур в среднесухой год при глубоком залегании грунтовых вод, мм

Экономический район, АССР, область	Коэффициент увлажнения k_u	Культура			
		картофель поздний	капуста поздняя	люцерна	многолетние травосмеси
Центральный район					
Брянская область	0,96	100	120	130	155
Владимирская »	0,91	120	130	150	170
Ивановская »	0,93	115	130	140	165
Калининская »	1,20	70	80	80	90
Калужская »	1,09	80	95	95	115
Костромская »	1,12	80	90	100	110
Московская »	1,03	95	110	110	130
Орловская »	0,85	130	140	175	195
Рязанская »	0,78	140	155	190	220
Смоленская »	1,20	65	75	70	85
Тульская »	0,84	130	140	170	190
Ярославская »	1,10	85	85	110	120
Волго-Вятский район					
Горьковская область	0,83	135	140	170	190
Кировская »	0,95	110	120	130	150
Марийская АССР	0,83	135	145	180	205
Мордовская АССР	0,72	165	170	220	255
Чувашская АССР	0,75	155	160	205	240
Центрально-Черноземный район					
Белгородская область	0,63	200	210	280	305
Воронежская »	0,56	230	250	320	355
Курская »	0,77	150	160	210	230
Липецкая »	0,68	175	185	260	280
Тамбовская »	0,61	210	225	290	320

2.25. Оптимальные биоклиматические оросительные нормы зерновых колосовых культур при глубоком залегании грунтовых вод

Экономический район	Коэффициент увлажнения $k_н$	Оросительная норма нетто (мм) различной вероятности превышения (%)			Природная зона
		50	75	95	
Центрально-Черноземный	0,8...0,9	65	100	160	Лесная
	0,7...0,8	80	120	190	Лесостепная
	0,6...0,7	100	150	220	»
	0,5...0,6	120	170	250	»
	0,4...0,5	150	200	280	Степная
Поволжский	0,6...0,7	100	150	210	Лесостепная
	0,5...0,6	120	160	250	»
	0,4...0,5	160	210	280	Степная
	0,3...0,4	190	240	320	Сухостепная
	0,2...0,3	230	280	360	Полупустынная
	<0,2	280	320	380	Пустынная
Казахстанский	0,5...0,6	110	160	250	Лесостепная
	0,4...0,5	140	190	270	Степная
	0,3...0,4	180	230	320	Сухостепная
	0,2...0,3	210	260	350	Полупустынная
	0,1...0,2	290	330	380	Пустынная
	0,05...0,1	320	360	440	»

ность превышения 50 %), среднесухой (75 %) и сухой (95 %) годы. Для районов с близким залеганием пресных и слабоминерализованных грунтовых вод приведенные в этих таблицах оросительные нормы должны быть уменьшены.

Оросительные нормы (см. табл. 2.22. . .2.31) обеспечивают поддержание в корнеобитаемом слое почвы влажности, оптимальной для роста и развития растений и формирования максимального урожая орошаемых культур.

2.26. Оптимальная биоклиматическая оросительная норма на структурный гектар овощекормового севооборота в Центральном районе РСФСР при глубоком залегании грунтовых вод

Область	Коэффициент увлажнения $k_н$	Оросительная норма нетто (мм) различной вероятности превышения (%)			Природная зона
		50	75	95	
Брянская	0,9...1,1	80	125	210	Лесная
Владимирская	0,8...1,1	80	130	220	»
Ивановская	0,8...1,1	80	130	220	»
Калининская	1,1...1,3	55	75	150	»
Калужская	1,0...1,2	65	100	180	»
Костромская	1,0...1,2	60	95	180	»
Московская	0,8...1,3	70	110	200	Лесная, лесостепная
Орловская	0,7...1,0	105	160	240	» »
Рязанская	0,7...0,9	120	170	250	Лесостепная
Смоленская	1,1...1,3	50	75	150	Лесная
Тульская	0,7...1,0	100	160	240	Лесная, лесостепная
Ярославская	1,0...1,2	60	95	180	Лесная

2.27. Оптимальная биоклиматическая оросительная норма на структурный гектар овощекормового севооборота в Волго-Вятском районе (при глубоком залегании грунтовых вод)

Административная область и автономная республика	Коэффициент увлажнения k_u	Оросительная норма нетто различной вероятности превышения (%)			Природная зона
		50	75	95	
Горьковская область	0,7...0,9	120	170	250	Лесостепная
Кировская область	0,7...1,1	90	140	280	Лесная, лесостепная
Марийская АССР	0,7...0,9	120	170	250	Лесостепная
Мордовская АССР	0,6...0,8	140	190	280	»
Чувашская АССР	0,7...0,8	130	180	270	»

Существующие связи между урожайностью и водообеспеченностью сельскохозяйственных культур позволяют изменять эти нормы применительно к промежуточным значениям урожайности, то есть к фактически достигнутой или проектной. На основе технико-экономических расчетов можно установить и экономически целесообразные оросительные нормы, обеспечивающие получение продукции с минимальной себестоимостью. Во всех случаях эти нормы будут меньше оптимальных биоклиматических.

В процессе полива неизбежны непроизводительные потери воды непосредственно на орошаемом поле и в оросительной сети. При составлении и реализации планов водопользования их необходимо учитывать. При

2.28. Оптимальная биоклиматическая оросительная норма на структурный гектар зернокормового севооборота в Казахской ССР (без риса) при глубоком залегании грунтовых вод

Часть территории	Коэффициент увлажнения k_u	Оросительная норма нетто (мм) различной вероятности превышения (%)			Природные зоны
		50	75	95	
Западный Казахстан	0,3...0,4	300	360	450	Сухостепная
	0,2...0,3	380	430	520	Полупустынная
	0,1...0,2	440	490	570	Пустынная
Южный Казахстан	0,3...0,4	330	390	480	Сухостепная
	0,2...0,3	390	450	540	Полупустынная
	0,1...0,2	480	530	610	Пустынная
	0,05...0,1	560	610	690	»
Центральный Казахстан	0,4...0,5	230	290	390	Степная
	0,3...0,4	290	350	440	Сухостепная
	0,2...0,3	370	420	500	Полупустынная
Восточный Казахстан	0,5...0,6	180	240	340	Степная, лесостепная
	0,4...0,5	230	280	380	Степная
	0,3...0,4	290	350	440	Сухостепная
	0,2...0,3	360	410	500	Полупустынная
Северный Казахстан	0,5...0,6	180	240	340	Степная, лесостепная
	0,4...0,5	210	260	360	Степная
	0,3...0,4	270	330	420	Сухостепная

2.29. Оптимальная биоклиматическая оросительная норма на структурный гектар зернокормового севооборота в Поволжье при глубоком залегании грунтовых вод

Часть территории	Коэффициент увлажнения k_u	Оросительная норма нетто (мм) различной вероятности превышения (%)			Природная зона
		50	75	95	
Северо-западная часть Куйбышевской и Саратовской областей	0,5...0,6	190	260	350	Лесостепная
Центр Куйбышевской области, северо-запад Саратовской и Волгоградской областей	0,4...0,5	240	300	390	Степная
Юг Куйбышевской области, центр Саратовской и Волгоградской областей	0,3...0,4	320	370	460	Сухостепная
Восток Волгоградской, северо-запад Астраханской областей, центр Калмыцкой АССР	0,2...0,3	380	430	510	Полупустынная
Центр Астраханской области, восточная часть Калмыцкой АССР	<0,2	410	460	540	Пустынная

поверхностных способах полива на орошаемом поле вода теряется на просачивание за пределы корнеобитаемой зоны и на поверхностные сбросы. Обычно эти потери составляют 5. . .25 %. Кроме того, неизбежны потери воды в оросительной сети. Суммарные потери воды на внутрихозяйственных оросительных системах оцениваются коэффициентом полезного действия η, равным 0,75. . .0,8. Поэтому оросительную норму брутто M_{br} определяют по зависимости

$$M_{br} = M_{nt}/\eta. \qquad (2.34)$$

2.30. Оптимальная биоклиматическая оросительная норма на структурный гектар овощекормового севооборота в Центрально-Черноземном районе при глубоком залегании грунтовых вод

Административная область	Коэффициент увлажнения k_u	Оросительная норма нетто (мм) различной вероятности превышения (%)			Природная зона
		50	75	95	
Белгородская	0,5...0,7	170	230	330	Степная, лесостепная
Воронежская	0,4...0,7	190	250	350	» »
Курская	0,6...0,9	140	190	290	Лесостепная
Липецкая	0,6...0,8	160	210	320	»
Тамбовская	0,5...0,7	170	230	330	Степная, лесостепная

2.31. Оптимальные биоклиматические нормы сельскохозяйственных культур нетто (мм) в различных районах СССР
(данные В. П. Остапчика, УкрНИИГиМ)

Экономический район, союзная республика, АССР, край, область	Коэффициент увлажнения k_u	Вероятность превышения, %	Культуры						
			многолетние травы	зерновые колосовые	кукуруза	овощные	кормовые корнеплоды	картофель	однолетние травы
Северо-Западный экономический район (Ленинградская, Архангельская, Калининградская, Новгородская области, Коми АССР, Карельская АССР)	1,0...1,4	75	70...150	65...85	—	90...110	70...80	40...55	—
		95	90...205	95...110	—	130...150	95...110	60...77	—
Прибалтийский экономический район	1,1...1,4	75	100...180	—	—	90...110	—	—	—
		95	160...210	—	—	140...150	—	—	—
Белорусская ССР (Брестская, Витебская, Гомельская, Гродненская, Минская, Могилевская области)	1,1...1,2	75	130...160	—	—	120...145	—	90...120	—
		95	180...230	—	—	180...195	—	140...170	—
Украинская ССР									
Крымская и Херсонская области	0,3...0,4	75	420...500	140...180	250...350	390...420	330...420	200...260	—
		95	510...600	180...250	350...400	490...510	410...500	270...310	—
Днепропетровская, Донецкая, Запорожская, Николаевская, Одесская области	0,4...0,5	75	350...450	130...280	230...300	310...400	280...360	180...240	—
		95	450...550	180...230	280...400	440...500	360...400	240...310	—
Ворошиловградская, Харьковская, Полтавская, Сумская и другие области	0,4...0,8	75	240...400	110...160	200...250	280...360	150...250	120...220	—
		95	300...500	130...220	250...380	300...420	210...320	150...270	—
Винницкая, Хмельницкая, Тернопольская, Киевская, Ровенская, Львовская и другие области	0,8...1,1	75	110...210	70...110	80...130	140...190	120...150	120...140	—
		95	190...280	110...140	120...160	180...240	170...210	150...180	—
Молдавская ССР	0,5...0,8	75	350...400	130...180	200...300	—	300...350	—	—
		95	450...500	200...250	300...350	—	380...450	—	—

Продолжение

Экономический район, союзная республика, АССР, край, область	Коэффициент увлажнения k_u	Вероятность превышения, %	Культуры						
			многолетние травы	зерновые колосовые	кукуруза	овощные	кормовые корнеплоды	картофель	однолетние травы
Поволжский экономический район									
Саратовская, Куйбышевская, Астраханская области, Калмыцкая АССР	0,2...0,6	75	420...700	200...290	240...480	250...555	300...350	220...380	350...500
		95	500...750	250...350	300...560	310...620	400...460	260...460	450...550
Пензенская, Ульяновская области, Татарская АССР и др.	0,5...0,7	75	200...350	110...160	150...160	160...220	—	—	—
		95	230...450	130...200	180...200	210...290	—	—	—
Северо-Кавказский экономический район									
Ростовская область, Ставропольский край, Дагестанская АССР	0,3...0,5	75	510...530	220...240	310...360	—	400...450	—	—
		95	620...650	300...330	410...430	—	510...560	—	—
Краснодарский край, Северо-Осетинская АССР, Кабардино-Балкарская АССР, Чечено-Ингушская АССР	0,5...0,8	75	360...400	150...180	210...230	—	280...310	—	—
		95	470...520	210...240	290...320	—	380...410	—	—
Уральский экономический район									
Свердловская, Пермская области, Удмуртская АССР	0,9...1,2	75	140...170	70...85	—	120...160	130...150	80...100	90...100
		95	170...220	90...120	—	170...210	170...190	110...130	110...130

Продолжение

Экономический район, союзная республика, АССР, край, область	Коэффициент увлажнения, k_u	Вероятность превышения, %	Культуры						
			многолетние травы	зерновые колосовые	кукуруза	овощные	кормовые корнеплоды	картофель	однолетние травы
Курганская, Челябинская, Оренбургская области	0,3...0,7	75	290...340	140...180	—	240...320	220...280	170...240	200...270
		95	330...400	200...250	—	330...420	270...320	200...280	250...320
Западно-Сибирский экономический район	0,3...0,6	75	350...420	210...230	240...270	300...350	—	—	—
		95	450...520	250...320	340...380	380...470	—	—	—
	0,6...1,4	75	120...250	60...140	56...160	120...220	—	—	—
		95	250...380	150...240	180...270	160...300	—	—	—
Восточно-Сибирский экономический район	0,9...1,4	75	160...300	170...200	100...200	140...220	130...180	70...200	200...220
		95	200...340	200...220	140...240	170...240	170...210	90...220	220...260
Дальневосточный экономический район (Амурская область, Хабаровский, Приморский края, Магаданская, Сахалинская области)	1,0...1,4	75	120...180	100...150	—	100...120	120...150	—	130...150
		95	160...250	150...180	—	165...200	180...200	—	160...180

2.4. ПОЛИВНЫЕ НОРМЫ И СРОКИ ПОЛИВОВ

Поливная норма — объем воды, подаваемой на гектар орошаемой площади за один полив. Как и оросительную норму, ее измеряют в м³/га или мм слоя воды. Размер поливной нормы зависит от водно-физических свойств почвы, рельефа, культуры, способа и технологии полива.

Расчетное (как правило, предельное) значение поливной нормы можно определить по предложенной А. Н. Костяковым зависимости

$$m_{nt} = W_{FC} - W_{cr} = 10\gamma h_w (w_{FC} - w_{cr}), \qquad (2.35)$$

где m_{nt} — расчетная поливная норма, мм; W_{FC} — запасы влаги, соответствующие наименьшей влагоемкости расчетного слоя почвы, мм; W_{cr} — допустимые или фактические запасы влаги в том же слое, мм; h_w — расчетная глубина промачивания почвы, м; γ — объемная масса расчетного слоя почвы, т/м³ или г/см³; w_{FC}, w_{cr} — влажность почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости и допустимому порогу иссушения, % массы.

Согласно этой зависимости, поливную норму устанавливают исходя из условия доведения влажности в расчетном слое почвы до наименьшей влагоемкости.

При отсутствии фактических данных о водно-физических свойствах почвы пользуются справочниками.

Влажность w_{FC} песчаных и супесчаных почв, соответствующая наименьшей влагоемкости, находится в пределах 4. . .12 %, легкосуглинистых — в пределах 12. . .16, среднесуглинистых — 18. . .25 и тяжелосуглинистых — 24. . .30 % массы сухой почвы.

Допустимый порог иссушения почвы перед поливом в среднем составляет

$$w_{cr} = 0{,}5\,(w_{FC} + w_{PWP}), \qquad (2.36)$$

где w_{PWP} — влажность устойчивого завядания, % массы.

При отсутствии данных о влажности завядания критическую (предполивную) влажность почвы можно принимать в следующих пределах:

для песчаных и супесчаных	$w_{cr} = (0{,}55 \ldots 0{,}65)\ w_{FC}$
для легких и среднесуглинистых	$w_{cr} = (0{,}65 \ldots 0{,}75)\ w_{FC}$
для суглинистых и глинистых	$w_{cr} = (0{,}75 \ldots 0{,}8)\ w_{FC}$

Расчетный слой увлажнения почвы зависит от литологического строения зоны аэрации, гидрогеологических условий, мощности корневой системы растений, толщины мелкоземистого слоя почвы, способа полива и др. У большинства полевых культур (зерновых колосовых, кукурузы, технических) активная зона влагообмена к концу вегетации достигает 0,8. . .1 м, у многолетних трав — 1. . .1,2 м, картофеля и корнеплодов — 0,7. . .0,8 м, пастбищных травосмесей — 0,5. . .0,7 м, овощных — 0,4. . .0,6 м.

Динамика активного (корнеобитаемого) слоя почвы под различными сельскохозяйственными культурами на оптимально орошаемых полях в различных природных зонах показана в таблицах 2.20 и 2.21.

Применительно к поверхностному поливу при глубоком залегании грунтовых вод расчетный слой увлажнения почвы и размеры поливных норм для некоторых сельскохозяйственных культур приведены в таблице 2.32.

При других способах орошения (дождевание, подпочвенное, капельное) поливную норму определяют с учетом технико-эксплуатационных параметров технических средств и применяемой технологии полива.

При дождевании поливная норма дополнительно должна учитывать интенсивность и качество дождя, впитывающую способность почвы, рельеф и уклон поверхности. Так как необходимое качество и эффективность дождевания обеспечиваются только при достоковых поливных нормах, то при этом способе полива в отличие от поверхностного (гравитационного) поливная норма может быть меньше на тяжелых и больше на легких по механическому

2.32. Глубина увлажнения и размеры поливных норм нетто (мм) при поверхностном поливе

Культуры	Фаза развития	Расчетная глубина увлажнения, м	Механический состав почвы		
			легкий	средний	тяжелый
Зерновые	Кущение — колошение	0,5...0,7	50...70	60...80	70...90
	Колошение — молочно-восковая спелость	0,7...0,9	70...80	80...100	100...110
Кукуруза	До выметывания метелок	0,4...0,7	50...70	60...80	70...90
	Выметывание метелок — молочно-восковая спелость	0,7...0,9	70...80	80...100	100...110
Картофель	Всходы — начало цветения	0,3...0,5	40...50	50...60	60...70
	Цветение — отмирание ботвы	0,5...0,8	50...70	60...80	70...90
Сахарная свекла	Укоренение — развитие листьев	0,4...0,5	40...50	50...70	60...70
	Развитие листьев — нарастание корневого тела	0,5...0,8	50...70	60...90	70...100
	Период сахаронакопления	0,8...0,9	70...80	90...100	100...110
Многолетние травы 1-го года	Кущение — бутонизация	0,4...0,6	40...60	50...70	60...80
	Бутонизация — укос	0,6...0,8	60...70	70...90	80...100
	Цветение — после укоса	0,8...1,0	70...90	90...110	110...120
Многолетние травы прошлых лет	В течение вегетации	0,8...1,2	80...90	90...120	120...130
Овощные (капуста, томаты, огурцы, лук)	Всходы (высадка) — цветение	0,2...0,3	20...30	30...40	40...50
	Цветение — созревание	0,3...0,4	30...40	40...50	50...60
	Съемная спелость — уборка	0,4...0,5	40...50	50...60	60...70
Пастбища	В течение вегетации	0,5...0,7	50...60	60...80	70...90

составу почвах. Следовательно, режим орошения дождеванием должен базироваться на технологически возможных поливных нормах.

Во всех случаях технологическая норма полива не должна превышать достоковую (эрозионно допустимую) норму (мм), которую можно установить по зависимости, предложенной Н. С. Ерховым:

$$m = k_v I/(\sqrt{\rho}\, e^{-0,5d}), \qquad (2.37)$$

где k_v — показатель, характеризующий впитывающую способность почвы, мм

Проницаемость почвы	Слабая и очень слабая	Средняя	Хорошая	Сильная и очень сильная
k_v	<30	30...60	60...90	>90

ρ — интенсивность дождя, мм/мин; e — основание натурального логарифма; d — средний диаметр капель дождя, мм.

Если достоковая (технологическая) поливная норма получается меньше расчетной (по зависимости А. Н. Костякова), то расчетная норма должна быть реализована за несколько приемов технологическими нормами, не превышающими достоковую.

При поливах неизбежны потери воды на поле. Поэтому к полученной по расчету норме необходимо вводить поправочный коэффициент. При поливе дождеванием потери воды на испарение (в воздухе, с поверхности растительности и почвы) в различных климатических зонах достигают летом 6. . .25 %, а при поверхностных поливах потери на фильтрацию за пределы корнеобитаемой зоны и поверхностные сбросы — 15. . .25 % (табл. 2.33).

2.33. Примерные значения коэффициента k_{cet}, учитывающего потери оросительной воды на поле при поверхностных способах полива и дождевании

Условия проведения полива	Полив по бороздам и полосам		Полив дождеванием	
	без арматуры	с арматурой	из открытых каналов	из закрытых трубопроводов
Хорошие (хорошая спланированность поля, уклоны оптимальные, рельеф спокойный, почвы средней водопроницаемости)	1,15...1,2	1,1...1,15	1,15...1,2	1,1...1,15
Средние (недостаточная спланированность, уклоны средние, рельеф спокойный, водопроницаемость почв выше и ниже средней)	1,25...1,3	1,2...1,25	1,2...1,25	1,1...1,2
Сложные (неудовлетворительная спланированность, уклоны большие или малые, рельеф сложный, почвы высокой и очень низкой водопроницаемости)	1,3...1,35	1,25...1,3	1,25...1,3	1,15...1,25

2.34. Ориентировочные нормы влагозарядки, мм

Культуры	Механический состав почв		
	легкий	средний	тяжелый
Зерновые колосовые	100...120	120...150	140...160
Сахарная свекла	80...100	110...140	130...150
Многолетние травы	100...120	120...160	160...180
Сады, виноградники	100...140	120...160	160...180
Кукуруза	80...100	100...120	120...140
Овощные, картофель	60...80	70...90	80...100

Фактическую поливную норму, которую необходимо подать на поле с учетом способа и техники полива, определяют по зависимости

$$m_{act} = mk_{cer}, \qquad (2.38)$$

где m — расчетная поливная норма; k_{cer} — поправочный коэффициент.

Вегетационные поливные нормы в гумидной зоне (лесолуговой, лесостепной) обычно меньше, чем в аридной (степной, полупустынной и пустынной). Однако следует иметь в виду, что при поливах небольшими нормами (150. . . 200 м³/га) не всегда достигается нужный почвоувлажнительный эффект и резко снижается (особенно в аридной зоне) продуктивность использования оросительной воды.

Для культур зернокормового севооборота оптимальные поливные нормы (м³/га) по природным зонам изменяются в следующих диапазонах (при поливе дождеванием): лесолуговая 200. . .300; лесостепная 300. . .400; степная 300. . .500; полупустынная 400. . .600; пустынная 500. . .800.

В аридной зоне для создания необходимых запасов влаги к началу вегетации проводят влагозарядковые поливы. Норму влагозарядкового полива устанавливают из условия доведения влажности в расчетном слое почвы до наименьшей влагоемкости. Так как глубина распространения корней у растений и водоудерживающая способность почв изменяются в широких пределах, то и норма влагозарядки меняется от 60 до 180 мм (табл. 2.34).

Нормы предпосевных, приживочных, освежительных, противозаморозковых, удобрительных и других поливов специального назначения определяют, исходя из конкретных условий и требований производства.

2.5. СРОКИ И ЧАСТОТА ПОЛИВОВ

При определении проектного и эксплуатационного режимов орошения сроки поливов и длительность межполивных периодов можно рассчитывать графоаналитическим способом по интегральной кривой дефицита водопотребления, которую строят по декадным значениям дефицита водопотребления, соответствующим году выбранной вероятности превышения. Декадные значения дефицитов водопотребления можно получить, зная оросительную норму расчетной вероятности превышения и ее внутрисезонное распределение.

По декадным дефицитам водопотребления интегральную кривую строят в системе координатных осей, где по оси ординат откладывают дефициты, а по оси абсцисс — календарное время (рис. 2.3). Точка пересечения интегральной кривой с календарной осью является средней датой проведения первого полива (началом оросительного сезона), так как именно в этот момент влажность в расчетном слое почвы достигает нижнего порога предполивной влажности. Если на перпендикуляре из точки пересечения интегральной кривой с календарной осью отложить поливные нормы, соответствующие расчетным глубинам увлажнения, а через их вершины провести горизонтальные линии до пересечения с интегральной кривой и спроектировать эти точки на кален-

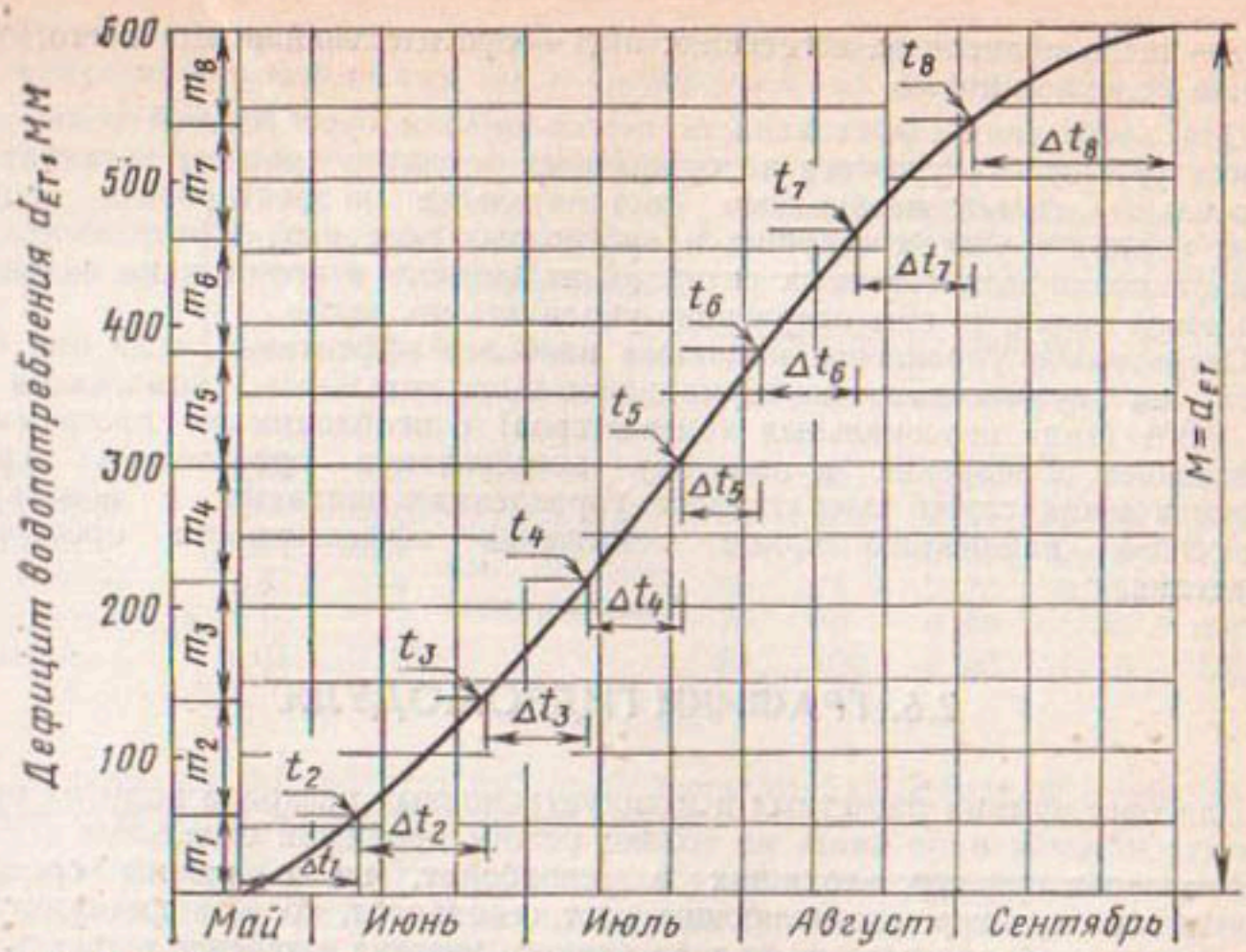


Рис. 2.3. Графоаналитический расчет режима орошения сахарной свеклы: m — поливная норма, мм; Δt — межполивной период в днях; t — средняя дата полива; M — оросительная норма, мм

дарную ось, то это и будут средние даты всех последующих поливов. Число суток между смежными датами полива составит межполивной период (рис. 2.3).

Параметры поливного режима, полученные по интегральной кривой дефицита водопотребления, сводят в ведомость, форму которой разрабатывают с учетом поставленной задачи. Обычно в такой ведомости показывают номера поливов, размеры поливных норм, сроки поливов (начало, конец и среднюю дату) и длительность межполивных периодов.

Межполивной период — промежуток времени между двумя следующими один за другим поливами.

Связь между поливной нормой и длительностью межполивного интервала выражается уравнением

$$\Delta t = (m_{nt} + P\alpha + W_a)/ET_d, \qquad (2.39)$$

где Δt — межполивной период, сут; m_{nt} — поливная норма нетто; P — атмосферные осадки за период ΔT (фактические или прогнозные); α — коэффициент использования осадков; W_a — запасы почвенной влаги в расчетном слое почвы сверх критических на момент полива; ET_d — суточное испарение влаги полем (фактическое или прогнозное) за период ΔT.

Если за рассматриваемый период имеется капиллярное подпитывание зоны аэрации, то межполивной период может увеличиться

$$\Delta t = (m_m + P\alpha + W_a)/[ET\,(1 - k_{gr})], \qquad (2.40)$$

где k_{gr} — коэффициент использования грунтовых вод (см. табл. 2.19).

Таким образом, частота поливов культуры зависит от размера поливной нормы, глубины залегания грунтовых вод, количества выпадающих атмосферных осадков и интенсивности суммарного испарения (водопотребления) орошаемым полем.

Количество поливов культуры за вегетацию определяется размерами оросительной и поливной норм

$$n = M_{nt}/m_m, \qquad (2.41)$$

где n — число поливов за вегетацию; $M_{нт}$ — оросительная норма нетто; m_m — средняя поливная норма.

Для повышения эффективности использования оросительной воды и получения устойчивых урожаев на орошаемых землях в процессе эксплуатации оросительных систем необходимо систематически корректировать сроки и нормы полива с учетом текущих и прогнозных погодных, агротехнических и организационно-хозяйственных ситуаций на системе в целом и на отдельных орошаемых полях, то есть оперативно управлять поливами.

Оперативное управление поливами наиболее эффективно, если оно базируется на применении информационно-вычислительных комплексов на базе ЭВМ (типа персональных компьютеров) с необходимым программным обеспечением. Внедрение в практику эксплуатации оросительных систем технологических служб оперативного управления поливами с использованием ЭВМ — важнейший прием повышения эффективности орошаемого земледелия.

2.6. ГРАФИКИ ГИДРОМОДУЛЯ

Для определения расчетных и эксплуатационных расходов воды на оросительных системах надо знать не только режим орошения отдельных сельскохозяйственных культур, входящих в севооборот, но и режим орошения совокупности культур, составляющих этот севооборот, то есть динамику расходов воды, необходимых для полива данного участка в течение вегетационного периода. Для этой цели используют гидромодуль.

Гидромодуль — расход воды, подаваемой на гектар орошаемой площади в единицу времени, выражается в л/(с·га).

Гидромодуль каждой из культур, размещенных на орошаемом участке, определяют по уравнению

$$q=\alpha m_{нт}/86{,}4t, \qquad (2.42)$$

где α — доля площади, занятой данной культурой в севообороте; $m_{нт}$ — поливная норма нетто, м³/га; t — продолжительность полива, сут.

Гидромодуль совокупности культур определяют суммированием гидромодулей одновременно поливаемых культур. Суммирование по предложению А. Н. Костякова обычно осуществляют графически — построением графика гидромодуля на основе таблиц режимов орошения сельскохозяйственных культур. Как правило, для такого (неукомплектованного) графика характерны резкие колебания ординат (пики, провалы). Если воду подают в соответствии с этим графиком, то организация и проведение поливов, использование поливной и сельскохозяйственной техники, эксплуатация оросительной сети и сооружений на ней будут усложнены.

Для выравнивания режима подачи воды на орошаемый участок проводят укомплектование графика гидромодуля с таким расчетом, чтобы коэффициент неравномерности удельной водоподачи во времени был минимальным. Ординаты графика гидромодуля выравнивают, смещая сроки и изменяя продолжительность полива.

Практическое назначение укомплектованного графика гидромодуля состоит в установлении максимального гидромодуля и определении расчетного расхода воды для орошаемого севооборотного участка, на основании которого определяют параметры каналов и сооружений на оросительной сети.

Биоклиматический метод установления режимов орошения сельскохозяйственных культур позволяет не заниматься сложным и трудоемким построением графиков гидромодуля.

Зная размеры среднесуточных дефицитов водопотребления за расчетные периоды, можно установить удельную потребность в оросительной воде (удельный расход) по уравнению

$$q=d_{ET}/86{,}4, \qquad (2.43)$$

2.35. Удельная потребность в оросительной воде для различных природно-климатических зон в среднесухой год (вероятность превышения $P=75...80\%$)

Природные зоны	Коэффициент увлажнения k_u	Севообороты	Расчетная потребность в оросительной воде (нетто)		Оросительная норма, м³/га
			м³/(га·сут)	л/(с·га)	
Лесная	0,86...1,2	Зернокормовые и овощекормовые	30...35	0,35...0,4	1200
Лесостепная	0,51...0,86		35...50	0,41...0,55	2100
Степная	0,41...0,5		45...60	0,50...0,70	3100
Сухостепная	0,31...0,4		60...75	0,70...0,85	4000
Полупустынная	0,19...0,3		70...90	0,80...1,05	4800
Пустынная	0,05...0,18		80...100	0,90...1,15	5600

где q — удельная потребность культуры в оросительной воде, л/(с·га); d_{ET} — дефицит суточного водопотребления, м³/га.

Удельную потребность в оросительной воде всего севооборотного участка в каждый момент времени можно определить суммированием дефицитов водопотребления отдельных культур с учетом их долевого участия в севообороте

$$q_m=(\alpha_1 d_{(ET)_1}+\alpha_2 d_{(ET)_2}+\ldots+\alpha_n d_{(ET)_n}/86{,}4, \qquad (2.44)$$

где α_1, α_2, ..., α_n — доли участия культур в севообороте; $d_{(ET)_1}$, $d_{(ET)_2}$, ..., $d_{(ET)_n}$ — дефициты суточного водопотребления отдельных культур, м³/га.

Для определения расчетного значения удельной потребности севооборота в оросительной воде нужно найти максимальное значение суточного дефицита водопотребления для совокупности культур в севообороте и разделить его на

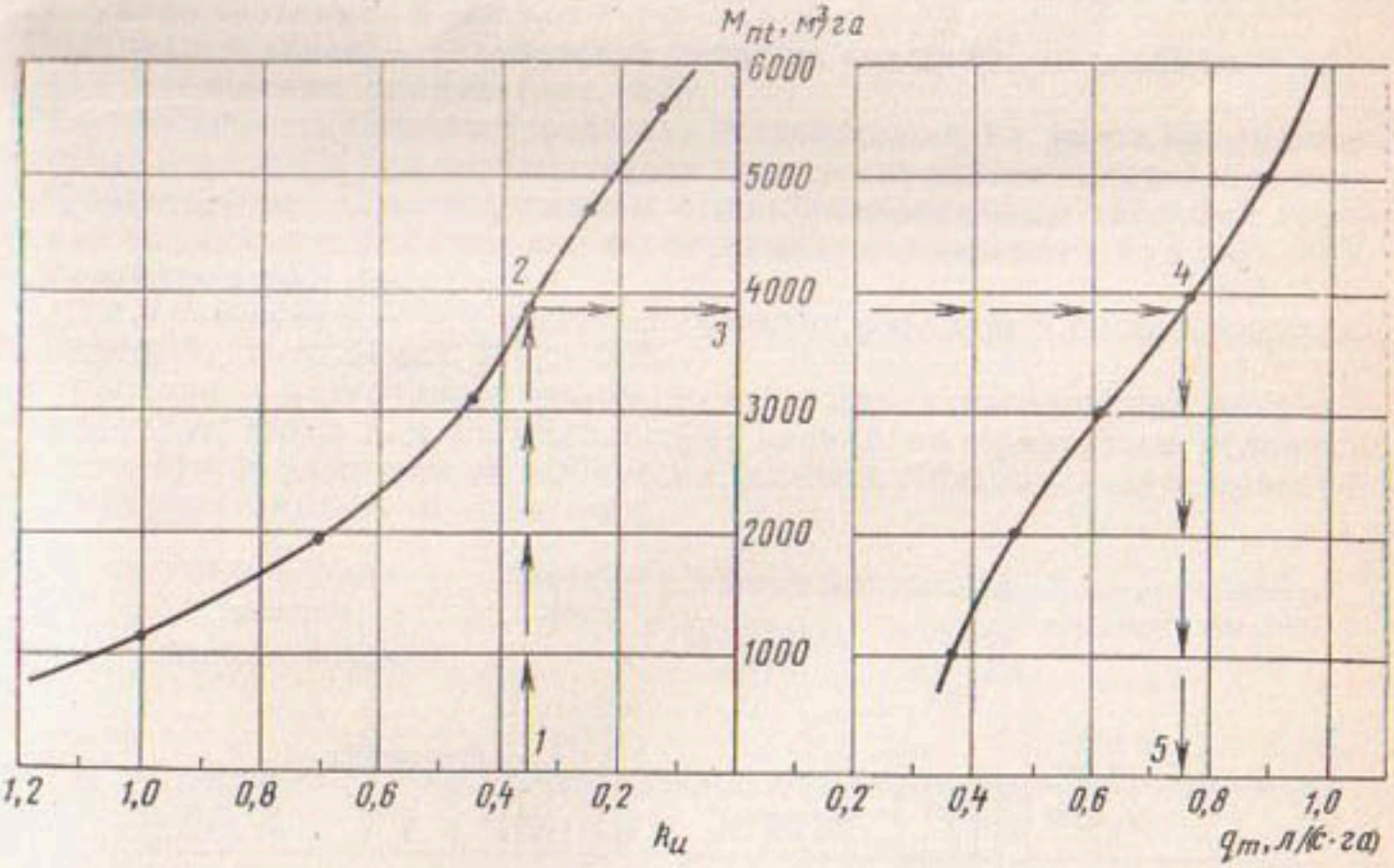


Рис. 2.4. Номограмма, характеризующая зависимость между коэффициентом увлажнения территории k_u, средней для зернокормового севооборота оросительной нормой M_{nt} и средней для севооборота ординатой гидромодуля q_m (для среднесухого года с вероятностью превышения $P=75...80$ %)

переводной коэффициент

$$q = d_{max}/86{,}4, \qquad (2.45)$$

где q — расчетная удельная потребность севооборота в оросительной воде, л/(с·га); d_{max} — максимальный суточный дефицит водопотребления севооборота, м³/га.

Расчетный расход нетто (л/с) для севооборотного участка определяют умножением максимальной удельной потребности в оросительной воде на площадь

$$Q_{nt} = qA = d_{max}A/86{,}4, \qquad (2.46)$$

где A — площадь севооборота, га.

Ориентировочные значения расчетных ординат гидромодуля для различных природно-климатических зон приведены в таблице 2.35 и на рисунке 2.4.

Глава 3. СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ И ПОЛИВНАЯ ТЕХНИКА

3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ОРОШЕНИЯ И ПОЛИВНОЙ ТЕХНИКИ

Способ орошения — комплекс мер и приемов распределения воды на поливном участке и превращения водного потока в почвенную и атмосферную влагу.

Различают следующие способы орошения (рис. 3.1):

поверхностное — распределение воды по поверхности земли с помощью борозд, полос или затоплением чеков;

дождевание — создание искусственного дождя;

аэрозольное увлажнение (мелкодисперсное дождевание) — распыление мельчайших капель воды для регулирования температуры и влажности приземного слоя воздуха над полем;

подпочвенное (внутрипочвенное) — подача воды непосредственно в корнеобитаемую зону почвы по увлажнителям или путем подъема уровня почвенно-грунтовых вод;

капельное — локальное орошение с помощью микроводовыпусков, поливных капельниц.

Полив — однократное искусственное увлажнение почвы и (или) приземного слоя атмосферы.

Техника полива — параметры технологии проведения полива (длина борозд, полос, расходы, дальность полета дождевальной струи, расстояния между увлажнителями и др.).

Поливная техника — технические средства (машины, механизмы и орудия) для проведения полива (рис. 3.2).

Разработаны технические средства, позволяющие на протяжении вегетационного периода (а при необходимости и в течение одного полива) изменять способ подачи воды. Созданы машины с комбинированными рабочими органами для полива дождеванием или по бороздам, дождеванием или аэрозольным увлажнением и др.

Основное назначение и условия применения различных способов орошения приведены в таблицах 3.1 и 3.2.

В районах неустойчивого увлажнения, когда использование местного поверхностного стока для регулярного орошения по природным условиям технически невозможно или экономически нецелесообразно, следует проектировать системы лиманного орошения.

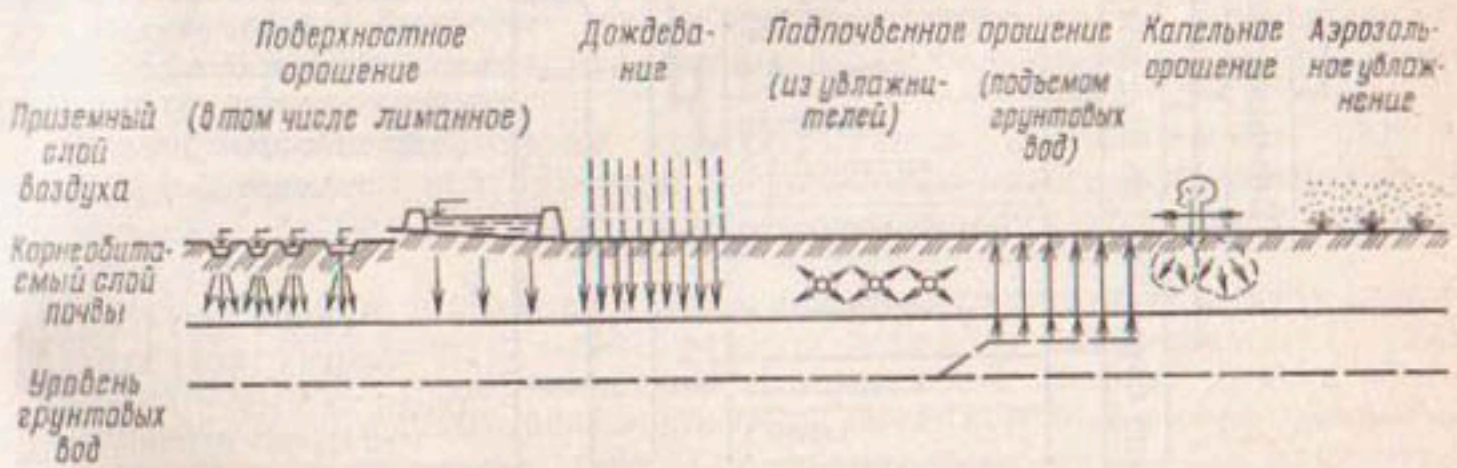


Рис. 3.1. Способы орошения

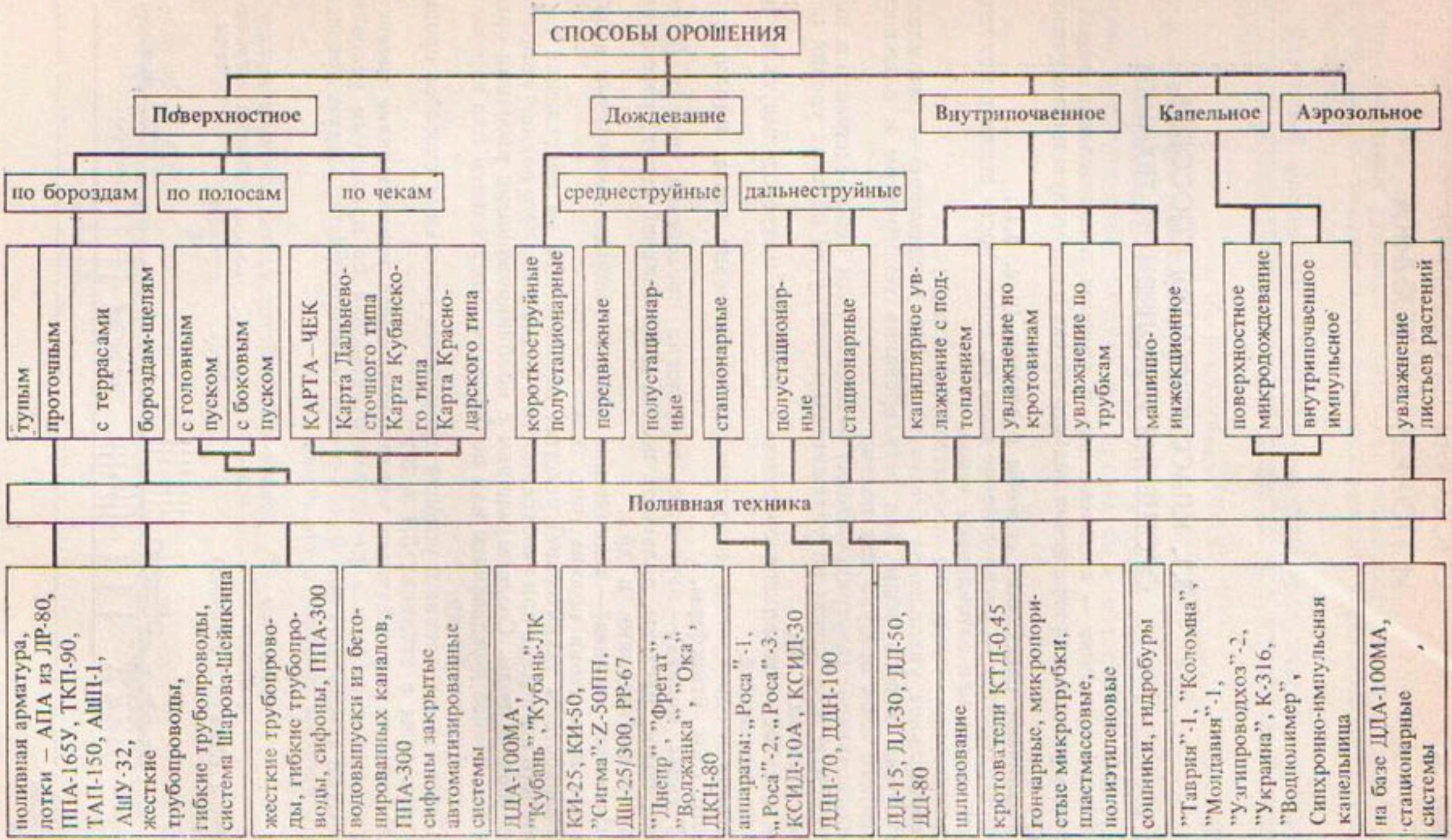


Рис. 3.2. Способы орошения и поливная техника

3.1. Основное назначение различных способов орошения

Способ орошения	Увлажнение почвы	Увлажнение воздуха	Влагозарядка	Промывка от солей	Внесение удобрений	Орошение сточными водами	Терморегуляционное увлажнение растений	Провокационные поливы для роста сорняков
Дождевание	+	×	×	−	×	×	−	−
Поверхностное	+	−	−	−	+	+	−	+
Подпочвенное	+	−	−	−	×	+	−	+
Капельное	+	−	−	−	+	+	−	+
Аэрозольное	−	+	−	−	−	−	+	−

Примечание. «+» — обеспечивает; «—» — не обеспечивает; «×» — частично обеспечивает.

3.2. Условия применения различных способов орошения в неблагоприятных природно-климатических условиях

Способ орошения	Засоленные почвы	Легкие песчаные почвы	Тяжелые почвы	Сложный рельеф	Большие уклоны	Близко расположенные минерализованные воды	Дефицит водных ресурсов	Минерализованная поливная вода	Сильный ветер
Дождевание	−	+	×	+	+	+	+	−	×
Поверхностное	+	×	+	×	×	×	×	×	+
Подпочвенное	−	×	×	×	+	−	+	−	+
Капельное	−	×	+	+	+	−	+	−	+
Аэрозольное	+	+	+	+	+	+	+	−	+

Примечание. «+» — применимо; «—» — неприменимо; «×» — частично применимо.

3.2. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ ОРОШЕНИЯ И ПОЛИВНОЙ ТЕХНИКИ

При выборе способа орошения и поливной техники необходимо учитывать климатические, почвенные, геоморфологические, гидрологические, биологические, хозяйственные, водохозяйственные, экономические и другие факторы.

Климатические факторы: увлажненность территории, испаряемость, температура и влажность воздуха, ветровой режим (скорость и направление ветра).

Увлажненность территории характеризуется коэффициентом увлажнения k_u и дефицитом испаряемости D, разностью между испаряемостью за вегетационный период E и продуктивно используемыми осадками P, то есть $D=ET-P$.

Способ орошения и техника полива должны обеспечивать подачу оросительной воды, выраженную слоем, равную дефициту испаряемости D или превышающую его в самый напряженный поливной период, то есть $h \geqslant D$.

При дождевании существенное значение имеет ветровой режим: скорость, повторяемость, длительность (табл. 3.3), направление ветра. Для различных видов поливной техники следует принимать следующие предельные значения

3.3. Длительность периода (%) со скоростью ветра выше допустимой для различных дождевальных машин

Почвенно-биоклиматическая область (природная зона)	Дождевальные машины		
	типа ДДН-70, ДДН-100, ДШ-10, ДДС-30	типа «Ока», «Волжанка», «Днепр», «Фрегат», КИ-50	типа «Кубань», ДДА-100МА
Лесная (южно-таежная, лиственно-лесная, лугово-лесная)	39 / 34	17 / 15	6 / 3
Лесостепная	44 / 39	23 / 16	10 / 6
Степная	43 / 42	21 / 17	10 / 7
Сухостепная	49 / 48	25 / 22	12 / 9
Полупустынная, пустынная	53 / 52	28 / 27	12 / 12

Примечание. В числителе — за вегетационный период, в знаменателе — за критический период водопотребления (июль).

скорости ветра (м/с): для дальнеструйных дождевальных машин — до 2. . . 2,5; для среднеструйных — до 5; для короткоструйных — 6. . .7; для консольных и многоопорных — до 8. . .10.

Вероятность превышения скорости ветра за вегетационный период для среднесухого года можно определять по таблице 3.4.

Почвенные факторы: гранулометрический состав, влагоемкость, водопроницаемость, степень засоления, мощность почвенного покрова и устойчивость почв против водной эрозии.

Водопроницаемость почвы определяют опытным путем или же оценивают по ее механическому составу, наименьшей влагоемкости и скорости впитывания за первый час (табл. 3.5).

3.4. Вероятность превышения P (%) скорости ветра за вегетационный период для среднесухого года

Почвенно-биоклиматическая область	Скорость ветра по градациям, м/с				
	до 3	до 5	до 7	до 9	свыше 9
Лесная	61 / 66	83,0 / 81,4	94,2 / 96,7	96,7 / 98,4	3,3 / 2,7
Лесостепная	55,5 / 61,2	77,2 / 83,5	88,6 / 93,8	94,6 / 97,4	5,4 / 2,6
Степная	57,1 / 57,6	78,8 / 83,2	92,0 / 93,3	96,2 / 97,2	3,8 / 2,8
Сухостепная	50,6 / 51,8	75,3 / 77,3	88,2 / 90,8	94,4 / 95,2	5,6 / 4,8
Полупустынная	47,0 / 47,5	71,8 / 72,9	88,4 / 87,9	95,7 / 95,2	4,3 / 4,8

Примечание. В числителе — за вегетационный период, в знаменателе — за критический период водопотребления (июль).

3.5. Водопроницаемость почв

Почвы	Наименьшая влагоемкость, %	Скорость впитывания в первый час, см/ч	Водопроницаемость
Песчаные, супесчаные	4...12	Более 15	Высокая
Легкосуглинистые	12...18	15...5	Средняя
Среднесуглинистые	18...25	Менее 5	Низкая
Тяжелосуглинистые, глинистые	25...30	Менее 5	»

В зависимости от водопроницаемости почвы ориентировочно можно выбрать следующие способы орошения:

Водопроницаемость	Способ
Высокая	Дождевание интенсивностью дождя до 0,5...0,8 мм/мин
Средняя	Дождевание интенсивностью дождя до 0,2... 0,3 мм/мин; полив по бороздам длиной 150...250 мм, по полосам
Низкая	Дождевание интенсивностью дождя до 0,1... 0,2 мм/мин; полив по бороздам длиной 350 м и более, по бороздам-щелям, затоплением (по чекам), по полосам

Степень засоления почв также влияет на способ орошения и состав мелиоративных мероприятий (табл. 3.6).

Оптимальное условие применения дождевальных машин — это соответствие между скоростью впитывания в почву и интенсивностью искусственного дождя. Допустимая интенсивность дождя (без стока и образования луж при заданной поливной норме) составляет для тяжелых почв 0,1...0,2 мм/мин, средних — 0,2...0,3, легких — 0,5...0,8 мм/мин.

Коэффициент фильтрации k почвогрунтов (скорость просачивания через почвогрунт) определяет выбор типа оросительной сети и дождевальной техники. Различные по гранулометрическому составу почвы имеют следующие значения k: глинистые — 0,09...0,12; суглинистые—0,12...0,27; супесчаные и песчаные — 0,27...0,55.

При выборе дождевальных машин необходимо учитывать устойчивость почв от заплывания вследствие ударной силы капель; на легкозаплывающих

3.6. Зависимость способа орошения от степени засоления почв

Почвы	Плотный остаток, %	Способ орошения	Мероприятия
Незасоленные	<0,3	Дождевание	—
Слабозасоленные	0,3...0,5	»	—
Среднезасоленные	0,5...1,0	Поверхностное	Промывные поливы
Сильнозасоленные	1,0...1,2	»	Промывные поливы на фоне дренажа
Очень сильнозасоленные	2,0...3,0	»	Капитальные промывки
Солончаки	>3,0	»	Капитальные промывки, агротехнические мероприятия

3.7. Интенсивность эрозионного процесса в зависимости от уклона и коэффициента горизонтального расчленения

Уклон поверхности земли	Коэффициент горизонтального расчленения	Интенсивность эрозионного процесса
0...0,02	0...0,5	Очень слабая
0,02...0,05	0,6...1,0	Слабая
0,05...0,08	1,1...1,2	Умеренная
0,08...0,1	1,3...1,5	Значительная
Более 0,1	>1,6	Сильная

Примечание. Коэффициент горизонтального расчленения — отношение длины горизонтали к прямой, соединяющей ее концы.

почвах применение дальнеструйных машин недопустимо. При орошении маломощных почв, подстилаемых галечником, и щебнистых почв целесообразно дождевание.

Геоморфологические факторы, которые влияют на расположение оросительной сети (открытой, закрытой) и выбор техники полива; уклон поверхности земли и протяженность склонов.

При выборе дождевальной техники допустимый уклон следует устанавливать в соответствии с технологическими параметрами машины; при поверхностных способах полива необходимо руководствоваться нормативными рекомендациями.

При назначении способов орошения и подборе поливной техники необходимо учитывать возможность возникновения ирригационной эрозии. Потенциальная опасность эрозии зависит от крутизны и длины склонов (табл. 3.7).

Степень подверженности эрозии различных почв зависит от их вида. По степени противоэрозионной устойчивости типы почв располагаются в следующем порядке: карбонатные черноземы (наиболее устойчивые), южные черноземы, темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые. Оценка эрозионной устойчивости сельскохозяйственных угодий дана в таблице 3.8.

3.8. Эрозионная устойчивость полей, занятых сельскохозяйственными культурами и парами

Культуры, угодья	Балл оценки	Эрозионная характеристика
Многолетние травы	0,1...0,4	Устойчивы
Зерновые	0,4...0,5	Умеренно эрозионны
Пропашные (включая кукурузу)	0,5...0,8	Эрозионно опасны
Пары	1,0	Очень эрозионно опасны

Наименьший объем планировочных работ требуется на полях, поливаемых дождеванием, наибольший — при устройстве затопляемых чеков.

Гидрологические факторы: глубина залегания и минерализация грунтовых вод, степень дренированности территории.

По степени минерализации (сухой остаток) грунтовые воды делятся следующим образом:

Минерализация грунтовых вод	Пресные	Солоноватые	Слабосоленые	Соленые	Сильносоленые
Сухой остаток, г/л	1,0	1...3	5...10	10...30	Более 30

Наиболее эффективно	Возможно на фоне промывок	Применять не следует
Залегание пресных грунтовых вод на глубине до 1,5...2 м	Залегание грунтовых вод на глубине около 2 м при наличии их оттока	Залегание слабозасоленных грунтовых вод на глубине до 3 м при малой их отточности

При выборе способа орошения можно пользоваться данными таблицы 3.9.

Биологические факторы: требования культур к режиму орошения, характер развития растений, технология их выращивания. Высота наземной части растений определяет средства механизации при поверхностном орошении, аэрозольном увлажнении и дождевании.

Дождевальная техника	«Волжанка», «Ока»	ДДА-100МА	«Фрегат», «Днепр»	«Кубань», дождевальные шлейфы
Высота растений, м	До 1,1	До 2,0	До 2,5	До 4,0

Дождевание наиболее целесообразно для сельскохозяйственных культур с корневой системой, проникающей на небольшую глубину (овощные). Для культур, корневая система которых расположена в глубоких слоях почвы, дождевание эффективно лишь при достаточных запасах влаги, создаваемых за счет осадков и влагозарядковых поливов, проводимых до посева.

Хозяйственные факторы: размещение и специализация сельскохозяйственного производства, севообороты (размер полей и виды севооборотов, организация территории, конфигурация участков орошения).

При выборе дождевальной техники имеют значение размер и конфигурация полей, которые по зонам изменяются в очень широких пределах.

Дождевальные и поливные машины (в основном по ширине захвата и длине гона) подбирают с учетом организации территории (размещение дорог, лесополос, линий электропередачи и др.), а также конфигурации полей, если в процессе строительства оросительной системы нельзя изменить их границы.

Водохозяйственные факторы: водообеспеченность оросительной системы, коэффициенты использования воды, земельного использования и полезного действия, командование в точках водозабора, качество, температура и минерализация оросительной воды. В районах с дефицитом водных ресурсов предпочтение следует отдавать дождеванию в сочетании с закрытой оросительной сетью и подпочвенному орошению. Качество оросительной воды (мутность и крупность наносов) может лимитировать применение дождевальных машин и систем капельного орошения, так как наличие большого количества примесей приводит к засорению дождевальных аппаратов и капельниц и выходу их из строя. Необходимо учитывать температурный режим оросительной воды; например, при поливе дождеванием холодной водой

3.9. Выбор способа орошения в зависимости от гидрогеологических условий

Минерализация грунтовых вод, г/л	Критическая глубина залегания грунтовых вод, м	Способ орошения
1,5...3,0	1,5...2,2	Дождевание
3,0...5,0	2,2...3,0	Дождевание, комбинированные поливы
5,0...7,0	3,0...3,5	Поверхностное орошение

3.10. Основные условия, определяющие выбор поливной техники в зависимо

Поливная техника	Климатические		Почвенные		Геоморфо
	дефицит испаряемости, тыс. м³/га	скорость ветра, м/с	скорость впитывания за первый час, м/ч	глубина почвенной толщи, м	оптимальные уклоны
					Поверхност
Поливная арматура с забором воды из каналов, лотков (борозды, полосы)	5...10	Не влияет	До 15	0,8...1,5	0,001... 0,004
Передвижные колесные трубопроводы (борозды, полосы)	5...10	То же	До 10	0,5...1,5	0,001... 0,03
Поливные шланговые машины типа ППА-165У (борозды)	5...10	»	До 5	0,5...1,5	0,002... 0,006
Поливные передвижные агрегаты (полосы, чеки)	5...10	»	До 10	0,8...1,5	0... 0,002
Автоматическое шланговое устройство (борозды)	5...10	»	До 15	1,0	0... 0,03
Поливные двухконсольные машины с забором воды из каналов (борозды, полосы)	5...6	До 6	5...15	0,5...1,0	0,001... 0,002
Закрытые перфорированные трубопроводы (борозды)	5...10	Не влияет	До 5	0,8...1,5	0,002... 0,01
Стационарная автоматизированная система с надземной распределительной сетью из лотков (борозды, полосы)	5...10	То же	До 5	0,8...1,5	0,004... 0,03
					Дожде
Короткоструйные и среднеструйные установки типа КИ-50	1...3	До 5	15...30	0,5	0,01... 0,03
Двухконсольные дождевальные агрегаты с забором воды из открытой оросительной сети (типа ДДА-100МА)	1...5	До 6	10...30	0,5...1,5	0,001... 0,002
Широкозахватные дождевальные машины типа «Волжанка», «Ока», «Днепр»	2...5	До 5	5...30	0,5	0...0,02
Широкозахватные дождевальные машины, работающие по кругу (типа «Фрегат»)	2...5	До 8	5...30	0,5	0...0,03
Электрифицированная многоопорная дождевальная машина фронтального действия с забором воды в движении из открытого канала (типа «Кубань»)	3...6	До 8	5...30	0,5	0,0001... 0,01

сти от природохозяйственных факторов

логические	Гидрогеологические		Биологические		Водохозяйственные		
условный объем планировочных работ ($м^3$/га), определяемый сложностью рельефа	Допустимая глубина залегания пресных (числитель) и соленых (знаменатель) грунтовых вод, м	допустимая минерализация грунтовых вод, г/л	предельная высота надземной части растений, м	поливная норма, мм	обеспеченность водой (отношение стока водоисточника за вегетацию к требуемой водоподаче)	ордината гидромодуля, л/(с·га)	удельная площадь поливаемых земель на одного рабочего, га
ные поливы							
0...700	3/5	До 3...5	—	60...120	2...10	0,8...1,0	До 2
0...500	3/5	До 3...5	—	60...120	2...10	0,7...1,0	До 5
0...200	3/5	До 3...5	—	60...120	2...10	0,7...1,0	До 5
0...500	3/5	До 3...5	—	60...140	2...10	0,7...1,0	До 10
0...300	3/5	До 3...5	—	60...100	1...10	0,6...1,0	До 10
0...300	3/5	До 3...5	2	40...100	2...10	0,5...1,0	До 5
0...200	3/5	До 3...5	—	60...120	1...10	0,7...1,0	До 20
0...700	3/5	До 3...5	—	60...120	1...10	0,7...1,0	До 20
вание							
0...300	1,5/3	1,5...3	4	20...60	1...10	0,2...0,6	До 1
0...300	1,5/3	1,5...3	2	20...60	2...10	0,2...0,8	До 5
0...300	1,5/3	1,5...3	1,1	20...60	1...10	0,2...0,7	До 15
0...500	1,5/3	1,5...3	2,5	20...80	1...10	0,4...0,9	До 20
0...500	1,5/3	1,5...3	4,0	50...70	1...10	0,7...0,9	До 20

Поливная техника	Климатические		Почвенные		Геоморфо
	дефицит испаряемости, тыс. м³/га	скорость ветра, м/с	скорость впитывания за первый час, м/ч	глубина почвенной толщи, м	оптимальные уклоны
Дальнеструйные дождевальные машины с забором воды из трубопроводов или шлангов (типа ДДН-70, ДДН-100, ДДС-30)	1...2,5	До 2,5	10...30	0,5	0,01... 0,06
Дождевальные шлейфы типа ШД 25-300	2...5	До 4	10...30	0,5	0,07
Стационарные автоматизированные дождевальные системы	2...5	До 4	10...30	0,3	0,015... 0,05
Стационарные системы импульсного дождевания	2...5	До 5	До 30	0,3	0...0,5
Системы аэрозольного увлажнения	2...5	До 6	1...30	0,3	0,003
Подпочвен					
Стационарные системы подпочвенного орошения	2...10	—	10...30	1,0...1,5	0,002... 0,015
Стационарные системы капельного орошения	5...10	—	5...20	1,0...1,5	0... 0,003
Комбинирован					
Двухконсольные дождевально-поливные машины, работающие в движении и позиционно с забором воды из каналов	4...10	До 6	1...20	0,8	0,004
Лиманное					
Системы лиманного орошения	3...6	—	1...5	1,0...1,5	0... 0,002

($t<10$ °С) урожайность всех культур несколько ниже, а при поливе сбросными водами ТЭЦ, АЭС, ГРЭС — выше, чем при поливе обычной водой. Орошение минерализованными водами целесообразно проводить поверхностным способом на легких почвах при промывном режиме поливов.

Основные условия, определяющие выбор способа орошения и техники полива, приведены в таблице 3.10. Окончательное решение принимают на основе анализа экономических показателей.

На рисунке 3.3 приведена блок-схема выбора и взаимодействия условий применения поливной техники.

Продолжение

логические	Гидрогеологические		Биологические		Водохозяйственные		
условный объем планировочных работ ($м^3$/га), определяемый сложностью рельефа	допустимая глубина залегания пресных (числитель) и соленых (знаменатель) грунтовых вод, м	допустимая минерализация грунтовых вод, г/л	предельная высота надземной части растений, м	поливная норма, мм	обеспеченность водой (отношение стока водоисточника за вегетацию к требуемой водоподаче)	ордината гидромодуля, л/(с·га)	удельная площадь поливаемых земель на одного рабочего, га
0...200]	1,5/3	1,5...3	4,0	20...60	2...10	0,2...0,8	До 10
0...500	1,5/3	1,5...3	4,0	20...60	1...10	0,5...0,8	До 10
—	1,5/3	1,5...3	5	20...60	1...10	0,2...0,7	До 10
—	1,5/3	1,5...3	4	1...60	1...10	0,6...0,9	До 10
0...300	1,5/3	1,5...3	2,0	0,4...0,6	0,8...10	0,5...0,9	До 5
ные поливы							
0...200	1,5/3	1	4	20...60	0,8...10	0,5...1,0	До 5
—	1,5/3	1	5	2...8	0,8...10	0,5...1,0	До 10
ные поливы							
0...300	1,5/3	1	2	2...120	2...10	0,7...1,0	До 5
орошение							
—	1,5/3	3	—	30...40	1...10	0,5...0,7	До 30

3.3. СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ СТРАНЫ

Районирование орошаемых территорий, выбор перспективных способов полива и режимов орошения могут быть выполнены при условии разработки таксономической системы ландшафтного районирования, включающей следующие таксономические единицы: почвенно-биоклиматический пояс, кли-

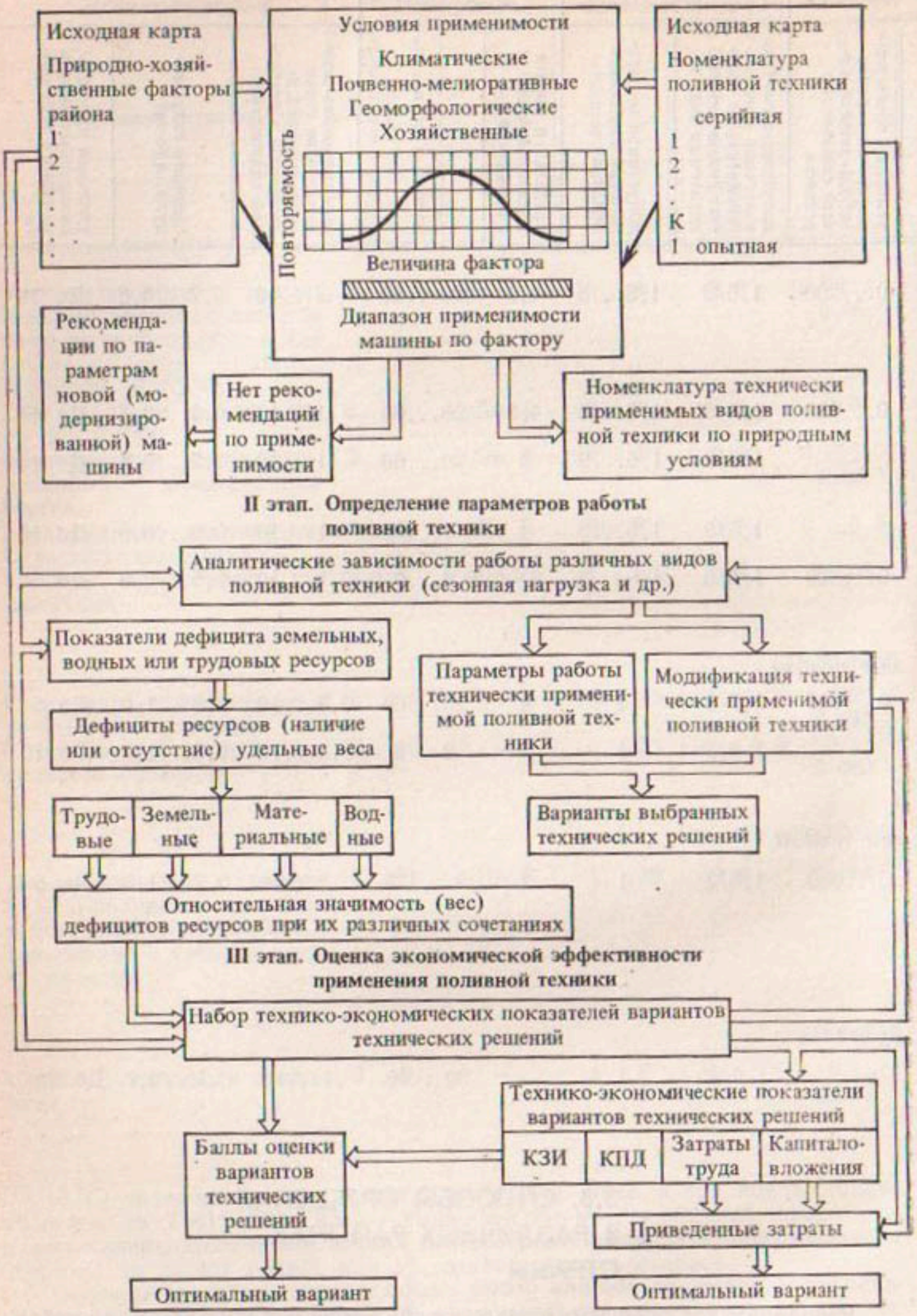


Рис. 3.3. Блок-схема выбора поливной техники

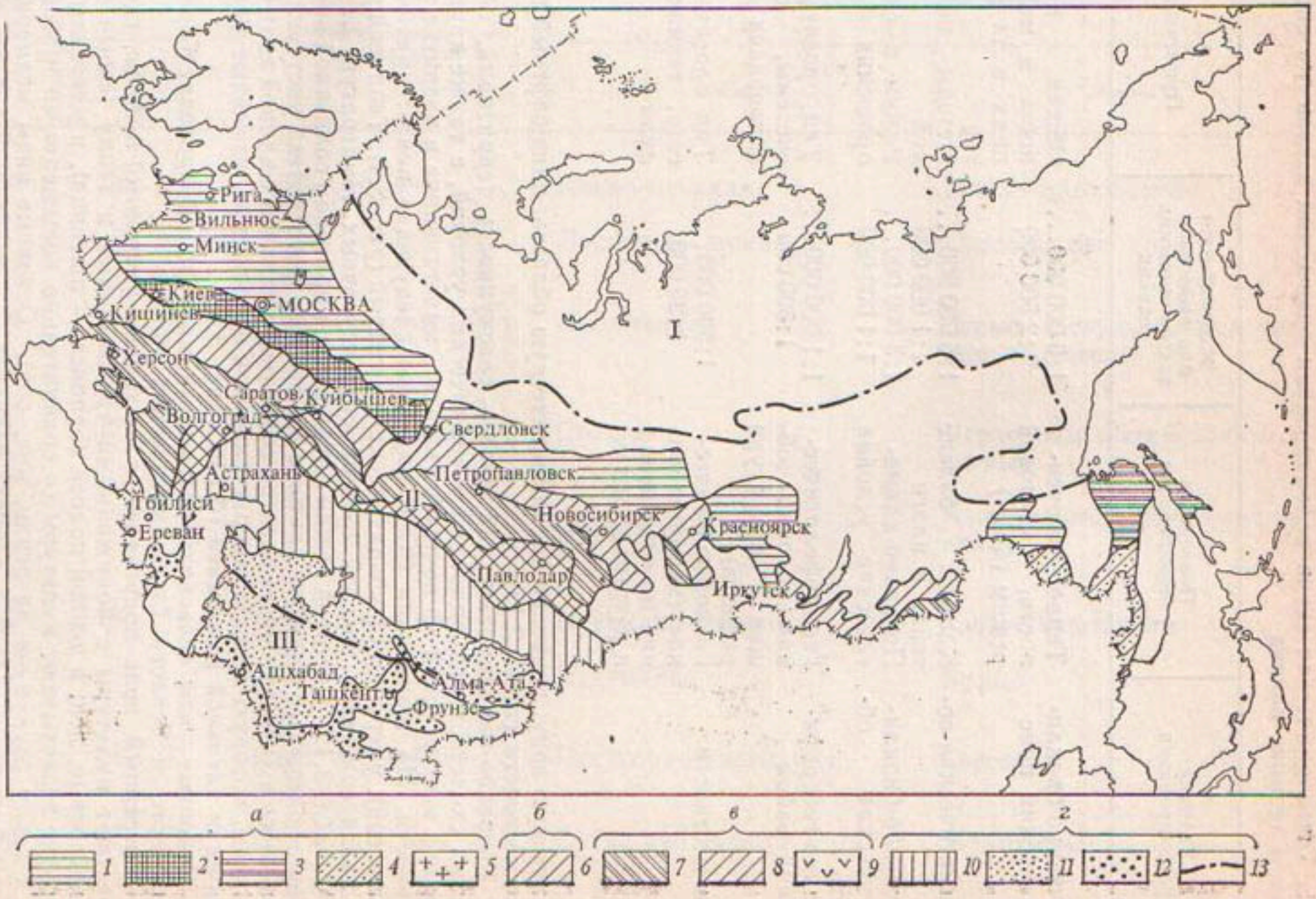


Рис. 3.4. Схема физико-географического районирования орошаемой территории СССР.

Почвенно-биоклиматические пояса: I — холодный; II — умеренный; III —теплый. Климатические зоны увлажнения: *а* — избыточного; *б* — неустойчивого; *в* — недостаточного; *г* — незначительного. Почвенно-климатические области: *1* — южнотаежная; *2* — лиственно-лесная; *3* — таежно-лесная; *4* — лугово-лесная; *5* — влажных субтропиков; *6* — лесостепная; *7* — степная; *8* — сухостепная; *9* — сухих субтропиков; *10* — пустынно-степная; *11* — пустынная; *12* — пустынно-предгорная; *13* — граница пояса

3.11. Таксономическая схема районирования орошаемых земель по способам и технике полива

Единица районирования	Показатели районирования	Масштаб карт для выделения таксономических единиц	Примечания
Почвенно-биоклиматический пояс	Теплообеспеченность, световой режим (ФАР)	1:6 000 000... 1:2 500 000	Общая потребность в мелиорациях и их характер
Климатическая зона	Климат: баланс тепла и влаги	1:5 000 000... 1:1 000 000	Методы мелиораций
Почвенно-биоклиматическая область	Почвенно-климатические условия	1:5 000 000... 1:1 000 000	Режим и способы орошения
Физико-географический район	Геоморфологические условия (общая структура рельефа)	1:1 000 000... 1:500 000	Тип оросительной системы, способ водоподачи
Тип местности	Геоморфологические (местоположение по отношению к речным долинам)	1:500 000... 1:25 000	Тип оросительной сети, техника полива

матическую зону, почвенно-биоклиматическую область, ландшафтный район, тип местности (табл. 3.11).

Почвенно-биоклиматический пояс — совокупность территорий, объединенных сходством радиационных и термических условий, а также характера влияния этих условий на почвообразование, выветривание и развитие растительности. На территории СССР выделены следующие пояса: арктический (холодный), умеренный (субарктический) и теплый (рис. 3.4). Тепловой режим их характеризуется годовой суммой среднесуточных температур Σt выше 10 °С (табл. 3.12). Световой режим определяется притоком солнечной энергии, которая оказывает большое влияние на процесс фотосинтеза растений, протекающего в листьях. Часть спектра солнечной радиации с длиной волн 0,38... 0,71 мкм, которую используют растения при фотосинтезе, называют **фотосинтетически активной радиацией** (ФАР) (рис. 3.5).

Основные виды сельскохозяйственных мелиораций проводят в пределах умеренного и теплого биоклиматических поясов.

Умеренный пояс подразделяют на *холодно-умеренный подпояс*, где произрастают культуры с пониженными требованиями к теплу (серые хлеба, зернобобовые, лен, в южной полосе подпояса — пшеница), и *умеренный подпояс*, где возделывают культуры со сравнительно повышенными требованиями к теплу (кукуруза на зерно, рис, соя). Основные виды мелиораций в северной части умеренно холодного подпояса — осушительные, в его южной части и в умеренном подпоясе — оросительные.

Теплый пояс делят на *умеренно теплый подпояс*, в котором возделывают однолетние культуры с длинным вегетационным периодом (хлопчатник), и *теплый*, или *подпояс субтропических* культур (чай, цитрусовые). В умеренно теплом подпоясе получили широкое развитие оросительные мелиорации, здесь сосредоточены основные площади орошаемых земель.

Климатическая зона определяет характер увлажнения и, следовательно, вид мелиораций: осушительные, оросительные и их совокупность.

Для выделения климатических зон А. Н. Костяковым предложен коэффициент водного баланса

$$k_{wb} = \mu P/E; \quad \mu = 1 - \alpha, \tag{3.1}$$

3.12. Почвенно-биоклиматические пояса, климатические зоны и почвенно-биоклиматические области

Почвенно-биоклиматический пояс			Климатическая зона увлажнения	Почвенно-биоклиматическая область	
пояс	$\Sigma t > 10$ °С	ФАР, млрд кДж		область	почвы
Умеренный	1200...1600	8...11	Достаточного	Южно-таежная	Глеево-подзолистые
				Лиственно-лесная	Подзолистые
	1600...2400	11...12	Неустойчивого	Лесостепная	Серые лесные, выщелоченные черноземы
	2400...3400	12...16	Недостаточного	Степная	Черноземы обыкновенные и южные
				Сухостепная	Каштановые, темно-каштановые
	3400...4200	16...18	Незначительного	Пустынно-степная	Светло-каштановые
				Пустынная	Бурые
Теплый	4200...4800	18...23	Незначительного	Предгорно-пустынная	Сероземы
	4800...5200	23...25	Недостаточного	Сухие субтропики	Желтоземы
	>5200	>25	Избыточного	Влажные субтропики	Красноземы

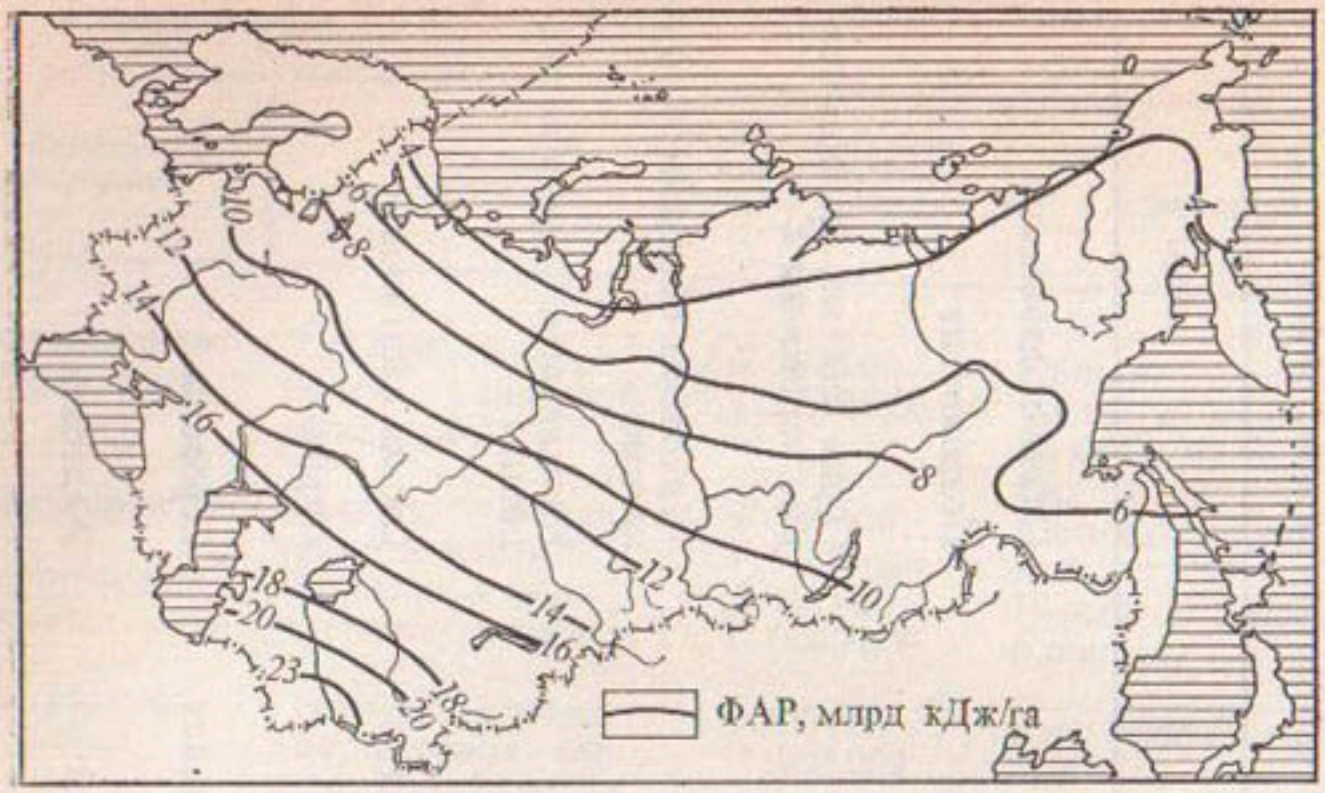


Рис. 3.5. Поступление фотосинтетически активной радиации (ФАР) на территорию СССР

где P — осадки; E — испарение; α — коэффициент стока, представляющий отношение слоя стока h к слою осадков P за рассматриваемый период, то есть

$$\alpha = h/P. \tag{3.2}$$

Коэффициент стока всегда меньше единицы. Коэффициенты годового стока рек европейской части СССР находятся в пределах 0,01. . .0,7.

Испарение определяют по формуле

$$E = 100t\,(1 - \varphi/100), \tag{3.3}$$

где t — средняя температура воздуха за вегетационный период, °С; φ — средняя относительная влажность воздуха за тот же период, %.

По значению коэффициента водного баланса А. Н. Костяковым в европейской части СССР выделены три зоны увлажнения: $k_{wb} > 1{,}3$ — избыточного увлажнения, $k_{wb} = 0{,}5. . .1{,}3$ — неустойчивого увлажнения и $k_{wb} < 1$ — недостаточного увлажнения.

По Н. Н. Иванову, влагообеспеченность территории выражается коэффициентом увлажнения, учитывающим не только температуру воздуха, но и влажность,

$$k_u = P/E_0, \tag{3.4}$$

где P — сумма осадков за год; E_0 — годовая испаряемость, мм, определяемая для каждого месяца по формуле

$$E_0 = 0{,}0018\,(25 + t)^2\,(100 - \varphi), \tag{3.5}$$

где t — среднемесячная температура воздуха, °С; φ — среднемесячная относительная влажность воздуха, %.

Для условий Средней Азии в это уравнение Л. А. Молчановым введена поправка, равная 0,8; формула имеет следующий вид:

$$E_0 = 0{,}00144\,(25 + t)^2\,(100 - \varphi). \tag{3.6}$$

В зависимости от значения коэффициента k_u, по Н. Н. Иванову, выделяют следующие зоны: $\geqslant 1{,}5$ — избыточного увлажнения; 0,3. . .0,99 — неустойчивого увлажнения; 0,12. . .0,3 — недостаточного увлажнения; 0. . . 0,12 — засушливая.

3.13. Климатические показатели применения способов орошения

Почвенно-биологическая область	Годовые осадки, мм	Годовой сток, мм	Повторяемость засушливых лет, %	Испаряемость, мм	Коэффициент увлажнения	Дефицит испаряемости, мм	Основной способ орошения
			Зона избыточного увлажнения				
Южнотаежная	500...700	160...400	2...9	350...450	1,33...1,0	—150...—250	Двустороннее регулирование
Лиственно-лесная	450...600	120...350	3...9	450...550	1,33...1,0	0...—50	Дождевание
			Зона неустойчивого увлажнения				
Лесостепная	450...500	50...300	4...44	530...620	1,0...0,77	80...120	Дождевание, лиманный
			Зона недостаточного увлажнения				
Степная	350...450	10...70	23...59	650...750	0,77...0,44	300	» »
Сухостепная	350...400	10...60	44...97	800...875	0,44...0,33	450...475	Дождевание, поверхностный, комбинированный, лиманный
			Зона незначительного увлажнения				
Пустынно-степная	125...300	1,0...0,5	57...97	750...1000	0,33...0,22	625...700	Поверхностный
Пустынная	75...150	0...0,15	97...100	1000...1250	0,22...0,12	825...1000	»
Предгорно-пустынная	50	0,05	10	1250	Менее 0,12	1200	Поверхностный, внутрипочвенный, капельный, дождевание

Примечание. Дефицит испаряемости определяется как разность между испаряемостью и годовыми осадками.

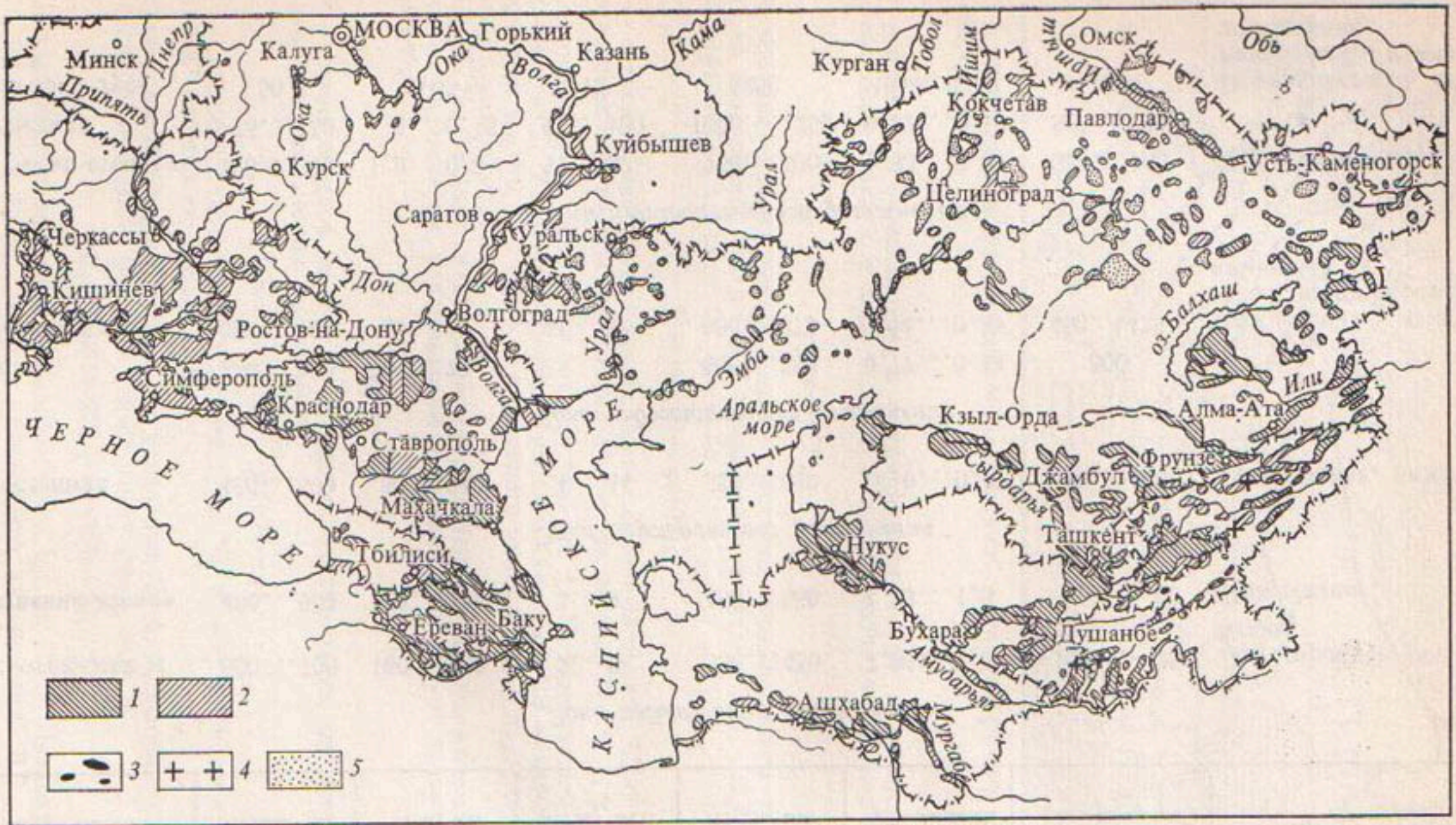


Рис. 3.6. Схема районирования орошаемых земель СССР по способам орошения:

1 — поверхностное орошение; *2* — дождевание; *3* — внутрипочвенное орошение; *4* — капельное орошение; *5* — лиманное орошение

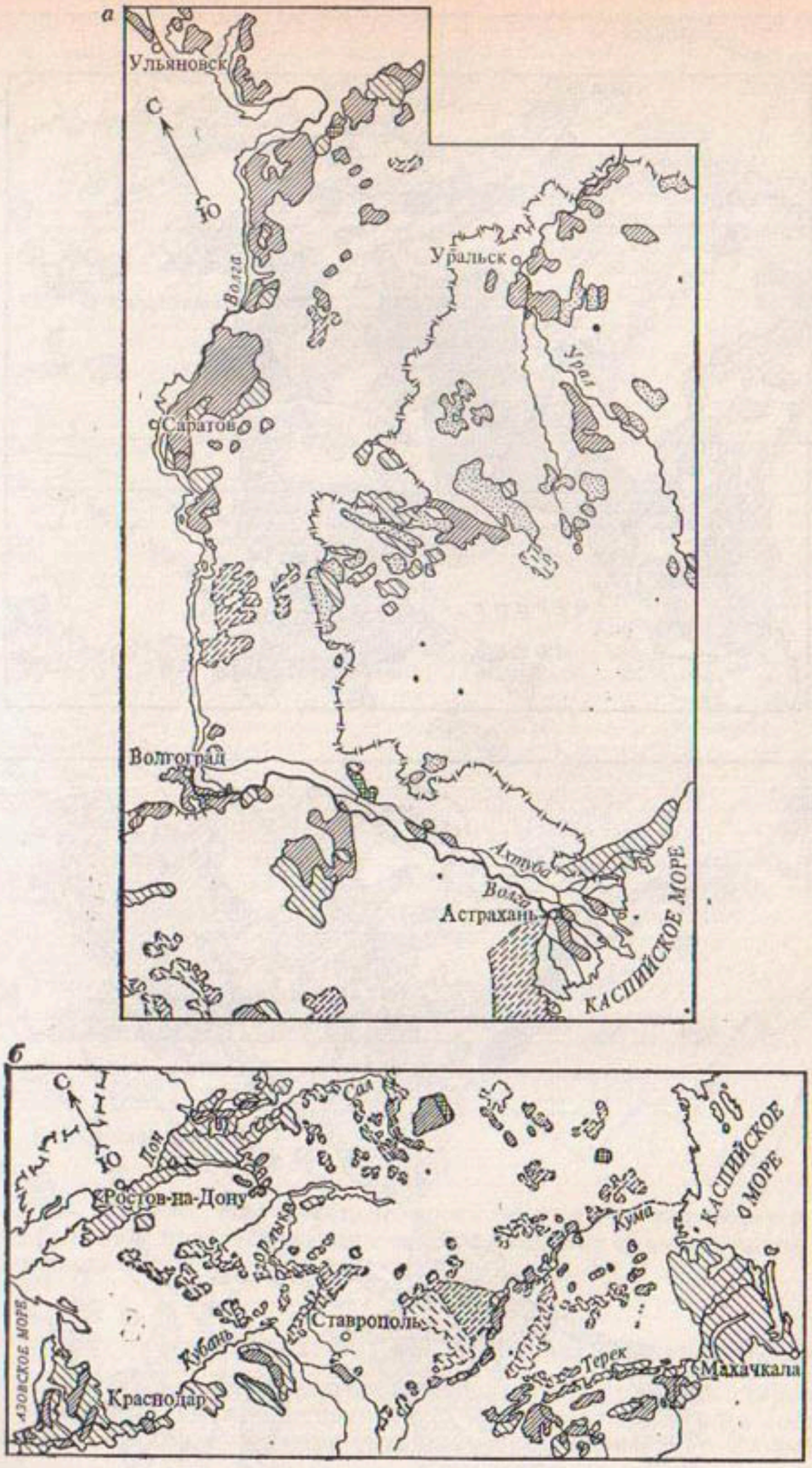


Рис. 3.7. Схемы районирования орошаемых земель по способам полива:
а — Поволжья и Урала; *б* — Северного Кавказа; *в* — Украины и Молдавии; *г* — центральной части Средней Азии; *д* — Закавказья; *е* — Казахстана и Киргизии; *1...5* — обозначения те же, что на рисунке 3.6; *6* — районы возможного орошения поверхностным способом; *7* — то же дождеванием; *8* — то же лиманами

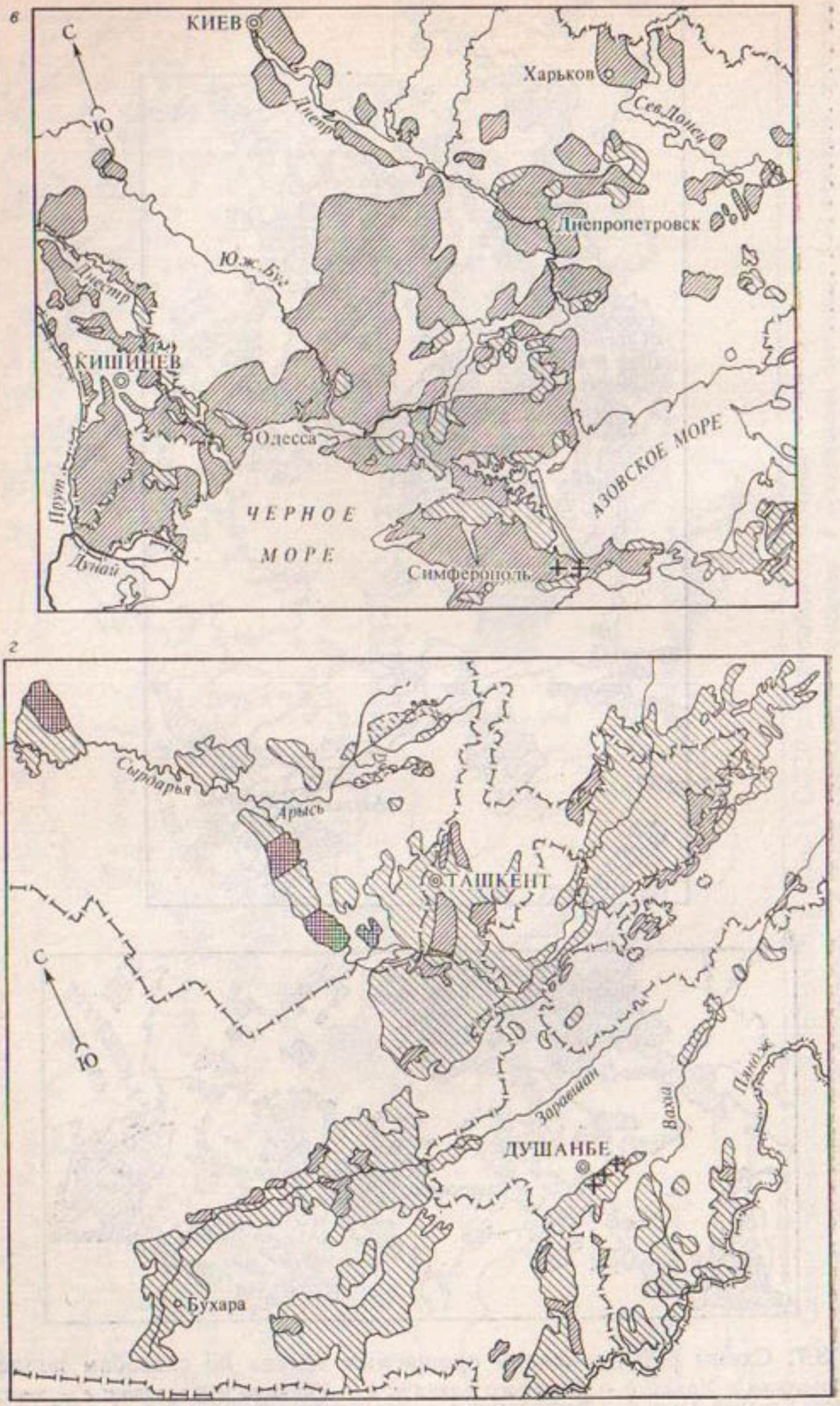
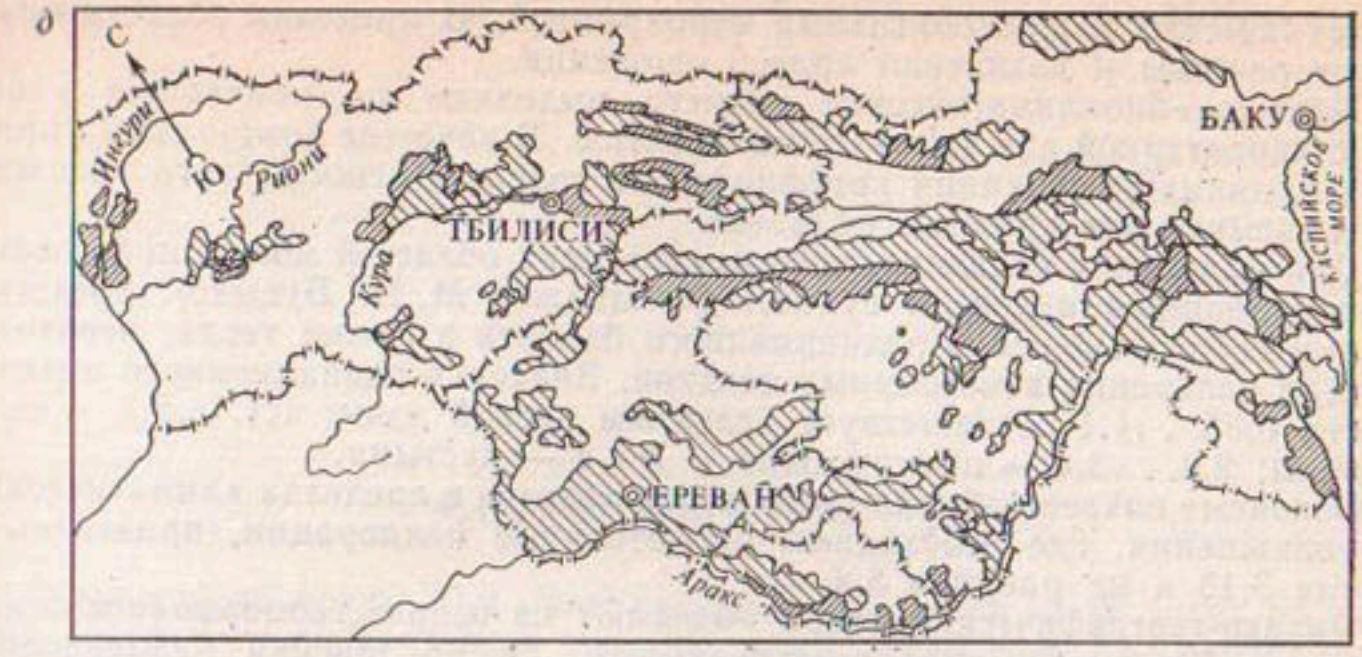


Рис. 3.7. *(Продолжение)*



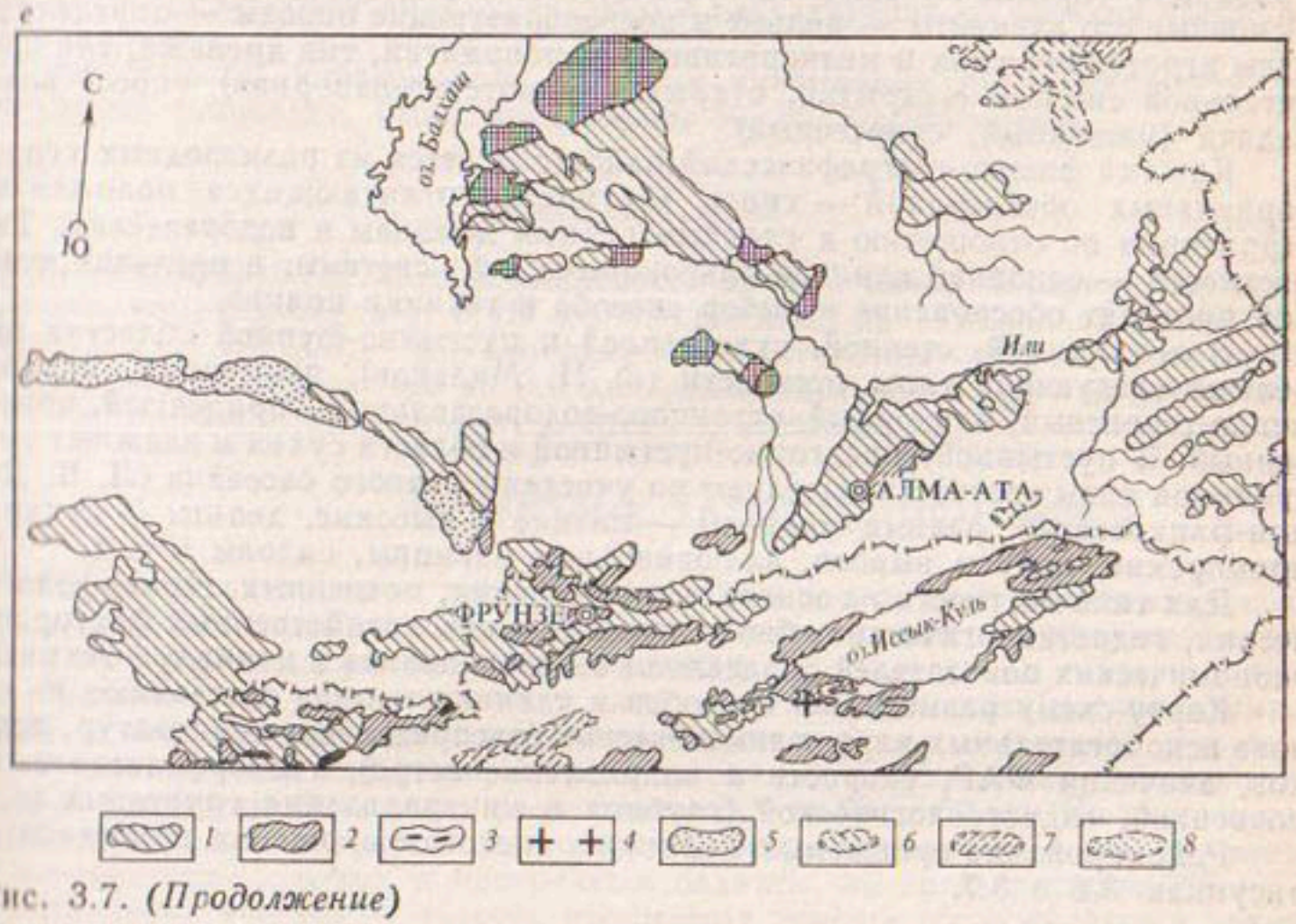


Рис. 3.7. *(Продолжение)*

По Д. И. Шашко, влагообеспеченность территории выражается показателем увлажнения, представляющим собой отношение суммы осадков к сумме дефицитов влажности:

$$k_u = P/(0{,}45\Sigma d_\varphi), \qquad (3.7)$$

где P — сумма осадков за год, мм; Σd_φ — дефицит влажности воздуха, Па.

По Г. Т. Селянинову, влагообеспеченность территории характеризуется гидротермическим коэффициентом (ГТК), представляющим собой отношение суммы осадков P к сумме среднесуточных температур Σt выше 10 °С за период

$$\text{ГТК} = 10\Sigma P/\Sigma t. \qquad (3.8)$$

По Г. Т. Селянинову, ГТК имеет следующие значения: 0,6. . .1,0 — засушливо; 1,1. . .1,5 — влажно; 1,6. . .2,0 — избыточно влажно.

Почвенно-биоклиматическая область (природная зона) характеризуется определенными типами и подтипами почв и отвечающими им системами

агротехнических и мелиоративных мероприятий. В пределах области определяют режимы и назначают способ орошения.

Почвенно-биоклиматические области выделяют по зональным типам почв с характерной для них растительностью. В качестве контрольных признаков принимают изолинии коэффициентов годового атмосферного увлажнения, описывающие границы областей.

Для выделения почвенно-биоклиматических областей можно пользоваться радиационным индексом сухости (предложен М. И. Будыко), представляющим собой отношение радиационного баланса к сумме тепла, необходимого для испарения атмосферных осадков. Значение радиационного индекса сухости 0,35. . .1,1 соответствует условиям лесной зоны; 1,1. . .2,3 — степной зоны; 2,3. . .3,4 — полупустыни и >4,4 — пустыни.

Основные почвенно-биоклиматические области в пределах климатических зон увлажнения, где необходимы оросительные мелиорации, приведены в таблице 3.13 и на рисунке 3.4.

Физико-географический район выделяют на основе геоморфологических признаков (Средне-Русская возвышенность, Окско-Донская низменность). Основные его элементы — рельеф и почвообразующие породы — определяют виды агротехнических и мелиоративных мероприятий, тип дренажа, тип оросительной системы (закрытая, открытая, самотечно-напорная), способ водоподачи (машинный, самотечный).

Каждый физико-географический район слагается из разнородных территориальных образований — **типов местности**, отличающихся положением территории по отношению к главным речным долинам и водоразделам. Тип местности — основная единица таксономической системы, в пределах которой проводят обоснование и выбор способа и техники полива.

В лесостепной, степной, сухостепной и пустынно-степной областях выделяют следующие типы местности (Ф. Н. Мильков): пойменный, надпойменно-террасный, плакорный, останцово-водораздельный, приречный, низкогорный. В пустынной, предгорно-пустынной и области сухих и влажных субтропиков типы местности выделяют по участкам речного бассейна (Л. В. Дунин-Барковский): речные террасы — низкие и высокие, дельты — сухие и приморские, конусы выноса, аллювиальные равнины, склоны и т. д.

Для типа местности на основе климатических, почвенных, геоморфологических, гидрогеологических, биологических и водохозяйственных факторов и экономических показателей определяют способы полива и поливную технику.

Карту-схему размещения способов и техники полива составляют на основе вспомогательных карт: климатической (распределение температур, осадков, значения ФАР, скорость и направление ветра), геоморфологической, почвенной, гидрогеологической (глубина и минерализация грунтовых вод).

Районирование орошаемых земель по способам орошения приведено на рисунках 3.6 и 3.7.

Глава 4. ПОВЕРХНОСТНОЕ ОРОШЕНИЕ

4.1. УВЛАЖНЕНИЕ ПОЧВЫ

Увлажнение почвы при поверхностном орошении происходит во время горизонтального перемещения воды по поверхности поля при вертикальном просачивании ее гравитационным путем и последующем насыщении почвы по капиллярам.

Зависимости, учитывающие скорости впитывания на элементарно увлажняемой площадке, были предложены А. Н. Костяковым:

$$k_t = k_v / t^{\alpha};$$
$$k_m = k_v / (1-\alpha)\, t^{\alpha}, \qquad (4.1)$$

где k_t — коэффициент водопроницаемости данной почвы в первую единицу времени, изменяющийся от 0,017 до 0,08 мм/мин; k_v — начальная скорость впитывания, мм/мин; α — коэффициент затухания скорости впитывания, изменяющийся от 0,2 до 0,8 для различных почв; k_m — средняя скорость впитывания воды почвой за время t, мм/мин.

4.2. ПОЛИВ ЗАТОПЛЕНИЕМ ЧЕКОВ

Полив затоплением — полив почвы путем заполнения поливных чеков. Применяют при промывках, влагозарядке почвы, орошении риса на массивах с очень малыми уклонами (менее 0,001).

Поливной чек — обвалованная часть поливного участка, затапливаемая водой с последующим просачиванием ее в почву.

Поливные чеки имеют форму прямоугольных безуклонных или малоуклонных площадок затопления размером от 0,2 до 20. . .30 га. На участках с неблагоприятным рельефом допускаются непрямоугольные чеки с углом пересечения продольных и поперечных валиков, не превышающим 70°.

Поливной участок — участок орошаемых земель, обслуживаемый одним оросителем при одинаковых способах полива, поливной технике и режиме орошения.

Размеры чека определяют объем планировочных работ и глубину срезки грунта. Удельный объем планировочных работ пропорционален основному уклону и корню квадратному из площади чека. Размер чека зависит от требуемой глубины его затопления и уклона поверхности. Режим затопления рисового чека определяется условиями возделывания культуры риса.

Расход воды в период заполнения чека (м³/ч) при глубоком залегании грунтовых вод устанавливают с учетом интенсивности испарения и поглощения воды почвой.

$$Q_{ch} t_{fl} = A_{ch} (h_{fl} + h_E + h_{ads} + h_{adm}), \qquad (4.2)$$

где t_{fl} — длительность затопления чека, ч; A_{ch} — площадь чека, м²; h_{fl} — потребный слой затопления, м; h_E — слой испарения в период заполнения чека, м; h_{ads} — слой поглощения воды почвой (устанавливается по средней скорости впитывания с учетом неодновременного покрытия водой площади чека), м; h_{adm} — дополнительный слой воды, обеспечивающий при данной фильтрации и размерах чека его заполнение в требуемые сроки, м.

4.3. ПОЛИВ ПО ПОЛОСАМ НАПУСКОМ

Полив напуском — полив почвы с помощью поливных полос.

Поливная полоса — обвалованная полоса земли, имеющая продольный уклон, затапливаемая водным потоком с одновременным просачиванием в почву. Полив по полосам применяют при орошении культур сплошного сева (зерновые, травы и др.) и влагозарядке.

Различают поливы с верхним и боковым впуском воды на полосы, формируемые ограничительными продольными валиками.

Полив с верхним впуском воды из временной сети или поливного устройства рекомендуется на спланированных площадях при поперечных уклонах не более 0,002. Продольный уклон при этом не должен превышать 0,015.

4.1. Элементы техники полива по полосам шириной 3,6 м при высоте валиков 0,15 м

Почвы	Уклон в направлении полива	Длина полос, м	Удельный расход, л/с на 1 м ширины полосы
Легкосуглинистые высокой водопроницаемости	0,003	200	5,5
	0,006	150	4,0
Среднесуглинистые средней водопроницаемости	0,003	400	8,0
	0,006	350	7,0
Тяжелосуглинистые низкой водопроницаемости	0,003	500	8,5
	0,006	400	7,5

Полив с боковым впуском воды применяют при значительных поперечных уклонах.

Удельный расход воды в голове полосы (на 1 м ее ширины) устанавливают от 1 до 20 л/с. Максимальный удельный расход воды допустим только при продольных уклонах 0,001. . .0,003.

Ширину полос принимают от 1,8 м (узкие полосы) до 10. . .30 м (широкие полосы). Наиболее распространены полосы шириной 3,6. . .4,2 м (табл. 4.1).

4.2. Рекомендуемые сочетания элементов техники полива по широким длинным полосам

Расчетные уклоны	Водопроницаемость почвы (индексы)	Удельный расход в полосу, л/с	Слой воды в голове, см	Продолжительность полива, ч	Длина полосы, м	Поливная норма брутто, м³/га	КПД
0,0005	А	20	0,20	0,75	350	1600	0,75
	Б	20	0,20	1,1	500	1580	0,75
	В	17,5	0,18	1,5	600	1575	0,76
	Г	15	0,17	2,2	800	1490	0,81
0,00175	А	20	0,14	0,85	400	1520	0,79
	Б	17,5	0,13	1,3	550	1490	0,81
	В	15	0,12	2,0	700	1540	0,78
	Г	12,5	0,10	3,0	900	1500	0,80
0,0035	А	17,5	0,108	1,1	450	1550	0,77
	Б	15	0,10	1,7	600	1530	0,78
0,005	В	12,5	0,09	2,7	800	1520	0,79
	Г	10	0,08	4,2	1000	1510	0,79

Примечание. А — сильно водопроницаемые почвы, Б — повышенной водопроницаемости, В — средневодопроницаемые, Г — пониженной водопроницаемости.

Высота ограничительных валиков изменяется в зависимости от расхода воды в полосе, продольных и поперечных уклонов (от 0,1. . .0,15 до 0,2. . . 0,45 м).

Полив по широким длинным полосам высокопроизводителен и эффективен при использовании специальных поливных машин и поливных агрегатов (ППА-300). Рекомендуемые сочетания элементов техники полива по широким длинным полосам приведены в таблице 4.2.

4.4. ПОЛИВ ПО БОРОЗДАМ

Это основной и самый распространенный способ полива пропашных культур (хлопчатник, свекла, картофель, кукуруза и т. д.), виноградников, садов, а в некоторых районах и узкорядных культур (зерновые, травы и т. д.).

Поливная борозда — гидромелиоративная борозда, распределяющая водный поток с одновременным просачиванием воды через их дно и откосы. Различают глубокие поливные борозды (18. . .24 см), нарезаемые при широких междурядьях, среднеглубокие (15. . .18 см) и мелкие (10. . .15 см). Поливные борозды нарезают вдоль склона местности, чтобы уменьшить возможность перелива воды через гребни борозд. Нарезка борозд под углом к общему уклону местности возможна только при выровненной поверхности и отсутствии ложбин и микропонижений в направлении максимального уклона.

Тупые (или глухие) борозды, имеющие в концевых створах перемычки, применяют на малоуклонных (до 0,003) участках, с тем чтобы перепад отметок в головных и концевых створах борозд не превышал $^1/_3$ их глубины.

Сквозные (или проточные) борозды, не имеющие в концевом створе перемычек, рекомендуют на участках с большим диапазоном уклонов — от очень малых (0,001) до очень больших (0,03 и более).

Борозды-щели, нарезаемые специальным орудием, применяют для увеличения их впитывающей способности на слабоводопроницаемых почвах. Ширина формируемой щели в дне борозды составляет 3. . .4 см, а глубина — 10. . .15 см.

Вдавленные борозды, формируемые окучником с профилированными катками, используют для уменьшения впитывающей способности на почвах повышенной водопроницаемости, чтобы повысить устойчивость ложа борозд размыву.

Засеваемые мелкие борозды нарезают специальными окучниками в агрегате с сеялками узкорядных культур сплошного сева (зерновые, колосовые и др.), растения при этом размещают не только по гребням, но и по откосам и дну борозд.

К элементам техники полива по бороздам относят длину поливных борозд, размер и форму их поперечного сечения, расход воды в поливную борозду, продолжительность полива.

Длину борозд принимают в пределах 50. . .600 м. Борозды наибольшей длины нарезают на хорошо спланированной поверхности поливных участков при слабой водопроницаемости почв.

Расход поливной струи устанавливают от 0,05 до 1,5. . .2 л/с. Наибольшие расходы применяют при широких междурядьях и малых уклонах дна борозд.

Продолжительность полива составляет 1. . .3 сут (наибольшая — при слабой водопроницаемости почв) и определяется временем, необходимым для внесения заданной поливной нормы. Она складывается из периода добегания и продолжительности дополнительной подачи воды.

Максимально допустимый расход поливной струи, при котором вода переливается через гребни борозд, определяется пропускной способностью борозд. Аналитическая зависимость для определения предельного расхода (л/с) в борозды при уклоне их дна менее 0,003 получена С. М. Кривовязом:

$$q_{lim} = 1{,}28\sqrt{i_{fur}}\,(0{,}6d_{fur} - 2\Delta)^2, \qquad (4.3)$$

где i_{fur} — уклон дна борозды; d_{fur} — глубина борозды, м; Δ — точность планировки, см.

В случае больших уклонов дна борозд для предотвращения размыва расход струи приходится уменьшать до 0,1 л/с, а иногда до 0,03. . .0,05 л/с. При пользовании завышенными расходами в борозды за сезон с 1 га может быть вынесено до 5. . .15 т плодородной почвы.

Для почв различной сопротивляемости размыву предельный расход воды в борозду определяют по формуле

$$q_{lim} = q_{red}/i_{fur}, \tag{4.4}$$

где q_{lim} — предельный расход, равный 0,004 л/с для почв средней и слабой сопротивляемости размыву и 0,005 л/с для почв повышенной сопротивляемости размыву; q_{re} — уменьшенный расход в борозду.

Предельную длину борозды l_{lim} устанавливают из условия добегания и впитывания предельного расхода поливной струи

$$l_{lim} = q_{lim}/(\chi_0 \mu k_{st}), \tag{4.5}$$

где χ_0 — смоченный периметр в голове борозды (может быть принят равным $0{,}1\, q_{lim}^{1/3}\, i_{fur}^{1/6}$, м); μ — коэффициент, учитывающий уменьшение смоченного пе-

4.3. Рекомендуемые сочетания элементов техники полива по бороздам для типовых условий при постоянном расходе (данные Н. Т. Лактаева)

Водопроницаемость почвы	Показатели	Уклон вдоль поливных борозд, обычно совпадающий с наибольшим уклоном местности i				
		0,04	0,01	0,005	0,00175	0,0005
Сильная — супеси и легкие суглинки, подстилаемые галечником с глубины примерно 1 м	l_{fur}	40	105	180	200	150
	q_{fur}	0,1	0,5	0,75	1,5	1
	t_1	5,5	1,3	3,0	1,25	1,8
	t_2	2,5	1,9	0,5	0,75	0,2
	t_{tot}	8	3,2	3,5	2	2
Повышенная — легкие мощные суглинки	l_{fur}	75	130	250	300	250
	q_{fur}	0,1	0,25	0,75	1	0,75
	t_1	7,8	4,6	2,8	3,1	4,6
	t_2	14	9,4	5,9	5,2	5,8
	t_{tot}	6,2	4,8	3,1	2,1	1,2
Средняя — средние суглинки	l_{fur}	100	175	300	300	350
	q_{fur}	0,1	0,25	0,5	0,5	0,5
	t_1	6	5	5,2	6	10
	t_2	17	11	7,8	6,5	4
	t_{tot}	23	16	13	12,5	14
Пониженная — тяжелые суглинки	l_{fur}	150	200	325	400	600
	q_{fur}	0,1	0,1	0,25	0,25	0,5
	t_1	9	18	19	20	13
	t_2	32,5	29	26	17	8
	t_{tot}	41,5	47	36	37	21
Слабая — глины, суглинки, подстилаемые непроницаемыми прослойками	l_{fur}	125	150	250	300	600
	q_{fur}	0,05	0,05	0,1	0,1	0,25
	t_1	14	20	20	34	35
	t_2	76	67,5	55	41	20
	t_{tot}	90	87,5	75	75	55

4.4. Рекомендуемые сочетания элементов техники полива по бороздам для типовых условий при переменном расходе

Водопроницаемость почв	Показатели	Уклон вдоль поливных борозд, обычно совпадающий с наибольшим уклоном местности				
		0,004	0,01	0,005	0,00175	0,0005
Сильная — супеси и легкие суглинки, подстилаемые галечником с глубины примерно 1 м	l_{fur}	40	105	200	250	—
	q_1/q_2	0,1/0,05	0,5/0,25	1/0,5	2/1	—
	t_1	5,5	1,3	1,7	1,1	—
	t_2	2,5	1,9	1,3	0,8	—
	t_{tot}	8	3,2	3	1,9	—
Повышенная — легкие и мощные суглинки	l_{fur}	75	130	300	350	—
	q_1/q_2	0,1/0,05	0,25/0,125	1/0,5	1,5/0,75	—
	t_1	7,8	4,6	2,4	1,8	—
	t_2	6,2	4,8	3,1	3,2	—
	t_{tot}	14	9,4	5,5	5,0	—
Средняя — средние суглинки	l_{fur}	100	175	350	350	400
	q_1/q_2	0,1/0,05	0,25/0,125	0,75/0,375	0,75/0,375	0,75/0,375
	t_1	6	5	3,8	4,5	0,5
	t_2	17	11	7,2	7	3,5
	t_{tot}	23	16	11	11,5	11
Пониженная — тяжелые суглинки	l_{fur}	100	200	400	400	600
	q_1/q_2	0,05/0,25	0,1/0,05	0,05/0,25	0,5/0,25	0,75/0,375
	t_1	12	18	6,5	7,5	10,9
	t_2	37	29	18,5	15,5	8,1
	t_{tot}	49	47	25	23	19
Слабая — глины, суглинки, подстилаемые непроницаемыми прослойками	l_{fur}	125	250	350	450	700
	q_1/q_2	0,01/0,025	0,1/0,05	0,25/0,0125	0,25/0,125	0,5/0,25
	t_1	14	18,0	10	18	18
	t_2	86	67	40	41	26
	t_{tot}	100	85	50	59	44

риметра по длине борозд (0,75. . .0,85); k_{st} — коэффициент установившейся скорости впитывания, мм/с.

Элементы техники полива определяют путем математического расчета, методом полевого опыта, а также пробными поливами.

Для **математического расчета** разработаны алгоритмы и программы решений задач по подбору элементов техники бороздкового полива на ЭВМ с использованием имеющихся зависимостей механизма увлажнения почвы поверхностным током воды.

В **полевом опыте** при установлении элементов техники полива по бороздам должны быть соблюдены следующие примерные условия: допустимое отклонение средних фактических поливных норм от заданных для всех вегетационных поливов не должно превышать 10. . .15 %; объем воды, идущей на увлажнение при добегании, должен быть в пределах 0,6. . .0,8 % заданной поливной нормы; коэффициент неравномерности увлажнения почвы по длине поливных борозд не должен быть менее 0,7; потери воды на сброс в конце борозд при поливе постоянной струей не должны превышать 30 %, а переменной струей — 10 % водоподачи; должны быть исключены переливы воды через гребни, визуально наблюдаемые размывы ложа борозд и увеличение мутности воды по их длине; расход поливной струи и длина борозды должны быть меньше предельно допустимых на 10. . .20 %.

Метод пробных поливов предназначен для уточнения элементов техники полива непосредственно на поливном участке. Пробные поливы, совмещенные с производственными, позволяют проверить рекомендуемые значения элементов техники полива и добиться наибольшего приближения фактических поливных норм к расчетным на каждом поле хозяйства со специфическими условиями проведения поливов. Необходимая продолжительность стояния воды в борозде для внесения заданной нормы определяется продолжительностью впитывания эквивалентного этой норме объема воды в отрезке борозды при поддержании в нем постоянного уровня воды. Пробные поливы проводят также для установления рационального расхода поливной струи.

В таблицах 4.3 и 4.4 приведены рекомендуемые элементы техники полива по бороздам, а в таблице 4.5 и на рисунке 4.1 — схемы полива.

4.5. Рекомендуемые схемы полива в зависимости от уклонов местности и водопроницаемости почвогрунтов

Уклон	Водопроницаемость				
	сильная	повышенная	средняя	пониженная	очень слабая
Для междурядий 0,6 м					
<0,001	Продольная на уклоне		Поперечная на уклоне, продольная и поперечная на безуклонных участках		
0,001...0,0025	То же		То же		
0,0025...0,0075	»		Продольная на уклоне	Поперечная на уклоне	
0,0075...0,02	»		Продольная на уклоне		
0,02...0,05	»		Комбинированные схемы полива		
Для междурядий 0,7...0,9 м					
<0,001	—	—	Поперечная на уклоне, продольная и поперечная на безуклонных участках		
0,001...0,0025	—	Поперечная на уклоне, продольная и поперечная на безуклонных участках			
0,0025...0,005	—	—	Поперечная на уклоне		

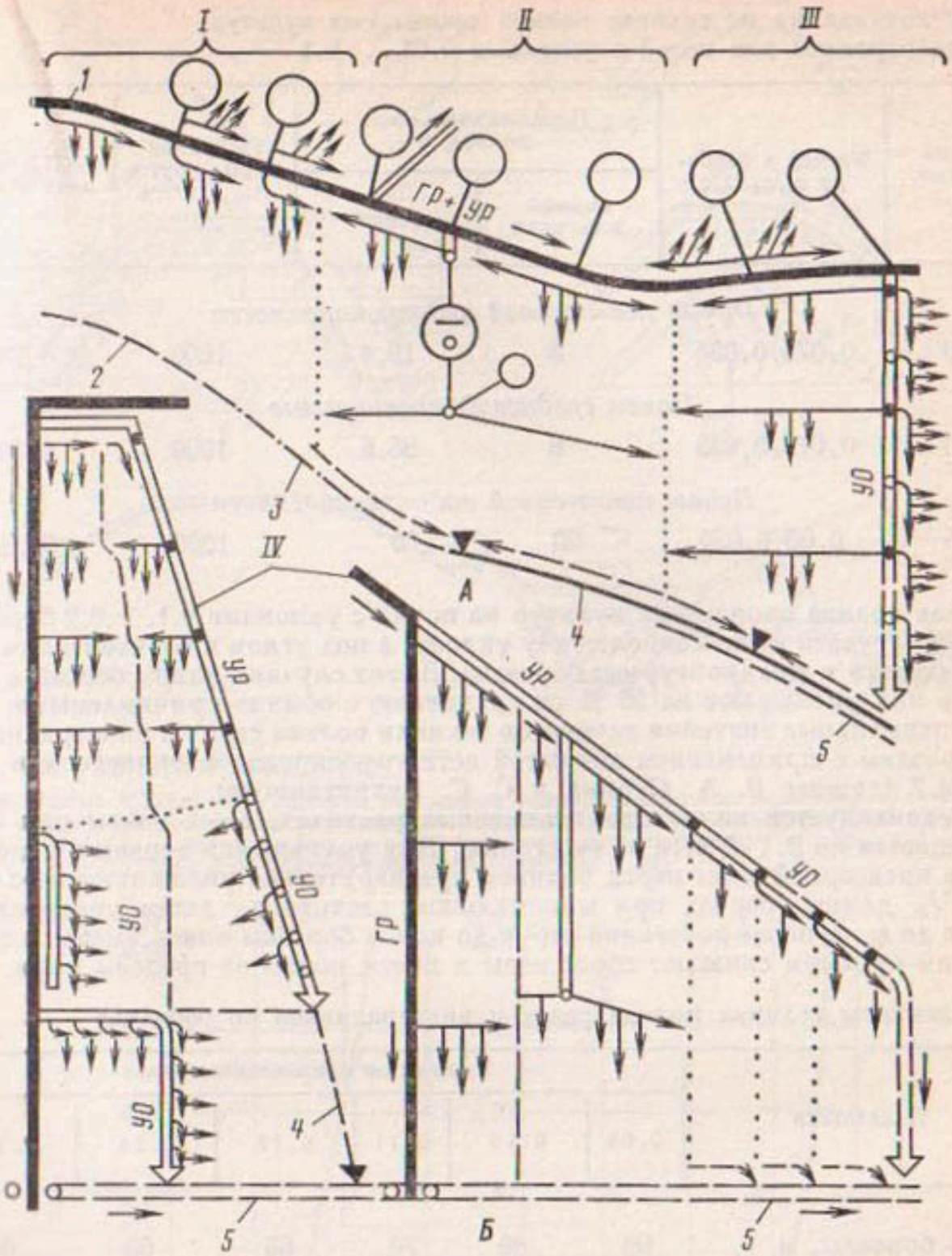


Рис. 4.1. Комбинированные схемы полива:

I, II и III — примеры схем на коротких, средних и длинных склонах; IV — то же на равнинах; *А* — поперечная схема; *Б* — продольные схемы; ГР и УР — групповой и участковый распределители; УО — участковый оросители; *1* — водораздел; *2* — тальвег; *3* — сбросная канава; *4* — дрена; *5* — коллектор

В таблицах 4.3 и 4.4 приняты следующие обозначения: l_{fur} — длина борозды, м; q_{fur} — расход воды в борозду, л/с; q_1 и q_2 — переменные расходы в борозду, л/с; t_{tot} — продолжительность полива, ч; t_1 и t_2 — продолжительность полива соответственно при расходе q_1 и q_2.

4.5. ПОВЕРХНОСТНОЕ ОРОШЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНЫХ И ГОРНЫХ СКЛОНОВ

В этой зоне следует применять почвоохранительные (противоэрозионные) способы орошения. Рекомендации по технике полива пропашных культур по бороздам приведены в таблице 4.6, а схемы полива — на рисунке 4.1.

4.6. Рекомендации по технике полива пропашных культур по бороздам для полей с уклонами 0,05 . . . 0,1

Длина борозды, м	Расход в борозду q_1/q_2, л/с	Продолжительность полива, ч		Поливная норма брутто m_{br}, м³/га	КПД техники полива
		нормой добегания	общая		
Почвы повышенной водопроницаемости					
60	0,075/0,035	8	19,4	1000	0,75
Почвы средневодопроницаемые					
100	0,075/0,035	8	38,5	1000	0,80
Почвы пониженной водопроницаемости					
125	0,05/0,025	20	70	1080	0,74

Для полива пропашных культур на полях с уклонами 0,1. . .0,2 борозды следует нарезать не по наибольшему уклону, а под углом к горизонталям или очень близко к ним (контурные борозды). В этих случаях длину борозд и расходы в них уменьшают на 25 % по сравнению с обычно принимаемыми.

Оптимальные значения элементов техники полива садов и виноградников по бороздам с применением закрытой сети трубопроводов приведены в таблице 4.7 (данные В. А. Сурина и С. С. Зухритдинова).

Рекомендуется полив при переменных расходах, смыв почвы при этом сокращается до 3. . .5 т/га за вегетацию. Для уменьшения эрозии в ряде хозяйств предгорной зоны перед поливом предварительно увлажняют верхнюю $^1/_3$. . .$^1/_2$ длины борозд при минимальном расходе q_2, затем увеличивают расход до q_1, а после добегания струи до конца борозды опять уменьшают до q_2. Этим приемом снижают сброс воды и вынос почвы за пределы поля.

4.7. Элементы техники полива садов и виноградников по бороздам

Показатели	Уклоны по направлению рядов					
	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16
Длина борозды, м	90	80	70	65	60	60
Расход в борозду, л/с:						
q_1	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05
q_2	0,04	0,03	0,03	0,025	0,025	0,022

Для уменьшения эрозии и восстановления плодородия рекомендуется поливать пропашные через борозду, пуская воду только по бороздам, уплотненным колесами трактора; щелевать нижнюю треть или половину длины борозды; дифференцированно вносить органические и минеральные удобрения, давая бо́льшую долю их в верхнюю треть борозды; обрабатывать верхнюю часть борозды полимерными структурообразователями.

4.6. ПОЛИВНАЯ АРМАТУРА

При поливе по бороздам без армирования оголовков воду подают через прокопы в бортах выводных борозд. Для закрепления прокопов применяют одерновку борозд, которая требует значительных затрат ручного труда и средств.

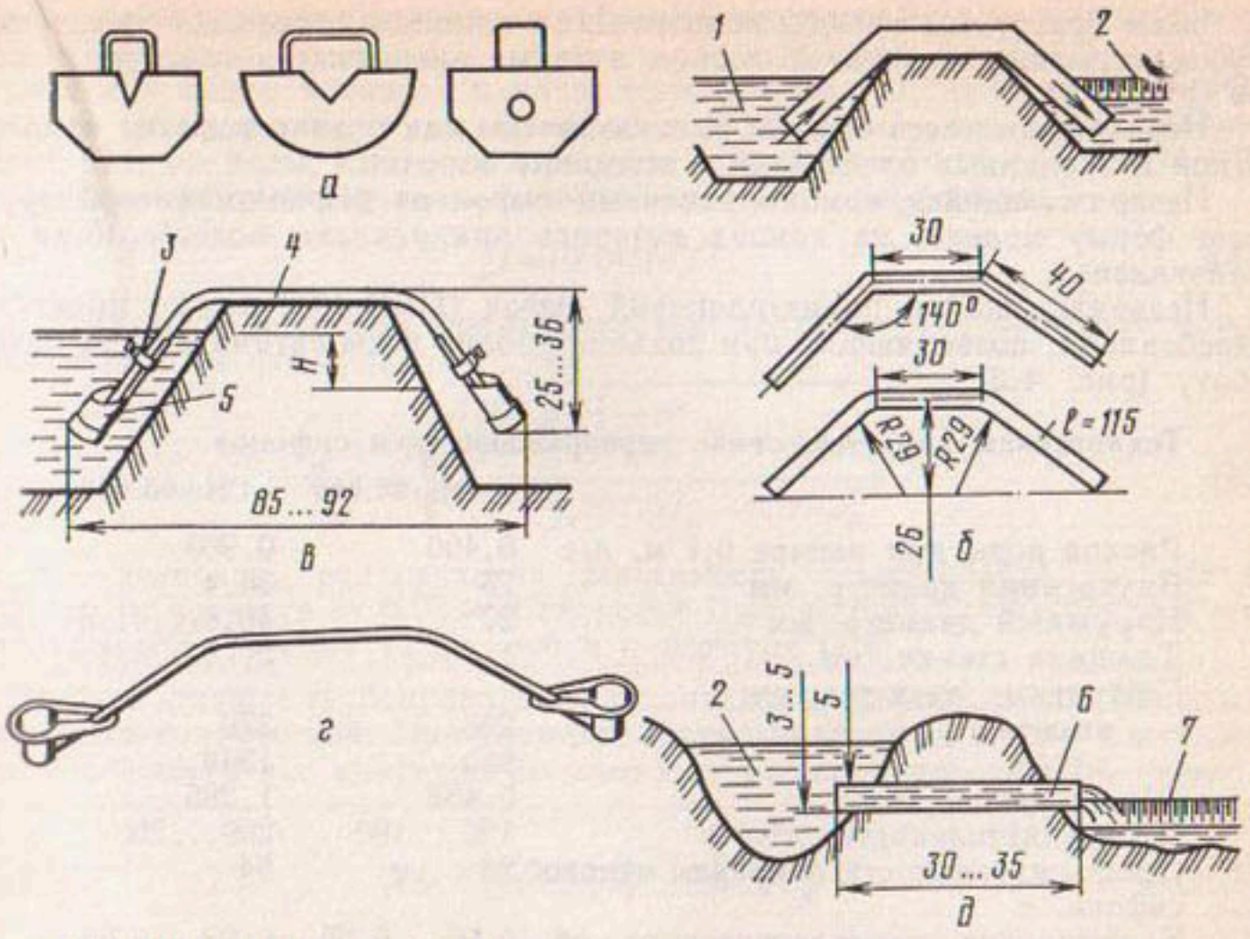


Рис. 4.2. Поливная арматура:

а — поливные щитки; *б* — сифоны; *в* — сифон неразряжающийся комбинированный; *г* — сифон неразряжающийся пластмассовый; *д* — поливная трубка для подачи воды в борозды; *1* — ороситель; *2* — выводная борозда; *3* — крепление водосборника; *4* — колено; *5* — водосборник; *6* — трубка; *7* — поливная борозда (размеры в см)

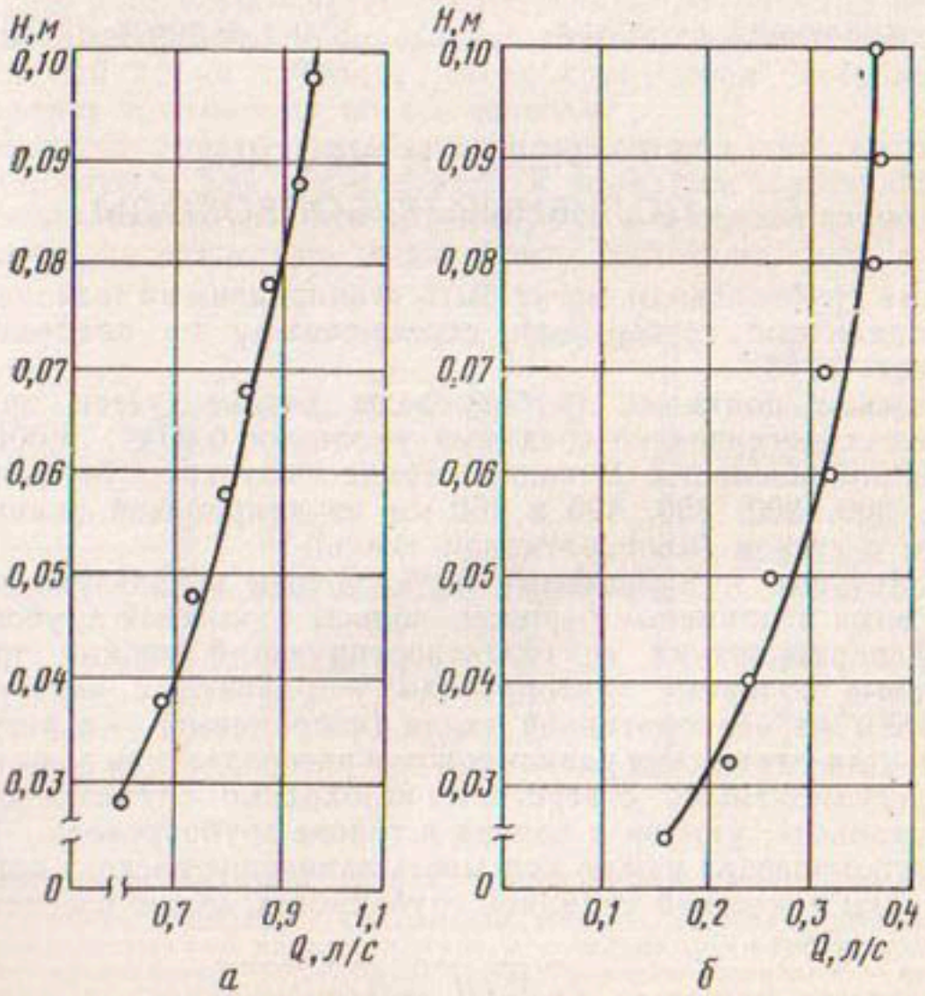


Рис. 4.3. Расходно-напорные характеристики трубки сифона:

а — диаметром 35,4 мм; *б* — диаметром 25 мм

Более приемлемы способы вододеления с помощью переносной арматуры— трубок, поливных щитков, оголовков, а также одиночных и групповых сифонов (рис. 4.2).

Неразряжающиеся сифоны предназначены для подачи воды из каналов, лотков и временных оросителей в поливные борозды.

Незаряжающийся комбинированный сифон из дюралюминиевой трубы имеет форму колена, на концах которого прикреплены водосборники из полиэтилена.

Незаряжающийся полиэтиленовый сифон (ПВП-40Т) также имеет два водосборника, позволяющих при подъеме уровня воды автоматически начать работу (рис. 4.3).

Техническая характеристика неразряжающихся сифонов

	СНк-00.000	СНп-00.000
Расход воды при напоре 0,1 м, л/с	0,400	0,960
Внутренний диаметр, мм	25	35,4
Наружный диаметр, мм	27	40,8...41,3
Толщина стенки, мм	1	2,75...3,4
Габаритные размеры, мм:		
высота	296	370
длина	950	1544
Общая масса, кг	0,438	1,295
Производительность, $м^3/ч$	120...160	200...260
Продолжительность заправки одного сифона, с	23	54
Коэффициент технологического обслуживания	0,95...0,96	0,92...0,94
Коэффициент надежности технологического процесса	0,99	0,99
Коэффициент использования времени смены	0,94...0,95	0,92...0,94
Обслуживающий персонал	Один человек на 90 сифонов	

4.7. ГИБКИЕ И ЖЕСТКИЕ ПОЛИВНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Поливные трубопроводы могут быть **стационарными** (закопанные в землю асбестоцементные трубы) или **передвижными** из пластмассовых или металлических труб.

Передвижные поливные трубопроводы рекомендуется применять на спланированных массивах со средними уклонами 0,003. . .0,006 и почвами низкой водопроницаемости. В нашей стране выпускают трубопроводы диаметром 145, 200, 300, 350, 420 и 460 мм из капроновой ткани, покрытой специальным составом (мелиоративная ткань).

Полиэтиленовые и капроновые трубопроводы используют как для распределения воды в поливные борозды, полосы (поливной трубопровод), так и для транспортирования ее (транспортирующий гибкий трубопровод). Полиэтиленовые поливные трубопроводы устраивают с нерегулируемыми, а трубопроводы из мелиоративной ткани (капроновые) — с регулируемыми отверстиями. Для улучшения равномерности распределения воды из трубопроводов с нерегулируемыми отверстиями необходимо оптимальное сочетание длины трубопровода, уклона и напора в голове трубопровода. При расчете поливных трубопроводов нужно учитывать изменение расхода воды по длине.

Расход воды в жесткий поливной трубопровод можно рассчитать по формуле

$$Q_п = \sqrt{\frac{d_p^5 (H_0 - H_l + i_L l_p)}{0{,}0277 \lambda l_p}}, \qquad (4.6)$$

где Q_n — расход воды в поливном трубопроводе, равный сумме расходов воды в поливные борозды, м³/с; d_p — диаметр трубопровода, м; H_0, H_L — пьезометрический напор в начале и конце трубопровода, м; i_L — геодезический уклон по трассе трубопровода; l_p — длина трубопровода или фронт одновременной раздачи воды, м; λ — коэффициент сопротивления по длине трубопровода, который ориентировочно можно определить по формуле

$$\lambda = 0{,}015/d_p^{0,92}. \qquad (4.7)$$

Расход воды в гибком полиэтиленовом поливном трубопроводе можно рассчитывать по формуле

$$Q_{ht} = \sqrt{\frac{d_p^5\left(\frac{1-n^2}{n^2}H_L + i_p l_p\right)}{0{,}0277\lambda l_p - 0{,}091 d_p^5}}, \qquad (4.8)$$

где n — величина, учитывающая зависимость коэффициента расхода от скорости (изменяется от 0,93 при скорости 1 м/с до 0,85 при скорости 2 м/с). Остальные обозначения те же, что и в формуле (4.6).

Чтобы поливные трубопроводы не занливались, скорость в них не должна быть менее критической. При диаметре частиц наносов до 0,1 мм и мутности воды не более 5 г/л критическую скорость можно определить по формуле

$$v_{cr} = 0{,}0284\sqrt{\omega_m^{0,25}\rho\frac{1}{\lambda}}, \qquad (4.9)$$

где ω_m — средневзвешенная гидравлическая крупность наносов, мм/с; ρ — мутность оросительной воды, т/м³.

Возможны три схемы использования поливных трубопроводов.

1. Гибкие или жесткие трубопроводы заменяют выводную борозду, их укладывают на поле перпендикулярно направлению поливных борозд (рис. 4.4, *а*). Это дает возможность осуществлять однотактные и многотактные поливы при продольной и поперечной схемах расположения временной сети. Однотактный полив проводят, когда пропускная способность трубопровода позволяет подать воду во все борозды.

2. Гибкие трубопроводы заменяют всю временную сеть: часть их (транспортирующая) служит для подвода воды к поливным трубопроводам. Гибкий трубопровод с поливными отверстиями, как и в первой схеме, позволяет автоматизировать распределение воды между бороздами (рис. 4.4, *б*).

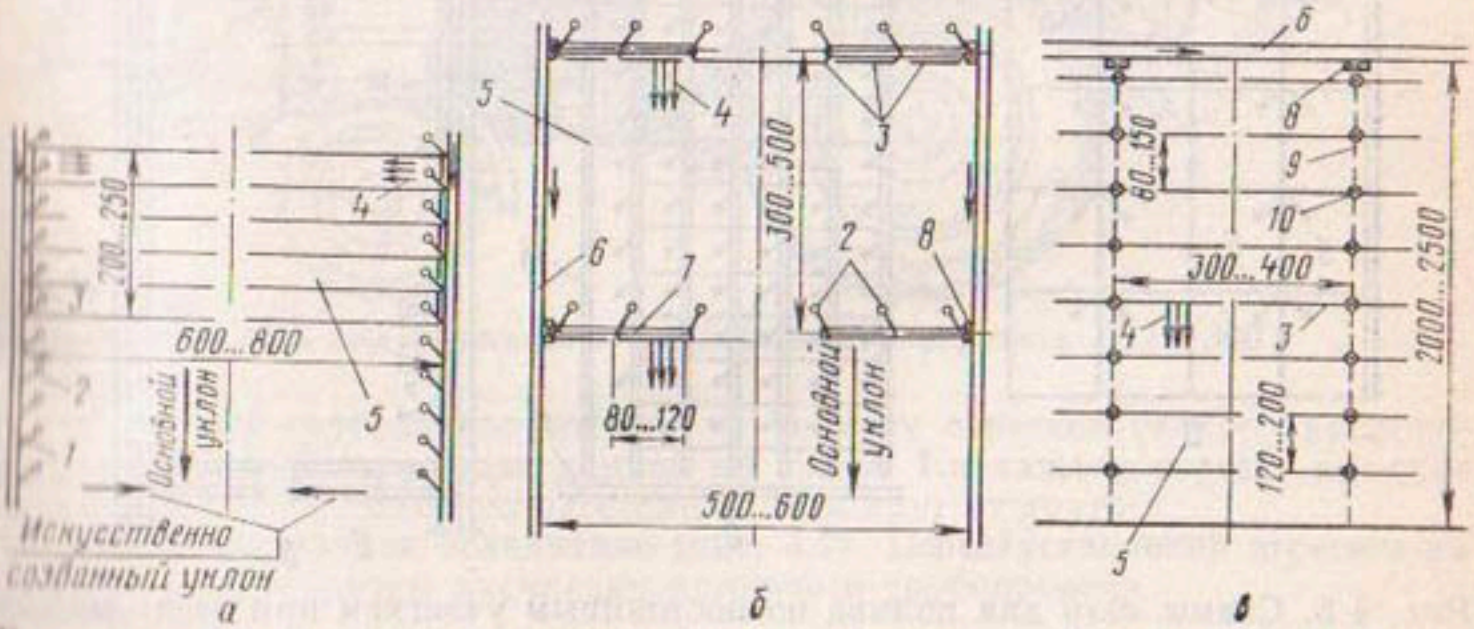


Рис. 4.4. Схемы оросительной сети с применением гибких трубопроводов: *а* — поперечная, i —0,001...0,003; *б* — продольная, i=0,03. . .0,07; *в* — для уклонов 0,01... 0,03; *1* — внутрихозяйственный канал или лоток; *2* — водовыпуск в гибкие поливные трубопроводы; *3* — гибкий поливной трубопровод; *4* — направление полива; *5* — площадь одновременного полива; *6* — межхозяйственный канал; *7* — участковый распределитель; *8* — водозабор; *9* — закрытый транспортирующий трубопровод; *10* — гидрант-водовыпуск (размеры в м)

3. Транспортирующий трубопровод укладывают в почву ниже пахотного горизонта. На поверхность выходят гидранты с задвижками, к которым подключают поливные трубопроводы, укладываемые на поверхности на время полива. Расстояние между гидрантами соответствует длине поливных борозд (рис. 4.4, *в*).

При использовании поливных трубопроводов предъявляют повышенные требования к оросительной воде: мутность ее для гибких трубопроводов не должна превышать 1. . .1,5 г/л, для подземных трубопроводов — 3,4 г/л. В зависимости от мутности воды устанавливают режим промывки гибких и жестких трубопроводов.

Выбор схемы работы трубопроводов зависит от соотношения продольного и поперечного уклонов. Поперечные схемы применимы при уклонах менее 0,003 с тщательной планировкой в направлении полива. Они предусматривают полив по удлиненным бороздам (300. . .400 м) при большом расходе поливной струи (1,5. . .2,5 л/с) и расстояниях между бороздами не менее 0,9 м.

При очень малых уклонах возможно встречное движение воды в бороздах; для этого легкой планировкой (объем до 150. . .200 м³/га) искусственно создают уклон с понижением посередине поля (рис. 4.5). Такая схема позволяет довести расстояние между внутрихозяйственными оросителями или лотками до 600. . .800 м и увеличить этим длину гона.

Комбинированную оросительную самонапорную сеть закрытых поливных, перфорированных по ширине междурядий жестких и гибких трубопроводов следует применять на массивах с уклоном, постепенно выполаживающимся от 0,02 до 0,005. В верхней части, примыкающей к каналу, где напоры не превышают 3. . .4 м, следует использовать гибкие трубопроводы, в остальной части — подземные поливные перфорированные жесткие трубопроводы. Поливные отверстия подземных трубопроводов должны пропускать расход не менее 0,2 л/с, с тем чтобы не допустить засорения их. При уклонах свыше 0,015. . .0,02 рекомендуют полиэтиленовые трубопроводы диаметром 150. . .250 мм с постоянными нерегулируемыми водовыпусками,

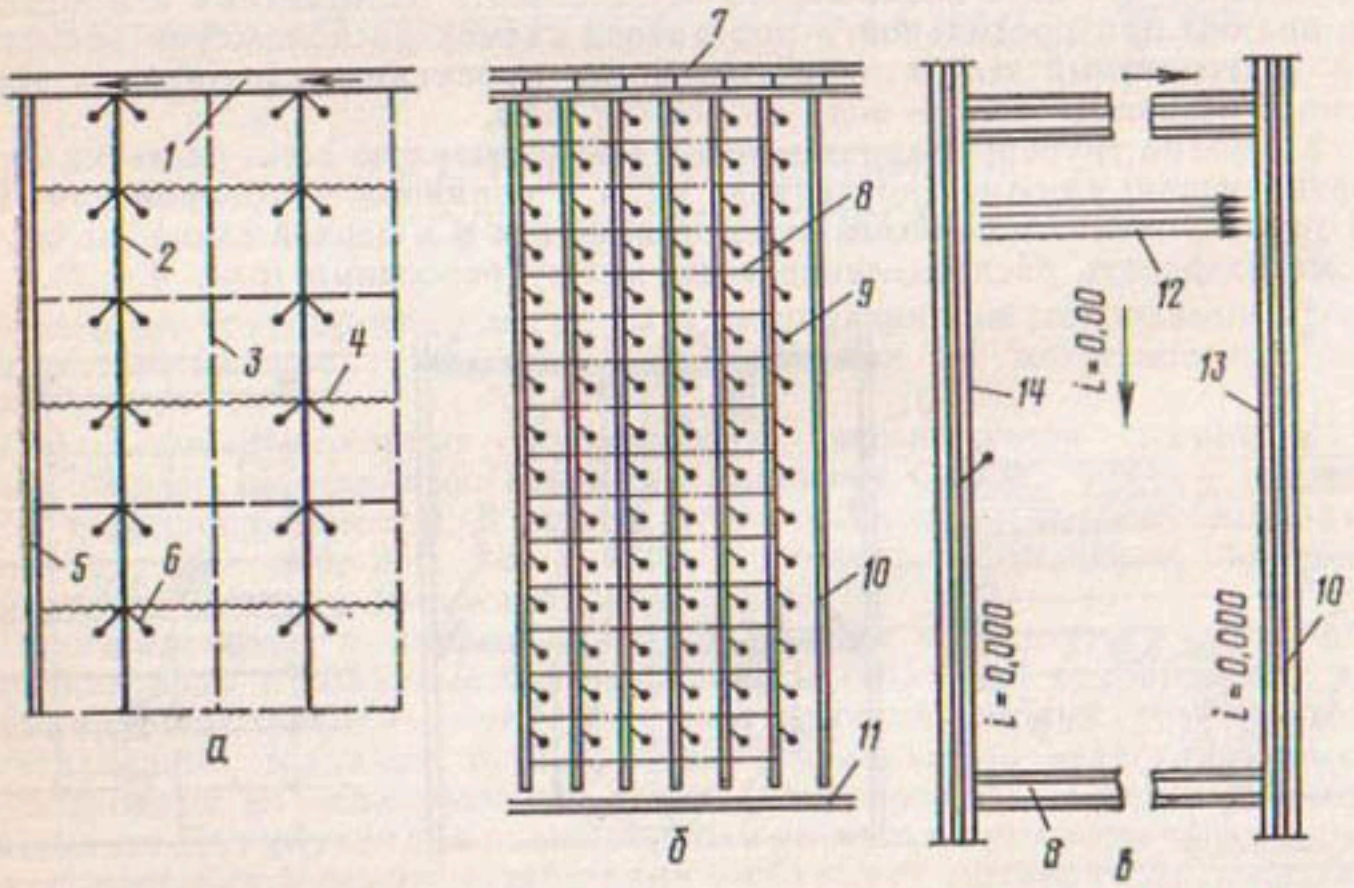


Рис. 4.5. Схемы сети для полива по постоянным участкам при очень малых уклонах (0,0005. . .0,0003):

а — в колхозе им. Калинина Ташаузского района Туркменской ССР; *б*, *в* — в Голодной степи;
1 — магистральный канал; *2* — картовый ороситель; *3* — грунтовая дорога; *4* — временный чиль; *5* — гравийная дорога; *6* — водовыпуски; *7* — оросительный канал; *8* — дрены; *9* — водовыпуск в поливной участок; *10* — лоток; *11* — коллектор; *12* — поливные борозды; *13* — сбросная борозда; *14* — выводная борозда

при уклонах 0,015. . .0,005 — трубопроводы диаметром 250. . .350 мм с регулируемыми и нерегулируемыми водовыпусками, при уклонах меньше 0,005 — трубопроводы большого диаметра.

На участках с уклонами 0,01. . .0,03 при продольной схеме поливов по коротким поливным бороздам (75. . .100 мм) используют жесткие передвижные поливные трубопроводы.

Для полуавтоматического распределения воды на хорошо спланированных участках применяют гибкие трубопроводы с армированными отверстиями постоянного диаметра, выбираемого в зависимости от расчетного расхода. Трубопровод располагают по уклону (0,002. . .0,005). Расход струи регулируют одновременно по всей длине гибкого трубопровода путем изменения напора в его головной части задвижкой. При наличии по трассе гибкого трубопровода переменного уклона применяют регулируемый водовыпуск.

4.8. ПОЛИВНЫЕ ПЕРЕДВИЖНЫЕ АГРЕГАТЫ С ГИБКИМИ ШЛАНГАМИ

Агрегат ППА-300 (рис. 4.6) предназначен для полива затоплением сопутствующих культур в рисовом севообороте, распределения воды в полосы или группы поливных борозд. Состоит из навесной насосной станции, гибкого поливного трубопровода, намоточного устройства.

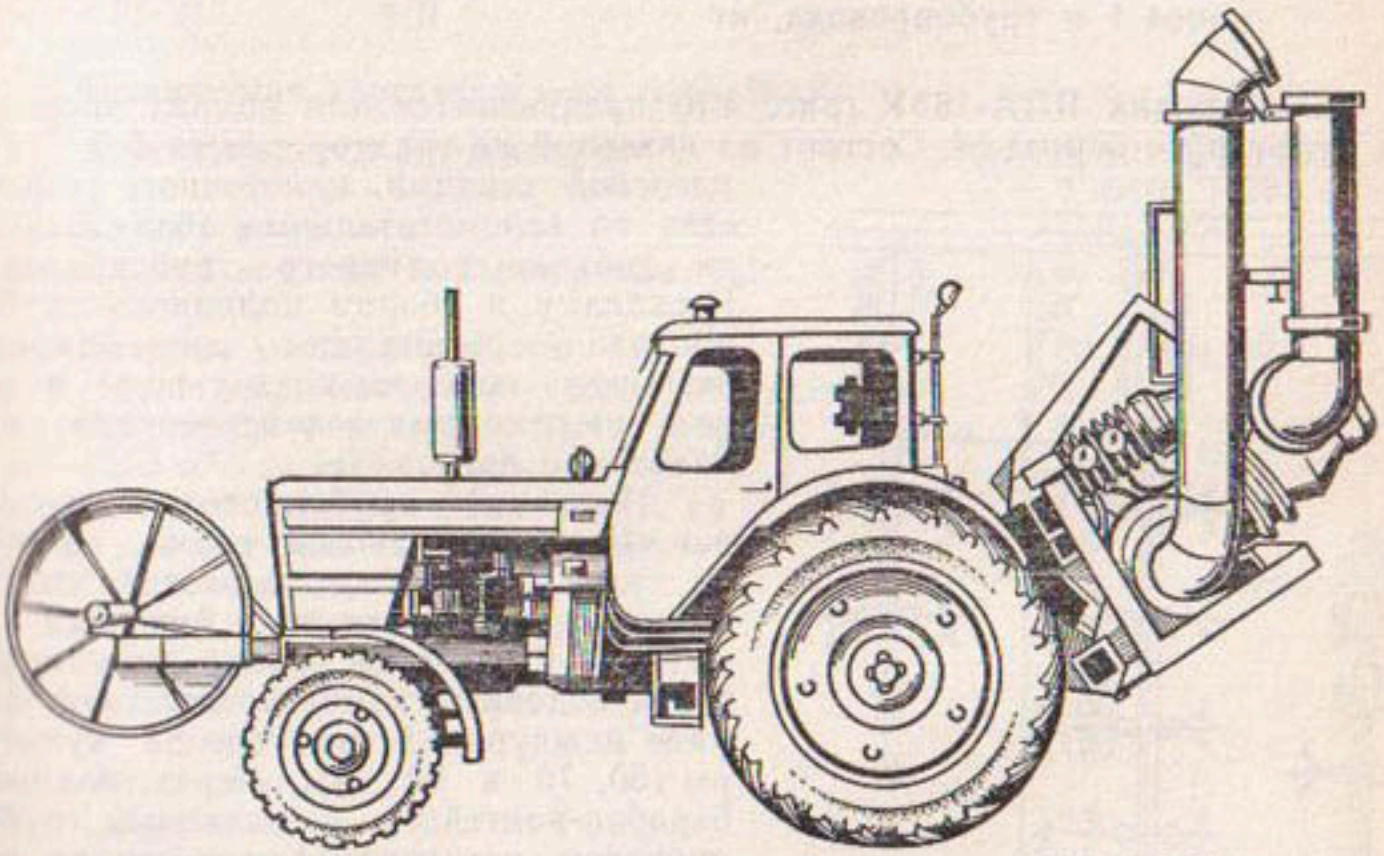


Рис. 4.6. Общий вид поливного передвижного агрегата ППА-300

Поливной трубопровод состоит из четырех отрезков гибкого капронового прорезиненного рукава длиной по 120 м. На каждом отрезке имеются шесть пар водовыпусков на расстоянии 20 м друг от друга.

Полив проводится позиционно (рис. 4.7). Перед установкой агрегата на позицию осуществляют раскладку поливного трубопровода.

Техническая характеристика ППА-300

Агрегатируется с тракторами	МТЗ-80 и ЮМЗ-6
Рабочие скорости, км/ч:	
при раскладке трубопровода	1,65...2,80
при сборке	3,0...4,8
Транспортная скорость, км/ч	10

Производительность при норме полива 1200 м³/га, га/ч	0,53
Сезонная производительность, га	115...315
Обслуживающий персонал	Два человека
Рабочий напор, м	5,0...7,8
Расход воды, л/с	245...312
Допустимая высота всасывания, м	1,5
Поливной трубопровод:	
материал	Капроновая ткань
толщина стенки, мм	0,5
диаметр, мм	350...420
рабочий напор, м	До 3,0
число водовыпусков по длине трубопровода	24
число водовыпусков по длине полотенгасителей	12
расстояние между водовыпусками, м	20
расход воды из водовыпуска, л/с	0...25
диаметр водовыпуска, мм	120
длина водовыпуска, м	0,68
масса 1 м трубопровода, кг	0,5

Поливальщик ППА-165У (рис. 4.8) предназначен для полива пропашных культур по бороздам. Состоит из навесной на трактор класса 0,9...1,4 насосной станции, намоточного устройства со вспомогательным оборудованием, гибкого поливного трубопровода. Раскладку и сборку поливного трубопровода осуществляют дистанционно без заезда на поле, подачу воды в него — из открытых водоисточников, каналов или лотков.

Поливной трубопровод, изготовленный из капроновой ткани, состоит из трех 100-метровых отрезков, соединенных патрубками и зажимными хомутами. Расстояние между регулируемыми водовыпусками соответствует ширине междурядий поливаемой культуры (60, 70 и 90 см). Перед поливом барабан-контейнер с поливным трубопроводом устанавливают на конце поля с помощью гидроцилиндра. Трактор размещают у водоема, тракторист с помощью тросовой лебедки разматывает поливной трубопровод, подсоединяет его к насосной станции и включает агрегат в работу.

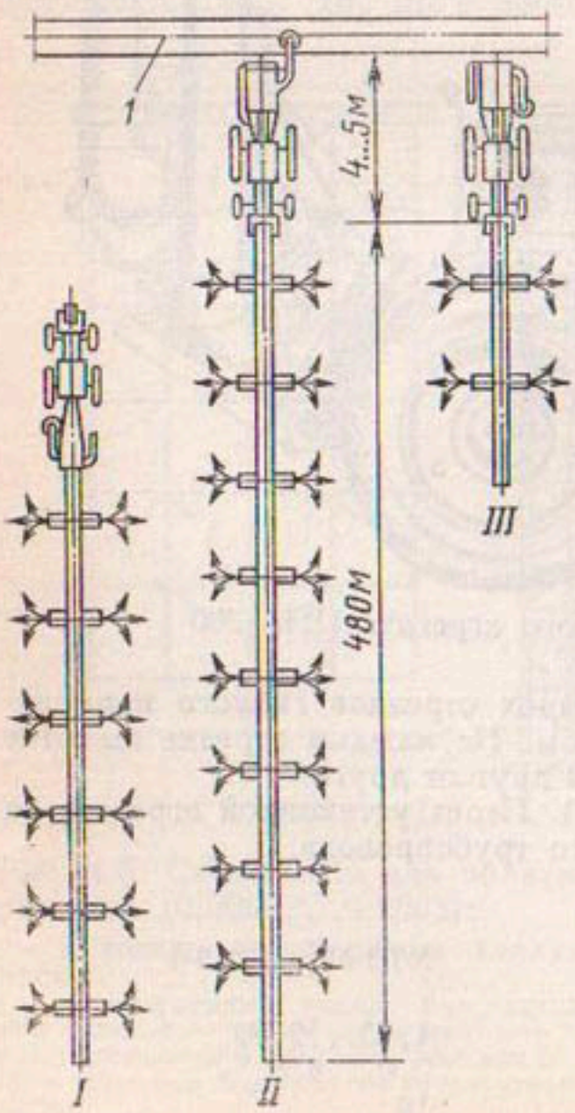


Рис. 4.7. Схема полива поливным передвижным агрегатом ППА-300:
I — раскладка трубопровода; *II* — полив; *III* — сборка трубопроводов; *1* — ороситель (Q = 400 м/с)

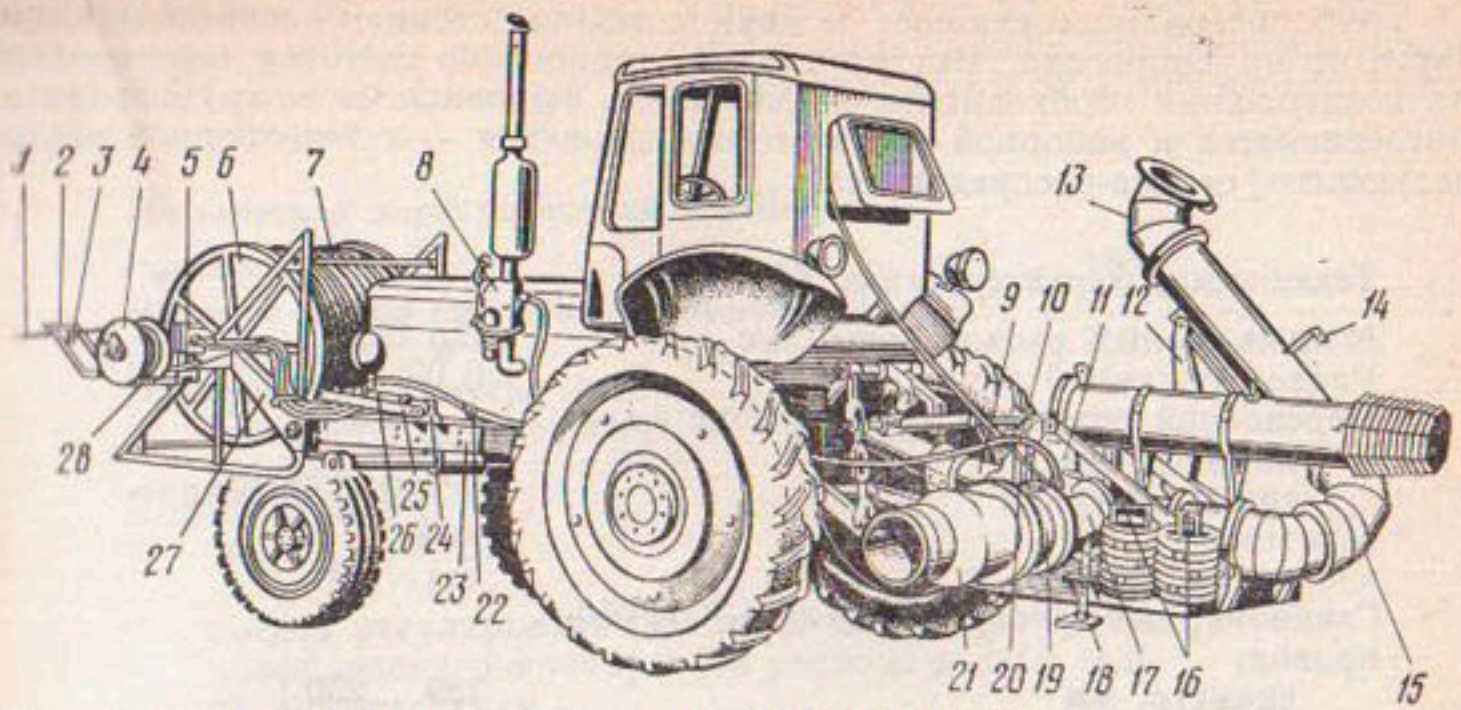


Рис. 4.8. Поливальщик универсальный ППА-165У:

1 — канат для дистанционной сборки поливного трубопровода; *2* — рамка; *3* — ролик; *4* — лебедка; *5* — гидромотор; *6* — барабан-контейнер; *7* — поливной трубопровод; *8* — газоструйный вакуум-аппарат; *9* — кожух; *10* — шланг; *11* — редуктор; *12* — механизм подъема; *13* — всасывающий трубопровод; *14* — опора; *15* — поворотная муфта; *16* — стойка; *17* — насос; *18* — опора рамы; *19* — обратный клапан; *20* — канат для открывания обратного клапана; *21* — напорный патрубок; *22* — разрывная муфта; *23* — лонжерон; *24* — кронштейн; *25* — фиксирующая планка; *26* — гидроцилиндр; *27* — подвижная рама; *28* — канатоукладчик

Техническая характеристика ППА-165У

Агрегатируется с тракторами	Т-40, МТЗ-80, Т-54В, Т-28Х4
Расход воды, л/с	150...200
Расход воды по водовыпускам, л/с	0...2
Напор, м	4...5,5
Ширина междурядий, см	60, 70 и 90
Площадь, поливаемая с одной позиции, га	8...10
Производительность при норме полива 1200 м³/га, га/ч	0,6
Сезонная производительность, га	120
Транспортная скорость, км/ч	15
Обслуживающий персонал	Два человека
Гибкий трубопровод:	
диаметр, мм	300
длина, м	300
длина отрезка, м	100
Тяговый трос:	
длина, м	250
диаметр, мм	5...6,5

4.9. ПОЛИВНЫЕ ПЕРЕДВИЖНЫЕ АГРЕГАТЫ С ЖЕСТКИМИ И ПОЛУЖЕСТКИМИ ТРУБОПРОВОДАМИ

Жесткие передвижные трубопроводы комплектуют из быстроразборных тонкостенных труб.

Трубопровод алюминиевый поливной ТАП-150 предназначен для полива по бороздам с забором воды из лотков или закрытой сети. Его перемещают с позиции на позицию трактором или вручную.

Трубопровод подсоединяют к двум соседним стоякам-распределителям закрытого трубопровода. Внутри стояка установлена щитовая перегородка для поддержания необходимого уровня воды. Головная часть трубопровода присоединяется к напорной части стояка, концевая — к безнапорной части следующего стояка-распределителя.

Техническая характеристика ТАП-150

Максимальный расход воды, л/с	До 30
Расход поливной струи, л/с	0,02...0,1
Переносной поливной трубопровод:	
диаметр, мм	150
тип и материал	РТШ алюминиевый
длина звеньев, м	5,1...11,7
Стационарный распределительный трубопровод:	
диаметр, мм	189...250
тип и материал	ТСЦ-250 асбестоцементный
Допустимые уклоны	До 0,1
Площадь полива с позиции, га	До 40
Производительность, га/ч	До 0,15

Колесный поливной шлейфовый агрегат АПШ-1 предназначен для позиционного полива по бороздам или полосам длиной 300. . .500 м с забором воды из открытой оросительной сети или гидрантов закрытых оросителей.

Трубопровод состоит из нескольких соединяемых с помощью гибких вставок однотипных секций (рис. 4.9). Секция включает основную алюминиевую трубу диаметром 220 мм и откидной шлейф диаметром 100 мм. Расстояния между водовыпускными отверстиями для распределения воды в борозды соответствуют ширине междурядий и составляют 60, 70 или 90 см. Число водовыпускных отверстий на одном шлейфе — 11. . .16. Расход воды, подаваемой в борозды, регулируют задвижкой, установленной в месте соединения откидного шлейфа с основным трубопроводом.

При поливе с забором воды из открытых оросителей (рис. 4.10, *а*) два поливных трубопровода длиной по 100 м работают от одной насосной станции СНП-150/5А, а также с одним или двумя сифонами СП-60.

При поливе с забором воды от гидрантов закрытых оросителей (рис. 4.10, *б*) поливной агрегат включает два трубопровода длиной по 100 м и

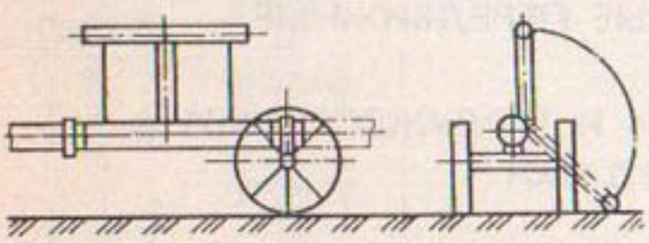


Рис. 4.9. Секция поливного трубопровода АПШ-1

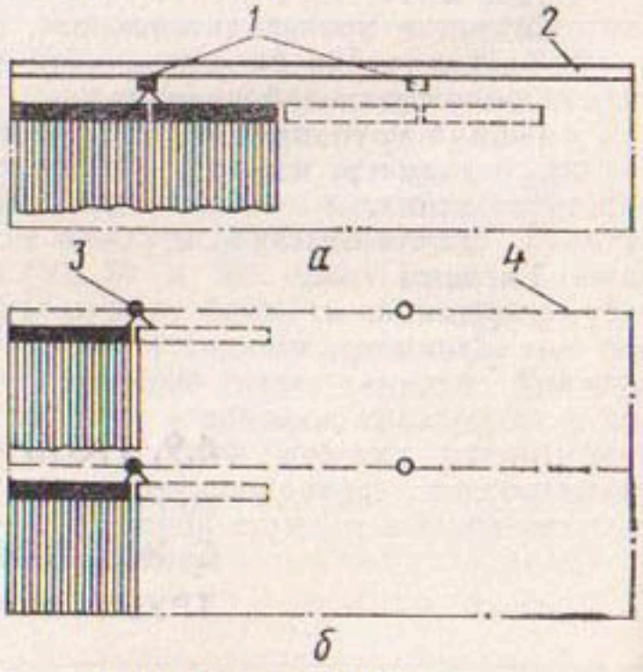


Рис. 4.10. Полив АПШ-1:

а — из открытой оросительной сети; *б* — из закрытой оросительной сети; *1* — позиции насосной станции; *2* — открытый ороситель; *3* — рабочий гидрант; *4* — закрытый ороситель

трактор класса 0,9. Трубопроводы устанавливают на гидрантах двух параллельных закрытых оросителей. Расстояние между гидрантами принимают 200 м при минимальном напоре на гидранте 5 м и 100 м—при напоре 3 м.

Техническая характеристика АПШ-1

Расход воды, л/с	165
Рабочий напор (на два трубопровода), м	7,0
Длина секции, м	9,0
Внутренний диаметр, мм:	
основного трубопровода	216
шлейфа	100
Водовыпуски:	
тип	С групповым регулированием
предел регулирования расхода воды, л/с	0...1,0
коэффициент равномерности расхода воды по водовыпускам	0,8
Производительность при норме полива 600 м³/г, га/ч	0,6
Обслуживающий персонал	Один человек на два трубопровода

Трубопровод колесный поливной ТКП-90 предназначен для полива по бороздам пропашных культур на почвах высокой и средней проницаемости. Включает два крыла с 16 свободновращающимися муфтами, имеющими калиброванные диафрагмы. Муфты устанавливают в стыках фланцев труб через каждые четыре колесные секции. К муфтам крепят низконапорные плоскосворачиваемые шланги-шлейфы с водовыпускными отверстиями, расстояние между которыми соответствует ширине междурядья (рис. 4.11).

Полив осуществляют позиционно с забором воды от гидрантов закрытой оросительной сети (рис. 4.12).

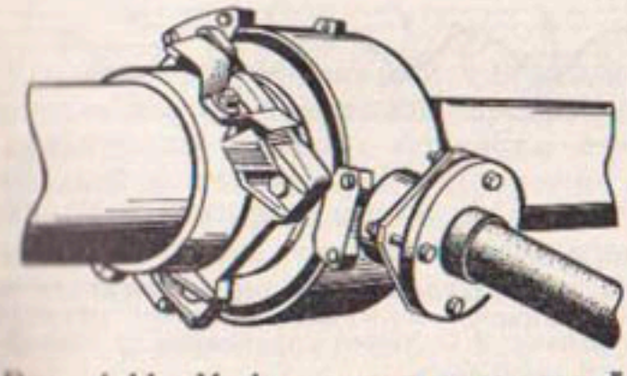


Рис. 4.11. Муфта с поливным шлейфом колесного трубопровода ТКП-90

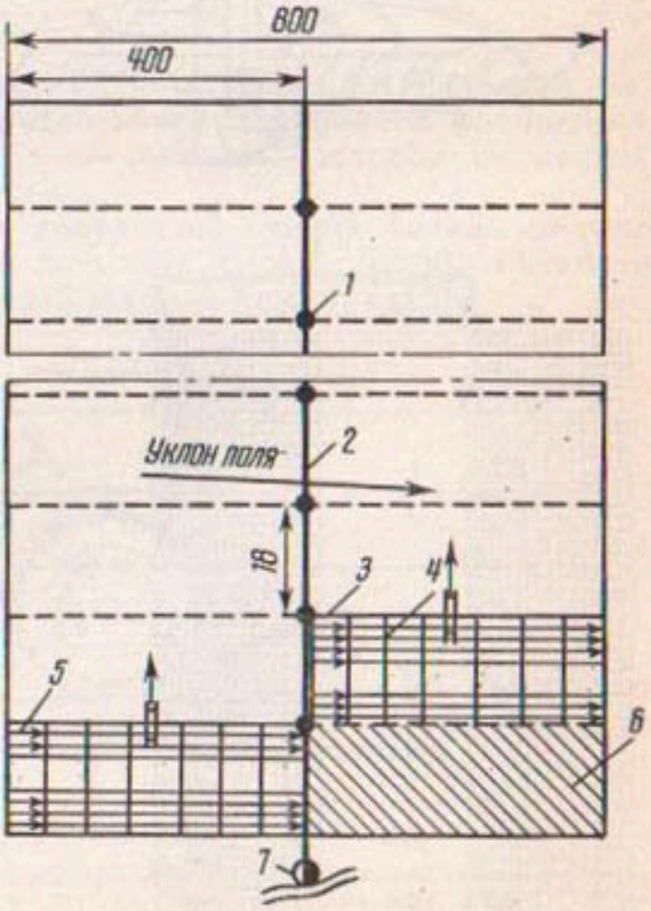


Рис. 4.12. Схема полива трубопроводом ТКП-90:

1 — гидрант; *2* — трубопровод; *3* — крыло машины; *4* — гибкий шланг с отверстиями; *5* — поливная борозда и направление полива по уклону; *6* — политая площадь; *7* — насосная станция (размеры в м)

Техническая характеристика ТКП-90

Расход воды, л/с	До 110
Напор на гидранте, м	10...20
Число муфт	15
Расстояние между муфтами, м	50,4
Число шлейфов	16
Длина шлейфов, м	21,2
Число водовыпускных отверстий	41; 27; 21
Расстояние между водовыпусками в шлейфе, м	0,45; 0,70; 0,90
Площадь, поливаемая с одной позиции при ширине участка 800 м, га	1,44
Производительность при норме полива 800 м³/га, га/ч	0,45
Обслуживающий персонал	Один человек на четыре крыла

4.10. КОМПЛЕКТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛИВА ПО БОРОЗДАМ

Комплект предназначен для полива пропашных культур затоплением тупиковых борозд и по сквозным бороздам струей с переменным расходом и дискретной водоподачей на почвах средней и пониженной водопроница-

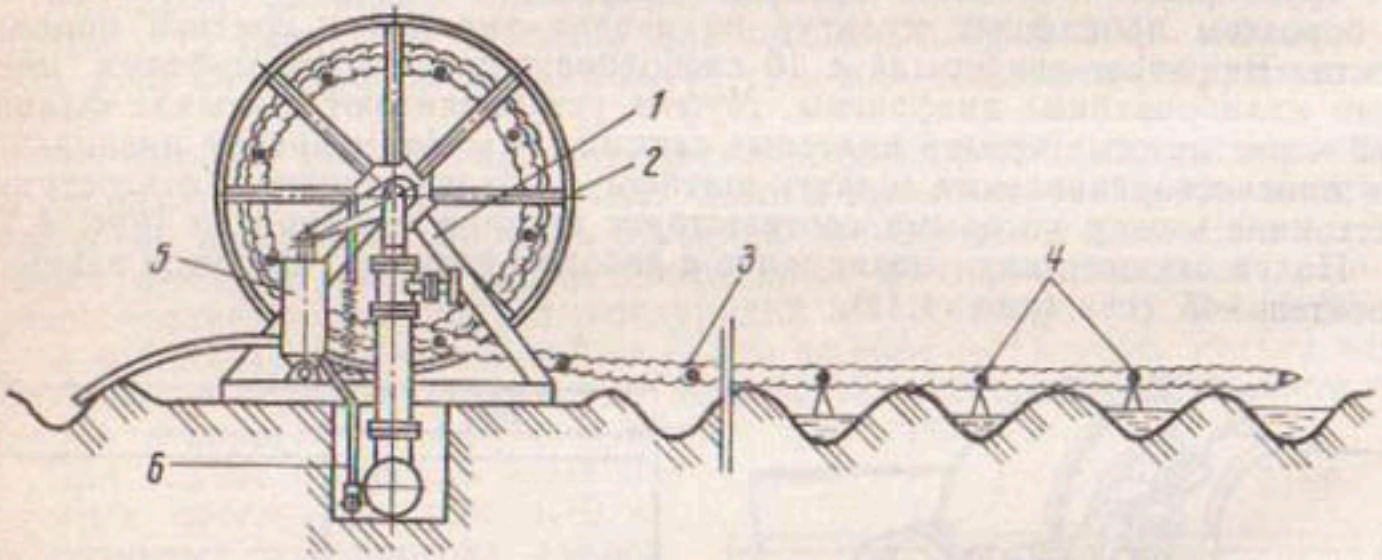


Рис. 4.13. Схема шлангового поливного устройства:

1 — рама; *2* — барабан; *3* — шланг; *4* — водовыпуск; *5* — гидромеханизм привода барабана; *6* — линия управления от командного генератора

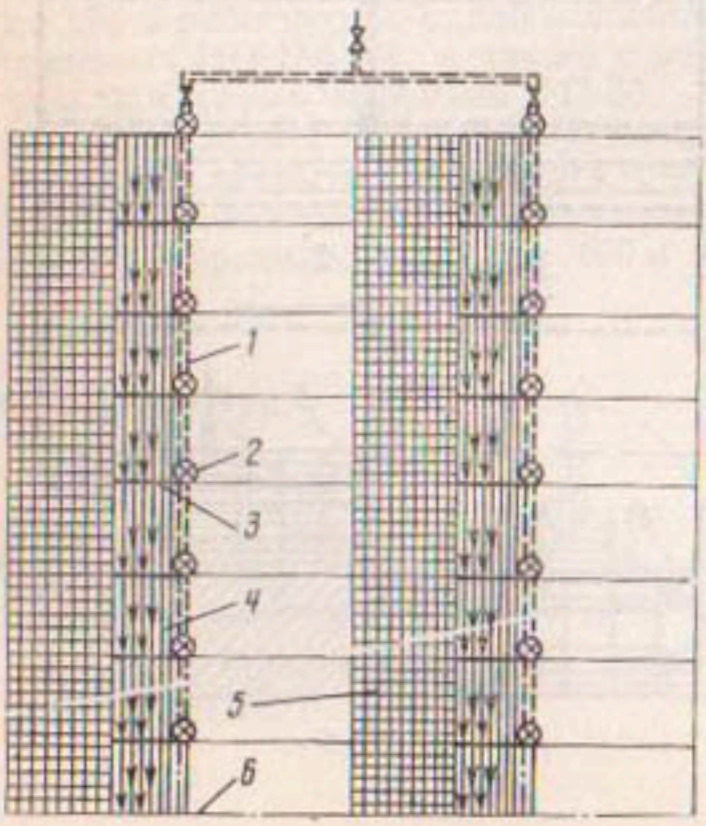


Рис. 4.14. Схема автоматизированной системы со шланговыми поливными устройствами:

1 — распределительный трубопровод; *2* — автоматизированные поливные устройства; *3* — поливной шланг; *4* — поливные борозды; *5* — политая площадь; *6* — канал

емости. Питание водой осуществляется от гидрантов закрытых оросителей, расположенных параллельно поливным бороздам.

Шланговое поливное устройство АШУ-32 представляет собой конструкцию, включающую барабан со шлангом, имеющим в концевой части регулируемые водовыпуски (3. . .5 и более) с гасителями поливных струй, гидромеханизм привода барабана, командный генератор (рис. 4.13).

Полив осуществляется в автоматическом режиме. Гидроприводы всех намоточных устройств срабатывают одновременно в запрограммированном режиме по сигналам командного генератора, при этом поливные шланги перемещаются каждый раз на одно междурядье. Регулирование расхода водовыпусков осуществляется при перекрытии части сечения калиброванного отверстия.

Технологическая схема работы комплекта приведена на рисунке 4.14.

Раскладку поливных шлангов на исходную позицию осуществляют с помощью трактора любого класса.

Техническая характеристика шлангового поливного устройства

Расход воды, л/с	3,0...4,5
Давление на входе, МПа	0,3...0,4
Число водовыпусков	3...5
Расстояние между водовыпусками, м	0,6; 0,7; 0,9
Рабочая длина поливного шланга, м	100...200
Масса установки (без воды) со шлангом, кг	330...410
Габаритные размеры (высота×ширина×длина), м	1,8×1,8×1,7
Коэффициент использования рабочего времени	0,95
Сезонная нагрузка на одно устройство при норме полива 600 м³/га, га	4...8
Число устройств, обслуживаемых одним оператором	16...24

4.11. ПОЛИВНЫЕ ЛОТКИ

Автоматизированный поливной лоток (АПЛ) с гидромеханическим управлением по временной программе предназначен для полива пропашных культур по длинным бороздам струей с постоянным расходом на почвах средней и пониженной водопроницаемости.

Лоток с односторонней раздачей и поперечной схемой полива состоит из однотипных секций (используются лотковые блоки ЛР-80, имеющие отверстия в дне, с шагом, равным принятой ширине междурядий).

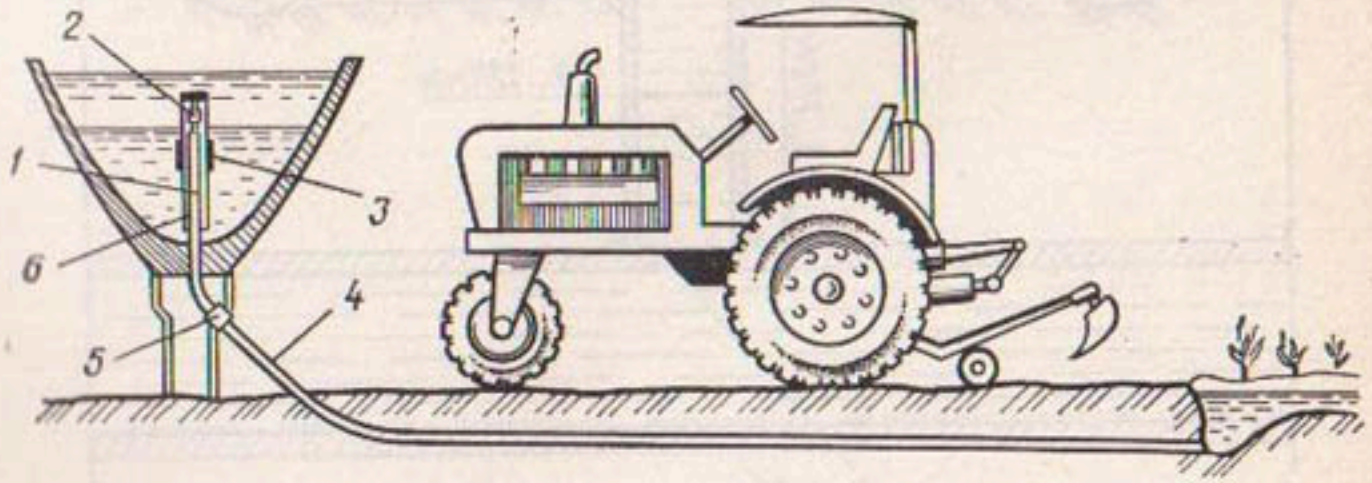


Рис. 4.15. Автоматизированный поливной лоток:

1 — сифонный водовыпуск; *2* — втулка для настройки водовыпуска на заданный расход; *3* — поплавок; *4* — полиэтиленовый шланг; *5* — втулка для подсоединения шланга; *6* — стакан

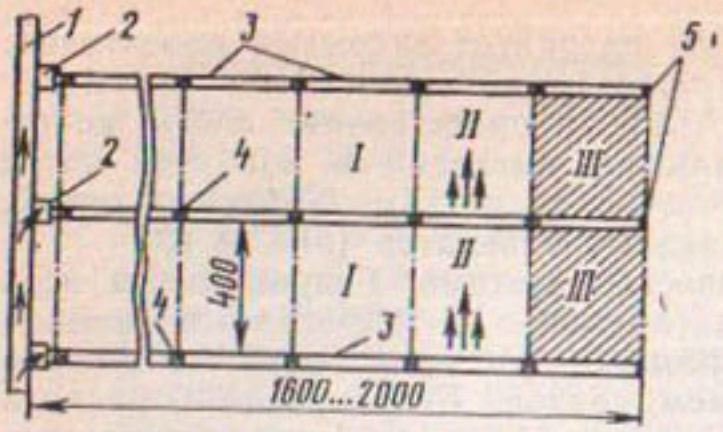


Рис. 4.16. Схема оросительной сети с автоматизированными поливными лотками:

1 — внутрихозяйственный распределительный канал; *2* — головное сооружение; *3* — поливные секции лотка; *4* — автоматические затворы; *5* — концевой щит; I — нарезка борозд; II — полив; III — обработка (размеры в м)

Вода из лотка в борозды подается сифонными или трубчатыми водовыпусками. К водовыпуску присоединяют полиэтиленовый шланг для вывода воды под прилотковой полосой и подачи ее в оголовки поливных борозд (рис. 4.15). Водовыпуски устанавливают на 20. . .30 мм выше транзитного уровня воды в лотке. Управление поливом осуществляется автоматическим гидромеханическим затвором с временным устройством, обеспечивающим выдачу заданной поливной нормы (рис. 4.16). Максимальный расход водовыпусков при поливе — 0,6 л/с; точность раздачи воды в борозды ±10 %.

4.12. СТАЦИОНАРНЫЕ СИСТЕМЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ОРОШЕНИЯ

Стационарные оросительные системы предназначены для полива высокорентабельных культур — хлопчатника, садов, виноградников.

Стационарные системы бывают преимущественно самонапорными с распределением воды в поливные элементы из закрытых перфорированных трубопроводов, из малонапорных трубопроводов с подземными водовыпусками, из лотков и бетонированных каналов, а также с помощью стационарно-сезонных шланговых комплектов.

Закрытые перфорированные трубопроводы позволяют автоматизировать процесс распределения воды по бороздам длиной не менее 300. . .400 м.

Система, предложенная академиком И. А. Шаровым, состоит из перфорированных (пластмассовых, асбестоцементных, бетонных) трубопроводов, которые укладывают поперек борозд ниже пахотного горизонта. Вода из перфорированного трубопровода через отверстия диаметром 3. . .8 мм пробивается на поверхность в виде родничков в каждом междурядье и движется в борозде по уклону. Для равномерного распределения поливных струй длина трубопроводов не долж а быть больше 150. . .250 м. Вода в поливные

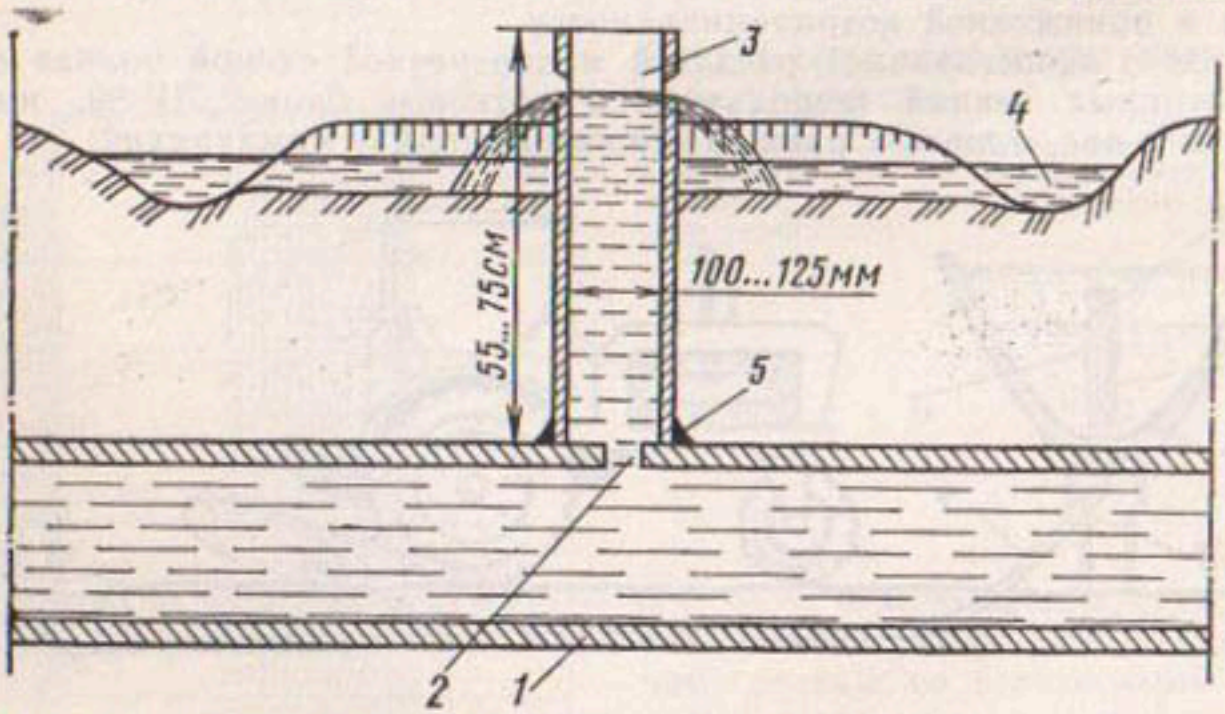


Рис. 4.17. Закрытый поливной трубопровод:

1 — поливной трубопровод; *2* — водовыпускное отверстие; *3* — полиэтиленовый патрубок; *4* — поливная борозда; *5* — цементный раствор

трубопроводы подается из транспортирующих трубопроводов при напоре 4. . .6 м.

Подземные поливные трубопроводы могут быть оборудованы специальными стояками-водовыпусками (рис. 4.17).

Закрытые трубопроводы можно использовать на очень больших уклонах (0,03. . .0,05) для подачи воды в глубокие борозды, нарезаемые по горизонталям.

На массивах с очень малыми уклонами (менее 0,001) стационарный поливной трубопровод можно использовать при поливе горизонтальных площадок напуском.

Стационарный поливной трубопровод рекомендуется проектировать телескопическим.

Потери напора по длине трубопровода при непрерывной раздаче воды следует определять по формуле Г. А. Петрова:

$$h_L = \frac{Q^2 L}{k^2} - \frac{Q_p (2 Q_t + Q_p)}{3 g A^2}, \tag{4.10}$$

где $Q = Q_t + 0{,}55\ Q_p$ — расчетный расход воды на участке, при котором потери напора в транзитном трубопроводе равны потерям напора с непрерывной и равномерной раздачей, м³/с; Q_t — расход воды, проходящий транзитом на рассматриваемом участке, м³/с; Q_p — путевой расход воды, раздаваемый на участке, м³/с; L — длина участка, где определяются потери, м; k — удельные потери, соответствующие 1000 i (по таблицам Ф. А. Шевелева); A — площадь сечения трубопровода, м²; g — ускорение свободного падения, м/с².

Для концевого участка формула (4.10) приобретает вид

$$h_L = \frac{Q^2 L}{k^2} - \frac{Q^2_p}{g A^2}, \tag{4.11}$$

где $Q = Q_p / \sqrt{3}$.

Потери напора вычисляют отдельно по каждому участку трубопровода, отличающемуся диаметром труб, а при необходимости в местах изменений уклона поверхности земли.

Глава 5. ДОЖДЕВАНИЕ

5.1. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКИ ДОЖДЕВАНИЯ

Определяющие параметры искусственного дождя — его интенсивность и структура.

Структура дождя характеризуется интенсивностью, размером капель, слоем осадков за один цикл полива и равномерностью распределения по орошаемому полю.

Мгновенная интенсивность дождя определяется отношением приращения слоя осадков в данной точке к приращению времени

$$\rho_t = dh/dt_0. \tag{5.1}$$

Действительная интенсивность дождя (мм/мин) отражает интенсивность его выпадения непосредственно из дождевого облака

$$\rho_{act} = 60q_{noz}/A; \quad \rho_{act} = 60Q_M/A, \tag{5.2}$$

где q_{noz}, Q_M — расход воды аппаратом, машиной, л/с; A — площадь одновременного захвата дождем, м^2.

При поливе движущимися машинами и вращающимися аппаратами основной качественный показатель — средняя интенсивность дождя ρ_m, определяемая расчетом по зависимости (5.1) или экспериментально.

$$\rho_m = 60q_{noz}/A_{sp}; \quad \rho_m = 60Q_M A_{sp}, \tag{5.3}$$

где A_{sp} — рассредоточенная площадь дождевания, на которой в едином технологическом процессе вносится заданная поливная норма, м^2.

Площадь дождевания принимают равной: для машин и установок позиционного действия — площади захвата дождем с одной позиции, для струйных дождевальных аппаратов и машин кругового действия — площади круга захвата дождем с радиусом R, для машин, работающих в движении,— площади участка, определяемого фронтом дождевания B и длиной прохода (бьефом) в направлении движения машины b.

Важный параметр технологии дождевания — это слой осадков h_m за проход машины или оборот

$$h_m = \rho_m t_{sp}, \tag{5.4}$$

где t_{sp} — продолжительность нахождения под дождем участка поверхности почвы, мин.

Для машин, поливающих в движении (типа ДДА-100М, «Кубань»), слой дождя за один проход

$$h_m = 60Q_M/vb, \tag{5.5}$$

где Q_M — расход воды дождевальной машиной, л/с; v — скорость движения агрегата, м/мин; b — длина захвата дождем в направлении движения машины (для ДДА-100МА примерно 18 м), м.

Для струйного дождевального аппарата или машины типа ДДН слой дождя за один оборот

$$h_m = 60q_{noz}/\pi R^2 n; \quad h_m = 60Q_M/\pi R^2 n, \tag{5.6}$$

где n — частота вращения дождевального аппарата, мин$^{-1}$, q_{noz} — расход воды дождевальным аппаратом, л/с.

Слой осадков зависит от скорости перемещения облака дождя, влияет на процесс впитывания воды в почву и определяет поливную норму.

Поливная норма зависит от продолжительности непрерывного дождевания и повторности процесса (цикличности) при прерывистом дождевании. Поливная норма (м^3/га):

для непрерывного дождевания

$$m = \rho_m t_{sp}; \tag{5.7}$$

для циклического полива

$$m = h n_z, \tag{5.8}$$

где ρ_m — средняя интенсивность дождя при непрерывном дождевании, мм/мин; t_{sp} — продолжительность полива, мин; h — слой осадков за один цикл полива, мм; n_z — число циклов.

Оптимальным пределом продолжительности дождевания считается период до образования луж или стока воды на поле. Практически до этого момента скорость впитывания воды в почву равна интенсивности дождя.

Интенсивность дождя, обеспечивающую в данных условиях подачу требуемой нормы полива без стока воды, называют **допустимой** и для различных технологий дождевания определяют экспериментальным путем (табл. 5.1).

Впитывание воды при дождевании зависит от водопроницаемости почв, интенсивности дождя, крупности дождевых капель реального дождевого облака и других факторов. Для ориентировочных расчетов продолжительности непрерывного дождевания до образования луж можно использовать эмпирическую зависимость

$$t_{pud} = A/(\rho_m \gamma_P)^n, \tag{5.9}$$

где A, γ_P — параметры, характеризующие водопроницаемость почв, определяются опытным путем при непрерывном дождевании.

Для слабоводопроницаемых почв параметр A не превышает 5. . .6, а на легких достигает 20. . .30. Величина γ_P, характеризующая затухание скорости впитывания воды при дождевании, колеблется в сравнительно узких пределах.

Для движущихся дождевальных машин допустимо появление луж при отсутствии стока и впитывании их без остатка к следующему покрытию дождем поверхности почвы.

5.1. Допустимая интенсивность дождя, мм/мин

Почвы	Уклон							
	0. . .0,05		0,05. . .0,08		0,08. . .0,12		>0,12	
	с культурой	без культуры	с культурой	без культуры	с культурой	без культуры	с культурой	без культуры
Песчаные	0,85	0,85	0,85	0,64	0,64	0,44	0,42	0,21
Те же, подстилаемые более плотной подпочвой	0,74	0,64	0,53	0,42	0,42	0,32	0,32	0,17
Легкие супесчаные	0,74	0,42	0,53	0,34	0,42	0,25	0,32	0,17
Те же, подстилаемые более плотной подпочвой	0,53	0,32	0,42	0,21	0,32	0,17	0,21	0,13
Среднесуглинистые	0,42	0,21	0,34	0,17	0,25	0,13	0,17	0,09
Те же, подстилаемые более плотной подпочвой	0,25	0,13	0,21	0,11	0,17	0,07	0,13	0,04
Тяжелые суглинки и глины	0,09	0,07	0,07	0,04	0,05	0,034	0,04	0,025

Качество дождевания зависит от диаметра образуемых капель. Наиболее благоприятный для растений и почвы моросящий дождь состоит из дождевых капель диаметром 0,4. . .0,9 мм.

Основная качественная характеристика искусственного дождя — степень равномерности распределения его по орошаемой площади.

Существующими агротехническими требованиями к дождевальным машинам и установкам предусмотрено значение коэффициента эффективного полива не менее 0,7 (то есть более 70 % площади должно быть полито с интенсивностью дождя не менее $0{,}75\rho_m$ и не более $1{,}25\rho_m$).

5.2. ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ НАСАДКИ И АППАРАТЫ

Для преобразования струи воды в дождевые капли применяют дефлекторные (короткоструйные) насадки, работающие при давлении 0,05. . . 0,25 МПа, и струйные аппараты — при давлении 0,2. . .0,8 МПа.

Дефлекторные насадки применяют на двухконсольном агрегате ДДА-100МА, на низконапорных широкозахватных машинах, на дождевальных установках при поливе цветников, газонов и культур закрытого грунта (рис. 5.1). В них струя воды, выходя из отверстия сопла, ударяясь о конус дефлектора, принимает форму конической пленки, которая, распадаясь на отдельные капли, орошает площадь в виде круга.

Расход воды насадками зависит от формы выходного отверстия сопла и его площади, напора воды и способа подвода ее к насадке

$$q_{noz} = \mu S \sqrt{2gH}, \tag{5.10}$$

где q_{noz} — расход воды, м³/с; μ — коэффициент расхода, зависящий от формы подхода воды к отверстию (для дефлекторных насадок равен 0,8. . . 0,94, для щелевых — 0,68. . .0,75, а для струйных аппаратов — 0,94. . . 0,99); S — площадь поперечного сечения отверстия насадки, м²; g — ускорение свободного падения (9,8 м/с²); H — напор воды у насадки, м.

Различают насадки с подвижным конусообразным дефлектором, позволяющим изменять площадь выходного отверстия, секторного действия с ложкообразным (рис. 5.2) или плоским дефлектором. Угол наклона плоскости дефлектора к горизонтальной поверхности составляет 30. . .38°.

Радиус круга (площади), орошаемого насадкой, определяют из зависимости

$$R = \frac{H}{1{,}15 + 0{,}00003 H/d_s}, \tag{5.11}$$

где H — напор перед отверстием насадки, м; d_s — диаметр проходного отверстия насадки, мм.

Отношение H/d_s следует принимать в пределах $200 < H/d_s < 2000$.

Щелевые насадки (рис. 5.3) имеют прорезь (щель) под углом 30° к горизонтальной плоскости. Угол прорези в диаметральном сечении трубы находится в пределах 60. . .120°, ширину прорези b_{sl} принимают в пределах 3. . .7 мм.

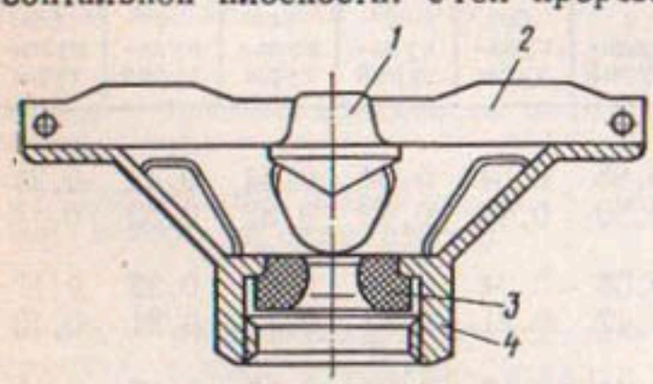


Рис. 5.1. Короткоструйная дефлекторная насадка:

1 — дефлектор; *2* — планка; *3* — сменное сопло; *4* — корпус

Радиус орошаемого сектора определяют по зависимости

$$R = \frac{H}{1{,}15 + 0{,}00003\,(H/b_{sl})}. \tag{5.12}$$

Отношение должно варьировать в пределах $200 < H/b_{sl} < 5000$; отношение ширины прорези b_{sl} к ее длине составляет 1/5. . .1/10. Коэффициент расхода для щелевых насадок в среднем принимают $\mu = 0{,}7$.

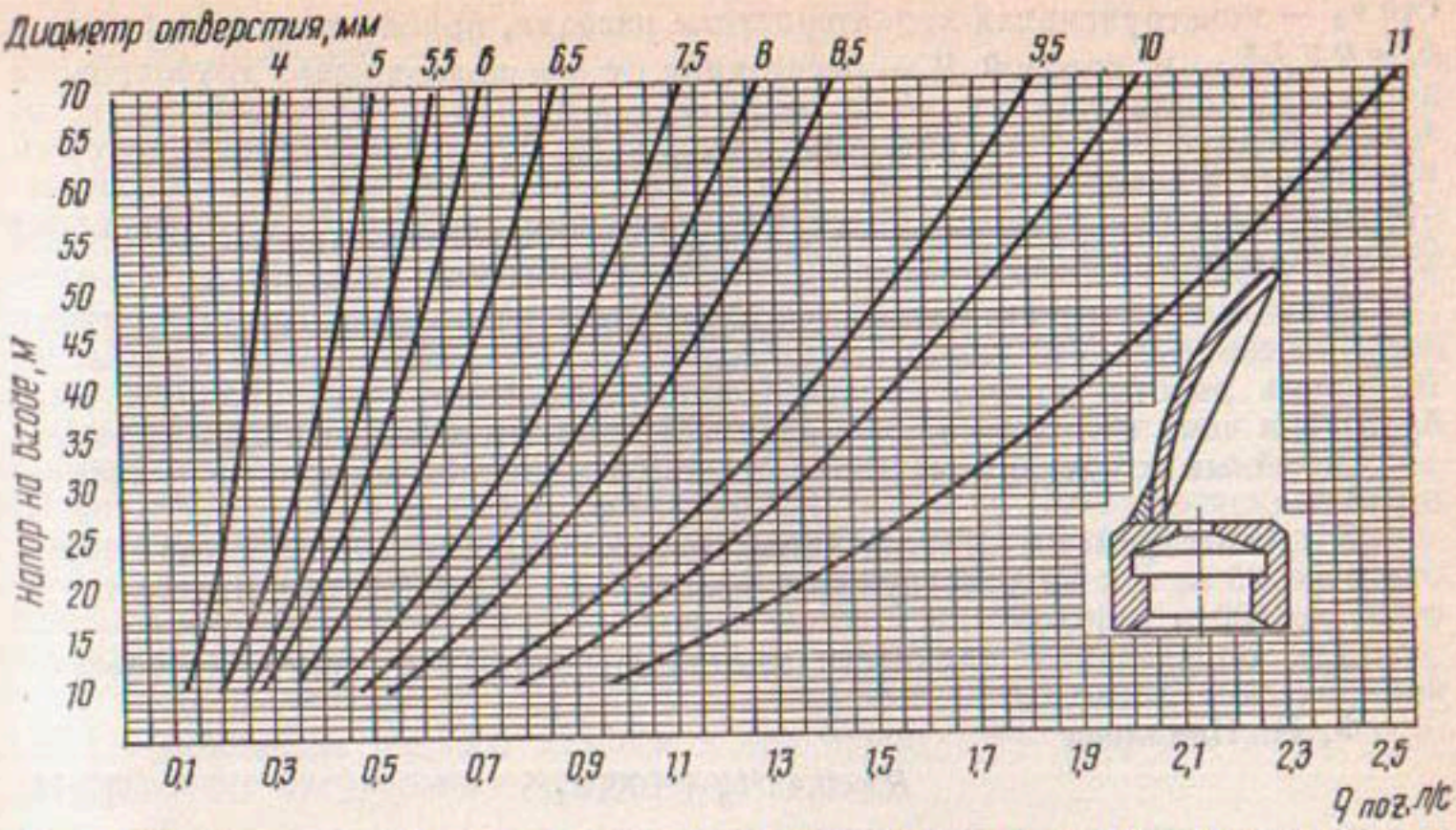


Рис. 5.2. Расходно-напорная характеристика короткоструйной дождевальной насадки с ложкообразным дефлектором

Центробежные насадки применяют на дождевальных машинах и установках для полива селекционных участков, скверов, цветников и др. Корпус насадки имеет вид плоской улиткообразной коробки, внутри которой поток воды движется по спирали. Вода, поступающая через отверстие в верхней части корпуса, образует кольцевой поток с незаполненным цилиндрическим пространством в центре.

Расход воды через насадку определяют из зависимости

$$q_{поз} = \frac{k_1}{\sqrt{1 + k_2^2 \frac{k_1^2}{1 - k_1^2}}} S\sqrt{2gH}, \qquad (5.13)$$

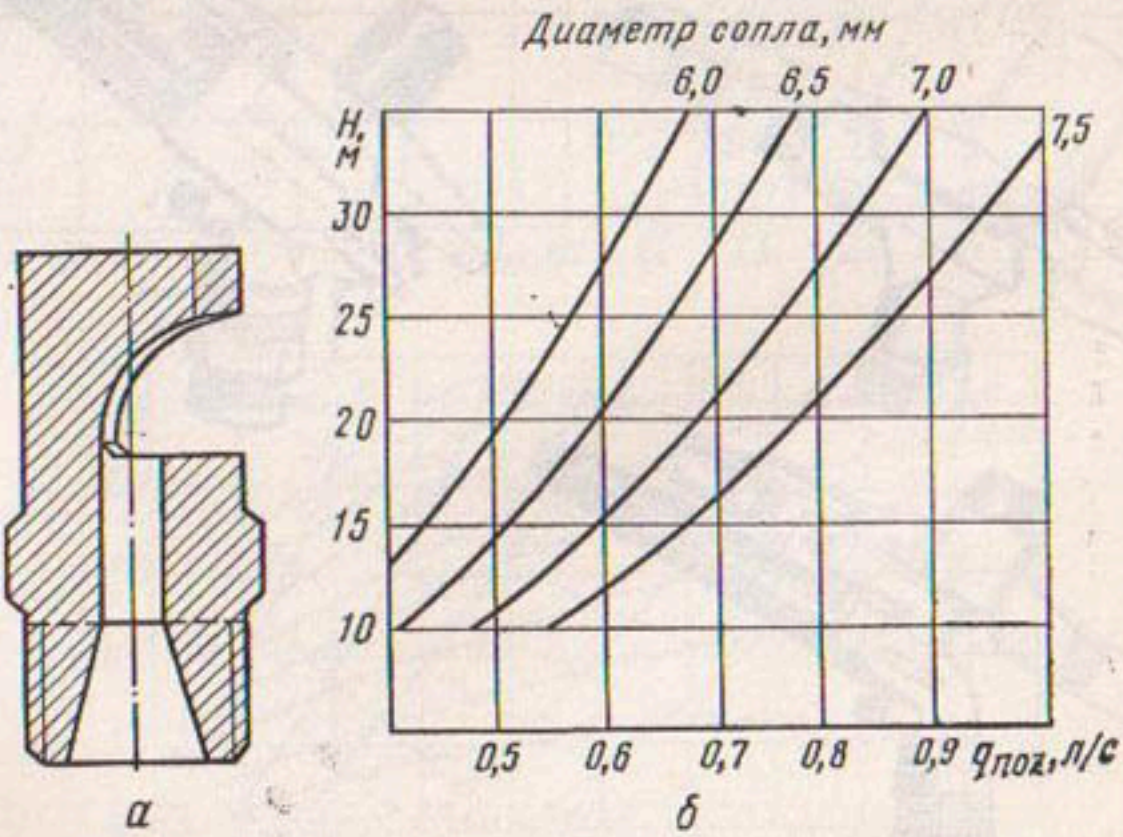


Рис. 5.3. Щелевая насадка (*а*) и ее расходно-напорная характеристика (*б*)

где k_2 — конструктивная характеристика насадки, определяемая по формуле $k_2 = RR_s/r_{noz}^2$, в которой R — расстояние от оси подводящего трубопровода до центра сопла насадки, м; R_s — радиус действия вытекающей струи, м; r_{noz} — радиус входного патрубка насадки, м; k_1 — коэффициент, который изменяется в зависимости от k_2. При $k_2=4$ он равен 38, а при $k_2=3$ соответственно 44; S — площадь поперечного сечения сопла, м^2; g — ускорение свободного падения, м/с^2; H — напор на насадке, м.

Струйные аппараты создают поток воды в виде одной или нескольких струй, выбрасываемых через сопло под углом к горизонтальной плоскости. Во время работы корпус аппарата вращается вокруг вертикальной оси, благодаря чему поливается круг радиусом, равным дальности полета струи.

Струйные дождевальные аппараты подразделяются на средне- и дальнеструйные.

К среднеструйным относят аппараты, имеющие дальность полета струи от 15 до 35 м, а к **дальнеструйным** — аппараты с дальностью полета струи от 35 до 100 м и более.

Для определения дальности полета неподвижной струи используют эмпирические формулы:

Ф. И. Пикалова

$$R = 0{,}42H_a + 1000d_s, \tag{5.14}$$

где H_a — напор на входе в сопло, м; d_s — диаметр струи при выходе из сопла, м; формула действительна для угла наклона струи к горизонту, равного 32°, и при отношении $H_a/d_s > 1000$;

В. М. Марквардте

$$R = \frac{2H_a \sin\theta_0}{1 + 4\lambda \frac{H_a}{d_s} \sin\theta_0}, \tag{5.15}$$

где θ_0 — угол вылета струи в градусах; $\lambda = 1 - e^{-H/^1/_6 d_s}$ (e — основание натуральных логарифмов);

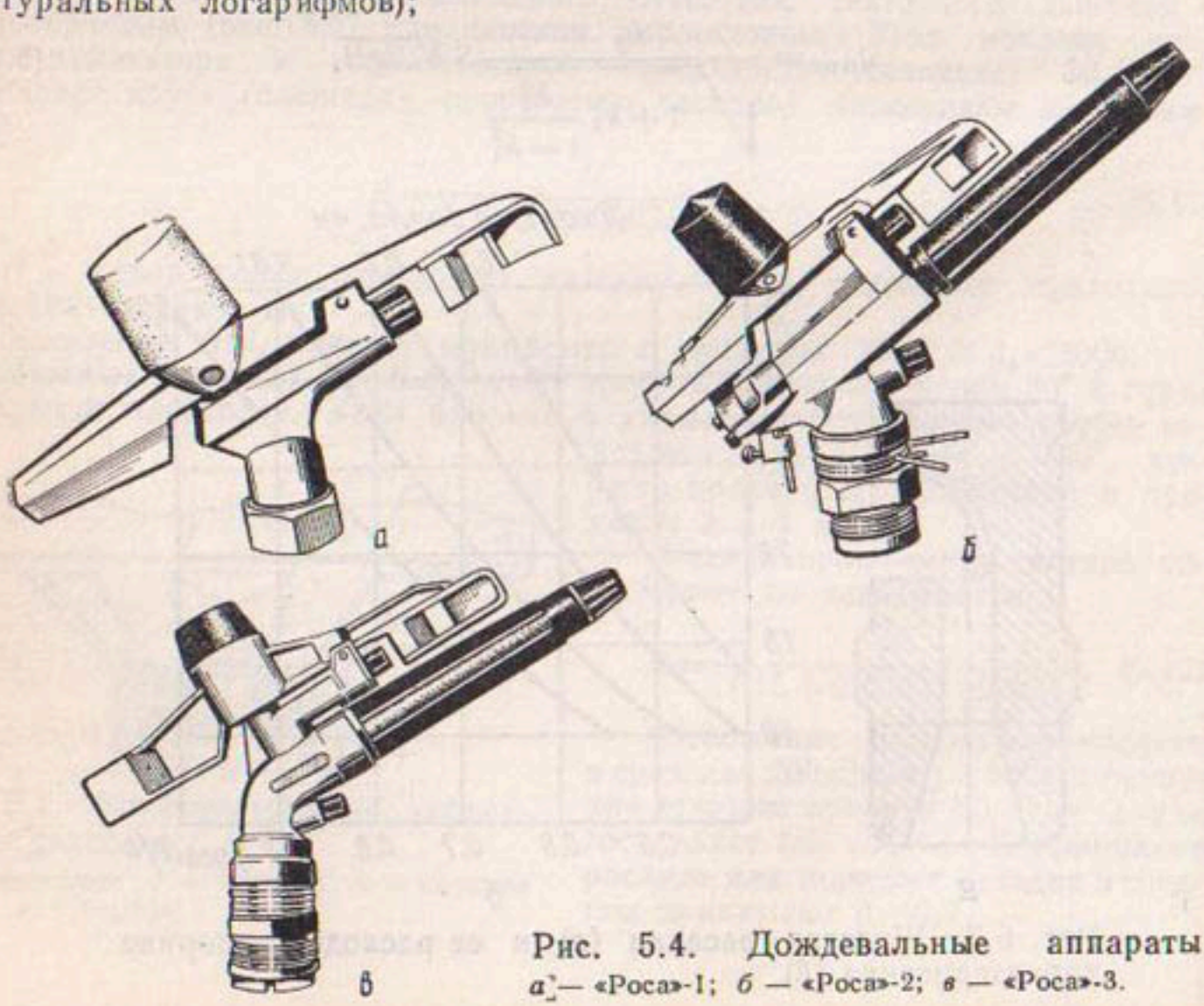


Рис. 5.4. Дождевальные аппараты
а — «Роса»-1; *б* — «Роса»-2; *в* — «Роса»-3.

$$R=\frac{H_a}{0{,}4+0{,}00025\,(H_a/d)}, \qquad (5.16)$$

действительна при $800<H_a/d<4000$. Если в стволе аппарата имеются элементы, возмущающие поток, то дальность струи снижается. В этом случае в знаменателе вместо 0,4 следует брать 0,5.

При частоте вращения ствола аппарата 0,1. . .1 мин$^{-1}$ дальность полета дождевальной струи уменьшается соответственно на 5. . .15 %. При безветренной погоде форма площади захвата дождем представляет собой круг с радиусом R, а при ветре — эллипс, у которого большая ось совпадает с направлением ветра и равна примерно $2R$, а малая уменьшается по мере увеличения скорости ветра. Эллипс интенсивно сужается при скорости ветра до 3. . .3,5 м/с. Степень его сжатия при скорости ветра до 8 м/с можно определить по формуле Ф. С. Салахова и С. Х. Гусейн-заде:

$$c=0{,}34e^{-0{,}35v}+0{,}66, \qquad (5.17)$$

где c — отношение ширины эллипса к его длине; v — скорость ветра, м/с; e — основание натуральных логарифмов.

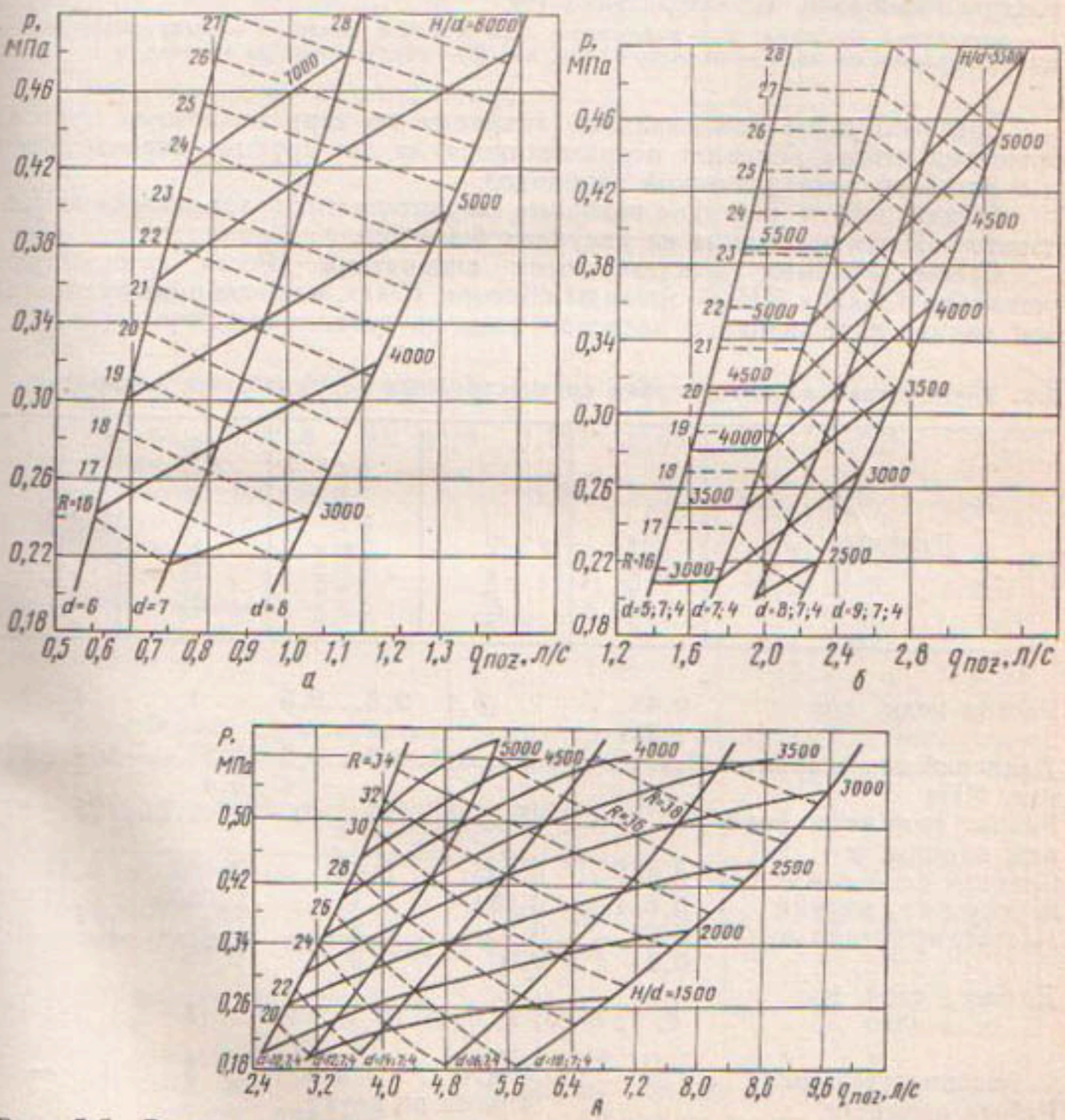


Рис. 5.5. Расходно-напорные характеристики дождевальных аппаратов:
а — «Роса»-1; *б* — «Роса»-2; *в* — «Роса»-3; *d* — диаметр сопла, мм; *R* — радиус полива, м

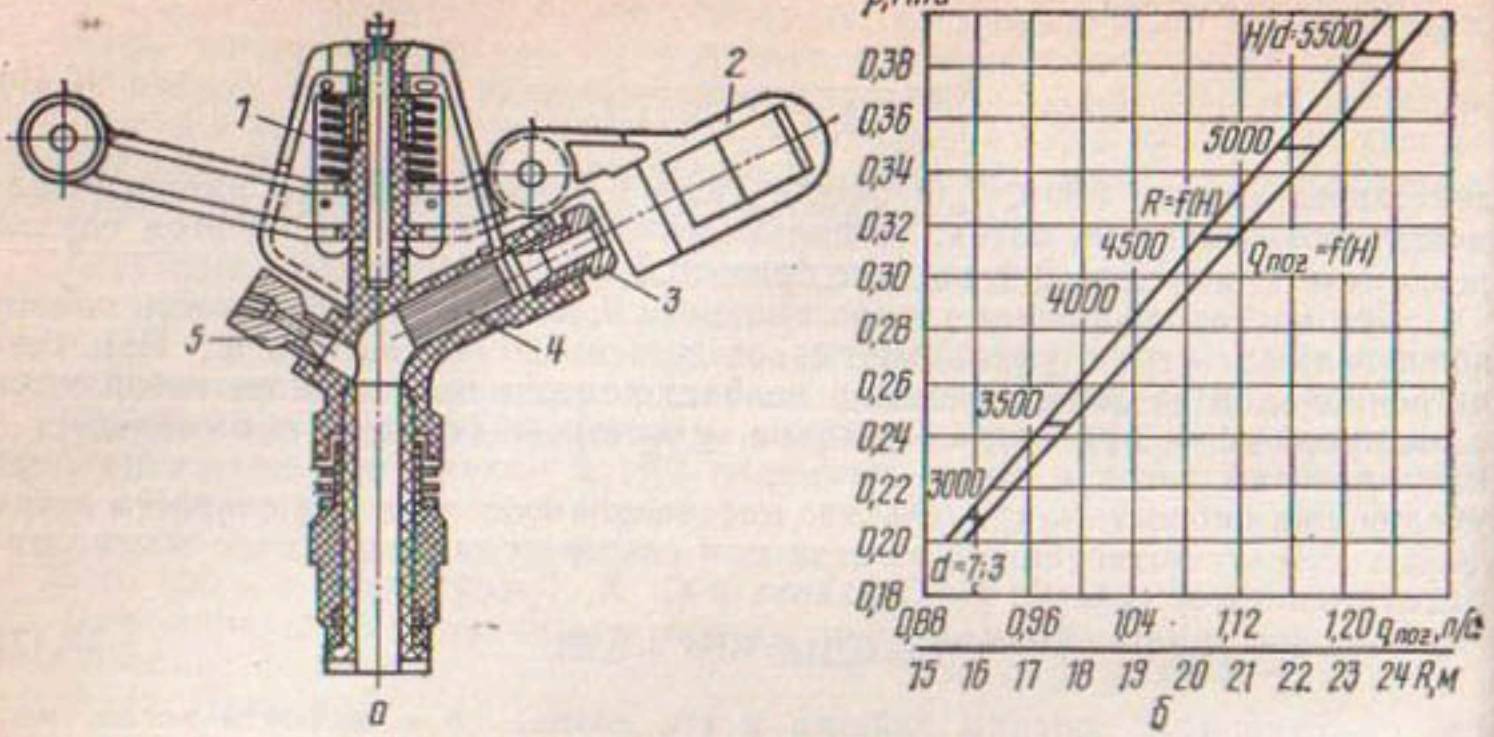


Рис. 5.6. Среднеструйный дождевальный аппарат ДКШ-64.00.060 (*а*) и его расходно-напорная характеристика (*б*):

1 — возвратная пружина; *2* — коромысло; *3* — основное сопло; *4* — выпрямитель; *5* — вспомогательное сопло; *d* — диаметр сопла, мм; *R* — радиус площади захвата, м

Среднеструйные дождевальные аппараты по типу механизма привода вращения ствола аппарата подразделяются на две группы: коромысловые и с активной гидравлической турбинкой.

Общий вид и расходно-напорные характеристики дождевальных аппаратов «Роса» приведены на рисунках 5.4 и 5.5.

Среднеструйными дождевальными аппаратами «Роса» комплектуют установки КИ-50 и КИ-25, машины «Днепр», «Ока», машины и оборудование для полива в движении с подводом воды по гибкому шлангу.

5.2. Техническая характеристика среднеструйных дождевальных аппаратов

Параметры	«Роса»-1	«Роса»-2	«Роса»-3М улучшенной конструкции	ДКШ-64.00.060	ДКН-80.05.000
Расход воды, л/с	0,45...1,25	1...3,4	2,5...9,5	1	4...5
Давление перед аппаратом, МПа	0,2...0,5	0,2...0,5	0,2...0,6	0,35...0,4	0,4...0,6
Радиус полива по крайним каплям, м	13...21	15...28	23...40	18...23	25...27
Средний слой дождя без перекрытия, мм/мин	0,051...0,054	0,083...0,084	0,09...0,15	0,053...0,0586	0,123...0,13
Частота вращения, $мин^{-1}$	0,25...0,5	0,25...0,5	0,25...1,0	0,5...0,75	0,5...1,0
Диаметр сопл, мм:					
основного	6; 7; 8	5; 7; 8; 9	10; 12; 14; 16; 18	7	14; 18
вспомогательных		7 и 4	7 и 4	3	—
Работа аппарата	Полив по кругу				
Масса, кг	0,63	1,45	1,5	0,19	2,0

5.3. Техническая характеристика дождевальных аппаратов машин «Фрегат» ДМУ

Параметры	№ 1	№ 2	№ 3
Расход воды, л/с	0,092...0,57	0,28...1,0	0,82...2,75
Давление в сжатом сечении, струи, МПа	0,14...0,35	0,18...0,42	0,38...0,50
Радиус полива по крайним каплям, м	11...13	13...17	16...24
Средний слой дождя без перекрытия, мм/мин	0,092...0,077	0,045...0,06	0,06...0,094
Частота вращения, мин$^{-1}$	0,75...1,0	0,25...0,5	0,25...0,5
Диаметр сопл, мм:			
основного	2,8; 3,2	3,6; 3,9; 4,3; 4,8; 5,1; 5,6	5,6; 6; 7,1; 7,9; 8; 9,5
вспомогательных	—	Заглушка 2,4; 3,2	4,3; 4,8; 5,6
Масса, кг	0,36	0,5	1,17

Продолжение

Параметры	№ 4	Концевой (трехсопловый) ДМ-07.090	Концевой (двухсопловый) ДМ-07.140
Расход воды, л/с	2,16...3,9	5,4...14,2	2,8...5,8
Давление в сжатом сечении струи, МПа	0,42...0,70	0,42...0,70	0,25...0,50
Радиус полива по крайним каплям, м	20...30	32,5...35,5	25...30
Средний слой дождя без перекрытия, мм/мин	0,102...0,083	0,1...0,215	0,26
Частота вращения, мин$^{-1}$	0,25...0,5	0,25...0,5	0,25...0,5
Диаметр сопл, мм:			
основного	9,5; 10,3; 11,1; 11,9	12,7; 14,3; 16,9; 17,5	12,7; 13,5; 14,3; 15,9
вспомогательных	5,6	7,9; 9,5; 6,3; 7,9	6,3
Масса, кг	1,69	5,3	1,69

5.4. Техническая характеристика дальнеструйных дождевальных аппаратов

Параметры	ДД-15	ДД-30	ДД-50	ДД-80
Расход воды, л/с	5...15	15...30	38...55	55...85
Давление перед аппаратом, МПа	0,5...0,6	0,5...0,6	0,5...0,7	0,5...0,7
Радиус полива по крайним каплям, м	35...50	40...60	44...70	57...80
Частота вращения, мин$^{-1}$	0,15...0,2	0,15...0,2	0,2	0,2
Диаметр сопл, мм	16; 22; 26	26; 30; 34	32; 36; 40	40; 46; 52
Характер работы аппарата	Полив по кругу и сектору			
Масса, кг	15,0	16,0	23,5	25,5

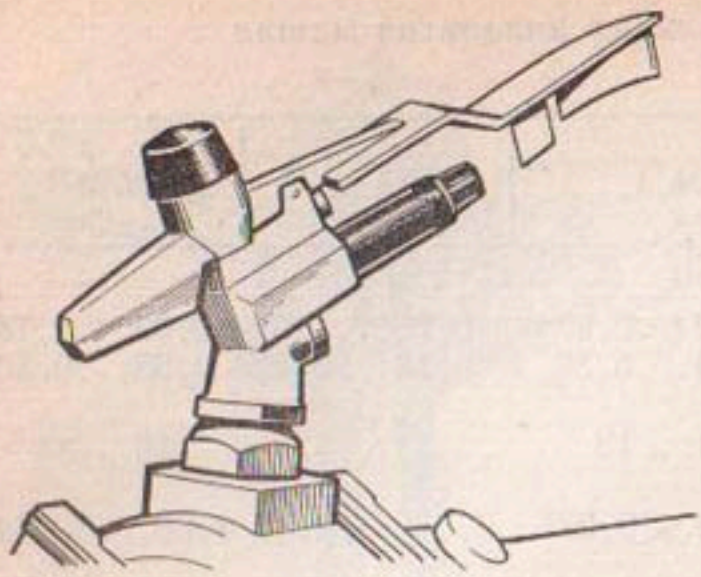


Рис. 5.7. Дождевальный аппарат ДКН-80.05.000

Основные технические характеристики серийно выпускаемых среднеструйных дождевальных аппаратов приведены в таблицах 5.2 и 5.3.

Общий вид и расходно-напорные характеристики дождевальных аппаратов ДКШ-64. 00.060 и ДКН-80.05 показаны на рисунках 5.6 и 5.7, дождевальных аппаратов машины «Фрегат» — на рисунках 5.8 и 5.9.

Дальнеструйные дождевальные аппараты по типу механизма привода вращения ствола подразделяются на коромысловые, с активной гидравлической турбинкой, реактивные и др.

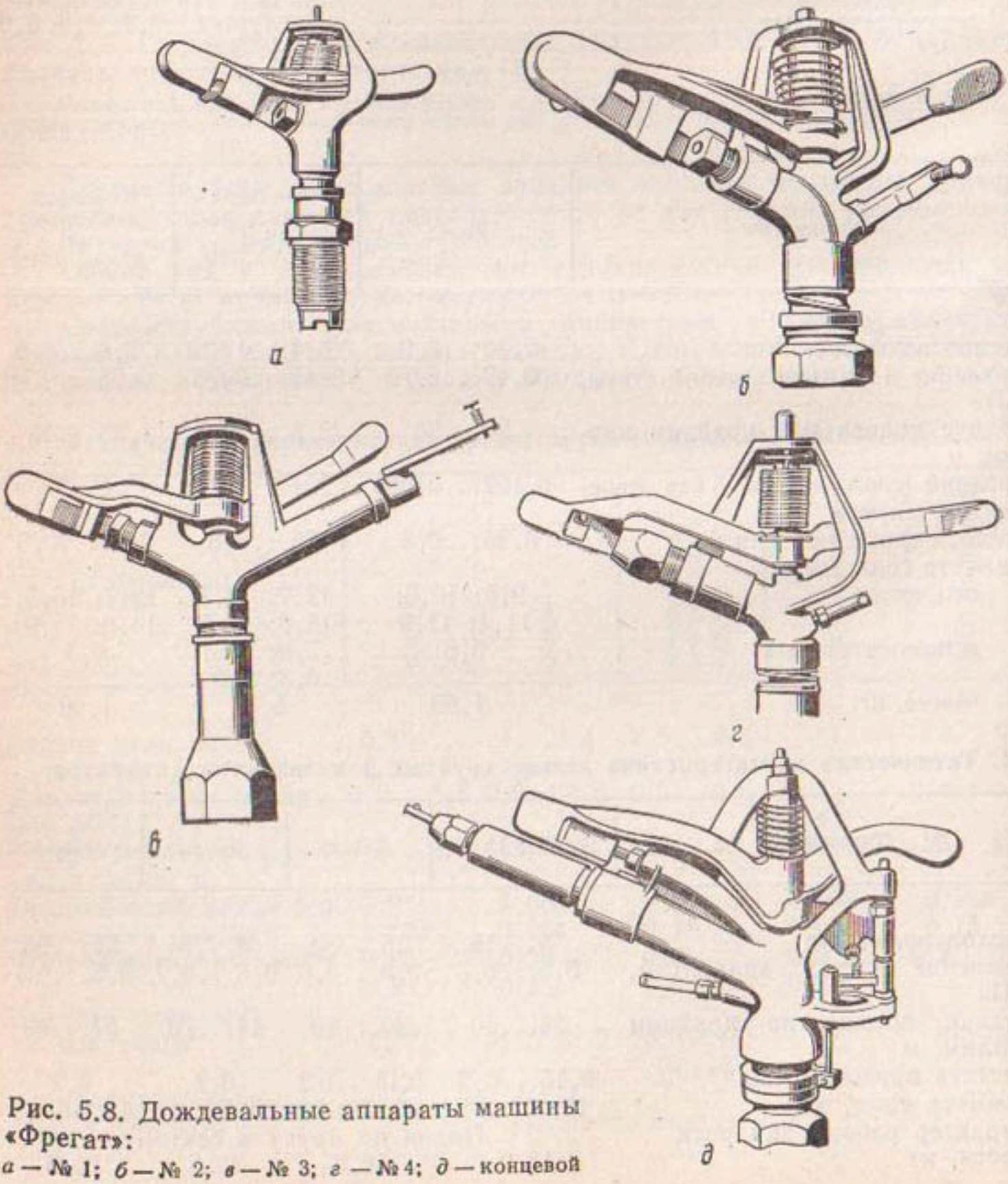
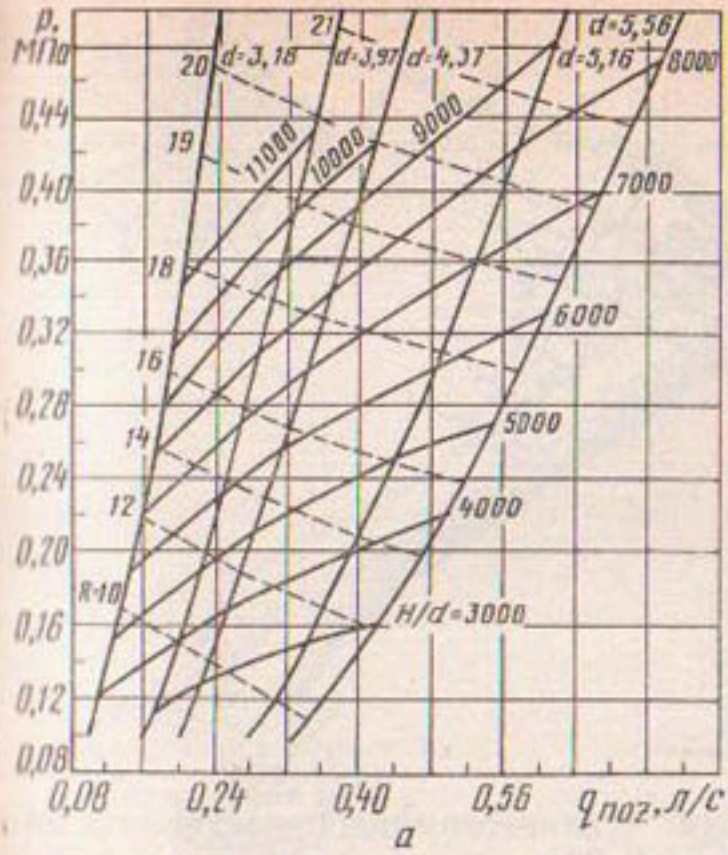
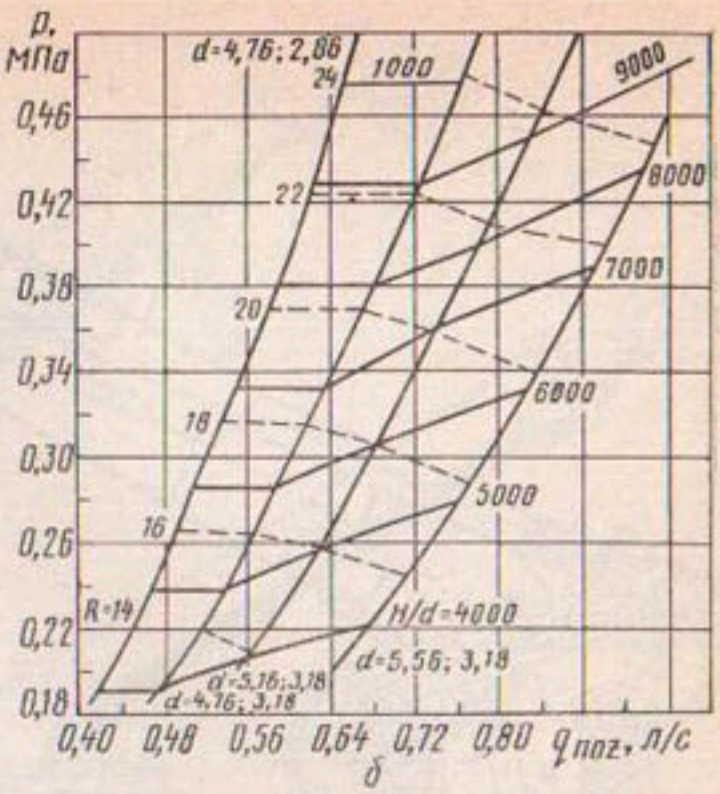


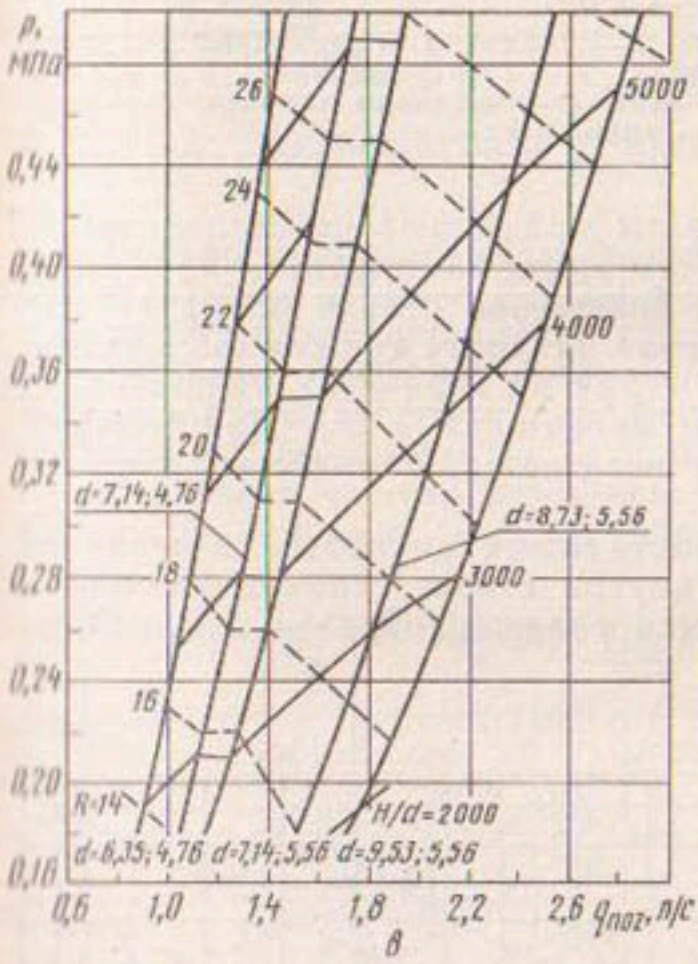
Рис. 5.8. Дождевальные аппараты машины «Фрегат»:
а — № 1; *б* — № 2; *в* — № 3; *г* — № 4; *д* — концевой



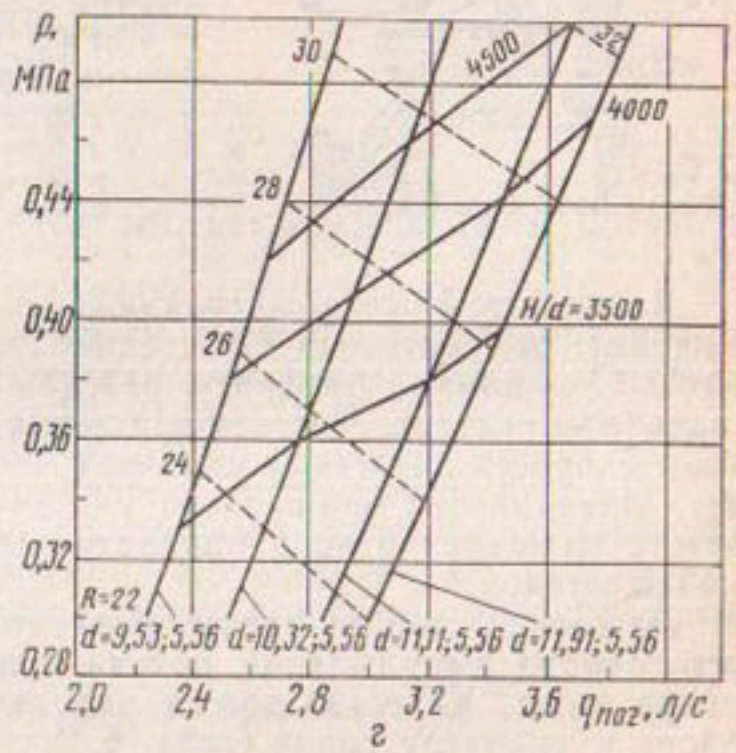
а



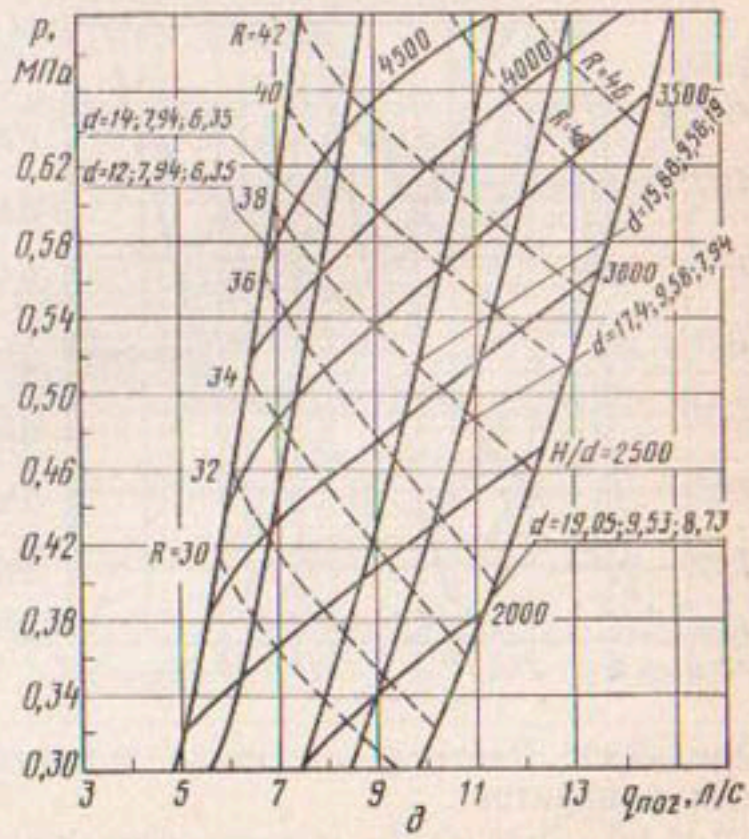
б



в



г



д

Рис. 5.9. Расходно-напорные характеристики дождевальных аппаратов машины «Фрегат»:

а — № 1; *б* — № 2; *в* — № 3; *г* — № 4; *д* — концевого; *d* — диаметр сопла, мм; *R* — радиус площади захвата, м

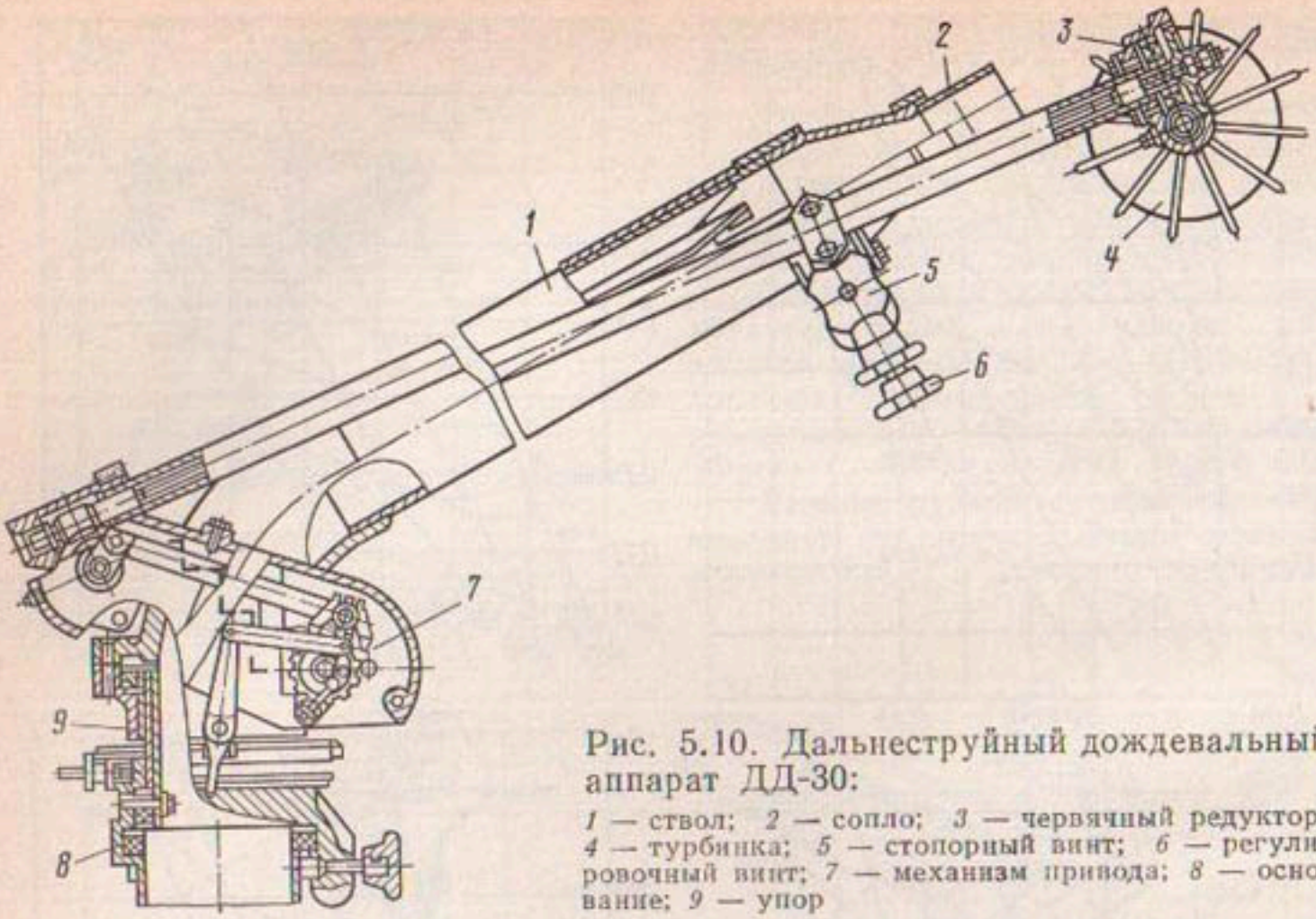


Рис. 5.10. Дальнеструйный дождевальный аппарат ДД-30:

1 — ствол; *2* — сопло; *3* — червячный редуктор; *4* — турбинка; *5* — стопорный винт; *6* — регулировочный винт; *7* — механизм привода; *8* — основание; *9* — упор

Дальнеструйные дождевальные аппараты применяют на стационарных дождевальных системах, в стационарно-сезонных комплектах, на дождевальных машинах. Аппараты работают с вращением ствола по кругу или в заданном секторе. Частота вращения ствола аппарата должна быть такой, чтобы скорость движения концевой части струи по периметру увлажненной части поверхности орошаемого участка не превышала 2 м/с. При большей частоте вращения ствола аппарата струя изгибается, дальность полета ее уменьшается.

Дальность полета струи воды дальнеструйных аппаратов зависит от достигаемого выпрямления потока воды внутри ствола, диаметра сопла и напора воды. Качество дождя определяется главным образом отношением напора к диаметру сопла (табл. 5.4).

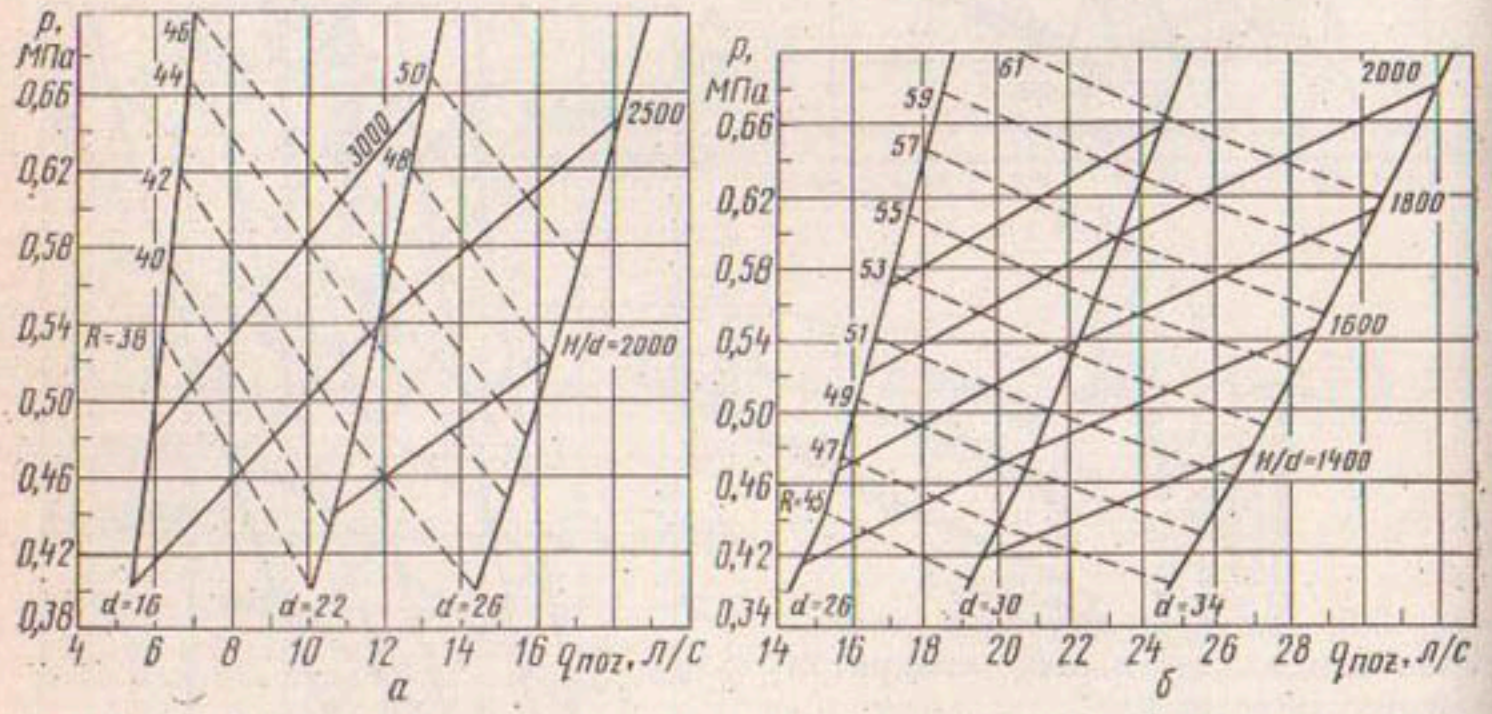


Рис. 5.11. Расходно-напорная характеристика дальнеструйных дождевальных аппаратов:

ДД-15 (*а*) и Д-30 (*б*); *d* — диаметр сопла, мм; *R* — радиус площади захвата, м

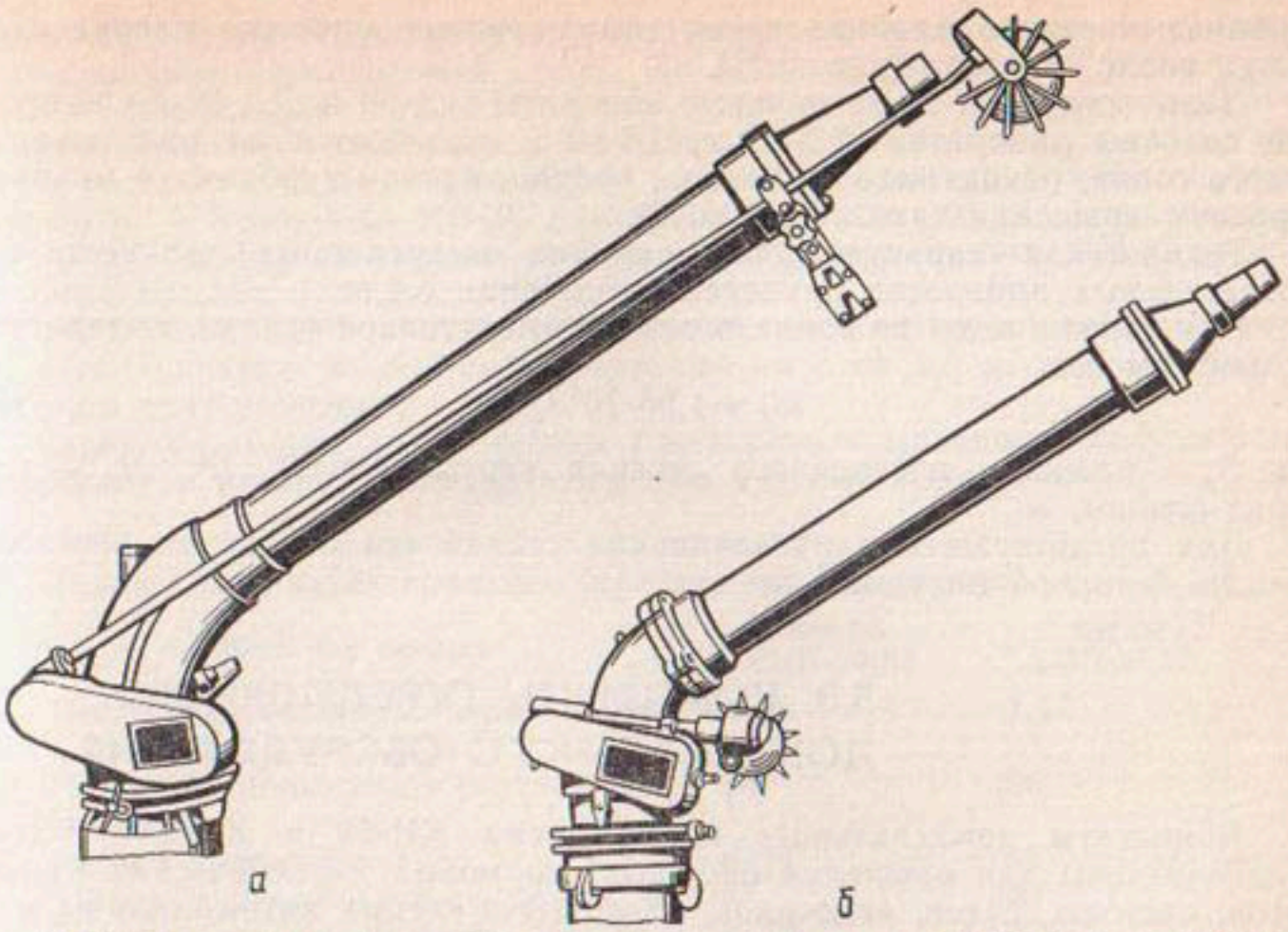


Рис. 5.12. Дальнеструйные дождевальные аппараты ДД-50 (*а*) и ДД-80 (*б*)

Дальнеструйные дождевальные аппараты типа ДД подразделяются на односопловые (ДД-15 и ДД-30) и двухсопловые (ДД-50 и ДД-80). Наибольшее распространение получил аппарат ДД-30 (рис. 5.10).

Механизм вращения ствола аппаратов ДД-15 и ДД-30 состоит из трех червячных редукторов и работает с приводом от турбинки, входящей лопатками в струю воды на 7. . .10 мм. От глубины погружения лопаток в струю зависит частота вращения турбинки, что обеспечивает изменение в некоторых пределах частоты вращения ствола аппарата. При вращении

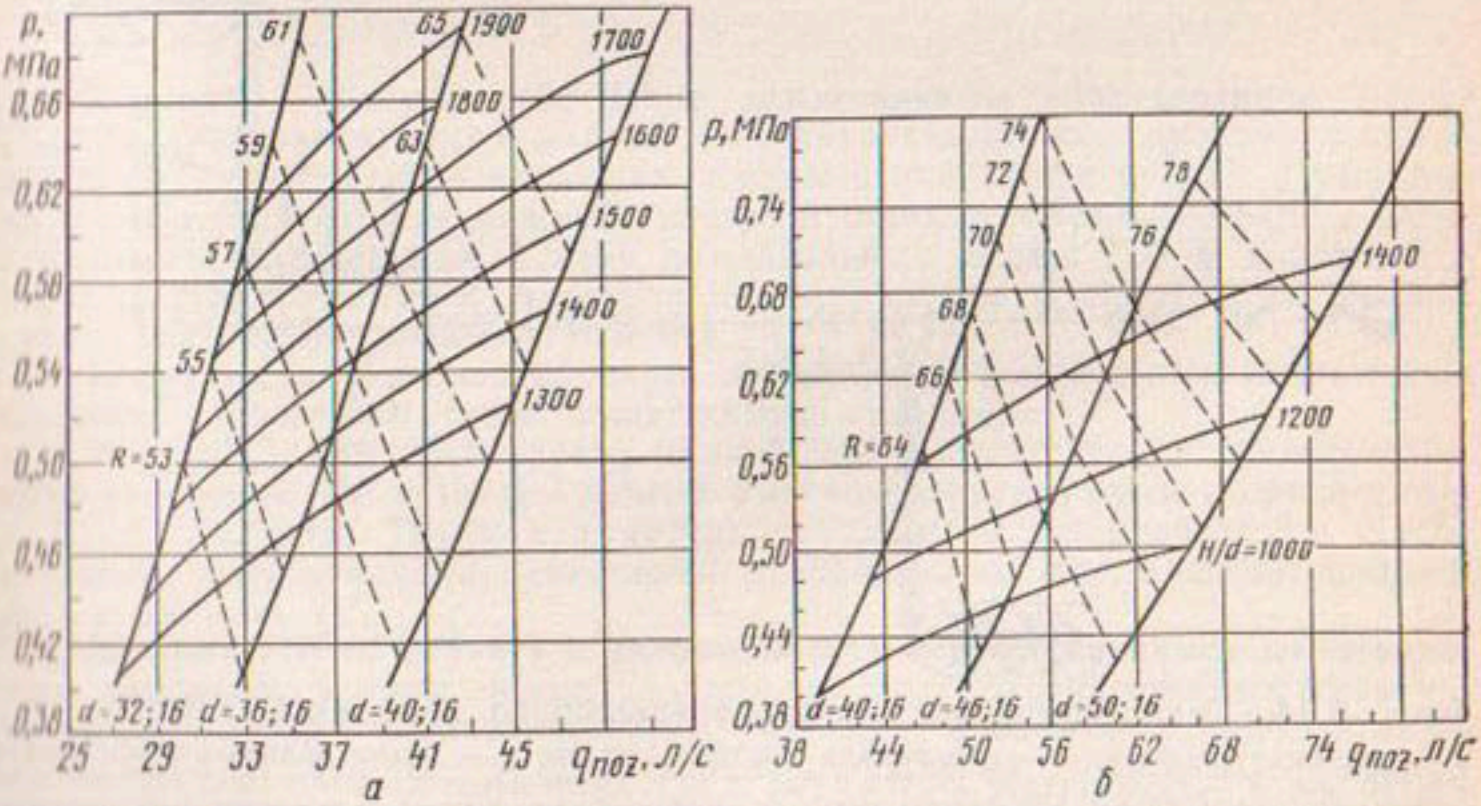


Рис. 5.13. Расходно-напорные характеристики дальнеструйных дождевальных аппаратов ДД-50 (*а*) и ДД-80 (*б*):

d — диаметр сопла, мм; *R* — радиус площади захвата, м

турбинка частично дробит струю, это улучшает качество распределения дождя возле аппарата (рис. 5.11).

Дальнеструйные дождевальные аппараты ДД-50 и ДД-80 по конструкции подобны аппаратам ДД-15 и ДД-30 и отличаются от них наличием малого сопла, отходящего от колена, расположением турбинки и механизма передачи вращения (рис. 5.12, 5.13).

Техническая характеристика серийно выпускаемых дальнеструйных дождевальных аппаратов приведена в таблице 5.4.

При выходе воды из сопла возникает реактивное усилие, определяемое по зависимости

$$S_r = 1{,}96 \cdot 10^4 S_s H_a, \qquad (5.18)$$

где S_s — площадь поперечного сечения струи (сопла), м²; H_a — напор перед соплом, м.

Для предотвращения раскачивания стояка его основание необходимо крепить бетонной подушкой.

5.3. КОМПЛЕКТЫ ПЕРЕДВИЖНОГО ДОЖДЕВАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Комплекты дождевального оборудования КИ-50 и КИ-25 «Радуга» предназначены для орошения овощных, кормовых и технических культур, лугов, пастбищ, садов, ягодников, плодовых и лесных питомников на участках небольшой площади, в том числе сложной конфигурации. Они состоят из передвижной насосной станции, переносной среднеструйной дождевальной установки и гидроподкормщика ГПД-50.

Дождевальная установка КИ-50 включает магистральный трубопровод, два распределительных и четыре дождевальных крыла со среднеструйными дождевальными аппаратами «Роса»-3. Трубопровод состоит из быстроразборных алюминиевых труб РТШ различного диаметра (проходных, труб-гидрантов, рабочих) длиной 6 м, арматуры.

Дождевальная установка КИ-25 включает магистральный трубопровод и два дождевальных крыла. На каждом крыле установлено по четыре среднеструйных дождевальных аппарата «Роса»-3 (рис. 5.14).

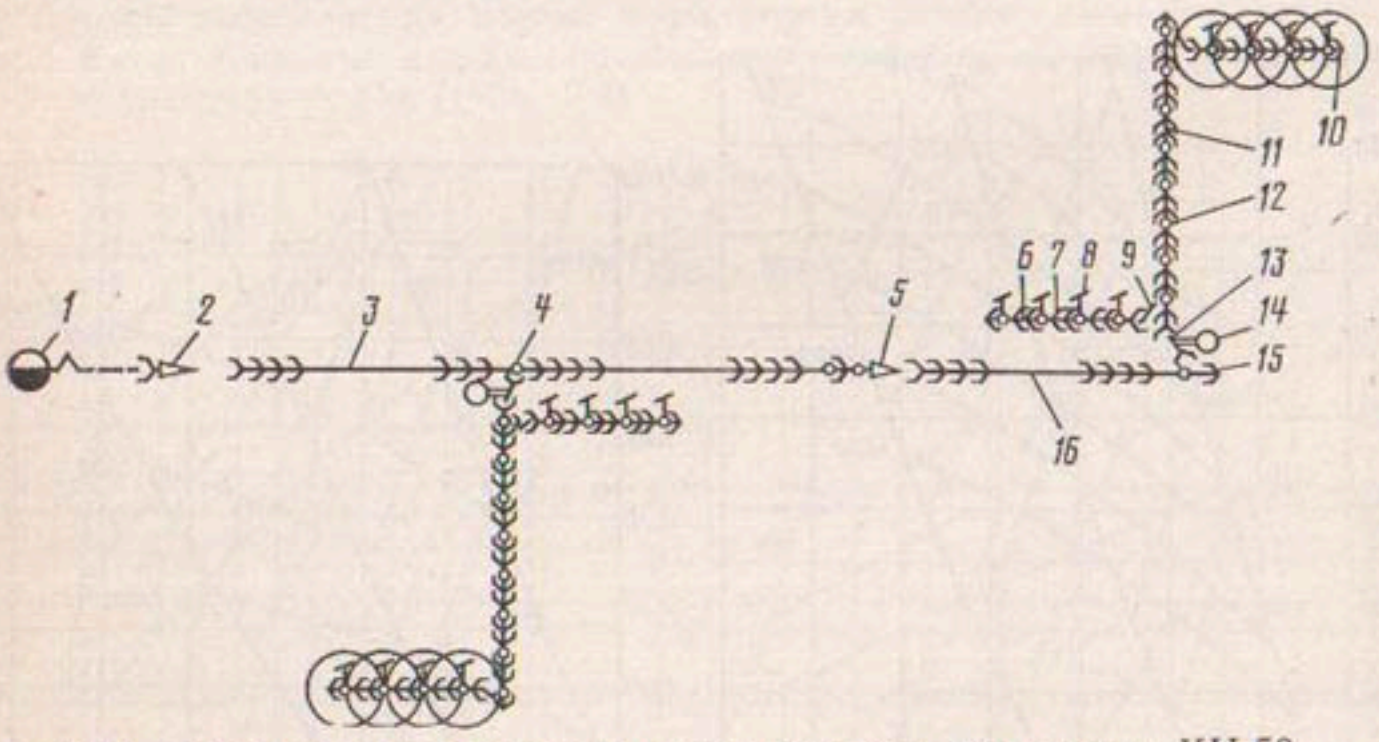


Рис. 5.14. Технологическая схема передвижного комплекта КИ-50:

1 — насосная станция; *2* — переходник $d=180\times150$ мм; *3* — магистральный трубопровод $d=150$ мм; *4* — труба-гигант $d=150\times125$; *5* — гидрант-переходник $d=150\times125$ мм; *6* — проходная труба $d=110$ мм; *7* — рабочая труба $d=110$ мм; *8* — дождевальный аппарат; *9* — присоединительный патрубок; *10* — заглушка $d=110$ мм; *11* — распределительный трубопровод $d=125$ мм; *12* — труба-гидрант $d=125$ мм; *13* — присоединительный патрубок $d=125$ мм; *14* — гидроподкормщик; *15* — заглушка $d=125$ мм; *16* — магистральный трубопровод $d=125$ мм.

Магистральный трубопровод укладывают на поверхность орошаемого участка на весь оросительный сезон. По длине трубопровода установлены для КИ-50 три гидранта, а для КИ-25—24, к которым присоединяют для КИ-50 распределительные трубопроводы, а для КИ-25 — рабочие крылья. Расстояние между гидрантами для КИ-50 равно 286 м, а для КИ-25 соответственно 36 м. У установки КИ-50 одновременно работают два дождевальных крыла — по одному на каждом распределителе; у установки КИ-25 — дождевальные крылья работают попеременно.

При поливе садов и высокостебельных культур дождевальные аппараты устанавливают на стойки с треногами высотой 1,2 м, присоединяемые к рабочим трубопроводам.

Гидроподкормщик для внесения растворимых минеральных удобрений подключают в начале распределительного трубопровода.

Техническая характеристика передвижных комплектов

Насосная станция	КИ-50 СНП-50/80	КИ-25 СНП-25/60
Производительность при норме полива 600 м³/га, га/ч	0,28	0,17
Площадь, поливаемая с одной позиции, га	50	25
Расход воды, л/с	47,2	31
Напор у дождевального крыла, м	45	40
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,28	0,4
Схема расстановки аппаратов, м	36×36	36×36
Длина трубопровода, м:		
магистрального РТШ-150 и РТШ-125	899 (613+286)	842,5
распределительного РТШ-125	271×2	—
дождевальных крыльев РТШ-110	126	127
Число дождевальных среднеструйных аппаратов «Роса»-3	16	8
Производительность гидроподкормщика ГПД, кг/ч	180	—

Комплект «Сигма»-Z-50-ПП с дождевальным оборудованием ПП-67 (ЧССР) предназначен для полива сельскохозяйственных культур высотой до 90 см на небольших площадях неправильной конфигурации с уклоном до 0,1. Состоит из передвижной насосной станции «Ирис»-2350-DPZ, магистрального трубопровода и семи дождевальных машин ПП-67 с автоматически перемещающимся дождевальным аппаратом и намоточным устройством для водоподводящего шланга.

Все узлы станции смонтированы на одноосном шасси с пневматическими шинами, снабженном тремя выдвижными стойками.

Магистральный трубопровод длиной 942 м составлен из алюминиевых труб диаметром 120 и 150 мм длиной 6 м, водорегулирующей и присоединительной арматуры. Трубы и арматура снабжены быстроразборными соединениями, допускающими отклонения от продольной оси в любом направлении на угол 12°.

Машина ПП-67 (РР-67) с автоматически перемещающимся дождевальным аппаратом предназначена для полива сельскохозяйственных культур, садов на участках с максимальными уклонами: продольным ±0,05 и поперечным ±0,1. Вода поступает от гидрантов закрытых оросителей с подводом ее к работающему в движении дождевальному аппарату по гибкому шлангу.

В состав машины входят шасси со шланговым барабаном (рис. 5.15), дождевальный аппарат PV-2 на салазках, полиэтиленовый шланг длиной 240 м, диаметром 67 мм с толщиной стенок 6 мм.

Техническая характеристика ПП-67

Наружный диаметр барабана, мм	1450
Длина, мм	1800
Масса со шлангом без воды, кг	1200
Общая масса шланга, кг	270
Ширина колеи салазок дождевального аппарата (регулируемая), мм	1200...2500
Клиренс салазок, мм	650
Высота до выходного отверстия сопла дождевального аппарата PV-2, мм	1200
Давление на гидранте, МПа	0,6...0,7
Диаметр большого сопла, мм	14; 16; 18
Расход воды, л/с	5,1...7,4
Дальность полета струи аппарата, м	27...32
Слой дождя за проход, мм	15...66
Площадь полива за проход, га	1,3...1,6
Максимальная скорость передвижения, км/ч	10
Максимальная скорость трактора при размотке шланга, км/ч	5
Габаритные размеры, мм	4040×2160×2120
Клиренс шасси, мм	420
Ширина колеи, мм	1960

Технологическая схема полива приведена на рисунке 5.16.

Комплект передвижного ирригационного оборудования с дождевальной машиной ДДН-70 предназначен для орошения дождеванием различных сельскохозяйственных культур, садов, плодовых и лесных питомников, лугов и пастбищ. В комплект входят высоконапорная передвижная насосная станция (СНП-50/80), а также дальнеструйная дождевальная машина ДДН-70, быстроразборные магистральный и распределительный трубопроводы (РТШ-180 и РТ-180) длиной 1200 м, водораспределительная арматура (гидранты-задвижки, колонки, заглушки) и устройство для соединения ДДН-70 с колонкой на гидранте распределительного трубопровода.

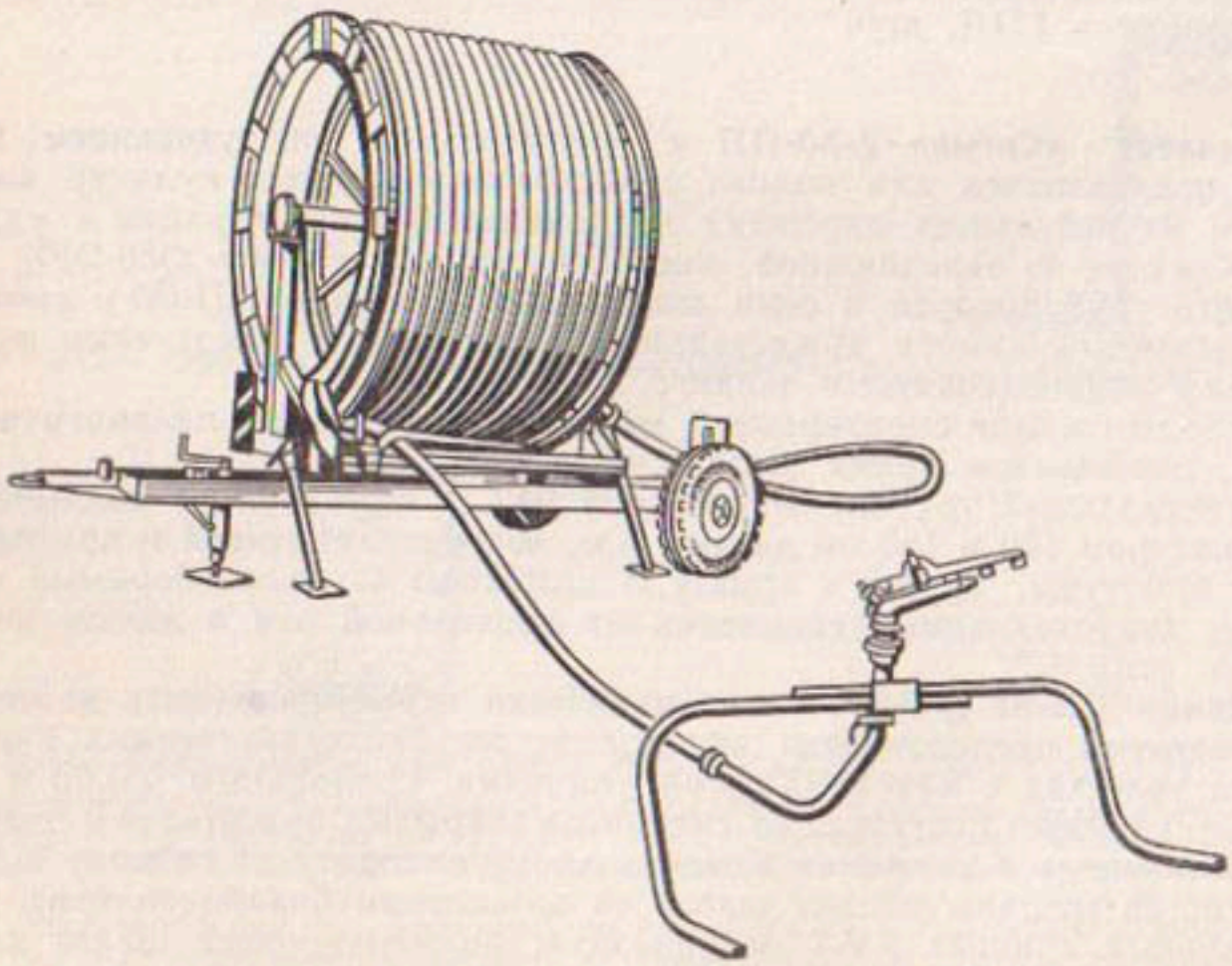


Рис. 5.15. Шасси и намоточное устройство РР-67

Техническая характеристика и состав передвижного ирригационного оборудования с дождевальной машиной ДДН-70

Производительность при норме полива 300 м³/га, га/ч	0,6
Расход воды, л/с	50...60
Напор, МПа	0,54
Средняя интенсивность, мм/мин	0,41
Диаметр сменной насадки, мм	45
Площадь, га:	
поливаемая с одной позиции	0,72
обслуживаемая за сезон	50
Состав комплекта (число):	
передвижная насосная станция	1
дождевальная машина ДДН-70	1
трубы РТ-180 (общая длина 1200 м)	240
гидранты-задвижки 180×180×180 мм	15
колонки 180×180 мм	2
заглушки диаметром 180 мм	3
присоединительное устройство	1
Обслуживающий персонал	Два человека

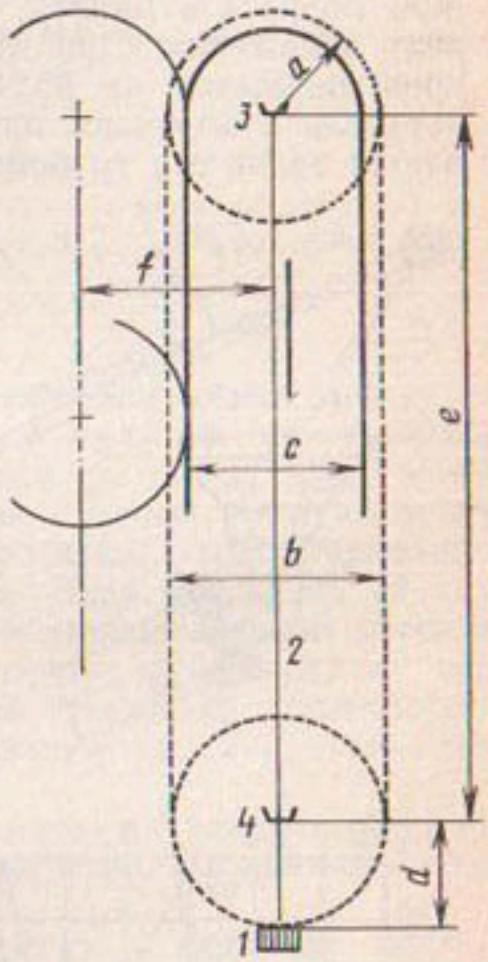


Рис. 5.16. Технологическая схема работы РР-67:
1 — намоточное устройство; *2* — размотанный шланг; *3* — начальное положение дождевального аппарата; *4* — конечное положение дождевального аппарата (15 или 30 м до намоточного устройства); *a* — дальность полета струи аппарата; *b* — ширина орошаемой полосы; *c* — эффективно орошаемая ширина полосы; *d* — расстояние, выбранное для автоматического выключения; *e* — длина рабочего прохода; *f* — расстояние между проходами

5.4. ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ ШЛЕЙФЫ И МАШИНЫ С ПОДВОДОМ ВОДЫ ПО ГИБКОМУ ШЛАНГУ

Шлейф ДШ-25/300 (рис. 5.17) предназначен для полива пастбищ, сенокосных угодий, садов и сельскохозяйственных культур преимущественно на участках с длинными гонами (не менее 1000 м). Допустимые уклоны участка: поперечный — до 0,07, продольный — до 0,05. Полив проводят позиционно с питанием от гидрантов закрытых оросителей, перемещение в осевом направлении — на прицепе трактора класса 0,6. . .0,9.

Шлейф состоит из стального трубопровода диаметром 102 мм, длиной 150 м, трех дождевальных аппаратов КД-10 «Тимирязевец», размещенных

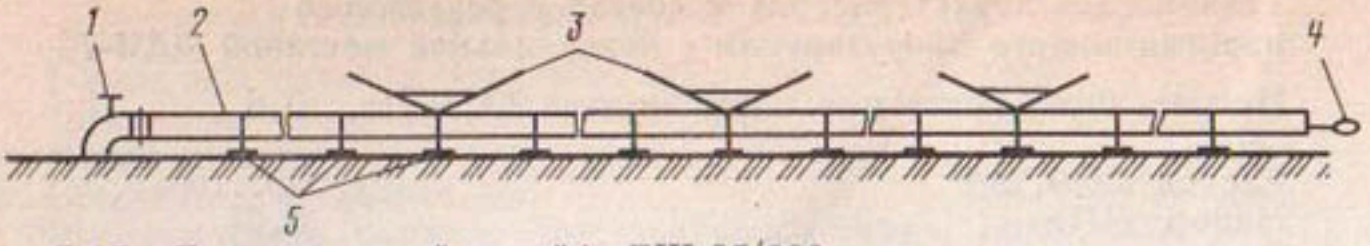


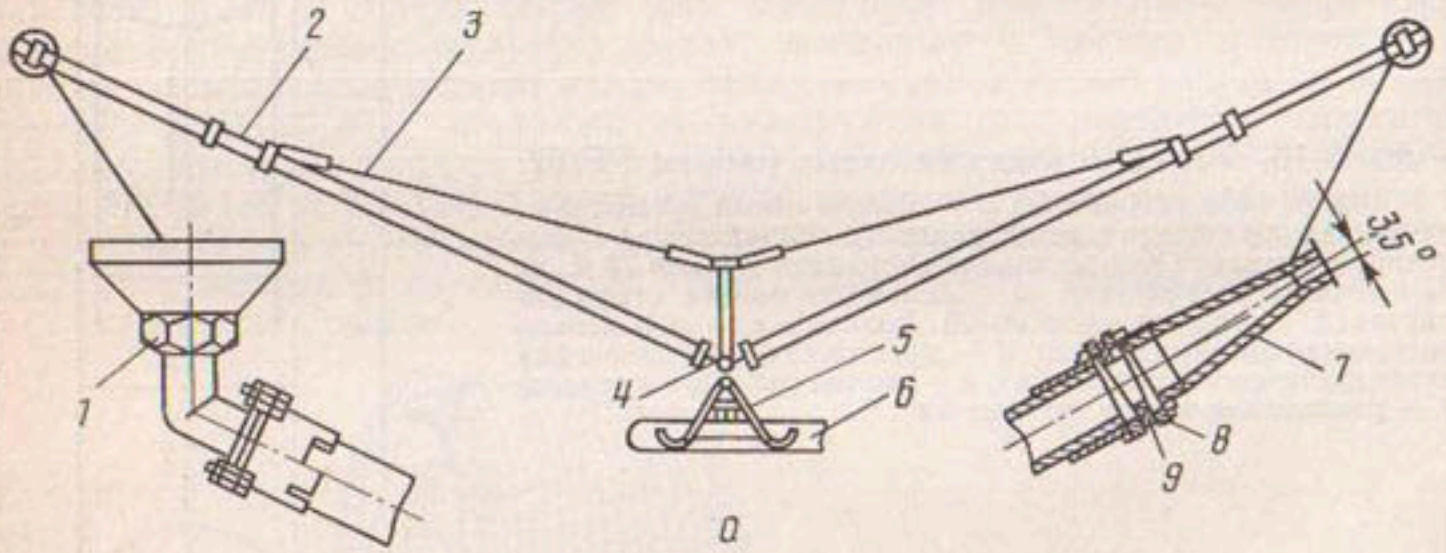
Рис. 5.17. Дождевальный шлейф ДШ-25/300:

1 — гидрант закрытой оросительной сети; *2* — главный трубопровод; *3* — карусельный дождевальный аппарат «Тимирязевец»; *4* — скоба для присоединения тягового троса трактора; *5* — опорная лыжа

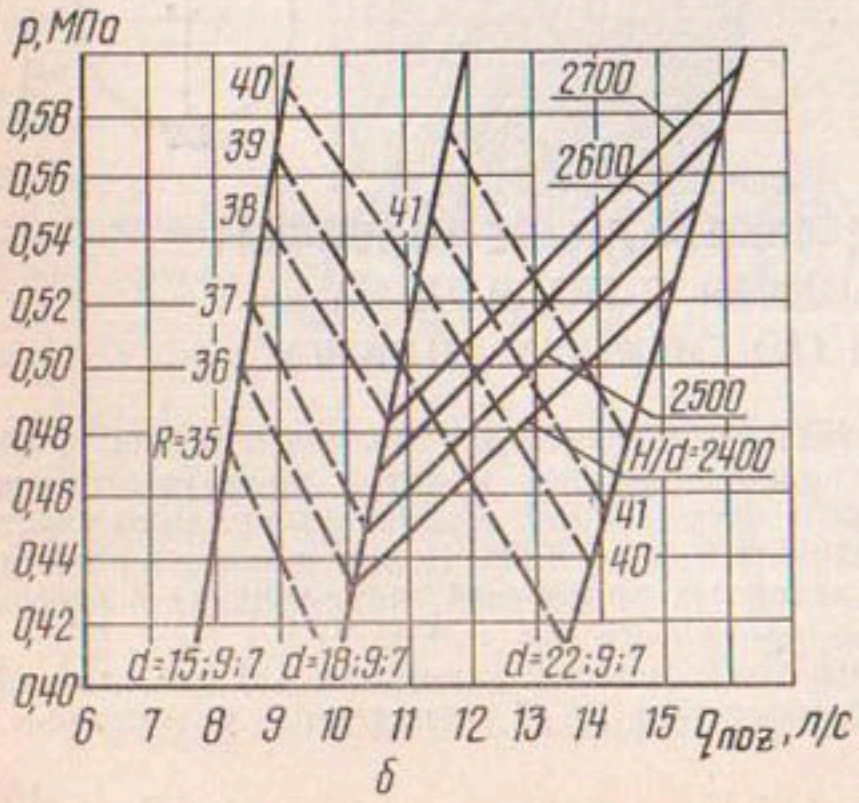
по длине трубопровода через 50 м друг от друга. К гидрантам напорной сети шлейф можно подсоединять любым концом.

Для монтажа садового варианта шлейф комплектуют удлинителями, лестницей и шестом.

Карусельный дождевальный аппарат КД-10 (рис. 5.18) состоит из двух алюминиевых трубчатых стволов, один из которых оканчивается дождевальной насадкой с конусных стволов, один из которых оканчивается дождевальной насадкой с конусным дефлектором, второй конец имеет струйное сопло. Ось сопла отклонена от оси ствола на 3,5°, благодаря чему создается реактивное усилие, достаточное для вращения аппарата с частотой до одного оборота в минуту. Угол наклона ствола регулируется на ±10° от среднего положения. При подаче воды в шлейф корпус аппарата с каруселью приподнимается на 55...60 мм и вращается. После прекращения полива карусель с корпусом опускается под действием силы тяжести и устанавливается вдоль оси трубопровода.



а



б

Рис. 5.18. Карусельный дождевальный аппарат КД-10 (*а*) и его расходно-напорная характеристика (*б*):

1 — дефлекторная насадка; *2* — ствол; *3* — растяжка; *4* — корпус аппарата; *5* — основание; *6* — труба шлейфа; *7* — сопло; *8* — переходник; *9* — косая шайба; *d* — диаметр сопла и насадка, мм; *R* — радиус площади захвата, м

Техническая характеристика ДШ-25/300

Расход воды, л/с	26...30
Рабочий напор у входа в шлейф, МПа	0,5
Расстояние между линиями постоянного трубопровода, м	300
Расстояние между гидрантами на постоянном трубопроводе, м	60
Расстояние между дождевальными аппаратами, м	50,7
Площадь полива с одной позиции, га	0,9
Средний слой дождя, мм/мин	0,126...0,168
Коэффициент использования земельной площади	0,98
Транспортная скорость, км/ч	2,52
Число дождевальных аппаратов КД-10 «Тимирязевец»	3
Обслуживающий персонал	Тракторист и поливальщик на 5...10 шлейфов

Техническая характеристика дождевального аппарата КД-10

Напор, м	45...55	45...55	45...55
Диаметр струйного сопла, мм	15	18	22
Диаметр отверстия насадки, мм	9	9	9
Общий расход аппарата, л/с	6,1...6,7	8,0...8,7	11,1...12,3

Шланговая дождевальная машина ДШ-30 с перемещающимся аппаратом предназначена для полива сельскохозяйственных культур на участках неправильной конфигурации, а также с неровным рельефом как чистой водой, так и подготовленными животноводческими стоками. Она включает одноосное на пневматиках прицепное шасси с барабаном, водопроводящий трубопровод, салазки с дождевальным аппаратом. Вода поступает от гидрантов закрытых оросителей. Полив проводится в автоматическом режиме.

Механизм привода вращения барабана включает прямоточную турбинку, червячный редуктор, муфту, конический редуктор, трехходовой кран, цепную передачу. Частота вращения турбинки регулируется изменением расхода воды, проходящей через нее.

Скорость перемещения дождевального аппарата регулируется с помощью вариатора и показывается на шкале тахометра. Поливная норма устанавливается с помощью регулятора скорости.

Салазки имеют высокий клиренс и регулируемую в пределах 1500... 2800 мм ширину колес. Рама салазок снабжена прицепным устройством для присоединения к трактору при разматывании трубопровода в начале рабочего прохода. Высота сопла дождевального аппарата около 1,7 м.

Механизм ускоренного наматывания шланга, работающий с приводом от ВОМ трактора; необходим при аварийных ситуациях, для слива воды при постановке машины на хранение и др.

Узел подключения машины к гидранту включает присоединительную колонку от ДКШ-64, полимерный плоскосворачиваемый напорный шланг диаметром 150 мм и длиной 10 м.

После автоматического выключения подачи воды в конце прохода барабан разворачивается с помощью гидросистемы трактора на 180° на поворотном круге для полива участка поля по другую сторону от линии гидрантов. В конце полива на данной позиции салазки заходят на подъемник, и трактор вывозит их на следующую позицию.

Техническая характеристика ДШ-30

Расход воды, л/с	30
Давление, МПа:	
на гидранте	1,1
на дождевальном агрегате	0,5
Число дождевальных аппаратов	1
Ширина захвата с перекрытием, м	86
Интенсивность дождя, мм/мин	Не более 0,3
Коэффициент распределения дождя с учетом перекрытия	0,8
КЗИ	0,99
Водопроводящий трубопровод:	
материал	Полиэтиленовый марки 273-79
внутренний диаметр, мм	90
длина, м	400
Рукав узла подсоединения:	
материал	Синтетический
внутренний диаметр, мм	110
длина, м	10
Расстояние, м:	
между оросителями	800
» гидрантами	80
Потребляемая мощность, кВт	32,3
Диаметр намоточного барабана, мм	1985
Скорость наматывания водопроводящего трубопровода, м/ч	10...50
Скорость, км/ч:	
транспортная	15
при смене позиций	10
при разматывании водопроводящего трубопровода	5
Транспортно-энергетическое средство	Трактор класса 1, 4
Обслуживающий персонал	Один тракторист-поливальщик на 5 машин

5.5. ДВУХКОНСОЛЬНЫЙ ДОЖДЕВАЛЬНЫЙ АГРЕГАТ ДДА-100МА

Агрегат предназначен для полива дождеванием зерновых, овощных, кормовых, технических культур, ягодных кустарников, плодовых питомников, лугов и пастбищ. Полив осуществляется в движении с забором воды из открытых оросителей.

Дождевальный агрегат, монтируемый на тракторе ДТ-75М-ХС4 с ходоуменьшителем, включает пространственную двухконсольную ферму с открылками и дождевальными насадками, раму для крепления фермы на тракторе, насосную станцию, гидроподкормщик, гидросистему управления и систему освещения.

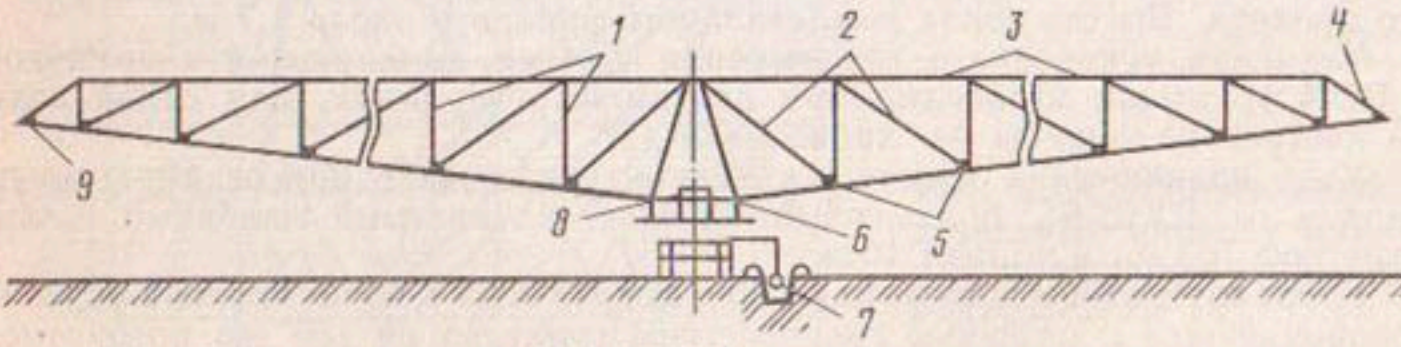


Рис. 5.19. Схема агрегата ДДА-100МА:

1 — стойка; *2* — раскосы; *3* — панели; *4* — концевая панель; *5* — насадки; *6* — домкраты; *7* — плавучий клапан; *8* — поворотный круг; *9* — концевая насадка

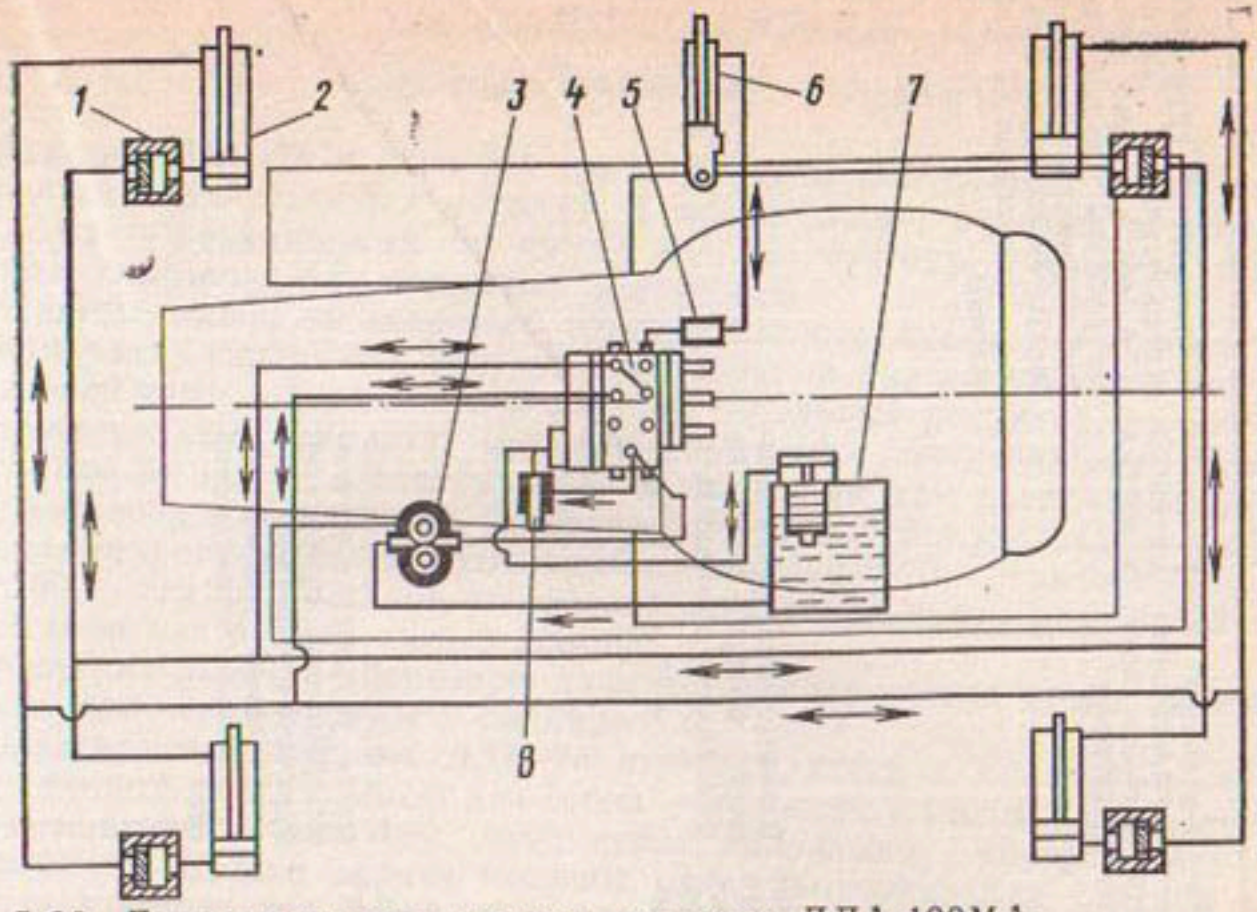


Рис. 5.20. Гидравлическая система агрегата ДДА-100МА:

1 — замедлительный клапан; *2* — гидроцилиндр подъема фермы; *3* — шестеренный насос; *4* — распределитель; *5* — дроссель; *6* — гидроцилиндр подъема всасывающей линии; *7* — масляный бак; *8* — делитель потока

Ферма состоит из двух консолей с опорными дугами и трубчатого кольца в центре. На ферме установлены 52 короткоструйные дефлекторные насадки кругового действия с расходом воды по 2,3 л/с и две концевые секторные с расходом воды по 5 л/с (рис. 5.19).

Всасывающая линия позволяет забирать воду из каналов, уровень воды в которых может колебаться в пределах ±400. . .600 мм.

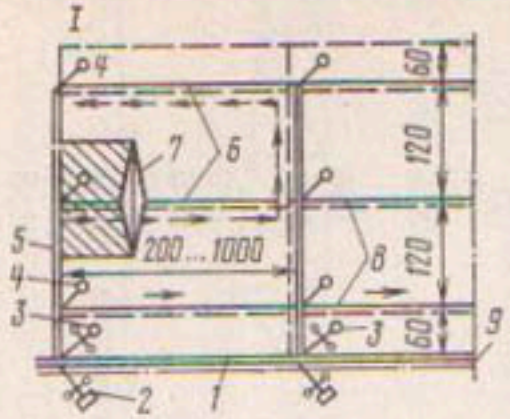
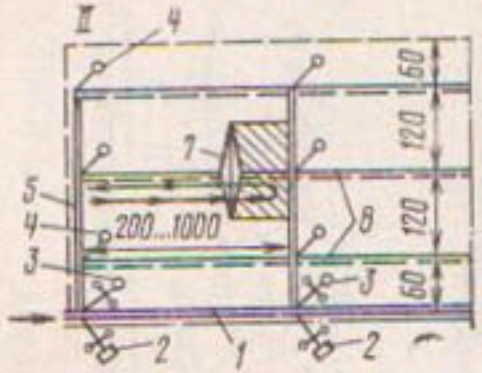
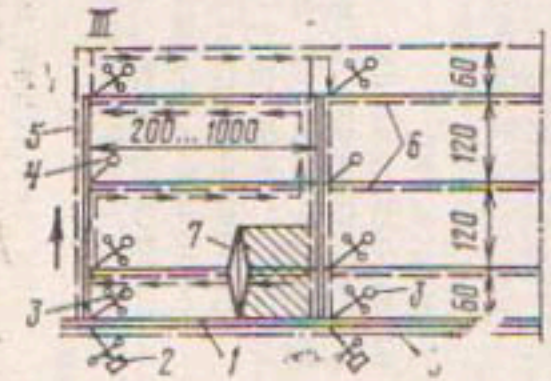
Гидравлическая система включает четыре гидроцилиндра регулирования положения консолей фермы, гидроцилиндр одностороннего действия для подъема всасывающей линии, распределители и маслопроводы, соединенные с гидравлической системой трактора (рис. 5.20).

Технологические схемы работы двухконсольного дождевального агрегата приведены в таблице 5.5.

Техническая характеристика ДДА-100МА

Расход воды, л/с	130
Полный напор, м	37,0
Частота вращения вала насоса, $с^{-1}$	29,2
Высота фермы над землей, м	1,5...3,5
Счетчик-водомер:	
пределы измерения расхода, л/с	80...130
погрешность измерения, %	±5
масса, кг	8,5
Гидроподкормщик:	
вместимость бака, $дм^3$	120
масса разовой загрузки удобрений, кг	100
Скорость движения агрегата, км/ч:	
рабочая — вперед	1,07
рабочая — задний ход	0,6
транспортная	4,27
Средний слой осадков за один проход агрегата, мм:	5,0
при движении вперед	3,8
» » назад	6,8
Обслуживающий персонал	Два человека

5.5. Технологические схемы расстановки и работы дождевальных машин ДДА-100МА

Схема расстановки и перемещения машин	Описание схемы работы	Достоинства схемы	Недостатки схемы	Примечание
	Дождевальная машина начинает полив с первого бьефа. Во время последнего прохода заполняют водой следующий бьеф	Потери воды на фильтрацию незначительны; устройство переездов в голове временных оросителей не требуется	Уменьшен коэффициент использования сменного времени из-за холостых перегонов	Рекомендуется групповое использование машин ДДА-100МА с тем чтобы рабочий выполняющий перенос и установку перегораживающего щитка, обслуживал 2...3 машины
	Полив начинают с конца временного оросителя. В период последнего прохода заполняется водой следующий ороситель. После окончания полива карты дождевальная машина переезжает в хвост следующего оросителя	Повышается коэффициент использования сменного времени, можно обойтись без устройства переездов в голове временного оросителя	Значительно увеличиваются потери воды на фильтрацию из канала	—
	Полив проводят попеременно на одном оросителе с головы, на другом — с хвоста	Повышается коэффициент использования сменного времени	Появляется необходимость устройства в голове временных оросителей трубчатых переездов, что значительно увеличивает стоимость оросительной сети	—

Примечание. *1* — магистральный канал; *2* — перегораживающее сооружение; *3* — водовыпуск в участковый ороситель; *4* — водовыпуски во временные оросители; *5* — участковый ороситель; *6* — временные оросители; *7* — ДДА-100МА; *8* — эксплуатационные дороги; *9* — хозяйственные дороги (размеры в м).

5.6. ДАЛЬНЕСТРУЙНЫЕ НАВЕСНЫЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Машины ДДН-70 и ДДН-100 предназначены для полива высокостебельных сельскохозяйственных культур, а также садов, пастбищ и сенокосов.

Полив — позиционный по кругу или по сектору с забором воды из водоемов, открытых или закрытых оросителей.

Машины имеют одинаковые конструктивные схемы. Основные узлы: навесная рама, карданный вал, одноступенчатый цилиндрический редуктор, консольный насос с всасывающей линией, червячный редуктор, дальнеструйный дождевальный аппарат, механизм вращения дождевального аппарата при поливе по кругу и сектору, бак-подкормщик для распределения с поливом раствора минеральных удобрений. Машины оборудованы устройством для подъема и опускания всасывающей линии (ДДН-70 — тросовой лебедкой, ДДН-100 — гидроцилиндром с тросом), счетчиком-водомером, эжекторным устройством для залива насоса водой.

Основные рабочие параметры дальнеструйных машин можно определить по формулам, приведенным в таблице 5.6.

Дождевальная машина ДДН-70 агрегатируется с трактором ДТ-75М. Дождевальный аппарат имеет два сопла — большое и малое. Малое снабжено разбрызгивающей лопаткой, изменением положения которой регулируют равномерность полива вблизи машины. Для выравнивания струи в колене аппарата имеются два ножа, а в основном стволе — выпрямитель. Аппарат и механизм поворота приводятся во вращение от вала отбора мощности трактора (рис. 5.21).

5.6. **Формулы расчета дальнеструйных дождевальных машин** (по Б. М. Лебедеву)

Параметр	Общий вид формулы	Вид формулы при $\eta=0{,}8$; $K_H=0{,}95$; $\varphi=0{,}97$
Диаметр большой струи, мм	$d_g=16{,}8\sqrt[7]{\frac{\eta^2\cdot K_H^2}{\varphi^2}P_p^{2/7}}$	$d_g=15{,}7P_p^{2/7}$
Диаметр малой струи, мм	$d_{sm}=d_g/3$	$d_{sm}=d_g/3$
Напор перед соплом, м	$H_a=d_g$	$H_a=d_g$
Расход воды машиной, л/с	$Q_M=4{,}78\eta K_H P_v^{5/7}$	$Q_M=3{,}63P_p^{5/7}$
Расход воды большой струи, л/с	$q_{dg}=0{,}9Q_M$	$q_{dg}=0{,}9Q_M$
Расход воды малой струи, л/с	$q_{sm}=0{,}1Q_M$	$q_{sm}=0{,}1Q_M$
Напор насоса, м	$H_p=H_a/K_H$	$H_p=1{,}05H_a$
Радиус полива, м	$R=22{,}4\sqrt[7]{\frac{\eta^2\cdot K_H^2}{\varphi^2}P_p^{2/7}}$	$R=21P_a$
Средняя круговая интенсивность, мм/мин	$\rho_{ms}=0{,}182\eta^{3/7}K_H^{3/7}\varphi^{4/7}P_P^{1/7}$	$\rho_{ms}=0{,}157P^{1/7}$

Примечание. P_p — мощность, отбираемая насосом от двигателя; K_H — коэффициент, определяющий долю напора перед соплом; φ — коэффициент скорости истечения струи; η — КПД насоса.

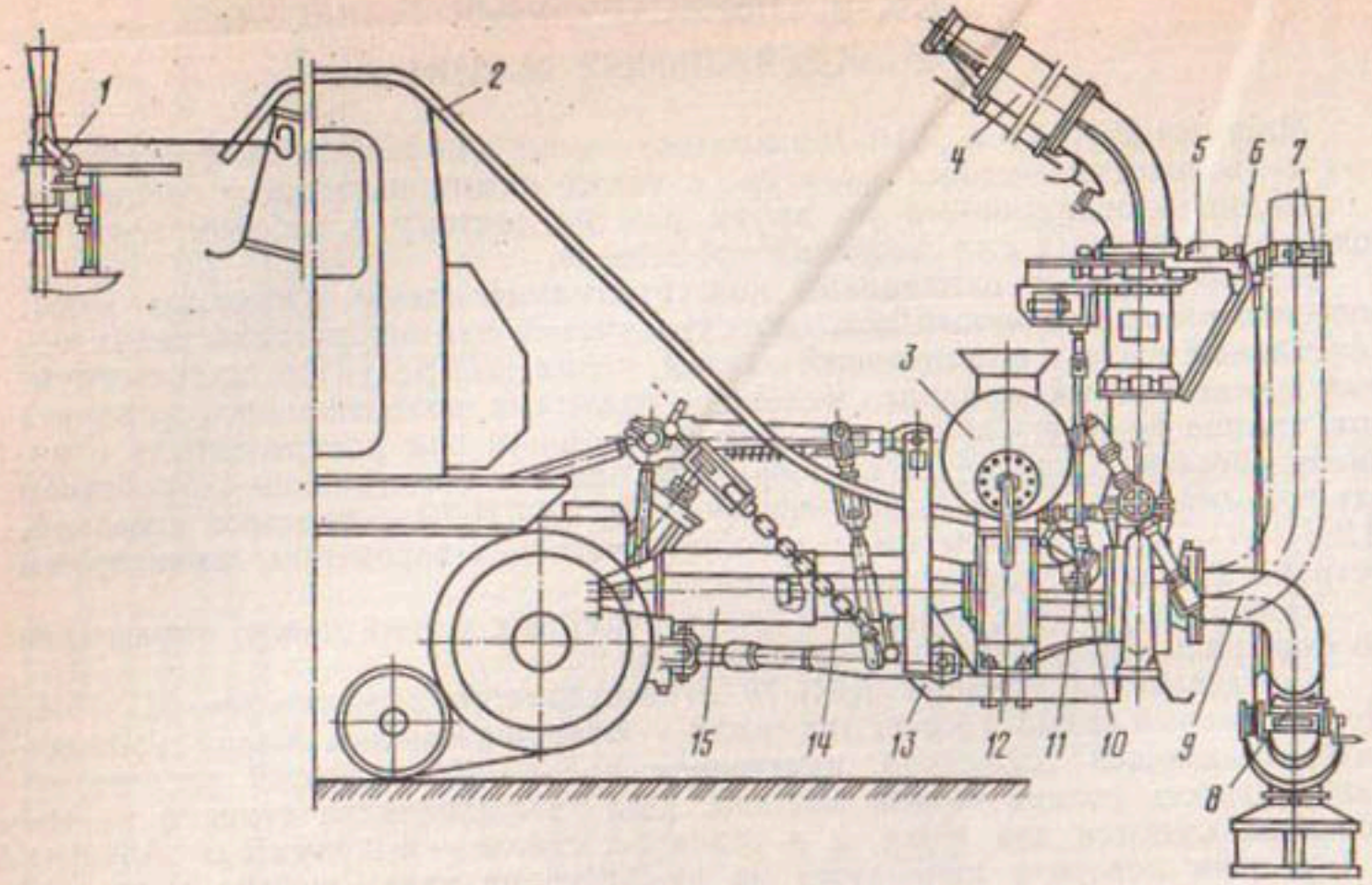
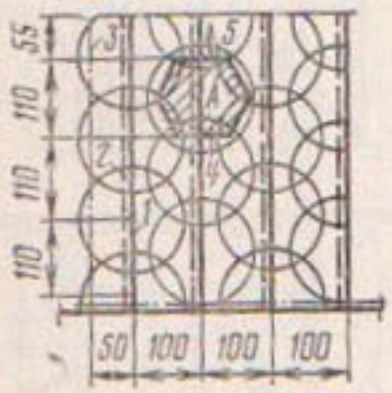
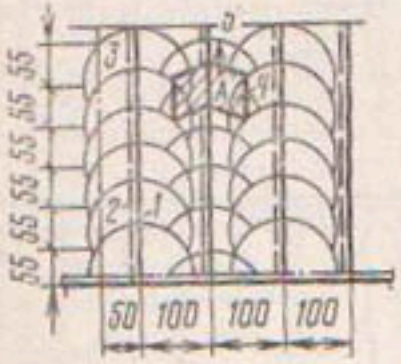
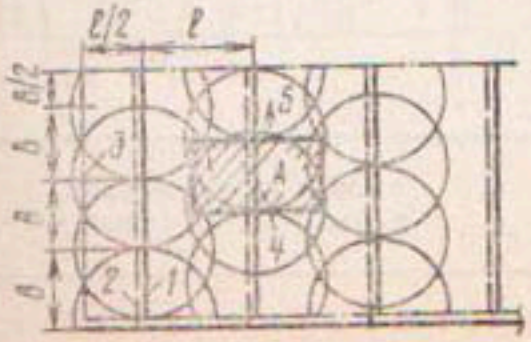


Рис. 5.21. Навесная дождевальная дальнеструйная машина ДДН-70:

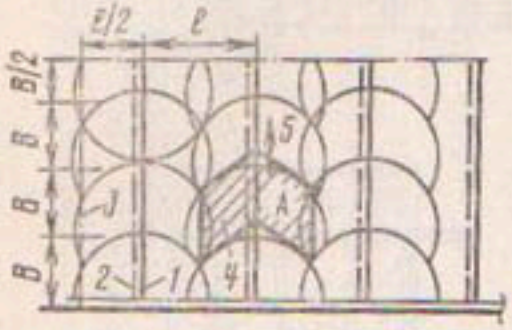
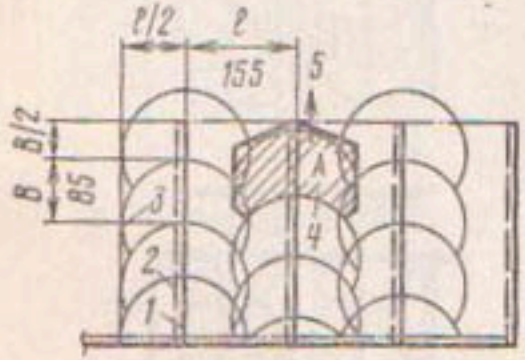
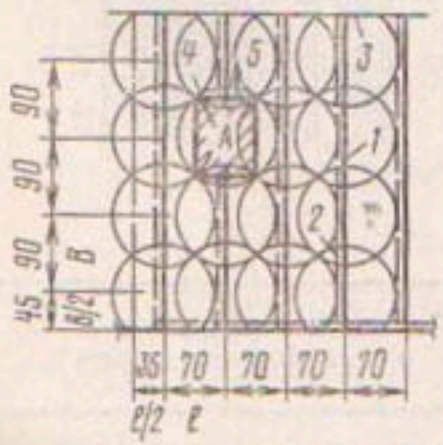
1 — вакуум-аппарат; *2* — вакуумный трубопровод; *3* — подкормщик; *4* — механизм поворота со стволом; *5* — тормоз; *6* — раскос; *7* — хомут; *8* — лебедка; *9* — всасывающий трубопровод; *10* — червячный редуктор; *11* — шарнирный валик; *12* — насос-редуктор; *13* — рама; *14* — разгрузочные цепи; *15* — карданный вал с кожухом

5.7. Техническая характеристика машин типа ДДН (полив по кругу)

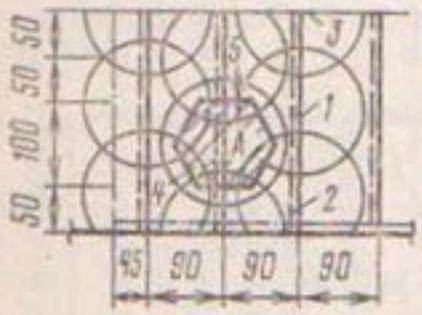
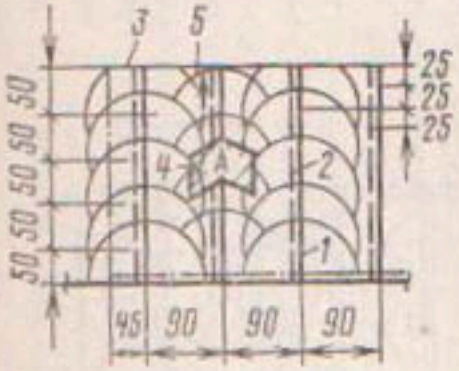
Параметры	ДДН-70	ДДН-100		
Агрегатируется с трактором	ДТ-75М	Т-150	Т-4А	ДТ-75М
Производительность при норме полива 600 м³/га, га/ч	0,39	0,7	0,6	0,51
Расход воды, л/с	65	115	100	85
Давление, МПа	0,52	0,65	0,65	0,65
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,36	0,31...0,38	0,27...0,3	0,3...0,34
Дальность полета струи, м	69,5	85	85	75
Диаметр сопл, мм:				
сменных	55	60; 65; 58; 56	56; 58; 64	54
малого				
вспомогательного	16	20	20	20
Частота вращения ствола аппарата, мин$^{-1}$	0,2	0,2	0,2	0,2
Вместимость бака подкормщика, м³	0,12		0,12	
Расстояние между позициями, м	110	145	145	110
Масса без трактора, кг	700	800	800	800

Схема расстановки и перемещения машин	Описание схемы работы	Достоинства схемы	Недостатки схемы
		Машина ДДН-70	
	Перемещается вдоль первого оросителя или трубопровода до конца поля, а возвращается вдоль следующего оросителя. Стояки или гидранты располагают в шахматном порядке по схеме 100×110 м	Сравнительно невысокая интенсивность дождя, минимальная протяженность оросительной сети. Площадь полива с позиции с учетом перекрытия — 0,94 га	Хорошее качество полива только при скорости ветра до 2 м/с
	Работает по сектору с расположением позиций через 55 м в шахматном порядке по схеме 100×55 м	Хорошее качество полива при скорости ветра 2... 3 м/с на высоте 2 м от поверхности земли	Повышенная интенсивность дождя, большие затраты времени на перемещение с позиции на позицию, малая площадь полива на одной позиции — 0,55 га
	Полив по кругу с двойным перекрытием участков. Позиции расположены в шахматном порядке. Рекомендуется при больших скоростях ветра	Надежное перекрытие участков дождем при скорости ветра до 2...3 м/с	Большая интенсивность дождя, малая площадь, поливаемая с позиции, частые перестановки машины с позиции на позицию

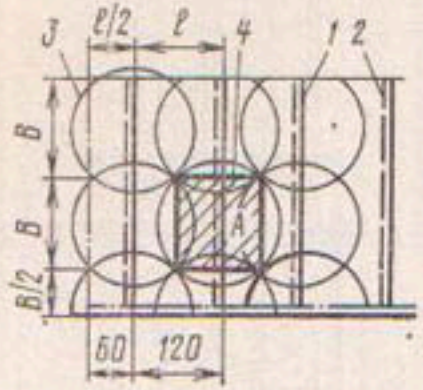
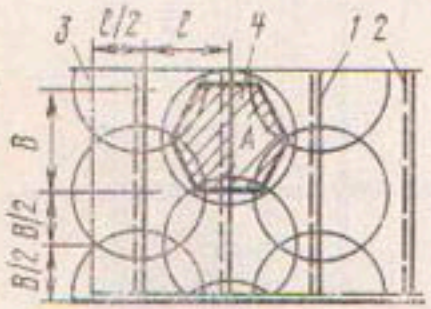
Продолжение

Схема расстановки и перемещения машин	Описание схемы работы	Достоинства схемы	Недостатки схемы
	Полив по сектору при прямоугольной схеме расположения позиций 145×85 м. Рекомендуется при больших скоростях ветра	Обеспечивается необходимое качество полива при скорости ветра до 2... 3 м/с	Малая площадь полива с позиции, низкий коэффициент использования сменного времени $K_т$, высокая интенсивность дождя
	Полив по сектору при расположении позиций в шахматном порядке	Достаточно надежное перекрытие позиций при увеличении площади, поливаемой с позиции, по сравнению со схемой IV	Малая площадь полива с позиции, низкий коэффициент $K_т$, высокая интенсивность дождя
	Работает по кругу при прямоугольном расположении позиций (90×70 м). Рекомендуется при преобладающей скорости ветра более 2 м/с	Необходимое качество полива при скорости ветра 2...3 м/с	Большая интенсивность дождя, загущенная сеть водоводов, низкий коэффициент использования сменного времени, малая площадь полива с позиции — 0,63 га

Продолжение

Схема расстановки и перемещения машин	Описание схемы работы	Достоинства схемы	Недостатки схемы
	Работает по кругу по схеме 90×100 м с треугольным расположением позиций	Необходимое качество полива при скорости ветра до 2 м/с	Меньшее расстояние между водоводами, чем в схеме I, большая интенсивность дождя
	Работает по сектору по схеме 90×50 м с треугольным расположением позиций	Необходимое качество полива при скорости ветра до 2...3 м/с	Большая интенсивность дождя, малая площадь полива с позиции, значительные затраты времени на переезды с позиции на позицию

Продолжение

Схема расстановки и перемещения машин	Описание схемы работы	Достоинства схемы	Недостатки схемы
		Машина ДДН-100	
	Полив по кругу при размещении позиций в вершинах квадрата: $l = B = 120$ м	Обеспечивает необходимое качество полива при скорости ветра 2...3 м/с. Эффективно политая с позиции площадь — 1,44 га	Большая интенсивность дождя, малая площадь эффективного полива
	Полив по кругу при размещении позиций по треугольной схеме. Расстояние между оросителями равно 120 м, между позициями $B = 145$ м. Применяется при скорости ветра до 2 м/с	Хорошее перекрытие позиций и максимальное значение эффективно политой площади — 1,75 га; минимальная интенсивность дождя	Рекомендуется только при скорости ветра до 2 м/с

Примечание. *1* — оросительные каналы или трубопроводы; *2* — полевые дороги; *3* — граница поля; *4* — эффективно политая площадь; *5* — направление перемещения машины (размеры в м).

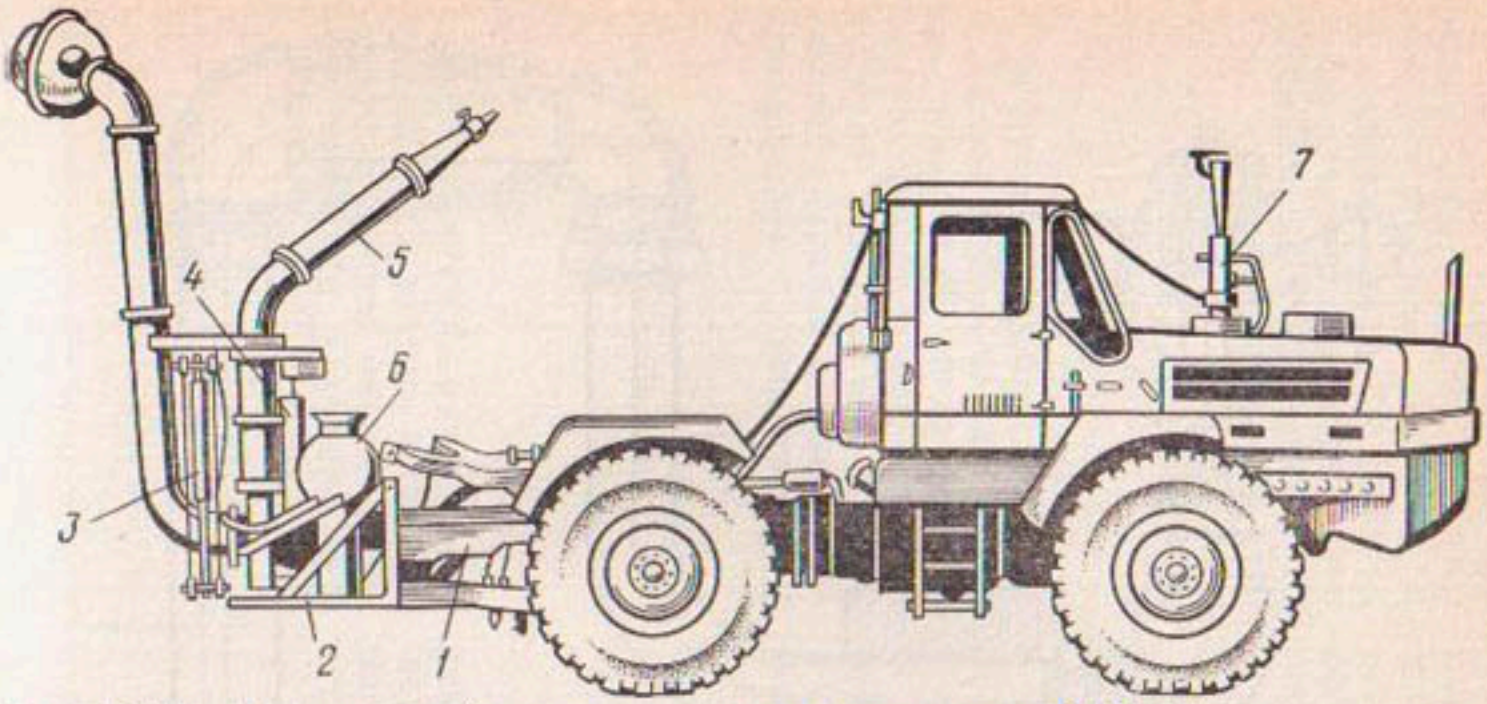


Рис. 5.22. Дальнеструйная дождевальная машина ДДН-100:

1 — тяги навесной системы трактора; *2* — рама; *3* — всасывающая линия; *4* — механизм привода дождевального аппарата; *5* — дождевальный аппарат; *6* — подкормщик; *7* — эжекторное устройство

Дождевальная машина ДДН-100 (рис. 5.22) агрегатируется с тракторами Т-150, Т-4А, ДТ-75М при помощи автосцепки СА-2.

Краткая техническая характеристика машин типа ДДН приведена в таблице 5.7, а схемы их работы показаны в таблице 5.8.

Машинами ДДН-100 и ДДН-70 можно поливать по кругу (при прямоугольной или треугольной схеме расположения гидрантов) или по сектору.

Продолжительность работы ДДН-70 и ДДН-100 на позиции зависит от рабочего расхода машины, поливной нормы и размера потерь воды на спарение во время дождевания

$$\tau = 0{,}1m/\rho_m\beta_E, \qquad (5.19)$$

где m — поливная норма, м³/га; ρ_m — интенсивность дождя, мм/мин; β_E — коэффициент, учитывающий потери воды на испарение.

5.7. МНОГООПОРНЫЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ ПОЗИЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ ФРОНТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Колесный дождевальный трубопровод ДКШ-64 «Волжанка» предназначен для полива низкостебельных (высотой до 1,2 м) зерновых, технических и овощных культур, многолетних трав, лугов и пастбищ на участках с уклонами не более 0,02. Полив позиционный с питанием водой от гидрантов закрытой оросительной сети, расположенных на расстоянии 18 м друг от друга. С позиции на позицию машина переезжает при фронтальном перемещении с приводом от двигателя внутреннего сгорания мощностью 3 кВт.

ДКШ-64 «Волжанка» состоит из двух дождевальных крыльев, работающих независимо друг от друга с питанием от различных гидрантов. В центре крыла монтируют ведущую тележку на четырех колесах с двигателем и реверс-редуктором, снабженную тормозами для повышения устойчивости на позиции и заградительным щитом колеса. Присоединительное устройство входной части дождевального крыла включает телескопическую трубу, гибкий шланг и колонку для присоединения к гидрантам оросительного трубопровода.

Дождевальные среднеструйные аппараты ДКШ-64.00.060 имеют самоустанавливающийся механизм для обеспечения их вертикального положения после перекатывания трубопровода (рис. 5.23).

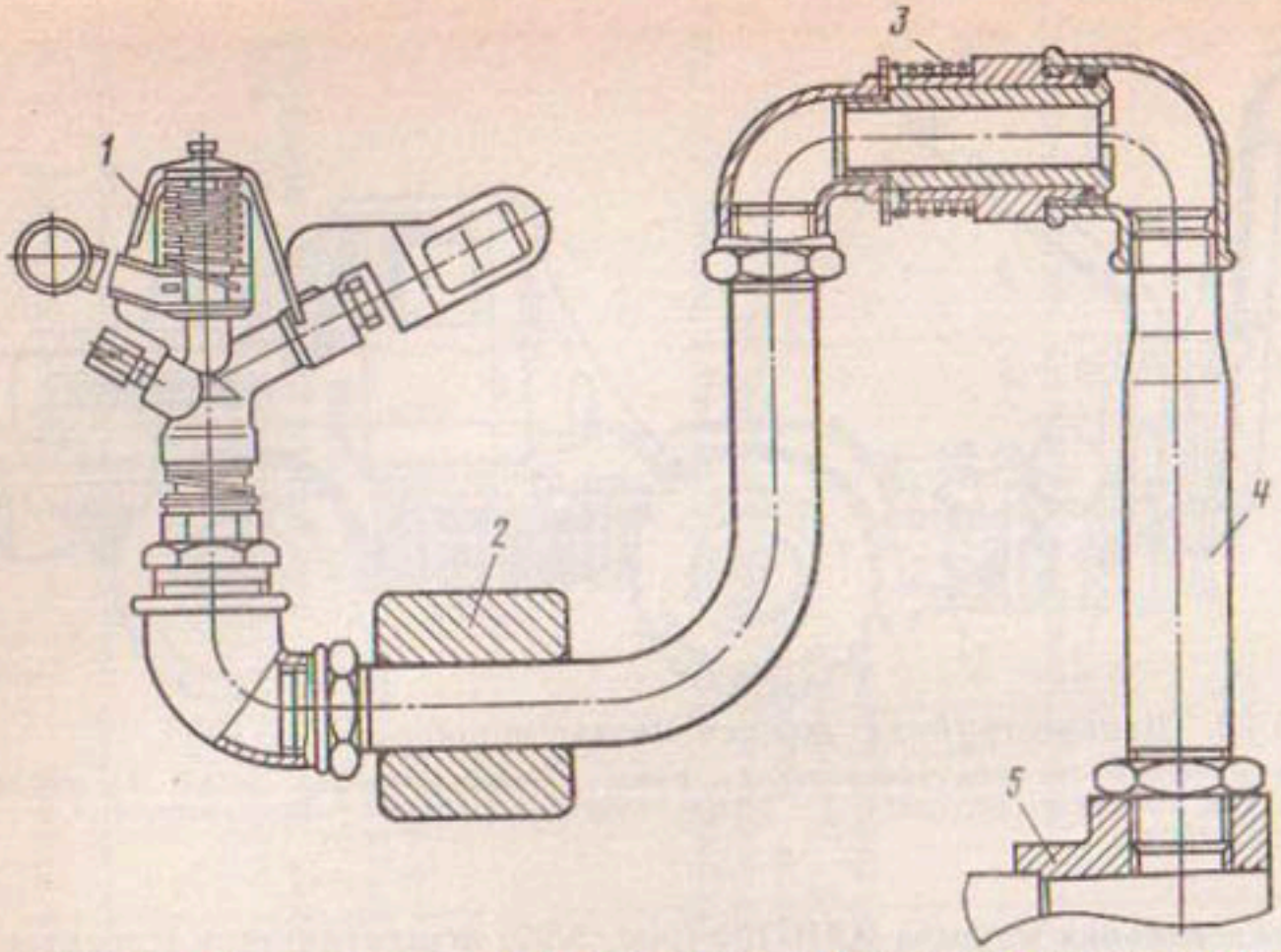


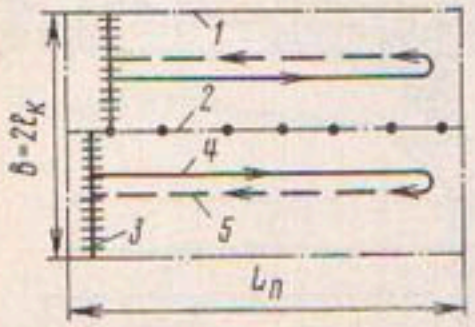
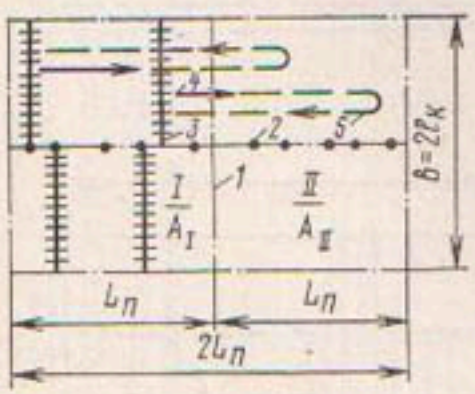
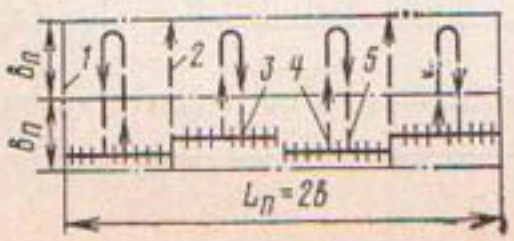
Рис. 5.23. Механизм самоустановки дождевальных аппаратов машины «Волжанка»:

1 — дождевальный аппарат; *2* — противовес; *3* — пружина; *4* — стояк; *5* — секция трубопровода

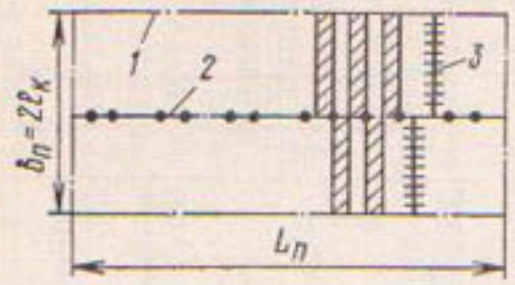
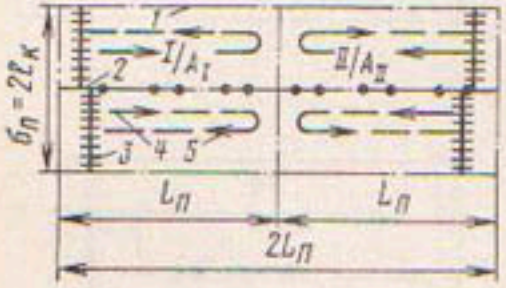
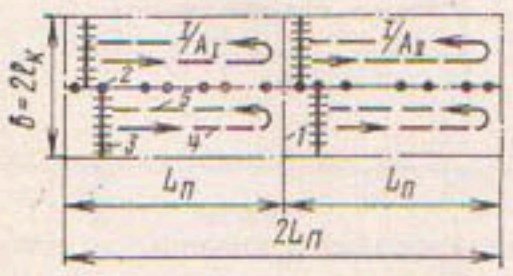
5.9. Техническая характеристика модификаций машины «Волжанка»

Показатели	ДКШ-64-800	ДКШ-56-700	ДКШ-48-600	ДКШ-40-500	ДКШ-32-400	ДКШ-24-300	ДКШ-64-400	ДКШ-48-300
Производительность при норме полива 600 м³/га, га/ч	0,39	0,34	0,29	0,24	0,19	0,15	0,39	0,29
Ширина захвата, м	800	700	600	500	400	300	400	300
Расход воды, л/с	64	56	48	40	32	24	64	48
Давление, МПа	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,35	0,35
Площадь, поливаемая с одной позиции, га	1,44	1,26	1,08	0,90	0,72	0,54	0,96	0,72
Мощность двигателя, кВт	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Расстояние между гидрантами, м	18	18	18	18	18	18	24	24
Скорость движения при смене позиции, м/мин	6...9	6...9	6...9	6...9	6...9	6...9	6...9	6...9
Число секций труб длиной 12,6 м	60	52	44	36	28	20	28	20
Число дождевальных аппаратов	64	56	48	40	32	24	32	24
Расход воды одним аппаратом, л/с	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

5.10. Технологические схемы расстановки и работы дождевальных машин «Волжанка»

Схема расстановки и перемещения машин	Описание схемы работы	Достоинства схемы	Недостатки схемы
	Машина работает на одном поле по обычной схеме: в одном направлении осуществляется полив, в другом — холостой перегон на исходную позицию	Лесополосы можно располагать по периметру поля. Полевой трубопровод рассчитывают на один рабочий расход машины	Максимальная продолжительность полива поля и большие переходы оператора при обслуживании нескольких машин
	Две машины работают спаренно, одна за другой, в одном направлении на расстоянии, равном половине длины поля	Продолжительность полива поля минимальна. Хорошие условия для работы оператора и контроля за поливом	Оросительный трубопровод увеличенного диаметра рассчитан на два рабочих расхода машины. Перегон (холостой) по мокрому полю. Возможны взаимные помехи при работе и холостом перегоне крыльев
	Две машины работают на двух смежных полях, располагаясь параллельно длинной стороне поля. Обслуживает их один оператор	Продолжительность полива поля минимальная. Трубопроводы рассчитаны на один рабочий расход машины. Вхолостую крылья перегоняют только по сухому полю	По одной стороне смежных полей нельзя устраивать лесополосы. Удлиняется путь оператора при переходах от машины к машине (при движении по дороге)

Продолжение

Схема расстановки и перемещения машин	Описание схемы работы	Достоинства схемы	Недостатки схемы
	Машина работает с подключением через гидрант без длинных холостых перегонов крыльев. Исходная позиция — середина поля. Первоначальное размещение может быть аналогичным схеме *III*	Исключаются длинные холостые перегоны. Передвижение осуществляют только по сухому полю. Между полями по периметру возможна закладка лесополос	Незначительно снижается коэффициент использования сменного времени
	Машины работают на смежных полях, перемещаясь навстречу одна другой в рабочем положении и в противоположном направлении при холостом перегоне	Оператор перемещается только по дороге вдоль поливного трубопровода	Большая неравномерность загрузки оператора, плохой визуальный контроль при наличии летополосы между смежными полями
	Машины работают на смежных полях, перемещаясь в одном направлении на равных расстояниях от начала полей	Оператор перемещается только по дороге вдоль трубопровода, имеет хорошие условия для наблюдения за работой машин	Недостаточен визуальный контроль за работой машины при наличии лесополос между смежными полями *I* и *II*

Примечание. *1* — границы поля; *2* — трубопровод с гидрантами; *3* — крыло машины «Волжанка»; *4* — рабочий ход крыла; *5* — холостой перегон; *I*, *II* — номера полей.

5.11. Техническая характеристика модификаций ДКН-80

Параметры	ДКН-80-600	ДКН-70-500	ДКН-60-400
Расход воды, л/с	90	70	60
Марка дождевального аппарата	ДКН-80.05.000		
Число дождевальных аппаратов с расходом воды, л/с:			
4	20	16	12
5	2	2	2
Давление на гидранте, МПа	0,45	0,45	0,45
Средняя интенсивность дождя с перекрытием, мм/мин	0,3	0,31	0,33
Ширина захвата (два крыла), м	600	500	400
Расстояние между позициями, м	27	27	27
Производительность при норме полива 600 м³/га, га/ч	0,48	0,42	0,36
Привод	Два двигателя от мотопилы «Дружба»-4		
Скорость передвижения, м/мин	9	9	9

Техническая характеристика модификаций машины «Волжанка» приведена в таблице 5.9. Технологические схемы работы машины «Волжанка» на поливе сельскохозяйственных культур показаны в таблице 5.10.

Продолжительность работы «Волжанки» на позиции зависит от рабочего расхода машины, поливной нормы и потерь воды на испарение в момент дождевания

$$t = m/(\rho\beta_E), \qquad (5.20)$$

где m — поливная норма, мм; ρ — интенсивность дождя, мм/мин; β_E — коэффициент, учитывающий потери воды на испарение.

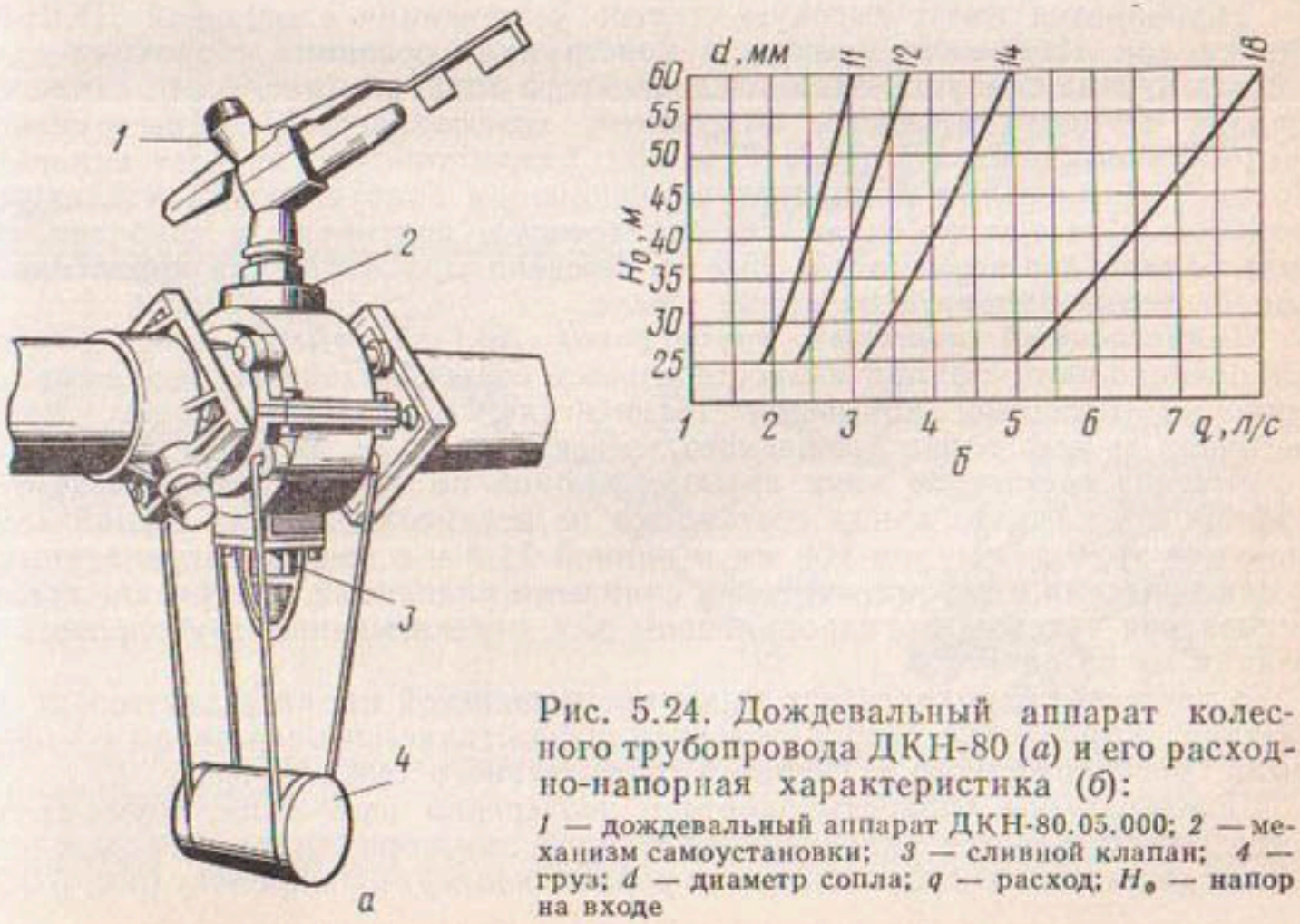


Рис. 5.24. Дождевальный аппарат колесного трубопровода ДКН-80 (*а*) и его расходно-напорная характеристика (*б*):

1 — дождевальный аппарат ДКН-80.05.000; *2* — механизм самоустановки; *3* — сливной клапан; *4* — груз; *d* — диаметр сопла; *q* — расход; H_0 — напор на входе

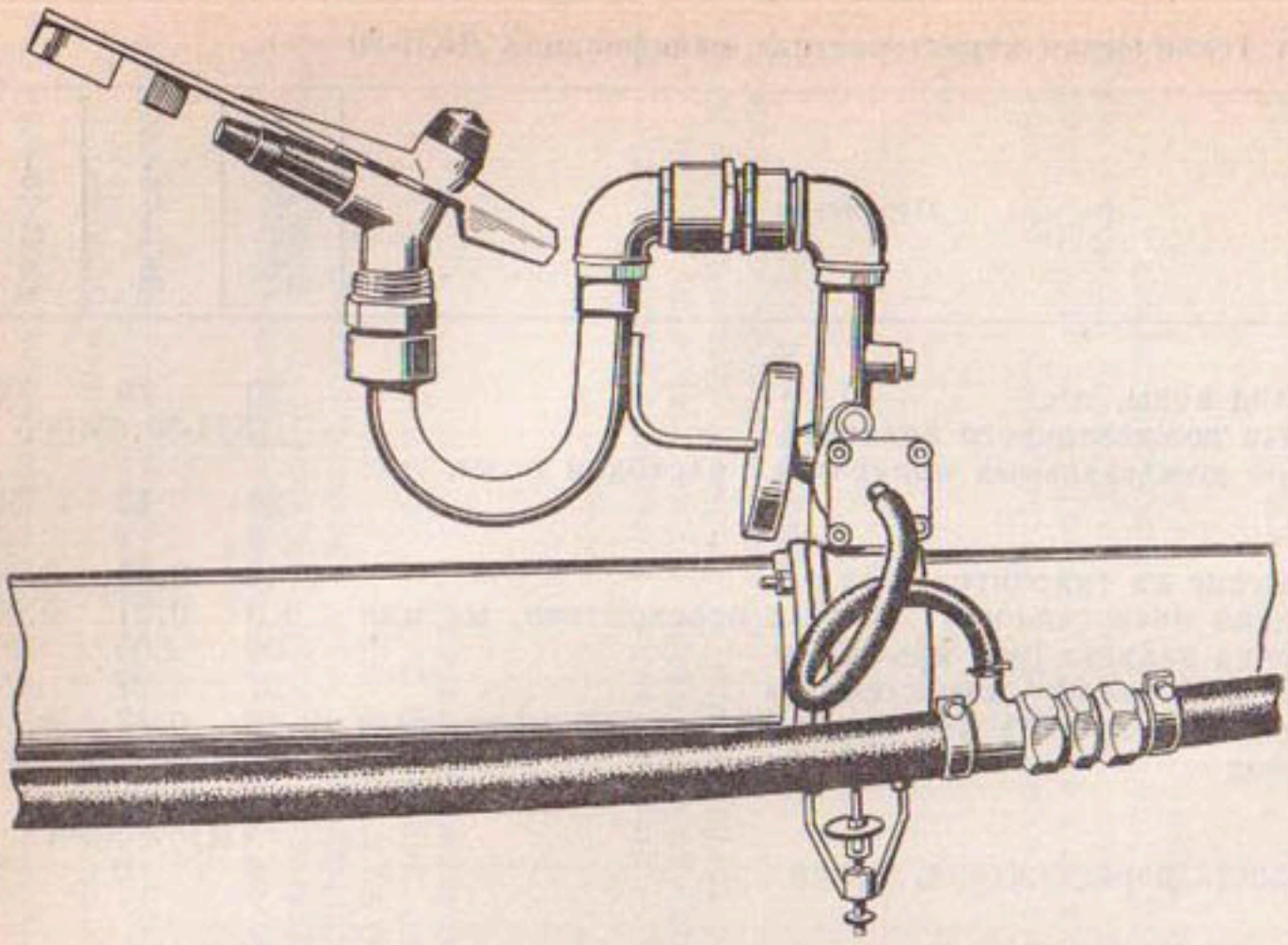


Рис. 5.25. Дождевальный аппарат машины «Ока» с механизмами самоустановки и автоматического переключения

Дождевальный колесный трубопровод ДКН-80 предназначен для полива кормовых культур, лугов и пастбищ как чистой водой, так и водой в смеси с подготовленными животноводческими стоками (табл. 5.11). Удобрительная смесь должна содержать не более 2 % сухого вещества с частицами размером до 10 мм.

Трубопровод имеет высокую степень унификации с машиной ДКШ-64 «Волжанка». Изменения внесены в конструкции основных сборочных единиц: механизма самоустановки дождевального аппарата (рис. 5.24), сливного клапана с принудительным открытием, односоплового среднеструйного дождевального аппарата ДКН-80.05.000, разработанного на базе аппарата «Роса»-3. Дождевальный аппарат с механизмом самоустановки и сливным клапаном образуют рабочую вставку, которую монтируют в трубопроводе через каждые два звена (через 25,2 м). Введено устройство для крепления и самоустановки аппарата на конце крыла.

Дождевальный колесный трубопровод ДКГ-80 «Ока» предназначен для позиционного полива низкостебельных сельскохозяйственных культур (зерновые, овощные, кормовые, технические, многолетние травы, луга, пастбища) во всех зонах орошаемого земледелия.

Машина состоит из двух крыльев длиной по 400 м. Водопроводящий трубопровод каждого крыла составляют из взаимозаменяемых секций алюминиевых труб диаметром 150 мм и длиной 11,8 м с жестко закрепленными на них колесами и автоматическими сливными клапанами. В середине крыла установлена тележка с гидроприводом для перекатывания трубопровода с позиции на позицию.

В качестве гидродвигателя применен поршневой цилиндр двустороннего действия. Управление гидродвигателем осуществляется оператором с конца крыла, расположенного у гидранта оросительного трубопровода.

Дождевальные аппараты работают поочередно через один, двумя группами. Переключаются они с помощью программатора, который подает импульсы давления к гидроклапанам по управляющему трубопроводу (рис. 5.25).

Техническая характеристика машины ДКГ-80 «Ока»

Тип машины	Самоходный дождевальный трубопровод позиционного действия
Привод	Гидравлический с использованием энергии оросительной воды
Ширина захвата (расстояние между оросителями), м	800
Расход воды, л/с	100
Давление на гидранте, МПа	0,5
Расстояние между позициями, м	36
Производительность при норме полива 600 м³/га, га/ч	0,6
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,21
Скорость движения во время смены позиций, м/мин:	
при вегетационном поливе	5,0...9,0
при влагозарядковом поливе по пахоте	3,5...4,0
Площадь, поливаемая с одной позиции, га	2,88
Высота трубопровода над землей, м	0,9
Диаметр поливного трубопровода и толщина стенки, мм	150×2
Обслуживающий персонал	Один человек на две-три машины

Широкозахватная многоопорная электрифицированная дождевальная машина ДФ-120 «Днепр» предназначена для полива зерновых и технических культур, овощных, а также для орошения лугов и пастбищ на площадях с уклоном до 0,02. Полив позиционный с питанием от гидрантов закрытых оросителей, фронтальное перемещение между позициями — с приводом от передвижной электростанции ДП-11.000 на тракторе, перевозка с участка

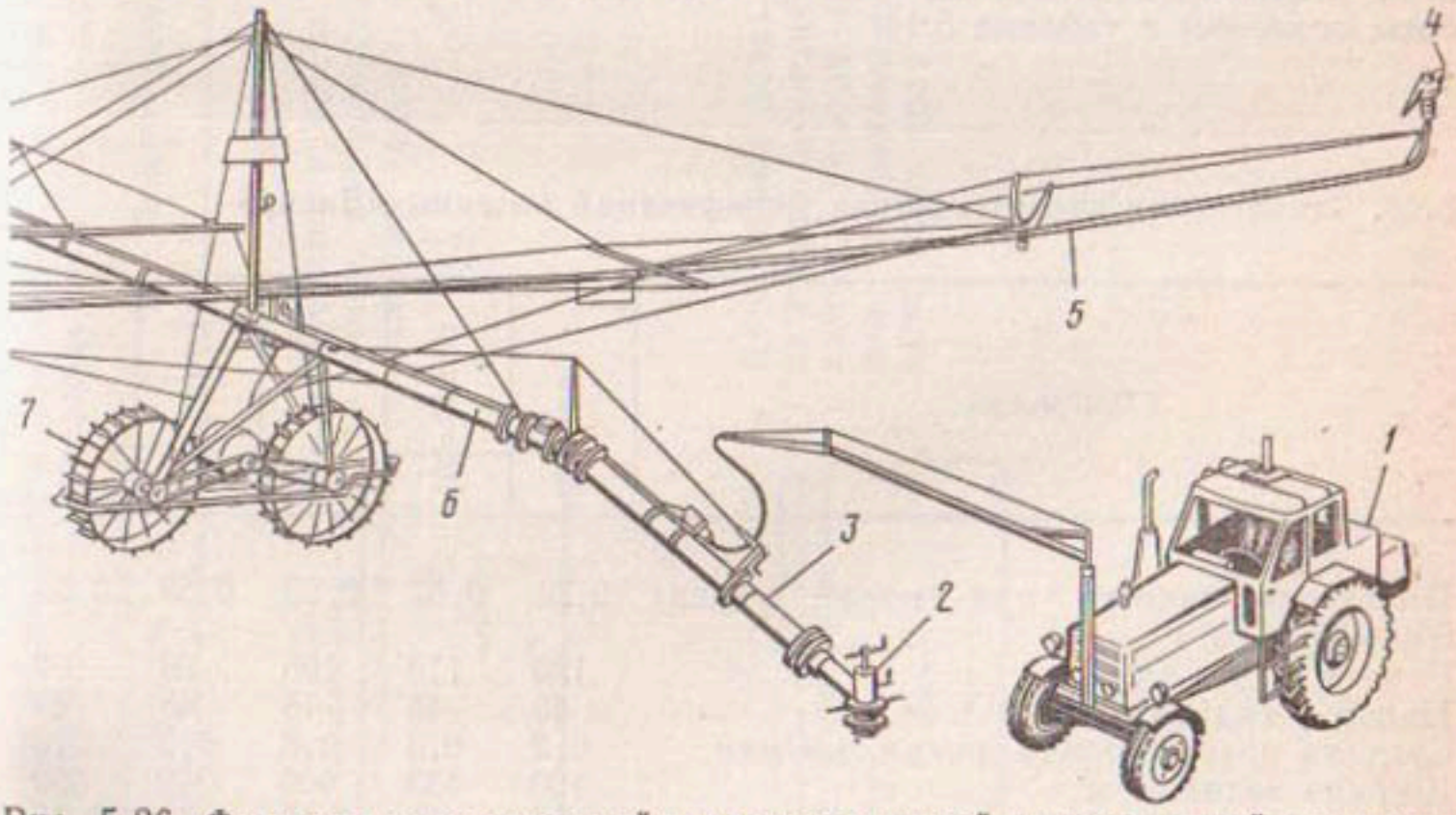


Рис. 5.26. Фрагмент многоопорной широкозахватной дождевальной машины ДФ-120 «Днепр»:

1 — тракторная электростанция; *2* — гидрант; *3* — подсоединительный трубопровод; *4* — дождевальный аппарат; *5* — ферма-открылок; *6* — водопроводящий пояс; *7* — опорная тележка

5.12. Продолжительность полива на позиции машины ДФ-120 «Днепр», мин

Норма полива, м³/га	Потери воды на испарение, %				
	0	5	10	15	20
200	67	70	74	77	80
300	100	105	110	115	120
400	133	140	146	153	159
500	167	175	183	192	200
600	200	210	220	230	240
800	267	280	294	307	321
1000	333	350	367	384	401

на участок в осевом направлении — на прицепе трактора-буксировщика (рис. 5.26).

Машина «Днепр» имеет 17 самоходных колесных тележек-опор. Для присоединения ее к гидрантам служит телескопический шарнирный подсоединительный трубопровод с лебедкой. Машина снабжена электроприводом и системой синхронизации движения опор. На водопроводящем трубопроводе с открылками расположены среднеструйные дождевальные аппараты «Роса»-3.

Машина комплектуется 35 гидрантами, устанавливаемыми на закрытых оросителях через 54 м.

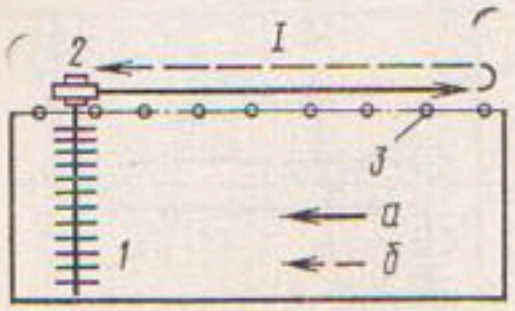
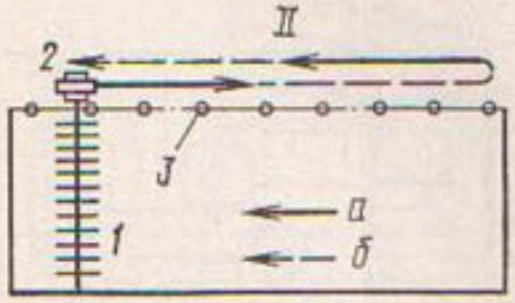
Скорость синхронного перемещения машины с электростанцией при смене позиций — 0,49 км/ч.

Продолжительность работы машины «Днепр» на позиции определяется так же, как для машины «Волжанка» (табл. 5.12). Техническая характеристика модификаций машины «Днепр» приведена в таблице 5.13, схемы работы показаны в таблице 5.14.

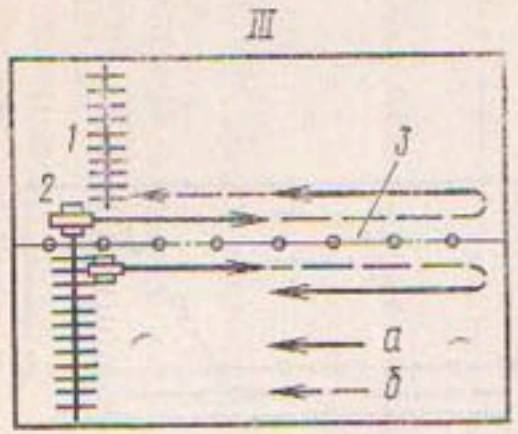
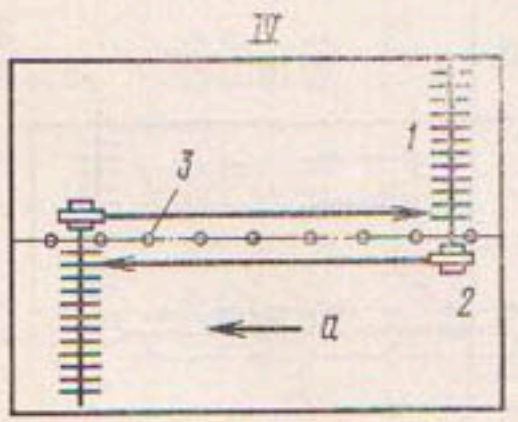
5.13. Техническая характеристика модификаций машины «Днепр»

Параметры	ДФ-120	ДФ-120-01	ДФ-120-02	ДФ-120-03	ДФ-120-04
Производительность при норме полива 600 м³/га, га/ч	0,71	0,67	0,63	0,59	0,55
Расход воды, л/с	120	113	106	99	92
Напор у гидранта, м	45	45	45	45	45
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Ширина захвата, м	460	433	406	379	352
Число ходовых опорных тележек	17	16	15	14	13
Число дождевальных аппаратов:					
кругового действия	30	28	26	24	22
с механизмом секторного полива	4	4	4	4	4
Установленная мощность, кВт	18,7	17,6	16,5	15,4	14,3

5.14. Технологические схемы расстановки и работы дождевальных машин «Днепр»

Схема расстановки и перемещения машины	Описание схемы	Достоинства схемы	Недостатки схемы
	Работает в одном направлении, возвращается назад холостым ходом	Поливной трубопровод системы рассчитывают на один рабочий расход машины. Лесополосы можно закладывать по всему периметру поля	Большая продолжительность полива поля, большая длина маршрутов обслуживающего трактора. Перегон машины на исходную позицию по мокрому полю
	До середины поля — полив, по второй половине поля — холостой перегон. В обратном направлении — полив вдоль всего поля	При перегоне перемещается по сухому полю. Лесополосы можно закладывать по всему периметру поля	Холостые переезды

Продолжение

Схема расстановки и перемещения машины	Описание схемы	Достоинства схемы	Недостатки схемы
	Две машины обслуживают два смежных поля. Работают, перемещаясь параллельно, обслуживаются одним трактором	Продолжительность полива поля минимальная. Холостые перегоны только по сухому полю. Минимальная длина маршрутов обслуживающего трактора	Между смежными полями нельзя закладывать лесополосы
	Полив в одну и другую сторону вдоль гидрантов трубопровода, расположенного посередине поля	Поливной трубопровод рассчитывают на один рабочий расход системы. Лесополосы можно закладывать по всему периметру поля. Нет длинных перегонов машины	Необходимость на границах поля переводить машину в транспортное положение и перебазировать ее на другую сторону поливного трубопровода трактором

Примечание. *1* — дождевальная машина; *2* — трактор; *3* — подводящий трубопровод с гидрантами; *а* — рабочий ход; *б* — холостой ход.

5.8. САМОХОДНАЯ МНОГООПОРНАЯ ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА «ФРЕГАТ»

Дождевальная машина «Фрегат» выполнена в виде движущегося по кругу многоопорного трубопровода с размещенными на нем среднеструйными дождевальными аппаратами. Предназначена для полива сельскохозяйственных культур, лугов и пастбищ.

Водопроводящий пояс машины высотой 2,2 м над поверхностью земли опирается на самоходные опоры, имеющие двухколесные тележки с гидроприводом, работающим от энергии поливной воды (рис. 5.27). Звено (тележка) машины включает колесную самоходную опору с механизмом гидропривода, трубу водопроводящего пояса с дождевальным аппаратом, А-образную ферму с системой тросового крепления водопроводящего пояса, узлы автоматической системы синхронизации движения и аварийной остановки.

Вода подается от гидрантов закрытой оросительной сети или из скважин погружным насосом. Над гидрантом размещается неподвижная опора со стояком, вокруг которого вращается машина. Неподвижная опора представляет собой металлическую конструкцию, закрепленную на бетонном фундаменте.

Машина «Фрегат» оборудована системами механической и электрической аварийной остановки при изгибе трубопровода, опасном для прочности конструкций.

Размер поливной нормы устанавливают путем изменения скорости движения машины. Для обеспечения равномерного полива площади машина оборудована среднеструйными дождевальными аппаратами кругового действия четырех типоразмеров и одним концевым аппаратом. Концевой аппарат работает по сектору и обеспечивает полив части площади по углам участка.

Характеристика дождевальных аппаратов машины «Фрегат» приведена в таблице 5.3, а общий вид и расходно-напорные характеристики даны на рисунках 5.8 и 5.9.

На орошаемом участке машину «Фрегат» можно использовать для полива с одной или двух позиций. Перевозят машину в осевом направлении трактором-буксировщиком.

К машинам «Фрегат» дополнительно поставляют гидроподкормщик для внесения растворимых удобрений с поливной водой, комплекты щитов для ограждения гидроприводов и колес тележек при орошении высокостебельных культур, механические тормоза промежуточных тележек на полях с продольным уклоном более 0,05, гибкую вставку у неподвижной опоры, обору-

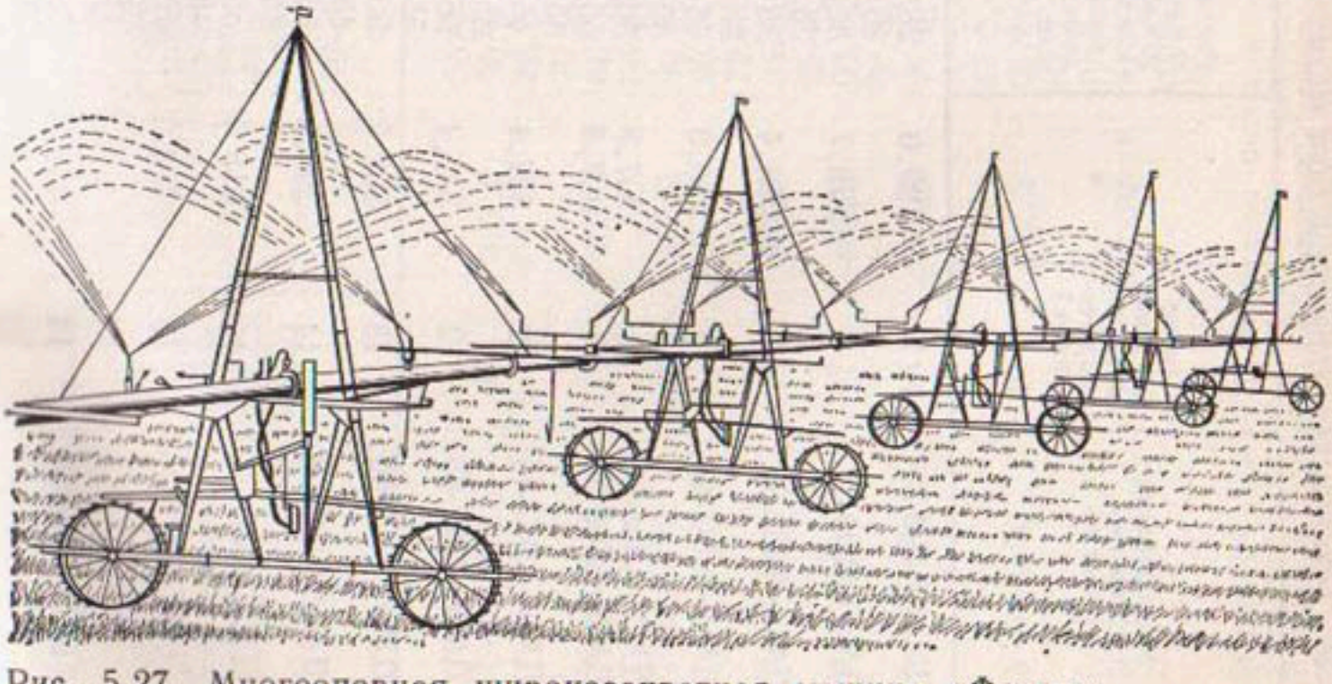


Рис. 5.27. Многоопорная широкозахватная машина «Фрегат»

5.15. Технические характеристики модификаций машины «Фрегат»

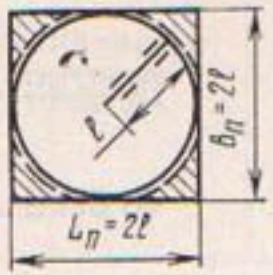
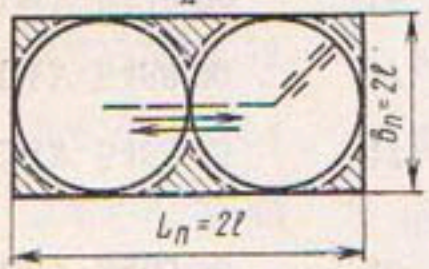
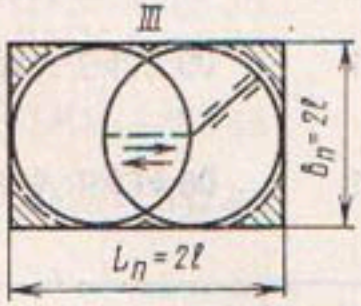
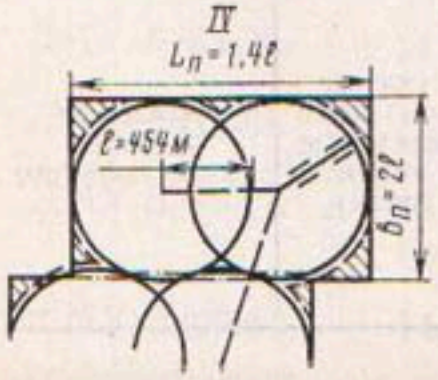
Модификация машины «Фрегат»	Число самодвижущихся опор (тележек)	Длина, м	Расход воды и требуемое давление на входе в машину при нулевом общем уклоне, л/с/МПа	Средняя интенсивность дождя по длине машины, мм/мин	Максимальная площадь полива при работе с одной позиции и постоянно включенном концевом дождевальном аппарате, га	Радиус полива при отключенном концевом дождевальном аппарате, м	Расход воды через концевой аппарат, л/с	Минимальная норма полива за один оборот машины (при числе ходов гидроцилиндра последней тележки 5,5 в 1 мин), м³/га	Масса, т	
									без воды	в рабочем состоянии (с водой)
ДМУ-А199-28	7	199,0	28/0,47	0,22	15,8	211	5,7	137	6,5	10,1
			20/0,47	0,17		209	4,1	98		
ДМУ-А229-32	8	228,7	32/0,48	0,22	20,2	241	5,9	142	7,4	11,5
			25/0,47	0,18		238	4,6	111		
ДМУ-А253-38	9	253,4	38/0,50	0,24	24,4	267	6,4	156	8,2	12,7
			28/0,47	0,19		265	4,7	114		
ДМУ-А283-45	10	283,0	45/0,51	0,25	29,8	297	6,9	170	9,2	14,3
			30/0,48	0,18		295	4,6	113		
ДМУ-А308-30	11	307,8	30/0,48	0,16	34,8	317	4,3	106	10,0	15,5
ДМУ-А308-55	11	307,8	55/0,54	0,27	34,8	322	7,9	195	10,0	15,5
			45/0,52	0,23		321	6,4	159		
ДМУ-А337-45	12	337,4	45/0,52	0,21	41,3	350	5,9	147	10,9	16,5
			35/0,50	0,17		349	4,6	114		
ДМУ-А337-65	12	337,4	65/0,59	0,29	41,3	351	8,5	213	10,9	16,9
			55/0,55	0,25		351	7,2	180		
ДМУ-А362-50	13	362,2	50/0,54	0,21	47,1	375	6,2	155	11,7	18,2
			40/0,51	0,18		374	5,0	124		
ДМУ-А392-50	14	391,8	50/0,55	0,20	54,6	404	5,8	145	12,6	19,6
			40/0,52	0,17		402	4,6	116		
ДМУ-А417-55	15	416,5	55/0,57	0,21	61,2	429	6,0	152	13,4	20,8
			45/0,54	0,17		428	4,9	124		
ДМУ-Б379-75	13	379,2	75/0,57	0,29	51,3	392	8,6	222	12,2	20,2
			68/0,55	0,27		390	7,8	202		
			60/0,53	0,24		390	6,9	178		
ДМУ-Б409-80	14	408,8	80/0,58	0,29	59,1	420	8,7	223	13,2	21,9
			72/0,56	0,26		420	7,8	200		

Продолжение

Модификация машины «Фрегат»	Число самодвижущихся опор (тележек)	Длина, м	Расход воды и требуемое давление на входе в машину при нулевом общем уклоне, л/с/МПа	Средняя интенсивность дождя по длине машины, мм/мин	Максимальная площадь полива при работе с одной позиции и постоянно включенном концевом дождевальном аппарате, га	Радиус полива при отключенном концевом дождевальном аппарате, м	Расход воды через концевой аппарат, л/с	Минимальная норма полива за один оборот машины (при числе ходов гидроцилиндра последней тележки 5,5 в 1 мин), м³/га	Масса, т	
									без воды	в рабочем состоянии (с водой)
ДМУ-Б434-90	15	433,6	65/0,54	0,24	66,1	419	7,1	181	14,0	23,3
			90/0,62	0,31		447	9,2	238		
			80/0,59	0,28		445	8,2	212		
			70/0,56	0,24		444	7,2	185		
ДМУ-Б463-60	16	463,2	60/0,54	0,20	74,9	474	5,8	150	15,0	25,0
			50/0,51	0,18		473	4,8	125		
ДМУ-Б463-90	16	463,2	90/0,63	0,29	74,9	476	8,7	225	15,0	25,0
			80/0,59	0,26		474	7,8	200		
			72/0,57	0,23		474	7,0	180		
ДМУ-Б488-65	17	487,9	65/0,55	0,21	82,6	498	6,0	156	15,8	26,4
			55/0,53	0,18		497	5,1	132		
ДМУ-Б488-90	17	487,9	90/0,64	0,27	82,6	499	8,2	216	15,8	26,4
			80/0,60	0,25		498	7,3	192		
ДМУ-Б518-90	18	517,6	90/0,64	0,26	92,5	528	7,9	205	16,8	28,2
			80/0,61	0,23		528	7,0	182		
			72/0,58	0,21		528	6,3	164		
ДМУ-Б542-90	19	542,3	90/0,65	0,25	102,2	553	7,6	194	17,6	29,5
			80/0,61	0,23		553	6,7	173		
			72/0,58	0,21		552	6,1	155		
ДМУ-Б572-90	20	571,9	90/0,66	0,24	111,3	583	7,2	189	18,6	31,3
			80/0,62	0,22		582	6,4	168		
			72/0,59	0,20		582	5,8	151		

Примечания: 1. Несколько расходов воды на машине одной марки обеспечиваются установкой различных наборов дождевальных аппаратов из комплекта, поставляемого с машиной и соответствующей их настройкой. 2. Указанное в технической характеристике число модификаций машины рассчитано на достижение максимальной эффективности их в различных почвенно-климатических, рельефных и хозяйственных условиях, которые комплексно учитывают при проектировании оросительных систем.

5.16. Технологические схемы расстановки и работы дождевальных машин «Фрегат» на севооборотных полях

Схема	Описание схемы	Достоинства схемы	Недостатки схемы
I 	Работает на одной позиции. Неорошаемая площадь в углах поля при работе концевого аппарата составляет 16...18%	Работает независимо от других; отсутствуют затраты времени и труда на ее перемещение	Низкий КЗИ (0,82...0,84) и минимальная сезонная нагрузка на машину, большие капиталовложения, большой срок окупаемости
II 	Работает на двух позициях в пределах одного поля или же на смежных полях	Увеличивается сезонная нагрузка на машину, уменьшаются капиталовложения и срок окупаемости	Низкий КЗИ (0,82...0,84), необходимость перемещения машины с одной позиции на другую, не решается проблема полива углов поля
III 	Работает на двух позициях в пределах одного поля, гидранты расположены на расстоянии, равном конструктивной длине машины	КЗИ повышается до 0,91... 0,93. Увеличивается загрузка машины по сравнению со схемой *I*, сокращается расстояние транспортировки машины	Перекрытие поливом части площади поля. Необходимость изменения скорости движения машины в процессе полива
IV 	Работает на двух позициях на гидрантах, которые в пределах поля расположены на расстоянии, равном 1,4 конструктивной длины машины. Расстояние между гидрантами на смежных полях составляет 1,925 длины машины	На 7...8% повышается КЗИ, увеличивается по сравнению со схемой *I* загрузка машины, для полива углов не требуется другая поливная техника	Перекрытие поливом части площади поля, на 6...7% перерасходуется вода; консольная часть машины проходит над соседним полем, ухудшаются условия для закладки лесополос между смежными полями

дование для отключения концевого дождевального аппарата, для транспортирования машины со стороны неподвижной опоры или консольной части, приспособления для замены коротких труб и прокладок в модификациях ДМУ-А и ДМУ-Б, фильтр, систему внешней электрической защиты.

В зависимости от конкретных условий землепользования применяют машины различных модификаций (ДМУ-А и ДМУ-Б), отличающиеся длиной и расходом; базовая модель имеет 16 опор. Технические характеристики модификаций машины «Фрегат» приведены в таблице 5.15, технологические схемы работ — в таблице 5.16.

Специальные модификации машин «Фрегат». При работе на почвах с низкой несущей способностью (осушаемые торфяники, солончаки и др.) создана машина повышенной проходимости. Для уменьшения колееобразования ее комплектуют колесами с пневматическими шинами низкого давления, имеющими ось со ступицей и приводное кольцо с зацепами, расположенными по окружности с диаметром, равным диаметру жесткого серийного колеса. Приводное кольцо с помощью кронштейнов и болтовых соединений крепят к ободу.

Низконапорная модификация машины «Фрегат» создана для работы на оросительных системах с сетью трубопроводов, выполненных из асбестоцементных или тонкостенных металлических труб с антикоррозионным покрытием (табл. 5.17).

5.17. Техническая характеристика низконапорных модификаций дождевальной машины «Фрегат»

Показатели	Модификации	
	на колесах с пневматиками ДМУ-Б$_{нм}$	с металлическими колесами ДМУ-Б$_{нп}$
Давление (при общем нулевом уклоне), МПа:		
на входе в машину	0,41	0,41
в конце водопроводящего пояса	0,24	0,24
Расход воды, л/с	72,3	72,3
Длина машины, м	463,2	463,2
Число тележек	16	16
Радиус полива, м	488	488
Средняя интенсивность дождя по длине машины, мм/мин	0,533	0,533
Минимальная продолжительность одного оборота, ч	82	86
Слой осадков за проход, мм	30...100	30...100
Рабочие органы:		
число среднеструйных аппаратов	35	35
число короткоструйных насадок	136	136
Проходимость машины по несущей способности почв	Для всех типов почв	При твердости почвы более 150 кПа на глубине 10 см
Механическая повреждаемость растений, %	1,7	1,3
КЗИ в пределах орошаемого круга	0,999	0,999
Производительность при поливной норме 600 м³/га, га/ч	0,437	0,437
Коэффициент эффективного полива	0,81	0,81
Коэффициент надежности технологического процесса	1,0	1,0
Коэффициент использования эксплуатационного времени	0,962	0,96
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/га	150,5	155,02

Модификация ДМУ-Асс предназначена для дождевания чистой водой и подготовленными стоками свиноводческих комплексов. Подготовленные животноводческие стоки должны содержать менее 1 % сухого вещества с размером твердых включений не более 2,5 мм.

Техническая характеристика гидроподкормщика

Расход насоса-дозатора, л/с	30...460
Допустимая вакуумметрическая высота всасывания насоса-дозатора, м	2
Объем растворонакопительной емкости, м³	7...10
Допустимое содержание в растворе твердых включений	Не более 5% с размером частиц до 0,2 мм
Концентрация удобрительного раствора в водопроводящем поясе машины, %	Не более 0,04

Создано пять модификаций машины «Фрегат» ДМУ-А с расходом 30... 55 л/с.

На машину установлены односопловые дождевальные аппараты с диаметром сопла более 5,6 мм, сливные клапаны новой конструкции, конический переходник к концевому аппарату.

Для внесения удобрений в растворенном виде одновременно с поливной водой используют гидроподкормщик. Он состоит из диафрагменного насоса-дозатора с гидроприводом, накопительной емкости для приготовления растворов, заборного устройства, барборатора и соединительных трубопроводов с запорной арматурой (рис. 5.28).

Требуемый расход насоса-дозатора (л/с) определяют по зависимости

$$q = AD/\tau = 3{,}6DQ\tau/\eta m\Sigma\tau, \qquad (5.21)$$

где A — площадь полива, га; D — требуемая норма раствора, л/га; τ — продолжительность удобрительного полива, ч; Q — расход машины «Фрегат», л/с; η — коэффициент испарения; m — поливная норма, м³/га.

Гидроподкормщик к машине «Фрегат» можно использовать и для распределения с поливной водой гербицидов. Рабочие растворы приготовляют

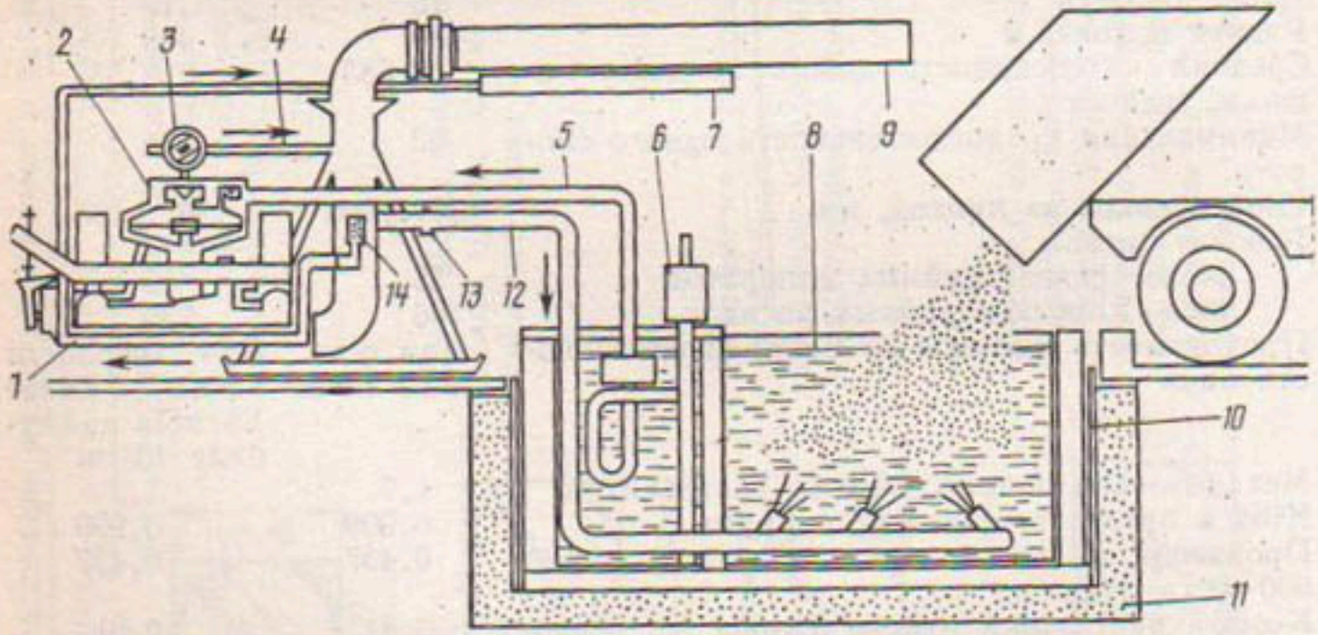


Рис. 5.28. Технологическая схема работы гидроподкормщика:

1 — рукав гидропривода насоса; *2* — агрегат для ввода удобрений; *3* — кран-задатчик производительности; *4* — нагнетательный рукав; *5* — всасывающий рукав; *6* — электрогидроблокировка автоматической остановки дождевальной машины; *7* — сливной трубопровод; *8* — растворонакопительная емкость; *9* — дождевальная машина; *10* — гидроизоляция; *11* — песчаная подушка; *12* — шланг подвода воды к барборатору; *13* — муфтовый кран; *14* — фильтрующий патрон

при растворении заданной нормы гербицида в 100. . .300 л воды. Требуемую дозу внесения гербицида устанавливают путем соответствующего изменения частоты рабочих циклов гидроцилиндров насоса дозатора.

5.9. ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННАЯ МНОГООПОРНАЯ САМОХОДНАЯ ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА ЭДМФ «КУБАНЬ»

Машина предназначена для полива кормовых, зерновых, овощных и технических культур (включая высокостебельные) на площадях со спокойным рельефом (уклон поля вдоль машины не должен превышать 0,007) преимущественно в степной и сухостепной зонах страны. Полив осуществляется в движении с забором воды из открытого оросителя; обслуживается участок размером 800× (1500. . .2000) м. Орошаемая площадь зависит от расхода машины и зоны применения.

Дождевальная машина «Кубань»-М представляет собой фронтально движущийся водопроводящий трубопровод, состоящий из двух крыльев, опирающихся на 16 самоходных тележек, насосно-силового оборудования, подвешенного к центральной балке и двум тележкам в центре машины. Пролеты между опорами выполнены в виде пространственной треугольной фермы (рис. 5.29).

Водопроводящий пояс включает центральный, два головных, десять промежуточных и два предконсольных пролета, с которыми соединяются трубы консолей с вантовой подвеской.

Каждый пролет длиной 52,5 м имеет на водопроводящем трубопроводе по 20 короткоструйных дождевальных насадок с диаметром сопл 5,5. . . 7,5 мм с полусферическим дефлектором, направляющим факел дождя в одну сторону. Поочередная установка насадок, имеющих различную направленность, позволяет несколько увеличить размеры дождевого облака и снизить интенсивность дождя. Всего на машине 298 дождевальных насадок.

Насосно-силовой агрегат смонтирован на платформе и включает дизельный генератор, центробежный насос с водозаборным клапаном, напорным трубопроводом и устройством для сброса воды в канал.

Фронтальное движение машины вдоль канала в заданном направлении с определенной скоростью обеспечивается системами синхронизации и стабилизации, которые включают приборы, щит управления машины и соответствующие кабельные соединения.

При помощи аппаратуры щита управления пускают и останавливают машину, выбирают направление движения (вперед-назад), задают среднюю скорость движения, соответствующую требуемой норме полива, коммутируют цепи питания приводных электродвигателей и приборов сигнализации и стабилизации, получают информацию о режимах работы и направлении

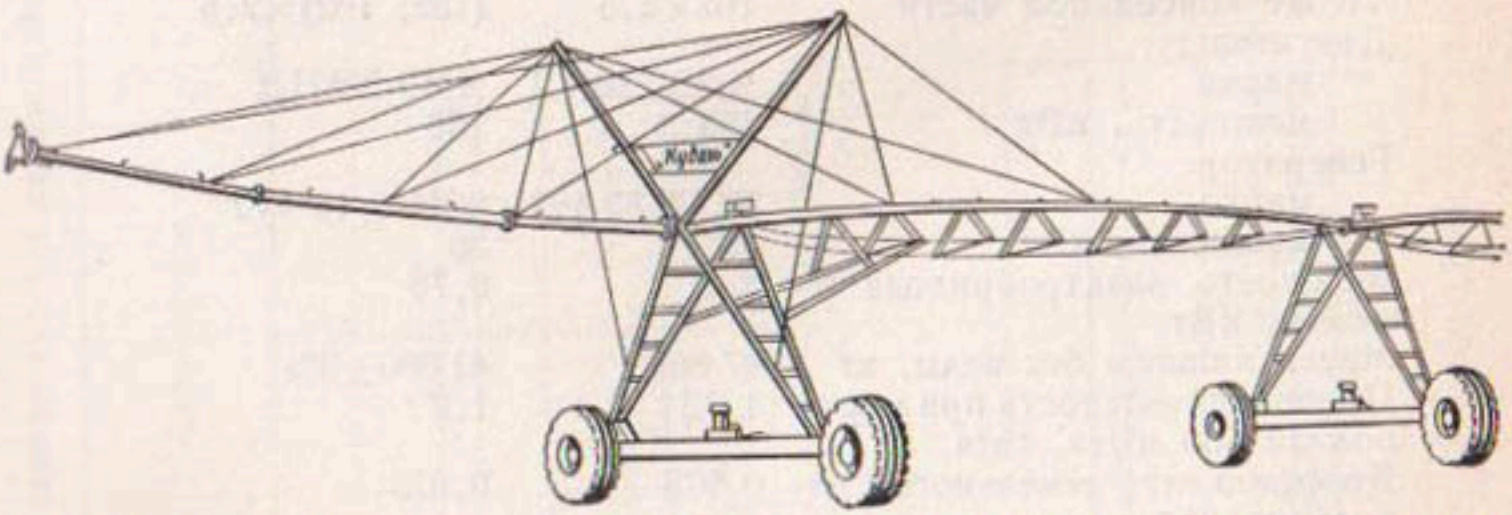


Рис. 5.29. Фрагмент многоопорной широкозахватной дождевальной машины «Кубань»-М

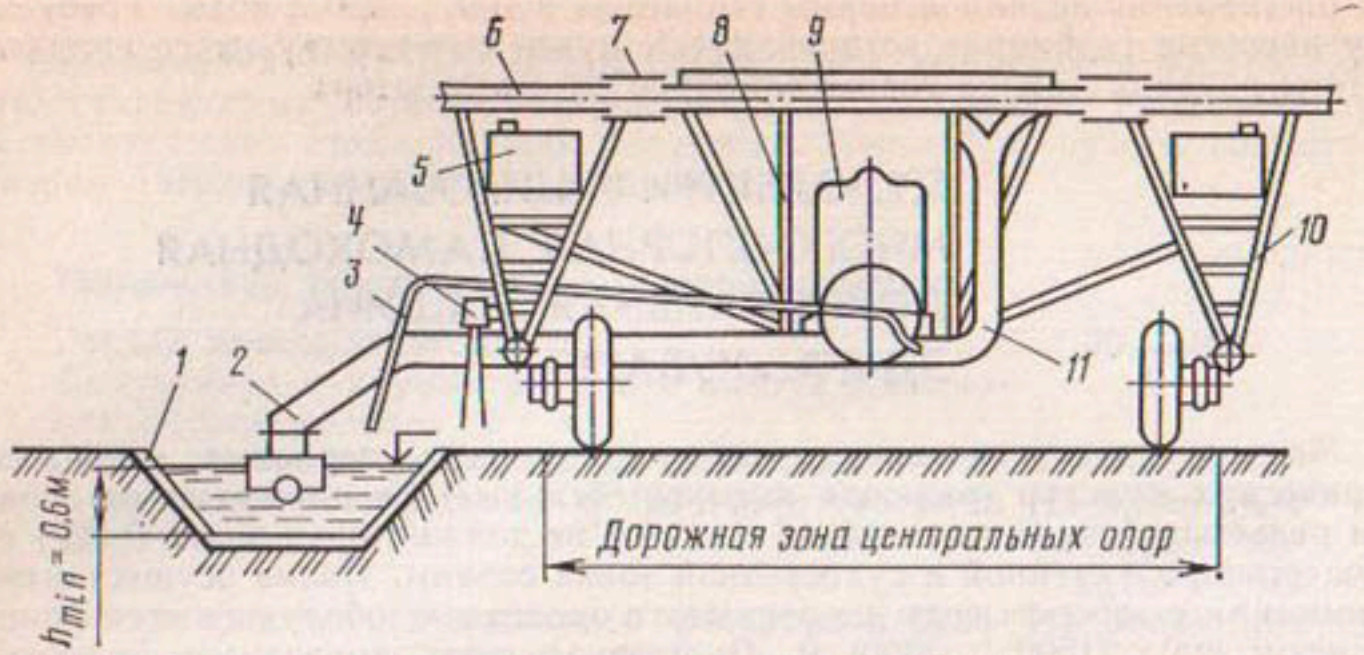


Рис. 5.30. Схема центральной части машины «Кубань»-Л:

1 — канал; *2* — всасывающая линия с плавучим клапаном и фильтром; *3* — устройство для сброса воды; *4* — сигнализатор стабилизации курса; *5* — топливный бак; *6* — водопроводящий пояс; *7* — шарнир; *8* — рама; *9* — дизель-насосный агрегат с генератором; *10* — центральная опорная тележка; *11* — напорный трубопровод

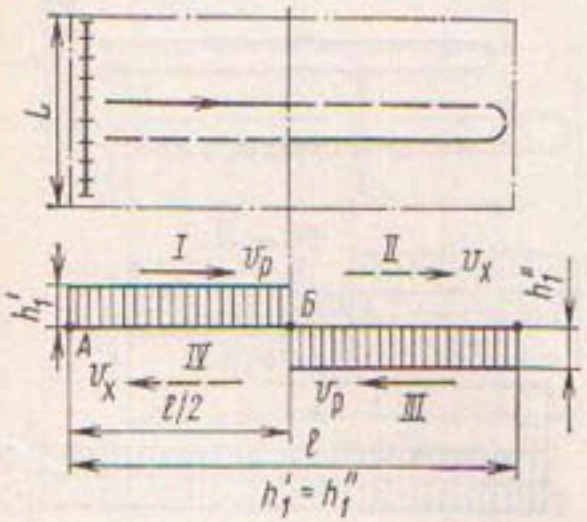
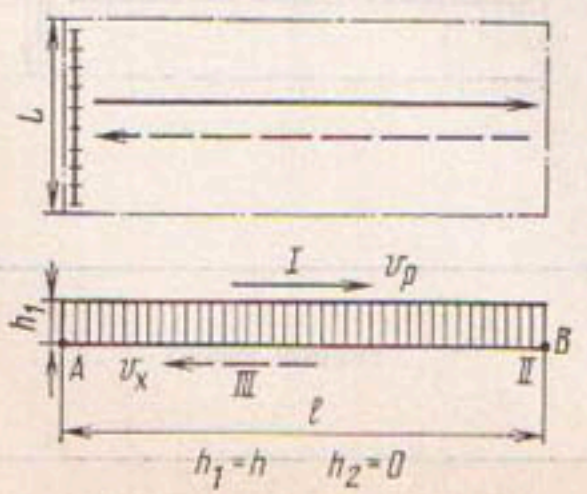
движения машины, о причинах отказа при аварийной остановке в связи с недопустимым изгибом трубопровода.

В дождевальной машине «Кубань»-Л (рис. 5.30) конструктивно изменены все основные агрегаты и узлы, включая водозаборное устройство, ферменные пролеты, ходовые тележки. На энергетической тележке, база опорных колес которой уменьшена до 5,4 м, монтируют топливные баки,

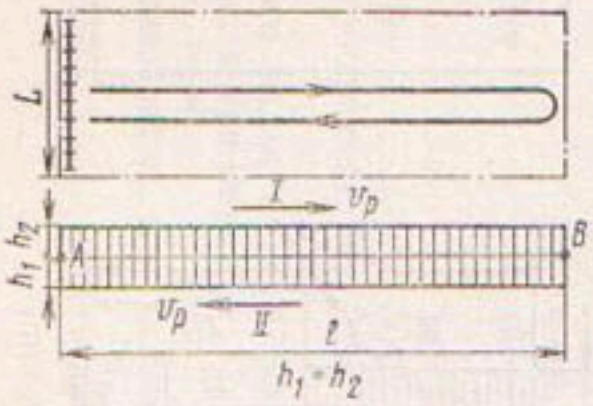
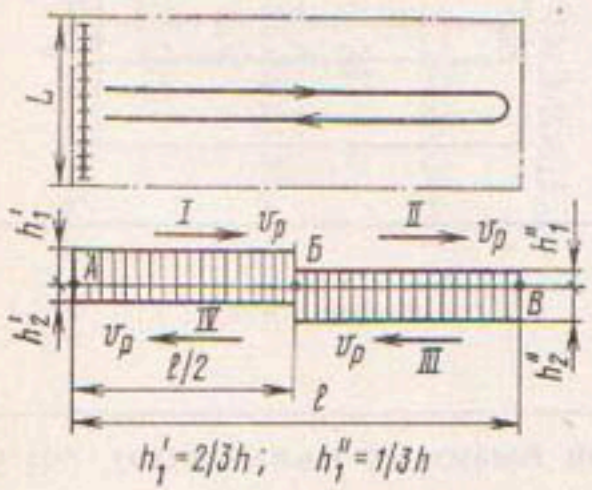
Технические характеристики модификаций ЭДМФ «Кубань»

	«Кубань»-М	«Кубань»-Л
Расход воды, л/с	185±5	200
Давление, развиваемое насосом, МПа	0,37	0,31
Интенсивность дождя, мм/мин	1,01—1,1	1,3
Слой дождя за проход, мм/мин	6,0—60,0	8,0—79,0
Уклон поверхности участка:		
вдоль канала	0,0001	0,0001—0,003
» машины	±0,007	±0,015—0,02
Число опорно-ходовых тележек	16	18
Диаметр и толщина стенки труб водопроводящего пояса, мм	168×3,2	(203; 168; 152)× ×2,65
То же консольной части	102×2,5	(152; 102)×2,5
Двигатель:		
марка	ЯМЗ-238НД	ЯМЗ-238НД
мощность, кВт	158	158
Генератор:		
марка	ЕСС5-82-4у2	2СН42/13-4у2
мощность, кВт	30	30
Мощность электропривода тележек, кВт	2,2	0,75
Масса машины без воды, кг	47 800	41 000±3%
Производительность при норме полива 600 м³/га, га/ч	1,12	1,2
Коэффициент земельного использования	0,975	0,975
Обслуживающий персонал	Один оператор на четыре машины	

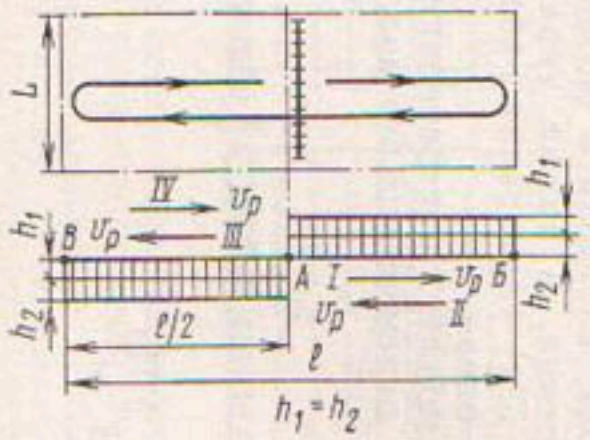
5.18. Технологические схемы полива фронтальными дождевальными машинами, работающими в движении

Схема полива	Этапы цикла	Направление движения	Проход	Поэтапная норма полива	Достоинства схемы	Недостатки схемы
	I	$\frac{v_р}{АБ}$	$n_1/2$	m/n	Движение машины по сравнительно сухому полю	Большая продолжительность полива
	II	$\frac{v_х}{БВ}$	—	—	Возможность полива большими нормами, в том числе за один цикл	Большое число перенастроек машины
	III	$\frac{v_р}{ВБ}$	$n_1/2$	m/n	Возможность проведения выборочных поливов	Возможность технологического сброса воды при холостых перегонах машины
	IV	$\frac{v_х}{БА}$	—	—	—	Длительные холостые перегоны. Неравномерная загрузка двигателя по этапам. Применимость в основном на легких почвах
	I	$\frac{v_р}{АБ}$	n_1	m	Движение машины по сравнительно сухому полю	Большая продолжительность полива
	II	$\frac{v=0}{В}$	Выжидание	—	Небольшое число перенастроек	Потери времени на просыхание почвы
	III	$\frac{v_х}{ВА}$	—	—	Время выжидания совмещается с профилактическими работами или агротехническими мероприятиями. Возможность полива за один проход	Необходимость прекращения подачи воды в период выжидания. Длительные холостые перегоны. Пониженный коэффициент использования машинного времени. Неравномерная загрузка

Продолжение

Схема полива	Этапы цикла	Направление движения	Проход	Поэтапная норма полива	Достоинства схемы	Недостатки схемы
						двигателя по этапам. Применимость в основном на легких почвах
	I	$\xrightarrow[AB]{v_p}$	n_1	0,5	Минимальная продолжительность полива	Движению по мокрому полю
	II	$\xleftarrow[BA]{v_p}$	n_2	0,5	Отсутствие сброса воды. Минимальное число перенастроек машины. Сбалансированная цикличность. Равномерная загрузка двигателя при отсутствии холостых перегонов. Повышенный коэффициент использования машинного времени	Увеличение потерь воды на испарение. Повышенная изнашиваемость взаимодействующих частей. Применимость в основном на тяжелых почвах
	I	$\xrightarrow[АБ]{v_p}$	$n_1/2$	$^2/_3 m$	Уменьшенная продолжительность полива	Движение по влажному грунту
	II	$\xrightarrow[БВ]{v_p}$	$n_1/2$	$^1/_3 m$	Отсутствие сброса воды	Несбалансированность этапов
	III	$\xleftarrow[ВБ]{v_p}$	$n_2/2$	$^2/_3 m$	Равномерная загрузка при отсутствии холостых перегонов	Повышенное число перенастроек машины
	IV	$\xleftarrow[БА]{v_p}$	$n_2/2$	$^1/_3 m$	—	Применимость в основном на легких и средних почвах

Продолжение

Схема полива	Этапы цикла	Направление движения	Проход	Поэтапная норма полива	Достоинства схемы	Недостатки схемы
	I	$\xrightarrow[АБ]{v_р}$	$n_1/2$	$½m$	Минимальная продолжительность полива	Движение по влажному грунту
	II	$\xleftarrow[БА]{v_р}$	$n_2/2$	$½m$	Отсутствие сброса воды	—
	III	$\xleftarrow[АВ]{v_р}$	$n_1/2$	$½m$	Уменьшенное число перенастроек	—
	IV	$\xrightarrow[ВА]{v_р}$	$n_2/2$	$½m$	Равномерная загрузка двигателя	Необходимость устройства в середине поля полосы отчуждения

Примечание. $v_р$ — рабочий проход; $v_х$ — холостой проход; h — слой дождя за проход; m — норма полива; n — проход.

щиты управления движением машины. Дополнительно установлено устройство для осуществления движения машины без полива.

Триста три дождевальные насадки на водопроводящем поясе установлены на коротких изогнутых патрубках, что исключает попадание дождя на ферму и уменьшает снос его ветром.

В отличие от предыдущей модификации изменены конструкции червячных (колесных) редукторов и способ их крепления к продольному брусу, а также мотор-редуктора с одновременным уменьшением мощности двигателя. Применены пневматики высокой проходимости марки 18,3. . .24.

Автоматические системы синхронизации и стабилизации движения и аварийной защиты машин «Кубань»-Л и «Кубань»-М принципиально не отличаются.

При поливе машинами «Кубань» воду забирают из открытого оросительного канала с монолитной бетонной облицовкой. Сечение каналов при строительной глубине 1,1 м может быть двух видов: шириной по дну 0,6 м при заложении откосов 1 : 1,5 и шириной по дну 0,4 м при заложении откосов 1 : 1.

Каналы с уклоном до 0,0001 строят без перегораживающих сооружений, а на каналах с уклоном, превышающим 0,0001, предусматривают стационарные перегораживающие сооружения.

Полив осуществляют по различным технологическим схемам. Более предпочтительны те схемы, при которых полив начинается с середины поля (табл. 5.18).

Электрифицированная низконапорная дождевальная машина МДЭК «Кубань»-ЛК-1 предназначена для полива в движении по кругу сельскохозяйственных культур (в том числе высокостебельных) на участках со спокойным рельефом.

Конструктивная схема машины и технология ее работы такие же, как у машины «Фрегат»; элементы конструкции имеют высокую степень унификации с машиной МДЭФ «Кубань»-Л.

Машина выпускается в десяти модификациях по длине. Основная ее модификация — на десяти опорах. Водопроводящий пояс со шпренгельными фермами жесткости имеет пролеты длиной 30. . .49 м. Самоходные опоры установлены на тележки с пневмоколесами и приводом от электродвигателя. Консольная часть трубопровода снабжена вантовой подвеской. На водопроводящем поясе размещены 37 дождевальных аппаратов серии № 2 машины «Фрегат» (на двух первых пролетах, на последнем и на консоли) и 125 коротконструйных секторных насадок. Использование дождевальных аппаратов и насадок позволяет равномерно распределить дождь по длине машины, снизить его среднюю интенсивность, увеличить политую площадь на 4 %.

Электроэнергия машине подается трансформаторной подстанцией через коллекторное кольцо, установленное на поворотном колене присоединения машины к неподвижной опоре. Машина снабжена системой синхронизации движения опор, системой управления электродвигателями опорных тележек, защиты элементов и контуров привода, контроля и сигнализации режимов работы электрооборудования, освещения, а также управления запорной арматурой на водопроводящей сети. Щит управления работой машины размещен на центральной неподвижной опоре.

Электропривод машины обеспечивает реверсирование направления движения во время работы, а также перемещение без полива при холостых проходах.

Техническая характеристика машины МДЭК «Кубань»-ЛК-1

Расход воды, л/с	70
Давление на входе в машину, МПа	0,35...0,40
Радиус полива без перекрытия, м	483 ± 5
Орошаемая площадь, га	73,3
Число опорных тележек	10
Клиренс водопроводящего пояса, м	2,7
Поливная норма, $м^3/га$	90...900

Минимальная продолжительность полного оборота, ч	26
Производительность за 1 ч основной работы при поливной норме 600 м³/га, га/ч	0,42
Электропитание от сети переменного тока:	
напряжение, В	380
частота, Гц	50
потребляемая мощность, кВт	До 10
Максимально допустимый уклон поля:	
вдоль водопроводящего пояса	0,01
по ходу движения тележек опор	До 0,07
Габаритные размеры, м:	
ширина	6,7
высота	7,1
длина	473,2
Коэффициент эффективного полива	0,805
Коэффициенты:	
технологического обслуживания	0,99
использования сменного времени	0,99
использования эксплуатационного времени	0,95

5.10. СТАЦИОНАРНЫЕ И СЕЗОННО-СТАЦИОНАРНЫЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Стационарными называются дождевальные системы, у которых, кроме дождевальных аппаратов, все составные части (насосная станция, оросительная сеть, основные сооружения на ней) занимают на участке постоянное положение.

Стационарные системы имеют значительную металлоемкость, высокую стоимость строительства, вследствие чего их используют в основном для полива высокорентабельных многолетних культур. Для максимального разрежения оросительной сети на стационарных системах используют дальнеструйные дождевальные аппараты типа ДД с турбинкой, при работе которых не образуется реактивное усилие, воздействующее на стояки. Гидранты и стояки для присоединения дождевальных аппаратов располагают

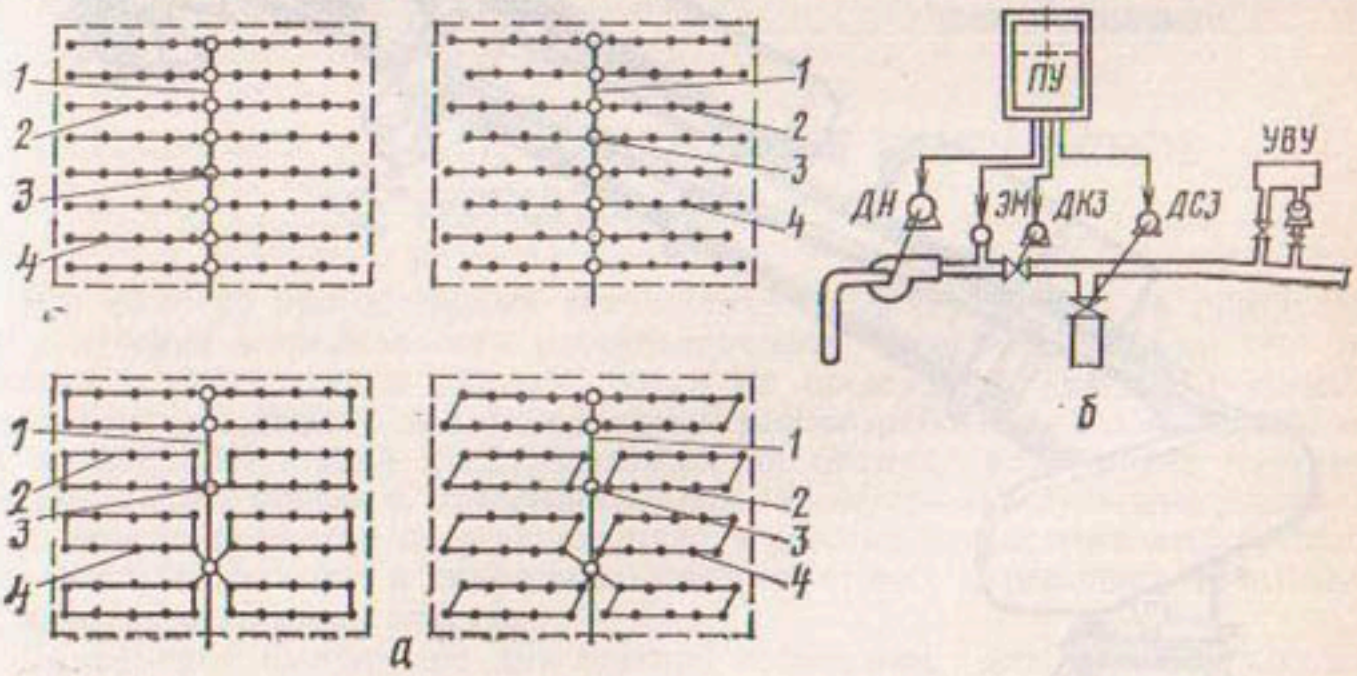


Рис 5.31. Типовые схемы закрытой оросительной сети (*а*) и оборудование для гидроимпульсного управления поливом на системе (*б*):

1 — подводящий и распределительный трубопроводы; *2* — оросительный трубопровод; *3* — распределительный колодец; *4* — дождевальные аппараты и гидрозатворы; ПУ — программное устройство; ДН — электродвигатель насоса; ЭМ — электроконтактный манометр; ДКЗ — электродвигатель командной задвижки; ДСЗ — электродвигатель сливной задвижки; УВУ — установка ввода удобрений

на участке по вершинам квадрата или равностороннего треугольника. Оросители прокладывают по тупиковой или закольцованной схеме. Дождевальные аппараты могут работать на оросительном трубопроводе по одному, группами или одновременно все.

Для водоводов применяют стальные, асбестоцементные, железобетонные и пластмассовые трубы, прокладываемые на глубине 0,7. . .0,8 м. Высоту стояка над поверхностью почвы принимают равной 1,2. . .1,5 м. Для полива высокостебельных культур и садов высоту стояка определяют по зависимости

$$h = h_0 l \operatorname{tg} \theta_0, \qquad (5.22)$$

где h_0 — высота дерева, м; l — расстояние от стояка до ближайшего дерева, м; θ_0 — угол вылета струи по отношению к горизонтальной плоскости, град.

Автоматизированные стационарные системы включают насосную станцию с программным управлением, гидравлическую или электрическую запорную арматуру на сети и (или) на дождевальных аппаратах. Запорная арматура на дождевальных аппаратах или гидрантах может снабжаться отдельным программирующим устройством для обеспечения работы каждого из дождевальных аппаратов или их групп в задаваемом режиме и определенной очередности.

На рисунке 5.31 приведены схемы размещения оборудования для гидроимпульсного управления поливом и расположения оросительной сети автоматизированной стационарной дождевальной системы с дальнеструйными дождевальными аппаратами ДД-30, оборудованными навесными гидроавтоматическими затворами-пробками (рис. 5.32).

Программное устройство предусматривает автоматическое, полуавтоматическое и ручное управление задатчиком команд (командной и сливной задвижками), управление насосным агрегатом, контролирует давление и заданный режим работы.

Применение гидроавтоматических затворов на дождевальных системах позволяет рассредоточить ток воды и использовать трубопроводную сеть с меньшими диаметрами, значительно снизить удельную металлоемкость системы.

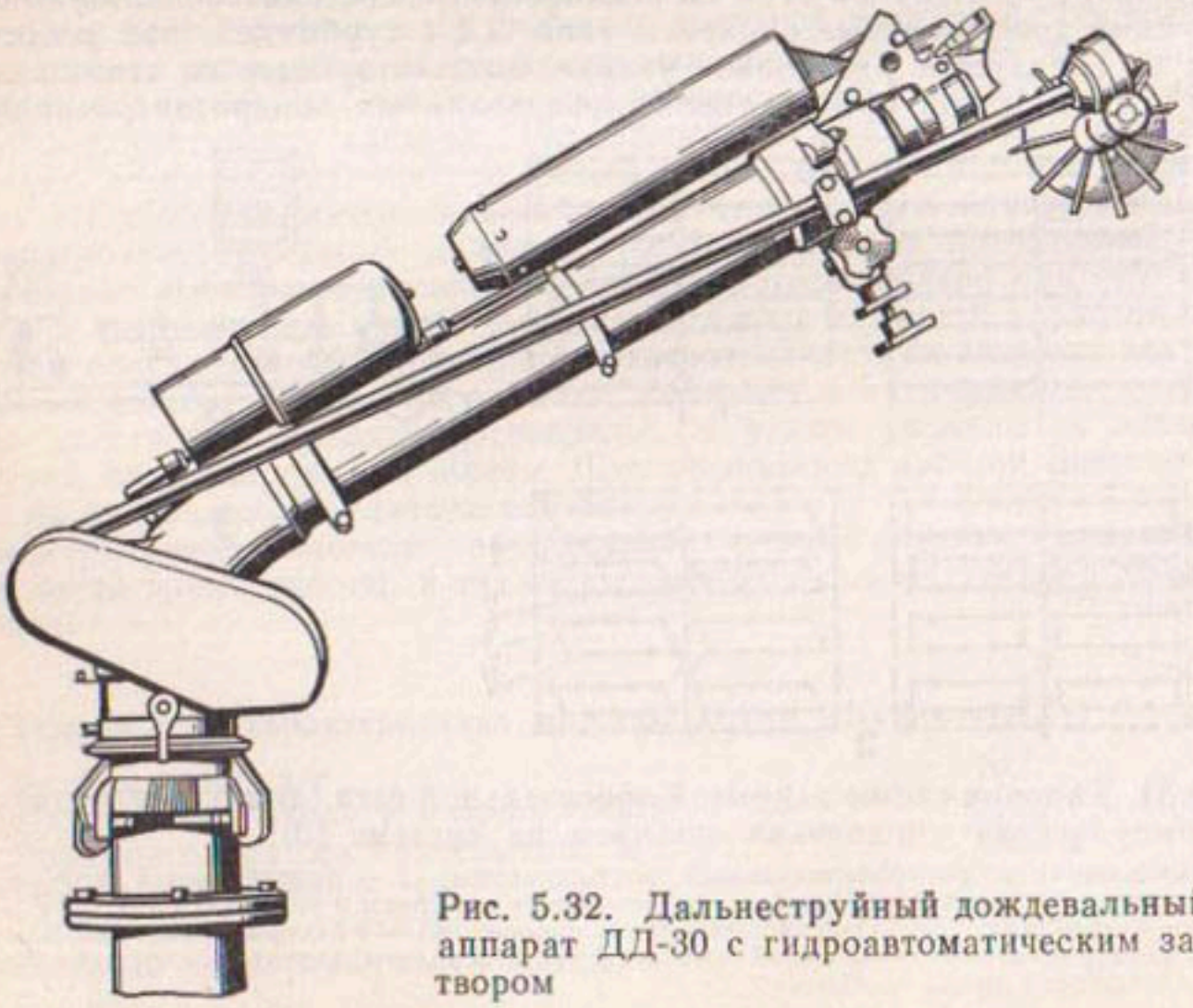


Рис. 5.32. Дальнеструйный дождевальный аппарат ДД-30 с гидроавтоматическим затвором

Стационарную автоматизированную дождевальную систему с гидроимпульсным управлением можно проектировать на блок-участках площадью до 150 га.

Оборудование для гидроимпульсного управления поливом можно использовать на сезонно-стационарных системах в составе дождевального комплекта, предназначенного для автоматизированного полива сельскохозяйственных культур от 30 до 400 м³/га на участках с уклоном до 0,2 м, при заборе воды из самотечно-напорной закрытой сети или передвижной насосной станцией. Комплект включает гидравлическое программное устройство, разборные трубопроводы типа РТШ-А, дальнеструйные дождевальные аппараты ДД-30, гидрозатворы, регуляторы давления, предохранительно-сбросное устройство и гидроподкормщик.

Распределительный трубопровод прокладывают по наибольшему уклону местности, а дождевальные крылья — вдоль горизонталей или под небольшим углом к ним.

Для исключения стока большие поливные нормы можно выдавать прерывисто, небольшими частями.

Комплект монтируют на участке на весь поливной сезон. После окончания поливного сезона его демонтируют и перевозят на место зимнего хранения.

(Техническая характеристика дождевального комплекта работа с насосной станцией)

Площадь полива, га	До 40
Расход воды, л/с	30
Давление перед дождевальным аппаратом, ПМа	0,6
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,31
Дождевальные аппараты:	ДД-30
диаметр сопла, мм	34
число на 1 га	1,68
схема расстановки	По треугольнику
Трубопроводная сеть:	
марка труб	РТШ-А
диаметр, мм	150
Удельная металлоемкость (с учетом подводящего трубопровода), кг/га	518
Обслуживающий персонал	Один человек на два комплекта

5.11. СИНХРОННОЕ ИМПУЛЬСНОЕ ДОЖДЕВАНИЕ

Это одно из прогрессивных технологических направлений в дождевании для получения максимального рассредоточения поливного тока. На протяжении всей вегетации растений вода на орошаемый участок подается в полном соответствии с ходом текущего водопотребления сельскохозяйственных культур, постоянно поддерживается на оптимальном уровне влажность активного слоя почвы и приземного слоя воздуха. Импульсные аппараты работают одновременно на всей площади в режиме непрерывно чередующихся пауз накопления воды в гидропневмоаккумуляторах и периодов ее выплеска под действием сжатого воздуха.

Синхронное импульсное дождевание применяют для полива многолетних насаждений, кормовых и других культур, прежде всего на крутых склонах и расчлененном рельефе, а также на маломощных почвах. Перспективные зоны развития систем синхронного импульсного дождевания — это в первую очередь предгорные районы Закавказья, Средней Азии, Северного Кавказа и Молдавии.

Технологические параметры системы синхронного импульсного дождевания приведены в таблице 5.19.

5.19. Технологические параметры системы синхронного импульсного дождевания

Показатели	Расчетная формула или метод установления	Пределы изменения для среднеструйных аппаратов
Верхний предел давления в гидроаккумуляторе p_{max}, Па	По рабочей характеристике насоса	$(4...10)10^5$
Геометрический объем гидроаккумулятора V_{hQ}, л	Конструктивно	20...100
Диаметр сопла d, см	»	1,4...2,6
Угол поворота за рабочий цикл θ, град	»	4...6
Нижний предел давления в гидроаккумуляторе p_{min}, Па	0,4...0,6	$(2...6)\ 10^5$
Объем выброса воды за рабочий цикл V_{ejc}, л	$\frac{V_{hQ}p_a}{p_{max}}\left[\left(\frac{p_{max}}{p_{min}}\right)^{0,9}-1\right]$	4...20
Радиус действия R, м	Экспериментально	25...40
Площадь полива при расстановке, га:		
по квадратной схеме	$10^{-4}\cdot 2R^2$	0,12...0,32
по треугольной схеме	$10^{-4}\cdot 2{,}6R^2$	0,16...0,41
Расход воды, подводимой к одному аппарату q, л/с		0,04...0,3
Продолжительность накопления τ_{dc}, с	V_{ejc}/q	30...300
Продолжительность выброса τ_{ejc}, с	$\frac{V_{ejc}}{\mu\cdot 0{,}785d\sqrt{g(p_{max}+p_{min})}}$	1...4
Продолжительность цикла τ_{cyc}, с	$\tau_{ac}+\tau_{ejc}$	30...300
Средняя круговая интенсивность ρ_m, мм/мин	$6\cdot 10^{-3}\ q$	0,0018...0,005
Число рабочих циклов за один оборот n_{cyc}	$360/\theta$	60...90
Продолжительность одного оборота τ_{rev}, мин	τ_{cyc}	30...750

Примечание. q — ордината гидромодуля, л/(с·га); μ — коэффициент расхода сопла

Система синхронного импульсного дождевания включает водозаборное сооружение, насосную станцию, линии связи, систему автоматизации управления поливом, оросительную сеть с импульсными дождевальными аппаратами (рис. 5.33).

Оросительные трубопроводы прокладывают параллельно горизонталям местности по ярусам с перепадом высот между ярусами не более 25 м.

Системы синхронного импульсного дождевания можно проектировать из отдельных блок-участков, в пределах которых осуществляется автономное управление режимом работы. Такой блок-участок обслуживает сезонно-стационарный комплект оборудования для синхронного импульсного дождевания КСИД-10А, включающий насосную станцию, трубопроводную сеть, импульсные дождевальные аппараты ДИ-15, генератор командных сигналов (импульсов снижения давления), датчик необходимости и интенсивности водоподачи, пульт управления, гидроподкормщик ГПД-50, контрольно-измерительное оборудование, систему аварийной защиты.

Несколько блок-участков могут работать от одной насосной станции.

Комплект можно использовать на участках со сложным микрорельефом, с уклонами местности до 0,3 и перепадом геодезических высот до 25 м.

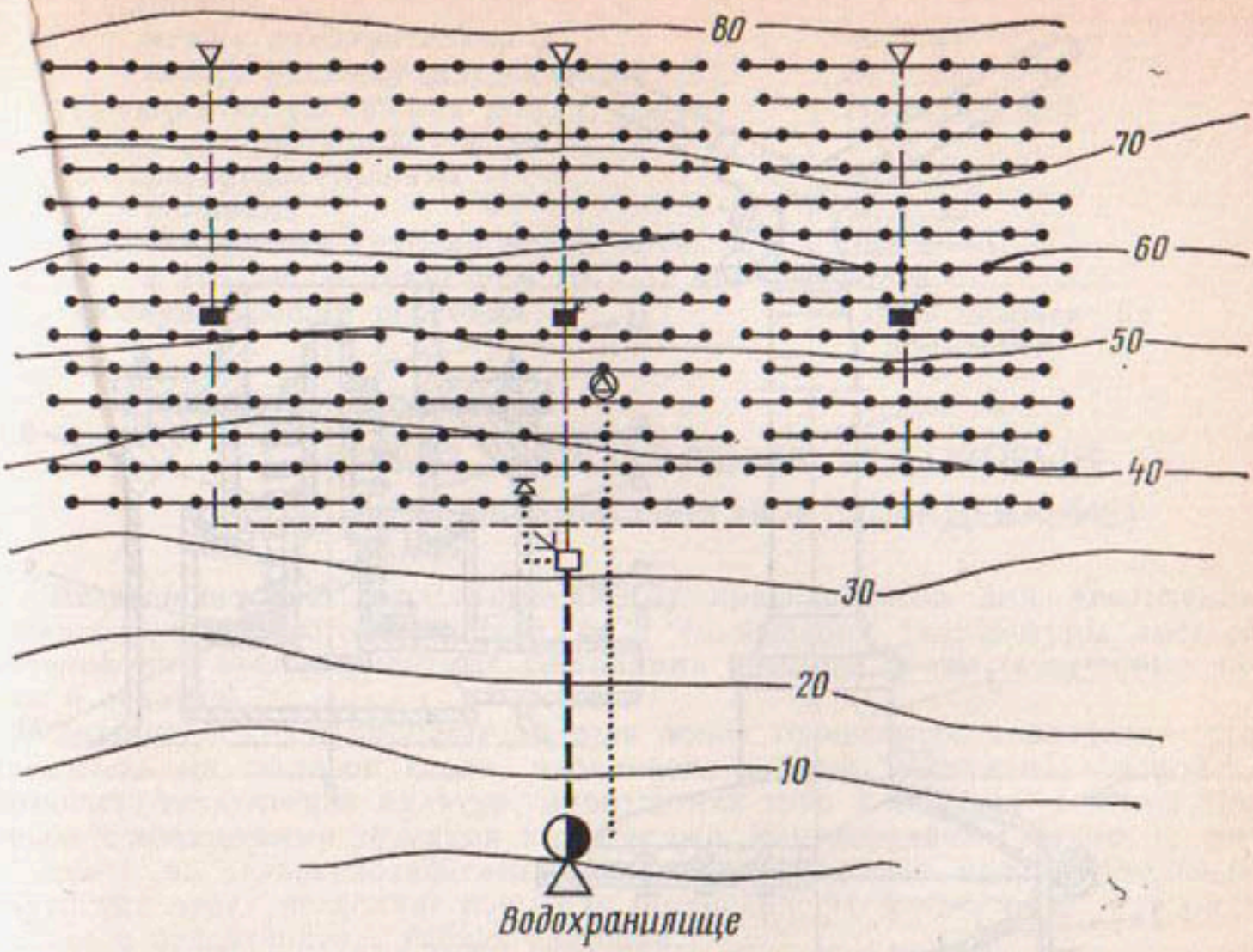


Рис. 5.33. Принципиальная схема системы синхронного импульсного дождевания:

1 — водозаборное сооружение; *2* — насосная станция; *3* — магистральный трубопровод; *4* — распределительный трубопровод; *5* — поливной трубопровод; *6* — импульсный дождеватель; *7* — датчик заполнения системы; *8* — управляющие линии; *9* — вантуз; *10* — генератор командных сигналов с дождевателем; *11* — усилитель командных сигналов; *12* — датчик необходимости полива

При перепадах высот между дождевальными аппаратами более 25 м на трубопроводной сети устанавливают усилители командных сигналов.

Импульсный дождевальный аппарат ДИ-15 (рис. 5.34) состоит из пневмогидроаккумулятора, гидроуправляемого запорного органа, дождевальной насадки. Пневмогидроаккумулятор представляет собой водовоздушный бак, разделенный перфорированным сводом и эластичной мембраной на две части. Нижняя часть предварительно заполняется сжатым воздухом, в верхнюю поступает вода.

По сигналу от датчика необходимости водоподачи включается насосный агрегат, который подает воду ко всем импульсным аппаратам комплекта. Вода через запорные органы импульсных дождевальных аппаратов поступает в верхние полости гидроаккумуляторов и сжимает находящийся под эластичной мембраной воздух. После наполнения всех аппаратов водой до расчетного объема генератор командных сигналов на короткое время соединяет трубопроводную сеть с атмосферой. Давление в трубопроводах резко понижается. При этом дождевальные аппараты срабатывают одновременно на всей орошаемой площади. После выплеска дождевальные насадки поворачиваются на угол 6°, и рабочий цикл накопление — выплеск повторяется.

Исходными данными для расчета технологических параметров дождевальных аппаратов, работающих по сигналам понижения давления в сети, являются показатели, характеризующие массив орошения, учитывающие требования режимов орошения возделываемых культур, конструктивные

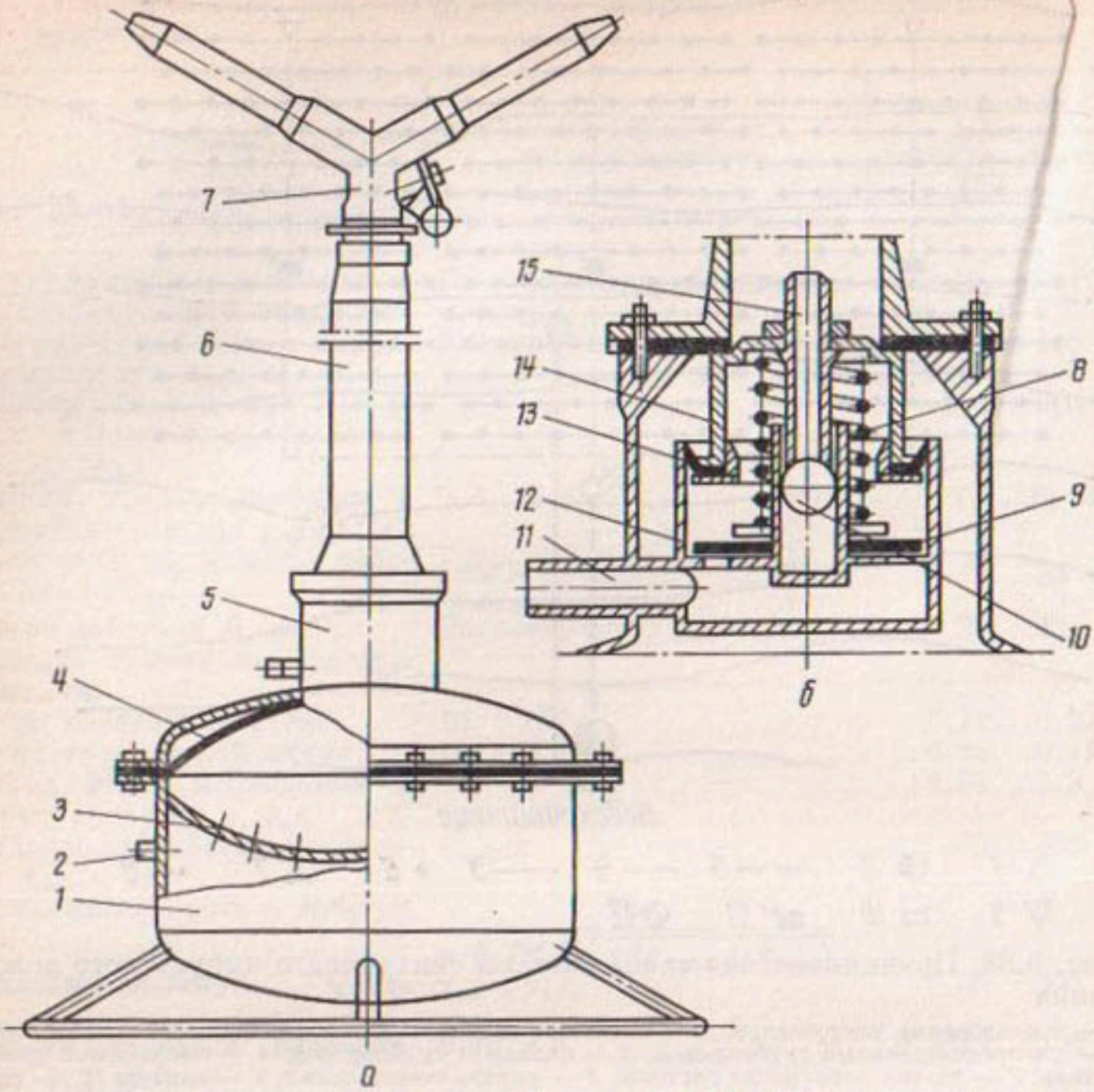


Рис. 5.34. Импульсный дождевальный аппарат ДИ-15 (*а*) и его гидроуправляемый запорный орган (*б*):

1 — пневмогидроаккумулятор; *2* — штуцер для закачивания воздуха; *3* — перфорированный ограничительный свод; *4* — эластичная мембрана; *5* — гидроуправляемый запорный орган; *6* — стояк; *7* — дождевальная насадка; *8* — пружина; *9* — обратный клапан; *10* — шаровой клапан; *11* — штуцер; *12* — центральная камера; *13* — манжета; *14* — поршень; *15* — сбросная втулка.

и расчетные параметры импульсного аппарата, условия, влияющие на формирование и распространение сигналов понижения давления по сети.

Расчет элементов техники полива и технологических параметров синхронного импульсного дождевания сводится к установлению потребного числа дождевальных аппаратов выбранной конструкции на 1 га орошаемой площади и продолжительности паузы накопления, обеспечивающих требуемую удельную водоподачу.

Техническая характеристика комплекта КСИД-10А

Площадь полива, га	До 10,0
Средний расход, л/с	10,0
Рабочее давление импульсных дождевателей, МПа	0,55...0,30
Максимально допустимое давление на входе в импульсный дождеватель, МПа	1,25
Число дождевателей	60
в том числе импульсных	59
Схема расстановки дождевателей	По треугольнику

Расстояние, м:	
между дождевателями	40...44
между линиями дождевателей	34...38
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	Не более 0,02
Диаметр трубопроводов, мм:	
распределительных	50...100
поливных	20...32
Протяженность трубопроводов, м/га	259,2
в том числе диаметром 20...32 мм	228,8
Обслуживающий персонал	Один человек на 4 комплекта

5.12. АЭРОЗОЛЬНОЕ УВЛАЖНЕНИЕ (МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ ДОЖДЕВАНИЕ)

Мелкодисперсное дождевание (МДД) предназначено для увеличения влажности приземного слоя воздуха и уменьшения температуры листьев растений при неблагоприятных состояниях внешней среды (воздушные засухи и суховеи).

Системы МДД применимы во всех зонах орошаемого земледелия для освежительных поливов садов, ягодников, чайных плантаций, овощных, кормовых, технических культур, многолетних трав и пастбищ, а также для борьбы с воздушными засухами и суховеями. Регулирование микро- и фитоклимата на сельскохозяйственных полях в условиях продолжительных воздушных засух позволяет повысить интенсивность фотосинтеза, а в ряде случаев и предотвратить гибель растений.

При мелкодисперсном дождевании вода диспергируется на капли размером 400. . .600 ммк, которые хорошо удерживаются на листовой поверхности растений. Разовая норма увлажнения должна находиться в пределах 0,8. . .1 м³/га, периодичность подачи воды в термически напряженное время суток — через 1. . .2 ч. Наибольший эффект от мелкодисперсного дождевания достигается при частом или непрерывном распределении водного аэрозоля над орошаемой площадью.

Основные способы диспергирования воды — гидродинамический, гидромеханический и пневмогидродинамический. Для этого используют форсунки различных конструкций, которыми оснащают машины или установки для мелкодисперсного дождевания (рис. 5.35).

5.20. Стационарные системы аэрозольного увлажнения мелкодисперсного дождевания (МДД)

Показатели	Система МДД, разработанная ВНПО «Радуга»	Система МДД, разработанная УкрНИИОС
Тип основного рабочего органа	Дождеватель	Насадка
Схема расстановки рабочих органов, м	38×37	4×2,5
Число рабочих органов на 1 га	5...7	1000
Давление воды у рабочего органа, МПа	0,3...0,4	0,15...0,4
Расход распылителя, л/с	0,08...0,11	0,008
Интенсивность водоподачи, л/с на 1 га	0,48...0,66	1,0
Площадь, обслуживаемая одним оператором, га	100	50
Удельная протяженность трубопровода, м/га	300	2213
Средний диаметр трубопроводной сети, мм	42	29

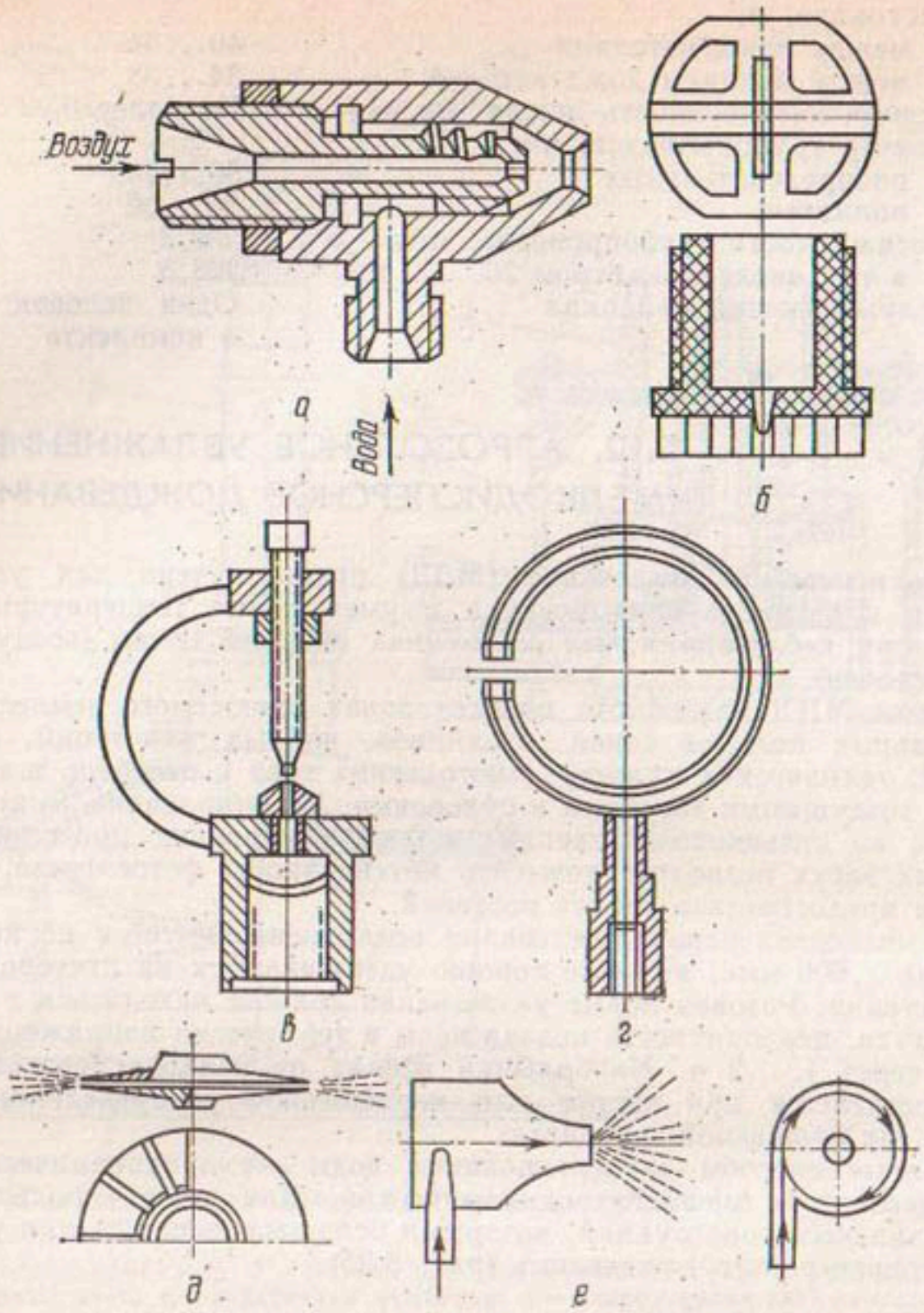


Рис. 5.35. Схемы форсунок различных конструкций:

а — пневматический распылитель ОП-1; *б* — ороситель ПФП-180; *в* — распылитель с регулируемым дефлектором; *г* — распылитель соударяющихся струй (АФИ); *д* — вращающийся дисковый распылитель; *е* — центробежная форсунка с вихревой камерой

Краткие технические данные имеющихся технических средств для МДД приведены в таблице 5.20.

На стационарных системах для надкронового мелкодисперсного дождевания в садах применяют оборудование, включающее мачту высотой 9. . .12 м и поворотную штангу с диспергаторами (форсунками). Штанга самоустанавливается перпендикулярно направлению ветра (рис. 5.36). Оборудование работает по принципу гидродинамического диспергирования воды. При скорости ветра 3. . .6 м/с средняя интенсивность дождя составляет не менее 0,06 мм/ч.

Стационарная автоматизированная система МДД конструкции УкрНИИОС предназначена для одновременного проведения надкронового и подкронового мелкодисперсного дождевания на участках с уклоном до 0,5 при скорости ветра до 5 м/с. Она включает водозаборный узел, насосную станцию, устройство для очистки воды и внесения удобрений, сеть трубо-

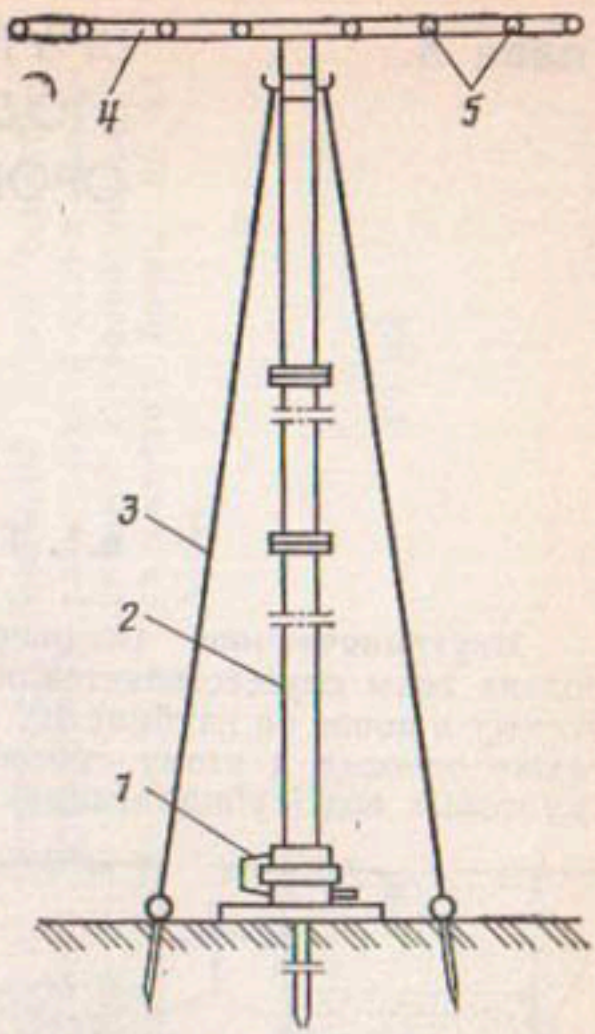


Рис. 5.36. Схема мелкодисперсной стационарной установки:
1 — основание стойки; *2* — стойка; *3* — растяжка; *4* — штанга; *5* — форсунки

проводов, водовыпуски и блок автоматизированного управления поливом. Элементы системы выполнены из полимерных материалов. Система состоит из блоков одновременного полива площадью по 6 га. Система автоматизированного управления обеспечивает прерывистый полив в режиме «полив малой продолжительности — длительная пауза» (например, 5 и 40 мин).

Газодинамическая установка МДД-ТОУ-7 конструкции ВНИИГиМ создана на базе емкости машины РЖТ-3 с газотурбинным двигателем и сопловым аппаратом с водяным коллектором. Жидкость диспергируется скоростным газовоздушным потоком. Установка работает следующим образом: атмосферный воздух засасывается в компрессор, сжимается там и поступает в камеру сгорания, куда подается топливо. Разогретый до температуры 1100 °С воздух с продуктами сгорания направляется в двухступенчатую газовую турбину, служащую приводом компрессора, а затем поступает в суживающееся сопло с температурой 400. . .450 °С. Здесь газовоздушная смесь циркулирует со скоростью порядка 400. . .450 м/с, расширяется, создавая давление, равное атмосферному. На выходе из сопла в струю газовоздушной смеси подается вода из перфорированных по длине патрубков, соединенных с водораспределительным коллектором гибкими шлангами, которые укреплены на шарнирах, позволяющих сводить и разводить их по отношению к оси струи. Из сопла смесь воды и воздуха выходит в виде турбулентной двухфазной струи и распределяется по посеву. Через некоторое время скорость струи уменьшается, капли воды выпадают из потока и осаждаются на листья растений.

Оборудование МДД к агрегату ДДА-100МА включает центробежный насос ЗК-6, всасывающую и напорную линии трубопроводов, подвесной полиэтиленовый шланг диаметром 66 мм, на котором установлены 175 центробежных форсунок с диаметрами сопл 3,5 мм.

Глава 6. ВНУТРИПОЧВЕННОЕ (ПОДПОЧВЕННОЕ) ОРОШЕНИЕ (ВПО)

6.1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВПО

Внутрипочвенное (подпочвенное) орошение — способ, при котором подача воды осуществляется из различного рода увлажнителей, прокладываемых в почве на глубине 40. . .60 см от поверхности земли. А. Н. Костяков также относил к этому способу орошения искусственное поднятие уровня грунтовых вод (субирригация). ВПО устраивают на почвах с хорошо выра-

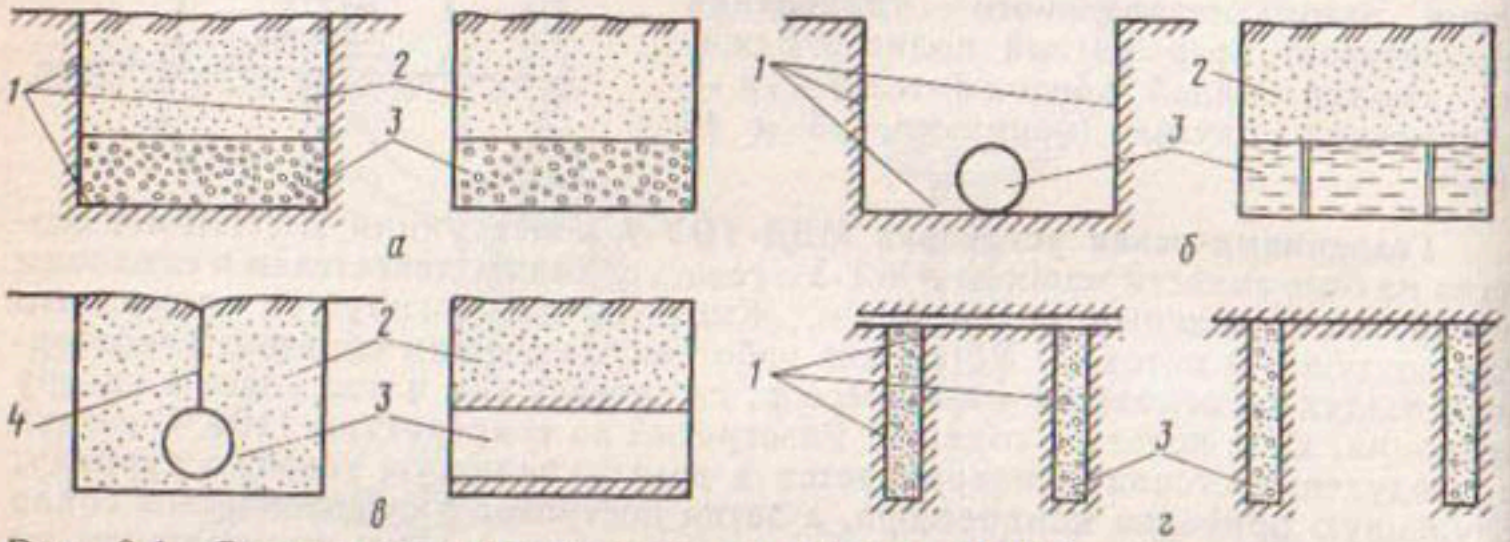


Рис. 6.1. Схемы внутрипочвенного орошения (ВПО):
а — упрощенная; *б* — дренажная; *в* — кротовая; *г* — очагово-дренажная; *1* — дно и стенки траншеи; *2* — почва; *3* — увлажнители; *4* — щель от ножа кротователя

женными капиллярными свойствами и маловодопроницаемой подпочве. Оно неприменимо на крупнозернистых, а также засоленных почвах (рис. 6.1, табл. 6.1).

Преимущества ВПО: высокий КЗИ, достигающий 0,98. . .0,99, снижение водопотребления на 15. . .40 %, увеличение урожайности на 20. . .40 %.

Недостатки ВПО: недоувлажнение верхнего 10-сантиметрового слоя почвы и высокие капитальные затраты при строительстве систем с полиэтиленовыми увлажнителями.

По характеру поступления воды в почву ВПО подразделяется на *напорное*, *безнапорное* и *вакуумное*. При напорном влага в почву поступает при

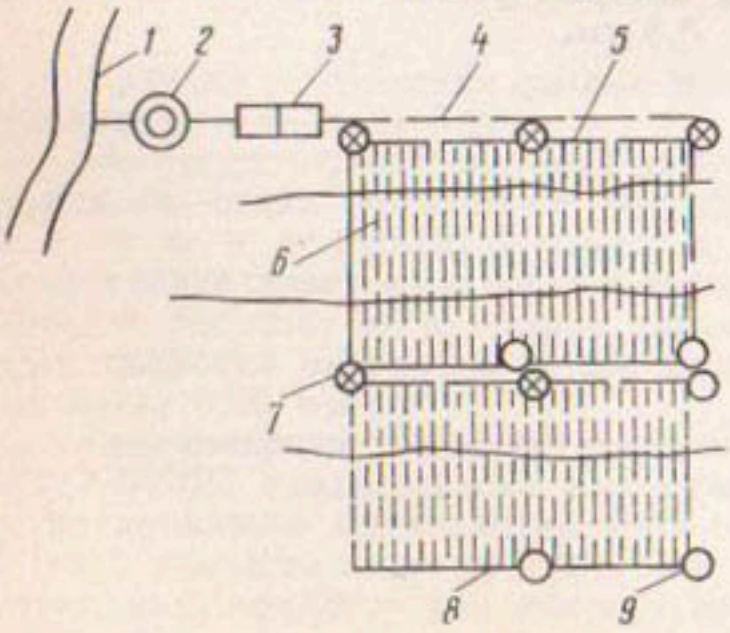


Рис. 6.2. Принципиальная схема ВПО:
1 — водоисточник; *2* — насосная станция; *3* — очистные сооружения; *4* — распределительные трубопроводы; *5* — оросительные трубопроводы; *6* — внутрипочвенные увлажнители; *7* — колодцы-переключатели; *8* — водоотводные аэрационные трубопроводы; *9* — колодцы-стояки

6.1. Технологические схемы ВПО

Краткое описание схемы	Применимость	Преимущества	Недостатки
Регулирование уровня грунтовых вод путем шлюзования или подачи воды в дрены	Высокая проницаемость почвы (k=1,2...1,7 м/сут). При k=0,5...1,2 м/сут возможно шлюзование для экстенсивного, неуправляемого оперативного увлажнения почвы	Хорошая аэрация почвы, поддержание ее комковатой структуры, отсутствие послеполивной корки, улучшение жизнедеятельности почвенной микрофлоры	Для понижения УГВ требуется 3...12 сут. Недостаточно увлажнение верхнего слоя почвы
Машинный способ ВПО. Подача воды под сошники при вспашке, а также гидробурами и др.	Легкие почвы; преимущественно при орошении сточными водами культур рядового сева	Экономия поливной воды, не требуется тщательная планировка поля	—
Трубчатые системы ВПО			
1. Упрощенная. В качестве увлажнителей в траншее используют фашины, шлак, керамзит, щебень (слой 15...20 см). Для предохранения от заиления сверху укладывают полиэтиленовую пленку или рубероид. Воду в увлажнители подают из оросительного трубопровода (рис. 6.1, *а*)	На всех типах почв в садах и огородах. При повышенной фильтрации устраивают экраны под увлажнителями	Простота и доступность. Не требуется дефицитных материалов	Большой объем земляных работ, малая длина увлажнителей и неравномерность увлажнения почвы по их длине
2. Дренажная. В качестве увлажнителей используют дренажные трубки диаметром 35..200 мм. Подача воды в увлажнитель — из оросительного трубопровода, а в почву — через стыки трубок (рис. 6.1, *б*)	То же	То же	То же

Продолжение

Краткое описание схемы	Применимость	Преимущества	Недостатки
3. Кротовая (КВПО). Нарезают кротовины специальными кротователями диаметром 8...15 см, стенки кротовин закрепляют различными полимерами (рис. 6.1, *в*)	Связные минеральные грунты	Невысокая стоимость системы	Потребность щебня из расчета 5...8 м³/га, необходимость периодической нарезки кротовин
4. Очагово-дренажная вертикальная. Скважины или колодцы с дренажной засыпкой соединены между собой оросительными трубопроводами. Увлажнение почвы имеет очаговый характер (рис. 6.1, *г*)	Полив садов на крутых склонах	Возможность полива на уклонах до 0,1	Заиление засыпки. Трудоемкость строительства, большие затраты ручного труда
5. Стационарные системы ВПО с полиэтиленовыми увлажнителями диаметром 20...50 мм с точечной (1...2 мм) или щелевой (1...2 мм шириной и 20...30 мм длиной) перфорацией. Длина 200...250 м	На всех типах почв	Высокая механизация процесса укладки увлажнителей, долговечность. Нормированная подача воды в почву. Орошение сточными водами вблизи городов	Дефицит полиэтиленовых труб. Большие затраты ручного труда

напоре большем, чем глубина увлажнителей (0,6. . .2 м), безнапорном — от 0,1 до 0,5 м и вакуумном — под действием сосущей силы почвы.

Проектировать системы ВПО следует на участках со спокойным рельефом местности; по длине увлажнителей допускаются обратные уклоны с превышением на 5. . .10 см. Проектирование ведут по продольной схеме, при которой увлажнители располагают по наибольшему уклону (рис. 6.2). Оросители устраивают с уклоном, обеспечивающим равномерную раздачу воды по его длине в увлажнители. При жестком сопряжении увлажнителей с оросителями последние закладывают с уклоном до 0,005, в случае сопряжения через пористую засыпку (кротово-внутрипочвенное орошение) уклон оросителя должен быть не более 0,001.

6.2. СИСТЕМЫ ВПО

Основные элементы систем ВПО: водозаборные сооружения, оросительная сеть, линии связи, системы автоматизации, дороги.

Источником орошения могут быть реки, озера, водохранилища, каналы, воды местного поверхностного стока, предварительно очищенные комму-

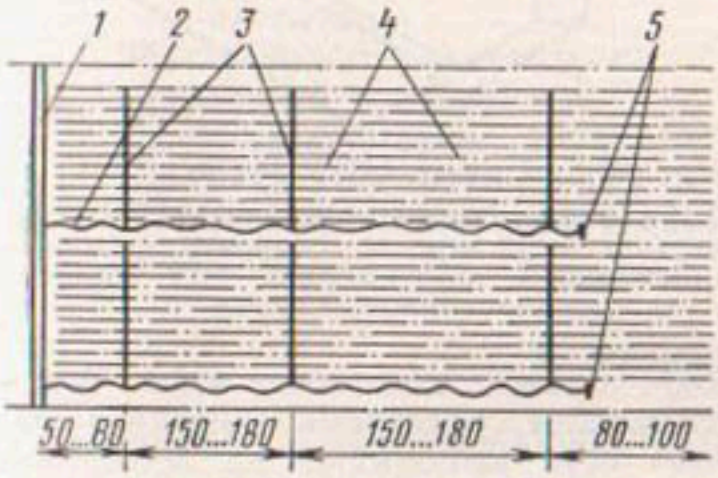


Рис. 6.3. Схема участка ВПО по открытой сети:

1 — участковый канал; *2* — временный ороситель; *3* — выводные борозды; *4* — увлажнители; *5* — щиты (размеры в м)

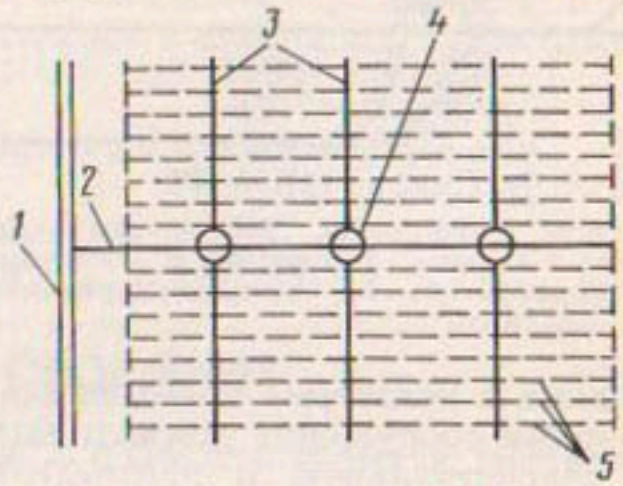


Рис. 6.4. Схема участка ВПО по закрытой сети:

1 — участковый трубопровод; *2* — распределительный трубопровод; *3* — оросительный трубопровод; *4* — колодец; *5* — увлажнители

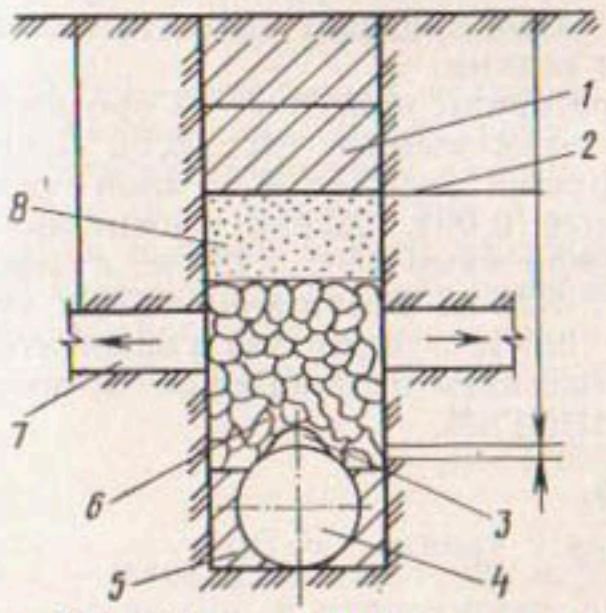


Рис. 6.5. Поперечный разрез траншеи с оросительным трубопроводом:

1 — почвенная засыпка; *2* — полиэтиленовая пленка; *3* — колпачок водовыпуска; *4* — оросительный трубопровод; *5* — забивка пазух глиной; *6* — щебеночная засыпка; *7* — кротовина; *8* — дресва

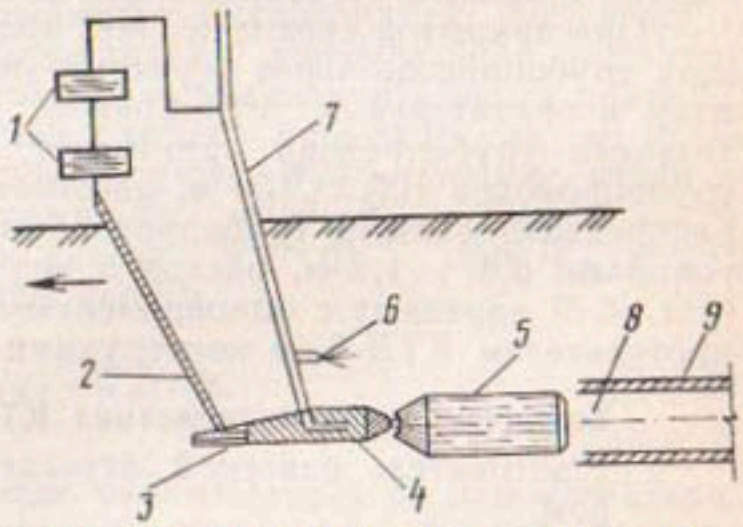


Рис. 6.6. Рабочий орган кротователя КТД-0,45:

1 — шарниры; *2* — нож кротователя; *3* — дренер; *4* — форсунка для подачи раствора крепителя на стенки кротовин; *5* — уширитель; *6* — форсунка для подачи раствора в щель от ножа кротователя; *7* — трубка для подачи крепителя к форсункам; *8* — кротовина; *9* — закрепленная полимером стенка кротовины

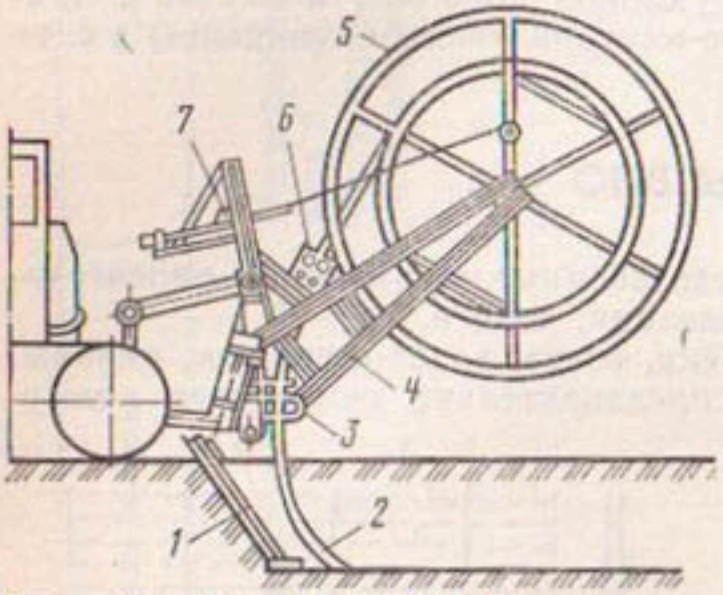


Рис. 6.7. Схема НБУ-ПТ:

1 — нож с дренером; *2* — направляющая труба; *3* — рама; *4* — ферма; *5* — катушка; *6* — перфоратор; *7* — тросово-гидравлический механизм

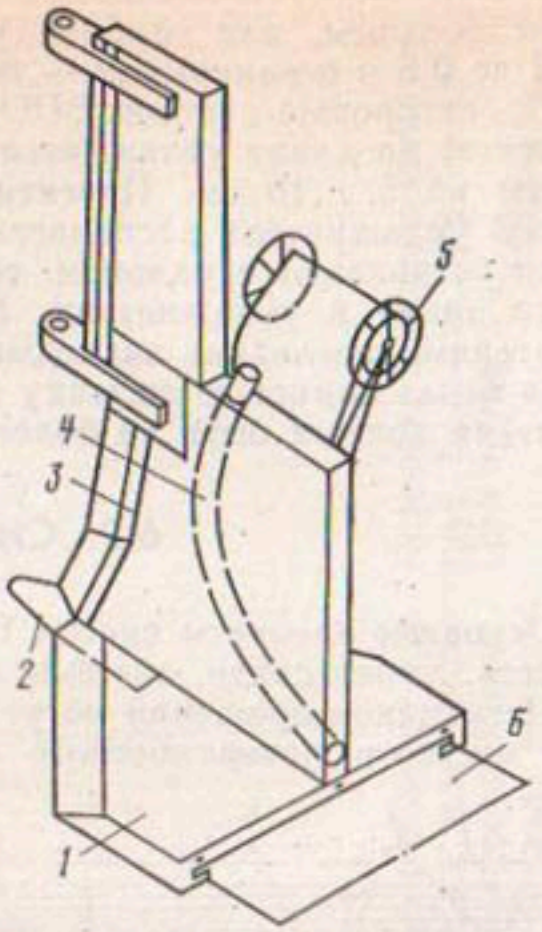


Рис. 6,8. Схема НБУ-ПТЭ:

1 — горизонтальный нож; *2* — дренер; *3* — вертикальный нож; *4* — вертикальная направляющая; *5* — катушка для пленки; *6* — водонепроницаемый экран

нальные и некоторые промышленные стоки, а также подземные воды. Водозаборные сооружения должны быть оборудованы средствами очистки воды.

Магистральную и распределительную сеть выполняют из асбестоцементных или полиэтиленовых труб, увлажнительную — из полиэтиленовых труб, закрепленных или обычных кротовин.

Систему кротового орошения устраивают по открытой или закрытой схеме. В первом случае (рис. 6.3) вода из участкового канала подается во временный оросительный, выводные борозды, из которых распределяется по кротовым увлажнителям. Подпор воды во временном оросителе осуществляется с помощью щитов. Обычно по такой схеме проводят один-два полива. Можно поливать неосветленными сточными водами.

При закрытой сети (рис. 6.4) вода в кротовины поступает из оросительного трубопровода через пористую (щебеночную) засыпку (рис. 6.5). Подача воды в оросительный трубопровод регулируется задвижкой. Уклон оросительного трубопровода принимают не более 0,001. Длина оросительных трубопроводов 100. . .150 м, расстояние между ними 150. . .180 м, а между распределительными трубопроводами 200. . .300 м. Расстояние между кротовинами 0,8. . .1,2 м, расход в них 0,2. . .0,5 л/с. Кротовые увлажнители (рис. 6.6) нарезают с одновременным закреплением их раствором полимера кротователем КТД-0,45 конструкции ЮжНИИГиМ.

Техническая характеристика КТД-0,45

Кротователь навесной агрегатируется с трактором	К-701
Число кротовин за один проход агрегата	2
Глубина кротовин, мм	420...600
Расстояние между дренами, мм:	
при среднем рабочем органе	400
при двух боковых рабочих органах	1300
Влажность (%) грунта при нарезке кротовин:	
средним рабочим органом	21...31
двумя боковыми рабочимч органами	15...21

Емкость бака для раствора крепителя, л	1200
Обслуживающий персонал	Два человека
Сменная производительность (8 ч) зависит от количества и типа рабочих органов, га	2...5

Закладку полиэтиленовых увлажнителей выполняют бестраншейным способом с помощью НБУ-ПТ или НБУ-ПТЭ конструкции ВНПО «Радуга» (рис. 6.7, 6.8).

Техническая характеристика машин для укладки полиэтиленовых увлажнителей с экраном и без него

	НБУ-ПТЭ	НБУ-ПТ
Тип	Навесной	
Рабочая скорость, м/с (км/ч)	До 0,83 (3)	
Производительность за 1 ч эксплуатационного времени, м	600	900
Обслуживающий персонал:		
тракторист	1	1
оператор	1	1
Масса трубоукладчика, кг	1100	930
Дорожный просвет, мм	350	380
Глубина закладки увлажнителей, мм	До 600	До 600
Диаметр увлажнителя, мм	20...40	20...40
Ширина полиэтиленового экрана, мм	700	—
Толщина » » , мм	1,8...2,2	—

6.3. РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ

Основные элементы режима орошения — поливная норма и продолжительность поливного периода.

Единичная поливная норма — количество воды, необходимое для создания в почвогрунте контура увлажнения расчетных параметров в пределах единицы длины увлажнения,

$$m = 0{,}785\sigma h B (W_{FC} - W_0), \qquad (6.1)$$

где 0,785 — численная величина, тражающая эллипсоидную форму контура увлажнения почвогрунта; σ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения влаги в расчетном слое почвогрунта перед поливом и после него, равный 0,8; h — расчетная глубина промачивания, м; B — средняя ширина полосы увлажнения почвогрунта; W_{FC} — запасы влаги в 1 м³ почвогрунта при наименьшей влагоемкости, м³/м³; W_0 — запасы влаги в 1 м³ почвогрунта при предполивной влажности, $W_0 = (0{,}7 \ldots 0{,}8) W_{FC}$ м³/м³.

Поливную норму определяют по зависимости

$$m = 0{,}65 h B (W_{FC} - W_0) l/n, \qquad (6.2)$$

где l — длина увлажнителя, м; n — число увлажнителей на одном гектаре, рассчитываемое в зависимости от длины увлажнителя и средней ширины полосы увлажнения B, то есть $h = 10^4/(lB)$. Значения величин l, h и B даны в таблице 6.2.

Продолжительность полива

$$t = h_w \Big/ \sum_1^i v_i, \qquad (6.3)$$

где h_w — условный слой воды, необходимый для насыщения элементарной

6.2. Рекомендуемые контуры увлажнения

Параметры	Полиэтиленовые увлажнители				Кротовые увлажнители			
	Механический состав почв по Н. А. Качинскому							
	суглинки			глины	суглинки			глины
	легкие	средние	тяжелые		легкие	средние	тяжелые	
Ширина контура увлажнителя B, м	0,8	1,0	1,1	1,3	0,8	0,9	1,0	1,1
Глубина контура увлажнения h, м	1,5	1,4	1,3	1,2	1,5	1,4	1,3	1,3
Расстояние между увлажнителями l, м	1,0	1,2	1,3	1,5	0,8	0,9	1,1	1,2

Примечания: 1. При использовании ленточного экрана под увлажнителями расчетные параметры зоны увлажнения изменяются: ширина контура и расстояние между увлажнителями увеличиваются на 15...20%, глубина контура уменьшается на 20%. 2. Для широкорядных культур (пальметтный сад, виноградники и др.) необходимо предусматривать по одному-два увлажнителя на один ряд. Сточными водами допускается поливать только полевые культуры.

почвенной колонки расчетной глубины, м; $\sum_{1}^{i} v_i$ — средняя скорость впитывания воды почвогрунтом (за период от 1 до 12 ч), определяется по кривой впитывания, построенной по данным водно-физических исследований почвогрунта при напорах воды до 1 м, м/ч.

Условный слой воды с учетом того, что объем почвогрунта в элементарной колонке расчетной глубины равен (1 м²h) м³, определяется по зависимости

$$h_w = \varphi h (W_{FC} - W_0), \tag{6.4}$$

где φ — коэффициент, значение которого зависит от механического состава почвогрунта, при конструкции увлажнителей без подстилающего экрана $\varphi = 1,1...1,15$ (при наличии экрана значение коэффициента увеличивается на 10 %).

Число тактов водоподачи, обеспечивающее проведение одного полива расчетной нормой, определяют по зависимости

$$n_T = 24t/d_{mw}, \tag{6.5}$$

где d_{mw} — среднесуточный дефицит водопотребления.

Площадь, поливаемая за один такт (га), равна частному от деления площади, требующей одновременного полива, на число тактов водоподачи

$$a_T = A_T/n_T, \tag{6.6}$$

где A_T — площадь поливного участка, требующая полива за один прием, га.

Расход воды (л/с), подаваемой в увлажнитель, определяют по зависимости

$$Q_{nt} = \frac{kmB}{k_2 t \cdot 3,6} l, \tag{6.7}$$

где k — коэффициент, учитывающий потери воды, равный 1,05; B — средняя ширина полосы увлажнения для одного увлажнителя, м; k_2 — коэффициент, учитывающий неравномерность пространственного перераспределения влаги, принимается равным 1,2. . .1,3 для суглинистых почв и 1.4 — для глинистых.

Расчетную ординату гидромодуля [л/(с·га)] определяют по укомплектованному графику полива по формуле

$$q = q_t a_T / A, \tag{6.8}$$

где q_t — расход воды на 1 га одновременного полива, вычисляемый по формуле

$$q_t = Q_L \frac{100}{B}, \tag{6.9}$$

здесь Q_L — расход воды, подаваемой в увлажнитель на 100 м его длины, л/с; $100/B$ — число увлажнителей на 1 га при расчете на квадратную форму гектара (100×100 м); A — общая площадь орошаемого севооборотного участка, га.

6.4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

Гидравлический расчет магистральных и распределительных трубопроводов выполняют по общепринятой методике при условии обеспечения подачи воды в самый невыгодно расположенный распределитель.

Трубчатые оросители следует рассчитывать на равномерную по длине раздачу.

6.3. Длина полиэтиленовых увлажнителей в зависимости от уклона местности

Уклон	Длина увлажнителя, м	Разность геодезических отметок в начале и конце увлажнителя, см	Расход в голове увлажнителя, л/с
0,001	200...250	20...25	0,20...0,25
0,002	200...250	40...50	0,20...0,25
0,004	200...250	80...100	0,20
0,006	120...160	72...96	0,10...0,15
0,008	80...160	64...96	0,06...0,10
0,010	60...90	60...90	0,05...0,07

6.4. Длина кротового оросителя в зависимости от перепада местности

Длина увлажнителя, м	Разность геодезических отметок в начале и конце увлажнителя, см	Расход в голове увлажнителя, л/с
200...220	20...22	0,45...0,50
200...220	40...44	0,40...0,45
200...220	80...88	0,40...0,45
150...190	90...114	0,35...0,40
110...140	88...112	0,25...0,35
80...100	80...110	0,15...0,25

Гидравлическим расчетом определяют диаметр, длину и уклон оросителя, которые обеспечат расчетный пьезометрический напор в голове увлажнителя с точечной перфорацией не более 0,8. . .1,5 м, в голове увлажнителя с щелевой перфорацией — не более 0,5. . .0,8 м. Для обеспечения равномерности раздачи воды в увлажнители ороситель по всей его длине рекомендуется закладывать в почву с уклоном, соответствующим пьезометрическому. Пьезометрический напор в голове оросительного трубопровода для увлажнителей с точечной перфорацией не должен превышать 2 м, а в конце оросителя — 0,3. . .1 м, в голове оросительного трубопровода для увлажнителей с щелевой перфорацией — 0,8. . .1,2 м. Разность напоров в оросительном и увлажнительном трубопроводах не должна превышать 30 % напора в их голове.

При гидравлическом расчете оросительного трубопровода с пористой засыпкой пьезометрический напор в голове оросителя не должен быть больше 1,35 м, а в конце — 0,85 м. Расчет кротовых увлажнителей не проводят, так как в процессе эксплуатации поперечное сечение кротовин изменяется. Длину увлажнителей принимают по конструктивным параметрам в зависимости от уклона местности (табл. 6.3, 6.4).

Глава 7. КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ

7.1. СИСТЕМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Капельное орошение — один из видов локального микроорошения, при котором оросительная вода через специальные микроводовыпуски (капельницы) подается малыми нормами в корнеобитаемую зону растений.

При капельном орошении создается возможность непрерывного снабжения растений водой и элементами питания. Дозированная подача воды в течение всего вегетационного периода в соответствии с водопотреблением орошаемой культуры позволяет создать оптимальный режим влажности в корнеобитаемом слое почвы и увеличить урожайность сельскохозяйственных культур.

Основное достоинство капельного орошения — значительная экономия оросительной воды при локальном увлажнении почвы. С помощью капельного орошения можно поливать крутые склоны, подавать вместе с оросительной водой удобрения и ядохимикаты. По сравнению с дождеванием меньше энергозатраты, отпадает необходимость в планировке земель.

Недостатки капельного орошения: засорение и зарастание отверстий микроводовыпусков, неравномерное распределение воды микроводовыпусками, а также возможность повреждения грызунами пластмассовых трубопроводов.

Капельное орошение рекомендуется применять в районах с ограниченными водными ресурсами, на землях со сложным рельефом (горные, предгорные), где затруднено или невозможно применение другой техники полива, на легких незасоленных почвах, при малой минерализации оросительной воды. Перспективные районы развития капельного орошения — Средняя Азия, Закавказье, юг Украины, Молдавия, прибрежные районы Каспийского и Черного морей.

Устройство сети капельного орошения требует сравнительно высоких затрат. Экономически целесообразно применять капельное орошение в основном для полива высокодоходных многолетних культур (плодовые, виноградники, ягодники и другие). Системы капельного орошения преимущественно стационарные, стоимость их составляет 2,5. . .8,5 тыс. на 1 га.

Системы капельного орошения подразделяются по типу капельниц: с лабиринтными и спиральными каналами гашения напора; с поплавковым регулятором расхода; с мембранным компенсатором, обеспечивающим постоянный расход при изменении давления в сети от 0,05 до 0,4 МПа.

Наиболее универсальны капельницы с мембранным компенсатором давления, которые применяют при орошении культур на склоновых землях. Поплавковые капельницы применяют в основном при использовании мутной воды. Разработана мелкоструйчатая система локального микроорошения, где равномерность раздачи по длине поливного трубопровода достигается за счет постоянного напора в специальных подвесных емкостях с калиброванными отверстиями. Водовыпускные отверстия имеют диаметр, позволяющий снизить требования к очистке воды. Система устойчиво работает на уклонах 0,05. . .0,3 при расположении поливных трубопроводов по преобладающему уклону.

На легких почвах предпочтение отдают микронасадкам-распылителям для мелкодисперсного орошения с радиусом действия 1. . .4 м.

7.1. Техническая характеристика капельниц

Наименование капельниц	Техническое решение по гашению напора и стабилизации расхода	Режим истечения		Рабочий расход, л/ч	Рабочее давление, МПа	Материал капельниц	Масса, г
		рабочий	промывной				
«Молдавия»-1А	Дроссель со спиральным каналом и мембранным регулятором	Капельный	Струйчатый	4...8	0,1...0,4	Термопластический полимер, резина	15
«Водополимер»-3	Калиброванный дозирующий канал с мембранным регулятором	»	То же	5	0,1...0,3	То же	15
«Таврия»-1	Дроссель с игольчатым поплавковым регулятором	Струйчатый	—	7...10	0,04...0,08	Светостабилизированный полиэтилен	40
«Горная»	Мембранный регулятор с радиальным каналом	Капельный	Струйчатый	1,5...2,5	0,1...1	Светостабилизированный полиэтилен, резина	10
КУ-1 (Укргипроводхоз)	Резиновая диафрагма для регулирования расхода	»	То же	4	0,1...0,6	Термопластичный полимер	25
К-383	Свободно ориентированный мембранный регулятор	»	»	5,5	0,1...0,6	То же	10

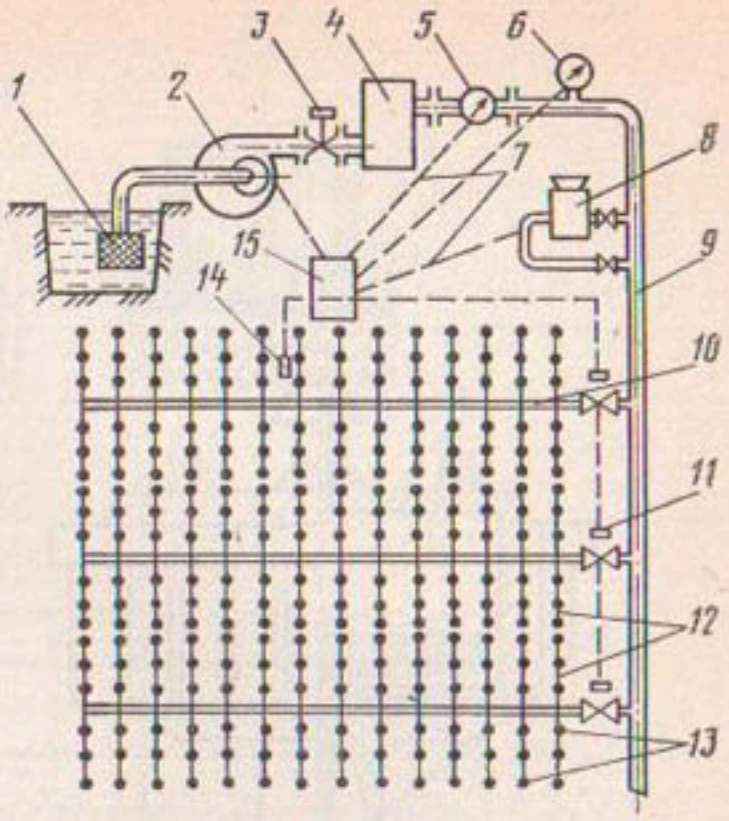


Рис. 7.1. Основная схема системы капельного орошения:

1 — водозаборный узел; *2* — напорообразующий узел; *3* — головная задвижка; *4* — фильтр; *5* — водомерное устройство; *6* — манометр; *7* — каналы связи; *8* — подкормщик; *9* — магистральный трубопровод; *10* — распределительный трубопровод; *11* — дистанционно-управляемая задвижка; *12* — оросительные трубопроводы; *13* — микроводовыпуски (капельницы); *14* — датчик необходимости полива; *15* — пульт управления

Для широкорядных садовых культур наиболее целесообразно использовать микродождеватели с радиусом действия до 4. . .5 м.

Основные элементы систем капельного орошения — насосная станция, узел очистки воды, трубопроводная сеть с регулирующей и запорной арматурой и поливные трубопроводы с микроводовыпусками-капельницами (рис. 7.1). Насосная станция оборудована низконапорными насосами и снабжена фильтрами для грубой предварительной очистки воды и сорозадерживающими устройствами.

Магистральные и распределительные трубопроводы изготавливают из асбестоцементных труб марок ВТ-6, ВТ-12 или из полиэтилена. Глубина заложения сети 0,7. . .1 м.

Расположение поливных трубопроводов систем капельного орошения может быть наземным и подземным. При подземном расположении вода подводится к капельницам при помощи отводных питателей. Глубина заложения поливного трубопровода должна быть не менее 0,5 м. При наземном расположении поливные трубопроводы размещают вдоль рядов сада или виноградника и крепят к нижнему ряду шпалерной проволоки на высоте 0,5. . .0,7 м над землей или укладывают непосредственно на поверхности земли в приствольной полосе.

Поливные трубопроводы изготавливают из первичного саженаполненного полиэтилена, соединительную арматуру — из атмосферостойкого АВС-пластика, а также из саженаполненного полиэтилена.

Микроводовыпуски-капельницы, от которых зависят качество и надежность технологического процесса, устанавливают на поливном трубопроводе. Они снабжены устройствами для стабилизации расхода воды при переменном давлении в сети и самоочистки водопроводящих микроканалов от взвешенных насосов.

Техническая характеристика капельниц, применяемых в СССР, приведена в таблице 7.1, а конструкции капельниц и их расходно-напорные характеристики даны на рисунках 7.2. . .7.6.

7.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ

Системы капельного орошения для улучшения комплектования арматурой делятся на модульные участки площадью 9. . .12 га, которые состоят из клеток, являющихся площадями одновременного полива, от одного до трех гектаров (рис. 7.7 и 7.8). Управление подачей воды к участку осуществляется дистанционно с помощью запорной арматуры, устанавливаемой в голове участкового трубопровода.

Схема водораспределения позволяет локализовать отдельные поврежденные участки системы, не прекращая полив ее остальной части. Для этого используют задвижки с электроприводом или электрогидравлические кла-

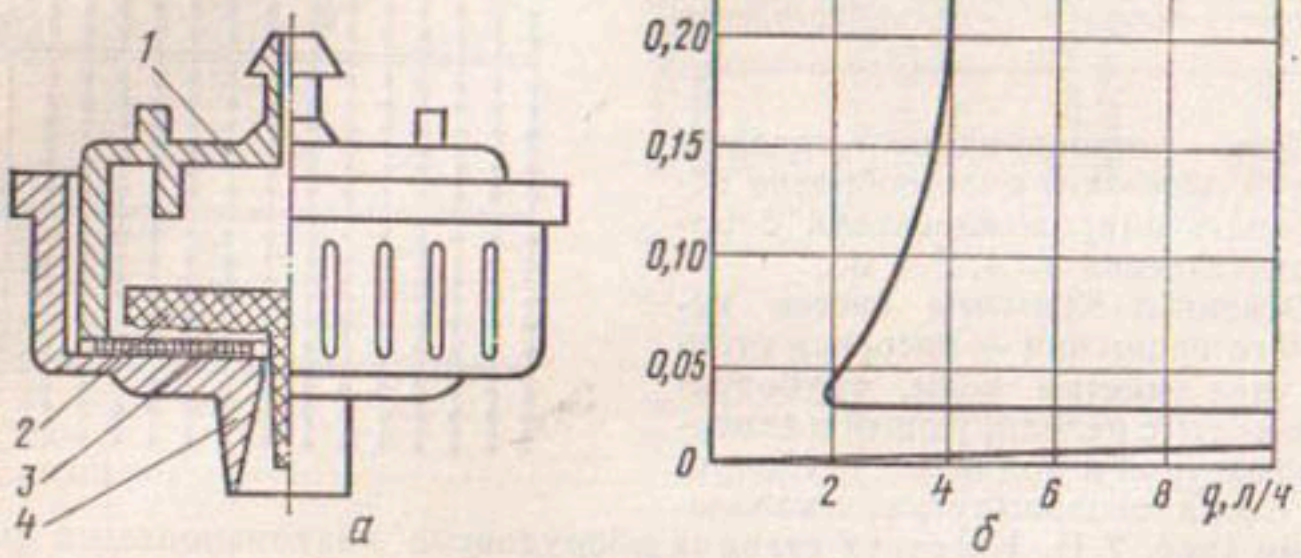


Рис. 7.2. Микроводовыпуск «Молдавия»-1А (*а*) и его расходно-напорная характеристика (*б*):

1 — корпус; *2* — дроссель; *3* — шайба-прокладка; *4* — крышка

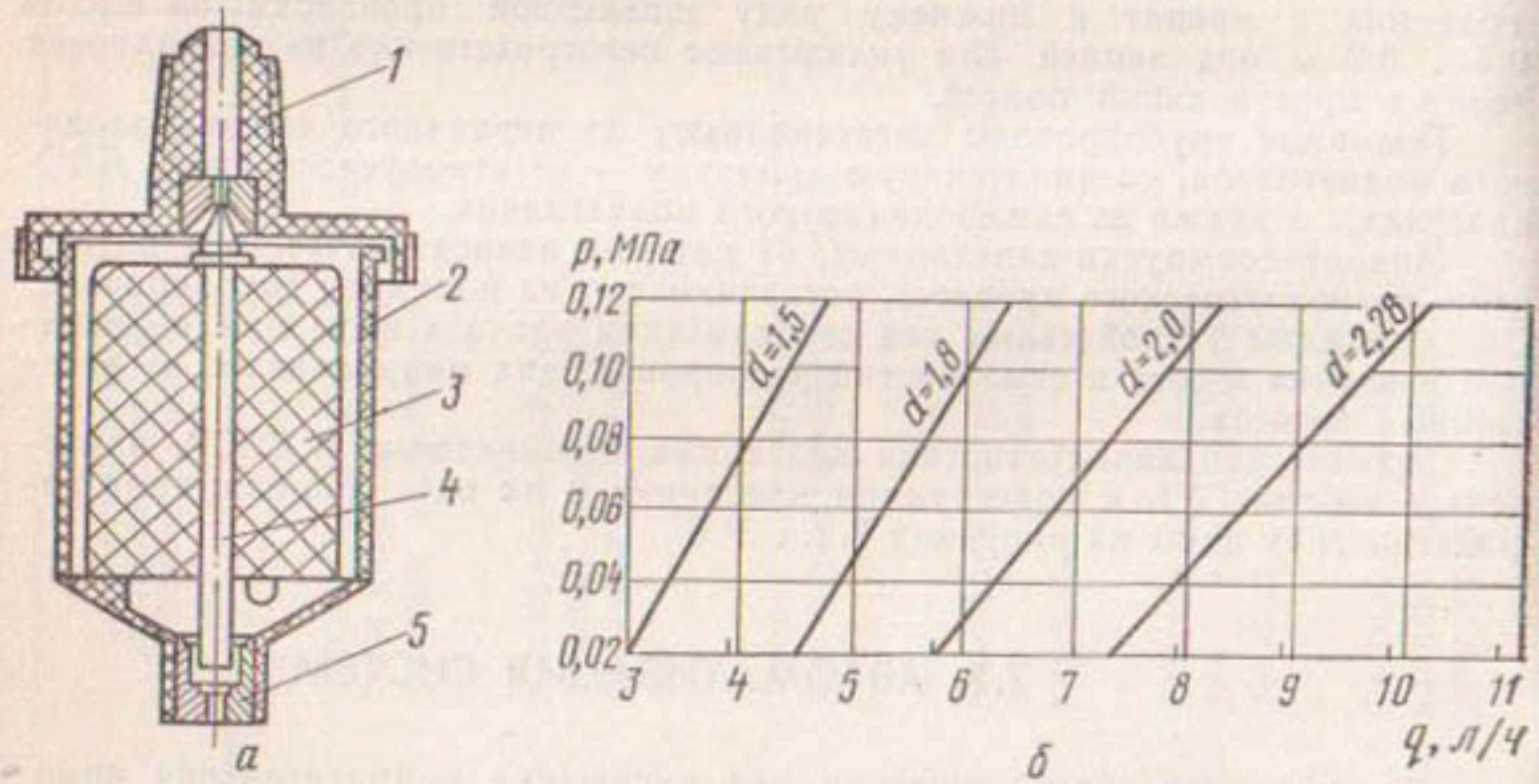


Рис. 7.3. Микроводовыпуск «Таврия»-1 (*а*) и его расходно-напорная характеристика (*б*):

1 — крышка; *2* — корпус; *3* — поплавок; *4* — игла; *5* — выходное отверстие; *d* — диаметр выходного отверстия в мм

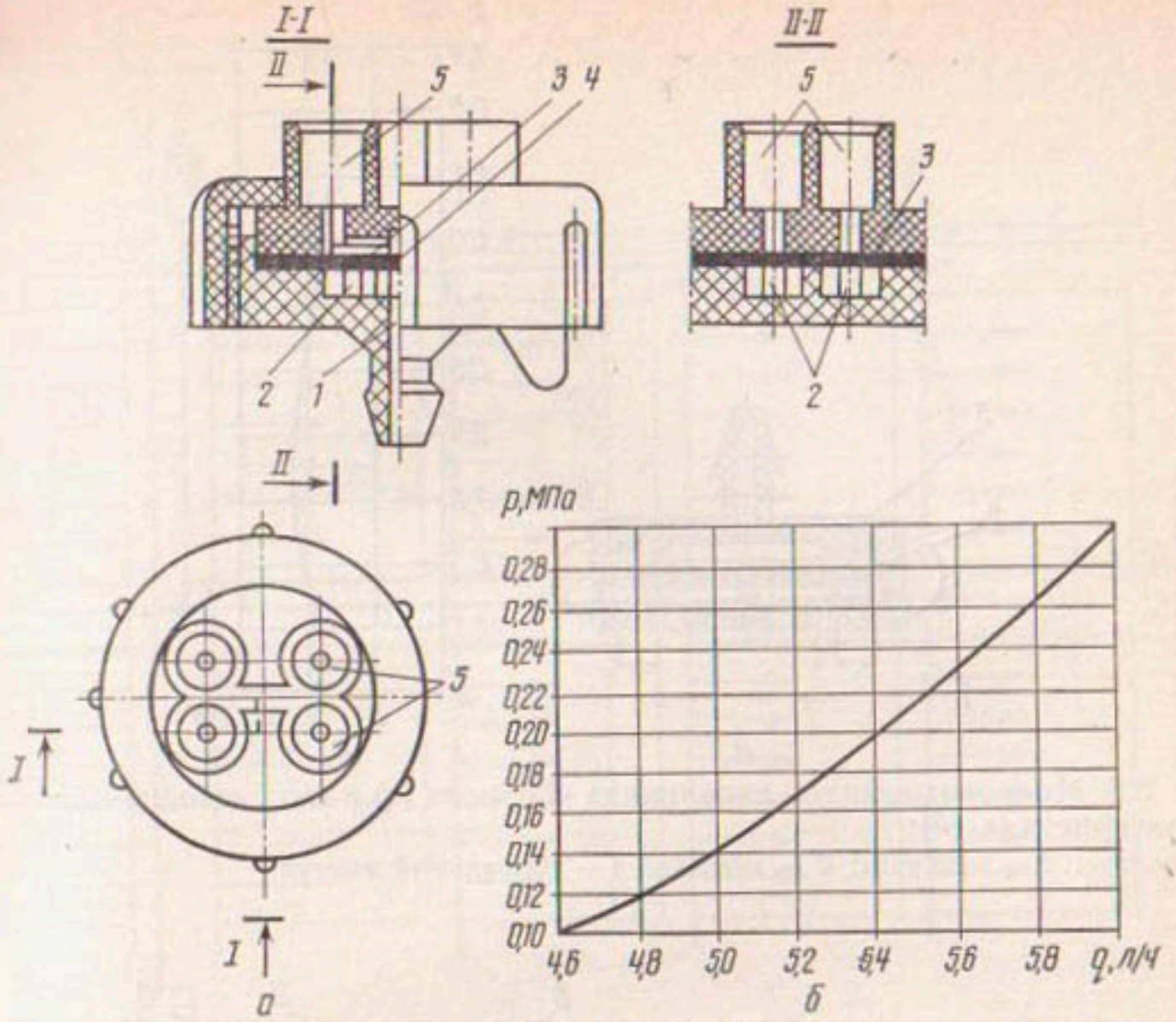


Рис. 7.4. Микроводовыпуск «Водполимер»-3 (*а*) и его расходно-напорная характеристика (*б*):

1 — присоединительный штуцер; *2* — камеры давления; *3* — дозирующие каналы; *4* — мембрана-прокладка; *5* — водовыпуск

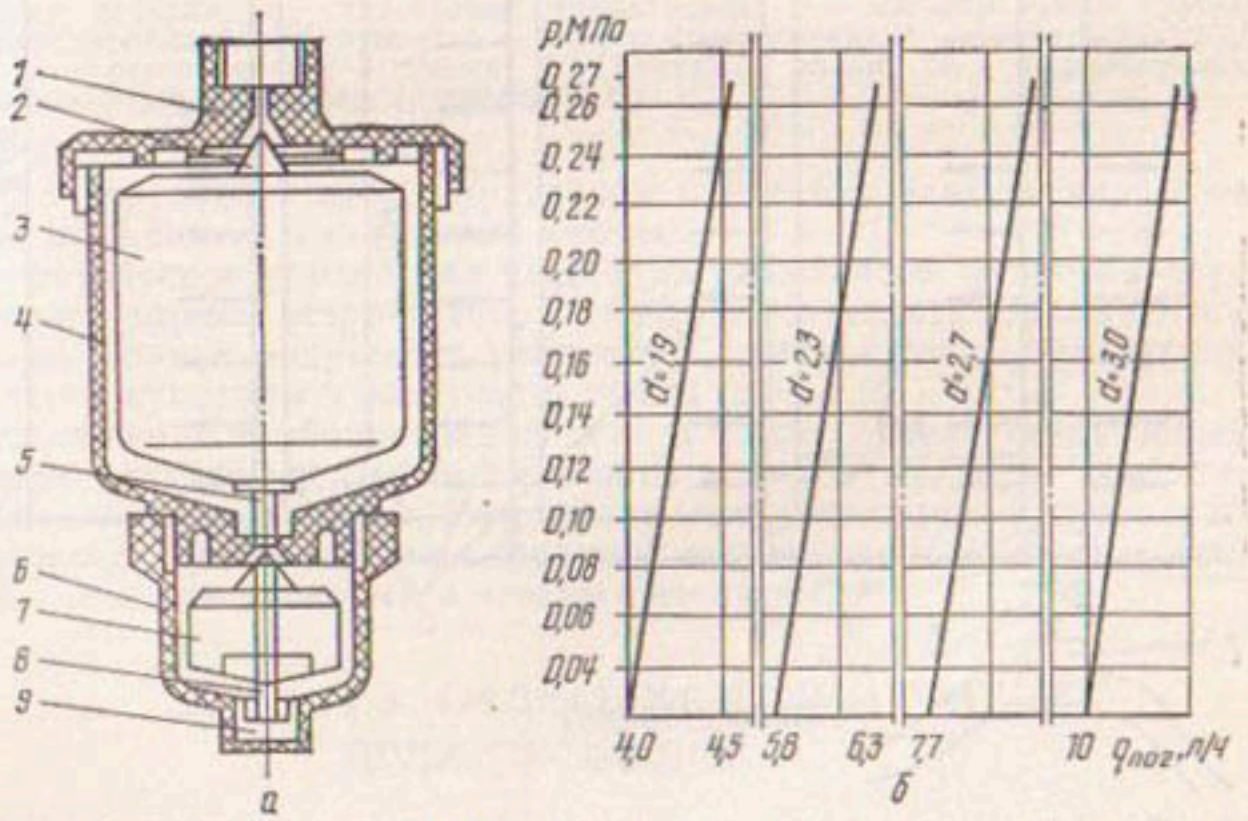


Рис. 7.5. Микроводовыпуск «Узгипроводхоз»-2 (*а*) и его расходно-напорная характеристика (*б*):

1 — верхняя крышка; *2, 5, 8* — иглы; *3* — поплавок—гаситель напора; *4* — корпус верхней камеры; *6* — корпус нижней камеры; *7* — поплавок—стабилизатор расхода; *9* — ниппель и выходное отверстие; *d* — диаметр отверстия ниппеля, мм

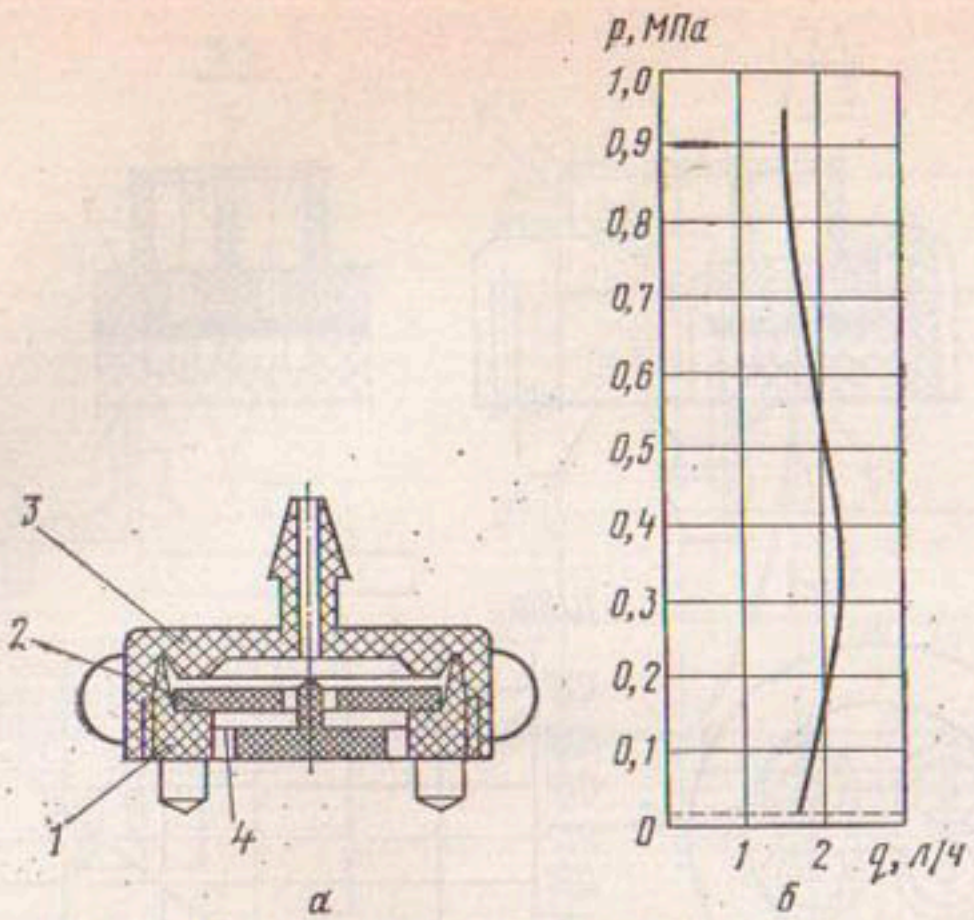


Рис. 7.6. Микроводовыпуск-капельница «Горная» (*а*) и его расходно-напорная характеристика (*б*):

1 — корпус; *2* — мембрана; *3* — крышка; *4* — радиальный выступ

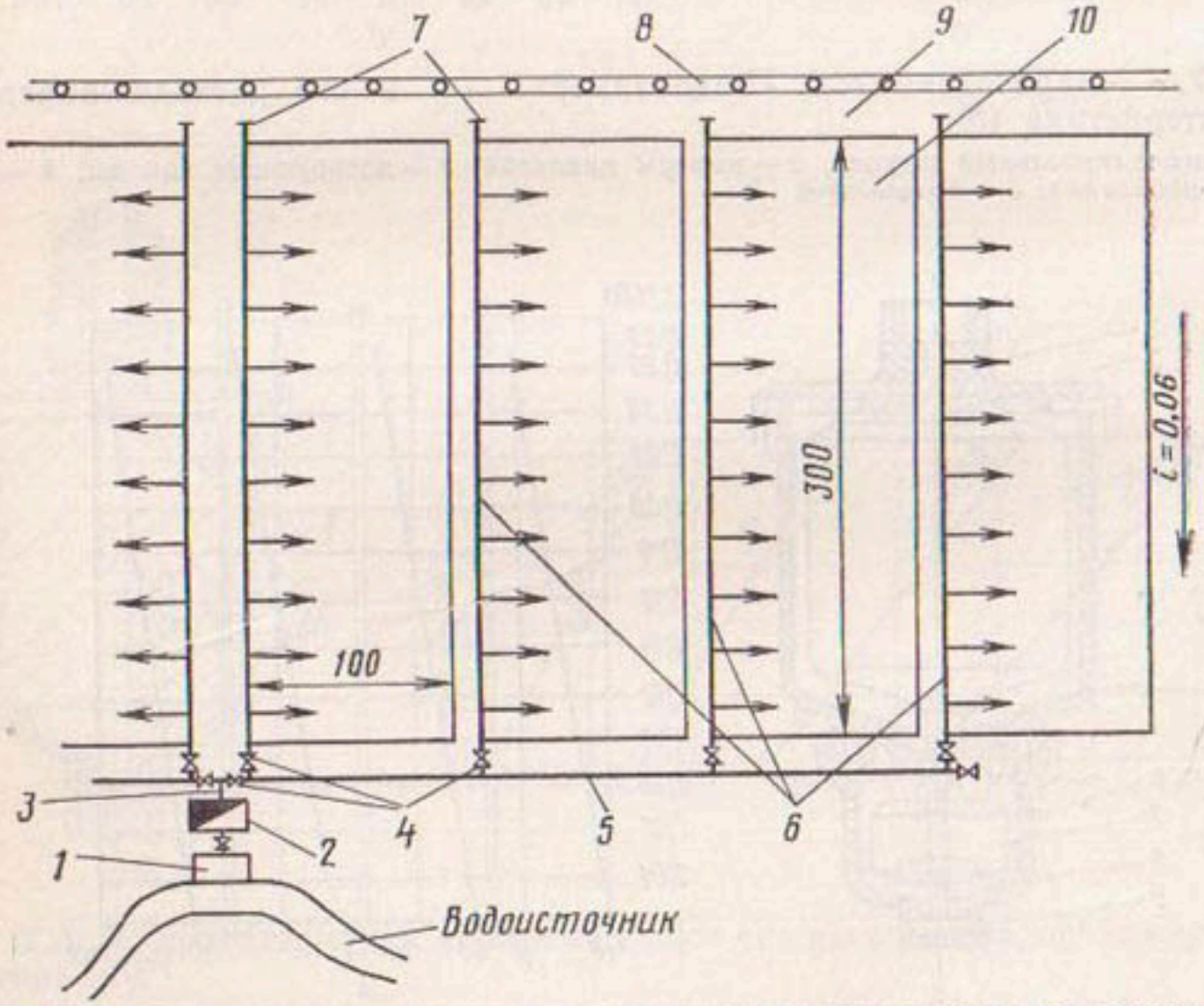


Рис. 7.7. Принципиальная схема модульного участка системы капельного орошения на землях с уклонами 0,05:

1 — насосная станция; *2* — очистное сооружение; *3* — магистральный трубопровод; *4* — запорно-регулирующая арматура; *5* — распределительный трубопровод; *6* — участковый трубопровод; *7* — концевые задвижки; *8* — лесополоса; *9* — дорога; *10* — поливные блоки (размеры в м)

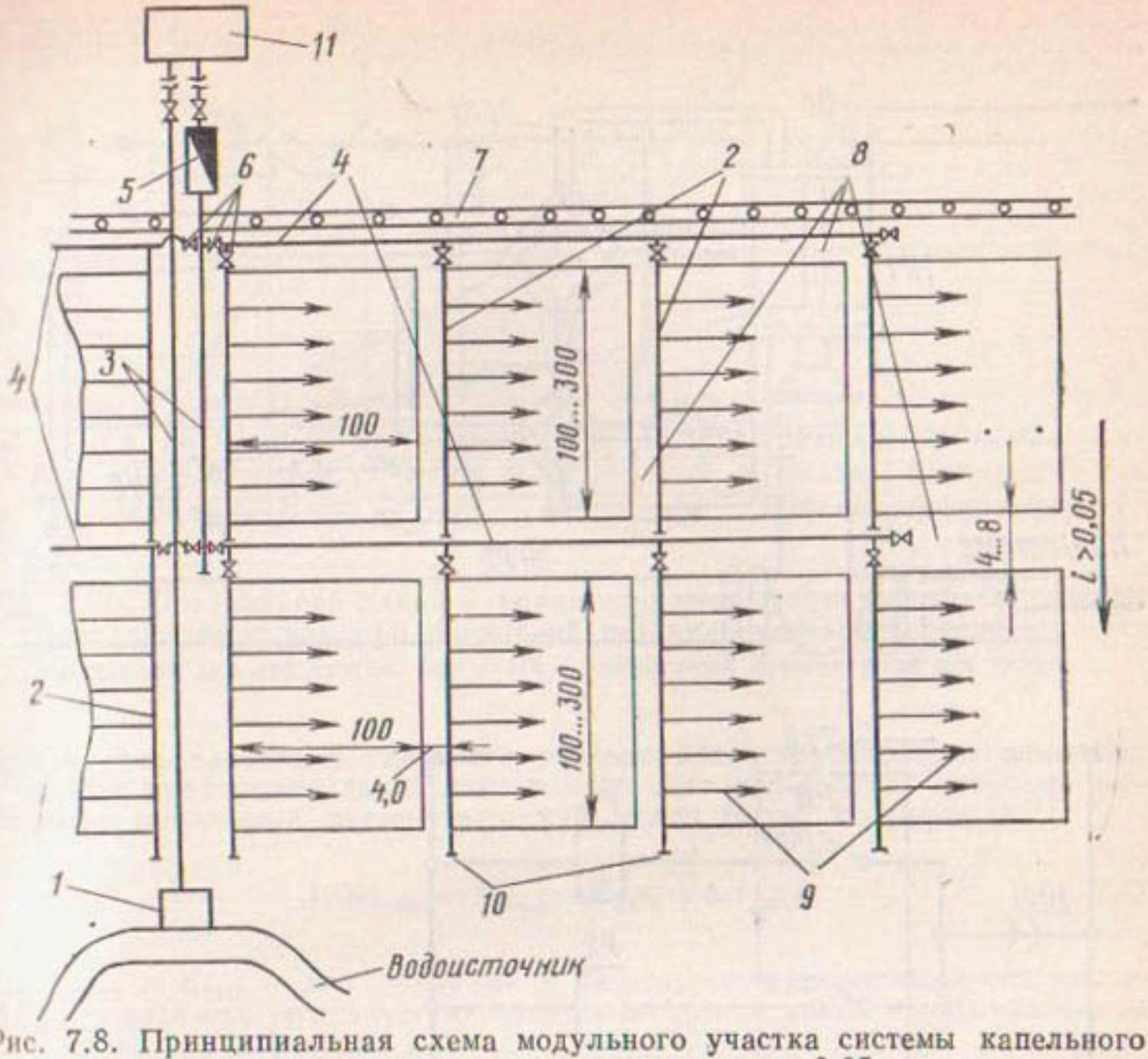


Рис. 7.8. Принципиальная схема модульного участка системы капельного орошения на склоновых землях с уклонами свыше 0,05:

1 — насосная станция; *2* — участковый трубопровод; *3* — магистральный трубопровод; *4* — распределительный трубопровод; *5* — очистное сооружение; *6* — запорно-регулирующая арматура; *7* — лесополоса; *8* — дороги; *9* — поливные блоки; *10* — концевые задвижки; *11* — накопительный резервуар (размеры в м)

паны. Для передачи команд управления и питания электрогидравлических клапанов применяют специальный кабель.

Автоматическое управление системами капельного орошения осуществляется программным устройством, которое обеспечивает заданную последовательность полива модульных участков в зависимости от агротехнических потребностей культуры и влажности почвы (рис. 7.9).

Расположение трубопроводной сети в плане определяется общей конфигурацией участка, рельефом местности и видом культур. Оросительную сеть проектируют тупиковой. Расстояние между поливными трубопроводами устанавливают в соответствии с шириной междурядий: 2,5. . .4 м для винограда, 3. . .8 м для плодовых и ягодных насаждений.

7.3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

Диаметр поливных трубопроводов определяют гидравлическим расчетом в зависимости от уклона и удельной раздачи.

Оптимальную длину гладких тупиковых трубопроводов из полиэтилена внутренним диаметром 12. . .32 мм с микроводовыпусками при удельной раздаче 0,05. . .0,2 л/с на 100 м можно определять по графику (рис. 7.10).

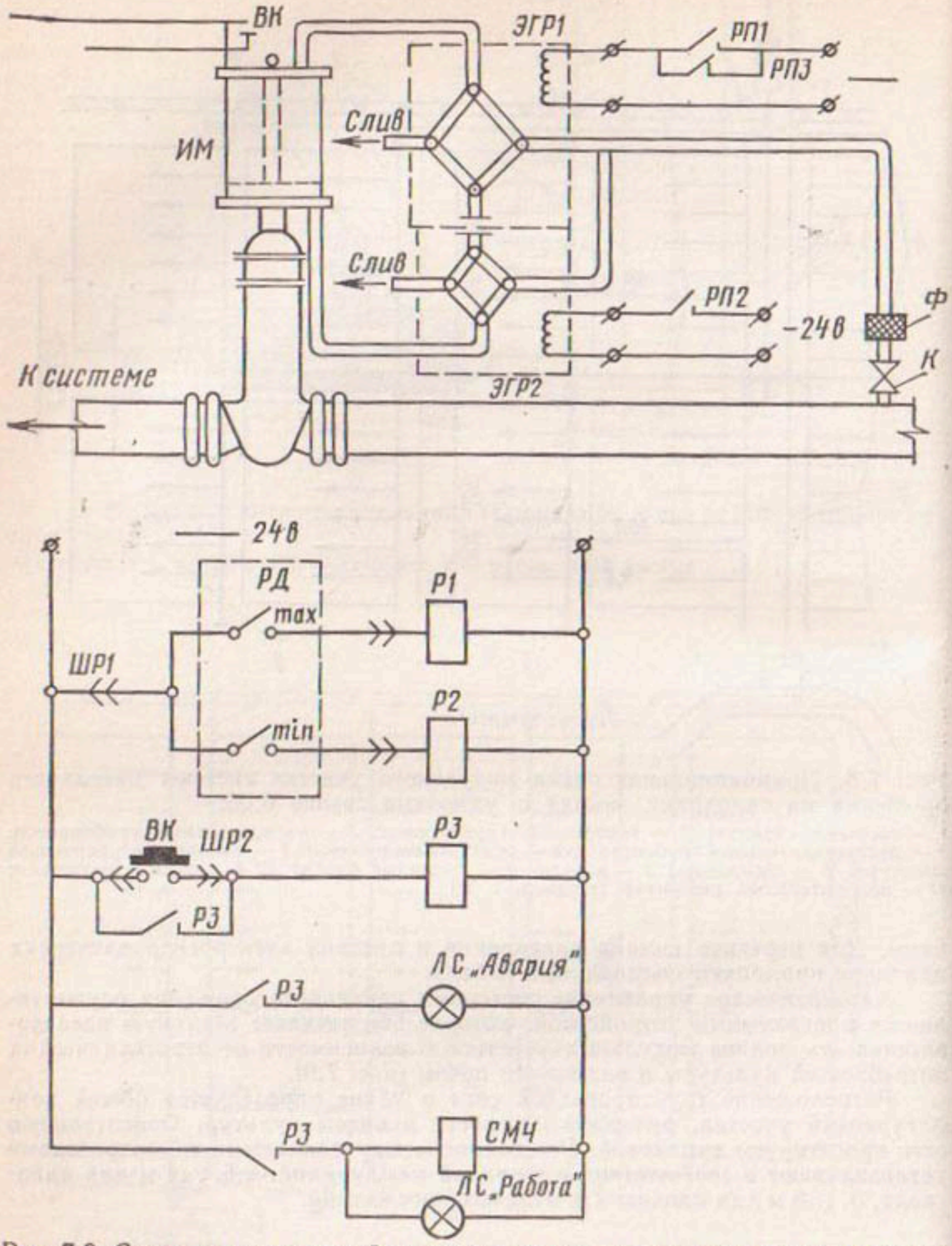


Рис. 7.9. Схема автоматической системы капельного орошения с регулятором давления на входе при питании от закрытой оросительной сети:

ИМ — исполнительный механизм; ЭГР — электрогидрореле; Р1—Р3 — промежуточное реле; Ф — фильтр; К — кран муфтовый; РД — реле давления; ВК — выключатель конечный; ШР — штепсельный разъем; СМЧ — счетчик моточасов; ЛС — лампа сигнальная

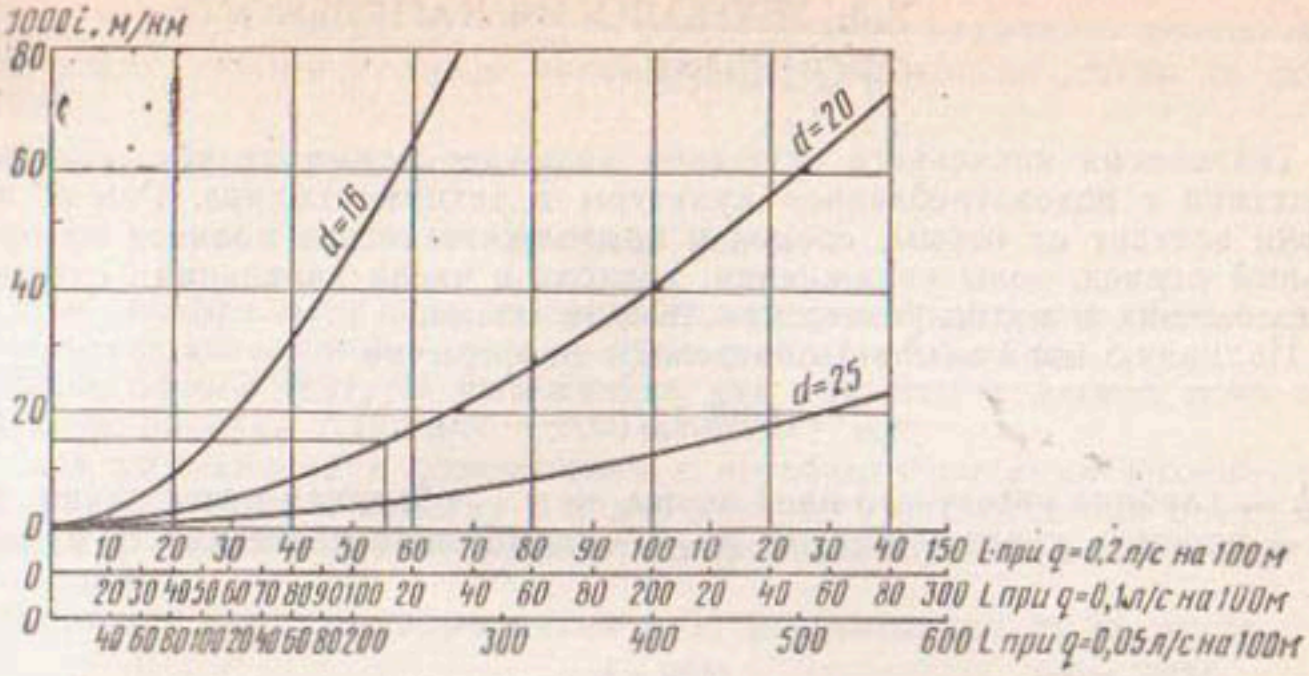


Рис. 7.10. Оптимальная длина L полиэтиленовых тупиковых трубопроводов с микроводовыпусками при различной величине удельного расхода:
d — внутренний диаметр трубок, мм; $1000i$ — допустимый пьезометрический уклон

При других значениях удельного расхода длину трубопровода изменяют в обратно пропорциональной зависимости. Для пользования графиком вычисляют допустимый пьезометрический уклон (м/км) по формуле

$$1000i_{adm} = H_{max} - H_{min} + \Delta H_{gd}/L, \qquad (7.1)$$

где H_{max} и H_{min} — максимальный и минимальный допустимые напоры, м; ΔH_{gd} — разность геодезических отметок начала и конца трубопровода, м; L — длина трубопровода, км.

Максимальный напор соответствует предельному давлению, на которое рассчитаны капельницы, минимальный — давлению в голове трубопровода в данный момент.

Распределительный трубопровод рассчитывают по той же методике, что и поливной трубопровод с микроводовыпусками. Распределительные трубопроводы проектируют телескопическими. Для расчета используют графики (рис. 7.11), позволяющие по допустимому пьезометрическому уклону и удельной раздаче определить диаметр труб и протяженность каждого участка при известной общей длине.

Удельный расход (л/с на 100 м) определяют по формуле

$$g = g_{dr}/l, \qquad (7.2)$$

где g_{dr} — расход водовыпуска, л/с; l — расстояние между водовыпусками, м.

При большом количестве мест изменения диаметра формулу (7.1) уточняют с учетом потерь напора на внезапное сужение, и она принимает вид

$$1000i_{cal} = 1000i_{adm} + \varepsilon H_f/l, \qquad (7.3)$$

где εH_f — потери напора на внезапное сужение, м.

В зависимости от $1000i_{cal}$ уточняют длину расчетных участков.

7.4. ТЕХНОЛОГИЯ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Технология капельного орошения включает режим подачи воды в соответствии с водопотреблением культуры и технику полива. Режим водоподачи зависит от нормы, сроков и продолжительности поливов на оросительный период, зоны увлажнения, расхода и числа капельниц, схемы их расположения и водно-физических свойств почвы.

Поливную норму ($м^3$/га) определяют по формуле

$$m_{nt} = 100\gamma h A_{nt} (w_{FC} - w_{PW}), \qquad (7.4)$$

где h — глубина расчетного слоя почвы, м; γ — объемная масса почвы, т/$м^3$; A_{nt} — площадь увлажнения, $м^2$; w_{FC} — наименьшая влагоемкость от массы

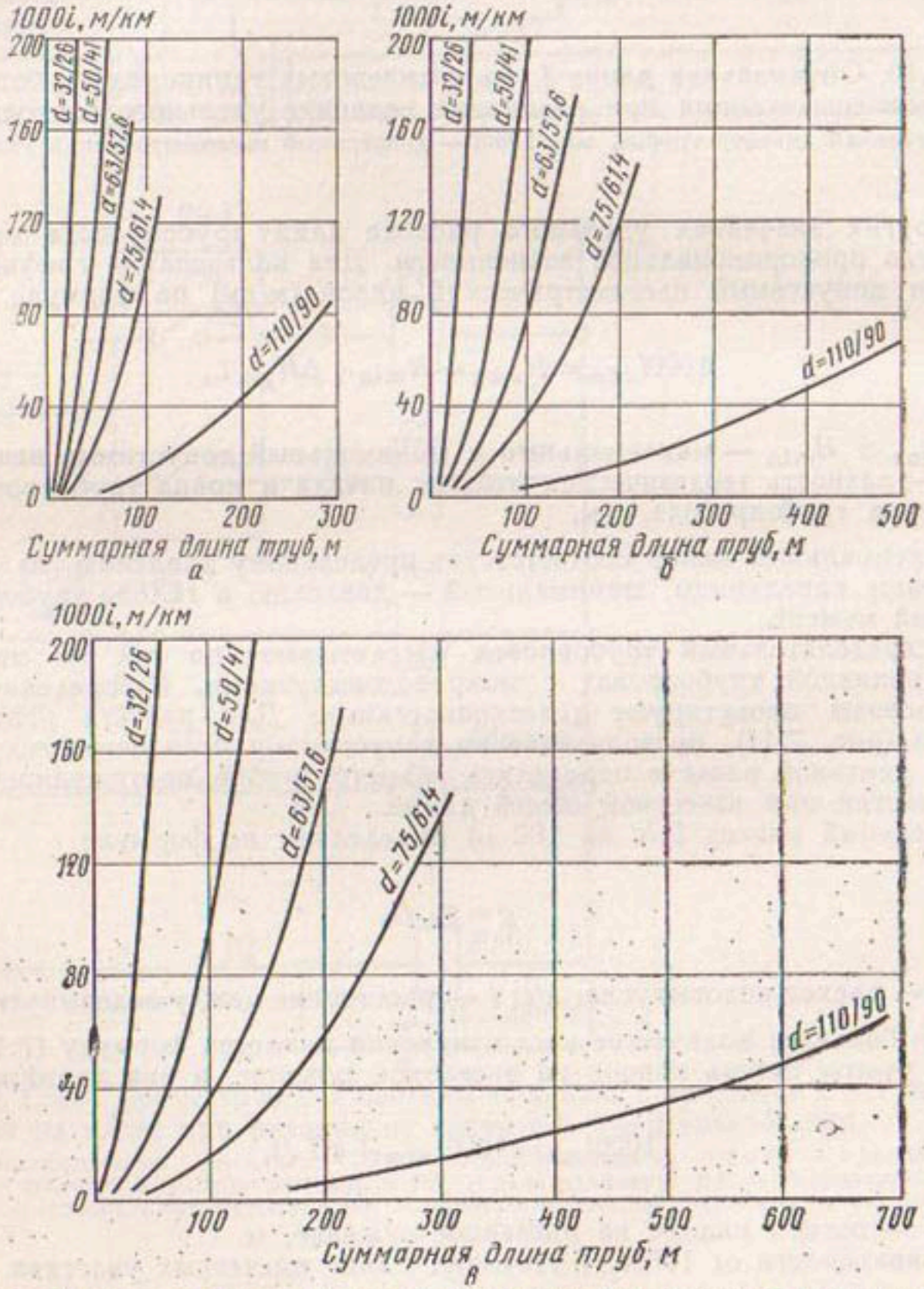


Рис. 7.11. Длина участков телескопического трубопровода из полиэтиленовых
а — $a/q=10$; *б* — $a/q=20$; *в* — $a/q=30$; *г* — $a/q=40$; *д* — $a/q=50$, *d* — диаметр труб в мм

абсолютно сухой почвы, %; w_{PW} — предполивная влажность почвы, соответствующая нижней границе оптимального увлажнения почвы (в долях единицы).

Продолжительность водоподачи

$$t = m_{nt}/E_f q_{dr} n, \tag{7.5}$$

где E_f — коэффициент использования воды, равный примерно 0,96. . .0,98; q_{dr} — расход капельницы, л/с; n — число капельниц на 1 га.

Характерные контуры увлажнения для тяжелых и легких почв приведены на рисунке 7.12.

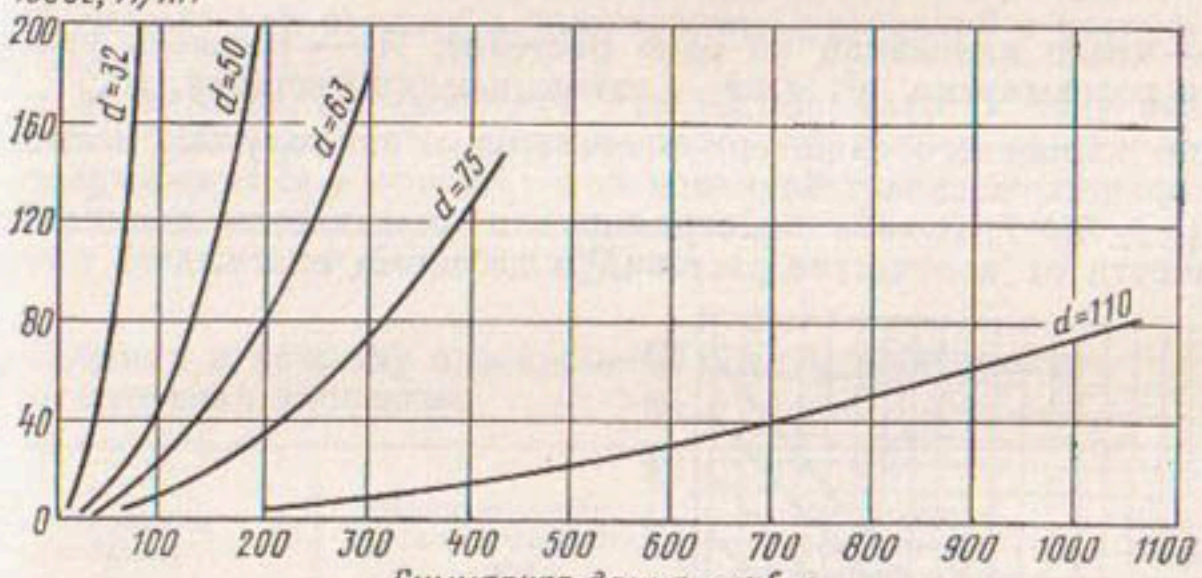
Очаг увлажнения в соответствии с агробиологическими показателями сельскохозяйственных культур и водно-физическими свойствами почвы формируется в зависимости от расхода микроводовыпусков и продолжительности полива.

Ординату графика гидромодуля (л/с) рассчитывают по формуле

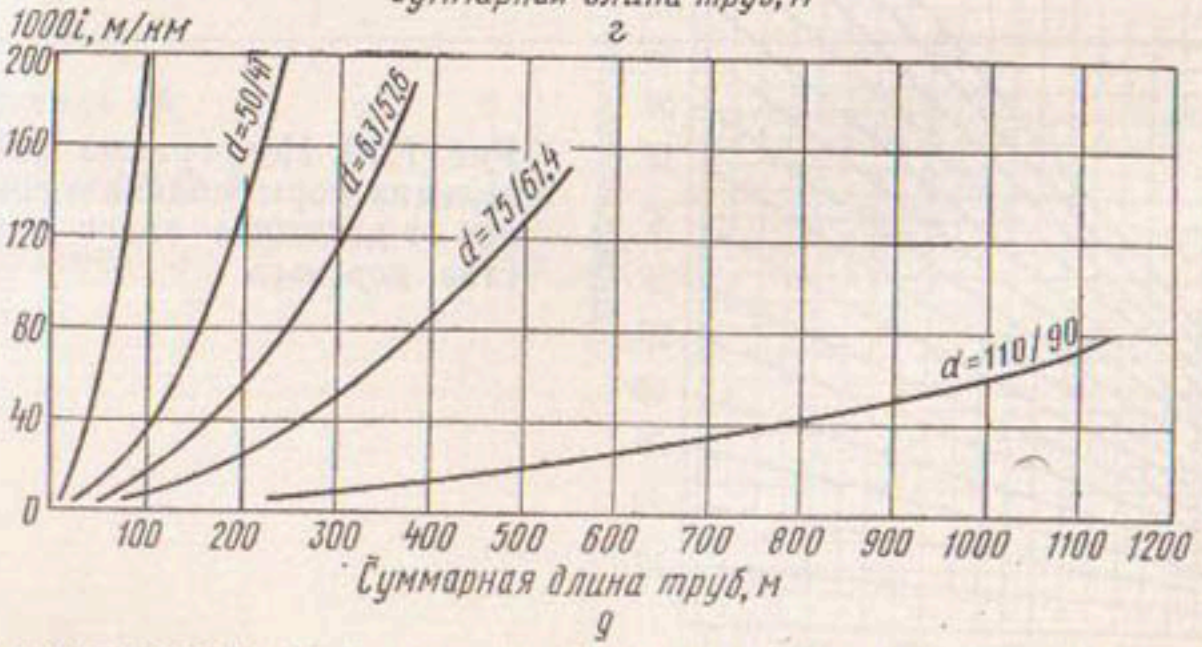
$$q = m_{nt}/(86{,}4 t_{adm}). \tag{7.6}$$

Площадь одновременного полива (га) определяют по значению минимального межполивного периода

$$A_{mt} = A/\Delta t_{min}, \tag{7.7}$$



г



д

труб в зависимости от пьезометрического напора и удельного расхода: (в числителе — наружный, в знаменателе — внутренний)

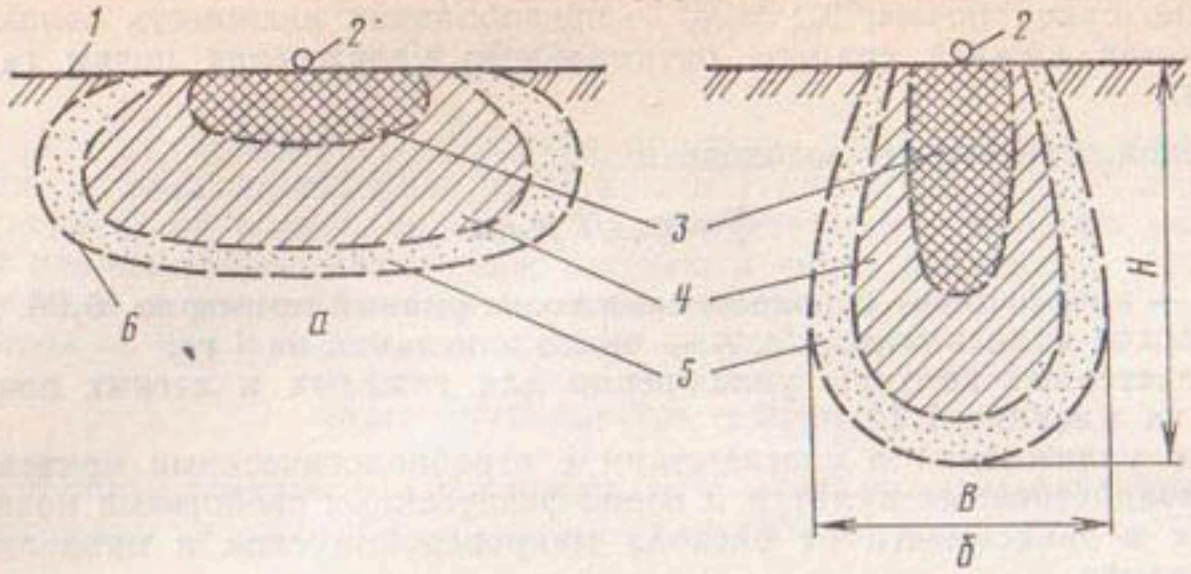


Рис. 7.12. Характерные контуры увлажнения при капельном орошении:
а — на тяжелых по механическому составу почвах; *б* — на легких по механическому составу почвах; *1* — поверхность почвы; *2* — капельный микроводовыпуск; *3* — очаг переувлажненной почвы; *4* — очаг нормально увлажненной почвы; *5* — очаг частично увлажненной почвы; *6* — граница распространения увлажнения

где A — площадь модульного участка, га; Δt_{min} — минимальный межполивной период, сут.

Число и схема расположения точек водоподачи, площадь увлажнения зависят от вида культур и водно-физических свойств почвы.

Площадь, увлажняемую капельницами, рассчитывают по формуле

$$A_{dr} = n_{dr} A_i / (a \times b), \qquad (7.8)$$

где n_{dr} — число капельниц на одно растение; A_i — площадь увлажнения от одного водовыпуска, м²; $a \times b$ — схема посадки растений, м².

Режим капельного орошения рассчитывают по году 95 %-ного превышения дефицита водопотребления.

На рисунке 7.13 дана номограмма для определения поливной нормы в зависимости от количества растений и дефицита влаги.

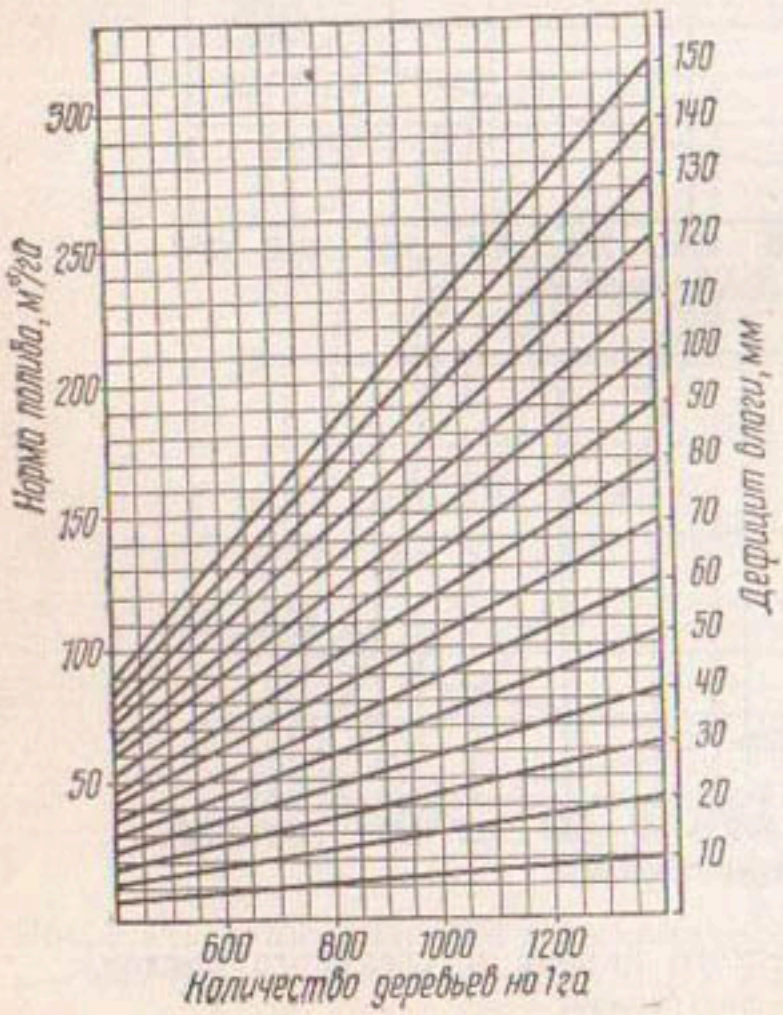


Рис. 7.13. Номограмма для определения норм полива в зависимости от дефицита влаги и количества деревьев

7.5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ. ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

В зависимости от расчетного расхода, конструкции микроводовыпусков и принципа их работы, а также от физико-химических, гидробиологических и бактериальных свойств воды применяют различные технологии и технические средства для очистки воды (табл. 7.2).

Допустимое содержание гидробионтов — 10 мг/л.

Выбор очистных сооружений в каждом конкретном случае необходимо решать на основе технико-экономических расчетов и сравнений вариантов.

Для грубой очистки воды используют земляные или бетонные отстойники. Для дополнительной очистки предусматривают песчано-гравийные, щебеночные, пенополистирольные фильтры, гидроциклоны, а также установки обеззараживания воды.

Сетчатые фильтры применяют для удаления из воды частиц песка и крупных частиц ила, микрофильтры и барабанные сетки — для удаления мелко- и грубодисперсных частиц взвеси, зернистые фильтры — для удаления мелко- и грубодисперсных частиц взвеси минерального и органического происхождения. Установки для обезжелезивания и обесфторивания воды используют при удалении солей железа и фтора.

Характеристика очистных сооружений в зависимости от производительности и качества поливной воды приведена в таблице 7.3.

Для подачи удобрений в оросительную сеть устанавливают стационарный резервуар-смеситель. Маточные растворы удобрений готовят заранее. Концентрированный раствор удобрений в систему подают двумя способами: путем создания в системе в месте подключения перепада давления (эжекционный способ) или прямым впрыскиванием удобрений в систему насосом-дозатором.

При использовании удобрений необходимо иметь в виду возможность химического взаимодействия компонентов удобрений с некоторыми примесями, содержащимися в оросительной воде. Например, внесение фосфорных удобрений в природную воду с повышенной жесткостью может привести к выпадению осадка в трубопроводной сети.

7.2. Требования к качеству оросительной воды в зависимости от конструкции капельниц

Наименование капельниц	Диаметр водовыпускных отверстий, мм	Допустимое содержание взвесей, мг/л	Размер частиц взвеси, мм
«Молдавия»-1А	1,0	30,0	0,01...0,5
«Таврия»-1	1,5	30,0	0,1
«Узгипроводхоз»-2	1,5	30,0	0,1
К-316	1,5	30,0	0,25
«Водполимер»-3	1,0	100,0	0,05

7.3. Техническая характеристика очистных сооружений

Показатели	Фильтр центробежной очистки ФЦ-02А	Фильтр сетчатый ФНС-06	Микрофильтр и барабанные сетки	Фильтры крупнозернистые	Фильтры с плавающей загрузкой	Водоочистная установка «Струя»-400
Конструкция фильтра	—	—	Сетки с площадью отверстий 0,025 мм²	Кварцевый песок, дробленый керамзит. Антрацитовая крошка	Пенополистирольная плавающая загрузка	Кварцевый песок (реагентная или безреагентная схема очистки)
Масса, кг	80	20	—	—	12 207	—
Металлоемкость, кг	2	1	—	—	9267	6000
Мутность исходной воды, мг/л	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	150...300	500	1000
Производительность, л/с	15	11	30	10...25	42	3,8
Рабочее давление, кПа	600	600	—	—	600	350
Потери напора, м	5	2	—	10...15	6	—
Мутность воды на выходе из фильтра, мг/л	50	50	$(1,5...2,5) \cdot 10^3$	0	50...100	30
Обслуживающий персонал				Один человек		
Продолжительность промывки, мин	3	10	—	—	3...5	—

Глава 8. ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛЯРНОГО ОРОШЕНИЯ

8.1. ТИПЫ, СХЕМЫ, ЭЛЕМЕНТЫ

Оросительная система — гидромелиоративная система для орошения земель. Она включает комплекс взаимодействующих сооружений и технических средств для гидромелиорации земель (рис. 8.1).

Типизация оросительных систем приведена в таблице 8.1 и на рисунках 8.2, 8.3.

Оросительные системы проектируют в комплексе с мероприятиями по сельскохозяйственному освоению орошаемых земель.

Степень использования орошаемых земель определяется коэффициентом земельного использования k_a

$$k_a = A_{nt}/A_{br}, \tag{8.1}$$

где A_{nt} — орошаемая площадь нетто, га; A_{br} — орошаемая площадь брутто, га

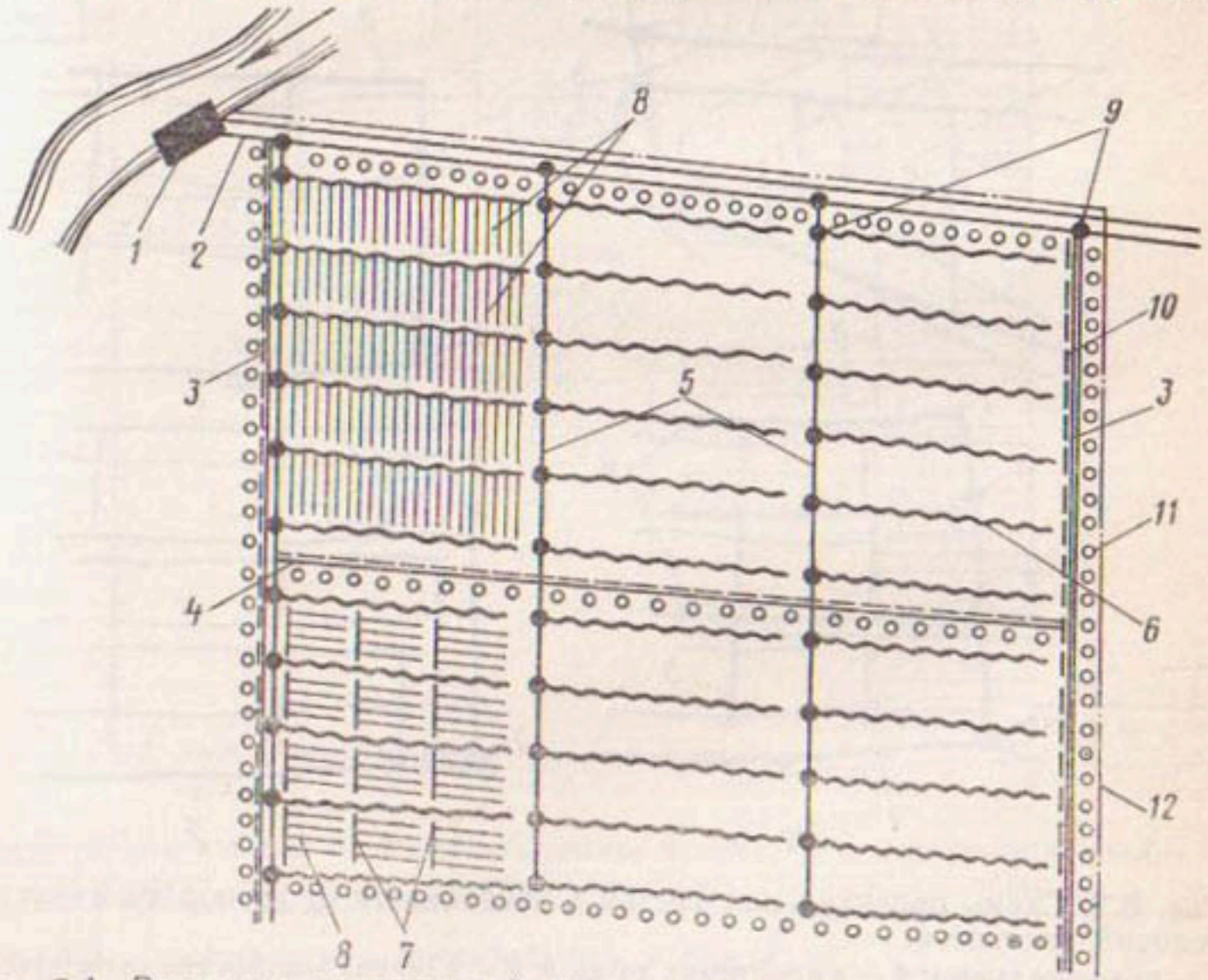


Рис. 8.1. Элементы оросительной системы:

1 — водозаборное сооружение; *2* — магистральный канал; *3* — распределительный и межхозяйственный каналы; *4* — хозяйственные каналы; *5* — участковые распределители; *6* — временные оросители; *7* — выводные борозды; *8* — поливные борозды; *9* — сооружения на сети; *10* — хозяйственные дороги; *11* — защитные лесополосы; *12* — линии электроснабжения и связи

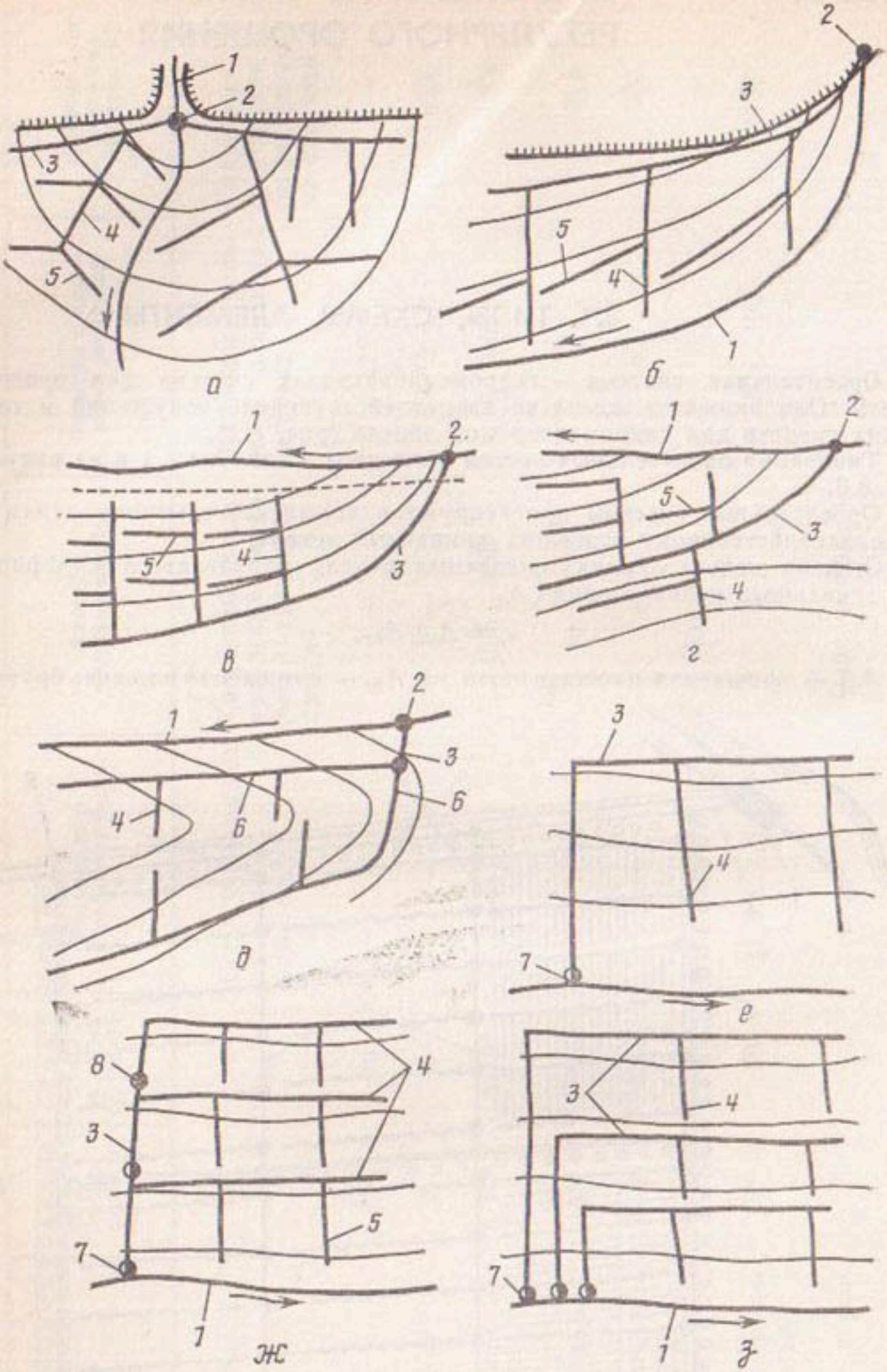


Рис. 8.2. Схемы оросительных систем в зависимости от геоморфологических условий местности:

а — на конусе выноса; *б* — в предгорных долинах; *в* — в речных долинах при одностороннем командовании; *г* — в речных долинах при двустороннем командовании; *д* — в дельтовой части реки; *е* — с машинным водоподъемом при одной ступени подъема; *ж* — с машинным водоподъемом при последовательном зонировании; *з* — при машинном водоподъеме при смешанном зонировании; *1* — река; *2* — водозаборное сооружение; *3* — магистральный канал; *4* — распределитель I порядка; *5* — распределитель II порядка; *6* — ветви магистрального канала; *7* — головная насосная станция; *8* — подкачивающая насосная станция

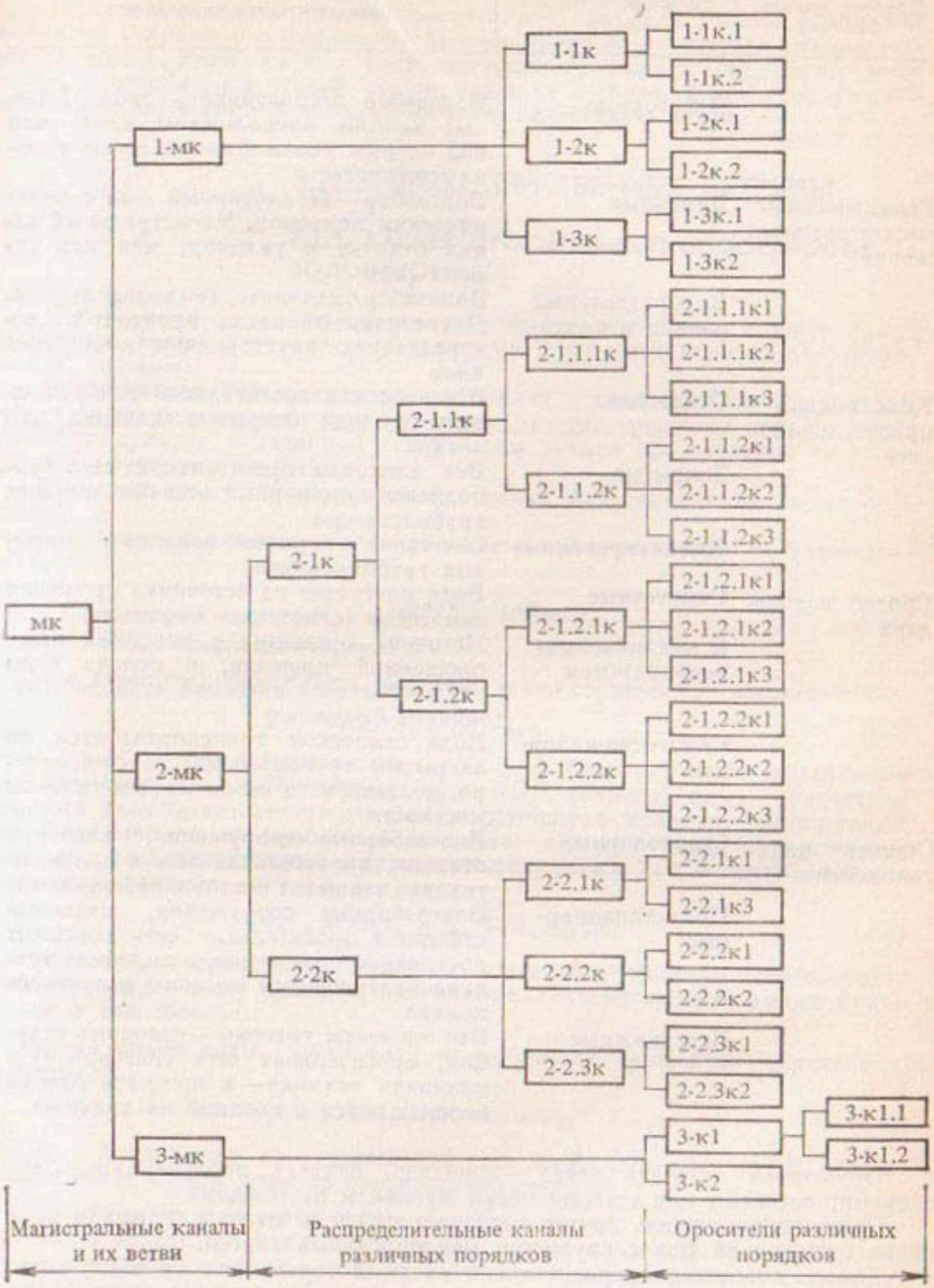


Рис. 8.3. Номенклатура оросительных каналов

8.1. Классификация оросительных систем

Признак классификации	Типы оросительных систем	Конструктивные особенности
Геоморфологическое расположение	Предгорные	Водозабор бесплотинного типа. Главные каналы расположены вдоль или под острым углом к направлению уклона местности
	Долинные	Водозабор — бесплотинный или с механическим подъемом. Магистральный канал отходит с уклоном, меньшим уклона реки
	Водораздельных равнин и плато	Водозабор с механическим водоподъемом. Магистральный канал проходит по водоразделу с двусторонним командованием
Конструкция оросительной сети	Открытые	Все элементы оросительной сети выполнены в виде открытых каналов или лотков
	Закрытые	Все элементы оросительной сети выполнены из напорных или безнапорных трубопроводов
	Комбинированные	Сочетание открытых каналов и закрытых трубопроводов
Способ водоподачи	Самотечные	Вода поступает из источника орошения самотеком (самотечное орошение)
	С механическим водоподъемом	Источник орошения расположен ниже орошаемой площади, и подача воды осуществляется насосной станцией (машинное орошение)
	Самотечно-напорные	Вода самотеком транспортируется по закрытым трубопроводам за счет напора, создаваемого естественным уклоном местности
Степень капитальности	Стационарные	Водозаборные сооружения, насосные станции, оросительная сеть и поливная техника занимают постоянное положение
	Полустационарные	Водозаборные сооружения, насосные станции и оросительная сеть занимают постоянное положение, а поливная техника перемещается по полю в процессе полива
	Передвижные	Все элементы системы — насосные станции, оросительная сеть (разборная) и поливная техника — в процессе полива перемещаются с позиции на позицию

Орошаемая площадь **нетто** — площадь, занятая продуктивными посадками, посевами или естественными лугами и пастбищами.

Орошаемая площадь **брутто** включает площадь нетто и площади всех видов отчуждений под сооружения мелиоративных систем.

Классы сооружений оросительной системы определяют по обслуживаемой ими площади орошения.

Площадь системы, тыс. га	Свыше 300	100...300	50...100	До 50
Класс сооружений	I	II	III	IV

Класс нагорных каналов принимают равным классу защищаемого сооружения. Расчетная вероятность превышения расходов воды зависит

от класса нагорных каналов. Для нагорных каналов IV класса расчетную вероятность превышения расходов воды для оросительных систем принимают равной 10 %.

При составлении проектов оросительной сети для работы различной поливной техники необходимо определить границы и площади севооборотных участков, полей на них, местоположение полевых станов, дорог, лесополос, скотопрогонов, линий электропередачи и связи, других сооружений в увязке с организацией территории всего хозяйства в целом.

8.2. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСЧЕТЫ

8.2.1. РАСЧЕТ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОДОИСТОЧНИКА

Источниками воды для систем регулярного орошения служат реки, подземные воды, поверхностный местный сток (водохранилища, озера, пруды, водоемы).

Оросительная способность водоисточника — площадь (нетто), которая может орошаться из него при проектном режиме орошения сельскохозяйственных культур и заданном техническом уровне оросительной системы, характеризующемся ее КПД.

Оросительную способность водоисточника A_{nt} определяют двумя способами:

при известном расходе воды, выделяемом для орошения из водоисточника,

$$A_{nt} = Q_{nt}\eta_s/q_{max}, \tag{8.2}$$

где η_s — КПД оросительной сети;

при известном объеме воды, выделяемом для орошения из водоисточника,

$$A_{nt} = V_w\eta_a/M_{ntm}, \tag{8.3}$$

где Q_{nt} и V_w — соответственно расход (л/с) и объем (м³) воды, выделяемые для орошения из водоисточника; η_a — КПД системы; q_{max} — расчетная ордината укомплектованного графика гидромодуля культур, планируемых для возделывания на орошаемой площади, л/(с·га); M_{ntm} — средневзвешенная оросительная норма культур, планируемых для возделывания на орошаемой площади, м³/га,

$$M_{ntm} = M_1\alpha_1 + \ldots + M_n\alpha_n/100, \tag{8.4}$$

где $M_1 \ldots M_n$ — оросительные нормы отдельных культур севооборота, м³/га; $\alpha_1 \ldots \alpha_n$ — доли площади, занимаемые сельскохозяйственными культурами в севообороте.

Общий объем воды, забираемой из источника орошения, определяют по формуле

$$V_w = M_{nt}A_{nt} + V_c + V_s, \tag{8.5}$$

где V_c — потери воды из оросительной сети на фильтрацию, м³; V_s — технологические сбросы воды из оросительной сети, м³.

Коэффициент полезного использования воды на оросительной системе E_s следует определять как отношение объема полезно используемой воды на покрытие дефицита влаги в водном балансе сельскохозяйственных культур V_{us} к разности объемов забираемой воды из водоисточника V_w и вторично используемой воды на системе V_{ru}

$$E_s = V_{us}/(V_w - V_{ru}). \tag{8.6}$$

Расход воды нетто Q_{nt} необходимо рассчитывать как произведение ординаты укомплектованного графика гидромодуля на орошаемую площадь

8.2. Потери воды на испарение, инфильтрацию и поверхностный сброс при поливе по бороздам

Уклон	Степень водопроницаемости почвы	Потери воды, %		
		испарение	инфильтрация	сброс
0,05...0,02	Сильная	1,5	23,0	5,9
	Средняя	2,1	11,4	10,8
	Слабая	6,0	12,2	11,8
0,02...0,01	Сильная	1,6	16,8	14,7
	Средняя	2,7	6,5	19,8
	Слабая	4,0	6,2	22,9
0,01...0,005	Сильная	1,1	11,5	15,0
	Средняя	2,0	4,4	21,6
	Слабая	4,5	3,0	23,6
0,005...0,001	Сильная	0,7	15,8	9,4
	Средняя	1,7	11,0	10,5
	Слабая	5,9	8,8	12,4

Примечание. Степень водопроницаемости характеризуется удельным впитыванием воды (л/с на 100 м борозды), определяемым при водно-физических изысканиях на типовых участках: сильная — 0,4...0,2; средняя — 0,2...0,1; слабая — 0,1.

нетто при поверхностном поливе или как сумму расходов одновременно работающих дождевальных устройств при поливе дождеванием.

Коэффициент полезного действия оросительной сети определяют по формуле

$$\eta_s = Q_{nt}/Q_{br}. \qquad (8.7)$$

Общие потери воды на поле необходимо принимать:

при поверхностном орошении на основании расчета или, когда нет фактических региональных данных, по таблице 8.2;

при дождевании — на инфильтрацию и поверхностный сброс не более 10 % дефицита водопотребления сельскохозяйственных культур, а на испарение в зоне дождевого облака E (мм) находить по формуле

$$E = t\,(1 - \varphi/100)\,(0{,}15v + 0{,}71), \qquad (8.8)$$

где t — максимальная температура воздуха при дождевании, °С; φ — относительная влажность воздуха при дождевании, %; v — расчетная скорость ветра, приведенная к высоте флюгера и определяемая по формуле

$$v = 0{,}7v_m, \qquad (8.9)$$

где v_m — средняя скорость ветра за расчетный период (декаду, месяц) на высоте флюгера, м/с.

Климатические параметры следует принимать среднесуточными за расчетный период по данным метеорологических наблюдений.

8.2.2. МЕТОДИКА ВЫБОРА РАСЧЕТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРОШЕНИЯ

Под расчетной обеспеченностью орошения P_w понимается вероятность превышения принятого в расчетах уровня (процент лет из многолетнего периода) водообеспеченности посевов. Различают две основные составляющие P_w: расчетную вероятность превышения оросительной способности по стоку P_F и расчетную вероятность превышения пропускной способности оросительной сети (иногда — вероятность превышения оросительных норм) — P_M (рис. 8.4).

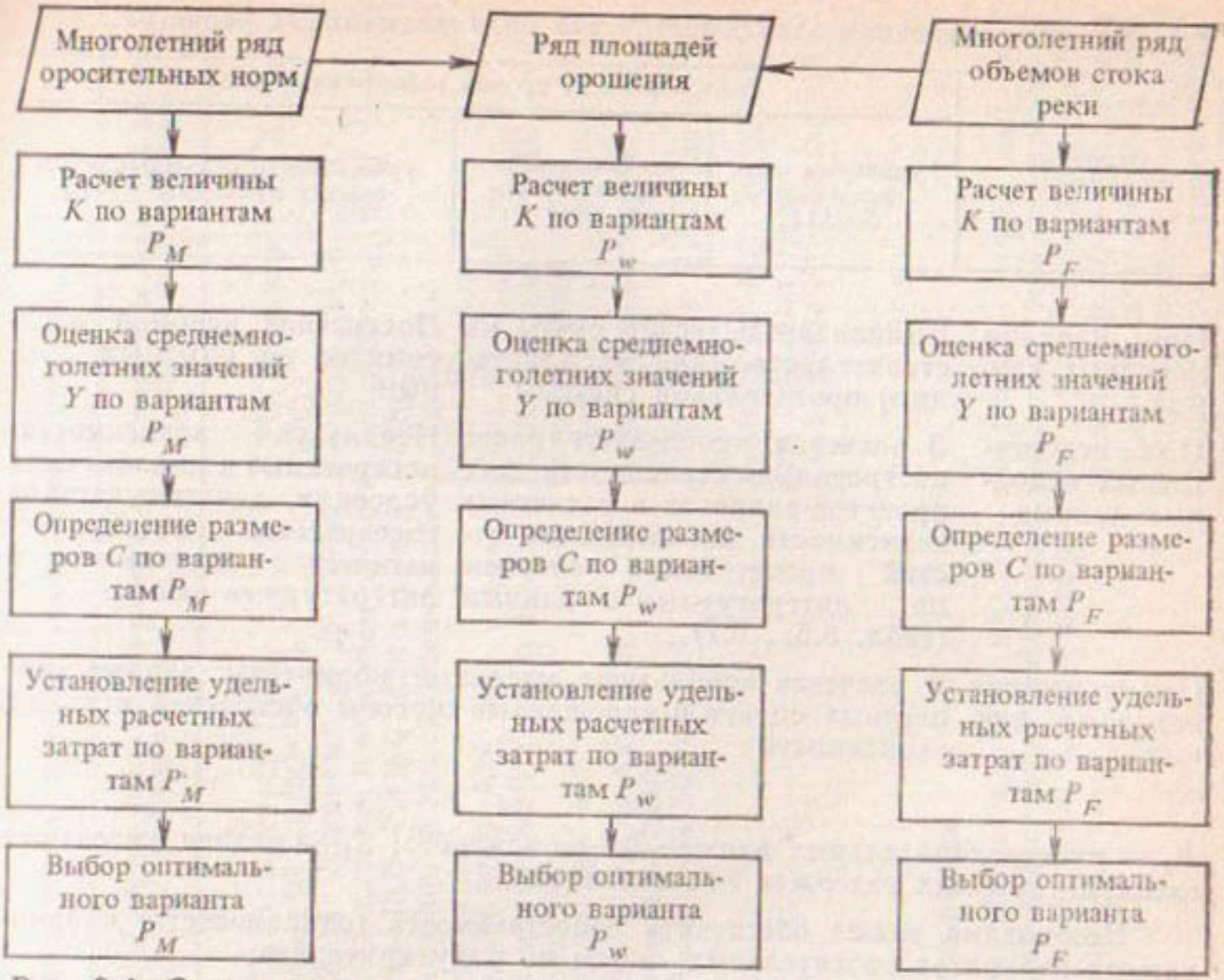


Рис. 8.4. Схема расчетов по выбору оптимального варианта

При выполнении расчетов по экономическому обоснованию уровня водообеспеченности возникают различные типы задач (табл. 8.3).

Наиболее обоснованный способ выбора оптимального варианта водообеспеченности почв — оценка сравнительной экономической эффективности капитальных вложений сравниваемых вариантов по формуле

$$P_i = E_n K_i + C_i, \tag{8.10}$$

где P_i — расчетные затраты i-го варианта, приведенные к одному году; E_n — коэффициент сравнительной экономической эффективности ($E_n = 0{,}12$);

8.3. **Варианты оптимизационных задач**

Объем стока в источнике орошения в многолетнем ряду	Оросительная норма в многолетнем ряду	
	не меняется	изменяется
Не меняется	Определение площади небольших, локальных оросительных систем	Обоснование P_M при орошении земель в зоне неустойчивого увлажнения с достаточными водными ресурсами
Изменяется	Определение P_F при орошении земель в зонах недостаточного и незначительного увлажнения с ограниченными водными ресурсами	Обоснование P_w при орошении земель в зоне неустойчивого увлажнения с ограниченными водными ресурсами

8.4. Методы построения зависимостей для оптимизационных расчетов

Основные варианты	Зависимость от уровня водообеспеченности		
	удельных капвложений $K=f(P)$	удельных ежегодных издержек $C=f(P)$	урожайности сельскохозяйственных культур $Y=f(P)$
При наличии исходных данных	Выполняют пересчет сметы на строительство (или эксплуатацию) оросительной системы		Построение искомой зависимости по опытным данным
При недостаточных исходных данных	В расчетах используют ранее построенные зависимости для проектов-аналогов и расчетные зависимости для отдельных частей оросительной системы по литературным данным (табл. 8.5...8.7)		Используют зависимости, построенные в аналогичных условиях, данные участков госсортсети, расчетно-теоретические зависимости и литературные данные
При отсутствии исходных данных	В расчетах используют удельные нормативы, данные экспертных оценок и упрощенные способы построения искомой зависимости		

K_i — размер капитальных вложений i-го варианта; C_i — размер ежегодных эксплуатационных издержек i-го варианта.

Необходимо также обеспечить сопоставимость (одинаковость) сравниваемых вариантов оросительных систем по ряду критериев:

по количеству и качеству выпускаемой продукции, что может быть получено путем определения по вариантам удельного (в расчете на 1 р. стоимости или на 1 т среднемноголетней продукции) размера приведенных расчетных затрат;

по временному фактору — срокам строительства или освоения, распределения капвложений по годам строительства или стоимости произведенной продукции по годам освоения и т. д.;

по условиям охраны природных ресурсов — отвод земли для строительства, охрана почв и водных ресурсов от засоления, истощения и т. д.;

по количеству и качеству потребных природных (земля, вода) и трудовых ресурсов путем учета в составе издержек C платы за их использование.

Порядок построения необходимых для расчетов водно-экономических характеристик в зависимости от наличия исходных данных показан в таблице 8.4.

Пересчет смет на строительство или на эксплуатационные расходы выполняют в общепринятом порядке, а для получения характера искомых зависимостей расчетным путем чаще всего используют метод аппроксимации опытно-экспериментальных и фактических данных. Некоторые из таких зависимостей по литературным данным приведены в таблицах 8.5. . .8.7.

При установлении расчетной водообеспеченности оросительных систем необходим многолетний ряд наблюдений (30. . .40 лет) следующих величин:

при оптимизации оросительной нормы P_M — почвенно-допустимых оросительных норм или максимальных ординат графика гидромодуля;

при обосновании расчетной вероятности превышения водотока P_F — объема стока реки в расчетном створе;

при совместном выборе оптимального варианта расчетной водообеспеченности оросительных систем $P_{ю}$ — фактических площадей орошения из рассматриваемого водоисточника в каждом конкретном году.

Для рассматриваемого варианта P путем сметных расчетов или по расчетным зависимостям определяют размер капитальных вложений K на строительство оросительной системы. На основании опытных данных или по

8.5. Обзор формул для определения стоимости K (тыс. р.) строительства элементов оросительных систем

Авторы и формулы для расчета стоимости прудов	Авторы и формулы для расчета стоимости насосной станции	Авторы и формулы для расчета стоимости канала	Авторы и формулы для расчета стоимости трубопровода
Г. М. Лыч и др. для БССР (1977) $K=\frac{64,84}{(V+50)+0,02}$ Е. А. Стельмах для БССР (1979) $K=11,76A^{0,68}$ $K=4,82V^{0,47}$ Е. А. Стельмах и Г. Т. Семеренко для Рязанской области (1980) $K=59,12V+1,69A+17,96$ А. Е. Жуков для БССР (1981) $K=C\lg V-C_0$, где C и C_0 — коэффициенты, характеризующие местность: при наличии оврагов и балок $C=36,5$; $C_0=28,5$; на равнинной местности $C=65,2$; $C_0=81,7$	Г. М. Лыч и др. для БССР (1977) $K=\frac{1344,3}{Q^{0,32}}h^{0,64}$ Г. М. Зюликов и Г. В. Шалина (1979) $K=5,82\,(Qh)^{0,61}$ В. А. Олехнович и В. Я. Бабиченко (1980) $K=11+183N-0,53N^2$ А. Е. Жуков (1981) $K=21\,087Q^{0,68}n^{0,36}$ Молдгипроводхоз (1981) $K=k\sqrt[3]{Qn}$, где k — коэффициент, характеризующий насосную станцию: $k=70$— для головных НС; $k=66$— для остальных НС	О. П. Кисаров (1975) $K=aQ^2+k\,(bQ^{0,375}+c)$ В. А. Духовный и др. (1978) для каналов в земляном русле $K=15,5-7,6\lg Q$; для каналов со сборной железобетонной облицовкой $K=1,875Q^{-0,78}$; для каналов с монолитной бетонной облицовкой $K=1,48Q^{-0,57}$ В. А. Олехнович и В. Я. Бабиченко (1980) $K=110+8,5Q-0,1Q^2$	Н. П. Яковлев и М. А. Кезля (1970) $K=(0,3+35d^2)+0,6d\,(d+0,5)$ А. Е. Агрест и В. Н. Борисов (1978) $K=a+bd^m$ Г. В. Шалина (1979) $K=1,5+52,48d^{1,26}$ В. А. Олехнович и В. Я. Бабиченко (1980) $K=63+30Q-0,57Q^2$ Молдгипроводхоз (1981) $K=1,315kL$ А. Е. Жуков (1981) для чугунных труб $K=0,0271d^{1,26}\,(1-0,00236l)$; для стальных труб $K=0,00357d^{1,55}\,(1-0,00236l)$

Условные обозначения

V — объем пруда, тыс. м³; A — площадь зеркала пруда	Q — расход насосной станции, м³; h — высота подъема воды, м; N — установленная мощность, тыс. кВт	Q — расход канала, м³; k — удельная стоимость облицовки канала, р/км; a, b, c — коэффициенты	d — диаметр труб, мм; k — удельная стоимость строительства, р/км; L — длина трубопровода, км; Q — расход трубопровода, м³/с; l — расстояние между гидрантами, м; a, b, m — коэффициенты, характеризующие условия укладки труб

8.6. Обзор формул для определения стоимости скважин и оросительных систем

Авторы и формулы для расчета стоимости скважин	Авторы и формулы для расчета стоимости оросительной системы
Г. М. Лыч и др. (1977) $K=68{,}6+3600/h$, р/м Е. А. Стельмах (1979) при роторном бурении $K=0{,}056h+0{,}36$ одной скважины; для ударного бурения $K=0{,}114h+1{,}18$ одной скважины; при роторном бурении $K=2512/Q^{0{,}676}$, р/м³ в 1 ч; для ударного бурения $K=2032/Q^{0{,}771}$, р/м³ в 1 ч	А. Е. Жуков (1981) $K=\frac{0{,}84Q^{0{,}68}h^{0{,}36}+0{,}04\,(c\lg V-C_0)+}{\Delta tn\left[\frac{q_1a}{(m_1\beta)^{1-b}}+\ldots+\frac{q_na}{(m_n\beta)^{1-b}}\right]+}\rightarrow$ $\rightarrow\frac{+0{,}04[L_1A_s(Q_1^Bq_1^B)+\ldots+L_nA_s(Q_n^Bq_n^B)]+}{+3{,}97\cdot10^{-5}\cdot\Sigma A_s}\rightarrow$ $\rightarrow\underline{+0{,}06\Sigma P_{sd}}$ В. Малишаускас (1983) $K=2778+13686/A_s$
h — глубина скважин, м; Q — дебит скважин, м³/с	*Условные обозначения* A_s — площадь оросительной системы, га; Δt — межполивной интервал, сут; n — рабочих смен в сутки; $L_1 \ldots L_n$ — длина водоподводящего или распределительных трубопроводов, км; $Q_1 \ldots Q_n$ — пропускная способность этих трубопроводов, м³/с; $q_1 \ldots q_n$ — то же для поливных трубопроводов, м³/с; ΣP_{sd} — оптовая цена дождевальных машин, передвижного насосно-силового оборудования и разборных вспомогательных трубопроводов, тыс. р.; $m_1 \ldots m_n$ — поливные нормы нетто, м³/га; A, B, a, b, β — коэффициенты.

8.7. Обзор формул для расчета ежегодных мелиоративных издержек

Авторы и формулы для расчета эксплуатационных издержек по насосным станциям	Авторы и формулы для расчета мелиоративных издержек, связанных непосредственно с поливами
Г. М. Зюликов и Г. В. Шалина (1979) $C_{st}=(0{,}007)\,T+$ $+0{,}3\,(Qh)^{0{,}81}$	З. А. Сыромятникова, Л. Г. Артемова (1973) $C=\frac{1{,}42K^{0{,}24}M_{nt}^{0{,}46}}{A_s^{0{,}018}}$ Ц. Е. Мирцхулава (1974) $C=f\,(\ln P)+a$ А. Е. Жуков (1984) $C=\frac{M\beta t_{min}\,[25{,}4/n+22{,}6/N+200qC_1\,(3N^{0{,}5}d/q^{0{,}36}+H+h)]}{d^2m_{min}k_d}$
Q — расход насосной станции, м³/с; h — высота подъема воды, м; T — время работы, ч.	*Условные обозначения* P — показатель уровня надежности; a — коэффициент; K — удельные капвложения, р/га; A_s — площадь оросительной системы, га; M_{nt} — оросительная норма нетто, тыс. м³/га; β — коэффициент, учитывающий потери воды; m_{min} — минимальная поливная норма, м³/га; t_{min} — продолжительность оборота «Фрегата» при m_{min}; n — число обслуживаемых одним оператором машин; k_d — коэффициент использования времени суток; C_1 — стоимость электроэнергии, р/(кВт·ч); d — диаметр круга, км; N — число дождевальных машин; q — расход дождевальной машины, м³/с; H — напор в гидранте, м; h — высота подъема воды, м.

расчетным зависимостям типа $Y=f(M)$ определяют урожайность сельскохозяйственных культур в конкретном году расчетного многолетия. Прирост урожайности ΔY в среднем за многолетие находят как разность между среднемноголетней урожайностью на орошаемых и богарных (неорошаемых) землях. Путем специальных (сметных) расчетов определяют размер ежегодных мелиоративных эксплуатационных расходов, а по технологическим картам производства сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях — ежегодные сельскохозяйственные издержки C и их прирост при орошении ΔC.

Размер удельных (на 1 т продукции или на 1 р. ее стоимости) расчетных затрат, приведенных к одному году, вычисляют по формуле

$$P_i=P/Y=KE_n+\Delta C/\Delta Y. \qquad (8.11)$$

Расчет повторяют для других вариантов — значений уровня водообеспеченности, и лучшим признают вариант с наименьшим значением удельных расчетных затрат.

8.3. СХЕМЫ И РАСЧЕТ ОТКРЫТОЙ СЕТИ

8.3.1. КОНСТРУКЦИИ СЕТИ

Примеры организации территории и схемы оросительной сети на севооборотных участках при различных способах полива показаны на рисунках 8.5. . .8.9.

Для машин ДДН-70 и ДДН-100 схема сети аналогична схеме сети для двухконсольных агрегатов. Расстояния между оросителями принимают в зависимости от технологических схем работы.

Типоразмеры и основные параметры поперечных сечений каналов должны соответствовать значениям, указанным на рисунке 8.10 и в таблице 8.8.

Отношение b/h_b следует выбирать в каждом конкретном случае с учетом вида и назначения канала.

Заложение откосов необходимо назначать в зависимости от свойств грунта (табл. 8.9).

Ширину бермы или дамбы (по гребню) b_d при выполнении канала в земляном русле устанавливают в соответствии с агротехническими требованиями и условиями работы землеройных машин. Для каналов в бетонной облицовке размер b_d должен обеспечивать возможность транспортирования и подачи бетонной смеси по берме (гребню дамбы).

Заложение внешних откосов дамб m для каналов со строительной глубиной d_b до 2 м должно быть 1 и 1,5, а свыше 2 м — 1,5 и 2.

Размеры поперечного сечения канала для дождевальных машин приведены в таблице 8.10.

8.8. **Размеры поперечных сечений оросительных каналов** (по ОСТ 33-22—76)

Канал	Строительная глубина h_b, м	Ширина канала по дну b, м			Заложение откосов m		
В земляном русле	0,5...1,0	0,4	—	0,8	1,0	—	1,5
	1,0...2,0	0,8	1,0	1,5	1,0	—	1,5
	2,0...3,0	1,5	2,0	2,5	1,5	—	1,75
С облицовкой монолитным бетоном	0,5...1,0	—	0,8	—	—	1,5	—
	1,0...1,5	—	1,0	—	—	1,5	—
	1,5...2,0	—	1,5	—	—	1,5	—
	2,0...2,5	—	2,0	—	—	1,5	—
	2,5...3,0	—	2,5	—	—	1,5	—
С облицовкой сборным железобетоном	1,0...2,0	1,0	1,5	—	1,0	—	1,5
	2,0...3,0	1,5	2,0	2,5	1,5	—	—

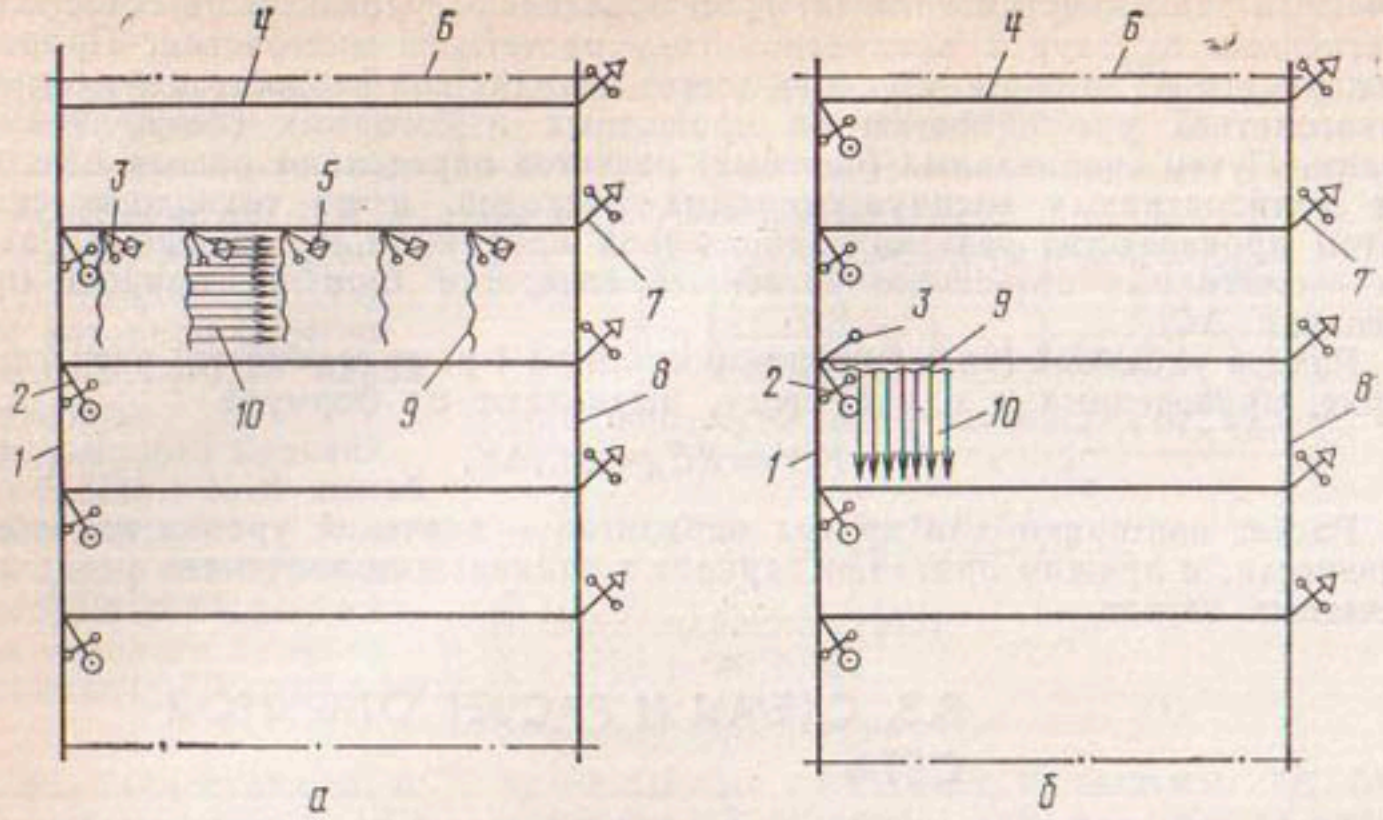


Рис. 8.5. Организация территории и схема открытой оросительной сети при поливе по бороздам вручную:

а — продольная схема полива; *б* — поперечная схема полива; *1* — распределительный канал; *2* — водовыпуск в ороситель с переездом; *3* — водовыпуск во временный ороситель; *4* — ороситель в бетонной облицовке; *5* — водоподпорное сооружение; *6* — граница участка; *7* — концевой сброс из оросителя с трубчатым переездом; *8* — сбросной канал; *9* — временный ороситель; *10* — направление полива

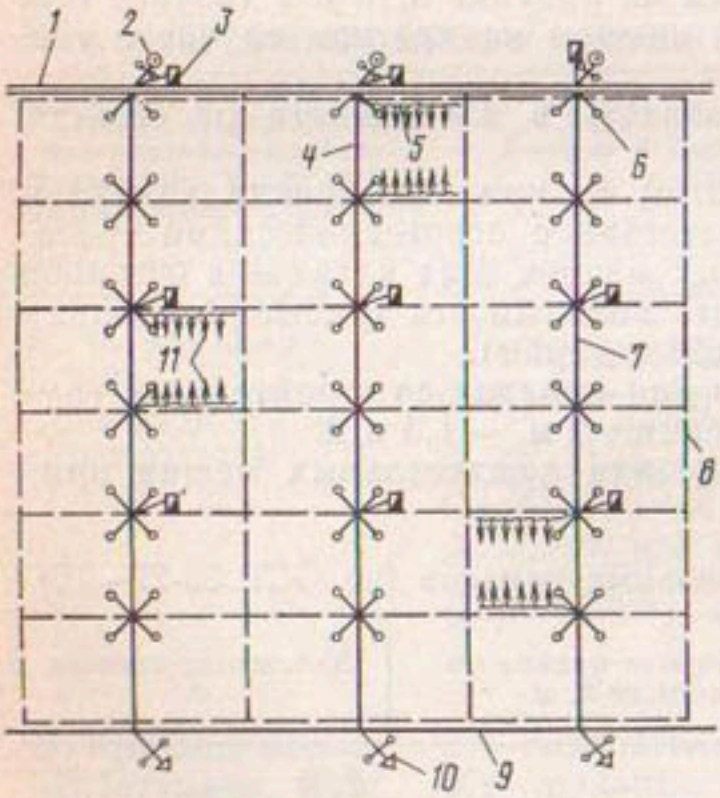


Рис. 8.6. Организация территории и схема оросительной сети для полива горизонтально спланированных карт на малоуклонных землях:

1 — распределительный канал; *2* — водовыпуск в ороситель с переездом; *3* — водоподпорное сооружение; *4* — ороситель; *5* — временный ороситель; *6* — водовыпуск во временный ороситель; *7* — ороситель; *8* — границы полей; *9* — сбросной канал; *10* — концевой сброс из оросителя с трубчатым переездом; *11* — направление полива

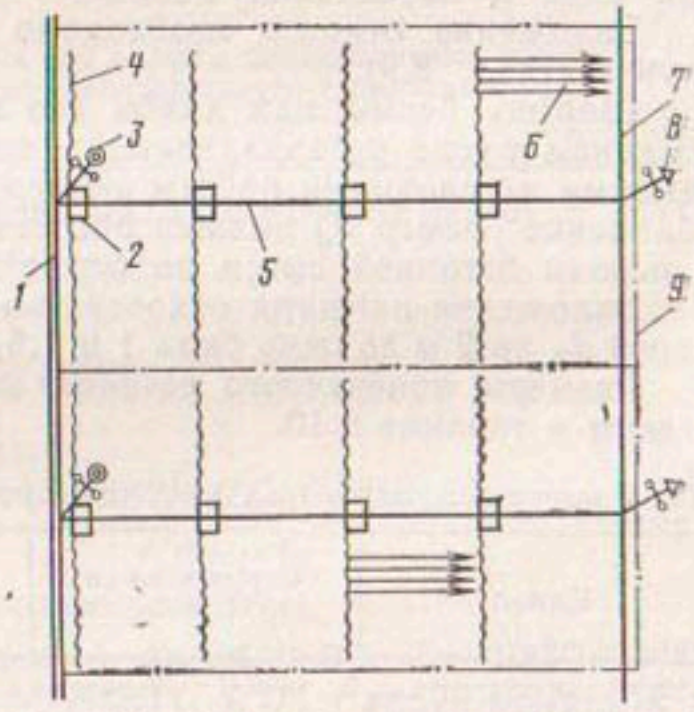


Рис. 8.7. Организация территории и схема оросительной сети при поливе по бороздам с применением агрегата ППА-165У:

1 — распределительный канал; *2* — место стоянки агрегата ППА-165У; *3* — водовыпуск в ороситель с переездом; 4 — гибкий трубопровод; *5* — ороситель; *6* — направление полива; *7* — сбросной канал; *8* — концевой сброс из оросителя с трубчатым переездом; *9* — границы полей

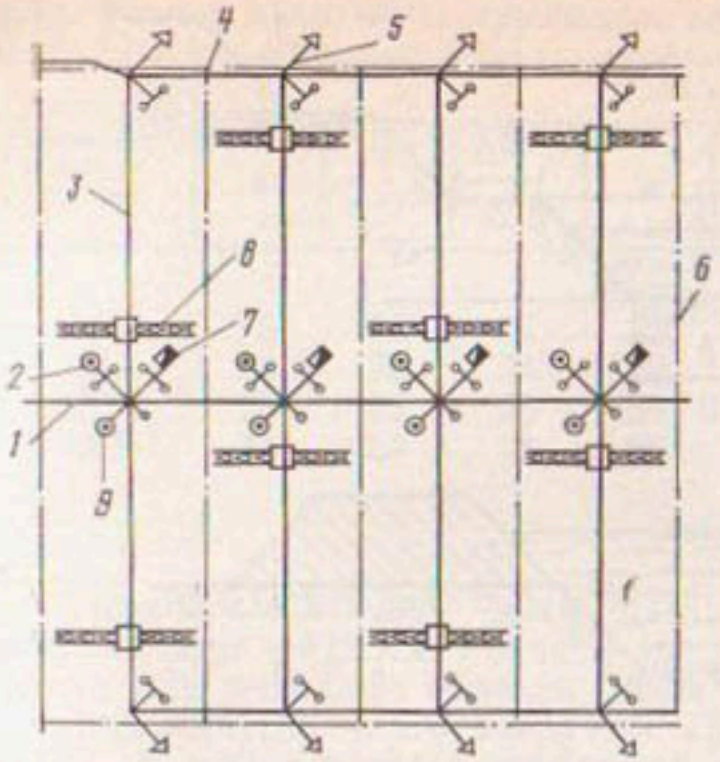


Рис. 8.8. Организация территории и схема оросительной сети при применении дождевальной машины «Кубань»:

1 — распределительный канал; *2* — водовыпуск-регулятор с трубчатым переездом; *3* — ороситель; *4* — сбросной канала; *5* — концевой сброс с переездом; *6* — граница полей; *7* — вододелитель с переездом; *8* — дождевальная машина «Кубань»; *9* — водовыпуск-регулятор

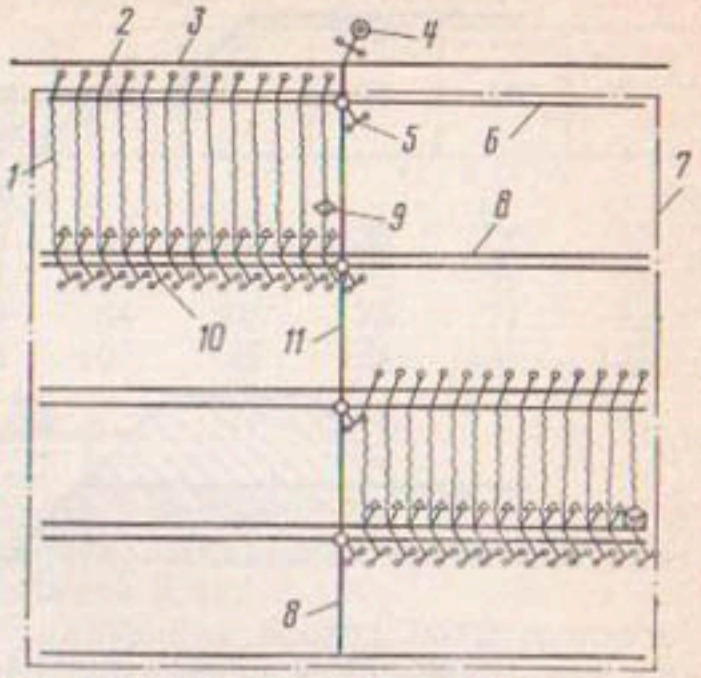


Рис. 8.9. Организация территории и схема оросительной сети при применении агрегатов ДДА-100МА:

1 — временный ороситель; *2* — водовыпуск во временный ороситель; *3* — внутрихозяйственный распределительный канал первого порядка; *4* — регулятор-переезд; *5* — колодец-вододелитель с переездом; *6* — участковый распределительный канал; *7* — граница участка; *8* — сбросной канал; *9* — дождевальный агрегат; *10* — концевой сброс с переездом; *11* — внутрихозяйственный оросительный канал второго порядка

8.9. Размеры поперечного сечения канала для ЭДМФ «Кубань» (СНиП 2.06.03—85)

Тип облицовки — бетон	Ширина по дну b, м	Строительная глубина h_b, м	Минимальная глубина воды h_{min}, м	Заложение откосов m	Ширина дамбы поверху b_d, м	Элементы канала, заделываемые монолитным бетоном
Монолитный	0,6	1,1	0,7	1,5	3,9	Дно, откосы, заплечики
Сборно-монолитный	0,6	1,1	0,7	1,25	3,35	Дно, верх откосов, заплечики
То же	0,6	1,1	0,7	1,0	2,3	Дно, заплечики

8.10. Размеры каналов для различных типов поливной техники

Поливная техника	Ширина по дну b, м	Строительная глубина h_b, м	Заложение откосов m
ППА-165У, ДДА-100МА, ДДПА-130/140, ДДН-100	0,6	0,5	1,0
ДДН-70	0,4	0,5	1,0
ДЧП-30	0,5	0,3	1,0

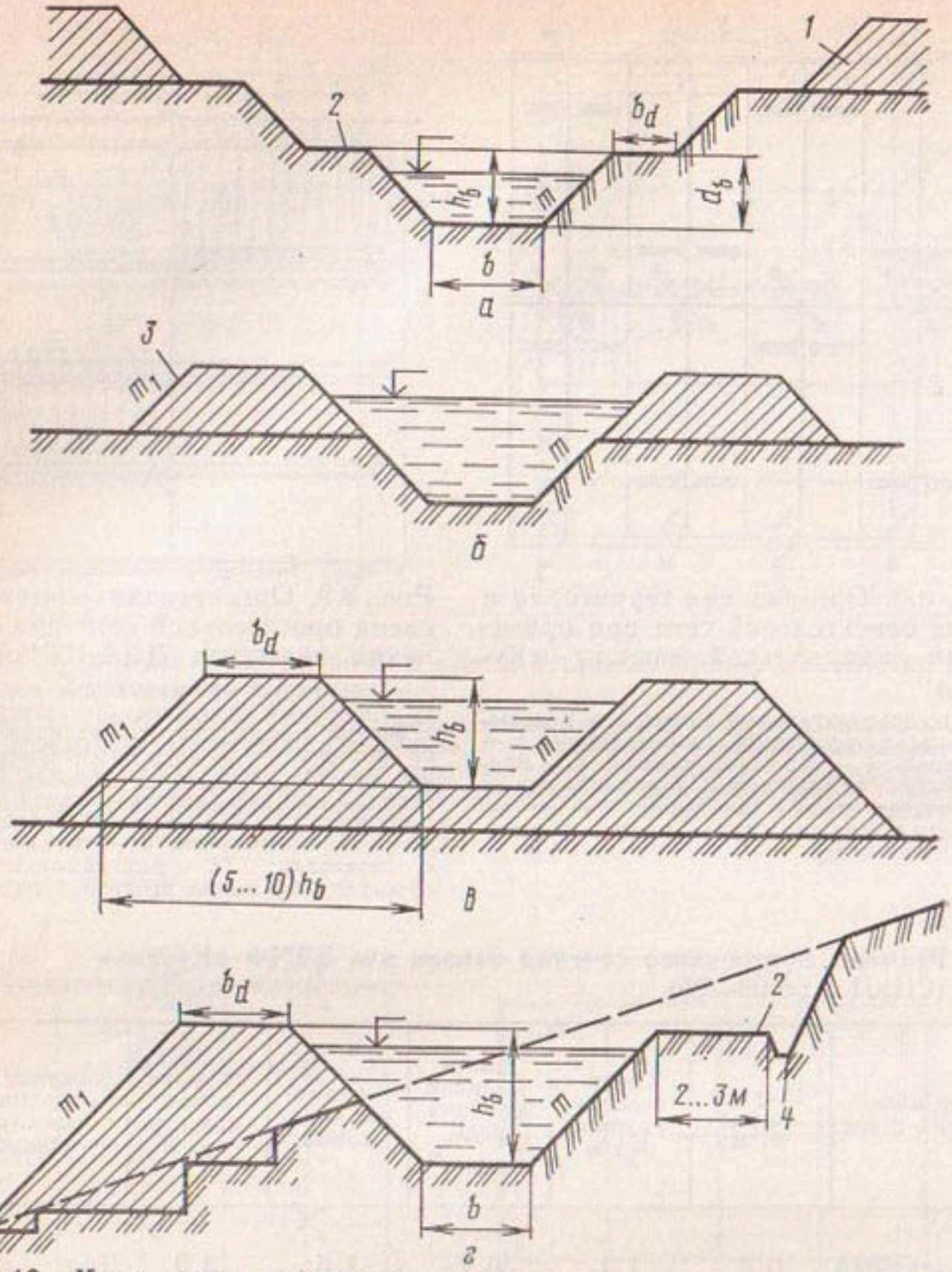


Рис. 8.10. Конструкции каналов:

а — в выемке; *б* — в полувыемке-полунасыпи; *в* — в насыпи; *г* — на склоне; *1* — кавальер; *2* — берма; *3* — дамба; *4* — нагорный канал

8.3.2. АРМАТУРА НА ВРЕМЕННОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Арматура на временной оросительной сети служит для регулирования уровня и расхода воды. К ней относятся перегораживающие щиты, трубчатые водовыпуски, сифоны.

8.11. Размеры перегораживающих щитов, см

Ширина канала по дну	Глубина канала	Ширина щита поверху	Ширина щита понизу	Высота щита
20	25	90	30	35
30	30	110	40	40
40	40	130	50	50
50	45	150	60	55

8.12. Расход воды через трубчатый водовыпуск, л/с

Диаметр трубы водовыпуска, мм	Разность уровней воды, см									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
185	13	18	22	25	29	31	33	36	38	43
243	20	28	34	39	44	49	52	56	59	62
279	26	36	45	52	58	64	68	73	77	82
322	44	64	76	88	98	107	116	124	131	138

Перегораживающие щиты изготавливают переносными из листового железа толщиной 2 мм. Размеры щитов, перегораживающих временные оросители или выводные борозды, даны в таблице 8.11.

Водовыпуски — это сооружения, регулирующие расход воды в оросителях. К ним относятся трубчатые водовыпуски типа «хлопушка» или сифоны. Расход воды через трубчатый водовыпуск зависит от его диаметра и разности уровней воды в оросителях (табл. 8.12).

Пластмассовый сифон предназначен для подачи воды из участкового водораспределителя во временную сеть (табл. 8.13).

8.13. Расход воды через сифоны, л/с

Диаметр сифона, мм	Разность уровней воды, см					
	2	5	10	15	20	30
220	19	30	43	52	60	74
250	25	39	55	67	78	95
280	31	49	69	85	98	119
300	35	56	79	97	112	137

Сифон из полимерно-металлических труб подает воду из участкового водораспределителя во временную оросительную сеть. Заряжают сифон вакуум-насосом. К выходному концу сливного оголовка быстросъемным хомутом прикреплен гибкий мелиоративный шланг с тросиком для регулирования подачи воды.

Техническая характеристика сифонов

Внутренний диаметр сифона, мм	150	250
Расход воды, л/с	10,5...18,5	18,2...42,0
Напор, кПа	0,59...2,16	0,39...1,77
Высота всасывания, м	0,15...0,31	0,20...0,34
Время заполнения сифона водой, с	25...60	50...120
Длина мелиоративного шланга, мм	2500	2500
Размеры, мм:		
длина	4700	4700
высота	1050	1180
Масса, кг:		
сифона	15	24,5
вакуум-насоса	10	10,0

8.3.3. РАСЧЕТНЫЕ РАСХОДЫ ОТКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Расчетный расход воды в канале, подаваемый на севооборотный участок, определяют по уравнению

$$Q_{nt}^{r} = qA_{nt}, \tag{8.12}$$

где q — расчетная ордината графика гидромодуля, л/(с·га); A_{nt} — площадь севооборотного участка нетто, га.

В зависимости от значений ординат графика гидромодуля получают расход нетто максимальный и минимальный:

$$Q_{nt\,max}^{r} = q_{max}A_{nt}^{r}, \tag{8.13}$$

$$Q_{nt\,min}^{r} = q_{min}A_{nt}^{r} \tag{8.14}$$

при условии $q_{min} > 0{,}4q_{max}$.

Расходы воды нетто всех остальных каналов оросительной сети вычисляют через Q_{nt}^{r} в соответствии с общесистемным планом водопользования. При полной водообеспеченности канала старших порядков, включая каналы севооборотных участков, подают воду в течение всего вегетационного периода в соответствии с графиком гидромодуля.

Расчетные расходы внутрихозяйственных каналов определяют исходя из суточной площади полива поля, которая должна соответствовать возможной площади послеполивной его обработки.

Расход воды в распределителе последнего порядка должен быть увязан с сезонной производительностью дождевальной или поливной техники и межполивным периодом ΔT. Площадь суточного полива определяют как

$$A_d = A_v/\Delta T. \tag{8.15}$$

Далее определяют число временных оросителей исходя из их оптимальной длины.

Связь между расходом воды в канале Q_{nt}, работающем периодически, и площадью суточного полива выражается зависимостью

$$Q_{nt} = mA_{nt}/(86{,}4t), \tag{8.16}$$

где m — поливная норма, м³/га; t — время полива, сут; 86,4 — переводной коэффициент, учитывающий число секунд в сутках (86 400).

Расход хозяйственного распределителя равен сумме расходов каналов на севооборотные участки и каналов, подающих воду на участки, занятые монокультурой, садами, виноградниками, на приусадебные участки, то есть

$$Q_{nt}^{хр} = \Sigma Q_{nt}^{r} + \Sigma Q_{nt}^{уч}. \tag{8.17}$$

Расход межхозяйственного распределителя равен сумме расходов хозяйственных каналов, получающих из него воду одновременно,

$$Q_{nt}^{мхр} = \Sigma \bar{Q}_{nt}^{хр}. \tag{8.18}$$

Расход магистрального канала равен сумме расходов межхозяйственных и хозяйственных распределителей и других каналов, получающих из него воду одновременно,

$$Q_{nt}^{мк} = \Sigma Q_{nt}^{мхр} + \Sigma Q_{nt}^{хр}. \tag{8.19}$$

При пропуске воды по каналам часть ее теряется. Для обеспечения подачи расчетного расхода на поле необходимо забирать воду с учетом этих потерь

$$Q_{br} = Q_{nt} + Q_l, \tag{8.20}$$

где Q_l — потери воды из канала, л/с или м³/с.

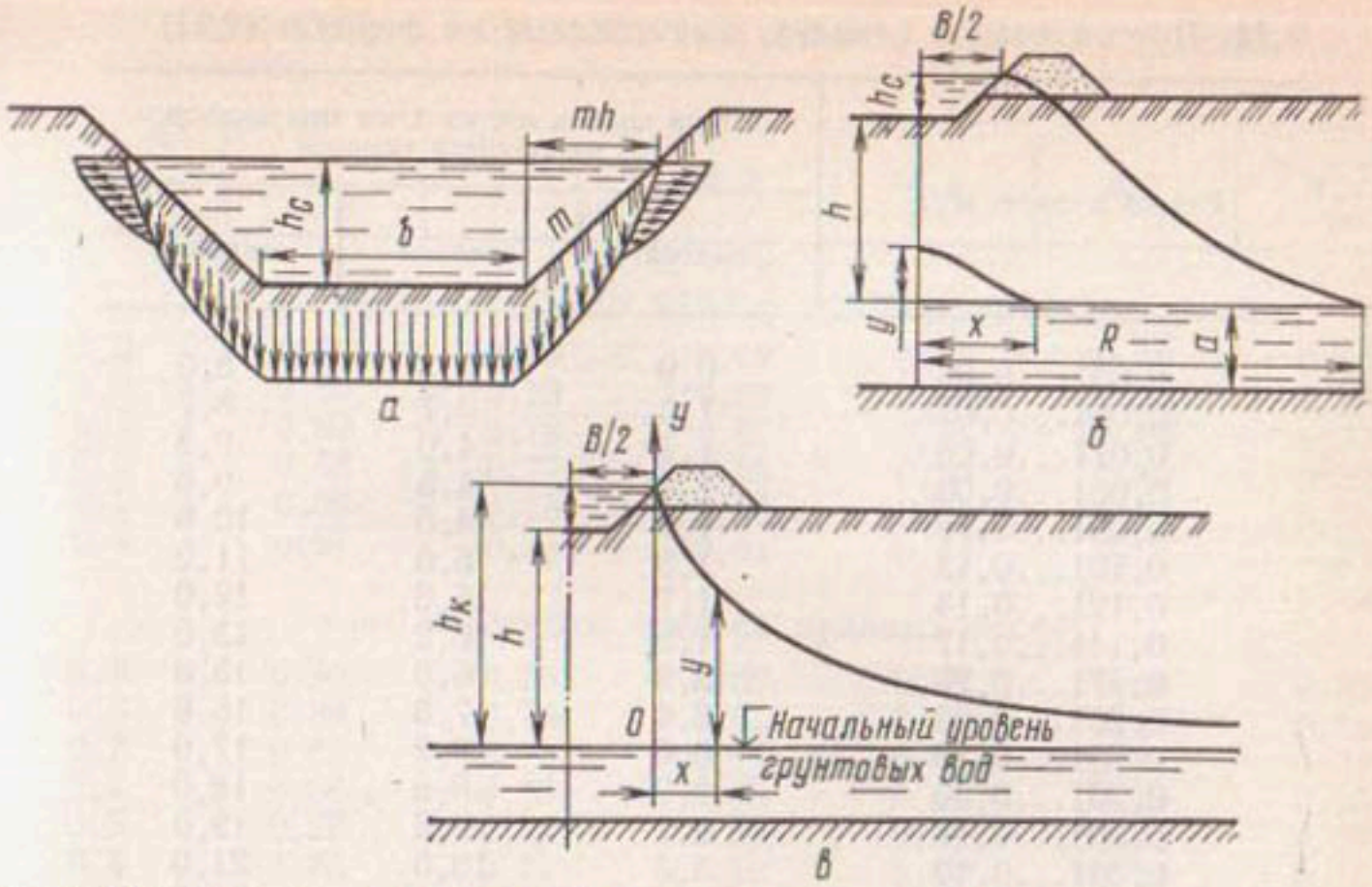


Рис. 8.11. Схемы для расчета фильтрации из каналов

Вода из каналов теряется на испарение (2. . .3 % подаваемого по каналу расхода), на утечки в сооружениях (2. . .5 %) и на фильтрацию. В расчетах обычно учитывают потери воды на фильтрацию и в особых случаях — на испарение.

Для различных стадий проектирования для каналов в земляном русле потери на фильтрацию определяют по-разному и с разной степенью точности.

Для первой стадии проектирования А. Н. Костяков предложил следующий метод определения потерь воды на фильтрацию

$$\sigma = A/Q^m, \tag{8.21}$$

где σ — потери воды на фильтрацию в % от Q на 1 км канала (табл. 8.14); Q — расход воды в конце канала; A и m — коэффициенты, зависящие от водопроницаемости грунта:

Водопроницаемость	Высокая	Средняя	Низкая
A	3,4	1,9	0,7
m	0,5	0,4	0,3

Потери в абсолютных единицах определяют по зависимости

$$Q_l = \sigma Q l/100, \tag{8.22}$$

где l — длина канала, км.

Для стадии рабочего проектирования потери на фильтрацию вычисляют для двух условий залегания грунтовых вод — глубокого при свободной фильтрации и близкого при подпертой фильтрации.

При длительной работе каналов в условиях свободной фильтрации потери вычисляют по следующим формулам (рис. 8.11):

А. Н. Костякова

$$Q_l = 0{,}0116 k h_c (\alpha + 2\gamma \sqrt{1+m^2}); \tag{8.23}$$

Н. Н. Павловского

$$Q_l = 0{,}0116 k (B + 2h_c). \tag{8.24}$$

8.14. Потери воды в каналах, вычисленные по формуле (8.21)

Расход канала, м³/с	Потери воды в л/с на 1 км при водопроницаемости грунтов		
	слабой	средней	сильной
0,051...0,06	0,9	3,3	8,0
0,061...0,07	1,0	3,7	8,7
0,071...0,08	1,1	4,0	9,3
0,081...0,09	1,2	4,3	9,8
0,091...0,10	1,3	4,6	10,0
0,101...0,12	1,5	5,0	11,0
0,121...0,14	1,7	5,6	12,0
0,141...0,17	1,9	6,2	13,0
0,171...0,20	2,2	6,9	15,0
0,201...0,23	2,4	7,6	16,0
0,231...0,26	2,6	8,2	17,0
0,261...0,30	2,9	8,8	18,0
0,301...0,35	3,2	9,6	19,0
0,351...0,40	3,6	10,0	21,0
0,401...0,45	3,8	11,0	22,0
0,451...0,50	4,2	12,0	23,0
0,501...0,60	4,6	13,0	25,0
0,601...0,70	5,2	15,0	27,0
0,701...0,85	5,8	16,0	30,0
0,851...1,00	6,6	18,0	33,0
1,101...1,25	7,1	20,0	36,0
1,251...1,50	8,7	23,0	40,0
1,501...1,75	9,9	26,0	43,0
1,751...2,00	11,0	28,0	46,0
2,001...2,50	12,0	31,0	51,0
2,501...3,00	14,0	35,0	57,0
3,001...3,50	16,0	39,0	62,0
3,501...4,00	18,0	42,0	66,0
4,001...5,00	20,0	47,0	72,0
5,001...6,00	23,0	56,0	80,0
6,001...7,00	26,0	59,0	87,0
7,001...8,00	29,0	62,0	93,0
8,001...9,00	31,0	69,0	99,0
9,001...10,00	34,0	74,0	105,0
10,001...12,00	37,0	81,0	112,0
12,001...14,00	42,0	89,0	122,0
26,001...30,00	72,0	139,0	180,0

При периодической работе каналов Q_l находят по формуле А. Н. Костякова:

$$Q_l = 0{,}0116 \frac{k_0}{t^{\beta}} h_c (\alpha + 2\gamma \sqrt{1+m^2}). \qquad (8.25)$$

При близком залегании уровня грунтовых вод — при подпертой фильтрации потери вычисляют по следующим формулам:

А. Н. Костякова (рис. 8.11, б):

$$Q_l = \frac{nk(h+h_0)}{R}(h+h_c+a); \qquad (8.26)$$

С. Ф. Аверьянова (рис. 8.11, в):

$$Q_l = 0{,}0116 k_1 \gamma_1 \left(1 + 0{,}5\frac{h_k}{B}\right)(B+2h_c), \qquad (8.27)$$

8.15. Значения КПД η_c канала или системы при изменении расхода воды в них

α \ η_c	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
			$m=0,3$ (грунты слабой проницаемости)			
0,9	0,90	0,79	0,69	0,59	0,48	0,38
0,8	0,89	0,79	0,68	0,57	0,46	0,36
0,7	0,89	0,78	0,67	0,55	0,44	0,33
0,6	0,88	0,77	0,65	0,53	0,42	0,30
0,5	0,88	0,75	0,63	0,51	0,38	0,26
0,4	0,87	0,74	0,61	0,47	0,34	0,21
			$m=0,4$ (грунты средней проницаемости)			
0,9	0,90	0,79	0,69	0,58	0,48	0,38
0,8	0,89	0,78	0,67	0,56	0,45	0,34
0,7	0,89	0,77	0,65	0,54	0,42	0,31
0,6	0,88	0,75	0,63	0,51	0,39	0,26
0,5	0,87	0,74	0,60	0,47	0,34	0,21
0,4	0,86	0,71	0,57	0,42	0,28	0,13
			$m=0,5$ (грунты сильной проницаемости)			
0,9	0,90	0,79	0,68	0,58	0,47	0,37
0,8	0,89	0,78	0,66	0,55	0,44	0,33
0,7	0,88	0,76	0,64	0,52	0,40	0,28
0,6	0,87	0,74	0,61	0,48	0,35	0,23
0,5	0,86	0,72	0,58	0,43	0,29	0,15
0,4	0,84	0,68	0,53	0,37	0,21	0,05

где

$$k_1 = k\varepsilon = k\,[(w - w_0)/(A - w_0)]. \qquad (8.28)$$

В формулах 8.23. . .8.28 введены следующие обозначения: k — коэффициент фильтрации грунта, м/сут; γ — коэффициент, учитывающий боковое поглощение воды в откосы канала; m — заложение откосов каналов; α — отношение ширины канала по дну к глубине воды в канале; B — ширина по урезу воды в канале, м; k_0/t^{β} — средняя скорость впитывания воды в почву за период работы канала t; k_0 — средняя скорость впитывания за первую единицу времени, м/ч; β — коэффициент, учитывающий условия впитывания воды в почву; $n=1,5. . .2$; a — активная мощность водоносного пласта, м; h — расстояние от дна канала до поверхности грунтовых вод; k_1 — коэффициент капиллярной проницаемости при полной влагоемкости с учетом защемленного воздуха в порах грунта, м/сут; $\varepsilon<0,5$ — для суглинистых почвогрунтов; γ_1 — коэффициент, учитывающий подпор грунтовых вод; $h_к$ — максимальная высота капиллярного поднятия воды в грунте, м; w — полная влагоемкость грунта, % объема; w_0 — минимальная влажность грунта, % объема; A — порозность грунта, % объема; R — радиус растекания, м; h_c — глубина воды в канале.

Определив потери воды, можно установить КПД каналов из выражения

$$\eta_c = (Q_{nt} - \Sigma Q_l)/Q_{nt}. \qquad (8.29)$$

Коэффициент полезного действия каналов при непрерывной подаче воды переменным током определяют по формуле С. Р. Оффенгендена:

$$\eta_\alpha = (\eta_c + \zeta^m - 1)/\zeta^m, \qquad (8.30)$$

где η_α — искомый КПД; η_c — КПД канала или оросительной системы при максимальном расходе воды; ζ — отношение расхода воды, для которого

подсчитывается коэффициент полезного действия, к максимальному расходу воды в канале или системе; m — показатель степени в формуле (8.21).

Значения η_c в зависимости от водопроницаемости грунта приведены в таблице 8.15.

Расход воды брутто в каналах определяют так:

$$Q_{br} = Q_{nt}/\eta_c; \quad (8.31)$$

$$Q_{b\,max} = Q_{nt\,max}/\eta_c; \quad (8.32)$$

$$Q_{b\,min} = Q_{nt\,min}/\eta_c. \quad (8.33)$$

Расчетным расходом каналов служит Q_{bmax}. Кроме того, каналы рассчитывают на пропуск форсированного расхода воды

$$Q_f = Q_{br} k_f, \quad (8.34)$$

где k_f — коэффициент форсирования:

Расход, м³/с	< 1	1...10	10...50	50...100
k_f	1,2	1,15	1,1	1,05

8.3.4. ЛОТКОВЫЕ КАНАЛЫ

Лотковые каналы — бетонные или железобетонные лотки, установленные на трассе водовода.

Лотки устанавливают со стоечными опорами на фундаментах стаканного типа или на свайных опорах. Оптимальные условия применения лотков: расход воды 100. . .500 л/с, уклон поверхности земли 0,0005. . .0,003. При уклонах выше 0,003 лотки допускается применять при соответствующем технико-экономическом обосновании, если невозможно запроектировать закрытую самотечно-напорную сеть.

При уклонах менее 0,0005 лотки применяют при соответствующем технико-экономическом обосновании в следующих случаях: при сложных топографических и геологических условиях; на участках трасс каналов, проходящих по скальным, сильнофильтрующим и просадочным грунтам;

8.16. Значения параметра p

Глубина лотка, мм	Параметр p		
	внутренняя поверхность лотка	внешняя поверхность лотка	внутренняя поверхность раструба
400, 600, 800	0,2	0,216	0,220
1000	0,35	0,378	0,386

8.17. Параметры лотков

Марка лотка	Основные размеры, мм						
	L	h	h_1	h_2	h_3	b	b_1
ЛР4	5980	400	450	465	540	800	908
ЛРГ4	5980						
ЛР6	5980	600	650	665	755	980	1084
ЛРГ6	5980						
ЛР8	5980	800	860	875	965	1132	1240
ЛРГ8	5980						
ЛР10	5980	1000	1075	1090	1210	1674	1804
ЛРГ10	5980						

Продолжение

Марка лотка	Основные размеры, мм				Расход материала		Масса, т
	b_2	b_3	δ	S	бетона, м³	стали, кг	
ЛР4	940	1058	50		0,430	26,89	1,08
ЛРГ4						14,99	
ЛР6	1114	1228	50	400	0,568	33,95	1,42
ЛРГ6						23,43	
ЛР8	1270	1396	60		0,767	42,65	1,92
ЛРГ8						33,15	
ЛР10	1834	1994	75	700	1,320	68,62	3,31
ЛРГ10						61,04	

на участках каналов, проходящих в насыпи; на косогорных участках, подверженных оползневым явлениям.

Для массового применения в районах с сейсмичностью до 8 баллов рекомендуются лотки параболического сечения с уравнением поверхности $x^2=2py$, где x и y — координаты поверхности лотка, p — параметр (табл. 8.16), а также раструбные ненапряженные (ЛР) и укладываемые в грунт (ЛРГ). Применяют также лотки прямоугольного, полуциркульного и трапецеидального сечения. Параметры лотков приведены в таблице 8.17 и на рисунке 8.12.

Параметры лотков рассчитывают на равномерный режим движения воды при коэффициенте шероховатости $n=0{,}013\ldots0{,}015$.

Расчетный расход воды в лотках определяют по формуле (8.34). Площадь сечения параболического лотка можно находить по следующим формулам:

$$S=\frac{2}{3}Bd_l; \qquad (8.35)$$

$$R=S/\chi, \qquad (8.36)$$

где d_l — глубина воды в лотке, м; B — ширина зеркала воды при глубине d_l, м; χ — смоченный периметр.

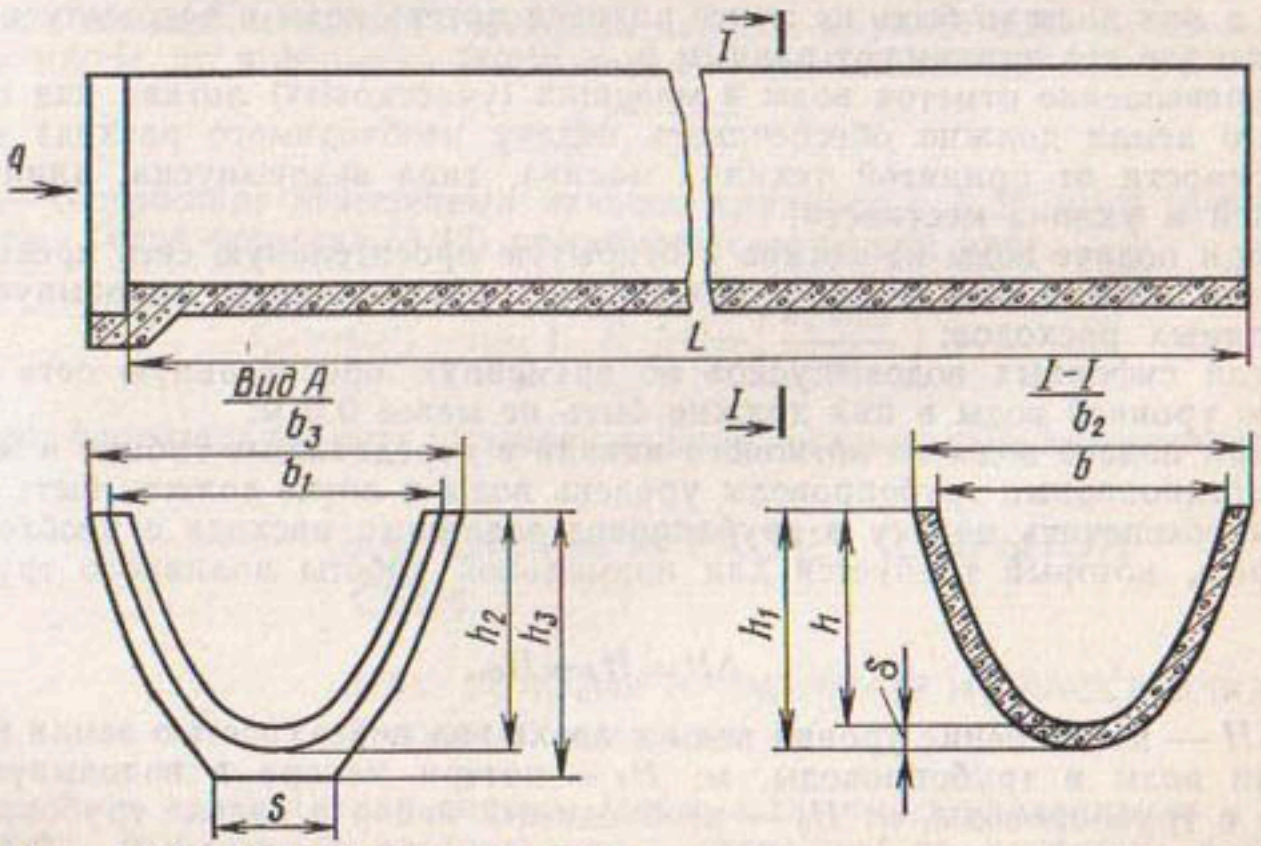


Рис. 8.12. Конструкции лотков

Смоченный периметр вычисляют по формуле

$$\chi = Ad_l; \tag{8.37}$$

$$A = \frac{\alpha^2}{8}\left[\frac{4}{\alpha}\sqrt{1+\frac{16}{\alpha^2}} + \ln\left(\frac{4}{\alpha}+\sqrt{1+\frac{16}{\alpha^2}}\right)\right]; \tag{8.38}$$

$$\alpha = B/d_l. \tag{8.39}$$

Лотковые каналы прокладывают по максимальному уклону местности для уменьшения размеров их поперечного сечения и обеспечения двустороннего командования.

Уклон i и потери напора по длине канала L определяют по формулам

$$i = v^2/(C^2R) = Q^2/(S^2C^2R) = Q^2/K^2; \tag{8.40}$$

$$L = il\frac{Q^2}{S^2C^2R}l = \frac{Q^2}{K^2}l, \tag{8.41}$$

где K — расходная характеристика (или модуль расхода)

$$K = SC\sqrt{R} = Q/\sqrt{i}. \tag{8.42}$$

Строительную глубину лотка h_l для каждого отдельного участка (с разными Q или i) подбирают из условия

$$h_l \geqslant d_l + \Delta h, \tag{8.43}$$

где Δh — запас высоты бортов лотка над уровнем воды при пропуске максимально установленного расхода.

При использовании на лотковой сети автоматических регуляторов уровня глубина лотка должна удовлетворять условию

$$h_l > d_l + H_f + \Delta h_1, \tag{8.44}$$

где H_f — гидравлические потери в автоматическом регуляторе при пропуске расчетного расхода, см; Δh_1 — превышение борта лотка над максимальным уровнем воды, принимаемое равным 5 см.

При проектировании лотковой оросительной сети расчетные отметки поверхности воды устанавливают в точках, где происходит выпуск воды из старших лотковых каналов в младшие, соблюдая следующие условия:

при выпуске воды из старших лотков в младшие превышение отметок воды в них должно быть не менее размера потерь воды в водовыпуске, конструктивно его принимают равным 5. . .10 см;

превышение отметок воды в младших (участковых) лотках над поверхностью земли должно обеспечивать подачу необходимого расхода воды в зависимости от принятой техники полива, типа водовыпуска, длины оросителей и уклона местности;

при подаче воды из лотков в открытую оросительную сеть превышение уровней воды в них должно обеспечивать пропуск через водовыпуски необходимых расходов;

для сифонных водовыпусков во временную оросительную сеть превышение уровней воды в них должно быть не менее 0,5 м;

при подаче воды из лоткового канала в передвижные гибкие и жесткие или стационарные трубопроводы уровень воды в лотке должен быть таким, чтобы обеспечить подачу в трубопровод заданного расхода с необходимым напором, который требуется для нормальной работы поливного трубопровода,

$$\Delta H = H_f - H_0, \tag{8.45}$$

где ΔH — превышение уровня воды в лотке над поверхностью земли в месте подачи воды в трубопроводы, м; H_f — потери напора в водовыпуске из лотка в трубопроводы, м; H_0 — необходимый напор в начале трубопровода, обеспечивающий нормальную работу, м, принимается равным 2. . .3 диаметрам поливного трубопровода;

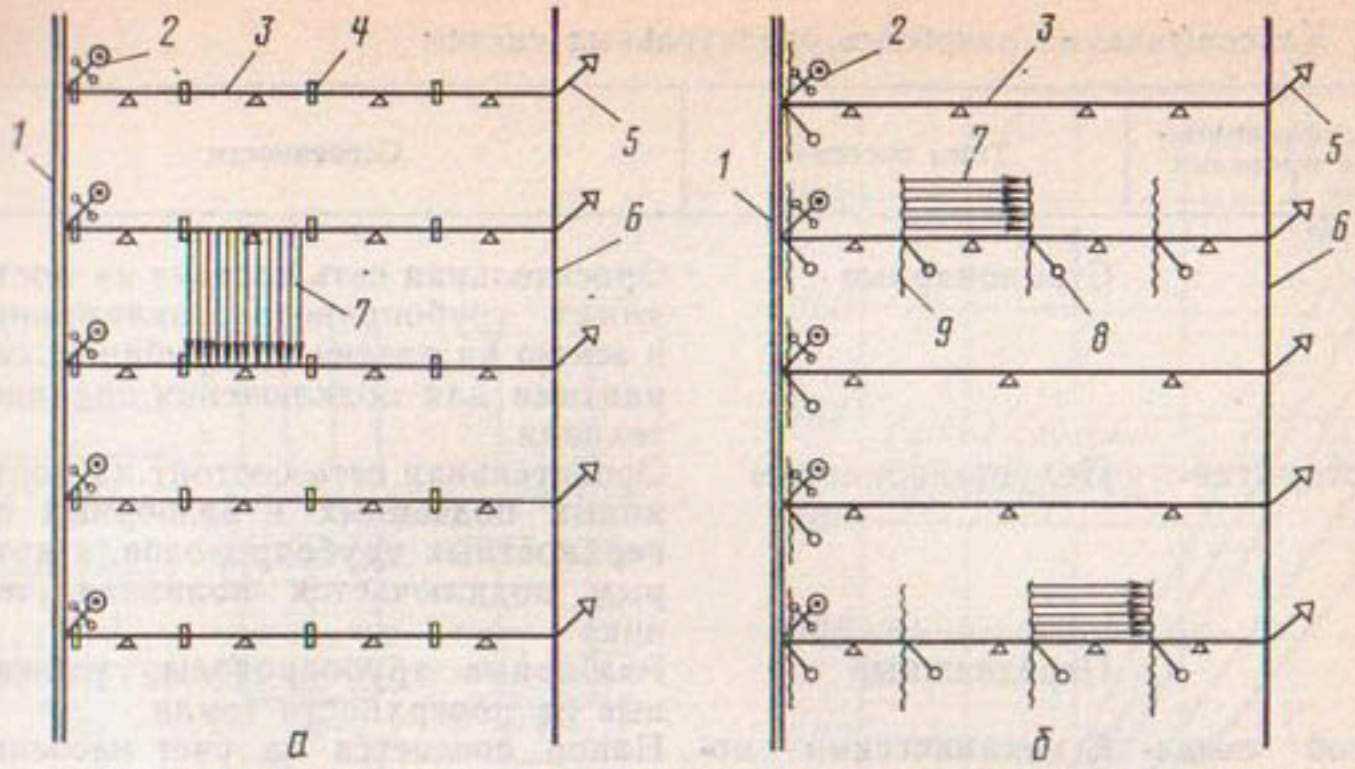


Рис. 8.13. Организация территории и схема оросительной лотковой сети:

а — полив по бороздам при поперечной схеме с применением автоматизированных поливных лотков; *б* — полив по бороздам при продольной схеме из лотков и передвижных трубопроводов; *1* — лотковый распределитель; *2* — водовыпуск в ороситель с переездом; *3* — лотковый ороситель; *4* — автоматический затвор с регулятором уровня; *5* — концевой сброс из оросители; *6* — сбросной канал; *7* — направление полива; *8* — водовыпуск в передвижные поливные трубопроводы; *9* — передвижные поливные трубопроводы

максимальная скорость течения воды не должна превышать 6 м/с, минимальную назначают из условия обеспечения транспортирования наносов.

Для определения критической незаиляющей скорости воды в лотке используют формулу И. И. Леви:

$$v_{cr} = 0{,}01 \frac{\omega}{\sqrt{d_m}} \sqrt{R} \left(\frac{0{,}0225}{n}\right), \qquad (8.46)$$

где v_{cr} — критическая незаиляющая скорость, м/с; ω — гидравлическая крупность частиц взвешенных наносов среднего диаметра, мм/с; d_m — средний диаметр преобладающей массы частиц взвешенных наносов, мм; n — коэффициент шероховатости.

Если насыщение потока частицами наносов крупнее 0,25 мм превышает 0,01 % массы, то в формулу (8.46) вводят дополнительный коэффициент

$$d = \sqrt[4]{p/0{,}01}, \qquad (8.47)$$

где p — содержание взвешенных наносов крупностью 0,25 мм в процентах от массы. Тогда формула (8.47) принимает следующий вид:

$$v_{cr} = 0{,}01 \frac{\omega}{\sqrt{d_m}} \sqrt{R} \frac{\sqrt[4]{p}}{0{,}01} \left(\frac{0{,}0225}{n}\right). \qquad (8.48)$$

Схема оросительной сети с лотковыми каналами показана на рисунке 8.13

8.4. СХЕМЫ И РАСЧЕТ ЗАКРЫТОЙ СЕТИ

8.4.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМ

Закрытая оросительная система (табл. 8.18) имеет проводящую и регулирующую внутрихозяйственную сеть, состоящую из напорных и безнапорных трубопроводов (табл. 8.19) и сооружений на них.

8.18. Классификация закрытых оросительных систем

Классификационные признаки	Типы системы	Особенности
Конструктивные	Стационарные	Оросительная сеть состоит из постоянных трубопроводов, заложенных в землю на различной глубине с гидрантами для подключения поливной техники
	Полустационарные	Оросительная сеть состоит из постоянных подземных и разборных поверхностных трубопроводов, к которым подключается поливная техника
	Передвижные	Разборные трубопроводы, уложенные на поверхности земли
Способ создания напора	С механической подачей	Напор создается за счет насосных станций
	Самонапорные	Транспортирование воды за счет естественного уклона местности более 0,003
Место создания напора	Со сосредоточенным напором	Напор создается в одной точке — в голове системы при помощи насосных станций
	С рассредоточенным напором	Напор создается в нескольких точках

На закрытых оросительных системах применяют все способы орошения.

Для трубчатой оросительной сети при укладке в землю желательно использовать напорные неметаллические трубы — железобетонные, асбестоцементные, пластмассовые.

Стальные трубы укладывают на участках с расчетным внутренним давлением более 1,5 МПа, при устройстве переходов под железными и автомобильными дорогами, через водные преграды и овраги, при прокладке трубо-

8.19. Классификация трубопроводов закрытых оросительных систем

Функциональный признак	Трубопровод	Определение
По назначению	Магистральный	Главный водопроводящий трубопровод, по которому вода из источника орошения подается на орошаемую площадь
	Распределительный	Предпоследнее звено закрытых оросительных систем, распределяющих воду по поливным трубопроводам
	Поливной	Трубопровод последнего порядка, из которого вода поступает непосредственно в поливную технику или распределяется на орошаемой площади
По устройству	Закрытый	Трубопровод, уложенный в землю
	Открытый	Трубопровод, уложенный по поверхности земли
	Разборный	Трубопровод, соединяемый с помощью быстроразборных соединений и укладываемый стационарно на сезон или перемещаемый в процессе полива

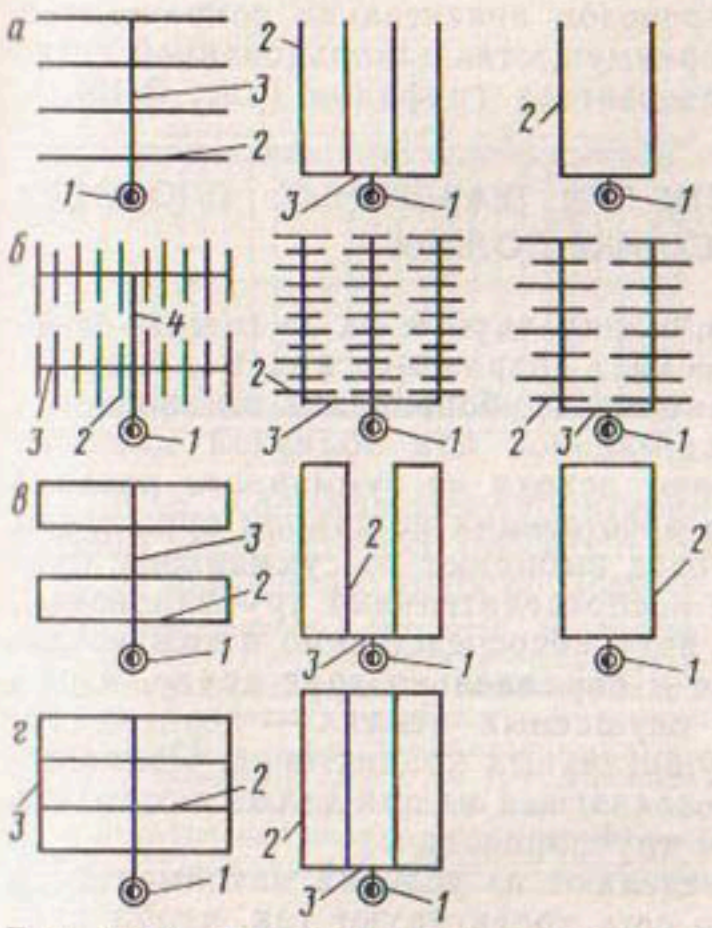


Рис. 8.14. Типовые схемы закрытых оросительных систем:
а — Т-образная, Ш-образная и П-образная; *б* — тупиковой сети; *в* — попарно-закольцованной сети; *г* — полностью закольцованной сети; *1* — насосная станция; *2* — поливной трубопровод; *3* — распределительный трубопровод; *4* — магистральный трубопровод

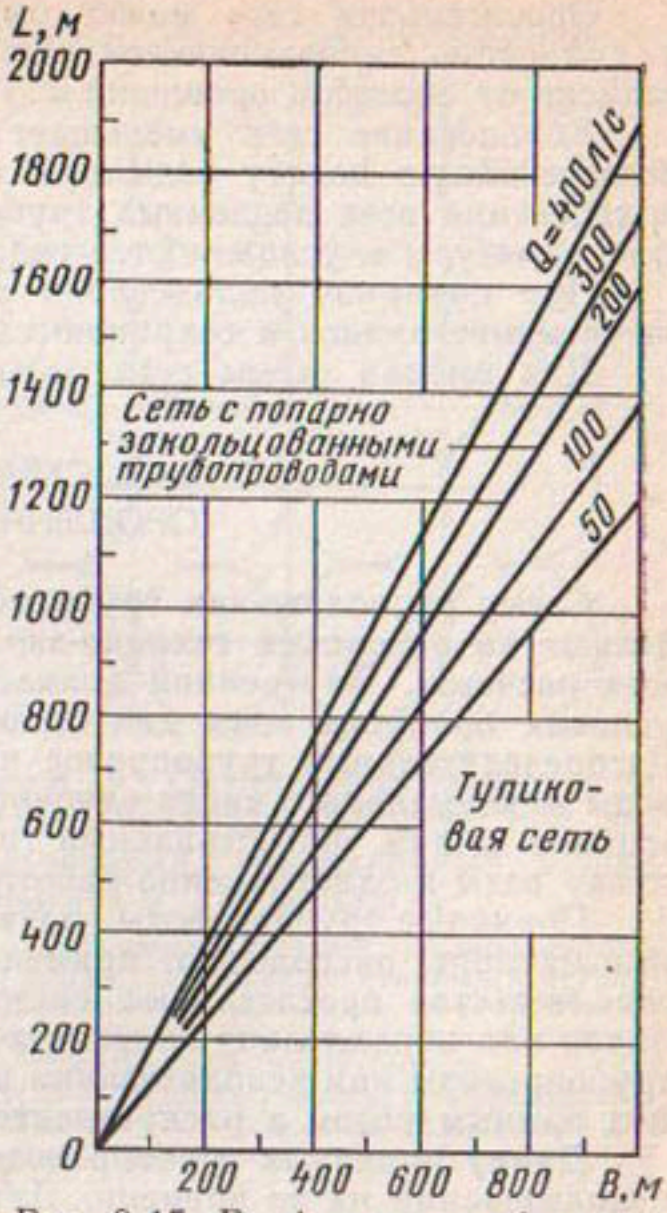


Рис. 8.15. График для выбора наивыгоднейшей [схемы расположения подземных трубопроводов

проводов по автодорожным и городским мостам, по опорам эстакад и в тоннелях.

Глубину заложения трубопроводов, считая от верха трубы, принимают не более 2 м. В зоне отрицательных температур материал труб и элементов стыковых соединений должен быть морозостойким. Трубопроводы, испытывающие воздействие наземного транспорта, следует укладывать на глубину не менее 1 м.

Для обеспечения нормальной работы закрытой оросительной сети применяют запорную, регулирующую и предохранительную арматуру. На трубопроводах диаметром 500 мм и более при технико-экономическом обосновании допускается устанавливать затворы на один типоразмер меньше. При жесткой установке арматуры на сварных трубопроводах и в условиях возможной просадки грунта по трассе трубопровода арматуру необходимо устанавливать с монтажными компенсаторами (вставками).

При укладке трубопроводов следует предусматривать возможность опорожнения их на зиму самотеком или с механической откачкой воды. Уклон трубопроводов к месту опорожнения должен быть не менее 0,001.

По расположению подземных трубопроводов в плане различают Т-, Ш- и П-образную схемы (рис. 8.14). Если участок имеет квадратную или близкую к ней форму, то наиболее оптимальной по расходу труб и капитальным вложениям будет Т-образная, затем Ш-образная и на последнем месте П-образная схема. Если участок вытянут от водоисточника или расположен вдоль него, то наиболее целесообразны Т- и П-образная схемы.

Оросительная сеть может быть тупиковой, попарно закольцованной и полностью закольцованной. Выбор типа планового расположения сети зависит от способов орошения и техники полива.

Кольцевание сети уменьшает диаметр трубопроводов и обеспечивает бесперебойную подачу воды при авариях. В то же время при сплошном кольцевании всех подземных трубопроводов возрастают их длина, количество арматуры и усложняются гидравлические расчеты сети.

При попарном кольцевании трубопроводов значительно сокращаются затраты материалов и сохраняются все преимущества закольцованной сети.

Для выбора схемы сети можно пользоваться графиком (рис. 8.15).

8.4.2. СХЕМЫ СЕТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОРОШЕНИЯ И ТЕХНИКЕ ПОЛИВА

Схему расположения трубопроводов, марку труб и их диаметры определяют на основании технико-экономических, гидравлических и прочностных расчетов. Внутренний диаметр поливных трубопроводов выбирают из условия пропуска воды для одной дождевальной или поливной машины. Распределительный трубопровод подбирают исходя из суммарного расхода воды максимального числа одновременно работающих на данном орошаемом массиве машин. Магистральный трубопровод выбирают по суммарному пропуску воды в одновременно работающих распределительных трубопроводах.

Поливные трубопроводы, подающие воду непосредственно в дождевальные машины, располагают прямолинейно и параллельно друг другу, а при строительстве оросительных систем на осушаемых землях — перпендикулярно или параллельно направлению осушительных коллекторов. Поливные трубопроводы при использовании широкозахватных машин должны отходить под прямым углом к распределительным трубопроводам.

Длину поливных трубопроводов определяют из условия максимального использования их во времени. Для этого сеть проектируют так, чтобы площадь, примыкающая к данному поливному трубопроводу, была кратной

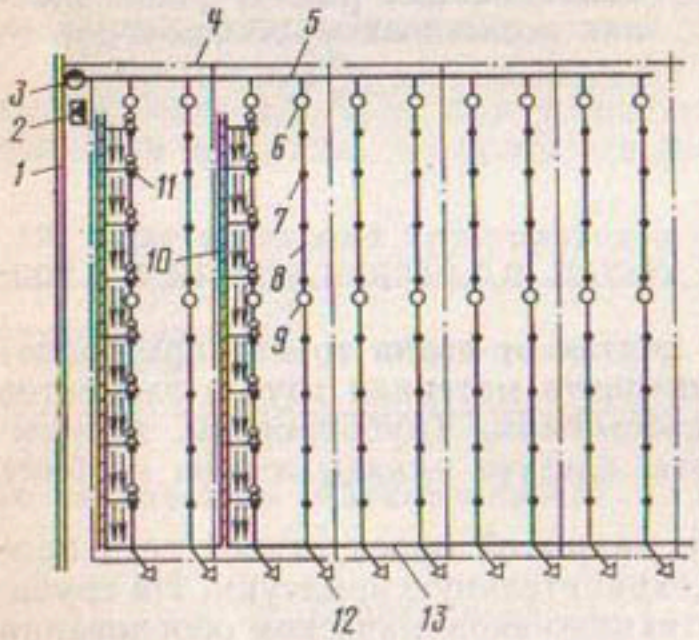


Рис. 8.16. Организация территории и схема оросительной сети с применением АШУ-32:

1 — внутрихозяйственный распределитель в монолитной облицовке; *2* — трансформаторная подстанция; *3* — насосная станция; *4* — граница участка; *5* — трубчатый распределитель; *6* — колодец с регулятором давления; *7* — гидрант; *8* — трубчатый оросите; *9* — ремонтный колодец; *10* — площадь одновременного полива; *11* — поливное устройство АШУ-32; *12* — концевой сброс из оросителя; *13* — сбросной канал

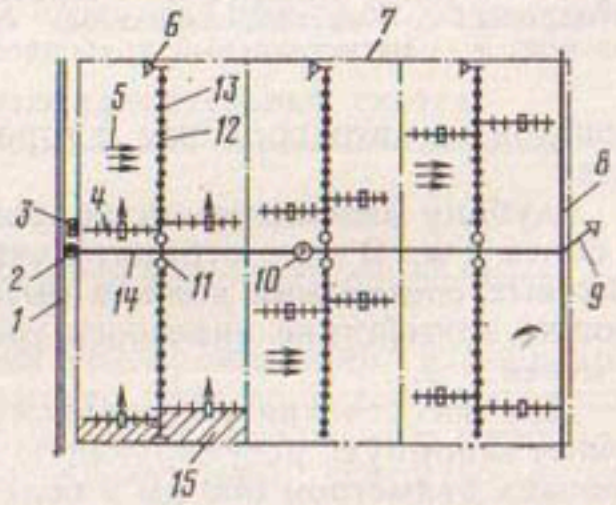


Рис. 8.17. Организация территории и схема оросительной сети с применением поливного колесного трубопровода ТКП-90:

1 — распределитель в монолитной облицовке; *2* — насосная станция; *3* — трансформаторная подстанция; *4* — поливное крыло ТКП-90; *5* — направление полива; *6* — гидрант с вантузом; *7* — граница участков; *8* — сбросной канал; *9* — концевой сброс на сбросном канале; *10* — ремонтный колодец; *11* — колодец с регулятором давления; *12* — трубчатый ороситель; *13* — гидрант; *14* — трубчатый распределитель; *15* — политая площадь

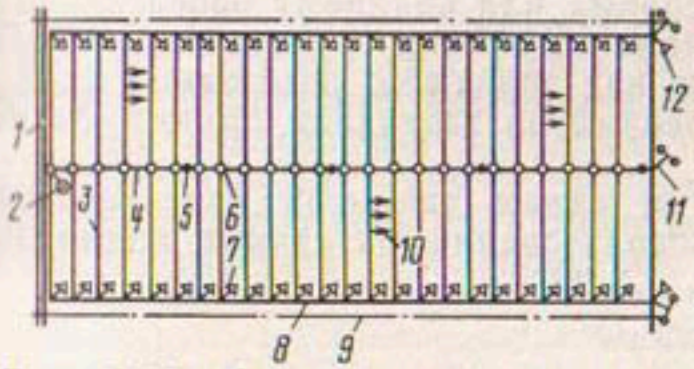


Рис. 8.18. Организация территории и схема самонапорной оросительной сети с поливными трубопроводами:

1 — распределитель в бетонной облицовке; *2* — водовыпуск в ороситель; *3* — стационарный поливной перфорированный трубопровод; *4* — трубчатый ороситель; *5* — ремонтный колодец; *6* — распределительный колодец; *7* — концевой сброс из трубопровода; *8* — сбросной канал; *9* — граница участка; *10* — направление полива; *11* — трубчатый переезд; *12* — концевой сброс из сбросного канала

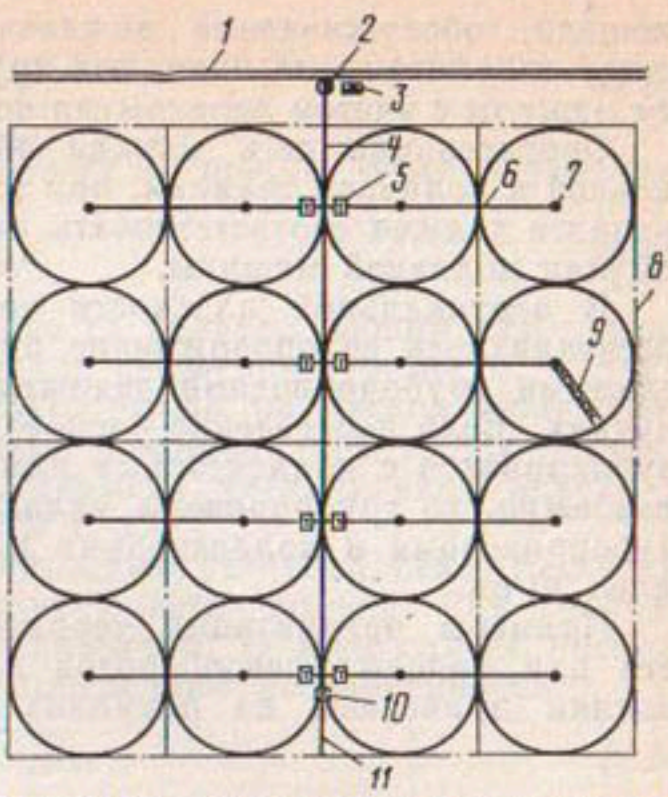


Рис. 8.19. Организация территории и схема оросительной сети при использовании дождевальных машин «Фрегат» и «Кубань-ЛК»:

1 — внутрихозяйственный распределительный канал; *2* — насосная станция; *3* — трансформаторная подстанция; *4* — трубчатый распределитель; *5* — ремонтная задвижка; *6* — оросительный трубопровод; *7* — гидрант; *8* — граница участка; *9* — дождевальная машина; *10* — сбросная задвижка; *11* — сбросной трубопровод

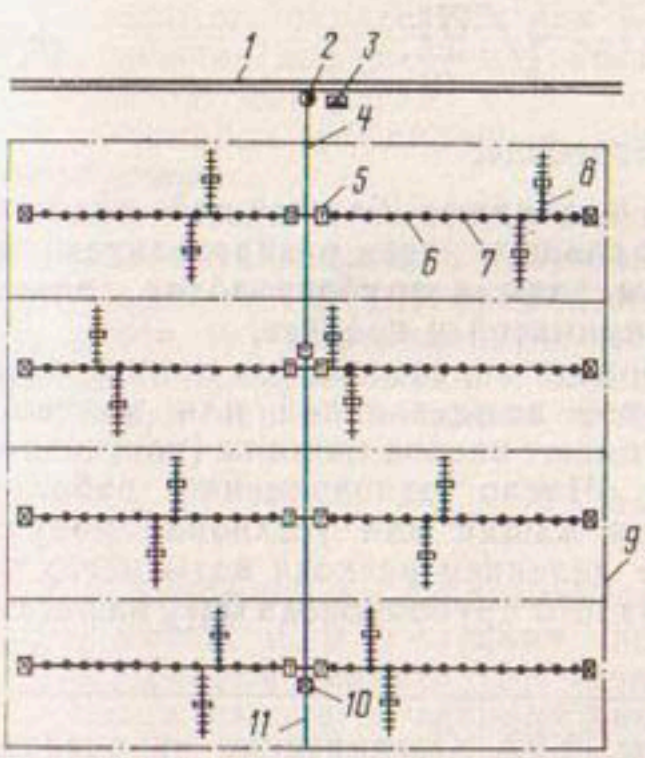


Рис. 8.20. Организация территории и схема оросительной сети при использовании дождевальных машин ДКШ-64 «Волжанка»; ДКГ-80 «Ока» и ДКН-80:

1 — внутрихозяйственный оросительный канал; *2* — насосная станция; *3* — трансформаторная подстанция; *4* — распределительный трубопровод; *5* — ремонтная задвижка; *6* — гидрант; *7* — оросительный трубопровод; *8* — дождевальное крыло машины; *9* — граница участка; *10* — сбросная задвижка; *11* — сбросной трубопровод

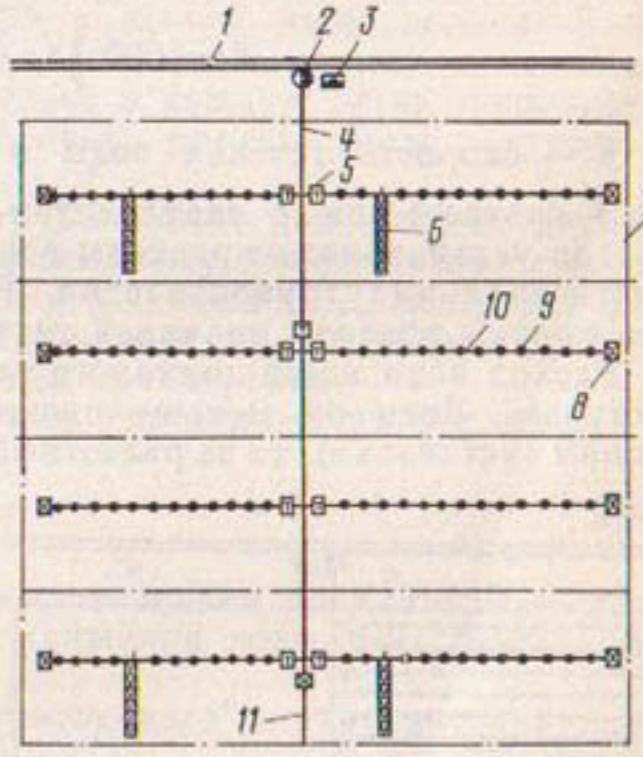


Рис. 8.21. Организация территории и схема оросительной сети при использовании дождевальной машины «Днепр»:

1 — внутрихозяйственный оросительный канал; *2* — насосная станция; *3* — трансформаторная подстанция; *4* — распределительный трубопровод; *5* — ремонтная задвижка; *6* — дождевальная машина; *7* — граница участка; *8* — сбросная задвижка; *9* — гидрант; *10* — оросительный трубопровод; *11* — сбросной трубопровод

площади, обслуживаемой дождевальной машиной за сезон. Расстояние между гидрантами на поливных трубопроводах равно ширине захвата дождем машины с учетом перекрытия политой площади.

Оросительная сеть должна обеспечивать нормальную работу дождевальной и поливной техники, при этом свободный напор на самом удаленном гидранте должен соответствовать паспортному значению напора дождевальной или поливной машины.

В вертикальной плоскости сеть проектируют таким образом, чтобы обеспечивалось ее опорожнение при осушении земель, пересечение оросительными трубопроводами закрытых дрен допускается в исключительных случаях. Если пересечение распределительных или поливных оросительных трубопроводов с коллекторами или дренами на землях грунтового питания неизбежно, то трубопроводы укладывают над дренажем, расстояние между трубопроводами и коллекторами или дренами по вертикали принимают не менее 20 см.

Примеры организации территории и схемы закрытой оросительной сети для типовых севооборотов при использовании различной поливной техники приведены на рисунках 8.16. . .8.22.

8.4.3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЕТИ

При гидравлическом расчете закрытой оросительной сети в первую очередь устанавливают расход воды нетто Q_{nt} в последнем звене сети — поливном трубопроводе. Он зависит от размера орошаемого участка A, поливной нормы m и продолжительности полива или максимальной ординаты гидромодуля и определяется по формуле (8.16).

Расчет проводят на основании укомплектованного графика гидромодуля. Расход воды брутто вычисляют по формуле (8.31).

Предварительно диаметр трубопровода определяют по расходу воды брутто

$$d = 1000\sqrt{\frac{4Q_s}{[\pi v]}} = 1130\sqrt{\frac{Q_s}{v}}, \qquad (8.49)$$

где v — скорость течения воды в трубопроводе.

В соответствии с сортаментом труб подбирают ближайший диаметр. Сначала устанавливают расходы воды в поливных, затем распределительных и магистральных трубопроводах. Расходы воды в трубопроводах должны быть кратны расходу поливной техники, принятой в проекте.

Расход воды нетто поливного трубопровода определяют по приведенным формулам. Если он меньше расхода одной дождевальной или поливной машины (установки), то за расчетный принимают расход машины (установки).

Число одновременно работающих машин или установок получают делением расхода воды нетто поливного трубопровода Q_{ntp} на расход

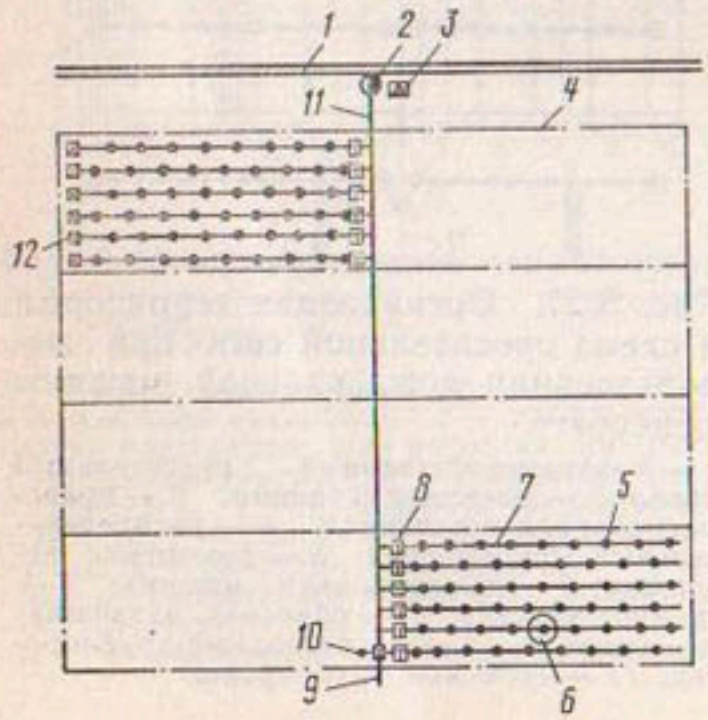


Рис. 8.22. Организация территории и схема оросительной сети при использовании дождевальных машин ДДН-70 и ДДН-100:

1 — внутрихозяйственный оросительный канал; *2* — насосная станция; *3* — трансформаторная подстанция; *4* — граница участка; *5* — гидрант; *6* — дождевальная машина; *7* — оросительный трубопровод; *8* — ремонтная задвижка; *9* — сбросной трубопровод; *10* — колодец для сбросной задвижки с вантузом; *11* — распределительный трубопровод; *12* — колодец для сбросной задвижки

машины или установки

$$n_1 = Q_{ntp}/Q_м. \tag{8.50}$$

Результат округляют в большую сторону до целого числа и уточняют Q_{ntp} по формуле

$$Q_{ntp} = Q_м n. \tag{8.51}$$

При работе на поливном трубопроводе нескольких машин или установок диаметр его принимают переменным для снижения стоимости. Сначала определяют диаметр концевой части трубопровода на расход воды одной машины. На участке, обслуживаемом одной машиной, он остается постоянным. Там, где работает вторая машина, диаметр увеличивают, исходя из условия обеспечения водой двух машин и т. д.

При кольцевании поливных трубопроводов устанавливают расчетные расходы воды, поступающие в одну и другую ветвь кольца. Как правило, закольцованную сеть принимают одного диаметра. В этом случае расходы воды по участкам закольцованной сети определяют по зависимости

$$Q_2/Q_1 = \sqrt{l_1/l_2}, \tag{8.52}$$

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

$$Q_1 + Q_2 = Q, \tag{8.53}$$

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

Следовательно,

$$Q_1 = Q\left(1 + \sqrt{\frac{l_1}{l_2}}\right). \tag{8.54}$$

Расчетные расходы, проходящие по закольцованной паре поливных трубопроводов, определяют для наиболее удаленной точки кольца. В этом случае обычно длины обеих ветвей кольца близки и их можно принимать равными. Отсюда расход воды, поступающей в каждую ветвь закольцованного поливного трубопровода, равен половине расхода воды в тупиковом трубопроводе.

Расход воды в распределительном трубопроводе равен сумме расходов поливных трубопроводов, получающих из него воду в соответствии с планом водопользования и коэффициентом полезного действия. Диаметр распределительного трубопровода принимают переменным на основании расчета. Аналогично рассчитывают и магистральный трубопровод.

Потери напора по длине трубопроводов определяют по формуле

$$h = \lambda \frac{lv^2}{2gd} \tag{8.55}$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления по длине; l — длина трубопровода, м; v — средняя скорость движения воды, м/с; $g = 9{,}81$ м/с^2; d — внутренний диаметр трубопровода, м.

Потери напора на единицу длины трубопровода (гидравлический уклон)

$$i = h/l = \lambda \frac{v^2}{2gd}. \tag{8.56}$$

Потери напора определяют по следующим формулам:
для старых стальных и чугунных труб
при $v \geqslant 1{,}2$ м/с

$$i = 0{,}00107 \frac{v^2}{d^{1,3}}; \tag{8.57}$$

при $v < 1{,}2$ м/с

$$i = 0{,}000912 \frac{v^2}{d^{1,19}} \left(1 + \frac{0{,}861}{v}\right)^{0,3}; \tag{8.58}$$

для асбестоцементных труб

$$i = 0{,}000561\frac{v^2}{d^{1,19}}\left(1+\frac{3{,}51}{v}\right)^{0,3}; \qquad (8.59)$$

для железобетонных труб
при $v \geqslant 1{,}23$ м/с

$$i = 0{,}00109\frac{v^2}{d^{1,254}}; \qquad (8.60)$$

при $v < 1{,}23$ м/с

$$i = 0{,}0008\frac{v}{d^{1,254}}\left(1+\frac{2}{v}\right)^{0,254}; \qquad (8.61)$$

для пластмассовых труб

$$i = 0{,}000685\frac{v^{1,774}}{d^{1,226}}; \qquad (8.62)$$

для труб из алюминиевых сплавов со сварными швами

$$i = 0{,}000492\frac{v^{1,351}}{d^{1,267}}. \qquad (8.63)$$

Местные потери напора в задвижках, поворотах, сужениях, расширениях, при делении потока в тройниках и крестовинах определяют по формуле

$$H_l = \zeta\frac{v^2}{2g}, \qquad (8.64)$$

где ζ — коэффициент местных сопротивлений, определяемый по справочникам для гидравлических расчетов.

При расчете оросительной сети с механической подачей воды необходимо установить расчетный напор в любой точке, с тем чтобы выбрать материал труб в соответствии с расчетным давлением.

Напор в голове оросительной системы находят по формуле

$$H = H_{hz} + H_0 + \Sigma H_L + \Sigma H_l, \qquad (8.65)$$

где H_{hz} — геодезическая высота подъема воды от водоисточника для самого удаленного или наиболее высоко расположенного гидранта оросительной сети; H_0 — свободный напор на гидранте, определяемый в соответствии с паспортом принятой в проекте дождевальной или поливной машины; ΣH_L — суммарные потери напора по длине трубопровода; ΣH_l — суммарные местные потери напора.

В соответствии с данной формулой определяют расчетные напоры в голове всех распределительных и поливных трубопроводов для выбора материала труб всех звеньев сети (рис. 8.23).

Самонапорные системы проектируют на участках, уклон поверхности которых превышает 0,002...0,003, что необходимо для движения воды

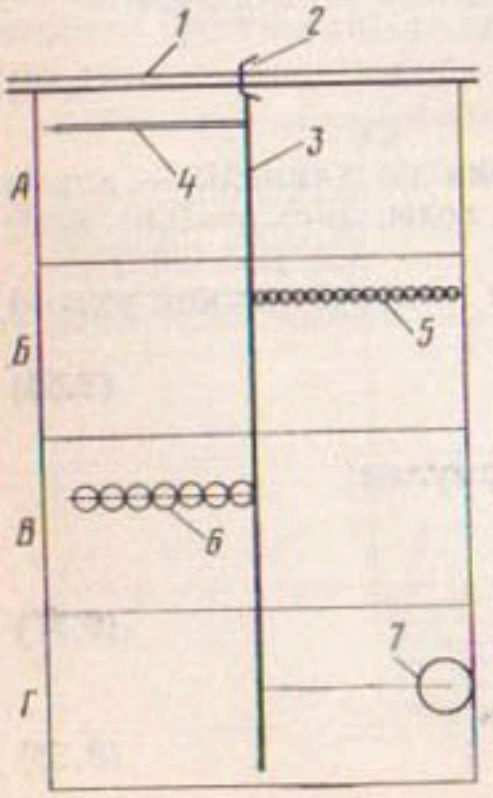


Рис. 8.23. Схема зонирования самонапорных трубопроводов.

Зоны: *А* — поверхностного полива по бороздам; *Б* — короткоструйных дождевальных машин; *В* — среднеструйных дождевальных машин; *Г* — дальнеструйных дождевальных машин; *1* — внутрихозяйственный канал; *2* — водовыпуск в распределительный трубопровод; *3* — распределительный трубопровод; *4* — гибкий трубопровод для полива по бороздам; *5* — короткоструйная дождевальная машина; *6* — среднеструйная дождевальная машина; *7* — дальнеструйная дождевальная машина

по трубопроводам и выхода ее на поверхность под напором, создаваемым превышением естественного падения местности над потерями напора по длине трубопровода, то есть при условии

$$iL > \Sigma h, \tag{8.66}$$

где L — длина трубопровода.

Минимальный уклон, при котором можно проектировать самонапорные системы, зависит от расхода воды, напора в рабочий период и условий работы трубопровода и определяется по следующим формулам:

для асбестоцементных трубопроводов

$$i_{lim} = (5{,}1 \cdot 10^{-5} H + 4{,}05 \cdot 10^{-3})\, Q^{0{,}116} T^{-0{,}35} k_n k_\gamma; \tag{8.67}$$

для полиэтиленовых трубопроводов

$$i_{lim} = (21{,}7 \cdot 10^{-5} H + 4{,}05 \cdot 10^{-3})\, Q^{0{,}14} T^{-0{,}347} k_n k_\gamma; \tag{8.68}$$

для железобетонных трубопроводов

$$i_{lim} = 0{,}12 Q^{0{,}235} T^{-0{,}7} k_n k_\gamma; \tag{8.69}$$

для стальных трубопроводов

$$i_{lim} = 0{,}0227 Q^{-0{,}6} T^{-0{,}765} k_\gamma; \tag{8.70}$$

для чугунных трубопроводов

$$i_{lim} = 0{,}389 Q^{-0{,}825} T^{-0{,}85} k_\gamma, \tag{8.71}$$

где T — рабочий период трубопровода, сут; $k_n = 1{,}0$ — коэффициент пропорциональности; $k_\gamma = 1{,}05 \ldots 1{,}1$ — коэффициент условия работы.

При проектировании самонапорной сети необходимо предусмотреть свободный напор на гидранте, обеспечивающий нормальную работу поливной

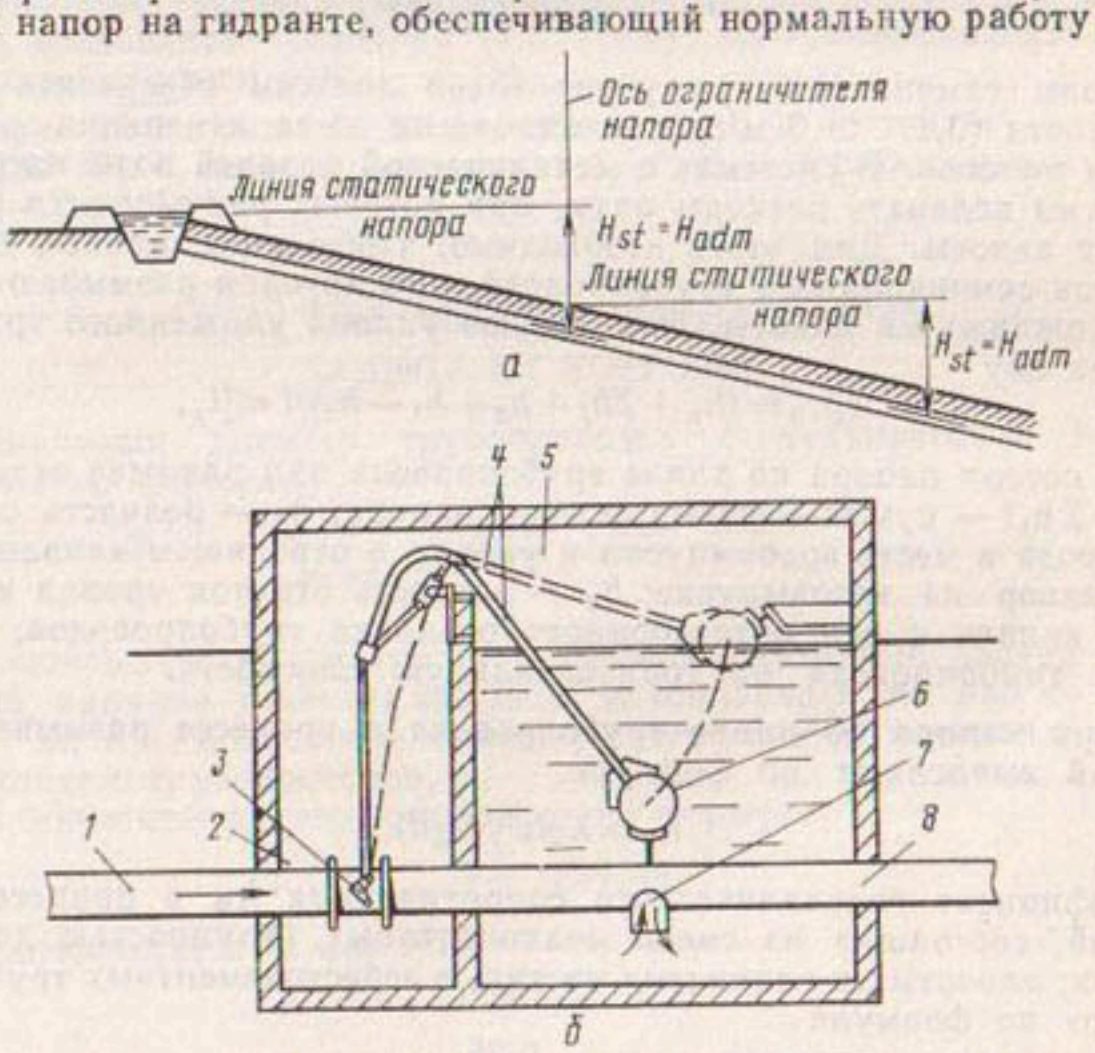


Рис. 8.24. Схема для определения места установки ограничителя напора (*а*) и конструкция ограничителя (*б*):

1 — вышерасположенный трубопровод; *2* — сухой колодец; *3* — дроссель; *4* — система рычагов для передачи усилий от поплавка на дроссельный затвор; *5* — мокрый колодец; *6* — поплавок; *7* — патрубок-отвод; *8* — нижерасположенный (отводящий) трубопровод

техники,

$$H_0 = H_{st} - \Sigma H, \tag{8.72}$$

где H_{st} — статический напор на гидранте; ΣH — сумма всех гидравлических потерь до данного гидранта-водовыпуска.

Закрытую самонапорную сеть выполняют по двум основным схемам: с односторонним и двусторонним расположением поливных трубопроводов относительно распределительного. В первой схеме поливные трубопроводы обычно располагают по наибольшему уклону, во второй — в направлении горизонталей.

Самонапорную сеть с ограничителями напора применяют в тех случаях, когда статический напор превышает допустимый для данного материала труб на местности с уклоном более 0,008. Ограничители устанавливают в тех точках подземного трубопровода, где статический напор H_{st} равен допустимому рабочему давлению H_{adm} из условия

$$H_{st} < H_{adm}. \tag{8.73}$$

Линия статического напора получается ступенчатой (рис. 8.24).

8.4.4. РЕЖИМ НАНОСОВ В ТРУБОПРОВОДАХ

Для предохранения трубопроводов от заиления необходимо предусматривать в них такие скорости движения потока, при которых не выпадают взвешенные наносы, то есть степень насыщения потока ρ должна соответствовать или быть меньше его транспортирующей способности.

Транспортирующую способность потока в трубопроводах оросительных систем с мутностью воды до 10 кг/м^3 при крупности частиц до 0,25. . .0,5 мм определяют по формуле

$$\rho = \frac{v^2\lambda}{0{,}0000232\omega^{0{,}258}g}. \tag{8.74}$$

Уклоны самонапорных трубопроводов должны обеспечить размывающие скорости (0,8. . .1,0 м/с) для выпавших из-за изменения режима работы сети наносов. В системах с механической подачей воды насосные станции должны подавать расходы воды, при которых размываются ранее отложившиеся наносы. Для этого необходимо, чтобы минимальный гидравлический уклон самонапорного трубопровода, при котором размываются и выносятся отложившиеся наносы, был меньше уклона уложенного трубопровода или равен ему

$$i_{min} = (h_L + \Sigma h_l + h_0 + h_1 - h_2)/l \leqslant i_p, \tag{8.75}$$

где h_L — потери напора по длине трубопровода при размыве отложившихся наносов; Σh_l — сумма местных потерь напора; h_0 — разность отметок оси трубопровода в месте водовыпуска и уровня в отводящем канале; h_1 — свободный напор на водовыпуске; h_2 — разность отметок уровня воды в подводящем канале и оси водозаборного оголовка трубопроводов; l — длина проекции трубопровода на горизонтальную плоскость.

Потери напора по длине трубопровода в процессе размыва наносных отложений вычисляют по формуле

$$h_L = \lambda_R l v^2/(2gd). \tag{8.76}$$

Коэффициент гидравлического сопротивления λ_R в процессе размыва отложений, состоящих из смеси мелкопесчаных (крупностью до 0,25 мм), пылеватых, иловатых и глинистых частиц, в асбестоцементных трубопроводах вычисляют по формуле

$$\lambda_R = \frac{0{,}25}{\left[\lg\left(\dfrac{0{,}26 d_m^{0{,}56}\dfrac{a}{r} + 0{,}0003}{3{,}7d}\right) + \dfrac{5{,}62}{\mathrm{Re}^{0{,}9}}\right]^2}, \tag{8.77}$$

8.20. Значения коэффициентов A, B, C в зависимости от содержания в наносах мелкопесчаных частиц размером 0,5...0,25 мм

P	A	B	C	P	A	B	C
0,0	0,94	0,027	1,300	0,50	1,24	0,017	1,050
0,10	1,00	0,025	0,250	0,55	1,27	0,016	1,025
0,15	1,00	0,024	0,225	0,60	1,30	0,015	1,000
0,20	1,06	0,023	0,210	0,65	1,15	0,017	1,210
0,25	1,09	0,022	1,175	0,70	1,00	0,020	1,402
0,30	1,12	0,021	1,150	0,75	0,85	0,028	1,770
0,35	1,15	0,020	1,125	0,80	0,70	0,046	2,470
0,40	1,18	0,019	1,100	0,85	0,53	0,090	3,820
0,45	1,21	0,018	1,075	0,90	0,40	0,198	6,500

где d_m — средний диаметр частиц наносов; a — высота слоя отложившихся наносов; r — радиус трубопровода.

Для определения размывающих скоростей в трубопроводах, изготовленных из любых материалов, пользуются формулой

$$v_p = \left(A - \frac{1}{Bt^{1,2} + C}\right) \sqrt{\frac{\lambda}{\lambda_R}}\, k m_1 m_2, \qquad (8.78)$$

где A, B, C — коэффициенты, зависящие от содержания в наносах мелкопесчаных частиц размером от 0,05 до 0,25 мм в долях единицы (табл. 8.20); t — время нахождения наносов в трубопроводе в спокойном состоянии, сут; k — коэффициент однородности отложившихся наносов (1,2. . .1,02); m_1 — коэффициент условий работы, когда в потоке более 0,1% взвешенных наносов в коллоидном состоянии (1,2. . .1,4); m_2 — коэффициент на донные корродирующие наносы (0,85. . .0,75).

Значение $\sqrt{\lambda/\lambda_R}$ зависит от материала труб и составляет для чугунных труб $1{,}22d^{0{,}147}$, асбестоцементных — $1{,}5d^{0{,}114}$, железобетонных — $1{,}4d^{0{,}134}$, стальных — $1{,}31d^{0{,}117}$.

8.4.5. ВЫБОР МАТЕРИАЛА ТРУБ. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

Оптимальный диаметр трубопроводов с механической водоподачей определяют по формуле

$$D_{opt} = Э^{\frac{1}{\alpha+m}} q^{\frac{\lambda}{\alpha+m}} x^{\frac{n}{\alpha+m}}, \qquad (8.79)$$

де $Э$ — экономический фактор; x — весовой фиктивный расход воды, учитывающий влияние рассматриваемого трубопровода на работу системы в целом; α, m, n — показатели степени, зависящие от материала труб и условий укладки трубопроводов.

Экономический фактор вычисляют по формуле

$$Э = m\beta/(\alpha b), \qquad (8.80)$$

где b — коэффициент в формуле

$$C = b_0 + bd^{\alpha}, \qquad (8.81)$$

определяющей стоимость строительства единицы длины трубопровода диаметром d.

Гидравлический уклон трубопровода диаметром d при транспортировании по нему расхода q

$$i = kq^n/d^m. \qquad (8.82)$$

8.21. Значения коэффициентов и показателей степеней в формулах (8.79)...(8.83)

Трубы	n	k	m	α	b	A
Стальные	1,9	0,00179	5,1	1,4	53	4,6
Чугунные	1,9	0,00179	6,1	1,6	107	3,3
Асбестоцементные	1,85	0,00118	4,89	1,95	78	7,3
Пластмассовые	1,774	0,001052	4,774	1,95	150	4,6

Коэффициент β определяют по формуле

$$\beta=\frac{24t_v}{10^2}\cdot 10^3\sqrt[3]{\frac{\gamma\sigma k}{\eta\left(\frac{1}{T}+A\right)}}, \qquad (8.83)$$

где t_v — поливной период, сут; γ — коэффициент неравномерности расходования электроэнергии, зависящий от коэффициента неравномерности потребления и подачи, принимается в среднем 0,7; σ — стоимость электроэнергии, р/(кВт·ч); η — КПД насосных станций, в среднем равен 0,7; T — срок окупаемости в годах; A — сумма амортизационных отчислений в процентах от строительной стоимости данного трубопровода.

Значения коэффициентов и показателей степени в формулах (8.79)... (8.83) можно принимать по данным таблицы 8.21.

Для защиты от коррозии внутренней поверхности стальных труб независимо от коррозионной активности транспортируемой воды необходимо предусматривать изоляционные покрытия — цементно-песчаные, цементно-полимерные, лакокрасочные, цинковые и другие, разрешенные для применения в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

Защиту от воздействия сульфат-ионов на бетон железобетонных труб, включая трубы со стальным сердечником, а также от коррозии, вызываемой блуждающими токами, следует осуществлять в соответствии со СНиП 2.03.11—85.

Электромеханическую защиту трубопроводов из железобетонных труб со стальным сердечником, имеющих наружный слой бетона проницаемостью ниже нормальной с допускаемой шириной раскрытия трещин при расчетных нагрузках 0,2 мм, необходимо предусматривать при концентрации хлор-ионов в грунтах более 150 мг/л, при нормальной проницаемости бетона и допускаемой ширине раскрытия трещин 0,1 мм — более 300 мг/л.

Для железобетонных виброгидропрессованных труб с пропиткой модифицированным петролатумом в грунтах средней и сильной степени агрессивности, а также железобетонных труб со стальным сердечником, пропитанных модифицированным петролатумом, в грунтах с содержанием хлорионов до 500 мг/л электрохимическую защиту трубопроводов допускается не предусматривать.

При проектировании электрохимической защиты трубопроводов из стальных и железобетонных труб всех типов необходимо предусматривать мероприятия, обеспечивающие непрерывную электрическую проводимость трубопроводов.

Катодную поляризацию железобетонных труб со стальным сердечником следует проектировать так, чтобы создаваемые на поверхности металла защитные поляризационные потенциалы были не ниже 0,85 В и не выше 1,2 В по отношению к медно-сульфидному электроду, который берут для сравнения.

При электрохимической защите железобетонных труб со стальным сердечником с помощью протекторов значение поляризационного потенциала следует определять по отношению к медно-сульфатному электроду

сравнения, установленному на поверхности трубы, а при защите с помощью катодных станций — по отношению к медно-сульфидному электроду, расположенному в грунте.

8.5. СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ СЕТИ

Комбинированную оросительную сеть применяют в некоторых случаях при поверхностном орошении и дождевании только в качестве внутрихозяйственной части оросительной системы.

По способу создания напора комбинированная сеть может быть самотечно-напорной и с механической подачей воды.

Комбинированную самотечно-напорную сеть выполняют по следующим трем основным схемам:

хозяйственный канал или трубопровод с минимальным уклоном проходит по местности почти вдоль горизонталей, от него нормально к горизонталям или под небольшим углом отходят распределительные трубопроводы, а от них поливные трубопроводы, которые идут вдоль горизонталей или под небольшим углом к ним; поливные трубопроводы могут быть тупиковыми или закольцованными; на такой сети применяют дождевальные машины ДДН-70 и ДДН-100;

от хозяйственного канала нормально к горизонталям или под небольшим углом отходят распределительные трубопроводы, а от них в направлении горизонталей с необходимым уклоном идут открытые оросители; на такой сети применяют машины ДДА-100МА, ДДПА-130/140, ДДН-70, ДДН-100 (рис. 8.25);

от хозяйственного или распределительного канала отходят закрытые оросители и поливные трубопроводы, из которых вода подается в гибкие оросительные трубопроводы или выводные борозды (рис. 8.26).

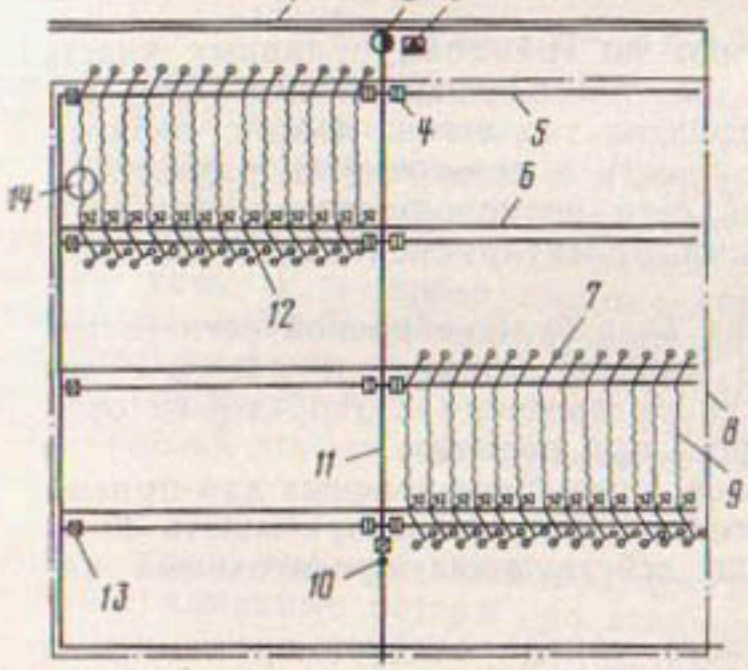


Рис. 8.25. Организация территории и схема комбинированной оросительной сети при использовании дождевальных машин ДДН-70 и ДДН-100:

1 — внутрихозяйственный распределительный канал; *2* — насосная станция; *3* — трансформаторная подстанция; *4* — колодец для распределительной задвижки; *5* — оросительный трубопровод; *6* — сбросной трубопровод; *7* — гидранты-водовыпуски во временные оросители; *8* — граница участка; *9* — временный ороситель; *10* — колодец для сбросной задвижки с вантузом; *11* — распределительный трубопровод; *12* — концевой сброс с переездом; *13* — колодец для сбросной задвижки; *14* — дождевальная машина

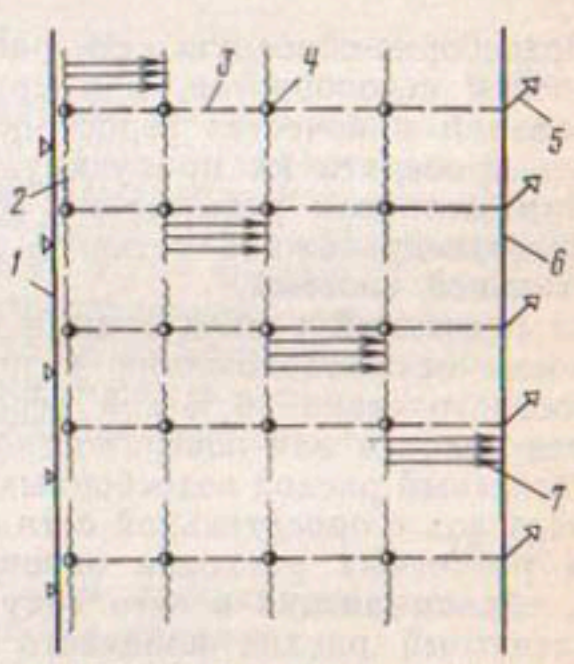


Рис. 8.26. Организация территории и схема комбинированной самонапорной сети для полива по бороздам из передвижных трубопроводов:

1 — лотковый распределитель; *2* — передвижные трубопроводы; *3* — трубчатый ороситель; *4* — гидрант на оросителе; *5* — концевой сброс из оросителя; *6* — сбросной канал; *7* — направление полива

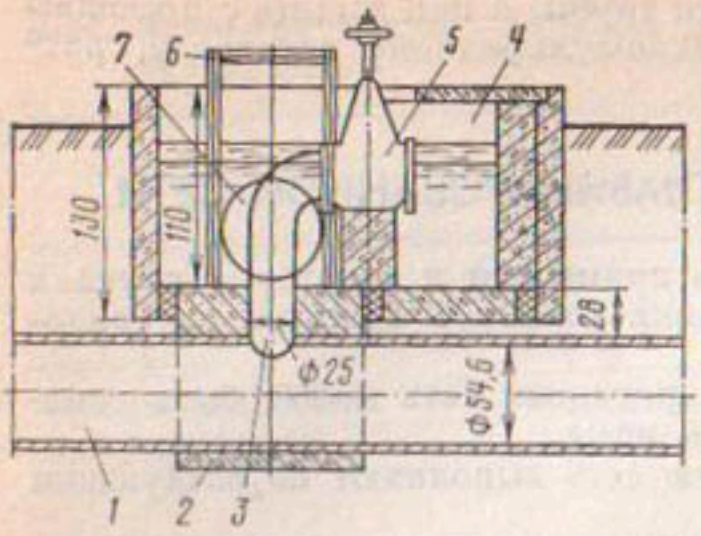


Рис. 8.27. Колодец с гидрантом:
1 — трубопровод; *2* — железобетонная тумба; *3* — чугунный стояк с коленом; *4* — водоприемный колодец; *5* — задвижка Лудло; *6* — плоский металлический щит; *7* — водовыпускное отверстие (размеры в см)

При расположении орошаемых земель выше источника орошения создают комбинированные системы с механической подачей воды в закрытую сеть. Оросительную сеть в этом случае проектируют следующим образом. Хозяйственный канал с минимальным уклоном прокладывают по местности вдоль горизонталей. От канала нормально или под небольшим углом к нему проходят внутрихозяйственные закрытые распределители, от которых в направлении горизонталей с необходимым уклоном и через определенное расстояние отходят временные оросители. В голове распределителя устанавливают насосную станцию, а в местах водовыпусков оборудуют колодцы с гидрантами (рис. 8.27).

8.6. ВОДОСБОРНО-СБРОСНАЯ СЕТЬ

Водосборно-сбросную сеть каналов проектируют для организованного сбора и отвода с территории оросительной системы поверхностного стока (ливневых и талых вод), воды из распределителей и оросителей при технологических сбросах и опорожнении, а также при авариях, сбросной воды с полей.

Водосборно-сбросную сеть располагают по границам поливных участков, полей севооборотов, как правило, по пониженным местам. При использовании в качестве водосбросных трактов тальвегов, лощин, оврагов следует проверять их пропускную способность и возможность размыва.

При плановом размещении сбросной сети возможно совмещение ее с коллекторно-дренажной сетью и кюветами проектируемой дорожной сети оросительной системы.

За расчетный расход воды в каналах водосборно-сбросной сети (в зависимости от расположения и порядка канала) принимают расходы поверхностного стока 10 %-ной вероятности превышения с территории орошаемого участка или поверхностного сброса при поливах.

Расчетный расход водосборных каналов, предусматриваемых для приема сбросных вод с оросительной сети при поливах, не должен превышать 30 % суммы расчетных расходов одновременно действующих оросительных каналов, сбрасывающих в него воду.

Расчетный расход концевого сбросного канала следует принимать в пределах 25. . .50 % расчетного расхода воды оросительного канала (трубопровода) на концевом участке. Расчетный расход должен также обеспечивать создание транспортирующей скорости для удаления наносов из трубопровода.

8.7. ДРЕНАЖНАЯ СЕТЬ

8.7.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТИПЫ ДРЕНАЖА

Коллекторно-дренажная сеть оросительной сети должна выполнять не только осушительную, но и рассоляющую роль. Необходимость строительства дренажа устанавливают на основе анализа существующего и про-

гнозируемого водно-солевого режима орошаемых территорий с учетом почвенных особенностей и требований охраны окружающей природной среды.

Допускаемую (критическую) глубину залегания подземных вод, обеспечивающую оптимальный водно-солевой режим почвы, устанавливают для каждой природно-климатической зоны на основании специальных исследований, имеющегося опыта эксплуатации мелиоративных систем и прогноза водно-солевого режима почв.

В зависимости от природных условий территории, нуждающейся в дренировании, на основе технико-экономических расчетов предусматривают дренаж:

систематический — горизонтальные дрены или скважины вертикального дренажа, расположенные равномерно на всей территории;

выборочный — горизонтальные или вертикальные дрены и скважины осушают отдельные участки орошаемых земель, где проявляется подтопление или вторичное засоление почвогрунтов;

линейный (отсечный) — горизонтальные и вертикальные дрены расположены вдоль фронта движения подземных вод.

8.7.2. РАСЧЕТ ВОДНО-СОЛЕВОГО БАЛАНСА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Оценку мелиоративного состояния орошаемых земель можно провести, рассчитав водно-солевой баланс территории. Из уравнения водного баланса определяют в первом приближении нагрузку на дренаж и размер инфильтрационного питания, которые необходимы для расчета параметров дренажа и выбора схемы его размещения.

Уравнения водного баланса орошаемой территории при наличии дренажа имеют такой вид:

общий водный баланс

$$\Delta V = V_F + V_{gw} + P - ET + V_w - V_c \pm V_{ver} - F_d, \qquad (8.84)$$

где ΔV — общее изменение запасов воды в границах рассматриваемой территории; V_F — разница между притоком и оттоком поверхностных вод; V_{gw} — разница между притоком и оттоком грунтовых вод; P — атмосферные осадки; ET — суммарное испарение, $ET = E_0 + T$; E_0 — испарение с поверхности почвы; T — транспирация растений; V_w — водозабор в оросительную сеть; V_c — поверхностные сбросы оросительной воды; V_{ver} — вертикальный водообмен балансового слоя с нижележащими подземными водами (подпитывание грунтовых вод напорными водами или перетекание грунтовых вод вниз); F_d — сброс по коллекторно-дренажной сети за пределы рассматриваемой территории (дренажный сток);

$$V_w = V_L + V_l + V_c, \qquad (8.85)$$

где V_L — объем оросительных вод (нетто) с учетом промывного режима; V_l — фильтрационные потери оросительной воды из каналов;

$$V_L = V_{nt} + V_{sR}, \qquad (8.86)$$

где V_{nt} — объем оросительных вод (нетто), идущих на водопотребление сельскохозяйственными культурами; V_{sR} — объем воды, расходуемой на поддержание необходимого солевого режима; расчеты объемов воды для промывок проводят в соответствии с методикой, изложенной в главе 15;

баланс почвенных вод

$$\Delta V_s = V_F + P + V_{sR} - ET \pm V_q, \qquad (8.87)$$

где ΔV_s — изменение запасов почвенных вод в границах рассматриваемой территории; $\pm V_q$ — вертикальный водообмен между почвенными и грунтовыми водами;

баланс грунтовых вод

$$\Delta V_{gr} = V_{qw} + V_l \pm V_q \pm V_{ver} - F_d, \qquad (8.88)$$

где ΔV_{gr} — изменение запасов грунтовых вод в границах рассматриваемой территории.

Солевой баланс составляют на типовых балансовых участках для выявления основных источников поступления солей и определения направленности процесса солепереноса в активном слое (1. . .3 м).

Уравнения солевого баланса для балансовых участков при наличии дренажа имеют следующий вид:

$$\Delta S = (S_F^1 - S_F^2) + (S_{qw}^1 - S_{qw}^2) + S_M - S_s \pm S_{ver} - S_{dF}, \quad (8.89)$$

где $\Delta S = S_t - S_0$ — общие изменения запасов солей в границах рассматриваемой территории; S_0, S_t — запасы солей в начальный и конечный моменты расчетного периода; $S_F^1 - S_F^2$ — разница в поступлении и выносе солей с поверхностными водами; $S_{qw}^1 - S_{qw}^2$ — разница в поступлении и выносе солей с грунтовыми водами; S_M — поступление солей с оросительными водами; S_s — вынос солей с поверхностными сбросами оросительной воды; S_{ver} — поступление или вынос солей при вертикальном водообмене балансового слоя с подземными водами (за счет подпитывания грунтовых вод напорными или перетекания грунтовых вод вниз); S_{dF} — вынос солей с дренажным стоком;

баланс солей в зоне аэрации

$$\Delta S_a = (S_F^1 - S_F^2) + S_M + S_q, \quad (8.90)$$

где ΔS_a — изменение запасов солей в зоне аэрации в границах рассматриваемой территории; S_q — поступление или вынос солей при вертикальном водообмене между почвенными и грунтовыми водами (при нисходящих токах перед S_q ставят знак минус, при восходящих — плюс);

баланс солей в грунтовых водах

$$\Delta S_{gr} = S_F^1 - S_F^2 + S_l \pm S_q \pm S_{ver} - S_{dF}, \quad (8.91)$$

где ΔS_{gr} — изменение запасов солей в грунтовых водах в границах рассматриваемой территории; S_l — поступление солей в грунтовые воды с фильтрационными потерями из оросительной сети.

Балансовые расчеты уточняют водно-солевыми прогнозами, используя методы моделирования процессов влагопереноса.

8.7.3. ВЫБОР ТИПА ДРЕНАЖА НА ОСНОВЕ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЙ СХЕМАТИЗАЦИИ

В аридной зоне применяют следующие типы дренажа: горизонтальный, вертикальный и комбинированный. Тип и параметры дренажа устанавливают с учетом гидрогеологических условий и на основе геофильтрационной схематизации строения водоносного пласта, определяющей граничные условия потоков подземных вод в разрезе и в плане, его фильтрационные свойства.

В качестве основных таксонометрических единиц при геофильтрационной схематизации выделяют следующие фильтрационные схемы и подсхемы над региональным водоупором:

однопластовая с одним хорошо проницаемым водоносным горизонтом, которая может быть однородного или двухслойного строения с покровным слабопроницаемым слоем;

двухпластовая с двумя хорошо проницаемыми пластами, разделенными слабопроницаемым слоем; верхний пласт может быть однородного или двухслойного строения; к двухпластовой системе при расчете мелиоративного дренажа может быть сведена и многопластовая система;

беспластовая при отсутствии в разрезе хорошо проницаемых и сравнительно однородных пластов;

водоупорная с развитием слабопроницаемых пород с коэффициентом фильтрации меньше 10^{-2}. . .10^{-3} м/сут.

Вертикальный дренаж обычно применяют при одно- и двухпластовом фильтрационном строении, когда проводимость водоносного горизонта превышает 100 м²/сут, а также в случае, когда слабопроницаемые грунты подстилаются хорошо проницаемыми с напорными водами.

Комбинированный дренаж целесообразен в тех же условиях, но при проводимости хорошо проницаемых слоев менее 100 м²/сут и наличии покровного малопроницаемого слоя с k менее 0,01 м/сут, мощностью менее 15. . .20 м.

Горизонтальный дренаж используют как в условиях одно- и двухпластовых фильтрационных схем, так и беспластовой при коэффициентах фильтрации покровных отложений более 0,01 м/сут.

8.7.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ДРЕНАЖА

Прогноз подъема уровня грунтовых вод является основой для установления сроков строительства дренажа. Прогноз на орошаемом массиве выполняют на основе геофильтрационной схематизации и данных водно-солевого баланса, используя решение уравнения планово-плоской фильтрации

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T\frac{\partial H}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(T\frac{\partial H}{\partial y}\right)+q=\mu\frac{\partial H}{\partial t} \qquad (8.92)$$

где $T(x, y, H)$ — проводимость пласта, определяемая как произведение среднего коэффициента фильтрации k на мощность потока; $H(x, y, t)$ — уровень воды в сечении x, y; $q(x, y, t, H)$ — суммарная интенсивность питания грунтовых вод за счет инфильтрации и подпитывания из нижележащих водоносных горизонтов; μ — коэффициент недостатка насыщения.

Уравнение (8.92) решают численными методами с использованием ЭВМ. Имеется ряд аналитических решений уравнения (8.92) после его линеаризации для простейших граничных условий.

При прогнозе подъема уровня грунтовых вод до допустимой глубины в срок до 10 лет строительство дренажа должно опережать строительство оросительной сети. При прогнозном сроке подъема грунтовых вод более 10 лет дренаж следует проектировать одновременно с оросительной сетью и определением стоимости его строительства. Окончание строительства дренажа должно опережать подъем уровня грунтовых вод до отметок заложенных дрен.

8.7.5. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДРЕНАЖА

Параметры постоянного горизонтального, комбинированного и вертикального дренажей рассчитывают на среднегодовую нагрузку эксплуатационного периода с обязательной проверкой динамики грунтовых вод в характерные периоды (вегетационный, предпосевной, поливной и др.).

Модуль дренажного стока q_d (м³/сут с 1 м²) за расчетный период определяют по формуле

$$q_d=F_d/10\,000t, \qquad (8.93)$$

где F_d — нагрузка на дренаж, м³/га, определяемая из балансового уравнения (8.84); t — продолжительность расчетного периода, сут.

Горизонтальный дренаж представляет собой совокупность дрен и коллекторов различных порядков для приема поверхностных и грунтовых вод и отвода их за пределы мелиорируемой и дренируемой территории и гидротехнических сооружений на них (рис. 8.28).

Постоянный горизонтальный дренаж проектируют закрытым в виде подземных трубопроводов с водоприемными отверстиями и защитным фильтром или трубофильтрами.

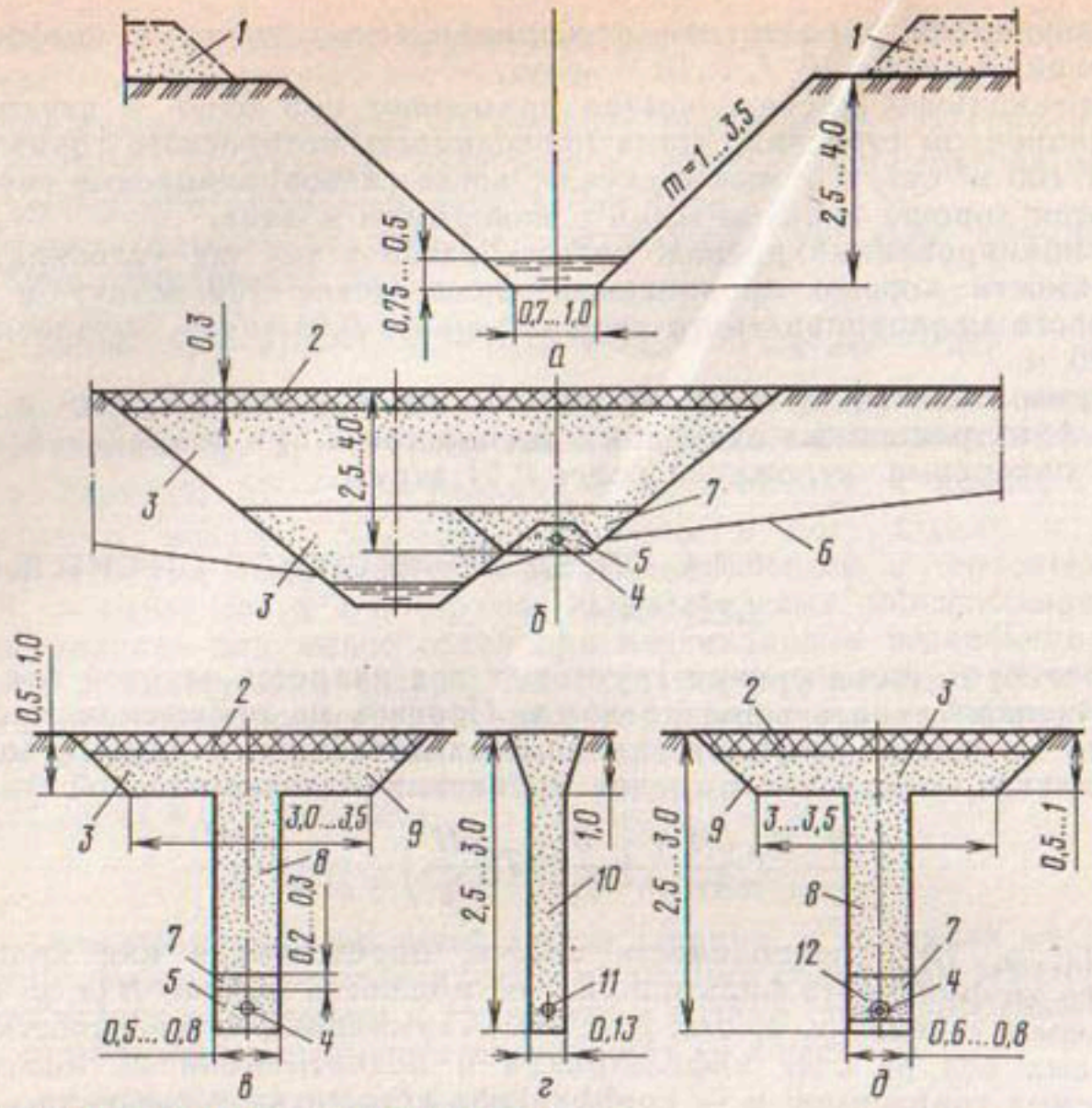


Рис. 8.28. Поперечные сечения дрен:

а — открытой; *б* — закрытой, устраиваемой методом «полки» (в водонасыщенных грунтах); *в* — закрытой с песчано-гравийным фильтром; *г* — бестраншейной пластмассовой; *д* — закрытой с минерально-волокнистым фильтром; *1* — кавальер; *2* — отсыпка плодородного слоя; *3* — обратная засыпка при помощи механизмов; *4* — керамическая, асбестоцементная или пластмассовая труба диаметром 100. . .200 мм; *5* — песчано-гравийный фильтр; *6* — кривая депрессия в период закладки дрены; *7* — обратная засыпка вручную; *8* — траншея; *9* — корыто; *10* — щель; *11* — пластмассовая труба диаметром 80. . .100 мм с фильтром из стеклоткани; *12* — стеклохолст (размеры в м)

Коллекторы проектируют как закрытыми, так и открытыми, при этом внутрихозяйственную сеть проектируют только закрытой. Окончательный вариант коллектора выбирают на основании технико-экономических расчетов.

Закрытый (трубчатый) дренаж устраивают из керамических, асбестоцементных, бетонных, железобетонных и пластмассовых труб. Наиболее широко применяют керамические трубы длиной 33 и 60 см и диаметром 5. . .20 см. Вода в дрены поступает через щели шириной 1. . .3 мм между трубами.

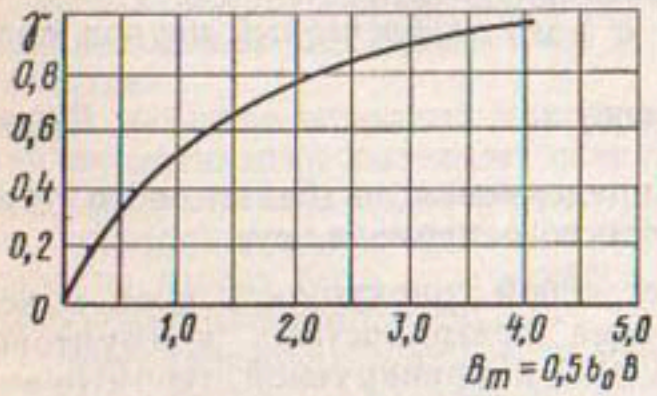


Рис. 8.29. График зависимости $\gamma = f(B_m)$

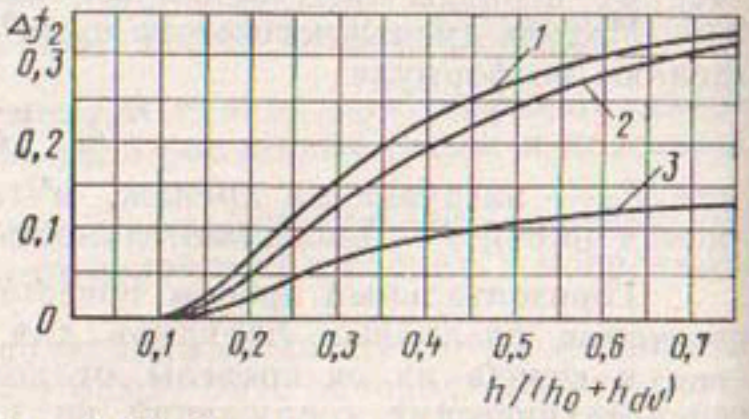


Рис. 8.30. Соотношение проницаемости и мощности верхнего и нижнего слоев:

1 — $k_в/k_н = 0{,}1$; *2* — $k_в/k_н = 0{,}2$; *3* — $k_в/k_н = 0{,}5$

Чтобы дрены не заилялись, вокруг труб укладывают фильтр песчано-гравийный (чаще всего однослойный с толщиной обсыпки 10. . .20 см) или из минерально-волокнистых материалов.

Длина дрен (как открытых, так и закрытых) в зависимости от местных условий изменяется от 400 до 1000 м. Глубина заложения дрен с учетом технологии производства работ, как правило, не должна превышать 4 м.

Сопряжение закрытых дрен с закрытыми и открытыми коллекторами должно обеспечивать отвод дренажных вод без образования подпора в дренах. Основные зависимости для расчета систематического горизонтального дренажа представлены в таблице 8.22 (рис. 8.29, 8.30 и 8.31).

Возможны две схемы расположения дрен — поперечная и продольная. В первом случае дрены располагают под острым углом к горизонталям, а во втором — вдоль уклона местности. Считается, что дрены, уложенные поперек уклона, лучше перехватывают грунтовой поток и эффективность их действия выше. Поэтому предпочтительнее поперечная схема расположения дрен, и лишь при малых уклонах местности, когда нельзя обеспечить минимально допустимые естественные уклоны дрен при трассировке их под острым углом к горизонталям, приходится применять продольную схему. Если дренам придают искусственный уклон, то это связано с увеличением объема работ по устройству не только дрен, но и коллекторов.

Вертикальный дренаж представляет собой совокупность сооружений, состоящих из водозабора с гидромеханическим оборудованием и наземного комплекса (энергетическое хозяйство, водоотводящая сеть, подъездные

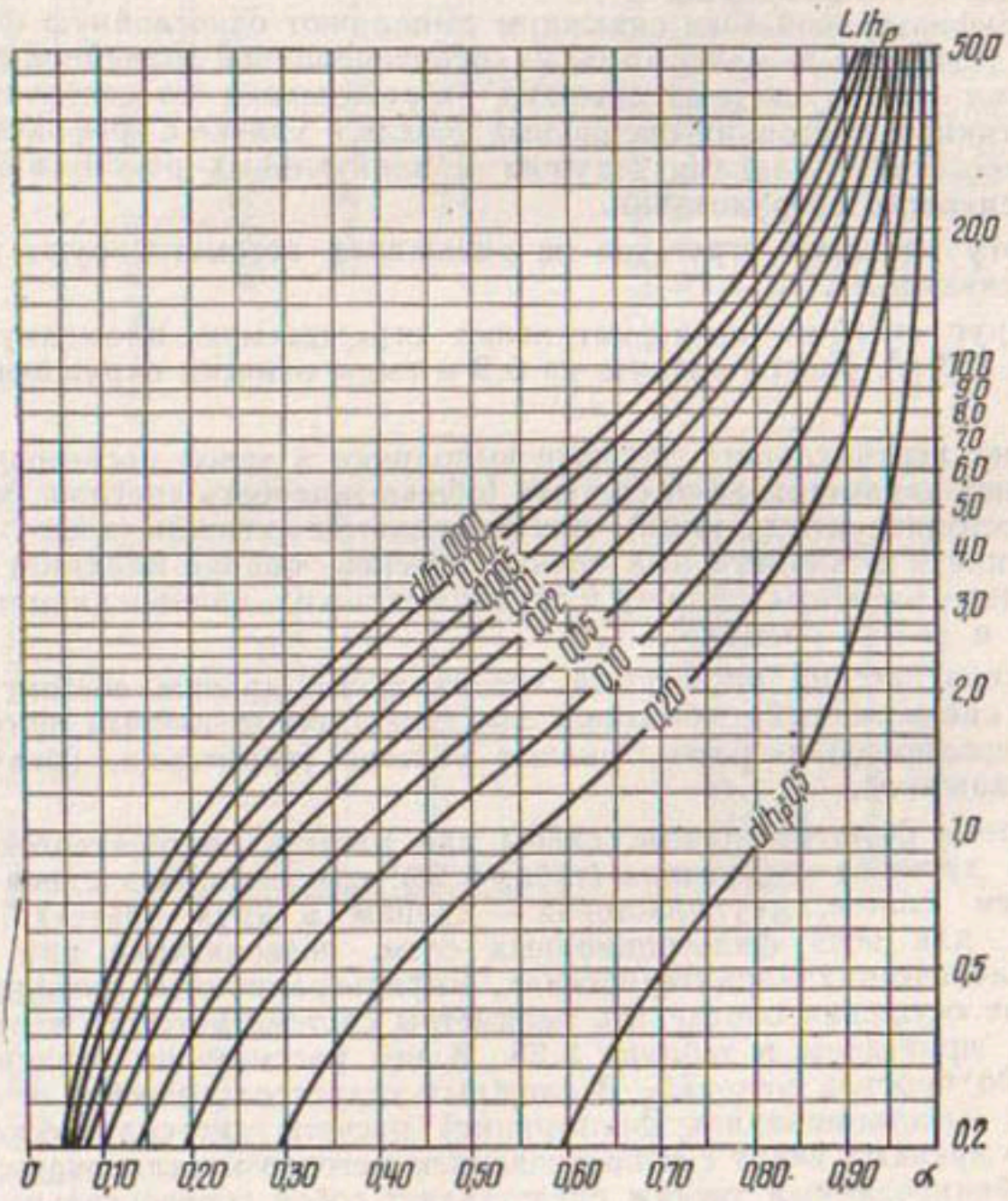


Рис. 8.31. График для определения коэффициента α:

L/h_p — относительное расстояние между дренами; d/h_p — относительный диаметр дрен; $L=a_d/2$ при ловчих дренах; $L=a_d/4$ — при систематическом дренаже

дороги, средства автоматики, телемеханики, связи и контрольно-измерительная аппаратура).

В зависимости от гидрологических условий орошаемого массива водозаборные сооружения могут быть выполнены в виде вертикальных скважин, оборудованных насосами, лучевых водозаборов или поглощающих скважин.

Плановое расположение скважин вертикального дренажа увязывают с гидрогеологическим и геологическим строением, рельефом, границами мелиорируемого участка. Скважины размещают по возможности вблизи существующих линий электропередачи и трансформаторных подстанций.

При выборе конструкций скважин учитывают гидрогеологические условия, требуемое понижение уровня грунтовых вод, дебит, технологию бурения и параметры насосно-силового оборудования. Как правило, предусматривают применение неметаллических труб.

Диаметр скважины при бурении принимают не менее 600 мм. Глубина скважины, определяемая глубиной залегания и мощностью водосодержащих грунтов, не должна превышать 100 м. Длина отстойника — не более 1 м.

Длину фильтра принимают с учетом мощности водоносного пласта. Если мощность водоносного пласта менее 10 м, то длину фильтра принимают равной этой величине. При мощности водоносного пласта более 10 м длину фильтра принимают 0,7. . .0,8 этой величины, но не более 25 м. Скважность фильтра — 25. . .30 %. Диаметр фильтрового каркаса подбирают из условия пропуска максимального расхода воды и обеспечения свободного монтажа и демонтажа насосно-силового оборудования, размещения средств автоматики и телемеханики.

В прифильтровой зоне скважины выполняют однослойную фильтровую обсыпку толщиной не менее 15 см из отсортированной гравийной смеси.

Режим работы системы скважин разрабатывают на основании данных мелиоративного состояния орошаемых земель в увязке с графиком нагрузок на энергосистему, планами текущих и капитальных ремонтов скважин и насосно-силового оборудования.

Работу насосных агрегатов на скважинах автоматизируют по уровню воды в скважинах.

Вокруг скважин предусматривают ограждаемую площадку размером не более 150 м², располагаемую на 0,3 м выше отметки окружающей территории.

Расчет вертикального дренажа выполняют в такой последовательности: определяют параметры всей системы (общая мощность дренажа, число скважин, расстояние между ними), затем параметры скважин (дебит, понижение в скважине и в характерных точках массива, радиус влияния) и их конструктивные элементы (диаметр и глубина скважин, длина и диаметр фильтра, толщина и состав обсыпки).

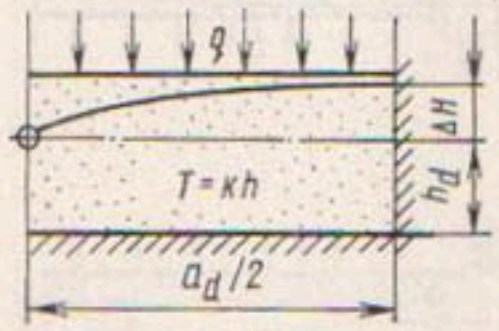
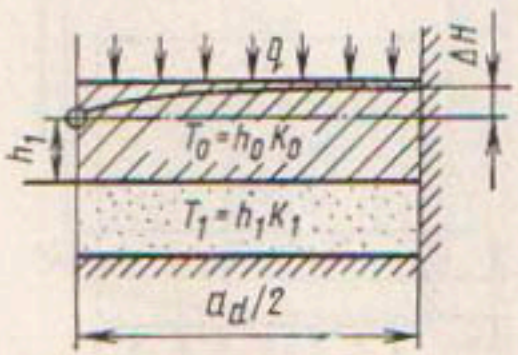
Систематический площадный вертикальный дренаж состоит из совершенных скважин, расположенных по сетке с определенным шагом. В этом случае изолированно рассматривают участок территории, обслуживаемый одной скважиной.

Типовые фильтрационные схемы для расчета систематического вертикального дренажа следующие (табл. 8.23): однопластовая схема — дренаж в верхнем пласте, двухпластовая — дренаж в двух пластах. Расчетные формулы для этих фильтрационных схем, позволяющие при известных гидрогеологических характеристиках, инфильтрационном питании и заданной норме осушения определить параметры систематического вертикального дренажа, приведены в таблице 8.23. В ней рассмотрены зависимости для достаточно простых условий. В сложных гидрогеологических и проектных условиях (нестационарная фильтрация) расчеты систематического вертикального дренажа ведут с использованием методов моделирования на ЭВМ.

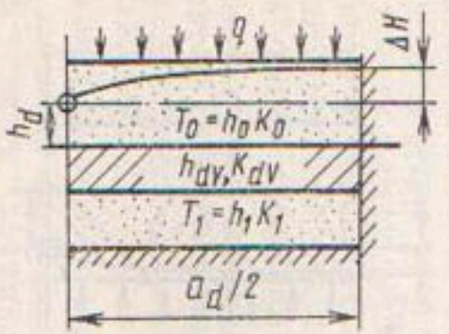
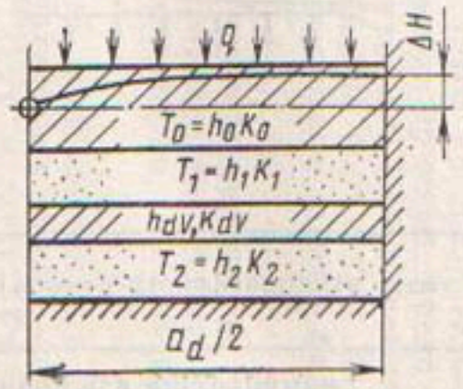
Комбинированный дренаж представляет собой горизонтальную дренажную сеть, совмещенную с самоизливающими вертикальными скважинами, работающими под действием напора как естественного, так и формирующегося под действием подъема грунтовых вод при орошении.

Сопряжение скважин с дренами должно обеспечивать свободный (без

8.22. Основные зависимости для расчета систематического горизонтального дренажа в однородных и сложных грунтах при установившейся фильтрации

Фильтрационная схема	Строение первого пласта	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости	Условные обозначения
			Безнапорный режим	
Однопластовая	Однородное		$a_d = 2\left(\sqrt{A^2 + \frac{2T\Delta H}{q}} - A\right)$; (1) $A = 2L_d$; $L_d = 0{,}73h_d \lg\frac{2h_d}{\pi d}$; (2) $a_d = \frac{\pi H (k/q - 1)}{\ln\frac{k}{q}}$ при $T \to \infty$	a_d — расстояние между дренами, м h_d — мощность водоносного горизонта у дрены, м ΔH — превышение поверхности грунтовых вод в междрены над горизонтом воды в дренах, м
Двухслойное			a_d определяется по зависимости (1) при $k_1 > 10k_0$ значение $L_d = 0{,}73\frac{T_1}{k_0}\lg\frac{8h_d}{\pi_d}$; (3) при $k_0 < k_1 < 10k_0$ значение $L_d = 0{,}73\frac{T}{k_0}\lg\frac{8h_d}{\pi d} - 0{,}73h\lg\frac{8h_d}{h} - 1{,}5(h_1 - h_0)\varkappa^2\lg\frac{T}{T_1}$; $h = h_0 + h_1$; $\varkappa = \frac{k_1 - k_0}{k_1 + k_0}$; $T = T_0 + T_1$	d — диаметр дрены, м q — инфильтрационное питание, м/сут L_d — фильтрационное сопротивление на несовершенство дренажа, м T_0, T_1, T_2 — проводимости водоносных горизонтов: покровного, верхнего и нижнего h — мощность водоносного слоя, м

Продолжение

Фильтрационная схема	Строение первого пласта	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости	Условные обозначения
Двухпластовая	Сравнительно однородное		a_d определяется по зависимости (1) $A=\frac{2L_1}{\theta_1}+\frac{1}{b_0}\frac{T_2}{T_1}$; $\theta_1=\frac{T_1}{T_1+T_2}$; $b_0=\sqrt{\frac{k_{dv}T}{h_{dv}T_1T_2}}$; $T=T_1+T_2$; при $\frac{b_0}{2}>3$ величина L_1 определяется по зависимости (2); при $\frac{b_0}{2}\leqslant 3$ величина $L_2=L_d\gamma$ L_d определяется по зависимости (2), γ — по графику на рисунке 8.29	k_1, k_2 — коэффициенты фильтрации верхнего и нижнего водоносных слоев, м/сут h_0 — мощность покровного слоя, м h_{dv} — мощность разделяющего слоя, м k_0 — коэффициент фильтрации покровного слоя, м/сут k_{dv} — коэффициент фильтрации разделяющего слоя, м/сут b_0 — коэффициент перетекания, м
Двухслойное			a_d определяется по зависимости (1) $A=\frac{2L_2}{\theta}+\frac{1}{b_0'}\frac{T_1}{(T_0+T_1)}$; $\theta=\frac{T_0}{T_0+T_1}$ при $k_1>10k_0$ величина L_2 определяется по зависимости (3); при $1<\frac{k_1}{k_0}<10$ величина	

Фильтрационная схема	Строение первого пласта	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости	Условные обозначения

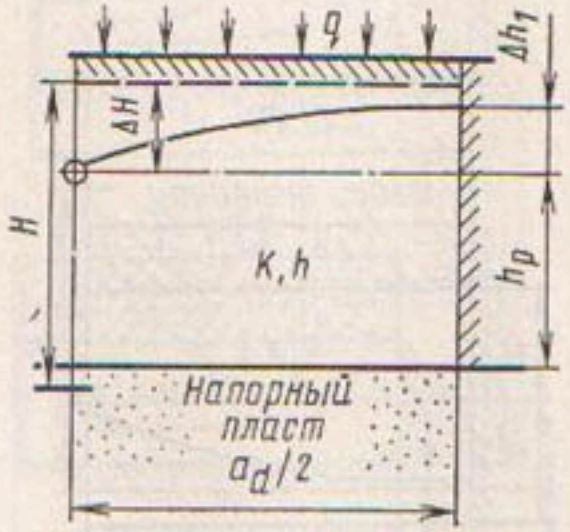
$$L_2=\left(h_0+\frac{k_1}{k_0}h_1\right)\times$$

$$\times\left[0{,}73\lg\frac{2(h_1+h_0)}{\pi d}+\Delta f_2\right],$$

Δf_2 определяется по графику на рисунке 8.30

Напорный режим

Однопластовая — Однородное



$a_d=\pi h_p/\beta$ при $a_d/h_p\leqslant 3$

β определяется подбором из уравнения

$$\beta+(\Delta\bar{H}-1)\ln\beta=$$

$$=(\Delta\bar{H}-1)\ln\frac{2h_p}{d_0}+\ln 2;$$

$$\Delta\bar{H}=\frac{\Delta H+\bar{q}h_p}{\Delta h_1};\quad \bar{q}=q/k;$$

$$d_0=\sqrt{2d(\Delta h_1+d)}$$

при $a_d/h_p>3$;

$$a_d=\frac{4h_p}{\pi}\ln\frac{4}{th\dfrac{\pi k\Delta h_1(\Delta\bar{H}-1)}{Q}};$$

$$Q=\frac{\pi k\Delta h_1\Delta\bar{H}}{\ln\dfrac{8h_p}{\pi d_0}}$$

h_p — глубина залегания напорного водоносного пласта от горизонта воды в дрене, м

ΔH — превышение напора в водоносном пласте над горизонтом воды в дрене, м

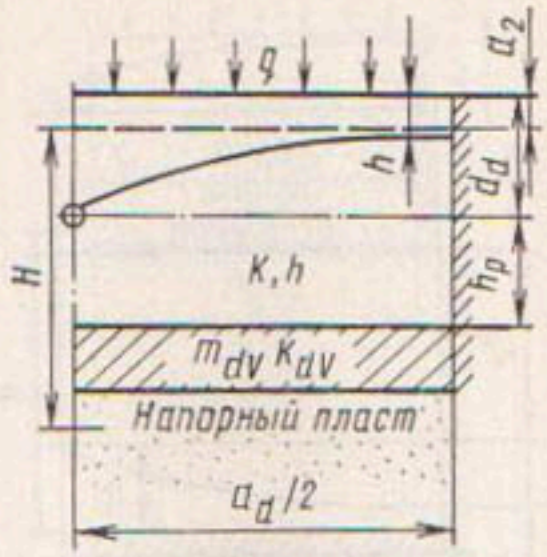
Δh_1 — превышение поверхности грунтовых вод между дренами над дреной, м

d — диаметр дрены, м

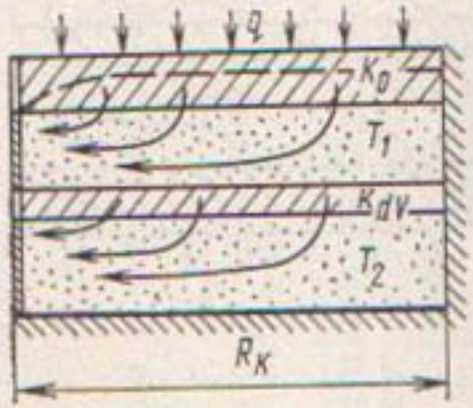
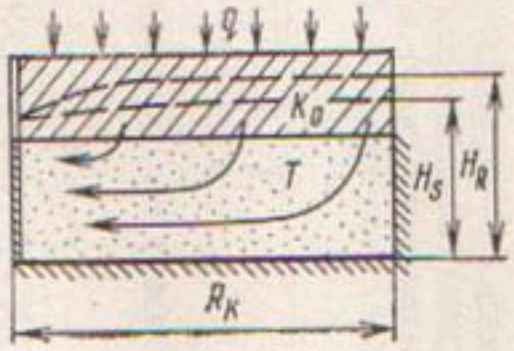
h_m — обводненная мощность верхнего слоя, м

d_d — глубина заложения дрен, м

Продолжение

Фильтрационная схема	Строение первого пласта	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости	Условные обозначения
Двухпластовая			$a_d = 2\sqrt{\frac{\alpha k h_m h_{dv}}{k_{dv}}}\, a_1 \operatorname{ch} \frac{d_d - \eta}{h_{gr} - \eta}$; $h_m = h_p + \frac{2}{3}(d_d - h_{gr})$ $h_{gr} = d_d - h_m$; $\eta = a_1 - q\frac{h_{dv}}{k_{dv}}$	h_{gr} — глубина грунтовых вод посередине между дренами, м a_1 — превышение поверхности земли над плоскостью пьезометрических напоров в нижнем слое, м α — коэффициент, определяемый по графику на рисунке 8.31

8.23. Основные зависимости для расчета систематического вертикального дренажа в условиях стационарной фильтрации

Фильтрационная схема	Особенности размещения дренажа в разрезе	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости	Условные обозначения
Однопластовая			$H_R = H_s + \frac{qR_k^2}{2T}\left(\ln\frac{R_k}{r_s} - 0{,}5\right)$; (1) $R_k = \frac{a}{\sqrt{\pi}} \simeq 0{,}56\,a$; (2) $a = \sqrt{Q_s/q}$ (3)	H_R, H_R^1 — напор в верхнем пласте при $r = R_k$; H_s — напор в скважине r_{cal} — расчетный радиус скважины
Двухпластовая	В верхнем пласте		$H_s = H_s' - \theta_2 \Delta H_s$; (4) $\Delta H_s = \bar{q} - \frac{Q_s}{T_1}(f_s + \Delta f_s)$; (5) $f_s = 0{,}366 \lg\frac{1{,}12}{\bar{r}_{cal}}$; $\bar{r}_{cal} = B_0 r_{cal}$; (6) $b_0 = \sqrt{\frac{k_{dv}}{h_{dv}}\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)}$; (7) $\Delta f_s = 0{,}16\frac{k_1(\bar{R})}{J_1(\bar{R})}$; $\bar{R} = B_0 R_k$; (8) при $\bar{R} > 3$ значение $\Delta f_s = 0$ $\bar{q} = q h_{dv}\theta_2/k_{dv}$; H_R определяется по зависимости (1)	k_{dv}, k_0 — коэффициенты фильтрации разделяющего и покровного слоев a — расстояние между скважинами q — инфильтрационное питание, м/сут h_{dv} — мощность разделяющего слоя Q_s — дебит скважины K_0; K_1; J_0; J_1 — обозначение функции Бесселя для двухпластовой системы $\theta_1 = T_1/T$; $\theta_2 = T_2/T$; $T = T_1 + T_2$

Продолжение

Фильтрационная схема	Особенности размещения дренажа в разрезе	Типовая фильтрационная схема	Расчетные зависимости	Условные обозначения

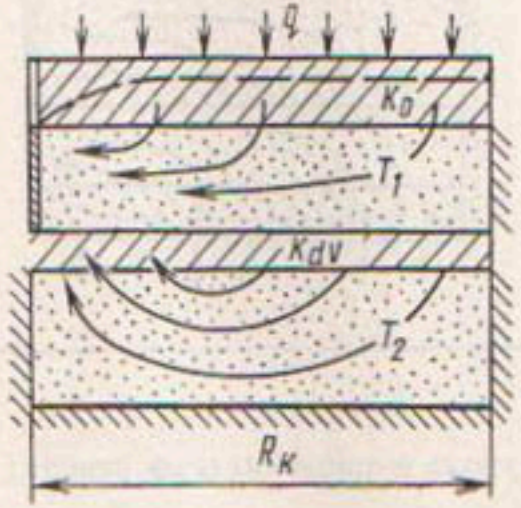
$$H'_R = H_R + \theta_2 \Delta H_R;$$

$$\Delta H_R = \bar{q} - \frac{Q_s}{T_1} f_R$$

$$f_R = 0{,}16 \left[K_0(\bar{R}) + \frac{K_1(\bar{R})}{J_1(\bar{R})} J_0(\bar{R}) \right]$$

при $\bar{R} > 5$ значение $\Delta f_s = f_R = 0$

В двух пластах



$$H'_R = H_s + \frac{qR_K^2}{2T} \left(\ln \frac{R_k}{r_s} - 0{,}5 \right) + \theta_1 \Delta H_R$$

$$\Delta H_R = \bar{q}\,(1 - f_R)/(f_s + \Delta f_s)$$

напора) отвод дренажных вод. Подключение скважин к закрытым коллекторам и дренам должно быть закрытого типа.

Расстояние между дренами в систематическом комбинированном дренаже определяют по формуле

$$a_d = 2\left(\sqrt{4L_{kd}^2 + \frac{2T\Delta H^0}{q}} - 2L_{kd}\right), \quad (8.94)$$

где L_{kd} — эквивалентная длина зоны резкой деформации потока в условиях комбинированного дренажа; ΔH^0 — превышение напора в междренье над уровнем воды в дрене с учетом потерь напора за счет перетекания инфильтрационного потока в покровном слое

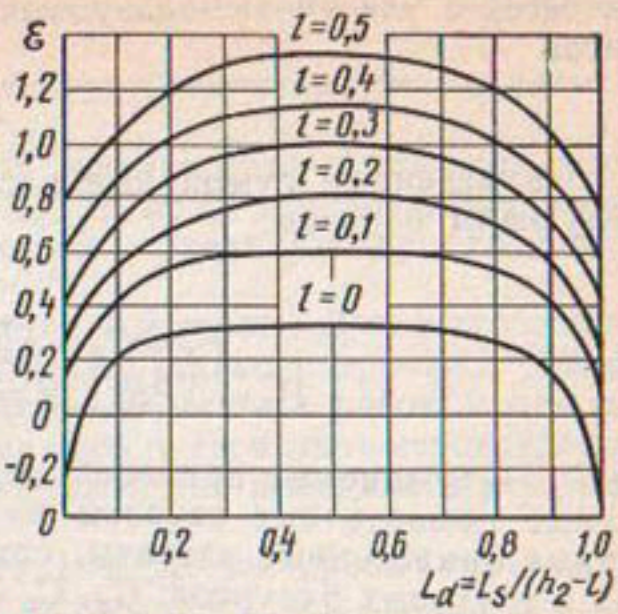


Рис. 8.32. График для определения величины ε

$$\Delta H^0 = \Delta H\left(1 - \frac{q}{k_1}\right) - \frac{1}{k_1}(h_m - h_d), \quad (8.95)$$

где ΔH — превышение напора в междренье в верхнем слое; k_1 — коэффициент фильтрации верхнего слоя; h_m — обводненная мощность верхнего слоя, средняя по междренью; h_d — то же у дрены; T — проводимость водоносного горизонта.

Величину L_{kd} находят из выражения

$$L_{kd} = L_d L_s/(L_d + L_s), \quad (8.96)$$

где L_d, L_s — фильтрационные сопротивления на гидродинамическое несовершенство горизонтального дренажа и скважин усилителей. Значения L_d и L_s вычисляют по формулам

$$L_d = 0{,}73\frac{k_2'}{k_1}h_2 \lg\frac{8h_d}{\pi_d} \quad \text{при} \quad k_2 > k_1, \quad (8.97)$$

$$L_s = 0{,}366a \lg\frac{a}{\pi d_w}, \quad (8.98)$$

где k_2 — коэффициент фильтрации нижнего слоя; h_2 — мощность нижнего слоя; d — диаметр дрен; d_w — диаметр водоподпитывающей скважины; a — расстояние между скважинами по линии горизонтального дренажа.

Для несовершенных скважин-усилителей в формулу (8.98) вместо d_w подставляют $d_m = \alpha d_w$,

$$\alpha = \exp\left[-\frac{1 - l_m}{l_m}\left(\ln\frac{2l}{d_w} - \varepsilon\right)\right].$$

Здесь l — длина фильтра; величину ε определяют по графику (рис. 8.32), $l_m = l/h_2$.

8.8. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Гидромелиоративная система состоит из двух крупных инженерных частей: коллекторно-дренажной и оросительной.

При решении задачи оптимизации параметров гидромелиоративной системы за критерий оптимальности принимают минимум суммы приведенных расчетных затрат на строительно оросительной и коллекторно-дренаж-

ной сетей с учетом используемых по вариантам природных и трудовых ресурсов

$$P_i \longrightarrow min. \tag{8.99}$$

Приведенные суммарные расчетные затраты по вариантам определяют следующим образом:

$$P_i = P_s + P_d + P_p; \tag{8.100}$$
$$P_s = C_s + E_n^{'} K_s; \quad P_d = C_d + E_n^{''} K_d;$$
$$P_p = \Delta P R; \quad R = D_l R_l + D_w R_w + D_{wr} R_{wr}$$

где P_s — суммарные приведенные затраты на оросительную сеть; P_d — суммарные приведенные затраты на коллекторно-дренажную сеть; P_p — суммарные приведенные затраты, связанные с использованием земельных, водных и трудовых ресурсов; C_d, C_s — эксплуатационные затраты по дренажной оросительной сетям i-го варианта; K_d, K_s — капиталовложения в i-й вариант на строительство дренажной и оросительной сетей; $E_n^{'}$, $E_n^{''}$ — нормативные коэффициенты; ΔP — удельные расчетные затраты на единицу продукции; D_l, D_w, D_{wr} — двойственные оценки земельных, водных и трудовых ресурсов по стоимости продукции, устанавливаемые из оптимального плана производства на плановый период для данного экономического района; R_l, R_w, R_{wr} — потребные земельные, водные и трудовые ресурсы в i-м варианте.

Капитальные вложения на межхозяйственные, внутрихозяйственные коллекторы, дрены-собиратели, дрены складываются из затрат на земляные работы K_l, укладку дренажных труб и их стоимости K , затрат на фильтры K_f и сооружения K_s

$$K_d = K_l + K_p + K_f + K_s. \tag{8.101}$$

Затраты на земляные работы зависят от глубины заложения дрены d_d, ее конфигурации, способа производства работ. Затраты на укладку дренажных труб зависят от их диаметра, материала и способа укладки. Затраты по укладке фильтра зависят от его толщины, материала и способа производства работ. Капиталовложения на строительство дренажа K_d определяют через удельную протяженность дрен $l = 10\,000/a_d$ (на 1 га орошаемой площади), где a_d — междренное расстояние. Поскольку междренное расстояние a_d зависит от глубины заложения дренажа d_d, действующего напора на междренье H, приведенного диаметра дрены d и толщины фильтровой обсыпки дрены песчано-гравийной смесью t_s, затраты на дренаж являются функцией этих переменных: $K_d = f(d_d, H, d, t_s)$.

Эксплуатационные затраты в настоящее время в практике проектирования определяют как процент от капиталовложений.

Капиталовложения в оросительную сеть K_s выражаются алгебраической суммой капиталовложений на строительство водозабора, насосных станций, проводящей и регулирующей сетей, сооружений на них и поливной техники и в общем виде являются функцией от максимальной удельной водоподачи (гидромодуля) системы $(q_{max})/K_s = f(q_{max})$.

При создании гидромелиоративных систем используемые земельные, водные, трудовые ресурсы и производственные фонды характеризуются качественными и количественными показателями.

Для решения задачи оптимизации (8.99) и (8.100) необходимо выбрать параметры гидромелиоративной системы, которые будут варьироваться в процессе выполнения расчетов по определению сумм приведенных затрат, определить значения этих параметров для основного уровня и шаг их варьирования.

При оптимизации параметров гидромелиоративной системы за независимые переменные принимают: для горизонтального дренажа — d_d, H, D, t_s; для комбинированного — d_d, H, a, D; для вертикального — d, h_s, l, где d_d — глубина заложения дренажа; H — напор на междренье, D — диаметр трубы; t_s — толщина фильтровой обсыпки; a — расстояние между скважи-

нами-усилителями; d_d — диаметр скважины; h_s — глубина понижения; l — длина фильтра.

Последовательность технико-экономических расчетов по вариантам следующая.

I. Технико-экономические расчеты по коллекторно-дренажной сети.

1. При заданных параметрах дренажа d_d, H, d, t_s, обоснованных водно-солевым режимом почвогрунтов, рассчитывают удельную протяженность горизонтального дренажа (на 1 га).

2. Выполняют расчет стоимости устройства 1 м дрены. Для этого составляют таблицу операций на строительство горизонтального дренажа. Основная стоимость дрены складывается из стоимости земляных работ, стоимости фильтра и стоимости дренажных труб. Кроме того, в стоимость строительства горизонтального дренажа входит стоимость устройства колодцев и устьевого сооружения.

Суммарную стоимость земляных работ 1 м длины дрены определяют по формуле

$$\Sigma S_l = S_0 (\Sigma V_1 + \Sigma V_2); \tag{8.102}$$

для выемок без берм

$$V_1 = (bmd_n)\, d_n; \tag{8.103}$$

для выемок с бермами, когда $H > 4{,}5$ м,

$$V_2 = (b + md_n)\, d_n + (2b_1 + d_m m_1)\, d_m, \tag{8.104}$$

где S_0 — стоимость 1 м³ земляных работ; b — ширина основания траншеи; m — заложение откосов траншеи; d_h — глубина заложения траншей; b_1 — ширина бермы; d_m — глубина заложения бермы; m_1 — заложение откосов бермы.

Стоимость 1 м³ земляных работ зависит от категории грунта, применяемых механизмов и определяется по нормативным материалам для соответствующего района. При более детальном анализе составляют подробную смету на строительство дрены. По нормативным материалам определяют стоимость дренажных труб S_t и фильтров S_f, дренажных колодцев $S_к$ и устьевых сооружений S_s. Составляют калькуляцию на устройство дрены и рассчитывают стоимость 1 м ее с сооружениями — S_d

$$S_d = S_t + S_f + S_k + S_s. \tag{8.105}$$

Далее определяют удельную протяженность внутрихозяйственных и межхозяйственных коллекторов и рассчитывают стоимость коллекторной сети. Стоимость внутрихозяйственных и межхозяйственных коллекторов с сооружениями берут по нормативам. Для удобства строят графики удельной стоимости коллекторно-дренажной сети в зависимости от глубины заложения дрен.

3. Капитальные затраты на коллекторно-дренажную сеть определяют по следующей зависимости:

$$K_d = S_d l + S_s l_s, \tag{8.106}$$

где S_d — стоимость 1 м дрены с сооружениями; S_s — то же 1 м коллекторной сети; l — удельная протяженность дренажа на 1 га; l_s — то же коллекторной сети.

4. Эксплуатационные затраты для коллекторно-дренажной сети определяют как процент $\alpha_{\%}$ капиталовложений

$$C_d = \alpha_{\%} K_d. \tag{8.107}$$

5. Суммарные приведенные затраты определяют по формуле

$$P_d = C_d + E_n K_d. \tag{8.108}$$

II. Технико-экономические расчеты по оросительной сети.

1. При определении параметров дренажа выполняют расчет водного и солевого режимов зоны аэрации и корректируют предварительный режим

орошения. По принятому к расчету режиму орошения составляют таблицы и укомплектовывают графики гидромодуля.

2. В случае необходимости уточняют конструкцию оросительной сети и применяемую поливную технику в зависимости от природных условий и экономических предпосылок.

3. Составляют сметно-финансовую таблицу для определения капиталовложений по оросительной сети. Капитальные затраты K_s вычисляют как произведение удельной стоимости оросительной сети с сооружениями на удельную протяженность элементов оросительной сети. Если стоимость оросительной сети принимают по нормативам, то строят графики зависимости стоимости оросительной сети (с сооружениями) от максимальной расчетной ординаты гидромодуля.

4. Размер эксплуатационных затрат C_s для оросительной сети принимают в соответствии с принятыми нормативами. Затраты на текущий ремонт принимают как определенный процент капиталовложений.

5. Суммарные приведенные затраты на оросительную сеть вычисляют по формуле

$$P_s = C_s + E_n K_s. \tag{8.109}$$

Определение оптимальных параметров гидромелиоративной системы требует рассмотрения большого числа ее вариантов и сводится к нахождению минимума функции P_i, записанному в виде (8.100). Решение задачи возможно на ЭВМ с использованием методов планирования машинного эксперимента и поиска минимума функции многих переменных.

8.9. ДОРОЖНАЯ СЕТЬ. ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ

Дороги на орошаемых землях строят нескольких категорий: полевые, внутрихозяйственные, межхозяйственные и эксплуатационные.

Полевые дороги могут быть постоянными или временными. Их прокладывают вдоль участковых и внутрихозяйственных распределителей и водосборов. При одностороннем командовании каналов их целесообразно располагать между водосборными и оросительными каналами. Ширина земляного полотна — до 5 м. Поперечный профиль их делают одно- или двускатным с уклоном 3. . .5 % (рис. 8.33).

Внутрихозяйственные дороги прокладывают вдоль хозяйственных распределителей или водосборных каналов. Их обычно выполняют двускатными с неполным или полным гравийным покрытием либо с асфальтовым покрытием. Ширина полотна 6,5 м. Для отвода поверхностных вод с дорожного полотна и во избежание затопления дорог водами, стекающими с прилегающей территории, устраивают кюветы трапецеидального или треугольного сечения глубиной от 0,3 до 0,6 м. Продольный уклон дорог может быть, как правило, не более 9. . .10 %, но не менее 0,003 (для обеспечения стока воды из кюветов). Превышение земляного полотна над расчетным уровнем грунтовых вод для слабозасоленных грунтов должно быть не менее 0,8. . .1,2 м, а для средне- и сильнозасоленных — не менее 1. . .1,7 м.

На оросительных системах предусматривают следующие **защитные лесные насаждения:** полезащитные, водоохранные, почвозащитные, озеленительные.

Площадь полезащитных лесополос составляет не более 4 % площади орошения. Длину лесополосы принимают не менее 60 % длины канала. Площадь для остальных групп лесополос (вдоль дорог, вокруг прудов, у поселков, насосных станций, не используемых в сельском хозяйстве земель) назначают, исходя из конкретных условий объекта.

Расстояние между продольными лесными полосами не должно превышать 800 м, поперечными — 2000 м, а на песчаных почвах — 1000 м.

Полезащитные лесные полосы располагают в двух взаимно перпендикулярных направлениях: продольном (основные) — поперек преобладающих

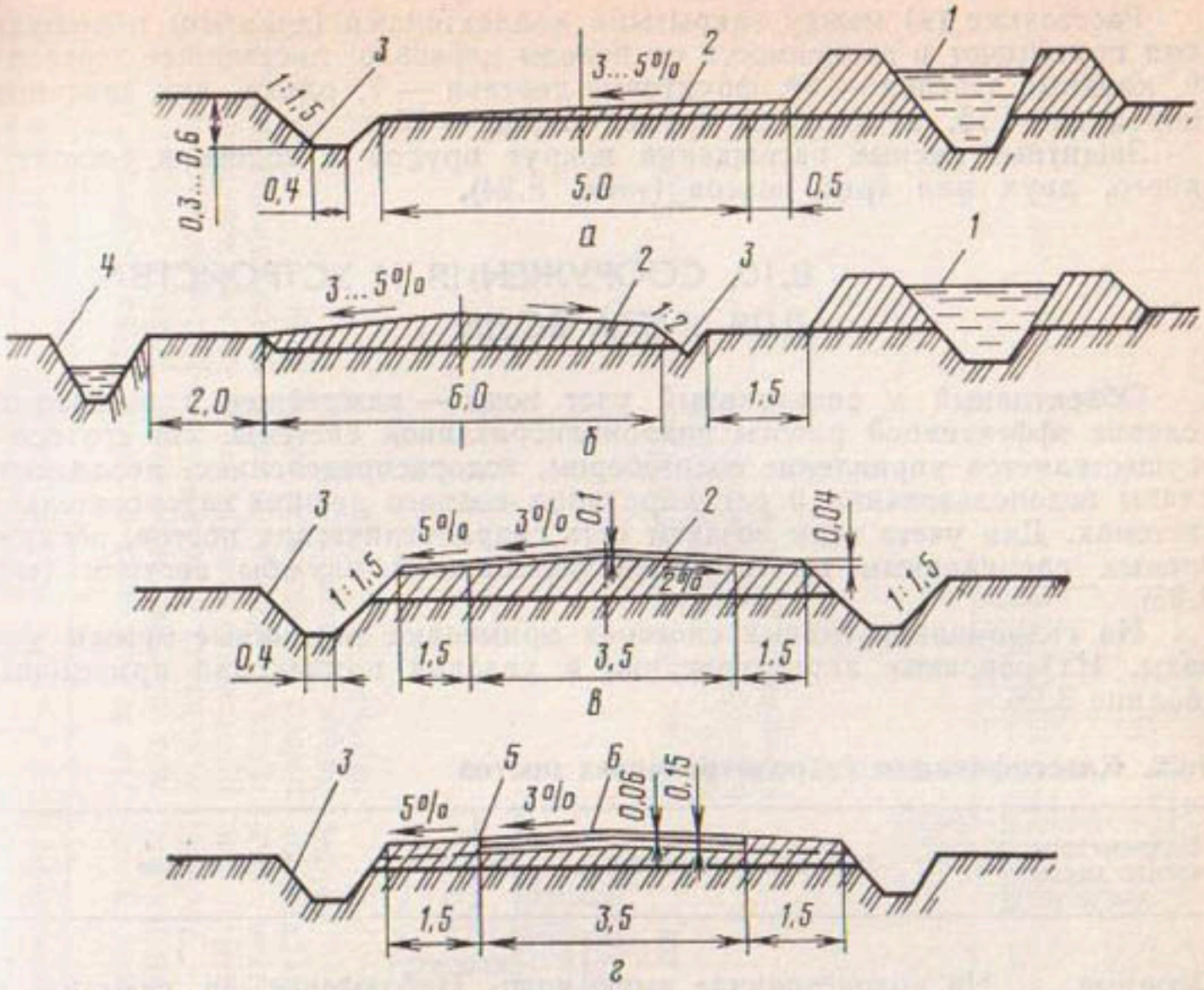


Рис. 8.33. Поперечные профили дорог:
а и *б* — полевых; *в* — внутрихозяйственных с гравийным покрытием серповидного профиля; *г* — внутрихозяйственных с гравийным покрытием и поверхностной обработкой битумом; *1* — оросительный канал; *2* — насыпь; *3* — кювет; *4* — коллектор ;*5* — обочина; *6* — проезжая часть (размеры в м)

в данной местности ветров (суховейных, вызывающих пыльные бури, метелистых), поперечном (вспомогательные) — перпендикулярно продольным.

При организации территории орошаемых земель стремятся, чтобы поля севооборотов и отдельные поливные участки длинной стороной располагались поперек направления преобладающих ветров или с отклонением от него не более чем на 30°.

Крайний ряд насаждений вдоль каналов размещают на расстоянии не менее 3 м от подошвы дамбы или откоса выемки. При высоте дамбы или глубине выемки более 3 м это расстояние увеличивают до 4. . .5 м.

Первый ряд лесных насаждений предусматривают на расстоянии от края лотков 2,5. . .3 м, от трубопроводов — 2 м.

8.24. Защитные лесные насаждения по поясам посадок

Пояс	Зона расположения	Насаждения
Первый — берегоукрепительный	Расчетный подпорный уровень	Два ряда и более кустарников ив
Второй — ветроломный и дренирующий	Между отметками расчетного и форсированного подпорных уровней	Тополя и древовидные ивы
Третий — противоэрозионный	Выше форсированного уровня	Засухоустойчивые породы деревьев

Расстояние (м) между закрытыми коллекторами (дренами) и лесополосами принимают в зависимости от породы деревьев: лиственные деревья — 20, хвойные деревья — 30, фруктовые деревья — 7, ольха, ива, шиповник, смородина — 15, кустарники других пород — 10.

Защитные лесные насаждения вокруг прудов и водоемов состоят из одного, двух или трех поясов (табл. 8.24).

8.10. СООРУЖЕНИЯ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ УЧЕТА ВОДЫ

Объективный и оперативный учет воды — важнейшее и необходимое условие эффективной работы гидромелиоративной системы. На его основе осуществляется управление водозабором, водораспределением, реализуются планы водопользования и регулирования водного режима на оросительных системах. Для учета воды создают сеть гидрометрических постов, обслуживаемых специальным штатом эксплуатационной службы системы (табл. 8.25).

На гидромелиоративных системах применяют различные методы учета воды. Их основные характеристики и условия применения приведены в таблице 8.26.

8.25. Классификация гидрометрических постов

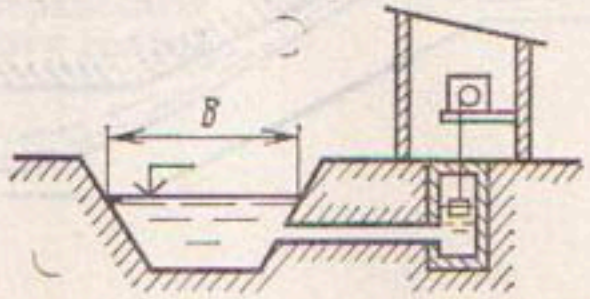
Гидрометрические посты	Месторасположение	Назначение
Опорные	На водоисточнике выше водозаборного узла при отсутствии поста государственной гидрологической сети	Наблюдение за режимом источника орошения и оценка его оросительной способности
Головные	На головных участках магистральных (головных) каналов	Учет поступающей в них воды
Балансовые	На границах административных районов, гидроучастках, на водоисточнике ниже впадения в него сбросных каналов	Состояние и анализ водного баланса отдельного участка, района, крупного канала, системы в целом
Распределительные	На головных сооружениях распределителей всех порядков межхозяйственной сети	Учет и распределение воды в межхозяйственной сети
Хозяйственные	На водовыделах внутрихозяйственной сети	Учет и контроль воды, подаваемой хозяйствам-водопользователям
Для учета стока	В устьях коллекторно-дренажной и сбросной сети	Учет сбросных и коллекторно-дренажных вод
Режимные	Наблюдательные скважины	Наблюдение за уровнем грунтовых вод

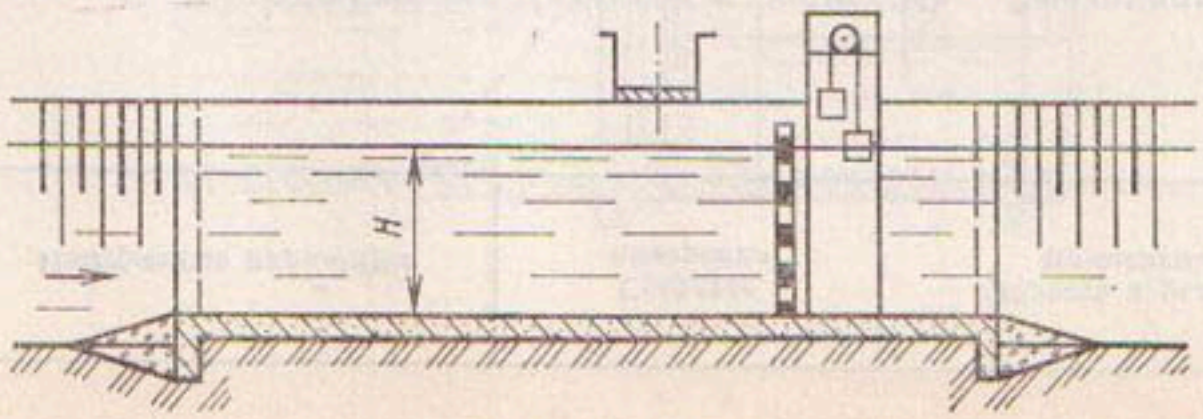
8.11. РЕКОНСТРУКЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

8.11.1. ЗАДАЧИ И ЦЕЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ

Реконструкция оросительных систем — комплекс мероприятий по их переустройству и техническому перевооружению, повышению водообеспеченности, улучшению мелиоративного состояния земель, исключению возможных негативных последствий при орошении земель.

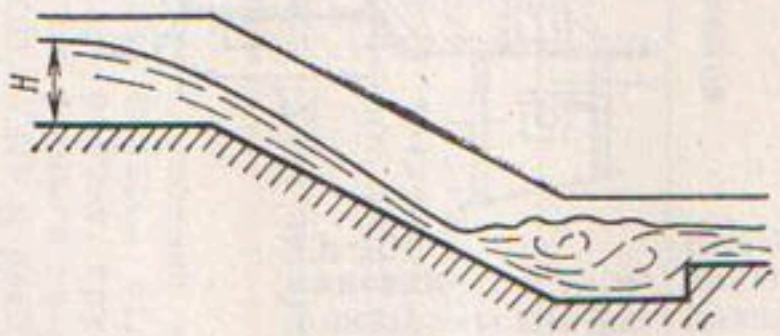
Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Русловый метод				
Тарированное русло канала (прямолинейный участок канала длиной $L \geqslant 5B$, где B — ширина канала поверху)	Уровень воды. Расход определяют по кривой $Q = f(H)$ или таблице	Измерители уровня (уровнемеры, датчики уровня, самописцы), дистанционные гидрометрические установки ГР-64, ГР-70	На балансовых и головных постах учета воды, в каналах с устойчивым руслом вне зоны подпора и спада. Диапазон измерения расходов не ограничен. Погрешность измерения 5...10 %	Периодические (2...3 раза в месяц) контрольные гидрометрические измерения для проверки кривой расхода
Фиксированное (контрольное) русло (прямолинейный участок канала длиной $L \geqslant 5B$, защищенный бетоном, камнем и другими материалами от размыва и зарастания)	То же	То же	То же на участках канала с неустойчивым руслом. Погрешность измерения до 6 %	То же



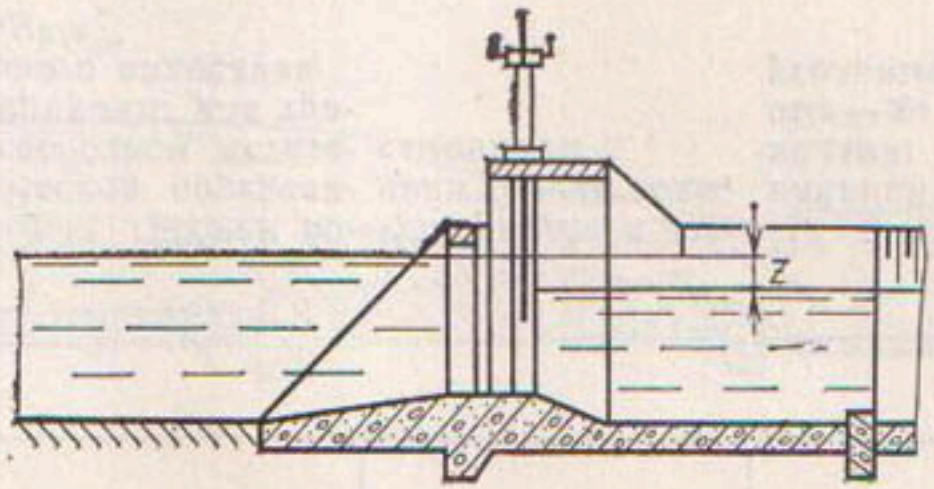


Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Градуированные гидротехнические сооружения				
С обеспеченным свободным истечением в нижний бьеф	Напор H над порогом сооружения. Расход определяют по градуировочному графику или таблице	Датчики и самописцы уровня воды	На водопроводящих, сопрягающих и сбросных сооружениях. Диапазон измерения расходов не ограничен. Погрешность измерения 5...6 %	Периодические контрольные измерения для проверки градуировочной зависимости

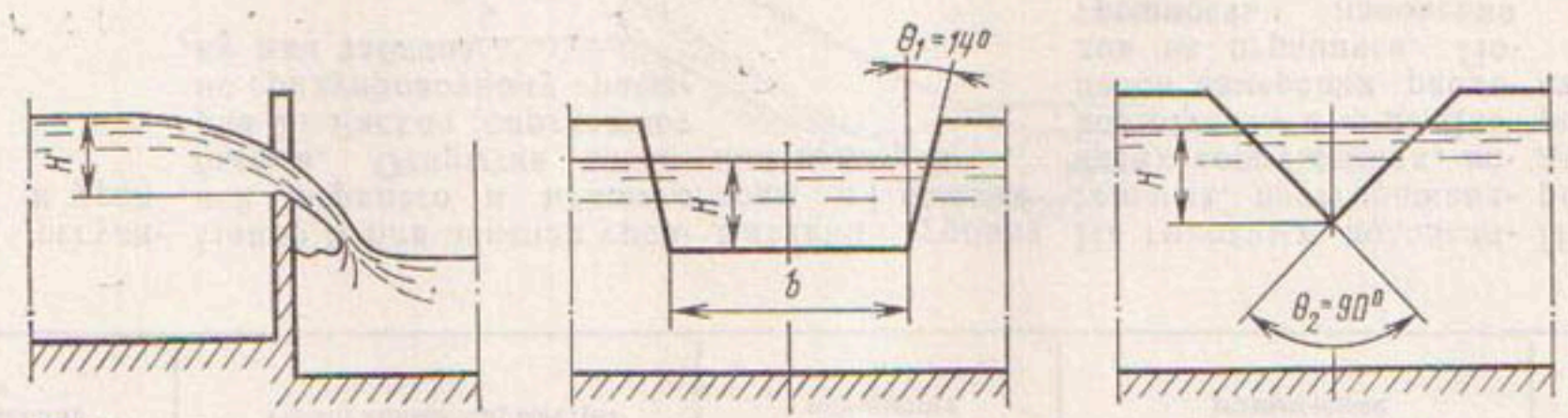


Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
С затворами для регулирования расходов и уровней воды	Напор H или перепад уровней верхнего и нижнего бьефов. Открытие затворов Z. Расход определяют по градуировочному графику или таблице	Датчики уровня воды и положения затворов	На головных вододелительных, перегораживающих сооружениях, водовыпусках и т. д. Диапазон измерения расходов не ограничен. Погрешность измерения до 6 %	Периодические контрольные измерения для проверки градуировочной зависимости

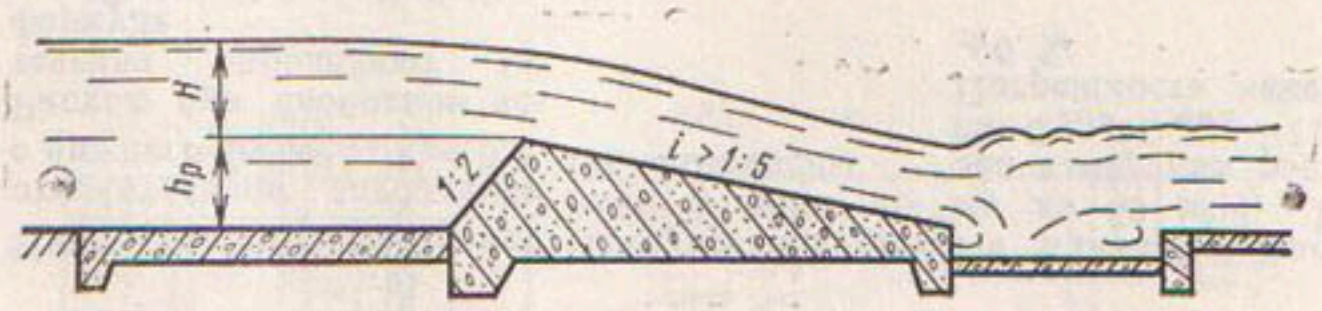


Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Специальные расходомерные сооружения				
Водосливы: с тонкой стенкой (трапецеидальные, треугольные и др.)	Напор H над гребнем водослива. Расход определяют при свободном истечении по формулам: для трапецеидального водослива $Q = 1{,}86\,bH^{3/2}$; для треугольного водослива $Q = 1{,}4\,H^{5/2}$;	Измерители и датчики уровня воды, самописцы	На каналах вне зоны влияния подпора с расходами: трапецеидальные — до 6...8 м³/с; треугольные — до 100 л/с	Периодические контрольные измерения для проверки градуировочной зависимости

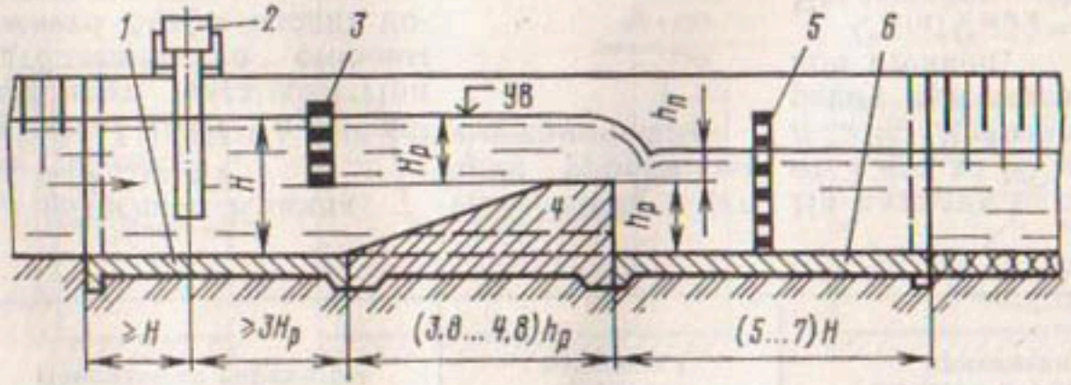


Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
водослив Крампа	для водослива Крампа $Q = 1{,}96\,mbH^{3/2}$, где $m = f[H/(H+h_p)]$ — коэффициент расхода. При подтоплении со стороны нижнего бьефа вводят поправку на подтопление	Измерители и датчики уровня воды, самописцы	На каналах с расходом от 3 л/с до 50 м³/с при $B \geqslant 2h$. Диапазон измерения водосливов с тонкой стенкой $Q_{min}:Q_{max} = 1:6$. Погрешность измерения ±5 %	При подтоплении со стороны нижнего бьефа точность измерения снижается

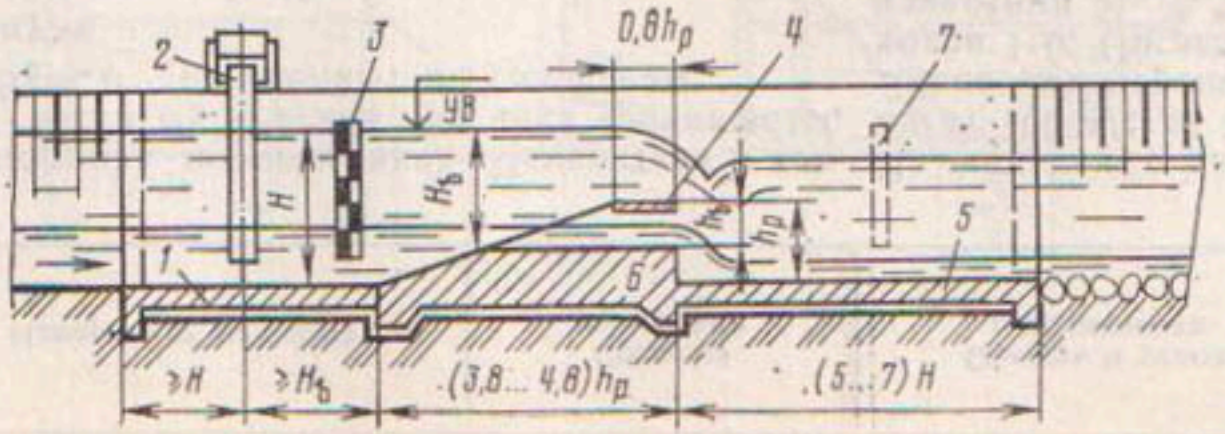


Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Водомерный порог САНИИРИ: *1*, *6* — бетонированные участки канала; *2* — уровнемер; *3*, *5* — рейки; *4* — порог	Напор над порогом H_p при относительном затоплении с нижнего бьефа $h_n/h_p \leqslant 0{,}8$. Расход при свободном истечении определяют по формуле $Q = \mu_Q (L + m_c H_p) \times$ $\times H_p \sqrt{2gH_{p1}}$, где $\mu_Q = 0{,}37 \ldots 0{,}4$ — коэффициент расхода	Измерители и датчики уровня воды, самописцы	На каналах с расходами до 60 м³/с. Диапазон измерения расходов $Q_{min}:Q_{max} = 1:8$. Погрешность измерения ±6 %	Создают подпор до $(0{,}1 \ldots 0{,}2)\, h_{max}$. При $h_n/H_p > 0{,}8$ сказывается подпор со стороны нижнего бьефа, и точность измерения снижается

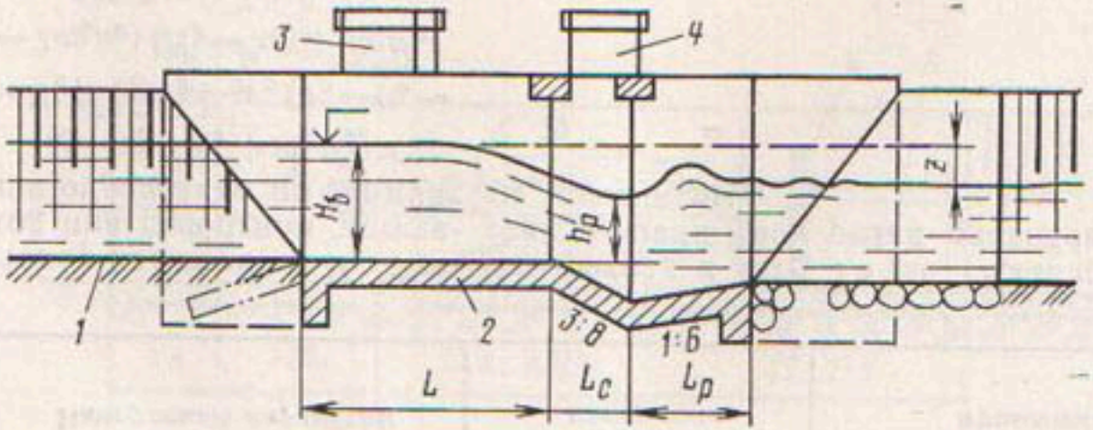


Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Водомерный порог САНИИРИ с вырезом: *1, 5* — бетонированные участки канала; *2* — уровнемер; *3, 7* — рейки; *4* — вырез порога (ширина по дну b_p; $0{,}1\ b_p \leqslant b_b \leqslant 0{,}8 b_p$; высота вырезана $h_b \approx 0{,}5 h_p$; h_p — высота порога); *6* — порог	Напор над порогом H_b. Расход при свободном истечении определяют по формуле $Q = \varepsilon \mu_b (b_b + m_b H_b) \times H_b \sqrt{2g} H_b + \mu_p (b_p - b_b - 2 m_b h_b)(H_b - h_b)\sqrt{2g H_b}$, где $\varepsilon = 0{,}7 + 0{,}3 \times \left(\frac{b_b}{b_p - 2 m_b b_b}\right)^2$; $\mu_b = 0{,}37 + 0{,}025 \times [H_b/(h_p - h_b)]$; $\mu_p = 0{,}37 + 0{,}04 H_b/h_b$	Измерители и датчики уровня воды, самописцы	То же. Диапазон измерения расходов 1:30	Создают подпор до $(0{,}1 \ldots 0{,}2) h_{max}$. При $h_p/H_p > 0{,}8$ сказывается подпор со стороны нижнего бьефа, и точность измерения снижается



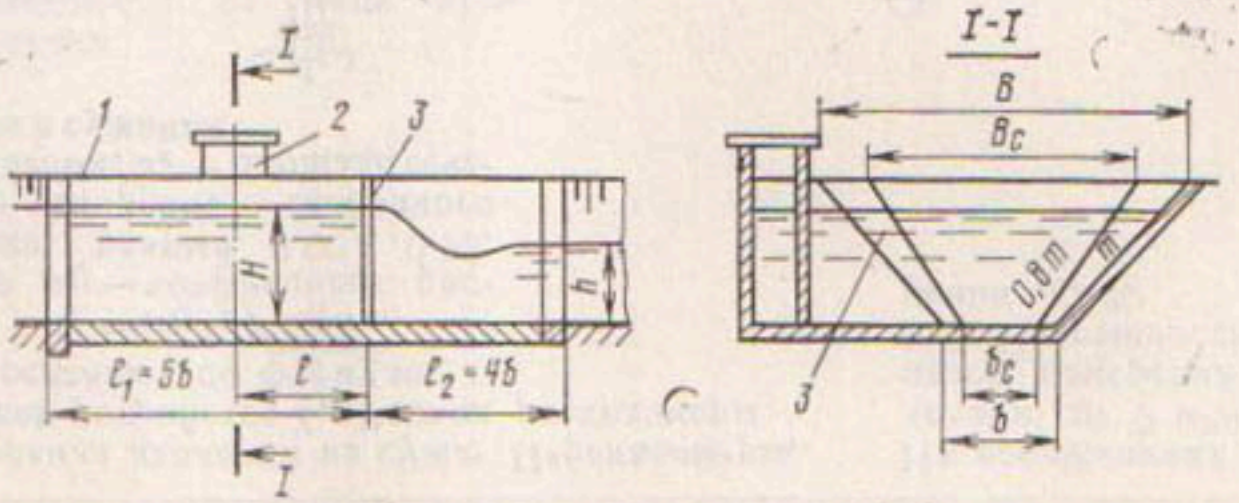
Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Водомерный лоток Паршалла: *1* — канал; *2* — лоток; *3, 4* — уровнемерные колодцы; L_1, L_c, L_p, а также другие размеры лотка нормированы в зависимости от значения измеряемых расходов Q_{max} и Q_{min}	Напор над порогом входной части H_b. Расход при $h_p/H_b \leqslant 0{,}7$ определяют по формуле $$Q = 0{,}372\, b_p^{1}\left(\frac{H_b}{0{,}305}\right)^{n},$$ где $n = 1{,}57\, b_l^{0{,}026}$, или по таблице, составленной по указанной формуле	Измерители и датчики уровня воды, самописцы	На каналах с расходами от 100 л/с до 5 м³/с. Диапазон измерения расходов 1:6. Погрешность измерения 5...6 %	При $h_n/H_b > 0{,}7$ сказывается подтопление со стороны нижнего бьефа и в значение расхода, определенного по формуле, вносят поправку



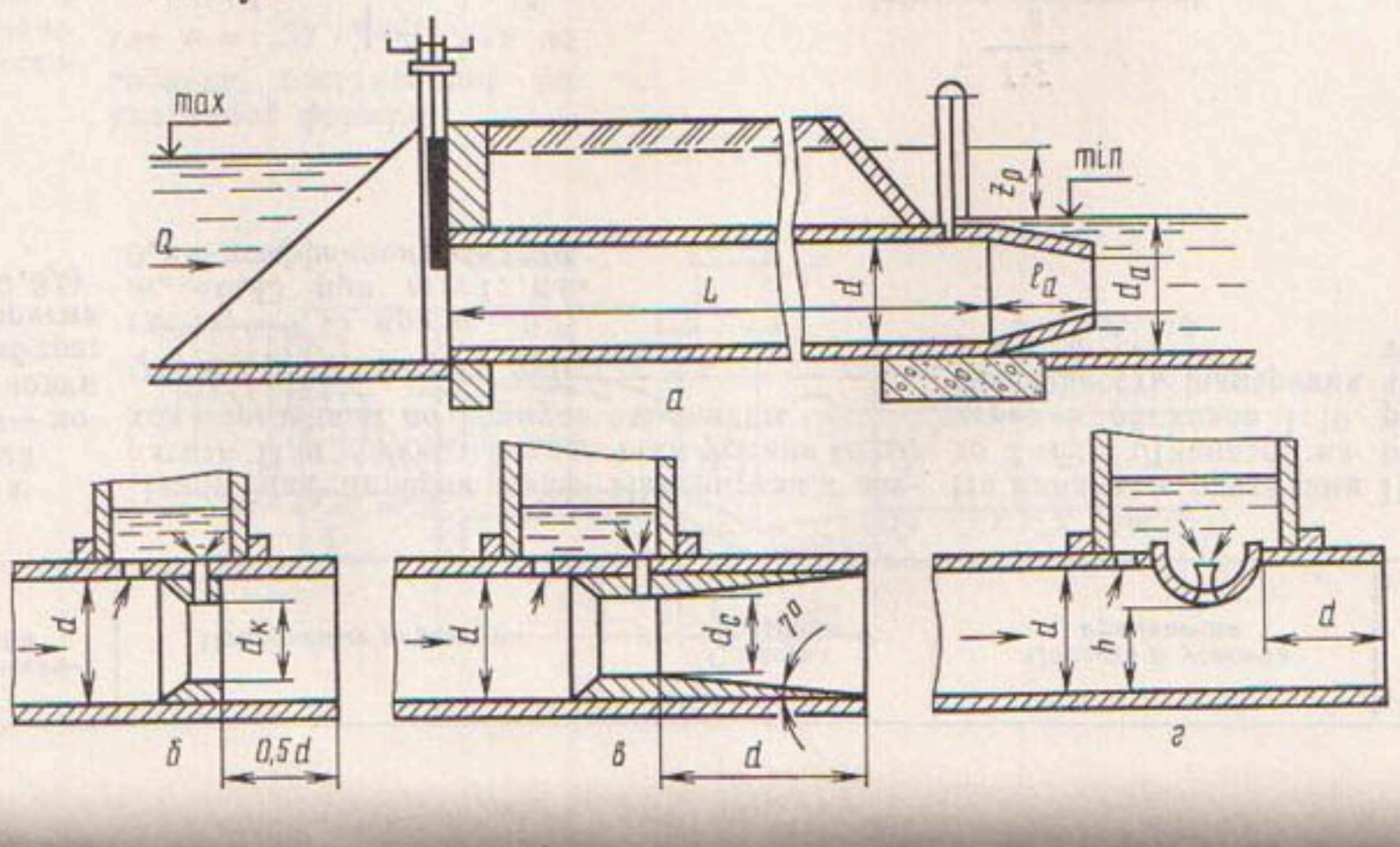
Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Водомерная диафрагма: *1*—бетонированный участок канала; *2*—колодец для установки водомерного прибора; *3*—боковая диафрагма ($B_c=0{,}8B$; $b_c=0{,}8b$)	Напор над порогом диафрагмы. При $h/H\leqslant 0{,}8$ расход определяют по формуле $Q=m_c\varepsilon(b+0{,}8mH)H\sqrt{2gH}$, где $m_c=0{,}45$ при $m=0{,}5$, $m_c=0{,}43$ при $m=1$; $\varepsilon=0{,}8$—коэффициент сжатия	Измерители и датчики уровня воды, самописцы	На каналах с расходами до 2 м³/с. Диапазон измерения расходов 1:10. Погрешность измерения 5...6 %	При $h/H>0{,}8$ сказывается подпор со стороны нижнего бьефа, что отражается на точности измерения



Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Трубчатые водомеры с сужающим устройством: *а* — с насадкой, $d_a = 0{,}74\,d$; *б* — с кольцом, $d_k = 0{,}75d$; *в* — с сужением типа Вентури, $d_c = 0{,}7d$; *г* — с диафрагмой, $h = 0{,}63\,d$	Перепад давления на сужающем устройстве Z_p. Расход определяют по формуле $Q = \mu_Q S_c \sqrt{2gZ_p}$, где μ_Q — коэффициент расхода, равный 0,90...0,95; g — ускорение свободного падения; S_c — площадь сечения в сужении	Перепадомеры, расходомеры	На сооружениях с расходами до 3 м³/с. Диапазон измерения 1:3... 1:5. Погрешность измерения ±5 %	Длина прямого участка от щитового устройства до сужения должна быть не менее 6*d*, истечение затопленное

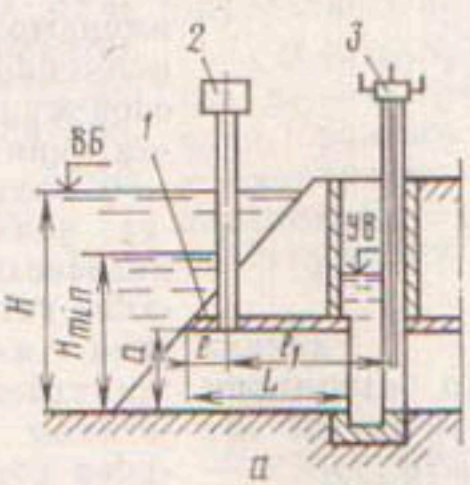


Продолжение

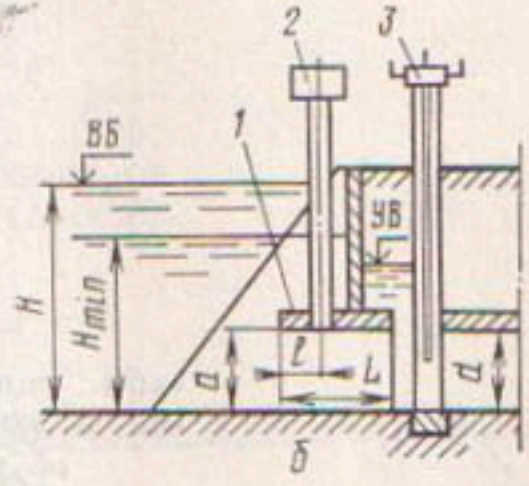
Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Водомерные приставки: *а*—с наклонным входом; $\theta<90°$; $L=(1{,}5\ldots3)\,a$; *б*—с горизонтальной верхней полкой и прямым входом, $L=(1{,}5\ldots3)\,a$, где a—высота отверстия; *в*—с горизонтальной верхней полкой полигонального очертания, $L=1{,}5\,a$; *г*—в виде тонкого ребра над верхней кромкой отверстия в дополнительной забральной стенке, $L=0{,}25\,a$; *д*—в виде козырька полигонального очертания в забральной стенке между бычками оголовка, $L=0{,}8\,a$; *1*—приставка; *2*—водоучитывающий прибор; *3*—затвор	Перепад давления Z_p на участке между верхним бьефом и водомерным сечением на расстоянии $l\geqslant0{,}5\,d$ от входа и $l_1>d$ от затвора. Расход определяют по формуле $$Q=\mu_Q S\sqrt{2gZ_p},$$ где $\mu_Q=0{,}54\ldots0{,}89$ в зависимости от типа приставки	Перепадомеры, расходомеры	Первые три типа приставок—на сооружениях с расходами до 10 м³/с; четвертый и пятый—на сооружениях с $Q>10$ м³/с. Диапазон измерения 1:5. Погрешность измерения ±5 %	Уровень воды в верхнем бьефе сооружения должен быть выше потолка приставки не менее чем на $0{,}3\,d$ или $0{,}5\,d$

Продолжение

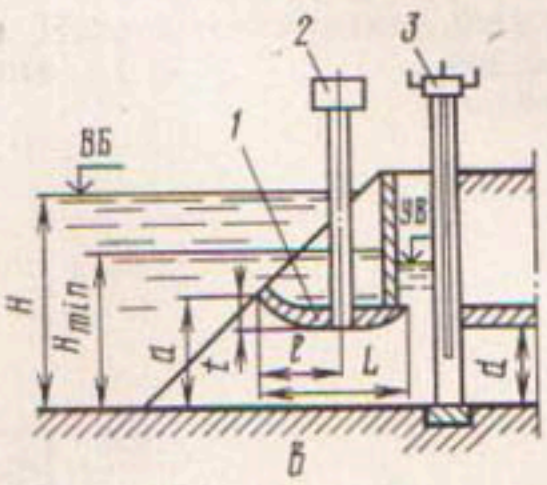
Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания



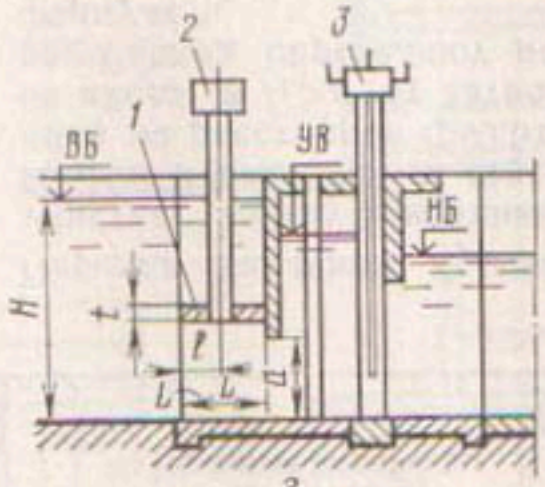
а



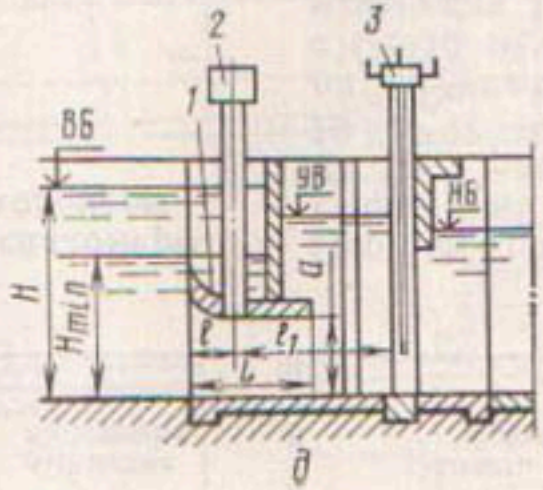
б



в



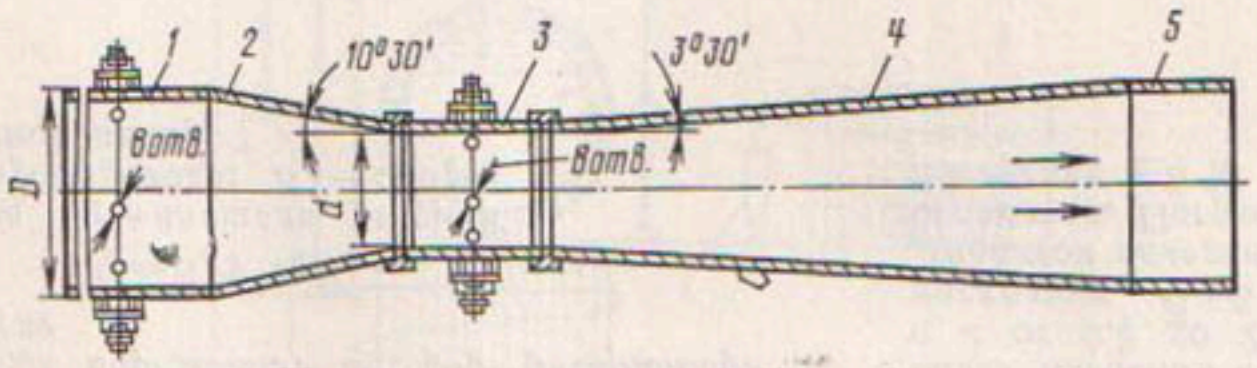
г



д

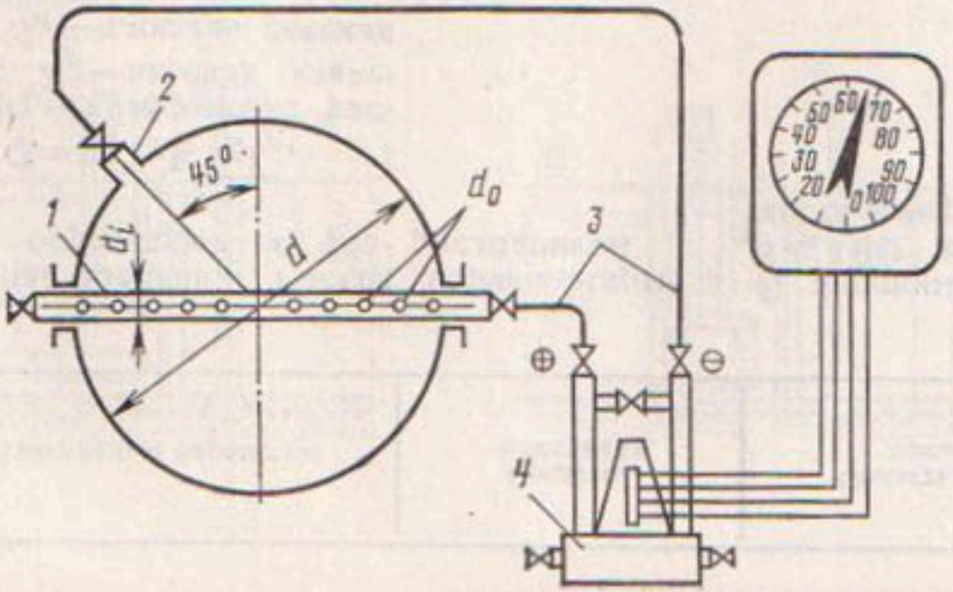
Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Сопло и труба Вентури: *1*—входной патрубок; *2*—входной корпус; *3*—горловина; *4*—диффузор; *5*—выходной патрубок	Перепад давлений. Расход воды определяют по формуле $Q = \mu_Q S_d \sqrt{2gZ_p}$, где μ_Q—коэффициент расхода; Z_p—перепад давлений; S_d—площадь сечения горловины	Дифманометры-расходомеры	В напорных водоводах $d \leqslant 1400$ мм. Погрешность измерения 5 %	Необходима периодическая промывка или продувка воздухом импульсных трубок дифманометров



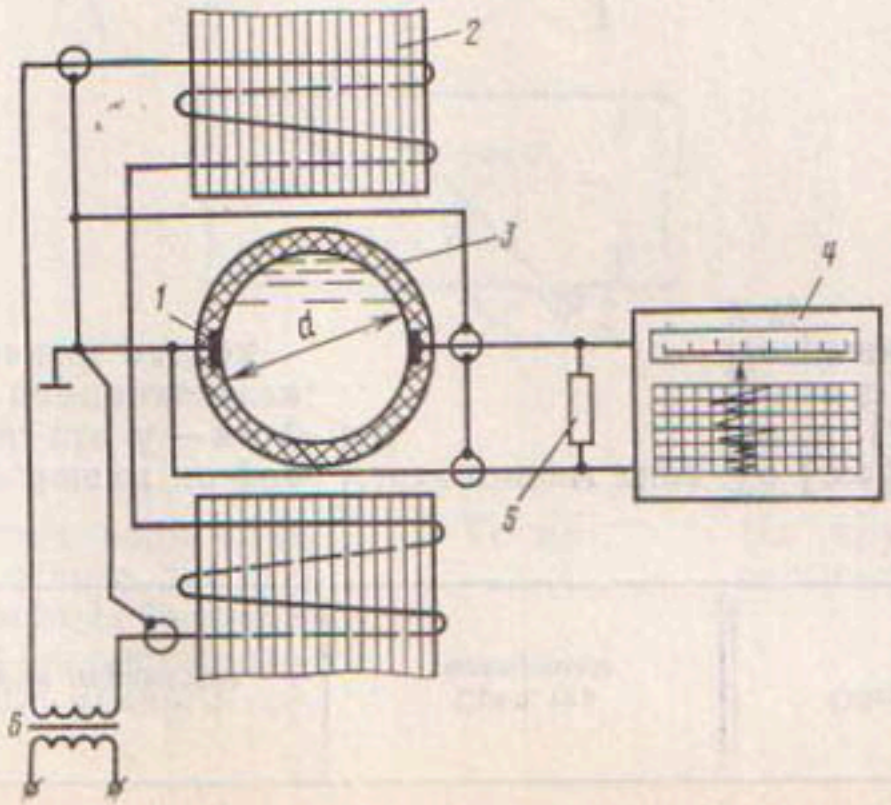
Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Интегрирующая (осредняющая) трубка с $d_i/d=0{,}02...0{,}05$ в зависимости от средней скорости v_m м/с: *1* — перфорированная интегрирующая трубка, число отверстий $n=6...20$ в зависимости от диаметра трубопровода d; диаметр отверстия $d_o \leqslant 0{,}3\,d_i$; *2* — точка отбора статического давления; *3* — импульсные трубки; *4* — дифманометр (ДМ)	Перепад давлений. Расход воды определяют по формуле $Q=S_d\sqrt{2gH_v}$, где S_d — площадь сечения трубопровода; H_v — скоростной напор	Дифманометры-расходомеры	В напорных трубопроводах насосных станций с d от 0,5 до 2,8 м с расходами $Q>6$ м³/с. Диапазон измерения неограничен. Погрешность измерения ±5 %	Необходима периодическая промывка или продувка воздухом импульсных трубок дифманометров. Интегрирующую трубку устанавливают на прямолинейном участке трубопровода длиной $L\geqslant 20\,d$ на расстоянии $l_1>15\,d$ от его начала



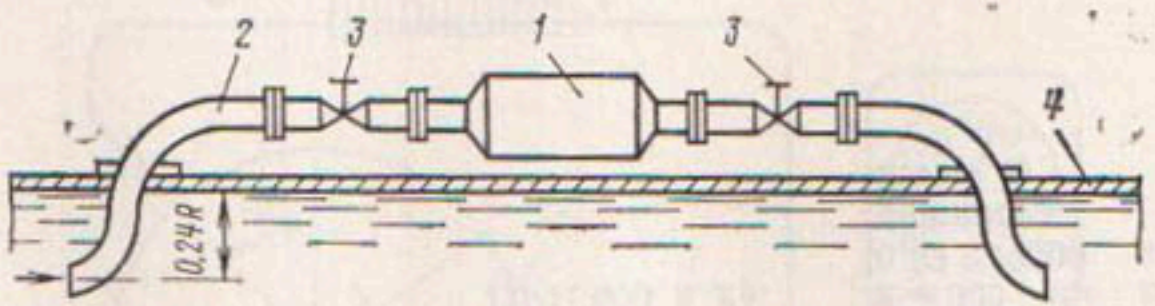
Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Электромагнитные (индукционные) расходомеры: *1* — электроды; *2* — электромагнит; *3* — трубопровод; *4* — измерительный блок; *5* — шунт; *6* — трансформатор	Расход воды	Расходомеры типа ИР-51; ИР-61; НРИ-400 и др.	В напорных водоводах насосных станций с $d = 300$ мм на расход 0,32...2500 м³/ч. Погрешность измерения 2...3 %	Минимальная длина прямолинейного участка трубопровода до и после датчика равна 1,0 d. Необходима периодическая проверка нуля показаний прибора



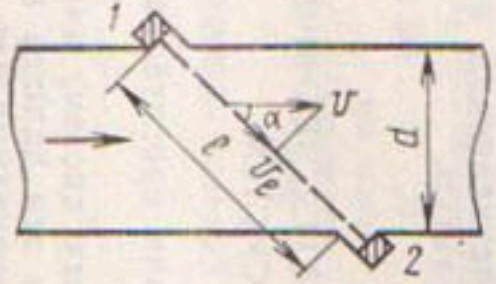
Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Парциальный расходомер Одесского политехнического института: *1* — индукционный датчик; *2* — парциальный отвод; *3* — задвижка; *4* — трубопровод	Расход определяют по формуле $Q = Kq$, где K — коэффициент парциальности; q — парциальный расход	Расходомеры типа ИР	То же при $d = 0{,}3 \ldots 2{,}4$ м. Диапазон измерения расходов 1:10. Погрешность измерения 3 %	Необходима индивидуальная градуировка датчика расхода



Продолжение

Метод измерения, тип расходомерного сооружения и устройства	Измеряемые параметры	Средства измерения	Область и условия применения	Примечания
Расходомер ультразвуковой многоканальный РУМ-1: *1* и *2* — датчики-излучатели ультразвуковых импульсов	Среднюю скорость потока воды v определяют путем ультразвукового зондирования. Расход вычисляют по формуле $Q = vS$, где S — площадь сечения водовода. Измеряют также суммарный сток воды	Ультразвуковой измеритель скорости течения	В напорных трубопроводах $d = 0{,}5 \ldots 4{,}0$ м. Диапазон измерения расходов 1:10. Погрешность измерения 1,5... 2 %	—
Ультразвуковая расходомерная станция УРС	Расход и сток воды определяют на основе ультразвукового метода измерения средней скорости потока и площади водного сечения	То же	На крупных вододелительных узлах	—



Как правило, реконструкцию оросительных систем следует проводить комплексно, то есть одновременно с техническим совершенствованием систем необходимо предусматривать строительство жилых и бытовых помещений, дорог, а также развитие сельскохозяйственной производственной базы.

Цели реконструкции: увеличение производства сельскохозяйственной продукции и снижение ее себестоимости, улучшение условий и повышение производительности труда путем внедрения новых технологий и оборудования, ресурсосберегающих методов организации производства, повышение КЗИ, КПД, КИВ; восстановление земель, выпавших из сельскохозяйственного использования в связи с их засолением, заболачиванием и по другим причинам; проведение мер по охране окружающей среды; освоение пустующих или используемых при естественном режиме увлажнения земель, расположенных в границах оросительных земель.

Для научного обоснования намеченных работ необходимо создать теорию и методы комплексной реконструкции систем, обеспечивающие коренное улучшение мелиоративного состояния земель и использование водных и земельных ресурсов; отработать индустриальную технологию реконструкции, обеспечивающую резкое сокращение номенклатуры парка применяемой техники, повышение производительности труда и снижение себестоимости работ; сформулировать оптимальный комплекс методов и средств ликвидации процессов деградации почв на реконструированных мелиоративных системах. Должны быть разработаны и использованы режимы орошения, учитывающие в отличие от традиционных адаптационные свойства растений, что позволит в любых условиях формировать фитосинтетический потенциал посевов, обеспечивающий высокую и устойчивую урожайность сельскохозяйственных культур.

8.11.2. ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Техническое состояние оросительных систем оценивается по четырем разрядам (табл. 8.27).

Разряды оросительных систем, как и классы (см. 8.1), определяют в период паспортизации, и эти данные используют при разработке перспективных планов совершенствования или реконструкции систем для доведения их до I и II разрядов.

Уровень технического состояния оросительных систем I и II разрядов примерно должен удовлетворять следующим условиям:

водообеспеченность системы (по году 75 %-ной вероятности превышения стока) за период вегетации — 100 %;

объем очистки наносов в системе — не более 5 м³/га;

сбросная и межхозяйственная сеть обеспечивает отвод избыточных вод за пределы системы;

на каналах и сооружениях межхозяйственной сети обеспечена автоматизация водораспределения и учета воды;

протяженность постоянных каналов — не более 20. . .25 м/га;

площади поливных участков — не менее 20 га;

совершенная поливная техника — поливные трубопроводы, шланги, поливные и дождевальные машины.

Оросительная система высокого технического уровня должна гарантировать получение 90 % среднегодовой продукции растениеводства не менее чем за 20-летний период.

Для создания нормальных условий эксплуатации на 1000 га орошаемых земель рекомендуется иметь 50. . .60 регулирующих сооружений и более, 1. . .2 водовыдела на хозяйство, 12. . .15 гидрометрических постов, 8. . . 10 км телефонных линий, до 8 км служебных дорог.

Классификация оросительных систем с учетом продуктивности мелиорированных земель в пустынной области разработана Б. Н. Кадыровым (табл. 8.28).

8.27. **Техническое состояние оросительных систем**

Разряд	Техническое состояние			Мелиоративное состояние			Объем реконструкции
	отклонение от КИВ	КЗИ	КПД оросительной сети	площадь засоленных земель, %	глубина грунтовых вод, м	минерализация грунтов, г/л	
				Хорошее			
I	~0,005	0,85; 0,50*	0,8... 0,85	Нет	Более 5	До 5	Совершенствование поливной техники
				Удовлетворительное			
II	~0,005	0,80; 0,50*	0,66... 0,75	До 20	3...4 на площади не более 20%	До 5	До 25% существующей стоимости
				Недостаточное, малоуправляемое			
III	Более 0,005	50... 65	0,51... 0,65	До 50	2...3 на площади до 30%	Более 5	26...50% существующей стоимости
				Неудовлетворительно			
IV	—	—	—	—	—	—	Более 50% существующей стоимости

* Для засушливой зоны.

8.11.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

На базе генеральной схемы перспективного развития и размещения объектов мелиорации и водного хозяйства с использованием материалов государственной статистической отчетности сельскохозяйственных или водохозяйственных органов проводят оценку состояния оросительных систем и их водообеспеченности.

При планировании работ по **комплексной реконструкции** особое внимание должно быть уделено технико-экономическому обоснованию приоритетности выбора перспективных объектов, реконструкция которых обеспечит наиболее быструю отдачу. Для выбора первоочередности объекта реконструкции можно руководствоваться данными таблицы 8.28 с обязательным расчетом коэффициента экономической эффективности капиталовложений (т. «Экономика»).

Реконструкцию оросительной системы необходимо проводить с учетом социального и экологического эффекта.

Социальный эффект выражается в улучшении жизненных условий людей, обслуживающих систему, сельскохозяйственных рабочих и их семей, повышении производительности труда, сокращении трудоемких работ, а также в возможности вовлечения в трудовую деятельность части незанятого сельского населения, особенно в Среднеазиатском регионе.

8.28. Классификация гидромелиоративных систем пустынной области (Б. Н. Кадыров)

Показатели	Технический уровень систем				
	очень низкий	низкий	средний	высокий	очень высокий
Урожайность	Очень нестабильная и низкая, $K_Y=0,45$	Нестабильная и низкая, $K_Y=0,45...0,55$	Нестабильная за многолетний ряд, высокая в отдельные годы, $K_Y=0,85$	Нестабильная, $K_Y=1,0$	Стабильно высокая, $K_Y=1,0$
Затраты воды на единицу урожая, м³/ц	800...1000	600...800	300...600	250...300	До 250
Мелиоративное состояние земель	Крайне неудовлетворительное	Неудовлетворительное	Удовлетворительное	Хорошее	Отличное
Уровень грунтовых вод (ГВ) и их минерализация	Очень высокий. Режим ГВ формируется за счет водоподачи, испарения, дренажного стока; $K_{gr}=0,6$; $K_{ws}=3$	Высокий. Режим ГВ формируется за счет водоподачи, испарения, дренажного стока; $K_{gr}=0,75$; $K_{ws}=2$	ГВ и их минерализация подвержены сильным колебаниям, их режим формируется за счет водоподачи, дренажного стока; $K_{gr}=0,9$; $K_{ws}=1,5$	ГВ расположены относительно глубоко, их режим близок к оптимальному, минерализация невысокая; $K_{gr}=1$; $K_{ws}=1$	Стабильно низкий. Минерализация невысокая; $K_{gr}=1$; $K_{ws}=1$
Засоленность почв	50...75% территории сильнозасоленные почвы, $K_s=3$	30...50% территории — средне- и сильнозасоленные почвы, $K_s=2...3$	Почвы в основном слабозасолены, местами среднезасоленные, $K_s=1,5...2,0$	Почвы в основном слабо- и незасоленные, $K_s=1,5...1,0$	Почвы не засолены, $K_s=1$

Продолжение

Показатели	Технический уровень систем				
	очень низкий	низкий	средний	высокий	очень высокий
Дренированность K_{sb}	0,5...0,4	0,4...0,3	0,3...0,2	0,2...0,15	0,2...0,15
КПД системы	До 0,4	0,4...0,55	0,55...0,75	0,75...0,80	0,8...0,85
КПД внутрихозяйственной сети	До 0,5	0,5...0,65	0,65...0,8	0,8...0,85	0,85...0,90
КЗИ	0,4...0,5	0,6...0,7	0,75...0,8	0,85	0,9
Удельная протяженность внутрихозяйственной оросительной сети, м/га	55...65	52	48	45	35

Примечание. K_Y — коэффициент относительной изменчивости урожайности, определяется отношением средневзвешенной урожайности к проектной; K_{gr} — коэффициент, характеризующий уровень грунтовых и напорных вод, определяется отношением средневзвешенной по площади глубине к проектной; K_{ws} — коэффициент минерализации грунтовых вод, определяется отношением средневзвешенной по площади минерализации к проектной; K_s — коэффициент засоленности почв, определяется отношением средневзвешенной по площади засоленности к проектной; при K_Y и K_{gr}, равных или больше единицы, а K_{ws} и K_s меньше единицы мелиоративное состояние земель и работоспособность оросительной сети благополучные; K_{sb} — коэффициент водно-солевого баланса орошаемых земель, характеризует дренированность территории, определяется отношением дренажного стока к водоподаче (брутто).

Социальный эффект от реконструкции оросительных систем не суммируют с экономическим, а учитывают отдельно.

Экологический эффект выражается в улучшении качества воды вследствие уменьшения водозабора и снижения сброса загрязненных и минерализованных вод, сохранении и повышении плодородия почв, исключении негативного влияния оросительных систем на окружающую среду, создании мест жизнеобитания для животных.

Количественную оценку состояния земель и технического уровня отдельных элементов и в целом гидромелиоративных систем дают методом сопоставления общих и частных водно-солевых балансов орошаемых земель по следующим показателям:

направленность мелиоративных процессов (при положительном балансе водно-солевой режим складывается по типу накопления запасов солей, при отрицательном — по типу рассоления);

фактическая дренированность орошаемой территории;

вынос солей из зоны аэрации;

потери воды в системах и их роль в формировании водно-солевого режима почвогрунтов, при этом устанавливают причину непроизводительных потерь и намечают пути их устранения.

Проводят также оценку современного технического состояния оросительных систем с учетом продуктивности орошаемых земель и затрат материальных, трудовых и водных ресурсов.

При комплексной реконструкции необходимо предусматривать целесообразный для данного времени технический уровень оросительных систем: широкое применение новых конструкций и материалов; механизацию и автоматизацию работы системы; повышение надежности сооружений.

Технико-экономическое обоснование реконструкции оросительных систем должно основываться на количественной оценке современного их состояния и, главное, прогнозе изменений мелиоративного режима в проектных условиях.

Общий экономический эффект $Э$ от реконструкции на 1 га площади нетто для отдельного хозяйства, согласно проработкам САНИИРИ, можно определить по формуле

$$Э = Э_w + Э_d + Э_s + Э_P,$$

где $Э_w$ — эффект от повышения водообеспеченности путем автоматизации измерения и учета оросительной воды; $Э_d$ — эффект от оптимизации мелиоративного режима на базе совершенных типов дренажа; $Э_s$ — эффект от реконструкции оросительной сети, облицовки каналов, строительства трубчатой и лотковой сети, применения совершенной техники и способов полива; $Э_P$ — эффект от планировки орошаемых земель и укрупнения поливных карт.

Народнохозяйственный эффект рассчитывают с учетом произведенного в сельском хозяйстве национального дохода (валовой доход и часть налога с оборота, соответствующие эффективности сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях).

Частичная реконструкция может иметь основные варианты:

реконструкция оросительной сети, при которой плановое расположение ее остается неизменным, а сеть оснащают более совершенными конструкциями и сооружениями для сокращения потерь воды и создают условия для применения технически совершенных средств полива;

реконструкция коллекторно-дренажной сети (КДС) на мелиоративно неблагополучных землях путем замены неинженерной КДС совершенными конструкциями;

реконструкция оросительной сети с капитальной планировкой поверхности поливных участков, применяемая при необходимости изменения планового расположения оросительной сети, размеров и формы поливных участков для внедрения более совершенной техники полива, при этом возможно орошение дополнительных площадей в размерах, зависящих от объема сэкономленной воды;

реконструкция оросительной сети и применение совершенной техники полива, при которой плановое положение существующей сети может оставаться неизменным, но обеспечиваются условия для качественного полива.

При частичной реконструкции решают наиболее актуальные для данного времени задачи с меньшими затратами и объемами работ при сравнительно высокой эффективности капиталовложений.

Для составления проектно-сметной документации на реконструкцию оросительных систем выполняют агроэкономические, топографо-геодезические, инженерно-геологические, гидрогеологические, почвенно-мелиоративные, гидрологические и гидротехнические изыскания.

Схемы развития оросительных систем составляют в масштабе 1 : 10 000. . . 1 : 50 000 в зависимости от площади системы. На них показывают существующую и проектируемую оросительную, коллекторно-дренажную, сбросную и дорожную сети, линии связи, сооружения, посты учета воды и др. На основе анализа параметров, характеризующих состояние существующих участков орошения (таких как КПД сети, КЗИ, КИВ, водообеспеченность, степень дренированности, глубина залегания и минерализация грунтовых вод, наличие и степень засоления почвогрунтов, оснащенность гидротехническими и другими сооружениями, размеры поливных участков и др.), устанавливают отклонение их от оптимальных значений. При составлении проекта реконструкции оросительной системы особое внимание уделяют созданию условий для получения отрицательного солевого баланса в почвогрунтах.

В проекте реконструкции должны быть рассмотрены следующие вопросы: причины и характер засоления почвогрунтов при орошении; обоснование и выбор типа коллекторно-дренажной сети; обоснование необходимости переустройства межхозяйственной и внутрихозяйственной сети, сооружений, дорог; обоснование выбора новых способов полива и поливной техники; местоположение охраняемых территорий и путей миграции диких животных; обоснование типов и габаритов рыбозащитных устройств.

8.11.4. ПОВЫШЕНИЕ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И УЛУЧШЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Состояние водообеспеченности земель анализируют, сопоставляя плановую и фактическую водоподачу по всем каналам и участкам системы.

Водообеспеченность можно повысить созданием дополнительных источников, регулированием внутрисистемного стока, введением водооборота на системах, использованием сбросных, дренажных и подземных вод; повышением КПД межхозяйственной и внутрихозяйственной сети; применением АСУ эксплуатации на базе автоматизации водораспределения; техническим совершенствованием оросительной сети и техники полива; устройством водохранилищ суточного или декадного регулирования внутрисистемного стока. Внутрисистемные водохранилища и пруды особенно необходимы в засушливой зоне, характеризуемой переменными режимами поливов по сезонам и годам различной водообеспеченности.

Для улучшения водораспределения и планового водопользования следует применять математические модели, алгоритмы и программы для расчетов на ЭВМ планов водораспределения между системами, хозяйствами, районами и областями. Использование ЭВМ при расчетах и в процессе водораспределения повышает оперативность, ускоряет корректировку графиков, создает возможность быстрой обработки дифференцированной исходной информации о режимах орошения, мелиоративном состоянии земель, КПД и др.

Автоматизация при реконструкции оросительных систем может быть применена в нескольких вариантах:

использование устройств, облегчающих эксплуатацию поливных машин, водораспределение и учет воды и диспетчеризацию управления;

8.29. Эффективность применения различных противофильтрационных мероприятий

Противофильтрационное мероприятие	Коэффициент фильтрации облицовки, м/сут	Потребность в материалах на 1 м² поверхности канала	Стоимость строительных работ, р/м²	Срок службы, лет	Сокращение потерь по сравнению с земляным руслом, %
Бетонная облицовка	0,0009. . . 0,009	0,07. . . 0,40 м³	4. . .7	25. . .50	До 95
Железобетонная облицовка	0,0009. . . 0,009	0,05. . . 0,10 м³	3. . .4	25	95
Асфальтобетонная облицовка	—	0,03. . . 0,08 м³	0,5. . .2	15	До 98
Глиняная облицовка	0,005	0,10. . . 0,35 м³	0,4	10	До 85
Бентонитовый экран	0,005	0,01. . . 0,6 кг	0,4	5	До 80
Экран из пластмассовых пленок	—	0,05. . . 0,27 кг	1. . .3	15	До 95
Нефтевание грунта	—	4. . .10 кг	0,2	5	
Кольматация грунта глиной	0,01	4. . .5 кг	0,3	—	До 60
Осолонцевание	0,01	—	0,01	—	10. . .20
Уплотнение грунта:					
поверхностное	0,01	—	0,1	3	60
глубокое	0,01	—	0,2	7	80

полная автоматизация диспетчерского управления для выполнения заданной программы водораспределения и поливов;

полная автоматизация с непрерывным уточнением программы действий в процессе работы из-за изменения производственного процесса (см. гл. 14).

Внедрение автоматизации повышает технический уровень эксплуатации и делает водопользование на системах более четким, надежным, экономичным.

Внедрение автоматизации и телемеханизации может быть рекомендовано в первую очередь для закрытых оросительных систем. Можно также автоматизировать отдельные группы объектов, головные водозаборные узлы, насосные станции машинного водоподъема, насосные станции на дренажных коллекторах, распределительные и учетные гидросооружения.

КПД межхозяйственной и внутрихозяйственной сети можно повысить устройством специальных противофильтрационных покрытий, а также путем механического и химического воздействия на грунты ложа каналов (табл. 8.29).

Противофильтрационные мероприятия выбирают в зависимости от сочетания гидрогеологических условий, протяженности канала, фильтрационных свойств грунта, требуемого снижения потерь и наличия местного материала. Принятые противофильтрационные мероприятия обосновывают технико-экономическими расчетами.

Мелиоративное состояние земель характеризуется степенью их засоления и заболачивания и зависит от глубины залегания грунтовых вод на территории системы, качества поливов и других факторов.

Система мер по улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель должна быть направлена на регулирование водного, солевого, воздушного и питательного режимов почвы путем дренирования и промывок засоленных почв и обеспечения оптимального режима орошения сельскохозяйственных культур.

Разработку мероприятий по понижению уровня грунтовых вод начинают с установления причин, вызывающих неблагоприятные гидрологические условия массива.

Основные агротехнические приемы, позволяющие улучшать солевой режим засоленных орошаемых земель,— это включение люцерны в севооборот, рыхление поверхности почвы для уменьшения испарения. В качестве агротехнического мероприятия необходимо также предусматривать глубокое объемное рыхление почв, осуществляемое на последнем этапе подготовки земель к освоению.

Глубокое объемное рыхление без оборота пласта — метод интенсивной мелиорации уплотненных и засоленных почв, направленный на улучшение структуры почвенного профиля на глубину 0,4. . .1,2 м. Рыхление улучшает водно-физические (водопроницаемость, порозность, влаго- и воздухоемкость), химические (окислительно-восстановительный потенциал) и термические (температуропроводность, теплоемкость) свойства почвы.

Объемному рыхлению подлежат тяжелосуглинистые и глинистые почвы с объемной массой более 1400 кг/м³ и коэффициентом фильтрации менее 0,3 м/сут при влажности 15. . .35 % по массе. Возможно применять глубокое объемное рыхление сильнозасоленных почв плотностью менее 1400 кг/м³ для увеличения их окислительно-восстановительного потенциала.

Глубина объемного рыхления (м) зависит от вида почв:

Слабозасоленные	0,4...0,8
Среднезасоленные	0,8...1,0
Сильнозасоленные, солончаки	1,0...1,8

Для повышения эффективности промывок на орошаемых землях, имеющих водонепроницаемые прослойки (глинистые, гипсованные, железистые, карбонатные), объемное рыхление проводят на глубину, обеспечивающую разрушение этих прослоек.

Глубокое объемное рыхление при промывках засоленных земель, содержащих легкорастворимые токсичные соли, при одинаковых нормах промывок на 30 % сокращает сроки их проведения и значительно увеличивает глубину рассоления почв ниже предела токсичности солей.

На солонцовых почвах, имеющих низкий коэффициент фильтрации и очень малую воздухоемкость, глубокое рыхление следует проводить через 2. . .3 года, в некоторых случаях ежегодно до полной мелиорации почв, на тяжелых уплотненных, незасоленных почвах — через 3. . .4 года.

8.11.5. ПЛАНИРОВКА ПОВЕРХНОСТИ ОРОШАЕМЫХ УЧАСТКОВ

В процессе реконструкции должны быть выполнены работы по выравниванию поверхности поливных площадей. Различают капитальную и эксплуатационную планировку поверхности земли.

Капитальная планировка (выравнивание) — это придание поверхности орошаемого участка определенной формы (горизонтальной или наклонной плоскости, топографической поверхности), а также устранение небольших неровностей путем перемещения почвогрунтов с бугров в низины.

Планировка орошаемых земель обеспечивает равномерное увлажнение почвы при поливе, улучшает качество промывок засоленных земель, повышает производительность труда на поливе, качество сельскохозяйственных работ (вспашка, посев, уборка) и эффективность использования сельскохозяйственных машин. В результате проведения планировочных работ в 1,5. . . 2 раза повышаются урожаи сельскохозяйственных культур и снижается себестоимость их продукции.

Степень выравнивания поверхности поля зависит от проектируемых способов и техники полива орошаемых культур, рельефных и почвенно-грунтовых условий.

Орошаемая культура в некоторой степени предопределяет технику полива: рис поливают затоплением, пропашные культуры, овощные и плодовые — по бороздам и дождеванием, зерновые — по полосам и дождеванием.

В соответствии с техникой полива предъявляют требования и к планировке поверхности земли. Для орошения риса затоплением поверхность планируют под горизонтальную плоскость.

Планировку под поливы пропашных культур и культур сплошного сева, садов и виноградников выполняют под так называемую топографическую поверхность с наибольшим приближением проектной поверхности к существующей.

Планировка под наклонные плоскости допускается на участках с малыми уклонами (до 0,002) и при условии, что объем работ и дальность перевозок увеличиваются не больше чем на 10 % по сравнению с планировкой под топографическую поверхность.

На спланированной площади должны быть только положительные уклоны в направлении полива до 0,02 (как исключение, до 0,03) и до 0,002 в поперечном направлении. Поперечный уклон должен быть только одного направления и может равняться нулю. Примерный объем планировочных работ для полива по бороздам на участках с малыми и средними уклонами (от 0.003 до 0,008) дан в таблице 8.30.

Нормативы на планировку орошаемых площадей даны в томе «Экономика».

Эксплуатационная планировка — ежегодное поверхностное выравнивание, необходимое в качестве агротехнического мероприятия при эксплуатации орошаемых полей, особенно при проведении поверхностных поливов. Эксплуатационную планировку проводят осенью после вспашки поля на зябь, весной — перед посевом. Перезимовавшую зябь выравнивают ранней весной, когда подсохнет почва, одновременно с культивацией и боронованием. Перепаханную весной зябь, весновспашку под поздние культуры и вспашку под озимые лучше выравнивать следом за пахотой, а затем, не давая просохнуть земле, нарезать поливную сеть для предпосевного или влагозарядкового полива.

Разработка и внедрение комплекса мероприятий по техническому вооружению и реконструкции мелиоративных систем позволят преодолеть имеющиеся негативные тенденции в развитии мелиорации, резко повысить потенциальную продуктивность сельскохозяйственных угодий и обеспечить их высокоэффективное использование.

8.30. Примерный объем планировочных работ

Категория, характеристика микрорельефа	Коэффициент извилистости горизонталей	Объем работ
Спокойный, однообразный с параллельными горизонталями и превышениями менее 5 см	1,0...1,25	Без планировки или малый объем работ (100...200 м³/га)
Спокойный с небольшими возмущениями, впадинами и превышениями 5...10 см	1,25...1,50	Планировка небольшая (300...400 м³/га)
Сильно расчлененный с непараллельными горизонталями различной кривизны и превышениями 15...20 см	1,50...2,00	Планировка большая (500...700 м³/га)
Очень сильно расчлененный с блуждающими или замкнутыми горизонталями и превышениями 20 см и более	Более 2,00	Планировка очень большая (700...1000 м³/га, местами до 2000 м³/га)

Глава 9. РИСОВЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

9.1. ОСОБЕННОСТИ И ТИПЫ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, ИХ СПЕЦИФИКА

В состав рисовой оросительной системы, кроме элементов, перечисленных в главе 8, должны входить поливные (рисовые) карты, состоящие из отдельных чеков (горизонтальных площадок), картовые оросители, картовые сбросы, сбросы-оросители, а при необходимости ограничительные дрены и дамбы.

Каналы и дрены рисовых систем должны обеспечивать продолжительность первоначального затопления рисовой карты не более 3 сут, посевов риса в целом по хозяйству — 12. . .16 сут, на Дальнем Востоке — не более 10 сут; поддержание расчетного слоя воды в чеках в требуемые агротехнические сроки.

На рисовых системах необходимо предусматривать перепады уровней воды не менее 15. . .20 см на водовыпусках с расходом до 1 м³/с и 20. . . 25 см — на регулирующих сооружениях с расходом более 1 м³/с.

Поливная (рисовая) карта — площадь, занятая посевами риса и ограниченная по периметру младшими каналами оросительной и водоотводной сети. Несколько смежных рисовых карт образуют поле севооборота, группа севооборотных полей — севооборотный участок.

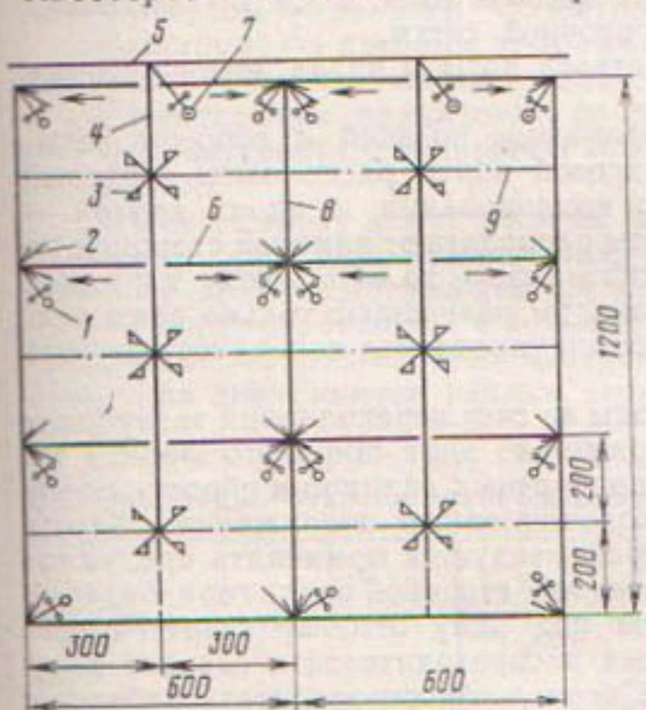


Рис. 9.1. Рисовая оросительная система краснодарского типа:

1 — впуск в коллектор; *2* — водовыпуск из чека; *3* — водовыпуск в чек; *4* — ороситель; *5* — внутрихозяйственный канал; *6* — дрена; *7* — водовыпуск в оросительный канал с переездом; *8* — коллектор; *9* — чековый валик (размеры в м)

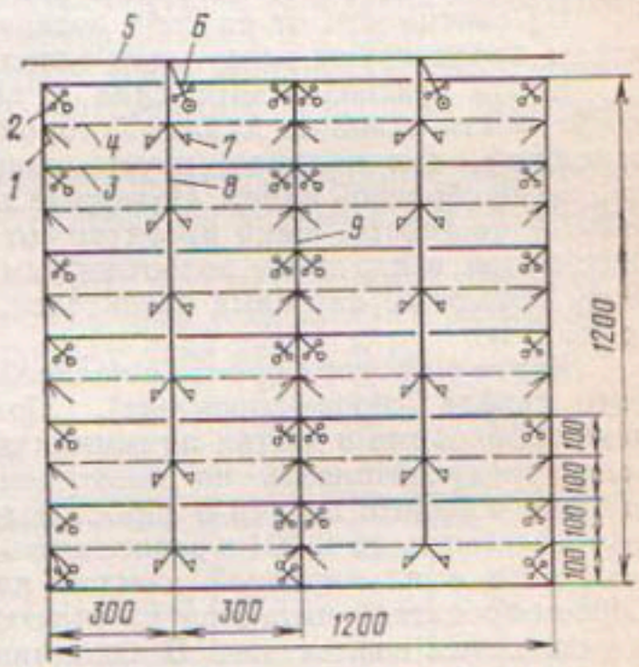


Рис. 9.2. Рисовая оросительная система с картой-чеком широкого фронта (КЧШФ-1) со сбросами-оросителями ложбинного типа:

1 — водовыпуск из сброса-оросителя; *2* — впуск в коллектор с переездом; *3* — дрена; *4* — сброс-ороситель; *5* — внутрихозяйственный канал; *6* — водовыпуск в оросительный канал с переездом; *7* — водовыпуск в сброс-ороситель; *8* — ороситель; *9* — коллектор (размеры в м)

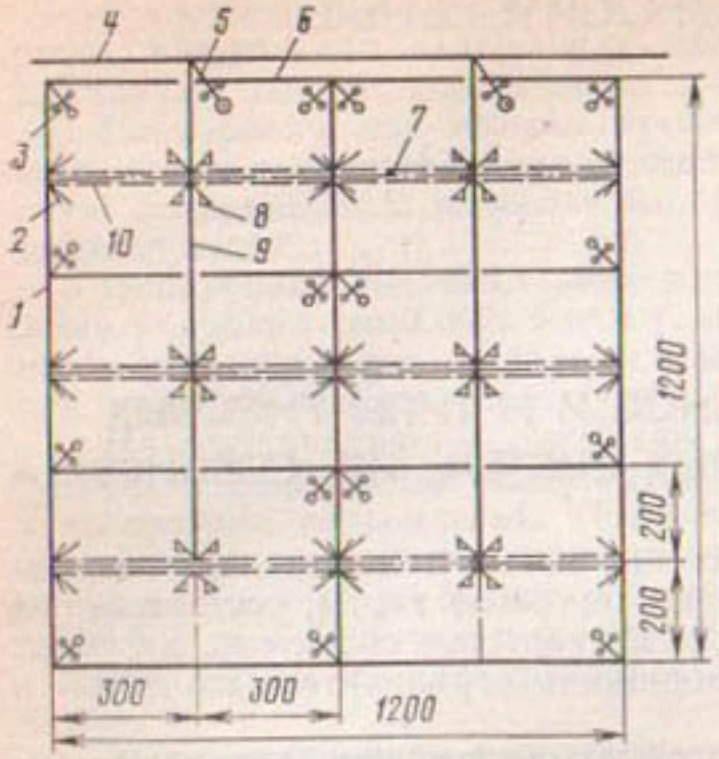


Рис. 9.3. Рисовая оросительная система с картой-чеком широкого фронта (КЧШФ-2) с картовыми дренами:

1 — коллектор; *2* — водовыпуск из сброса-оросителя; *3* — впуск в коллектор с переездом; *4* — внутрихозяйственный канал; *5* — водовыпуск в оросительный канал с переездом; *6* — дрена; *7* — чековый валик; *8* — водовыпуск из сброса-оросителя; *9* — ороситель; *10* — сброс-ороситель (размеры в м)

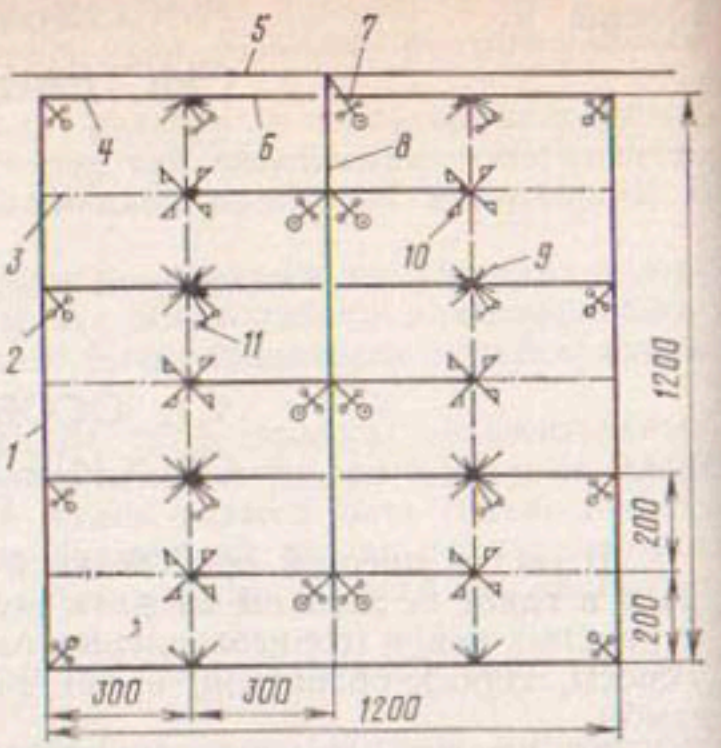


Рис. 9.4. Рисовая оросительная система кубанского типа:

1 — коллектор; *2* — впуск в коллектор с переездом; *3* — чековый валик; *4* — сброс; *5* — внутрихозяйственный канал; *6* — дрена; *7* — водовыпуск в оросительный канал с переездом; *8* — ороситель; *9* — водовыпуск из чека; *10* — водовыпуск в чек; *11* — трубчатый переезд (размеры в м)

Желательно, чтобы ширина карт была кратной 20 м, а оси ограждающих каналов совпадали со створами планировочной сетки.

В зависимости от способа подачи, отвода воды и числа чеков рисовые карты проектируют следующих типов.

Карта **краснодарского типа** с раздельными подачей и сбросом воды, когда вдоль одной из длинных сторон рисовой карты расположен картовый ороситель, как правило, двустороннего командования, а вдоль другой — картовый сбросной канал. Поливные карты располагают длинной стороной по уклону местности. Чеки проектируют «сквозными», то есть между картовым оросителем и картовым водоотводным каналом размещают только один чек. Воду подают из картовых оросителей, командующих над поверхностью чека (рис. 9.1).

Карта широкого фронта с подачей воды за счет переполнения заглубленного канала (сброса-оросителя). При разбивке карт широкого фронта на чеки необходимо в местах примыкания поперечных валиков к сбросу-оросителю предусматривать на последнем водоподпорные сооружения. Карты широкого фронта подачи и сброса воды рекомендуется применять при уклонах местности до 0,001 и располагать длинной стороной вдоль горизонталей местности с планировкой каждой карты под одну отметку (карты-чеки). Сбросы-оросители питаются из участковых распределителей и отводят воду в участковые коллекторы. В неполивной период сбросы-оросители работают как картовые дрены (рис. 9.2, 9.3).

Карта **кубанского типа** с раздельными подачей и сбросом воды. Картовые оросители и сбросы — двустороннего командования. Площадь чеков системы 6 га (200×300 м). Система комплектуется из конструктивных модулей, каждый из которых является севооборотным полем. Из полей (модулей) комплектуются участки севооборотов, а последние составляют систему в целом (рис. 9.4).

Карта **дальневосточного типа**, в которой нет периферийных и продольных валиков. Ороситель-сброс устраивают с низовой стороны, что обеспечивает отвод воды с карт и пахотного горизонта. Карта заливается водой, свободно

9.1. Технико-экономические показатели рисовых систем

Показатели	Системы с картами				Закрытые системы
	краснодарского типа	широкого фронта подачи и сброса	кубанского типа	дальневосточного типа	
КЗИ на поле севооборота, %	0,87	0,90	0,90	0,89	0,95
КПД водопроводящей сети, %	0,86	—	0,91	—	0,95
Число чеков на карте	4...5	—	2	—	—
Площадь чека, га	2...10	6...12	6	10...12	3,6...4,8
Длина чека, м	400...1200	500...600	300	600...1200	120
Ширина чека, м	150...250	120...200	200	100...120	300...400
Площадь клетки дренирования *, га	80...100	—	48	—	—

* Клетка дренирования — площадь, примыкающая к одному коллектору.

перетекающей по всему фронту примыкания оросителя-сброса при его переполнении. Картовый ороситель-сброс обеспечивает беспрепятственный сброс воды с любой точки.

Закрытые рисовые системы отличаются тем, что вода подается насосной станцией на севооборотный участок площадью 500. . .800 га по напорному трубопроводу, затем она поступает непосредственно в картовые оросители из асбестоцементных труб диаметром 300. . .500 мм и из них через гидравлические автоматы — на чеки. Сброс представляет собой открытый канал.

Конструкцию рисовых карт следует выбирать на основании сопоставления технико-экономических показателей вариантов (табл. 9.1).

Строительную планировку на рисовых чеках выполняют под горизонтальную плоскость с точностью ±3 см скреперами с лазерными системами управления.

Рисовую карту делят на чеки (горизонтальные площадки) поперечными валиками. При этом разница между отметками поверхности двух смежных чеков не должна превышать 0,4 м.

На вновь строящихся и реконструируемых рисовых системах устраивают постоянные земляные валики непереходимого типа, а на картах дальневосточного типа допускаются валики переходимого типа (табл. 9.2).

9.2. Заложение откосов чековых валиков

Грунты валиков	Перепад между смежными чеками, м			
	до 0,1	0,11...0,2	0,21...0,3	0,31...0,4
Непереходимые валики				
Глина	2,0	2,0	2,0	2,0
Суглинок	2,0	2,0	2,5	3,0
Лесс	2,0	2,5	3,0	3,5
Супесь	2,0	3,0	3,5	4,0
Переходимые валики				
Для всех грунтов	4,0	4,0	4,0	4,0

9.3. Ширина рисовых карт и средняя глубина водоотводной сети

Характеристика					Ширина поливных карт, м	Средняя глубина водоотводных каналов, м		
почвогрунтов			грунтовых вод					
механический состав	засоленность	водопроницаемость	минерализация	отточность		картовых	участковых	хозяйственных
Очень легкие	Незасоленные или слабозасоленные, $S<0,5\%$	Больше средней, приведенный $k>1$ м/сут	Слабая, <5 г/л	Хорошая	200...300	1...1,5	1,5...2	2...2,5
Легкие	То же	То же	То же	Слабая	200	1,5...2	2...2,5	2,5...3
Средние	$S=0,5$ (2...3)%*	Средняя, $k=0,2...1$ м/сут	Средняя, 5...15 г/л	»	150...200	2	2,5	3
Тяжелые	То же	Низкая, $k<0,2$ м/сут	Высокая, >15 г/л	Слабая или отсутствует	150...200	1,5...2	2...2,5	2,5...3
Очень тяжелые	$S>2...3\%$*	То же	То же	Отсутствует	Земли можно использовать под рисосеяние при специальном обосновании			

* В зависимости от типа засоления; S — содержание солей, % от веса.

Примечания: 1. Так как длина рисовых карт в 3...8 раз превышает их ширину, эффективность работы картовых водоотводных каналов, выполняющих функции дрен, оценивают без учета влияния работы транспортирующих элементов водоотводной сети. 2. При проектировании карт широкого фронта залива и сброса рекомендуется принимать меньшие значения их ширины и глубины сбросов, указанные в таблице. 3. Приведенная в таблице классификация мелиоративных условий является ориентировочной, по мере накопления производственного опыта и иных научных исследований ее можно дополнять и уточнять.

По периметру чеков необходимо устраивать канавки трапецеидального или треугольного сечения глубиной 0,5. . .0,8 м.

Основным элементом орошаемой территории в границах хозяйств является севооборотное поле, которое разбивают по возможности на равновеликие поливные карты. Во всех зонах рисосеяния севооборотные поля в пределах топографически однородного района должны быть прямоугольными и одинаковыми по форме и размерам.

Каналы внутрихозяйственной сети должны быть прямолинейными, а углы примыкания младших каналов к старшим равны 90°. Картовые оросители заканчиваются водовыпусками в последние чеки (сбросных сооружений на картовых оросителях, а также участковых распределителях не делают).

Число водовыделов из магистрального канала или межхозяйственного распределителя на одно хозяйство должно быть минимальным и, как правило, не превышать числа севооборотных участков. Устройство водовыделов из межхозяйственных каналов для орошения участков по площади меньших, чем севооборотный, допускается в исключительных случаях.

В зависимости от мелиоративных условий ширину рисовых карт и среднюю глубину каналов водоотводной сети для всех районов рисосеяния, за исключением Дальнего Востока, назначают в соответствии с таблицей 9.3.

В районах Дальнего Востока среднюю глубину каналов водоотводной сети принимают в пределах 0,5. . .1,5 м.

Водопонизительное действие водоотводной сети рассчитывают для поливного и неполивного периодов: для поливного определяют ширину зоны активной фильтрации и количество фильтрующейся в водоотводные каналы воды; для неполивного рассчитывают понижение уровня грунтовых вод через различные интервалы времени в нескольких характерных точках междренья и количество испаряющейся и оттекающей в водоотводные каналы грунтовой воды за весь неполивной период. Этим оценивают рассоляющее действие водоотводных каналов за год. Расчетами должна быть также проверена эффективность оградительного действия периферийных элементов водоотводной сети — участковых и хозяйственных коллекторов (табл. 9.3).

При освоении земель с тяжелыми, а иногда и средними мелиоративными условиями (когда картовые водоотводные каналы как дрены не работают или работают слабо) в зависимости от конкретной обстановки рекомендуются следующие мероприятия:

проведение в первые годы освоения поверхностных промывок по глубокой или обычной вспашке, но на фоне кротования, щелевания или глубокого рыхления;

повышение в севообороте содержания риса при соответствующем увеличении количества вносимых удобрений на третий и последующие годы посева риса по рису;

проведение химических и агробиологических мелиораций.

9.2. РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСЧЕТЫ

Режим орошения риса, который устанавливают в соответствии с фенологическими фазами его развития, рекомендуется двух типов:

постепенное затопление, при котором слой воды на поле поддерживают от посева до созревания; в вегетационный период слой воды либо остается одинаковым, либо его изменяют;

укороченное затопление, при котором слой воды на поле в отдельные фазы роста и развития растений риса не создают.

Первоначальное затопление рисовых карт при посеве риса в воду (с самолета) проводят не позднее чем за 3. . .4 сут до начала посева, а при посеве в сухую почву — сразу же после посева, при этом оно должно быть закончено не позднее чем на третьи сутки. Продолжительность периода первоначального затопления рисовых посевов в целом по хозяйству должна составлять не более 10 сут на Дальнем Востоке и 12. . .16 сут во всех остальных районах рисосеяния.

В период поддержания слоя затопления водный режим, сроки прохождения фенологических фаз и их продолжительность зависят от сорта риса, агротехники и конкретных климатических условий.

При укороченном затоплении следует изменять слой воды в чеках: в период набухания зерен — 10. . .15 см, в период прорастания семян — без слоя воды, но при высокой увлажненности почвы, после прорастания с появлением массовых всходов и до кущения — 8. . .15 см.

Оросительная норма определяется уравнением водного баланса рисовой карты (все составляющие уравнения в м³/га)

$$M=(E_w+T-P)+(W+V_f+V_0)+S_n+S_0+S_s, \qquad (9.1)$$

где E_w — испарение с водной поверхности чеков; T — транспирация растениями риса; P — осадки за вегетационный период (учитывают только для районов Дальнего Востока по году 75 % вероятности превышения при коэффициенте их использования 0,3. . .0,5); W — объем воды, затрачиваемой на насыщение почвогрунта; V_f — объем воды на вертикальную фильтрацию в глубь почвы; V_0 — объем воды на фильтрационный отток в водоотводящую сеть и под соседние неорошаемые территории; S_n — объем воды на создание проточности; S_0 — объем воды на частичные сбросы во время кущения, при подкормке, при осенней просушке; S_s — объем воды на неплановые сбросы, вызываемые неисправностью оросительной сети и сооружений.

Ориентировочные значения расходных составляющих баланса следует принимать по таблице 9.4. Данные этой таблицы рекомендуется использовать

9.4. Ориентировочные значения составляющих оросительной нормы

Составляющие оросительной нормы	Значения составляющих оросительной нормы		Ориентировочные значения для конкретных условий
	минимальная	максимальная	
E_w+T, тыс. м³/га	5	10	Дальний Восток (Приморье) — 5, Украина — 8, юг РСФСР и Азербайджанская ССР — 2, Средняя Азия и Казахстан — 10
W, тыс. м³/га	1	3	В тяжелых грунтах — 1...1,5, в средних — 1,5...2,5, в легких — 2,5...3
V_f+V_0, тыс. м³/га	0,5	10 *	В бессточных районах при наличии тяжелых грунтов — 0,5...1. В тех же районах при наличии средних и легких грунтов — 3...4. В районах с хорошей дренированностью и наличием средних и легких грунтов — 0,8...10
S_n, условно принимается в % от $(E_w+T+V_f+V_0+S_0)$, тыс. м³/га	10 1	30 10	На незасоленных почвогрунтах — минимальное значение, на засоленных средних и легких почвогрунтах — среднее, на засоленных тяжелых грунтах — максимальное значение
S_s в % от (E_w+T+S_0)	10	15	

* В районах, где V_f+V_0 превышает 10 тыс. м³/га в год, рисовые системы проектировать не рекомендуется.

при составлении технико-экономических обоснований и схем, а частично (для E_w, T, $S_п$, $S_в$) — в технических и рабочих проектах.

В технических и рабочих проектах составляющие оросительной нормы риса рекомендуется определять следующим образом:

транспирацию и испарение — по данным научно-исследовательских организаций, а при их отсутствии — по таблице 9.5;

объем воды на первоначальное насыщение W для проектных условий при уровне грунтовых вод на глубине 1. . .3 м — по формуле

$$W = kAh_в, \tag{9.2}$$

где k — коэффициент, учитывающий предполивную влажность (обычно 0,25 ... 0,3); A — скважность почвы, % объема; $h_в$ — толщина слоя почвогрунта от поверхности до среднего уровня грунтовых вод перед затоплением или до водоупора; объем воды на боковую и вертикальную фильтрацию $V_ф$ и V_0 рекомендуется определять моделированием либо по формулам, соответствующим конкретным гидрогеологическим условиям;

объем поверхностных сбросов $S_с$ (м³/га) — по формуле

$$S_с = 100nh, \tag{9.3}$$

где n — число сбросов за поливной период; h — средняя глубина воды, см.

Остальные составляющие оросительной нормы ($S_п$ и S_0) определяют по таблице 9.4.

При отсутствии необходимых для расчета конкретных рекомендаций и данных сроки прохождения фенологических фаз развития риса и их продолжительность следует принимать по зональным агроклиматическим справочникам, а суммарное водоупотребление — равным сумме расходов воды на испарение и транспирацию для расчетных периодов

$$E_w + T = 10KE_w, \tag{9.4}$$

где E_w — испарение с открытой водной поверхности за расчетный период, принимаемый по данным зональных агроклиматических справочников, мм; K — коэффициент, показывающий, во сколько раз испарение и транспирация с поверхности мелких водоемов, покрытых водолюбивой растительностью, превышает испарение с открытой водной поверхности.

Месяцы	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Значения K	1	2,5	1,7	1,6	1,2	1,3	1,4

Примечание. В течение первого месяца после посева K во всех случаях принимают равным 1.

Если территория оросительной системы в гидрогеологическом и почвенно-мелиоративном отношении неоднородна и требует дифференцированного подхода к назначению отдельных составляющих оросительной нормы, ее разбивают на гидромодульные районы, когда их площадь составляет более 10 % всей орошаемой площади системы, а значения оросительной нормы в этих районах отличаются не менее чем на 15 %.

Режим орошения, поливные и оросительные нормы для культур, сопутствующих рису в севообороте, принимают с учетом уровня грунтовых вод. Все данные, характеризующие режим орошения сопутствующих культур, сводят в ведомость расчетных значений гидромодуля.

На основании принятых в проекте режимов орошения риса и сопутствующих культур по каждому гидромодульному району составляют графики гидромодуля для принятых севооборотов. Одновременно проводят их укомплектование таким образом, чтобы сопутствующие рису культуры не поливались в период первоначального затопления чеков, а график в целом был максимально ровным и плотным. С учетом КПД системы можно получить значе-

9.5. Оросительные нормы и их сезонное распределение в РСФСР, Казахской ССР и Украинской ССР

	Оросительная норма нетто, м³/га	Коэффициент, учитывающий потери на поле	Оросительная норма брутто, м³/га	Внутрихозяйственное распределение норм по месяцам, %					
				04	05	06	07	08	09
Крымская область	—	—	15 700	—	20	30	25	20	5
Одесская область	—	—	15 700	—	20	30	25	20	5
Херсонская область	—	—	15 700	—	20	30	25	20	5
Астраханская область	14 000	1,22	17 100	—	19	31	36	14	—
Калмыцкая АССР	14 000	1,29	18 050	—	13	31	36	14	—
Краснодарский край	—	—	14 100	—	28	24	26	22	—
Ростовская область	—	—	18 450	—	28	24	26	22	—
Ставропольский край	—	—	14 100	—	28	24	26	22	—
Дагестанская АССР	—	—	20 550	—	31	24	25	20	—
Чечено-Ингушская АССР	—	—	18 950	—	31	24	25	20	—
Приморский край	—	—	12 000	—	—	—	—	—	—
Алма-Атинская область	22 900	1,35	30 900	—	29	22	22	22	5
Кзыл-Ординская область	21 000	1,35	28 500	5	30	20	20	20	5
Талды-Курганская область	20 200	1,34	27 050	—	29	22	22	22	5
Чимкентская область	22 200	1,35	29 950	5	30	20	20	20	5

ния гидромодулей брутто, используемые для составления графика водопотребления оросительной системы в целом.

Ориентировочные значения оросительных норм и их внутригодовое распределение по районам страны приведены в таблицах 9.5 и 9.6.

9.6. Оросительные нормы и их сезонное распределение в Средней Азии

	Оросительные нормы брутто, м³/га			Внутрихозяйственное распределение норм по месяцам, %				
	первый период освоения земель, $k_0 = 1,24$	второй период освоения земель, $k_0 = 1,12$	третий период освоения земель, $k_0 = 1,0$	04	05	06	07	08
Низовья р. Амударьи (Узбекская ССР)	33 500	30 200	27 000	2	32	28	26	13
Дельта р. Амударьи (Узбекская ССР)	32 400	29 200	26 100	4	33	26	24	13
Туркменская ССР	33 500	30 200	27 000	2	32	28	26	12

Примечание. k_0 — коэффициент, учитывающий период освоения земель.

9.3. СХЕМЫ И РАСЧЕТЫ СЕТИ

При проектировании рисовых оросительных систем определяют: по установленным расходам воды нетто — КПД оросительных каналов различных порядков и оросительной системы в целом; максимальные расходы — пропускную способность каналов оросительной и водоотводной сети; минимальные расходы каналов оросительной и водоотводной сети; суммарный объем водозабора оросительной системы и распределение его во времени; суммарный

объем дренажно-сбросного стока и распределение его во времени; возможность использования дренажно-сбросного стока для орошения; примерный режим работы системы в период освоения для нескольких этапов, соответствующих освоению 25, 50 и 75 % проектной площади.

Значение КПД картовых оросителей при двустороннем обслуживании рисовых карт необходимо принимать равным единице, при одностороннем обслуживании его следует определять расчетом или методом ЭГДА.

В течение поливного периода средний КПД должен быть не ниже 0,7. В противном случае проектируют специальные мероприятия по уменьшению фильтрационных потерь и экономически обосновывают целесообразность их применения на отдельных каналах или участках.

При определении максимального расхода каналов оросительной сети на рисовой системе необходимо дополнительно вводить коэффициент запаса и коэффициент водооборота, а также учитывать долю риса в общей площади севооборота и расчет выполнять по формуле

$$Q_{max} = 1{,}1 A_{nt} q a k_w / (1000\eta), \qquad (9.5)$$

где 1,1 — коэффициент запаса, учитывающий увеличение водоподачи в период первоначального затопления рисовых карт, принимают для всех каналов, за исключением картовых оросителей; A_{nt} — обслуживаемая каналом орошаемая площадь нетто, га; q — максимальная ордината графика гидромодуля нетто риса, л/(с·га); a — доля содержания риса в севообороте, для картовых и участковых оросителей, а также для каналов, обслуживающих часть полей севооборота, долю содержания риса в севообороте необходимо принимать равной 1, для остальных оросительных каналов старшего порядка — 0,75; k_w — коэффициент водооборота (табл. 9.7), равный отношению времени первоначального затопления рисовых карт на всей оросительной системе к времени первоначального затопления обслуживаемой данным каналом площади; η — коэффициент полезного действия системы.

Минимальный расход каналов оросительных систем следует определять с учетом доли содержания риса в севообороте

$$Q_{min} = A_{nt} q_{min} a / 1000, \qquad (9.6)$$

где q_{min} — минимальная ордината графика гидромодуля нетто.

Максимальный расход каналов водосборно-сбросной сети всех порядков необходимо определять с учетом доли содержания риса в севообороте и коэф-

9.7. Коэффициент водооборота на рисовых системах

Каналы	Продолжительность затопления всех посевов риса на оросительной системе, сут		
	10	12	16
Картовые оросители и участковые каналы, обслуживающие поле севооборота, состоящее из 2...3 карт	3	4	5
Участковые каналы при 4 картах в поле севооборота	1	1	1,3
Участковые каналы при 5 картах в поле севооборота	1	1	1
Участковые каналы (при числе карт в поле севооборота более 5) и все остальные (высшие) каналы оросительной системы	1	1	1

фициента запаса

$$Q_{max} = 1{,}5 A_{nt} q_{max} a/1000, \quad (9.7)$$

где q_{max} — максимальное значение модуля дренажно-сбросного стока, л/(с·га); a — доля содержания риса в севообороте, для картовых дрен-сбросов, а также для коллекторов, обслуживающих часть полей севооборота, следует принимать равной 1, для коллекторов высшего порядка — 0,75; коэффициент запаса при определении максимального расхода воды в водосборно-сбросной сети следует принимать 1,5, для Дальнего Востока — 1,2.

Пропускную способность каналов водосборно-сбросной сети необходимо проверять на пропуск ливневых расходов 10 %-ной вероятности превышения.

Минимальный расход каналов водосборно-сбросной сети всех порядков следует определять с учетом доли содержания риса в севообороте

$$Q_{min} = A_{nt} q_{min} a/1000, \quad (9.8)$$

где q_{min} — минимальное значение модуля дренажно-сбросного стока.

Для периферийных каналов водоотводной сети, выполняющих функции оградительных, проводят проверочные расчеты на пропуск ливневых расходов 10 %-ной вероятности превышения, которые могут поступать на территорию системы извне.

Дренажные и сбросные воды рисовых систем, как правило, следует использовать для орошения нижележащих участков. Нецелесообразность их применения должна быть обоснована. Если минерализация дренажно-сбросных вод превышает допустимую, предусматривают их разбавление пресной оросительной водой.

В первые 2. . .3 года освоения в связи с повышенной вертикальной фильтрацией и тем, что на засоленных землях в этот период рисом может быть занято 90. . .100 % севооборотной площади, пропускная способность оросительных каналов, рассчитанных на проектные условия, может оказаться недостаточной. Поэтому планом освоения необходимо предусматривать постепенный и рассредоточенный ввод площадей в эксплуатацию, а также увеличение продолжительности периода первоначального затопления. Увеличение пропускной способности каналов оросительной сети в связи с повышенным водопотреблением в первые годы освоения не допускается.

Планирование водопользования на рисовых системах зависит от принятого режима орошения риса. При периодических поливах риса план водопользования составляют в соответствии с рекомендациями, приведенными в главе 2.

При орошении риса затоплением выделяют два периода: создание и поддержание слоя воды в чеках.

Наиболее напряженный период работы рисовых систем — создание слоя воды. В течение непродолжительного времени (10. . .15 сут) для создания слоя до 10 см требуется суммарный объем водоподачи 2800. . .3500 м³/га. Гидромодуль q[л/(с·га)] рассчитывают по формуле

$$q = (W + 100h + 10E_w t - P)/(86{,}4t). \quad (9.9)$$

где h — слой воды в чеках, см; t — продолжительность затопления чеков, сут.

При поддержании слоя воды гидромодуль водоподачи определяют по формуле

$$q = 0{,}0116\,(E_w + T + P + V_0). \quad (9.10)$$

При орошении риса со сменой воды следует учитывать сброс ее.

Расход воды, который необходимо подать в систему, определяют по формуле (9.5).

Для ускорения затопления чеков и уменьшения потерь воды в этот период следует пропускать по каналам максимальные или форсированные расходы. В период затопления чеков на системе устанавливают водооборот. После создания слоя воды динамика водоподачи определяется режимом орошения риса в соответствии с графиком гидромодуля.

При использовании для полива сбросных вод каналы наполняют только после полного затопления чеков и насыщения почвогрунта. Поэтому разрыв между первичным использованием и последующей подачей сбросной воды на поле составляет 10. . .20 сут. В связи с этим начало поливов на землях, орошаемых возвратными водами, можно планировать с тем же интервалом. При использовании сбросных вод для орошения риса сроки посева его отодвигают на соответствующее время или проводят затопление чеков одновременно с подпитыванием основной площади сбросными каналами из оросительной сети. Так как площади посевов и затопления чеков увеличиваются постоянно, то в первоначальный период надо иметь в резерве некоторое количество воды, которое можно направить на подпитывание сбросного тракта.

Планирование водопользования на рисовых системах согласовывают с возможностью проведения работ по уходу за каналами и сооружениями и поддержанию их в нормальном техническом состоянии. В отличие от обычных каналы таких систем заполнены постоянно, поэтому работы по поддержанию их пропускной способности проводят до начала создания слоя воды в чеках. В период поддержания слоя воды в чеках планируют работы по дополнительной очистке каналов от зарастания.

Возможную площадь орошения возвратными водами A_{dw} определяют по следующей зависимости:

$$A_{dw} = \xi \eta A_{nt}, \tag{9.11}$$

где ξ — отношение гидромодуля сброса к гидромодулю подачи.

Глава 10. ЛИМАННОЕ ОРОШЕНИЕ

10.1. МЕСТНЫЙ СТОК, МЕТОДЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Лиманное орошение — одноразовое увлажнение почвы водами местного стока: талыми, стекающими с вышерасположенных площадей, или водами речных паводков. Широко распространено в Казахской ССР, Поволжье, на Северном Кавказе, в степных районах Западной и Восточной Сибири.

Местный сток представляет собой весенние талые, а также ливневые воды, стекающие с водосборных площадей в потяжины, лощины, балки, овраги, реки, озера и замкнутые понижения. Эти водные ресурсы целесообразно использовать для орошения земель, водоснабжения, рыборазведения и других народнохозяйственных нужд. Суммарный сток талой воды среднего года для всей засушливой зоны СССР составляет 50. . .60 млрд м^3.

Основные особенности местного стока: изменчивость по годам, от которой зависят ежегодные размеры орошаемой площади, этот недостаток устраняют многолетним регулированием; вероятность его появления и продолжительность не совпадают с периодом потребности растений в воде, в этом случае проводят сезонное регулирование стока.

Многолетнее регулирование — аккумулирование стока многоводных лет в прудах и водохранилищах с последующим использованием его для регулярного орошения и водоснабжения.

Сезонное регулирование — аккумулирование талых и паводковых вод в прудах и водохранилищах весной во время снеготаяния с целью дальнейшего их использования для орошения летом в период наибольшей потребности растений в воде.

Местный сток как источник регулярного и лиманного орошения делится на несколько разновидностей (табл. 10.1).

10.2. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ЛИМАНОВ

Система лиманного орошения — совокупность инженерных сооружений (плотины, пруды, водохранилища, водоудерживающие и водораспределяющие валы, каналы, водосбросные сооружения и водообходы), предназначенных для затопления площади лимана водами весеннего половодья.

Различают лиманы **естественные**, представляющие собой понижения, затопляемые стоком талых вод в период весеннего снеготаяния без вмешательства человека, и **искусственные**, создаваемые различными способами в зависимости от рельефа местности системой земляных оградительных валов или плотин.

По расположению в плане лиманы по отношению к источнику орошения могут быть **поперечными** или **продольными**.

Лиманы, создаваемые одним валом или дамбой, называют **простыми**, или **одноярусными**, а несколькими рядами валов — **ярусными**, или **многоярусными**. Ярусы, в свою очередь, могут быть разделены валами (вдоль склона) на части, которые называют **секциями**.

По глубине наполнения лиманы подразделяют на мелководные (15. . . 40 см), среднего наполнения (40. . .70 см), глубоководные (более 70 см).

10.1. Основные характеристики местного стока

Разновидность	Характер формирования	Характер использования	Мероприятия по задержанию стока
Склоновый сток	В период весеннего снеготаяния на склонах водосборной площади	Лиманное орошение	Зяблевая вспашка поперек склона при уклоне 0,002...0,005 Гребневая вспашка поперек склона при уклонах до 0,007. Уплотнение снега на полях. Создание кулис на паровых участках. Посадка лесополос
Сток протяжин и лощин	В период весеннего снеготаяния на склонах водосборной площади	Лиманное орошение	Устройство валов для создания лиманов
Сток овражно-балочной сети	После весеннего снеготаяния формируются крупные водные потоки, движущиеся по балкам и оврагам	Аккумулирование в прудах и водохранилищах, регулярное и лиманное орошение	Строительство плотин
Сток замкнутых понижений	Весенние талые воды аккумулируются в замкнутых понижениях	Лиманное орошение	Устройство кольцевых ярусных лиманов мелкого затопления. Валы устраивают параллельно горизонталям местности
Сток степных рек и притоков	80...100% годового стока рек приходится на время весеннего снеготаяния	Регулярное и лиманное орошение	Строительство плотин в русле реки

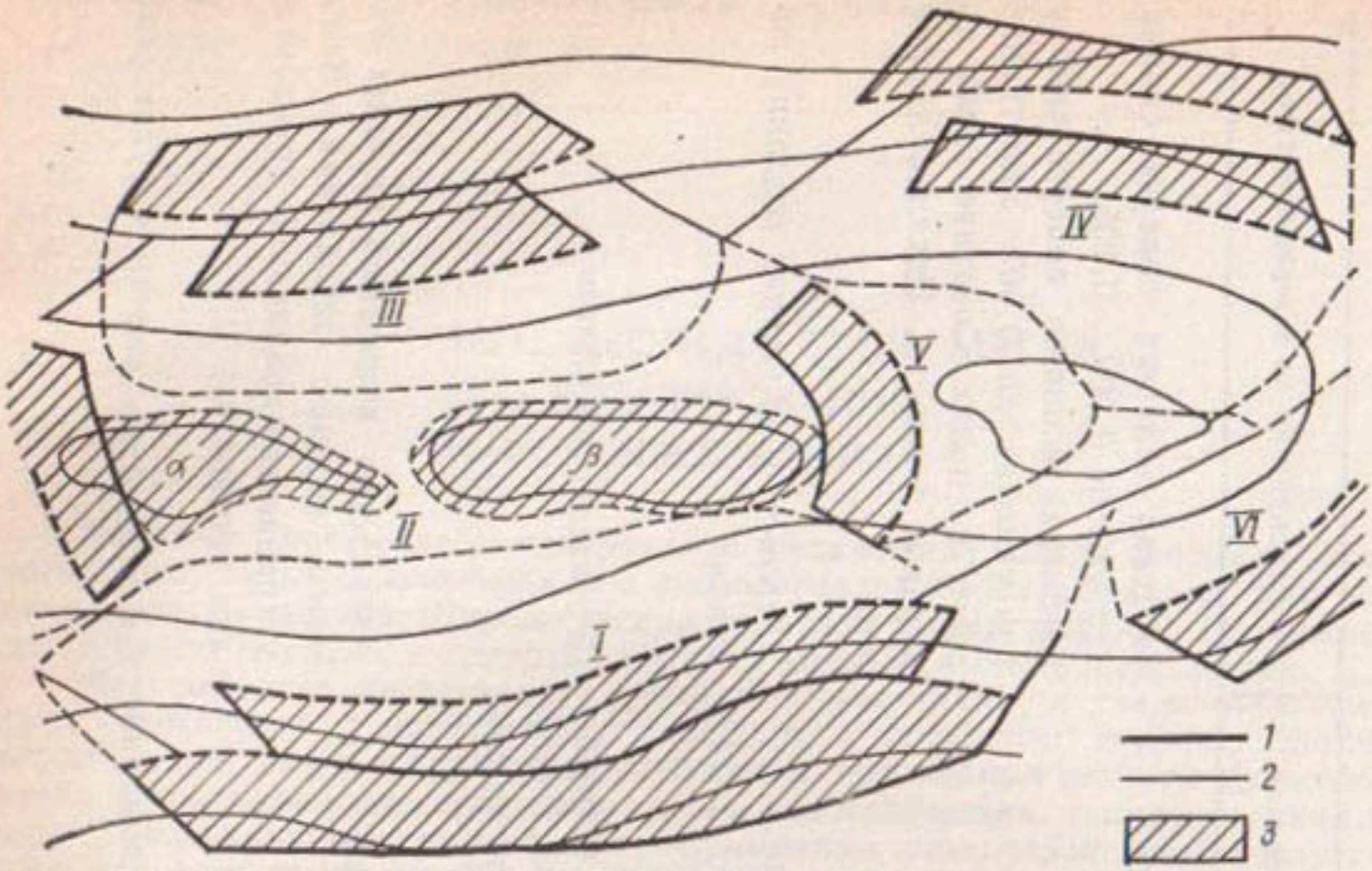


Рис. 10.1. Система лиманов на водораздельном плато:

1 — земляные водоудерживающие валы; *2* — водоперехватывающие и направляющие валики; *3* — площади лиманного орошения, прерывистые линии — границы затопления; α, β — замкнутые понижения; *I*. . .*VI* — секции лиманов

Лиманы водораздельного плато располагаются на наиболее повышенных элементах рельефа, характеризующихся наличием большого количества замкнутых понижений. Уклоны одноярусных лиманов 0,0003, многоярусных — 0,0003. . .0,001. Мелководные лиманы небольшой площади устраивают с помощью земляных валов, задерживающих сток в верхней части водосбора (рис. 10.1). Лиманы на водораздельных плато предотвращают возникновение водной эрозии в первоначальном очаге ее зарождения, приводят к рассолению солонцов, если они есть в пределах затопляемой площади.

Лиманы, устраиваемые на пологих склонах, имеют две основные разновидности: расположенные в верхней части склона используют склоновый сток в его чистом виде, а устроенные в нижней части склона используют как склоновый сток, так и сток, сформировавшийся в потяжинах, лощинах и даже овражно-балочной сети. Уклоны 0,0003 (для одноярусных) и 0,0003. . . 0,01 (для многоярусных).

Склоновые лиманы мелководные. Ярусы наполняют поочередно, начиная с верхнего. В нижние ярусы вода поступает из верхних через специально устроенные в теле водоудерживающего вала и по его концам водосливы-водообходы, работающие автоматически. Порог водосливов-водообходов устраивают на отметке нормального подпертого уровня, поэтому они автоматически начинают работать только в момент наполнения своего яруса до расчетной глубины. Для предотвращения размывов в местах расположе-

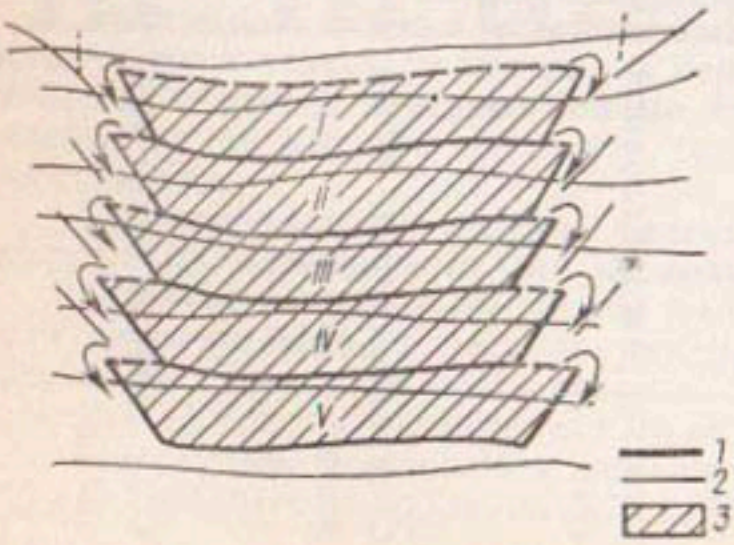


Рис. 10.2. Система мелкоярусных лиманов, устроенная на пологом склоне:

1 — земляные водоудерживающие валы; *2* — водоперехватывающие и направляющие валики; *3* — площадь лиманного орошения; *I*. . .*V* — секции лиманов

ния водосливов-водообходов гребни их и водобойную часть крепят бетонными плитами, булыжником. Склоновые лиманы могут состоять из одной или нескольких секций в зависимости от их площади и объема используемого стока. При многосекционной схеме в голове лимана устраивают водораспределительный ярус, из которого вода через водосливы и специальные каналы распределяется между всеми секциями (рис. 10.2).

Лиманы замкнутых понижений устраивают на уклонах 0,0003. . .0,01 при неблагоприятном водном режиме естественного замкнутого понижения, который выражается в переувлажнении, заболоченности низины и засолении периферии. Эффективное средство мелиорации замкнутого понижения — устройство в его чаше системы ярусных лиманов мелкого затопления, обеспечивающей равномерное распределение всего объема паводкового стока по его площади (рис. 10.3). Системы лиманов замкнутых понижений имеют кольцеобразное в плане размещение водоудерживающих валов в полном соответствии с расположением горизонталей местности.

Лиманы потяжин и лощин устраивают на участках рельефа, которые представляют собой пологие, иногда даже незаметные на глаз понижения местности, расположенные поперек общего склона водосбора, обычно в нижней его части, и имеющие уклоны по своему тальвегу в пределах 0,0003. . .0,001.

Лиманы мелкого затопления целесообразно устраивать при среднем уклоне тальвега, потяжины или лощины не более 0,001 и площади яруса не менее 4. . .5 га. На лиманах сооружают водообходы по обоим концам водоудерживающего вала. На рисунке 10.4 представлен ярусный лиман мелкого затопления на потяжине.

Лиманы глубокого затопления устраивают при среднем уклоне поверхности земли больше 0,001 и если при мелководной схеме невозможно иметь площадь яруса лимана более 4 га. Лиманы глубокого затопления могут быть одноярусными и многоярусными. Каждый водоудерживающий вал оборудуют не только водообходами по его концам, но и донными водовыпусками, предназначенными для опоражнивания ярусов (рис. 10.5).

Лиманы, питаемые сбросными водами из водохранилищ и прудов, используют при организации участка регулярного орошения. Уклоны 0,0003 ... 0,001. При этом возможны две основные схемы — ярусные лиманы мелкого (рис. 10.6) и глубокого затопления (рис. 10.7).

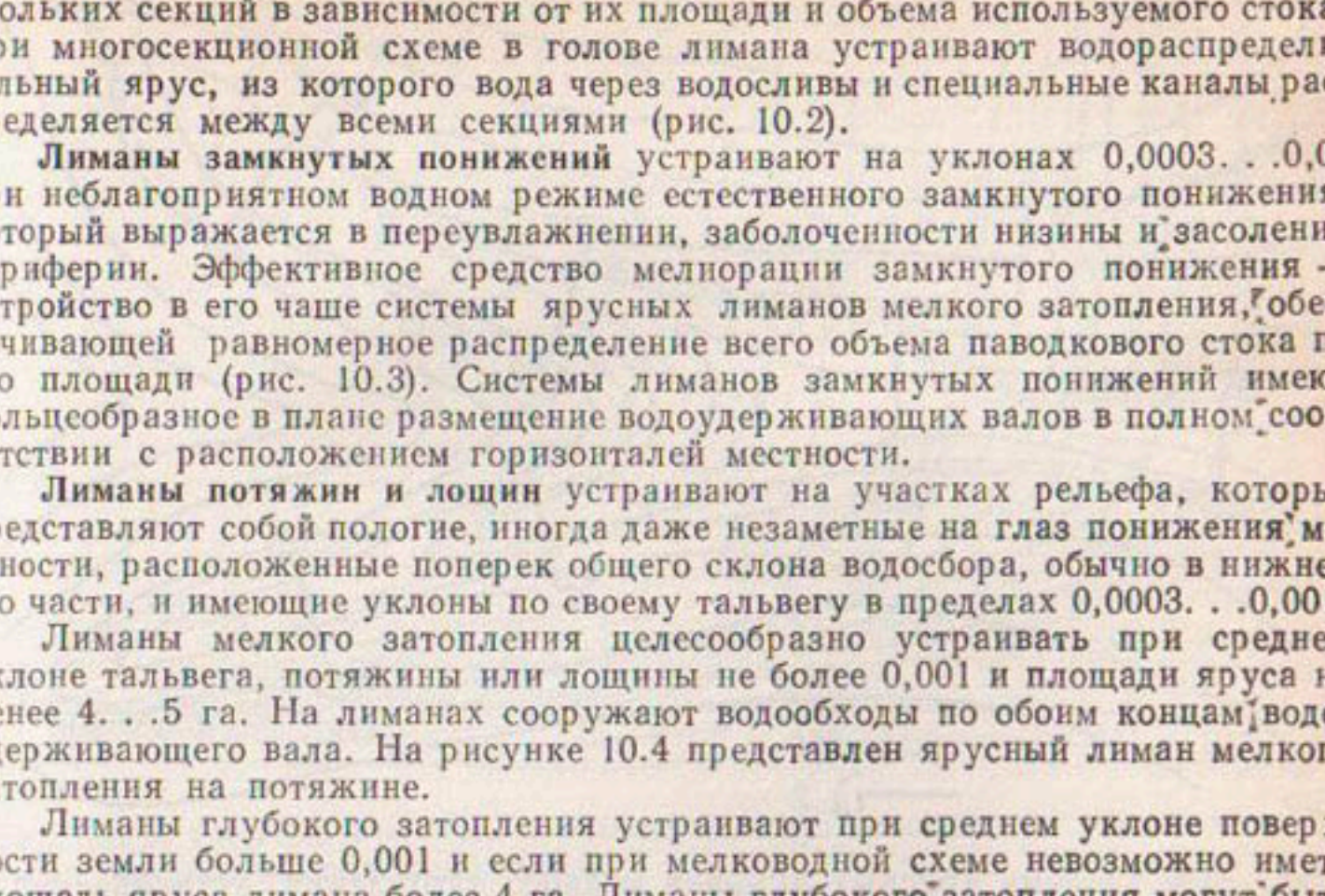


Рис. 10.3. Система ярусных лиманов мелкого затопления, устраиваемая в замкнутом понижении:

1 — водоудерживающие валы; *2* — водосливы-автоматы; *I. . .V* ярусы

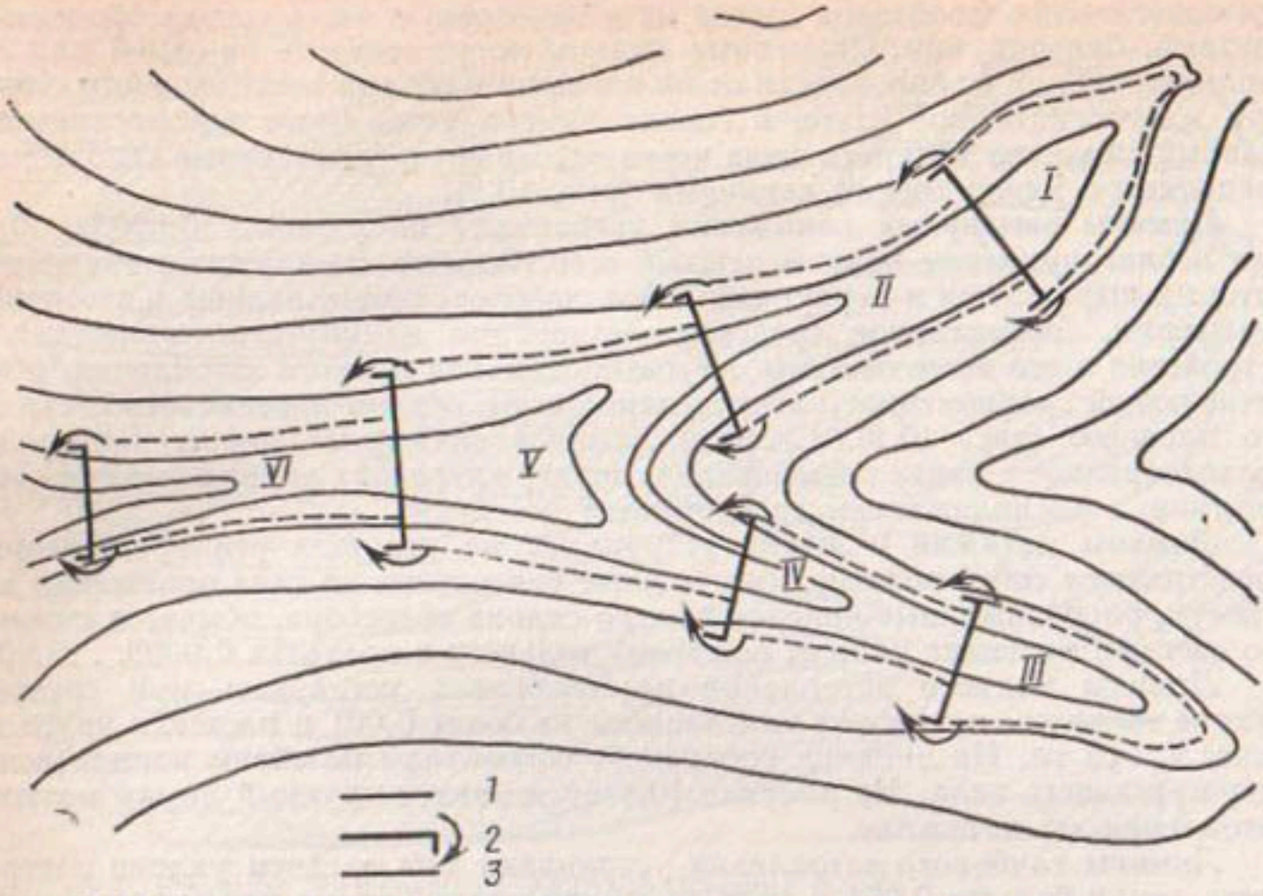


Рис. 10.4. Система ярусных лиманов мелкого затопления, устраиваемая на потяжинах:

1 — водоудерживающие валы; *2* — водообходы; *3* — граница затопления; *I. . .VI* — ярусы

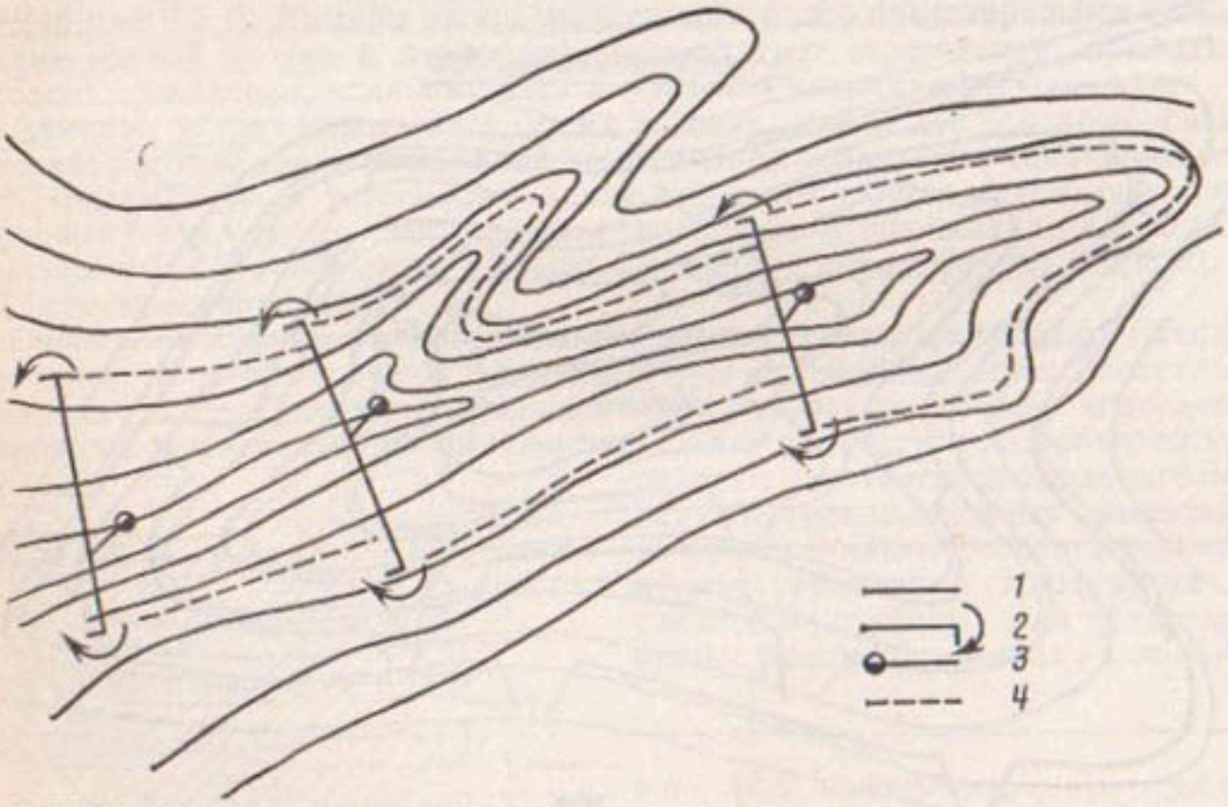


Рис. 10.5. Система ярусных лиманов глубокого затопления, устраиваемая на потяжинах:

1 — водоудерживающие валы; *2* — водообходы; *3* — сооружения для опорожнения ярусов глубокого слоя затопления; *4* — граница затопления

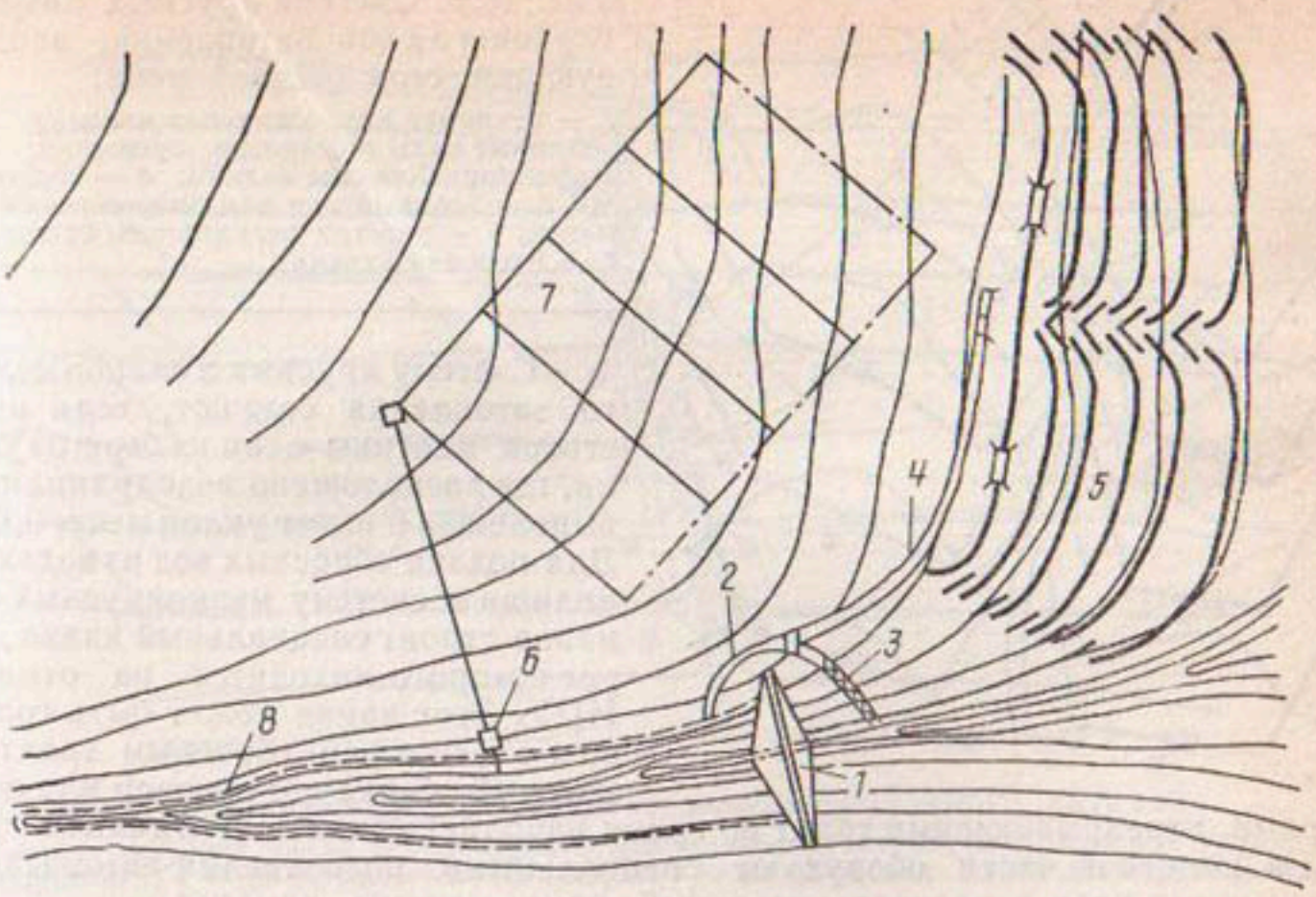


Рис. 10.6. Система ярусных лиманов мелкого затопления, питаемая сбросными водами из водохранилища:

1 — земляная плотина; *2* — сбросной тракт; *3* — сопрягающее сооружение; *4* — канал лиманного орошения; *5* — система мелкоярусных лиманов; *6* — насосная станция; *7* — система регулярного орошения; *8* — граница затопления

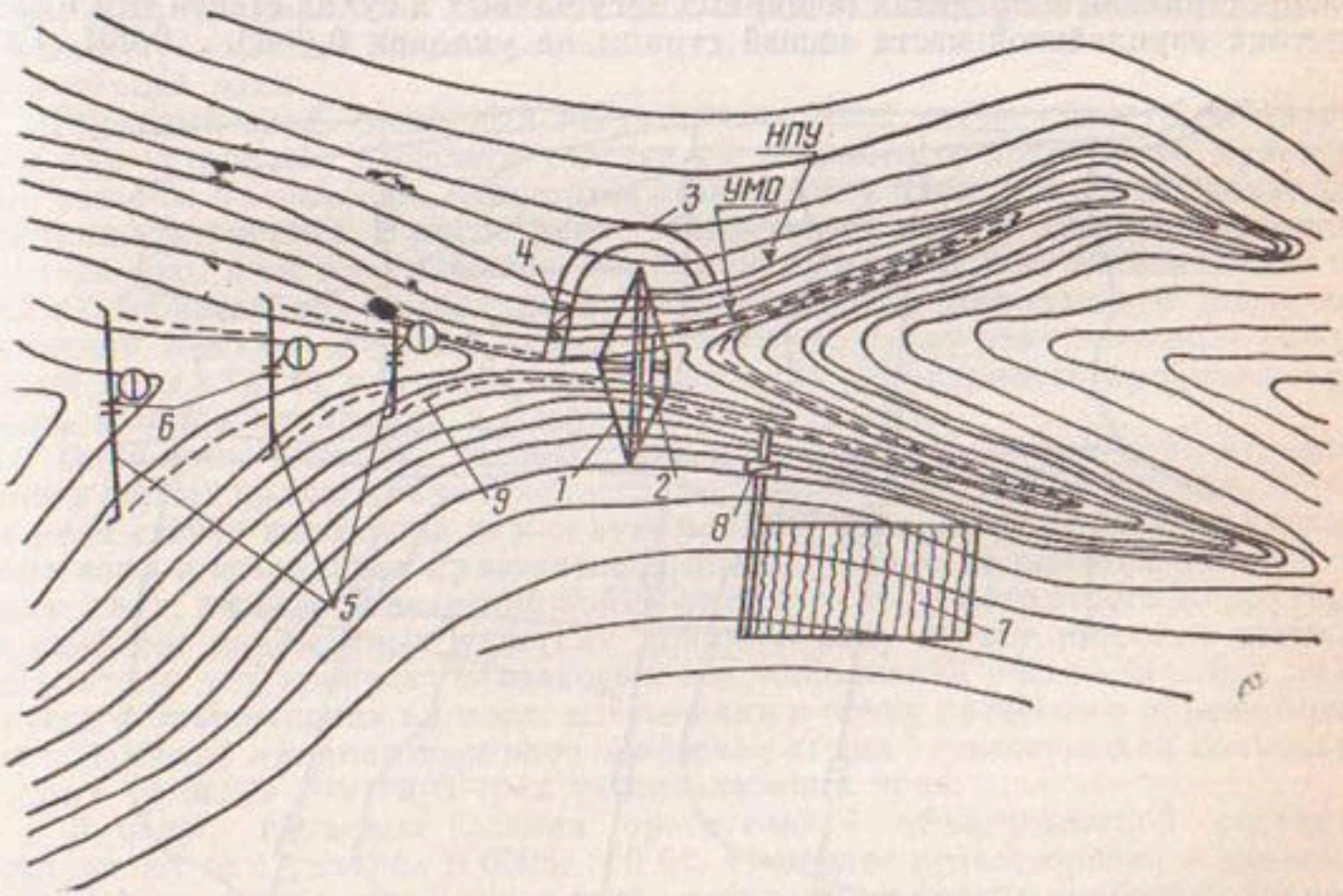


Рис. 10.7. Система ярусных глубоководных лиманов, питаемая сбросными водами из водохранилищ:

1 — земляная водохранилищная плотина; *2* — донный водовыпуск; *3* — паводковый сбросной канал; *4* — сопрягающее сооружение; *5* — земляные валы лиманов; *6* — лиманные водовыпуски, предназначенные для опорожнения лимнов; *7* — участок регулярного орошения; *8* — оросительная насосная станция; *9* — граница затопления

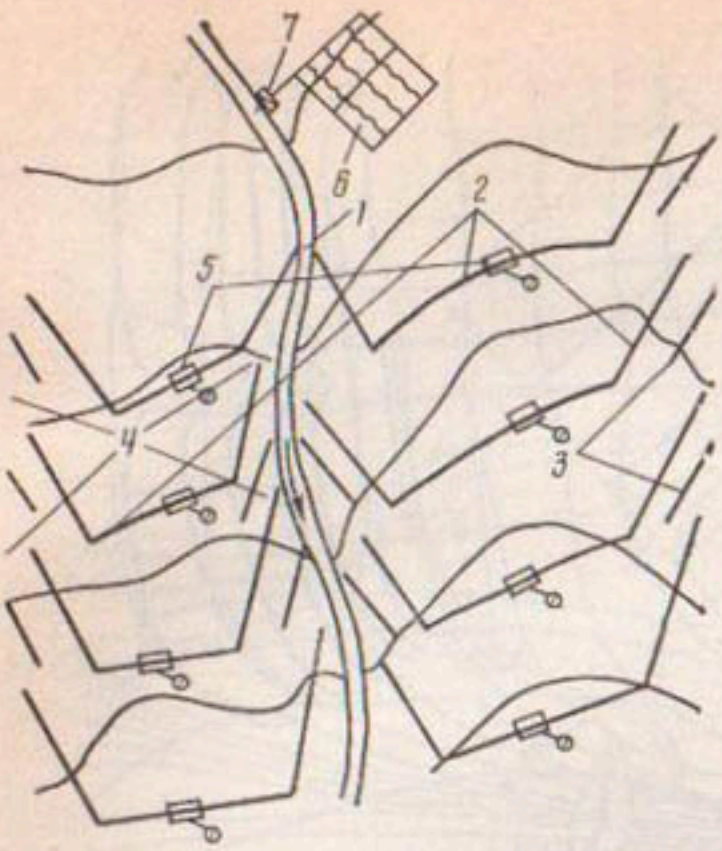


Рис. 10.8. Система ярусных лиманов глубокого слоя затопления, использующая сток степной реки:

1 — земляная водоподъемная плотина; *2* — земляные валы лиманного орошения; *3* — струенаправляющие валики; *4* — водообходы; *5* — водовыпуски для опорожнения лиманов; *6* — участок регулярного орошения; *7* — насосная станция

Систему ярусных лиманов мелкого затопления создают, если ниже створа плотины один из берегов балки, где расположено водохранилище, выположен и имеет уклон менее 0,001. Для подачи сбросных вод из водохранилища в систему мелкоярусных лиманов строят специальный канал, порог которого находится на отметке НПУ. Этот канал может быть совмещен с основным сбросным трактом, который оборудуют шлюзом или шандорами, перекрывающими тракт во время наполнения системы лиманов. Канал в концевой части оборудуют специальными водосливами-автоматами, подающими воду в распределительный ярус системы лиманов.

Если ниже створа плотины, образующей водохранилище, коренные берега балки расширяются и появляются признаки пойменных террас, то в этом месте целесообразно создавать ярусные лиманы глубокого затопления, питаемые сбросными водами водохранилища. Водообходы, устраиваемые по концам водоудерживающих валов, должны быть рассчитаны на пропуск сбросных расходов, идущих по сбросному тракту плотинного узла.

Лиманы, использующие сток степных рек и их притоков, наиболее распространены в пределах обширных засушливых и сухих степей юга и юго-востока европейской части нашей страны на уклонах 0,0003. . .0,001. Глу-

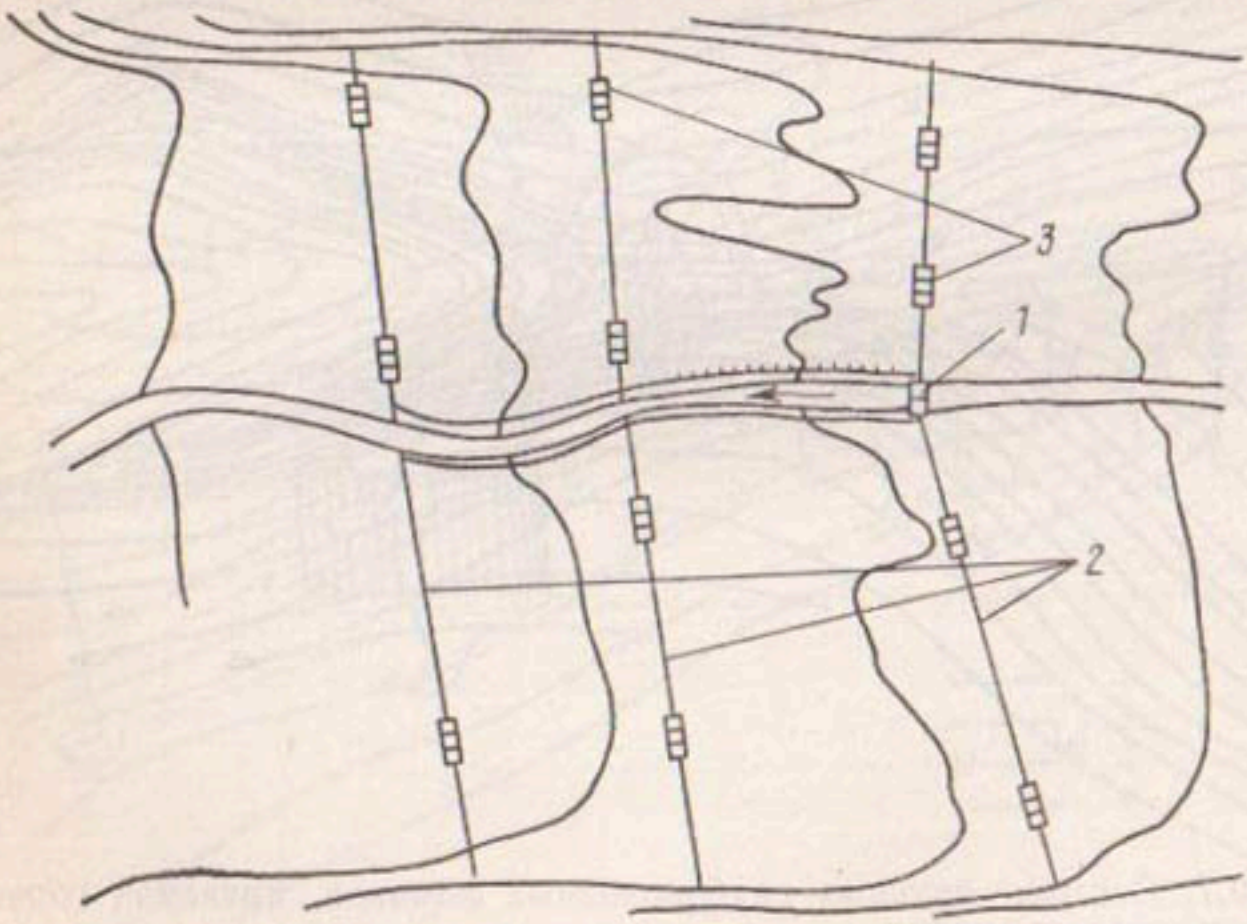


Рис. 10.9. Система пойменных лиманов глубокого слоя затопления:

1 — разборная водоподъемная плотина; *2* — валы лиманного орошения; *3* — перепускные шлюзы-регуляторы

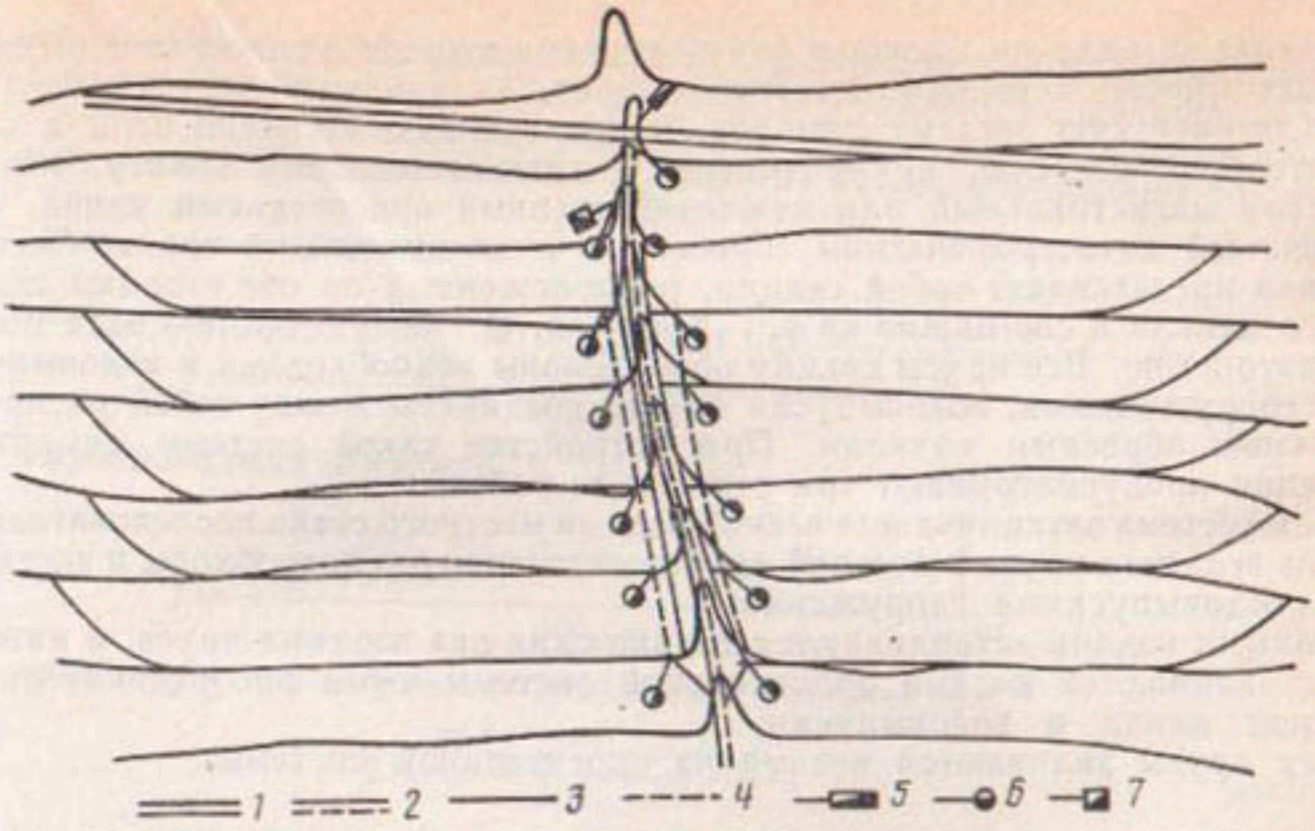


Рис. 10.10. Система ярусных лиманов комбинированного питания:
1 — магистральный канал обводнительно-оросительной системы; *2* — сбросной тракт; *3* — земляной вал; *4* — распределительный канал; *5* — ливнепровод; *6* — водовыпускное сооружение; *7* — подпорное сооружение

хая земляная плотина, устроенная в русле (рис. 10.8), создает подпор весенним паводковым водам, в результате чего они выходят из берегов реки и разливаются по прилегающей степи. Для удержания воды на определенной площади прямо от плотины, часто по обоим берегам, насыпают валы, образующие ярусы глубоководных лиманов. Каждый ярус оборудуют водообходами, предназначенными для перепуска воды в нижерасположенные ярусы, и водовыпусками для опорожнения лимана после впитывания в почву расчетного объема воды.

Русловый пруд, созданный земляной плотиной, имеет емкость, достаточную для устройства овощного участка регулярного орошения или культурных пастбищ и сенокосов. Недостаток этой системы в том, что глухая земляная плотина, устроенная в русле реки, обеспечивает подачу всего паводкового расхода воды в систему лиманов. Земляную плотину можно заменить шлюзовой разборчатой или водосливной из конструкций, позволяющих после наполнения лиманов сбросить непосредственно по руслу реки излишние паводковые воды. Такая плотина дает возможность регулировать продолжительность затопления лимана в необходимых пределах.

Пойменные лиманы, сооружаемые в поймах равнинных рек, затопляются в период прохождения весеннего паводка. Уклоны 0,0003. . .0,001. В русле реки ставят шлюзовую разборную плотину (рис. 10.9) для создания подпора воды и затопления прилегающей поймы. Прямо от плотины должен отходить вал, перегораживающий пойму от одного коренного берега до другого. В наиболее пониженных участках поймы в валу ставят широкие шлюзы-регуляторы для пропуска паводковых вод, наполнения расположенных ниже ярусов и опорожнения их после впитывания в почву расчетного объема воды. На пойменных лиманах возможно повторное летнее затопление для получения вторых урожаев или двух-трех укосов луговых трав.

Лиманы, питаемые водами оросительной обводнительной системы, устраивают при уклонах 0,0003. . .0,01. Наиболее целесообразна и экономически эффективна в этом случае система ярусных лиманов комбинированного питания (рис. 10.10), использующая воды местного стока и оросительной системы. На такой системе исключается основной недостаток лиманного орошения — периодичность затопления и изменчивость орошаемой площади в различные годы в зависимости от размера весеннего стока. Возможно повтор-

ное летнее затопление площади для получения второго урожая или дополнительных укосов кормовых культур и трав.

Классическую систему лиманов, использующую весенний сток и воды оросительной системы, приурочивают к ливнеотводящему тракту, пересекающему магистральный или межхозяйственный оросительный канал, оборудованный катастрофическим сбросом в ливнеотводящий тракт. Система лиманов представляет собой секции, расположенные по обе стороны подводящего канала и состоящие из 4. . .5 ярусов. В каждую секцию вода поступает автономно. Все ярусы секции оборудованы водообходами и водовыпускными сооружениями, водовыпуски ярусов соединены между собой распределительным сбросным каналом. При устройстве такой системы лиманного орошения предусматривают три режима ее работы:

вся система затапливается весной водами местного стока последовательно: вода из верхнего яруса в нижний ярус поступает через водообходы и частично через водовыпускные сооружения;

талыми водами затапливаются только один-два верхних яруса, а нижние ярусы заливаются водами оросительной системы через распределительный сбросной канал и водовыпуски;

все ярусы заливаются водами из оросительной системы.

10.3. РАСЧЕТ СИСТЕМ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ

10.3.1. РАСЧЕТНЫЙ ОБЪЕМ СТОКА ДЛЯ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ

Объем поверхностного весеннего стока вычисляют путем графических срезок на гидрографах. Для этого проводят прямую или плавную кривую линию, соединяющую последний зимний расход и расход летней межени. С достаточной для проектных целей точностью можно принять за начало летней межени день со среднесуточным расходом, равным удвоенному расходу в конце зимы (до начала резкого увеличения стока).

Норму весеннего стока (мм) определяют как среднюю многолетнюю величину

$$h_m = \Sigma h / n, \qquad (10.1)$$

где Σh — сумма ежегодных объемов стока за n лет.

Для расчета нормы стока с точностью ±15 % продолжительность наблюдений за фактическим стоком в зависимости от значения коэффициента вариации C_V изменяется от 12 (при $C_V=0{,}5$) до 54 (при $C_V=1{,}1$) лет.

Значения коэффициента асимметрии C_S для сухостепной зоны лиманного орошения находятся в пределах (1,2. . .2,0) C_V.

Для определения расчетного объема стока находят оптимальный процент его вероятности превышения и соответствующий ей модульный коэффициент.

Модульный коэффициент f, позволяющий перейти от нормы стока к стоку любой вероятности превышения, находят следующим образом:

$$f = h_i / h_m, \qquad (10.2)$$

где h_i — сток за каждый год, мм.

По значениям вероятности превышения нормы весеннего стока и модульного коэффициента строят кривые.

От расчетного процента вероятности превышения стока зависят размеры площади лиманного орошения, регулярность ее затопления на протяжении длительного ряда лет, технические особенности системы лиманного орошения, размеры и конструкция гидротехнических сооружений.

Решающим при выборе вероятности превышения (обеспеченности) стока является значение сбросных расходов. Наиболее эффективным будет такой вариант системы лиманов, при котором излишние паводковые расходы пропу-

скают через земляные водообходы. Основным критерием оптимальности выбора вероятности превышения стока должно быть равенство расчетного и сбросного расходов через земляные водообходы. Исходя из этого модульный коэффициент оптимальной вероятности превышения стока определяют по следующим формулам:

для мелководных лиманов

$$f = \frac{0{,}5T\left[\frac{h_{\min}}{100}A^n - v_{adm}\Delta h^2\left(10+\frac{1}{i}\right)\right]}{10h_{mF}A^0}; \qquad (10.3)$$

для глубоководных лиманов

$$f = \frac{T\left[\frac{h_{\max}}{100}A^n - 0{,}5v_{adm}\Delta h^2\left(10+\frac{1}{i}\right)\right]}{10h_{mF}A^0}; \qquad (10.4)$$

для лиманов, устраиваемых в замкнутых понижениях,

$$f = \frac{10h_{\max}A^0 - A_l h_{adm}}{10h_{mF}A^0}, \qquad (10.5)$$

где f — модульный коэффициент оптимальной вероятности превышения стока; T — продолжительность максимального расчетного паводка (для лиманного орошения паводок 1 %-ной вероятности превышения), сут; h_{max} — слой стока максимального расчетного паводка (для лиманного орошения паводок 1 %-ной вероятности превышения стока), мм; v_{adm} — допустимая неразмывающая скорость для почвогрунтов, на которых проектируют лиманы, м/с; Δh — высота призмы регулирования на лимане, м; A^n — водосборная площадь, км^2; n — показатель степени (редукционный коэффициент), принимается в пределах 1,0. . .0,75; A_l — площадь наиболее пониженной части конкретного замкнутого понижения, м^2; h_{adm} — допустимая высота призмы переполнения пониженной части замкнутого понижения, принимаемая не более 0,1 M, м; h_{mF} — среднемноголетний слой весеннего стока, мм; A^0 — водосборная площадь в га; i — средний уклон местности, на которой проектируется лиманное орошение.

Ориентировочно при проектировании лиманов расчетную вероятность превышения стока можно принимать для районов Северного Заволжья (Куйбышевская область и север Саратовской области) — 30. . .40 %, для левобережья Средней Волги (область сыртов), в северных и центральных областях Казахстана — 50 %, для Прикаспийской низменности и Западного Казахстана — 60 %.

На основании установленного расчетного значения модульного коэффициента определяют расчетный объем.

При отсутствии данных фактических наблюдений норму весеннего стока, а также значения коэффициентов вариации C_V и асимметрии C_S определяют по картам изолиний, средний максимальный расход весеннего половодья — по СНиП.

Объем весеннего стока расчетной вероятности превышения вычисляют по формуле

$$V_{P\%} = 1000h_m f A, \qquad (10.6)$$

где h_m — норма весеннего стока, мм; f — модульный коэффициент, соответствующий расчетным значениям вероятности превышения стока $P\%$ и коэффициентов C_V и C_S; A — площадь водосбора, км^2.

10.3.2. НОРМА ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ

Норма лиманного орошения — объем воды в м^3/га, необходимый для создания в расчетном слое почвы запасов воды, достаточных для получения планируемого урожая возделываемых сельскохозяйственных культур или естественной растительности (табл. 10.2).

10.2. Нормы лиманного орошения нетто для основных сельскохозяйственных культур

Культура	Плановая урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, м³/т	Норма лиманного орошения, м³/га
Озимая пшеница	2,0	2000	2600...3200
Яровая пшеница	1,8	2300	2800...3400
Кукуруза на зерно	2,5	1600	2200...3200
Кукуруза на силос	30,0	150	2600...3500
Люцерна на сено	5,0	900	3200...3500
Сахарное сорго на силос	30,0	130	2400...3300

Для лиманов, используемых в качестве естественных сенокосов, норму лиманного орошения можно определять по зависимости

$$M = k_l h (W_{FC} - W_d) - P + E, \qquad (10.7)$$

где k_l — коэффициент, учитывающий потери воды, связанные с проникновением воды за пределы расчетного слоя почвы (для глубоководных лиманов $k_l = 1{,}5$ м, для мелководных $k_l = 1{,}3$ м); h — глубина расчетного слоя почвы (для трав, кукурузы и других кормовых культур $h = 1{,}5$ м при сумме годовых осадков $P > 350$ мм и $h = 2$ м при $P < 350$ мм); W_{FC} — запас влаги, соответствующий наименьшей влагоемкости, м³/га; W_d — мертвый запас влаги в почве, м³/га; $E = E_S + E_w$ — потери воды на испарение, м³/га; E_S — испарение с поверхности снега; E_w — испарение с водной поверхности за время стояния воды в лимане.

С учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур и климатических условий района для определения норм лиманного орошения применяют формулу

$$M = k_{ET} У - 10 (\mu_1 \Sigma P_1 + \mu_2 \Sigma P_2 + \mu_3 \Sigma P_3) - V_{gr}, \qquad (10.8)$$

где k_{ET} — коэффициент водопотребления сельскохозяйственной культуры для условий лиманного орошения, м³/га; $У$ — плановая урожайность сельскохозяйственной культуры при лиманном орошении и данном уровне агротехники, т/га; μ_1, μ_2, μ_3 — коэффициенты использования осадков, выпадающих соответственно в вегетационный, теплый и холодный невегетационные периоды; ΣP_1, ΣP_2, ΣP_3 — суммы осадков, выпадающих соответственно в вегетационный, теплый и холодный невегетационные периоды; V_{gr} — объем грунтовых вод, используемый растениями.

Норму лиманного орошения рассчитывают для среднесухого или среднеблагоприятного года 75 %-ной вероятности превышения осадков. При близком залегании пресных грунтовых вод (от 2 до 1 м) объем грунтового подпитывания можно принимать не более 500...600 м³/га.

При возделывании на системе лиманного орошения набора сельскохозяйственных культур в составе севооборота норму лиманного орошения рассчитывают для каждой культуры. За расчетную величину принимают средневзвешенную норму, определяемую по формуле

$$M_n = (\alpha_1 M_1 + \alpha_2 M_2 + \ldots + \alpha_n M_n)/100, \qquad (10.9)$$

где α_1, α_2, ..., α_n — доля каждой культуры в севообороте, %; M_1, M_2, ..., M_n — норма лиманного орошения, подсчитанная для каждой культуры по формуле (10.8).

Расчетную площадь мелководных лиманов определяют по формуле

$$A = V_{P\%}/M_m, \qquad (10.10)$$

где $V_{P\%}$ — расчетный объем стока, определяемый по формуле (10.6), м³; M_m — средневзвешенная норма лиманного орошения, м³/га.

Расчетная площадь глубоководных лиманов

$$A = V_{P\%}/M_m + \Delta, \tag{10.11}$$

где все обозначения прежние, а Δ — удельный объем воды, предназначенный для увеличения глубины затопления лимана. В результате анализа работы систем лиманного орошения установлено, что он равен (0,1. . .3) M_m.

10.3.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЛУБОКОВОДНЫХ ЛИМАНОВ

Среднюю глубину затопления глубоководного лимана определяют по формуле

$$h_m = (M_m + \Delta - k_m T)/10^4, \tag{10.12}$$

где h_m — средняя глубина наполнения лимана, м; k_m — средний коэффициент впитывания воды в почву лимана, м/сут; T — продолжительность расчетного паводка, сут.

Максимальная глубина воды у вала одиночного глубоководного лимана или первого его яруса при многоярусной схеме равна удвоенной средней глубине, максимальную глубину второго и последующих ярусов определяют по формуле

$$h_{\max} = 2h_m - h_{\min}, \tag{10.13}$$

где h_{max} — максимальная глубина воды у водоудерживающего вала, м; h_{min} — минимальная глубина воды у вала вышерасположенного яруса, которую для создания более равномерного увлажнения всей площади яруса принимают 0,05. . .0,1 м.

Строительную высоту (м) водоудерживающего земляного вала находят по формуле

$$h_b = 1{,}1\,(h_{\max} + \Delta h), \tag{10.14}$$

где 1,1 — коэффициент запаса на усадку земляного вала; Δh — превышение гребня вала над НПУ, равное для глубоководных лиманов 0,5. . .1 м.

Проектную отметку основания вала первого яруса определяют в соответствии с особенностями рельефа местности. Проектные отметки оснований следующих ярусов вычисляют по формуле

$$\nabla_n = \nabla_{n-1} - h^n_{max} + h^n_{min}, \tag{10.15}$$

где ∇_{n-1} — отметка основания вала предыдущего $(n-1)$-го яруса; h^n_{max} — максимальная глубина затопления у вала n-го яруса; h^n_{min} — минимальная глубина затопления n-го яруса.

По вычисленным отметкам трассируют валы всех ярусов системы глубоководных лиманов, после чего определяют площадь каждого яруса и его емкость.

На протяжении всего времени работы лимана (от начала его затопления до опорожнения) выделяют четыре характерных периода.

1. Наполнение лимана до расчетной глубины, в процессе которого площадь затопления изменяется от 0 до A, а почва лимана находится в замерзшем состоянии. Продолжительность этого периода определяют по формуле

$$t_1 = \frac{hA}{Q_m - 0{,}5k_1A}. \tag{10.16}$$

2. Поддержание слоя воды в лимане, когда на наполненный лиман продолжают поступать талые воды. В этот период площадь лимана равна

расчетной, а почва лимана частично оттаяла. Талые воды, поступающие на систему, переливаются из яруса в ярус по водообходам. Этот период длится до окончания паводка, продолжительность его определяют по формуле

$$t_2 = T - hA/(Q_m - 0{,}5k_1A). \quad (10.17)$$

Объем воды, впитавшейся в почву лимана за первые два периода его работы, вычисляют по формуле

$$V_{1-2} = A\,(0{,}5k_1t_1 + k_2t_2). \quad (10.18)$$

3. Впитывание воды в почву лимана без сброса ее, при котором зеркало воды уменьшается из-за впитывания воды в почву и испарения с водной поверхности. Продолжительность этого периода определяют из условия, что к концу его в почву лимана должен впитаться объем воды, равный 90. . .95 % расчетного. Продолжительность третьего периода определяют по формуле

$$t_3 = \frac{0{,}9M - 0{,}5k_1t_1 - k_2t_2}{(1-\mu)\,k_3}. \quad (10.19)$$

4. Опорожнение лимана, к концу которого увлажнение почвы должно быть расчетным, то есть соответствовать норме лиманного орошения. Продолжительность четвертого периода определяют по формуле

$$t_4 = (0{,}5\ldots0{,}1)\,M/k_4. \quad (10.20$$

Расчетный сбросной расход сооружений, предназначенных для опорожнения лимана, находят по формуле

$$Q_c = (V - 0{,}9k_3At_3 - 0{,}45k_4At_4)/t_4. \quad (10.21)$$

В формулах 10.16. . .10.21 h_m — средняя глубина затопления лимана, м; A — расчетная площадь лимана, га; k_1, k_2, k_3, k_4 — коэффициенты впитывания воды в почву, соответствующие периодам работы лимана, м³/(га·сут); t_1, t_2, t_3, t_4 — продолжительность соответствующих периодов работы лимана, сут; Q_m — средний расход расчетного паводка, м³/с; μ — коэффициент, учитывающий уменьшение площади лимана из-за впитывания воды в почву и испарения с водной поверхности, обычно $\mu = 0{,}1$; V — расчетная емкость лимана (яруса), м³; M — норма лиманного орошения, м³/га.

Водный баланс рассчитывают отдельно для каждого яруса системы глубоководных лиманов.

При определении расчетных сбросных расходов глубоководных лиманов необходимо учитывать их регулирующее влияние, выражающееся в уменьшении расхода вследствие его трансформации в призме регулирования. С учетом этого явления расход (м³/с), на который следует рассчитывать сбросные сооружения, определяют по формуле

$$Q_c = Q_{max}\,(1 - V_{reg}/V_F), \quad (10.22)$$

где Q_{max} — максимальный расход расчетного паводка; V_{reg} — объем регулирующей призмы глубоководного лимана; $V_{reg} = A\Delta h$, здесь A — площадь лимана, Δh — высота регулирующей призмы, которую принимают не более 0,5 м; V_F — объем расчетного паводка.

10.3.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕЛКОВОДНЫХ ЯРУСНЫХ ЛИМАНОВ

Мелководные ярусные лиманы устраивают на выровненных участках с уклонами, не превышающими 0,003. Системы ярусных лиманов мелкого затопления просты в устройстве, обеспечивают полную автоматизацию увлажнения всей площади и распределения воды.

Водный баланс мелководных лиманов, так же как и глубоководных, должен быть согласован с режимом источника орошения. Автоматическое выдерживание нужных норм орошения в таких лиманах обеспечивается, если средняя глубина затопления яруса будет эквивалентна норме лиманного

орошения за вычетом слоя впитавшейся воды в период наполнения и поддержания его в лимане. Среднюю глубину затопления (м) любого яруса системы мелкоярусных лиманов определяют по формуле

$$h_n = \left[M - k\left(T - \sum_{i=n-1}^{i=1} t_i \right) \right] / 10^4, \qquad (10.23)$$

где k — средний коэффициент впитывания воды в почву лимана, м³/(га·сут); T — продолжительность расчетного паводка, сут; $\sum_{i=1-n}^{i=1} t_i$ — продолжительность наполнения до расчетной глубины предыдущих ярусов, сут.

Для определения средней глубины всех ярусов необходимо знать продолжительность наполнения до расчетной глубины каждого яруса, которую находят по следующим формулам:

для ярусов, наполняемых в период подъема паводка,

$$t'_n = V'_n + (V'^2_n + 8V_F V_n)^{1/2} / 2Q_{max}, \qquad (10.24)$$

где V'_n — объем воды, впитавшейся в почву первого яруса за время расчетного паводка T, определяемый по формуле

$$V'_n = kT\left(\sum_{i=n-1}^{i=1} A_i + 0{,}5A_n \right) - 2Q_{max} \sum_{i=n-1}^{i=1} t_i, \qquad (10.25)$$

где V_F — объем расчетного паводка, м³; V_n — емкость n-го яруса, м³; A_n — площадь n-го яруса, м²; Q_{max} — максимальный расход расчетного паводка, м³/сут; t_i — продолжительность наполнения ярусов до расчетной глубины, сут.

Для ярусов, наполняемых в период прохождения пика паводка,

$$t''_n = V''_n + (V''^2_n - 12V_F V_n)^{1/2} / (2Q_{max}), \qquad (10.26)$$

где t''_n — продолжительность наполнения яруса в период прохождения пика паводка,

$$V''_n = 1{,}5T\left[Q_{max} - k\left(\sum_{i=n-1}^{i=1} A_i + 0{,}5A_n \right) \right], \qquad (10.27)$$

все остальные обозначения прежние.

Для ярусов, наполняемых в период спада паводка,

$$t'''_n = V'''_n + (V'''^2_n - 8V_F V_n)^{1/2} / (2Q_{max}), \qquad (10.28)$$

где t'''_n — продолжительность наполнения любого яруса в период спада паводка, сут;

$$V'''_n = 2Q_{max}\left(T - \sum_{i=n-1}^{i=1} t_i \right) - kT\left(\sum_{i=n-1}^{i=1} A_i + 0{,}5A_n \right); \qquad (10.29)$$

все остальные обозначения прежние.

Расчет системы ярусных лиманов мелкого наполнения выполняют в той же последовательности, в которой происходит наполнение ярусов — от верхнего к нижнему. По формулам (10.13) и (10.14) рассчитывают строительную высоту водоудерживающего земляного вала и по формуле (10.15) определяют отметку основания водоудерживающего вала. По найденной отметке трассируют на топографическом плане ярус, после чего определяют его площадь и емкость.

Расчет мелкоярусных лиманов, использующих воды оросительно-обводнительных систем, начинают с определения необходимого для их затопления объема воды

$$V = M_m A, \qquad (10.30)$$

где M_m — средневзвешенная норма лиманного орошения, м³/га; A — расчетная площадь лиманов, га.

Проектный расход воды, подаваемый на лиманы для их затопления, зависит от продолжительности затопления. Обычно за сутки затопляют площадь в пределах 100. . .200 га. Ординату графика водоподачи (расчетный расход нетто) на систему мелкоярусных лиманов определяют по следующей зависимости:

$$Q_{nt} = M_m A_s / T, \tag{10.31}$$

где A_S — площадь секции системы лиманов, га; T — продолжительность затопления секции, сут.

Среднюю глубину заполнения каждого яруса находят по формуле (10.23), а продолжительность наполнения ярусов до расчетной глубины вычисляют по зависимости

$$t_n = \frac{h_m A_n}{Q_m - k\left(\sum_{i=1}^{n-1} A_i + 0{,}5A_n\right)}, \tag{10.32}$$

где h_m — средняя глубина затопления ярусов, м; A_n — площадь n-го яруса, га; Q_m — средний расход водоподачи на систему лиманов, м³/сут; k_m — средний коэффициент впитывания воды в почву, м³/(га·сут).

Если система мелкоярусных лиманов комбинированная, то есть используется вода каналов оросительно-обводнительных систем и местный сток, то ее рассчитывают на использование местного стока, так как именно в этом случае на системе создаются экстремальные условия (максимальные значения расчетных расходов воды и др.).

При проектировании мелкоярусных систем с использованием экономически целесообразного объема стока при вероятности превышения, определенной по формулам (10.3), (10.4), (10.5), пропуск сбросных расходов полностью обеспечивается устройством простейших земляных водообходов. При этом отпадает необходимость в устройстве дополнительных сбросных сооружений. Расчетный сбросной расход, на который рассчитывают земляные водообходы системы лиманов, определяют по формуле

$$Q_s = Q_{1\%}\left(1 - \sum_{i=1}^{n} V_i / V_{1\%}\right), \tag{10.33}$$

где $Q_{1\%}$ — максимальный расход паводка 1%-ной вероятности превышения; $\sum_{i=1}^{n} V_i$ — сумма объемов воды, задерживаемой в ярусах лимана, включая рассчитываемый ярус; $V_{1\%}$ — объем паводка 1%-ной вероятности превышения.

Если система мелкоярусных лиманов рассчитана на использование стока произвольной обеспеченности, то после определения расчетных сбросных расходов для каждого яруса системы по формуле (10.33) необходимо найти пропускную способность водообходов по формуле

$$Q_w = S_w v_{adm}, \tag{10.34}$$

где S_w — площадь поперечного сечения водообхода ($S_w = 0{,}5\Delta h^2 i_n$, м², здесь Δh — высота призмы регулирования, м; i_n — поперечный уклон водообхода); v_{adm} — допустимая неразмывающая скорость течения воды на водообходе, м/с.

После этого сравнивают пропускную способность двух водообходов (так как каждый ярус имеет два водообхода) с расчетным сбросным расходом. Если $2Q_w > Q_c$, то водообходы обеспечивают пропуск расчетного паводка и на этом расчет заканчивают. Если $2Q_w < Q_c$, то определяют пропускную способность дополнительных сбросных сооружений

$$Q_{sup} = Q_c - 2Q_w. \tag{10.35}$$

Глава 11. ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТОЧНЫХ ВОД И СТОКОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

11.1. ВИДЫ И ОЦЕНКА СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

Сточные воды — это воды, загрязненные бытовыми и производственными отходами, удаляемые с территорий населенных пунктов и промышленных предприятий системами канализации.

В зависимости от происхождения, состава и качественной характеристики загрязнений сточные воды, используемые на орошение, подразделяются на три основные категории:

Хозяйственно-бытовые	Производственные	Животноводческие стоки
Сточные воды городов и поселков, pH = 7,4; характеризуются слабой щелочной реакцией; содержание растворенных веществ 0,4... 0,7 г/л, мало биогенных элементов (N, P, K) и органических веществ	1. Сточные воды предприятий пищевой промышленности, pH = 4,2...8,2 2. Условно чистые воды предприятий легкой и химической промышленности, pH = 7,2	Жидкая фракция навоза и навозных стоков, прошедшая биологическую очистку, pH = 8,2

11.1. Оценка пригодности сточных вод для орошения по их химическому составу

Показатель	Значение показателя	Возможность применения сточных вод
pH	6...8,5	На всех видах почв
$\frac{Na+K}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$, мг·экв/л	8	На всех почвах
	8...10	На средних и легких почвах
	10...12	На легких по механическому составу почвах
Na + K + Ca + Mg, мг·экв/л	20	На всех видах почв
	20...45	На средних и легких почвах. Один промывной полив в год
	45...75	На средних и легких почвах. Все поливы или каждый второй должны быть промывными
	75...150	На легких хорошо дренируемых почвах. Все поливы должны быть промывными
Mg/Ca	1	Во всех случаях
Азот общий, мг/л	50...120	Для Нечерноземной зоны принимают бóльшие значения, для аридной — меньшие
Фосфор P, мг/л	10...30	
Калий K, мг/л	50...150	Недостаток этих элементов восполняют минеральными удобрениями с учетам потребности сельскохозяйственных культур

Примечание. Таблица применима для расчета режимов орошения по водопотреблению.

11.2. Характеристика сточных вод по удобрительной ценности

Категория сточных вод по удобрительной ценности	Основные виды сточных вод	Содержание в сточных водах элементов питания, мг/л	Компенсация выноса питательных веществ с урожаем благодаря орошению сточными водами	Рекомендации по дополнительному внесению удобрений
Высокая	Крахмальных, крахмало-паточных, гидролизных, биохимических, маслосыродельных и спиртовых заводов, мясокомбинатов, животноводческих комплексов	Азота > 100 Калия > 70 Фосфора > 30	> 100%	Требуется внесение фосфорных удобрений с учетом плодородия почв
Средняя	Сахарных, дрожжевых, пивных, консервных заводов, предприятий химической промышленности, малых населенных пунктов	Азота 50...100 Калия 30...70 Фосфора 10...30	От 50 до 100%	Требуется внесение половинной нормы минеральных удобрений в почву
Низкая	Городов и поселков после полной биологической очистки, условно чистые промышленных предприятий текстильной, целлюлозно-бумажной промышленности, ТЭЦ и др.	Азота до 50 Калия до 30 Фосфора до 10	< 50%	Требуется внесение почти полной нормы минеральных удобрений в почву

Примечание. Полная биологическая очистка снижает удобрительную ценность сточных вод на 50...70% в зависимости от их вида.

11.3. Допустимая концентрация общего азота (мг/л) в животноводческих стоках

Многолетние злаковые травы второго года и последующих лет жизни	Многолетние злаковые травы через 60 сут после всходов (люцерна, красный клевер); смесь однолетних трав без бобовых	Зерновые культуры, кукуруза	Свекла, подсолнечник
Зона избыточного и достаточного увлажнения			
1500	1000	800	500
Зона недостаточного увлажнения			
700...800	500	400	250...300

Пригодность сточных вод для орошения оценивают по их химическому составу (табл. 11.1 и 11.2).

Сточные воды предприятий пищевой промышленности и хозяйственно-бытовые воды можно использовать только после соответствующей механической и биологической очистки.

Животноводческие стоки от комплексов крупного рогатого скота, используемые на орошение, должны иметь влажность не менее 95 %, от свиноводческих комплексов — не менее 98 %, содержать твердые и длинноволокнистые включения размером не более 10 мм, а при использовании дождевальных машин с гидроприводом — не более 2,5 мм, иметь концентрацию общего азота не более значений, приведенных в таблице 11.3.

Высокое содержание натрия в сточных водах, используемых для орошения, может вызвать солонцевание почв. Опасность возникновения этого процесса оценивается показателем натриевого адсорбционного отношения (*SAR*):

$$SAR = \frac{Na}{(Ca + Mg)/2}, \qquad (11.1)$$

где Na, Ca, Mg — концентрация ионов в мг·экв/л. Значение *SAR* не должно превышать 8 на почвах тяжелого механического состава, 10 на суглинистых, 12 на супесчаных и песчаных почвах.

11.2. ОРОСИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ И ПОЛИВНАЯ ТЕХНИКА

Плановое расположение оросительной сети при использовании сточных вод принципиально такое же, как в оросительных системах, использующих чистую воду. Расчетная площадь оросительной системы для утилизации стоков определяется как сумма расчетных площадей для утилизации стоков под каждую культуру севооборота (табл. 11.4).

Оросительная сеть при поливе сточными водами должна быть закрытой. Открытые или комбинированные сети допускаются по согласованию с органами санитарного надзора.

При устройстве оросительной сети следует применять асбестоцементные, чугунные, железобетонные, полимерные и стальные трубопроводы. Разборные трубопроводы можно использовать только на небольших участках площадью примерно до 100 га. При гидравлическом расчете трубопроводов и каналов незаиляющие скорости должны быть более 0,4 м/с. При круглогодовом орошении трубопроводы закладывают на глубину более 0,9 м.

На оросительных системах необходимо предусмотреть возможность опорожнения трубопроводов от сточных вод через специальные водовыпуски или колодцы с подачей их на орошаемые участки, резервные площадки, в регулирующие емкости самотеком или с механической откачкой.

11.4. Площадь орошаемых участков (га) для утилизации стоков от животноводческих комплексов (ферм) различного размера

Животноводческие комплексы	Размер орошаемой площади (га) при внесении N, P, K, кг/га за год											
	без учета потерь при хранении						с учетом потерь при хранении стоков в течение 6 мес					
	200	100	200	300	150	300	200	100	200	300	150	300
Свиноводческие												
12 тыс. голов, откорм	270		180				230					155
12 тыс. голов, выращивание и откорм	330		220				280					190
24 тыс. голов, откорм	440		290				370					250
24 тыс. голов, выращивание и откорм	660		440				560					375
24 тыс. голов, производство и выращивание поросят	235		160				200					135
54 тыс. голов, выращивание и откорм (механическое разделение)	1535		1025				1300					870
54 тыс. голов, выращивание и откорм (биологическая очистка)	570		380				545					365
108 тыс. голов, выращивание и откорм (механическое разделение)	3070		2045				2610					1740
108 тыс. голов, выращивание и откорм (биологическая очистка)	1130		755				1090					725
Откормочные (КРС)												
3 тыс. голов	510		340				460					305
5 тыс. голов	860		570				770					515
10 тыс. голов	1700		1140				1540					1030
20 тыс. голов	3420		2280				3080					2060
Молочные												
1200 коров	490		330				450					300
1600 коров	650		440				560					390
2000 коров	810		540				730					490

В оросительную систему, принимающую неочищенные хозяйственно-бытовые сточные воды, дополнительно включают насосную станцию для подачи сточных вод в комплекс сооружений механической очистки (решетка, песколовка, отстойник); аккумулирующие емкости для механически очищенных сточных вод; площадку для обезвреживания осадка из отстойников; биологические пруды, насосную станцию для подачи очищенных сточных вод в оросительную сеть. На оросительной системе должна быть лаборатория для химических и других анализов сточных, дренажных, грунтовых вод и почвы.

Насосные станции оборудуют фекальными насосными агрегатами типа Ф. Возможно применение насосов других типов при соответствующем обосновании.

Насосные станции перекачки сточных вод должны быть полностью автоматизированы. При круглосуточной и круглогодичной работе насосной станции рекомендуется предусматривать резервные насосные агрегаты.

Емкость приемного резервуара насосной станции перекачки должна обеспечивать не более четырех включений насосов за 1 ч работы.

Регулирующие емкости, предназначенные для устранения неравномерности поступления сточных вод, включают емкости суточного регулирования, регулирующие емкости у насосных станций, полевые накопители на севооборотных участках, емкости для смешения и разбавления сточных вод и др.

Конструкция и параметры гидрантов и затворов оросительной сети определяются принятой техникой полива и режимом орошения. При орошении в морозный период для предохранения гидрантов от замерзания предусматривается их утепление и опорожнение от воды сразу же после полива.

На резервных участках устраивают чеки с контурными (по горизонталям местности) валиками высотой до 0,5 м и заложением откосов 1 : 4. . .1 : 10, проходимыми для сельскохозяйственных машин. Площадь их принимают в зависимости от почвенных и гидрогеологических условий в пределах 5. . . 15 % расчетной площади орошения. На резервных территориях можно выращивать многолетние травы или древесно-кустарниковые насаждения.

В состав оросительных систем при использовании сточных вод могут входить и биологические пруды (проточные или контактные), предназначенные для очистки и доочистки различных видов сточных вод, прошедших сооружения механической очистки. В каждый пруд поочередно подают сточную воду и выдерживают от 5 до 10 сут в зависимости от климатических условий до полного ее обеззараживания. При первоначальном заполнении пруда в него вводят несколько видов микроводорослей, которые сохраняются на дне пруда после его опорожнения в виде «закваски». Вторичного введения микроводорослей во время эксплуатации не требуется.

Продолжительность нахождения сточных вод в биологических прудах для каждого климатического района определяют на основе исследований. В северных районах сточные воды необходимо выдерживать в прудах (в зависимости от сезона года) 8. . .10 сут, а в южных — 5. . .7 сут.

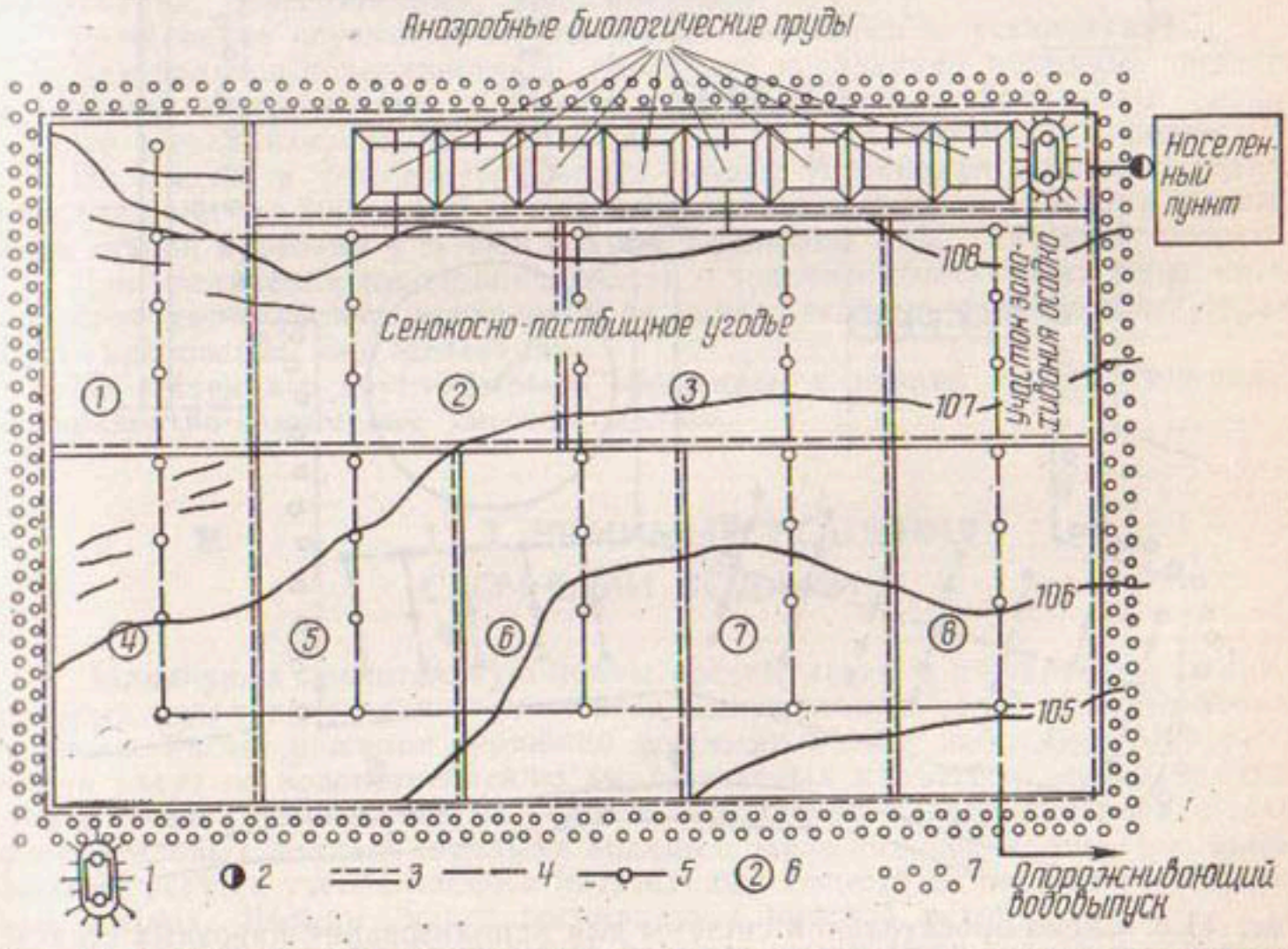


Рис. 11.1. Принципиальная схема полей орошения для малых населенных пунктов:

1 — накопитель; *2* — насосная станция; *3* — дороги и валики; *4* — закрытая оросительная сеть; *5* — гидрант-водовыпуск; *6* — номера поливных участков; *7* — лесополосы

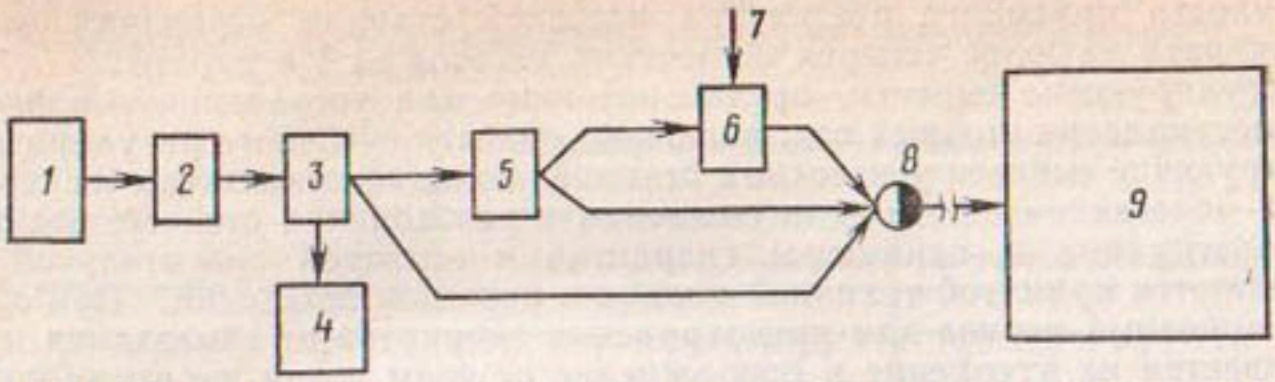


Рис. 11.2. Технологическая схема подготовки и использования навозных стоков на орошение:

1 — животноводческий комплекс; *2* — карантинная емкость; *3* — разделительная установка; *4* — площадка для твердой фракции навоза; *5* — накопитель жидкой фракции; *6* — узел смешивания; *7* — источник орошения; *8* — насосная станция; *9* — поля орошения

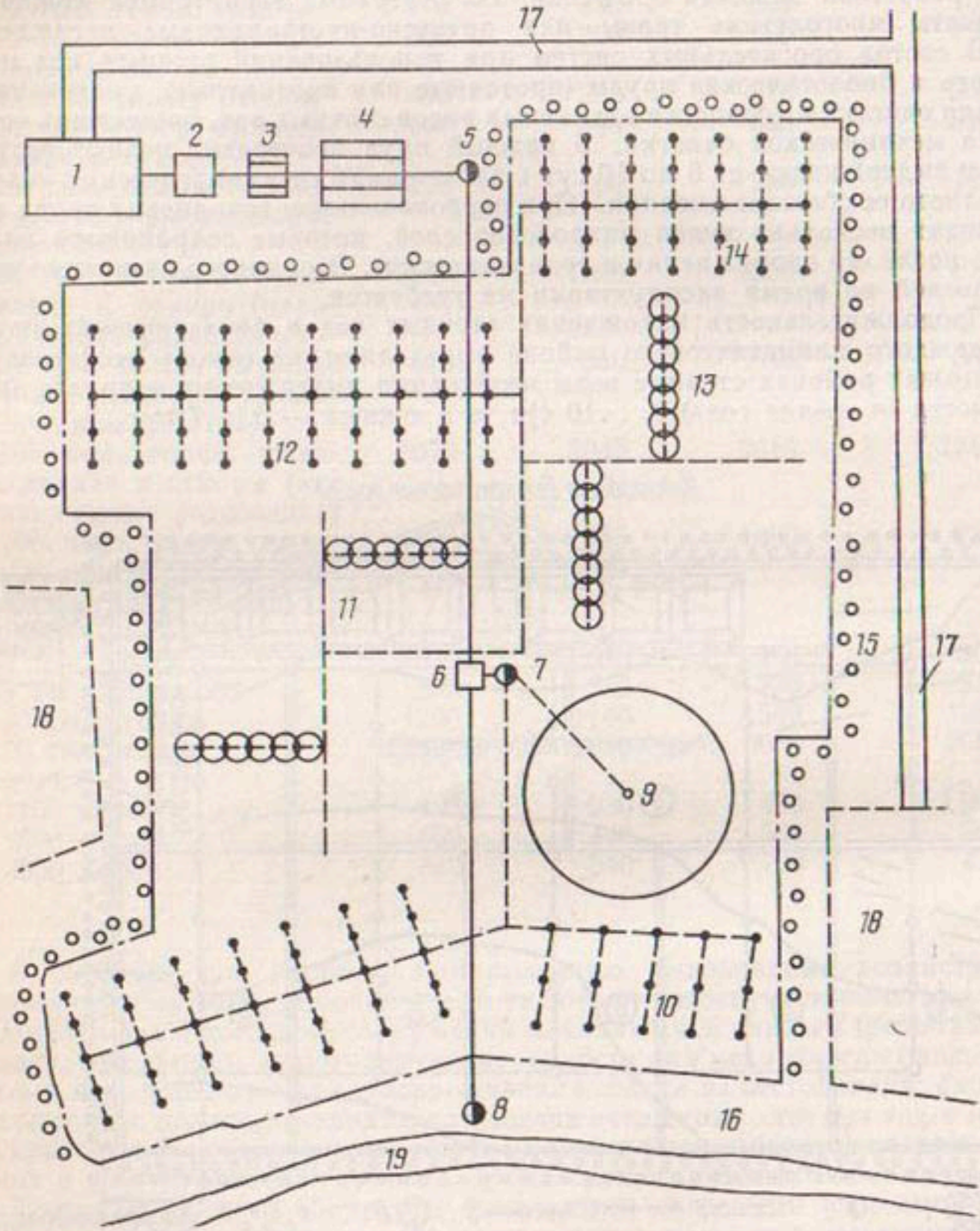


Рис. 11.3. Схема оросительной системы для использования навозных стоков:

1 — животноводческий комплекс; *2* — карантинная емкость; *3* — разделительная установка; *4* — накопитель; *5, 7, 8* — насосные станции; *6* — резервуар; *9* — дождевальная машина ДМУ-Асс; *10* — дождевальные аппараты ДД-30; *11* — дождевальная машина ДКН-80; *12* — ДДН-70; *13* — ДКШ-64; *14* — ДДН-100; *15* — санитарно-защитная зона; *16* — водоохранная полоса; *17* — дорога; *18* — жилой поселок; *19* — река

Место расположения и форму прудов выбирают в зависимости от рельефа и гидрогеологических условий. Глубину их принимают 0,6. . .1,2 м, гидравлическую нагрузку 1. . .1,3 тыс. м³/(га·сут) (рис. 11.1).

Во избежание загрязнения подземных вод пруды устраивают на участках с водонепроницаемыми грунтами или с экранированием дна и откосов гидроизоляционными материалами.

При проектировании оросительных систем с использованием навозных стоков (рис. 11.2) возможны три технические схемы подачи стоков в оросительную систему (исходя из условий смешивания их с пресной водой) через эжектор или через смесительную камеру (рис. 11.3).

Если на системе есть возможность собирать дренажные и поверхностные воды, то их можно подавать из накопителя в смесительную камеру или непосредственно в напорный трубопровод.

Навозные стоки смешивают с водой в смесительной камере, во всасывающем трубопроводе, в напорном трубопроводе.

Насосные станции для подачи навозных стоков должны быть наземного типа и оборудованы вентиляцией.

Насосными станциями через узел смешивания подается в оросительную сеть пресная вода для проведения увлажнительных поливов, смесь навозных стоков с пресной водой для проведения увлажнительно-удобрительных поливов, а также неразбавленные стоки для удобрительных поливов.

Внутрихозяйственная оросительная сеть для полива навозными стоками может быть как закрытой, так и открытой в бетонной облицовке или лотках. Трубы и арматуру применяют обычные, но предпочтение следует отдавать полиэтиленовым.

Для аккумулирования навозных стоков в межполивной период устраивают многосекционные накопители с противофильтрационными покрытиями. Емкость накопителей принимают из расчета сбора 4. . .6-месячного количества навозных стоков.

При использовании сточных вод можно применять все способы орошения: дождевание, поверхностный, подпочвенный.

Дождевание осуществляют обычными машинами и установками.

Для поливов поверхностными способами используют поливные средства и машины, стационарные и передвижные поливные трубопроводы, гибкие шланги с механизированным перемещением их по орошаемой площади.

На средне- и тяжелосуглинистых почвах устраивают кротовые увлажнители длиной до 200. . .250 м, диаметром 80 мм с уклоном до 0,02 и креплением стенок кротовин 4 %-ным водным раствором К-9.

Для увеличения водопроницаемости и водовместимости почв перед поливом проводят глубокую вспашку, а на полях, занятых многолетними травами,— кротование или щелевание.

На системах с круглогодовым орошением в зимний период применяют поверхностно-самотечные способы полива.

11.3. РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Поливную и оросительную нормы рассчитывают с учетом содержания в сточных водах питательных элементов, минеральных солей, специфических веществ. Расчет режимов орошения сточными водами небольшой минерализации ведут по водопотреблению выращиваемых культур с учетом требований к составу сточных вод из условий сохранения плодородия почв. Расчет удобрительных поливов сточными водами с высоким содержанием биогенных веществ ведут с учетом баланса питательных веществ в почве за вегетационный период. Дефицит влаги восполняется пресной водой.

Годовую норму удобрительных поливов определяют исходя из содержания основных питательных элементов (азот, фосфор и калий) в сточной воде

$$M = 10^3 B/(CK), \qquad (11.2)$$

где M — годовая норма полива, м³/га; B — вынос азота, фосфора или калия данной культурой при планируемой урожайности, кг/га; C — содержание азота, фосфора или калия в сточной воде, мг/л; K — коэффициент использования азота 0,6. . .0,7, фосфора 0,6. . .0,7, калия 0,6.

Коэффициент использования уменьшают введением дополнительного коэффициента потерь. Например, при дождевании из сточных вод улетучивается аммиак, поэтому принимают коэффициент потерь для азота 0,85. В хозяйственно-бытовых сточных водах основным питательным элементом является азот, поэтому расчет для больших оросительных норм ведут по формуле

$$M = 10^3 B/(CKk_l), \qquad (11.3)$$

где k_l — коэффициент потерь азота.

Если годовая оросительная норма из-за высокой удобрительной ценности сточных вод окажется меньше оросительной нормы, рассчитанной по водопотреблению, то разницу следует обеспечить подачей чистой воды.

В зависимости от химического состава сточные воды можно использовать для регулярного орошения и для удобрительных поливов.

Годовую оросительную норму определяют с учетом природных условий участка, расчетного объема сточных вод, их химического состава, вида возделываемых культур, технологии использования сточных вод, видов и процентного соотношения выращиваемых культур в севообороте.

Вневегетационную оросительную норму при орошении сточными водами определяют по водоудерживающей способности 1,5. . .2-метрового слоя почвы с учетом допустимого количества вносимых солей и удобрительных элементов, а также глубины залегания грунтовых вод. Расчет площади для утилизации стоков на орошение проводят по годовой норме удобрительных поливов [формулы (11.2) и (11.3)].

Допускается использовать сточные воды для промывки засоленных почв нормами обычного орошения чистыми поверхностными и подземными водами.

При круглогодовом приеме запланированного объема сточных вод следует учитывать возможность образования избытка воды в вегетационный период влажных лет. Режим формирования избытка воды следует рассчитывать по условиям влажного года 5 %-ной вероятности превышения (при использовании стоков предприятий пищевой промышленности допускается 15 %-ная вероятность превышения).

Избыток воды расходуют одним из следующих способов: подают на резервные территории; аккумулируют в накопителе сточных вод для проведения поливов в более сухие годы (многолетнее регулирование); используют на проведение дополнительных вегетационных и вневегетационных поливов.

В целях уменьшения нагрузки сточных вод на поля орошения во влажные годы можно сократить оросительную норму. При наличии сезонного накопителя для этого целесообразно отказаться от вневегетационных поливов. В сухие годы может потребоваться подача воды из дополнительных источников.

При использовании на орошение сточных вод сахарных заводов применяют минеральные удобрения, а режим орошения и нормы нагрузки устанавливают по соответствующим для данной зоны рекомендациям, разработанным для полива пресными водами. Годовую оросительную норму можно разделить на вегетационную и вневегетационную. Вневегетационные поливы назначают как влагозарядковые, норма их от 300 до 2000 м³/га в зависимости от типа почвы, вида культуры, способа полива и др. Средние оросительные нормы вегетационного периода для различных почвенно-климатических зон и культур даны в таблице 11.5.

При использовании на орошение сточных вод гидролизных предприятий дополнительно вносят фосфорные удобрения, а режим орошения сельскохозяйственных культур устанавливают, как при орошении чистой водой. Нормы влагозарядковых поливов определяют, как и при обычном орошении, в зависимости от местных условий (от 600 до 2000 м³/га). Средние ороситель-

11.5. Средние оросительные нормы ($м^3$/га) вегетационного периода при использовании сточных вод сахарных заводов

Почвенно-биоклиматическая область	Культуры			
	многолетние травы	кукуруза на силос	сахарная свекла кормовая	зерновые колосовые
Лесолуговая (серые, лесные почвы)	1000...1600	—	—	—
Лесостепная (выщелоченные черноземы)	1200...3600	900...1800	1200...1800	500...700
Степная (типичные черноземы)	3600...5500	1800...3200	1800...3100	700...1900
Сухих степей (каштановые почвы)	4800...7500	2900...4000	300...4100	1000...2200

ные нормы вегетационного периода для различных природно-климатических зон приведены в таблице 11.6.

Режим орошения пастбищных многолетних трав хозяйственно-бытовыми сточными водами приведен в таблице 11.7.

Режим орошения на оросительных системах с использованием навозных стоков складывается из графика поливов по водопотреблению и плана утилизации навозных стоков (график удобрительных поливов) из условий обеспечения растений питательными веществами в оптимальные сроки.

Дозы внесения навозных стоков определяют по выносу биогенных элементов (азот, фосфор, калий) планируемым урожаем сельскохозяйственных культур.

Дозы внесения навозных стоков обычно колеблются от 100 до 300...400 $м^3$/га. Для лучшего усвоения питательных веществ навозные стоки вносят дробно — 3...5 раз в течение вегетационного периода. Сроки внесения навозных стоков приурочивают к основным фазам развития растений, а для многолетних трав назначают после каждого укоса или стравливания.

11.6. Средние оросительные нормы ($м^3$/га) вегетационного периода на фоне увлажнительно-удобрительных (осенних) поливов сточными водами гидролизных предприятий

Почвенно-биоклиматическая область	Культуры				
	многолетние травы (сено, выпас)	однолетние травы (сено, выпас)	кукуруза на силос, зерно	сахарная свекла и другие кормовые корнеплоды	зерновые колосовые (яровые и озимые)
Лесная (дерново-подзолистые почвы)	800...1600	800...1200	600...1600	1000...1800	500...600
Лесолуговая (серые лесные почвы)	1000...1800	800...1600	1000...2000	1500...2200	1000...1200
Лесостепная (выщелоченные черноземы)	1500...2000	1000...1800	1500...2500	1800...2500	1000...1500
Степная (типичные черноземы)	3000...5000	1800...3000	1800...3200	2000...3500	1000...2000
Сухостепная (каштановые почвы)	4500...7500	2500...3500	3000...4500	3000...4500	1500...2500

11.7. Примерный режим орошения пастбищных многолетних трав для года 75%-ной вероятности превышения в Московской области с использованием хозяйственно-бытовых сточных вод

Почва	Число и норма (м³/га) поливов по месяцам							Годовая норма, м³/га
	04	05	06	07	08	09	10...11	
Песчаная	500	2×500	2×500	2×500	2×500	500	2000	7000
Супесчаная	500	400+500	2×500	2×500	500+400	400	1500	6000
Среднесуглинистая	300	300+400	2×500	2×500	500+300	200	1000	5000
Тяжелосуглинистая	—	200	2×500	2×500	300	—	—	2500
Осушенный торфяник с близким залеганием грунтовых вод	—	500	500	500	—	—	—	1500

Для предотвращения вымывания биогенных элементов из корнеобитаемого слоя почвы доза внесения навозных стоков не должна превышать оросительные нормы, а разовая доза — поливную норму.

Потребность оросительной системы в воде рассчитывают по общепринятым методикам с учетом влаги навозных стоков.

11.4. ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

При устройстве оросительных систем с использованием сточных вод надо прежде всего исключить сброс сточных вод за пределы орошаемых земель и загрязнение подземных вод.

Организацию сельскохозяйственного производства при орошении сточными водами необходимо осуществлять с учетом санитарно-гигиенических требований (табл. 11.8).

При дождевании по границам орошаемых полей со стороны населенных пунктов должны быть предусмотрены санитарно-защитные лесополосы шириной не менее 15 м, а вдоль магистральных дорог — 10 м. При расстоянии от границы оросительных систем до населенных пунктов более 1000 м посадка лесополос необязательна.

Вдоль рек необходимо выделять прибрежные водоохранные полосы, которые рекомендуется использовать под сенокосы или берегозащитные лесопосадки. Ширину этих полос следует принимать в соответствии с законодательством союзной республики, на территории которой проектируют оросительную систему.

Для предупреждения сбросов при поверхностных поливах по нижней границе полей орошения устраивают ограждающий валик высотой более 0,5 м, идущий по горизонтали.

Для уменьшения поверхностного стока с орошаемой территории предусматривают различные агролесомелиоративные и агротехнические мероприятия — глубокое рыхление, кротование, щелевание.

Для контроля за динамикой грунтовых вод на системах следует создавать сеть гидрорежимных скважин.

Для регулирования водно-воздушного режима почвы и предупреждения недопустимого подъема уровня грунтовых вод необходимо предусматривать дренажную сеть.

11.8. Санитарно-защитные зоны при использовании животноводческих стоков для орошения

Способы орошения и техника полива	Расстояние (м), не менее		
	от жилой застройки	от железных дорог, автомобильных дорог общей сети и внутрихозяйственных дорог	от производственных и животноводческих зданий
Дождевание			
среднеструйные и дальнеструйные дождевальные машины и аппараты	200	200	200
короткоструйные дождевальные машины	100	100	100
Поверхностное орошение			
по полосам и чекам	100	50	60
по бороздам	60	25	60

Сброс сточных вод животноводческих стоков за пределы орошаемой территории и в водоемы запрещается.

Для оценки влияния таких систем на окружающую среду необходимо осуществлять систематический санитарный контроль за качеством поливных вод, выращиваемой продукции, агромелиоративным состоянием почвы, режимом грунтовых вод, состоянием территории.

При проектировании оросительных систем с использованием животноводческих стоков предусматривают следующие инженерно-мелиоративные водоохранные мероприятия:

водооборотные системы с прудом-накопителем для аккумуляции и повторного использования возвратных вод (дренажных, поверхностных) на орошение;

оградительная сеть вдоль верховой границы орошаемого участка для перехвата поверхностного стока, стекающего с вышерасположенной площади водосбора, и отвод его за пределы участка;

водозадерживающие валы-каналы вдоль низовой границы орошаемого участка для перехвата загрязненного поверхностного стока.

Глава 12. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

12.1. СЛУЖБА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Эксплуатационной службой системы мелиорации и водного хозяйства на территории СССР руководят органы мелиорации и водного хозяйства союзных республик и главные республиканские территориальные управления.

Основными эксплуатационными организациями являются управления оросительных систем (УОС), эксплуатирующие оросительные системы межхозяйственного значения. Они, в свою очередь, делятся на участки в зависимости от обслуживаемой ими площади орошаемых земель, протяженности каналов, территориального размещения объектов и др. Численность, структуру и штаты УОС устанавливают по действующим нормативам, а в некоторых случаях — в индивидуальном порядке в зависимости от площади орошения и наличия механизмов, электрооборудования, средств автоматики и телемеханики, насосных станций и др. Число специалистов в хозяйствах, имеющих орошаемые земли, определяют в зависимости от площади (га) орошения с учетом следующих примерных нормативов:

В колхозах и совхозах

Главный инженер-гидротехник	Свыше 1500
Старший инженер-гидротехник	500...1500
Инженер-гидротехник	200...500
Техник-гидротехник	50...200

В бригадах и отделениях

Инженер-гидротехник	Свыше 200
Техник-гидротехник	50...200

Эксплуатационная служба органов мелиорации и водного хозяйства действует в соответствии с «Уставом эксплуатационной службы органов мелиорации и водного хозяйства СССР».

Деятельность эксплуатационной службы оросительных систем определяется производственно-финансовыми планами: годовыми и перспективными.

В перспективном плане предусматривают мероприятия по совершенствованию оросительной системы, внедрению новой техники полива, комплексной механизации работ, повышению КПД оросительной системы и др.

Годовой производственный план имеет следующие три основных раздела:

межхозяйственный план водопользования, в котором указывают мероприятия по водозабору, водораспределению и учету воды;

план мероприятий по содержанию сети и сооружений (очистка каналов от насосов и растительности, ремонт гидротехнических и других сооружений, берегоукрепление, регулировочные и противопаводковые работы), а также оснащению системы водомерными устройствами, транспортом, средствами связи, содержанию эксплуатационного персонала, капитальному ремонту;

перечень работ по проектированию для капитального и восстановительного ремонта сооружений, исследований по совершенствованию эксплуатации

12.1. Укрупненные нормативы затрат на эксплуатацию вновь вводимой межхозяйственной сети оросительных систем, р/га

Республика	Капитальный ремонт			Эксплуатация (без капитального ремонта)
	всего	насосных станций	других гидротехнических сооружений	
РСФСР	21,3	10,4	10,9	47,0
Украинская ССР	22,6	13,9	8,7	49,6
Белорусская ССР	21,5	6,6	14,9	33,9
Узбекская ССР	24,3	7,5	16,8	54,3
Казахская ССР	21,0	11,4	9,6	49,6
Грузинская ССР	35,5	18,5	17,0	62,9
Азербайджанская ССР	29,7	18,1	11,6	54,5
Молдавская ССР	21,5	12,9	8,6	63,1
Киргизская ССР	23,8	8,6	15,1	51,4
Таджикская ССР	40,5	22,4	18,1	99,0
Армянская ССР	43,9	22,4	21,5	57,4
Туркменская ССР	27,1	13,2	13,3	53,9

Примечания: 1. Нормативы на эксплуатацию не учитывают затрат на содержание штата эксплуатационных управлений и участков, временную эксплуатацию объектов, содержание и эксплуатацию водохозяйственных систем и объектов союзного подчинения, эксплуатацию вновь вводимых водохранилищ, крупных каналов, насосных станций мощностью свыше 25 тыс. кВт, которые будут вводиться без прироста площади мелиорированных земель, согласно утвержденным титульным спискам. 2. Нормативы на капитальный ремонт принимают для проектных обоснований, а затраты на финансирование капитального ремонта на планируемый год — исходя из роста стоимости основных фондов межхозяйственной сети оросительных систем и затрат на эти цели предыдущего года.

12.2. Укрупненные нормативы затрат на эксплуатацию внутрихозяйственной сети оросительных систем, р/га

Республика	Всего	В том числе							
		на содержание штата	на текущий ремонт сооружений		на очистку сети	на содержание сооружений		на текущий ремонт и обслуживание дождевальной техники	прочие расходы
			насосных станций	других		насосных станций	других		
РСФСР	70,2	7,9	9,2	15,3	4,3	9,5	10,5	11,5	2,0
Украинская ССР	71,1	6,2	4,6	20,7	5,1	8,5	10,9	11,0	4,1
Белорусская ССР	74,3	7,9	7,8	18,2	3,9	11,3	11,5	10,0	3,7
Узбекская ССР	76,7	8,6	6,4	25,9	11,9	10,2	9,4	—	4,3
Казахская ССР	62,3	7,7	3,6	18,3	7,5	6,0	10,0	5,0	4,2
Грузинская ССР	32,0	10,0	5,3	21,0	2,3	12,6	15,0	10,0	5,8
Азербайджанская ССР	71,0	6,4	3,9	16,4	5,1	10,9	12,1	12,0	4,2
Литовская ССР	67,5	5,2	8,0	15,3	1,3	12,6	8,0	11,0	6,1
Молдавская ССР	79,7	8,7	7,9	16,8	2,6	15,5	10,9	13,0	4,3
Латвийская ССР	68,4	5,2	7,8	16,7	1,3	13,0	10,0	11,0	3,4
Киргизская ССР	61,0	6,0	3,6	19,6	4,2	5,7	10,7	5,0	6,2
Таджикская ССР	90,7	7,4	7,5	29,6	10,7	8,6	19,5	—	7,4
Армянская ССР	89,2	10,0	6,8	20,5	4,9	12,1	18,9	—	7,8
Туркменская ССР	73,6	6,9	3,4	20,9	10,9	8,2	17,7	—	5,6
Эстонская ССР	69,6	5,2	6,1	15,5	1,4	14,3	13,6	10,0	3,5

Примечания. 1. Нормативы даны для технически совершенных оросительных систем. 2. В нормативы не включены затраты на оплату машинистов дождевальных машин, амортизационные отчисления на реновацию и капитальный ремонт.

оросительных систем, повышению квалификации кадров, по инвентаризации и паспортизации сооружений.

Основным учетно-техническим документом оросительной системы является технический паспорт, который составляют на систему в целом и на отдельные крупные сооружения.

Хозяйственную деятельность оросительной системы характеризуют по следующим показателям: использование запасов воды, эксплуатационные затраты, мелиоративное состояние земель, объем поступивших в систему наносов и объем очистки. При этом сопоставляют фактические данные с плановыми и показателями за прошлые годы по объемам и сметной стоимости работ на эксплуатацию межхозяйственной части систем. Примерный состав затрат на эксплуатацию межхозяйственной сети оросительных систем следующий (табл. 12.1): содержание штата эксплуатационной службы УОС, стоимость электроэнергии, текущий ремонт сооружений и насосных станций (в том числе очистка сети), капитальный ремонт, содержание сооружений, прочие расходы.

Примерный состав затрат на эксплуатацию внутрихозяйственной части систем следующий (табл. 12.2): амортизационные отчисления на реновацию и капитальный ремонт, содержание штата эксплуатационной службы хозяйства, текущий ремонт сооружений и насосных станций (в том числе очистка сети), содержание сооружений, текущий ремонт и обслуживание поливной (дождевальной) техники, эксплуатационная планировка и выравнивание поверхности поля, нарезка и заравнивание временной оросительной сети и поливных борозд, проведение поливов (оплата труда машинистов дождевальных машин и поливальщиков).

12.2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Основная задача органов эксплуатации — содержание в технически исправном состоянии оросительной сети, сооружений на ней, поливной и другой мелиоративной техники.

Техническое обслуживание оросительных систем осуществляют управления эксплуатации оросительных систем, ремонтно-строительные тресты и ПМК, РПО «Полив» и другие организации.

При подготовке оросительных систем к поливам основными видами работ являются эксплуатационная (текущая) планировка, предпосевное выравнивание полей, нарезка и заравнивание временной оросительной сети, устройство

12.3. Комплекс машин для эксплуатационной планировки орошаемых земель

Операция	Планировка земель под все сельскохозяйственные культуры, кроме риса	Планировка земель под рис
Очистка полей от травы	Косилка РР-26 Пресс-подборщик ПС-1,6	
Засыпка ям, промоин и других углублений, образовавшихся в процессе эксплуатации	Бульдозер ДЗ-42Г Бульдозер-рыхлитель ДЗ-117А Скрепер ДЗ-111	
Рыхление почвы на глубину 10 см	Борона дисковая БДТ-3,0 Борона дисковая БДТ-7,0	Плуг дисковый ПДН-4
Планировка в 2...3 следа	Планировщик ДЗ-603 Планировщик П-4	

12.4. Комплекс машин для предпосевного выравнивания сельскохозяйственных полей

Операция	Машина
Выравнивание поля	Планировщик П-4 Планировщик ППА-3,0 Планировщик ПЛ-5 Выравниватель предпосевной прицепной ВП-8 Выравниватель навесной ВПН-5,6 Мала-выравниватель МВ-6,0 Мала-планировщик Грейдер прицепной Д-20БМА Грейдер прицепной Д-700
Выравнивание углов карты и других неудобных мест поливного участка	Грейдер прицепной Д-700 Грейдер-выравниватель ГН-4,0 Грейдер-выравниватель ГН-2,8
Культивация и боронование почвы	Культиватор КПС-4

поливной сети, очистка и окашивание каналов. Машины, необходимые для выполнения этих работ, указаны в таблицах 12.3. . .12.6.

Сорную растительность в каналах уничтожают механическим, химическим, биологическим и термическим способами. В осенне-весенний период до сева проводят очистку и окашивание каналов.

12.5. Комплекс машин для нарезки и разравнивания валиков, ограждающих чеки

Операция	Вариант использования поля		
	влагозарядковые поливы	промывка засоленных земель	полив риса
Предварительное выравнивание поля	Планировщик с автоматической системой управления ДЗ-605 Планировщик ДЗ-602	Планировщик ДЗ-603	Планировщик с автоматической системой управления ДЗ-605 Планировщик ДЗ-602
Вспашка	Плуг ПТН-3-40		
Нарезка продольных и поперечных валиков с заделкой стыков	Палоделатель-заравниватель-разравниватель КЗУ-0,3	Палоделатель-разравниватель ПР-0,5А	Палоделатель-заравниватель-разравниватель КЗУ-0,3 Палоделатель-разравниватель ПР-0,5
Разравнивание валиков	—	Бульдозер ДЗ-109	Палоделатель-заравниватель-разравниватель КЗУ-0,3 Палоделатель-разравниватель ПР-0,5А

12.6. Машины для очистки каналов

Каналы	Глубина, м		Ширина по дну, м	Коэффициент заложения откосов	Наличие деревьев вдоль канала	Машины
	минимальная	максимальная				
Внутрихозяйственные распределители	0,4	1,2	0,4...0,6	1,0...1,25	Необсаженные	Плужные каналокопатели МК-16 и МК-19
					Обсаженные с одной стороны	Одноковшовый экскаватор Э-2516
					Обсаженные с двух сторон	Каналоочистители ВК-1,2 и КН-0,6
Хозяйственные распределители	0,4	2,0	0,6...1,0	1,0...1,5	Необсаженные	Многоковшовый экскаватор ЭМ-152Б, каналоочиститель МР-7А, одноковшовые экскаваторы Э-304Г и ЭО-2621А
					Обсаженные с одной стороны	Каналоочиститель МР-7А, одноковшовый экскаватор Э-304Г, экскаватор ЭО-2621А
Межхозяйственные распределители и магистральные каналы	1,5	3,0	1,5...2,5	—	—	Одноковшовый экскаватор Э-304Г, экскаватор Э-652Б, земснаряды УПМ-2 и МЗ-10
	2,0	5,0	2,5...5,0	1,25...1,5	—	Одноковшовый экскаватор Э-652Б, экскаваторы Э-1252В, Э-10011Е, земснаряды МЗ-10, МЗ-11 и МЗ-8
		Более 5,0		—	—	Земснаряды МЗ-11, МЗ-8 и МЗ-16
Каналы водосбросной сети	0,9	3,0 5,0	0,1...0,6 0,8...1,0	1,0...1,5	—	Одноковшовые экскаваторы Э-304Г и Э-652Б
Каналы коллекторно-дренажной сети	2,5	5,0	0,4...1,0 и более	1,5...2,0	—	Одноковшовые экскаваторы Э-304Г, Э-652Б, ЭО-2621А, земснаряды УПМ-2 и МЗ-10

12.3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОЛИВНОЙ ТЕХНИКИ

В зоне орошаемого земледелия для эксплуатации поливной техники пользуются услугами районных производственных объединений «Полив» (РПО «Полив») и других межхозяйственных объединений мелиорации, имеющих инженерную службу с постоянными кадрами и производственную базу. При площади орошаемых земель в хозяйстве свыше 2 тыс. га и более 25. . .30 единиц поливной техники рационально создание собственной внутрихозяйственной службы эксплуатации поливной техники и внутрихозяйственной оросительной сети. В хозяйствах и эксплуатационных органах создаются небольшие специализированные подразделения по уходу за поливной техникой.

Звено по поливу поливает сельскохозяйственные культуры с учетом режима орошения; обеспечивает бесперебойную работу дождевальной техники и передвижных насосных станций; проводит ежесменные технические обслуживания поливной техники; наблюдает за работой элементов оросительных систем.

В состав звена по поливу входят операторы-поливальщики дождевальных машин и установок, мотористы передвижных насосных станций, поливальщики по регулированию расхода воды во временном оросителе при поливе агрегатами типа ДДА и ДДН.

Звено планово-профилактического обслуживания поливной техники (звено ППО) выполняет планово-профилактическое обслуживание, а также устраняет несложные неисправности машин и передвижных насосных станций.

Бригаду аварийного обслуживания оросительных систем (бригада АО) создают при главном инженере-механике РПО «Полив». В зависимости от количества и дислокации поливной техники она может обслуживать один или несколько производственных участков. Бригада АО оперативно ликвидирует аварии и повреждения поливной техники, внутрихозяйственной оросительной сети и передвижных насосных станций.

Службу эксплуатации стационарных насосных станций (служба ЭНС) создают в тех РПО «Полив», которые не входят в зону деятельности специализированных организаций.

В процессе эксплуатации поливной техники возникает необходимость в проведении технического и технологического обслуживания; заправке топливом и смазочными материалами; устранении отказов, неисправностей и аварийных ситуаций.

Технические средства полива относятся к сложным сельскохозяйственным машинам, поэтому к ним применима двух- и трехмерная система технического обслуживания (табл. 12.7).

Использование поливной техники характеризуется следующими нормативными величинами, необходимыми для плановых расчетов.

Сезонная нагрузка — площадь в гектарах, которую машина может обслужить за сезон, в том числе и в критический (наиболее напряженный) период водопотребления сельскохозяйственными культурами. Она соответствует площади, закрепляемой за машиной на сезон, и служит основой для разработки нормативов потребности в поливной технике.

Сезонная выработка — площадь в гектарополивах, которую поливная машина может оросить за сезон при соблюдении оптимального режима орошения сельскохозяйственных культур.

Сезонная загрузка — число часов сменного времени, затрачиваемых поливной машиной за сезон для полива закрепленной за ней площади при условии соблюдения заданного режима орошения сельскохозяйственных культур.

Потребность в поливных машинах — количество машин каждого типа, необходимое для осуществления оптимального режима орошения сельскохозяйственных культур на площади 1000 га механизированного орошения или 1000 га общей орошаемой площади.

12.7. Виды и периодичность технического обслуживания элементов оросительных систем

Техническое обслуживание	Обозначение	Поливная техника						Насосные станции		Оросительная сеть	Периодичность, ч
		ДМУ «Фрегат» ***	ДКШ-64 «Волжанка», ДКН-80	ДФ-120 «Днепр»	ЭДМФ «Кубань» *	ДДА-100МА **	ДДН-70 **, ДДН-100	стационарные	передвижные		
При подготовке, проведении и по окончании эксплуатационной обкатки	ТО-Э	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—
Ежесменное	ЕТО	+	+	+	+	+	+	+	+	+	8...10
Первое	ТО-1	+	+	+	+	+	+	+	+	—	60
Второе	ТО-2	—	—	—	+	—	—	+	+	+	240
Третье	ТО-3	—	—	—	+	—	—	+	+	—	960
При постановке на длительное хранение (консервация)	ТО-0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	После окончания поливного сезона
При длительном хранении	ТОхр	+	+	+	+	+	+	+	+	—	Один раз в месяц
При снятии с длительного хранения (расконсервация)	ТО-В	+	+	+	+	+	+	+	+	+	При снятии с длительного хранения

* ТО-3 для дизельного двигателя энергетической тележки.
** Без учета трактора.
*** ТО-1 после одного оборота машины, ТО-2 после трех оборотов машины.

Потребность в передвижных насосных станциях — число их (по маркам), приходящееся на 1000 га орошаемой площади с учетом принятой структуры парка дождевальных машин.

Расчетную сезонную нагрузку на поливную машину (га) определяют по критическому периоду водопотребления (месяц, декада)

$$\Omega = \frac{Q_{sd} k_d}{q\beta} \tau, \qquad (12.1)$$

или

$$\Omega = \frac{86{,}4 Q_{sd} k_d t_{cr}}{m\beta} \tau, \qquad (12.2)$$

где Q_{sd} — расход воды машиной, л/с; k_d — коэффициент использования времени суток; q — расчетная ордината гидромодуля, л/(с·га); β — коэффициент, характеризующий потери воды на поле в момент полива (на испарение при дождевании, сброс и фильтрацию при гравитационном поливе); t_{cr} — время между поливами в критический период водопотребления, сут; m — поливная норма, м³/га; τ — коэффициент, учитывающий возможные потери рабочего времени, не вошедшего в нормативный баланс времени смены при расчете технически обоснованных норм выработки.

Коэффициент использования времени суток определяют по следующей формуле, принимая число смен в сутках исходя из круглосуточной работы машины,

$$k_d = n t_{sh} k_{sh} / 24, \qquad (12.3)$$

где n — число рабочих смен в сутки; t_{sh} — продолжительность смены, ч; k_{sh} — коэффициент использования времени смены, равный отношению чистой работы машины к продолжительности смены,

$$k_{sh} = t_0 / t_{sh} = t_0 / (t_0 + t_b + t_{ser} + t_{org} + t_n + t_{th}), \qquad (12.4)$$

где t_0 — время чистой работы машины на поливе, ч; t_b — суммарное время за смену, затраченное на перебазировку машины с позиции на позицию, или переезды с одного оросителя на другой, ч; t_{ser} — время обслуживания, связанное с остановкой машины (очистка рабочих органов, настройка аппаратов, устранение мелких неисправностей и др.), ч; t_{org} — перерывы, обусловленные организацией процесса полива, ч; t_n — время на отдых и личные надобности в соответствии с существующими нормами, ч; t_{th} — время, затраченное на проведение технического ухода за машиной, ч.

В структуру времени смены входят простои машин по метеорологическим условиям, из-за неполадок на насосных станциях, оросительной сети, необходимости проведения плановых ремонтов и уходов и др. Все эти потери времени, влияющие на сезонную нагрузку поливной машины, учитывают коэффициентом τ, который определяют по выражению

$$\tau = 1/(1 + f_b + f_P + f_{sd} + f_s + f_\beta f_{ser} f_{org}), \qquad (12.5)$$

где f_b — коэффициент затрат времени на перебазировки с одного участка на другой; f_P, f_{sd}, f_s, f_β, f_{ser}, f_{org} — коэффициенты, учитывающие затраты времени на простои насосно-силового оборудования, дождевальной техники из-за отказов на оросительной сети и сооружениях, метеорологических условий, на плановые ремонты и уходы, по организационным причинам, из-за неисправностей самих машин.

Коэффициенты представляют собой непроизводительные затраты времени в часах на 1 ч работы машины в режиме смены.

Сезонная выработка равна объему работ в гектарах, выполненному поливной машиной за весь сезон.

Сезонную загрузку поливных машин определяют по часовой производительности, которую принимают по существующим нормам выработки.

Норматив сезонной нагрузки поливных машин равен сезонной выработке, выраженной в часах.

Норматив потребности в поливных машинах на 1000 га определяют, предполагая, что вся площадь севооборота поливается одним типом машин.

Норматив потребности в поливных машинах каждой марки на 1000 га механизированного орошения определяют с учетом долей площади, поливаемой машинами данной марки.

Нормативы сроков службы поливной техники представляют собой средние значения для экономических районов, республик и в целом для СССР.

В качестве основных показателей при определении оптимальных сроков службы поливной техники принимают следующие величины, необходимые для расчета:

фактические данные о затратах на поддержание машин в работоспособном состоянии по мере их старения;

сезонная загрузка — время работы машины в часах за сезон, суммарная наработка (в тех же единицах измерения) за весь срок эксплуатации;

сезонная выработка — площадь в гектарополивах, которую поливная машина орошает за сезон при фактической поливной норме;

суммарная выработка за весь срок эксплуатации.

При определении экономически целесообразных сроков службы поливной техники влияние морального износа практически не учитывают, так как она работает на оросительных системах, срок службы которых в 3. . .4 раза больше.

Оптимальный срок службы поливной техники по физическому износу определяют из условия ее использования с минимально возможными издержками на восстановление. В качестве критерия для обоснования оптимального срока службы машин принимают минимум приведенных затрат в расчете на единицу выполненной работы (р/ч, р/га-полив).

Расчетную сезонную выработку поливной машины определяют с учетом фактических поливных норм, переведенных в условные, по формуле

$$A_V = m_1 k_1 + m_2 k_2 + \ldots + m_i k_i, \qquad (12.6)$$

где A_V — расчетная сезонная выработка, условные гектарополивы; m_1, m_2, . . ., m_i — фактические поливные нормы, м³/га; k_1, k_2, . . ., k_i — коэффициенты перевода фактических поливных норм в условные

$$k = m_i/500, \qquad (12.7)$$

где 500 — условно принятая поливная норма, м³/га.

Срок эксплуатации поливной техники заметно не влияет на сезонную выработку в конкретных условиях использования машин. Это обусловливает неизменность средних удельных затрат на топливо и смазочные материалы, на оплату труда механизаторов и на капитальные вложения. Изменению по годам эксплуатации подвержены амортизационные отчисления и затраты на техническое обслуживание и ремонты, которые определяют по формуле

$$A_r = S_b \Big/ \sum_{i=1}^{t} A_i, \qquad (12.8)$$

где A_r — ежегодные амортизационные отчисления на реновацию, р.; S_b — балансовая стоимость машины, р.; A_i — выработка машины в i-м году эксплуатации, га-полив, ч; t — принятый срок службы, годы.

Удельные среднегодовые затраты на техническое обслуживание и ремонты за время использования (р/га-полив, р/ч)

$$P_m = \sum_{i=1}^{t} P_i \Big/ \sum_{i=1}^{t} A_i, \qquad (12.9)$$

где P_i — затраты на техническое обслуживание и ремонты в i-м году эксплуатации, р; $P_i = cT^d$, где c, d — показатели степенной зависимости роста затрат на техническое обслуживание.

12.8. Показатели надежности поливной техники и трудоемкости ее обслуживания

Показатели	Группа сложности отказов	Поливная техника						
		ДМ «Фрегат»		ДМ «Волжанка»	ДМ «Днепр»	ДДН-70, ДДН-100	ДДА-100М, ДДА-100МА	СНП 50/80, СНП 75/100
		на двух позициях	на одной позиции					
Наработка на отказ, ч	1	15	25	30	12	300	250	300
	2	150	600	300	80	600	600	600
	3	400	1200	750	400	1200	1200	1200
Трудоемкость устранения отказа, чел.-ч	1	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8
	2	7,0	7,0	4,0	6,0	4,0	5,0	4,0
	3	16,0	16,0	10,0	16,0	20,0	25,0	20,0
Продолжительность устранения отказа, ч	1*	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8
	2	2,4**	2,4	1,6	2,2	1,6	1,9	1,6
		1,7	1,7	1,2	1,6	1,2	1,4	1,2
	3	5,5	5,5	3,5	5,5	7,0	8,2	7,0
		4,2	4,2	2,7	4,2	5,5	7,0	5,5

* Выполняет оператор или тракторист-машинист.
** В числителе при составе звена — три человека, в знаменателе — четыре человека.

При расчете амортизационных отчислений на реновацию выручку от реализации металлолома не учитывают, так как она обычно не превышает расходов на его транспортировку.

Оптимальный срок службы поливной техники определяют по минимальному значению суммы амортизационных затрат на реновацию и затрат на ремонты в расчете на единицу выполненной работы за срок службы (р/га-полив, р/ч).

$$T_0 = \sqrt[d]{\frac{S_b}{c\,(d-1)}}. \qquad (12.10)$$

Нормативы для экономического района или республики, а также в целом по СССР устанавливают последовательным учетом сроков службы по числу машин (с учетом на перспективу) в каждом районе или республике. В целом по СССР установлены следующие нормативные сроки службы (лет) поливной техники:

ДМ «Фрегат»	10*
ДМ «Кубань»	12
Дождевальные машины всех марок	8
Поливные машины	8
Передвижные насосные станции всех марок	9

* С учетом проведения капитального ремонта — 18 лет.

При расчете состава и численности бригад аварийного обслуживания поливной техники рекомендуется пользоваться показателями надежности поливной техники (табл. 12.8) и закрытой трубопроводной оросительной сети (табл. 12.9).

12.4. ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Инвентаризацией устанавливают фактическое состояние сооружения, канала, оборудования оросительных систем, возможную продолжительность его нормальной работы и фактическую стоимость. Сплошную инвентаризацию проводят через каждые 5. . .10 лет.

12.9. Показатели надежности и трудоемкость обслуживания трубопроводов и арматуры стационарной закрытой оросительной сети

Показатели	Условный проход, мм	Стационарные трубопроводы закрытой оросительной сети из труб				Трубопроводная арматура закрытой оросительной сети												
						запорная				регулирующая			предохранительная					
		стальных промышленного сортамента	стальных тонкостенных	чугунных	напорных асбестоцементных	затворы дисковые поворотные с червячным редуктором	затворы дисковые поворотные чугунные	затворы дисковые поворотные с рычажным редуктором	затворы дисковые поворотные с гидроприводом	регулятор давления РДУ	регулятор давления РД	регулятор давления на базе поворотного затвора с гидроприводом	противоударное устройство КЗГ-120	предохранительное сбросное устройство ПСУ-100	вантуз мембранного типа ВМ	вантуз рычажный типа В	клапан для пыпуска и защемления воздуха	обратный клапан с регулируемым закрытием
Наработка на отказ, ч	150			900	—													
	200			515	180													
	250	3600	1200	—	190	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
	300			515	180													
	350			600	—													
	400			360	210													
	500			300	360													
Трудоемкость устранения отказа, чел.-ч	150			10,0	—													
	200			11,0	10,9													
	250	12,5	10,7	—	11,2													
	300			13,0	12,6	0,85	1,65	0,8	1,9	2,95	1,75	2,2	1,3	4,2	1,15	1,75	0,7	2,0
	350			15,0	—													
	400			16,5	13,3													
	500			17,2	14,8													
Продолжительность устранения отказа, ч	150			2,0	—													
	200			2,2	2,18													
	250	2,5	2,1	—	2,24	0,425	0,825	0,4	0,95	1,475	0,875	1,1	0,65	2,1	0,575	0,875	0,35	1,0
	300			2,6	2,52													
	350			3,0	—													
	400			3,3	2,66													
	500			3,44	2,96													

Примечание. Трудоемкость и продолжительность устранения отказа арматуры взяты за единицу.

12.10. Нормы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР, %

Группа и вид основных фондов	Общая норма амортизационных отчислений	В том числе	
		на полное восстановление	на капитальный ремонт
Гидротехнические сооружения			
Плотины железобетонные, бетонные и каменные (кроме плотин при крупных гидростанциях)	1,6	1,0	0,6
Тонкостенные водосливы, отстойники, акведуки, лотки, дюкеры и прочие водопроводящие сооружения, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения бетонные и железобетонные	1,14	1,0	0,14
Напорные трубопроводы и уравнительные резервуары:			
металлические	1,27	1,0	0,27
железобетонные	1,14	1,0	0,14
Гидротехнические внутрихозяйственные сооружения на каналах (шлюзы-регуляторы, мосты-водоводы, перепады, быстротоки, дюкеры, в том числе стальные, акведуки, водосливы каменные, бетонные и железобетонные)	3,8	2,5	1,3
Внутрихозяйственная и межхозяйственная оросительная сеть:			
каналы земляные без облицовки; каналы, облицованные камнем, бетоном и железобетоном	3,8	2,0	1,8
каналы из асбестоцементных, стальных и полиэтиленовых труб	3,9	2,5	1,4
Межхозяйственная и внутрихозяйственная водосборно-сбросная сеть из открытых земляных каналов	3,6	2,0	1,6
Межхозяйственные и внутрихозяйственные коллекторно-дренажные каналы земляные без крепления	4,4	2,0	2,4
Закрытая коллекторно-дренажная сеть:			
каналы из асбестоцементных труб	3,4	2,5	0,9
каналы из керамических труб	2,3	1,6	0,7
каналы из пластмассовых труб	3,9	3,3	0,6
Системы лиманного орошения	2,2	2,0	0,2
Прочие сооружения			
Артезианские скважины:			
бесфильтровые	7,2	4,1	3,1
фильтровые	10,6	6,7	3,9
фильтровые, работающие в условиях агрессивной и минерализованной среды	15,4	12,5	2,9
Водоприемные сооружения для подземных источников (артезианские скважины)	6,8	4,0	2,8
Колодцы:			
деревянные	10,6	6,7	3,9
кирпичные	4,8	3,3	1,5
железобетонные	2,7	1,7	1,0

Продолжение

Группа и вид основных фондов	Общая норма амортизационных отчислений	В том числе	
		на полное восстановление	на капитальный ремонт
Мелиоративные и землеройные машины			
Экскаваторы одноковшовые на гусеничном ходу с ковшом емкостью, м³:			
до 0,5	19,5	12,5	7,0
0,5...1,0	17,0	10,0	7,0
более 1,0	17,0	10,0	7,0
Экскаваторы одноковшовые на пневмоколесном ходу с ковшом емкостью, м³:			
до 0,4	20,5	12,5	8,0
0,4...0,5	16,1	11,1	5,0
Экскаваторы многоковшовые траншейные роторные	19,5	12,5	7,0
Дреноукладчики	23,6	16,6	7,0
Каналоочистители	17,5	12,5	5,0
Грейдеры прицепные	18,8	14,3	4,5
Каналокопатели плужные	16,6	16,6	—
Планировщики, выравниватели	14,2	14,2	—
Сельскохозяйственные машины и оборудование			
Передвижные насосные станции	17,9	11,1	6,8
Дождевальные машины типа «Кубань»	8,3	8,3	—
Дождевальные машины типа «Фрегат»	10,0	10,0	—
Двухконсольные дождевальные агрегаты, дальнеструйные дождевальные машины, дождевальные машины типа «Волжанка» и «Днепр», передвижные ирригационные комплекты, поливные агрегаты, трубоукладчики, быстроразборные трубопроводы с водораспределительной арматурой, импульсные дождеватели	12,5	12,5	—
Капитальные затраты по улучшению земель	12,0	12,0	—

Инвентарную стоимость определяют по формуле

$$S = S_0 + P_K - A_r t, \qquad (12.11)$$

где S_0 — первоначальная стоимость сооружения (оборудования) или заменяющая ее восстановительная стоимость, р.; t — срок службы сооружения с момента ввода его в эксплуатацию до момента инвентаризации, лет; P_K — затраты на капитальный ремонт за время t, р.; A_r — годовые амортизационные отчисления на восстановление, р.

Годовые амортизационные отчисления на восстановление определяют по формуле

$$A_r = a_r S_0/100, \qquad (12.12)$$

где a_r — норма амортизационных отчислений на восстановление, %.

Годовые амортизационные отчисления на капитальный ремонт (A_K) определяют по формуле

$$A_K = a_K S_0/100, \qquad (12.13)$$

где a_K — норма амортизационных отчислений на капитальный ремонт, %.

Нормы амортизации устанавливают и корректируют на основании фактических данных о сроках службы сооружений (оборудования), о затратах на капитальный ремонт, ликвидной стоимости и о планируемом обновлении сооружений (оборудования).

В таблице 12.10 приведены нормы амортизационных отчислений по некоторым наиболее распространенным группам и видам основных фондов оросительных систем.

12.5. ПРАВА И ОБЯЗАННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ

Эксплуатационная служба органов мелиорации и водного хозяйства обязана:

своевременно и бесперебойно подавать воду колхозам, совхозам и другим организациям-водопользователям, распределять воду между водопользователями в соответствии с планами водопользования;

организовывать на межхозяйственных оросительных системах учет количества и качества воды в оросительной, сбросной и коллекторно-дренажной сети;

принимать меры к повторному использованию вод, отводимых через коллекторно-дренажную и сбросную сеть;

разрабатывать и осуществлять мероприятия, направленные на повышение коэффициента полезного использования воды в оросительных системах;

содержать в исправном состоянии межхозяйственную оросительную и коллекторно-дренажную сеть, сооружения на ней, технические средства эксплуатации;

разрабатывать и осуществлять мероприятия по совершенствованию и развитию системы;

осуществлять контроль за эффективным использованием подаваемой хозяйством воды;

осуществлять контроль за мелиоративным состоянием орошаемых земель и выполнять мероприятия по предотвращению их засоления и заболачивания;

оказывать колхозам, совхозам и другим организациям-водопользователям техническую помощь в эксплуатации внутрихозяйственной оросительной системы;

оказывать колхозам, совхозам и другим организациям помощь в организации проведения текущей планировки мелиорированных земель, промывке засоленных земель и в осуществлении поливов;

оказывать помощь в подготовке и переподготовке для колхозов и совхозов кадров массовых профессий гидромелиоративного профиля;

оказывать водопользователям помощь во внедрении более совершенной техники полива сельскохозяйственных культур, а также в осуществлении эксплуатации автоматизированных и других сложных дождевальных машин и т. д.

Эксплуатационная служба органов мелиорации и водного хозяйства имеет право:

ограничивать подачу водопользователям воды при уменьшении водности источника орошения, вводить водообороты на оросительных системах в периоды маловодья на источниках орошения, в случае же бесхозяйственного использования воды или самовольного водозабора отдельными водопользователями ограничивать подачу воды этим водопользователям;

корректировать планы подачи воды, исходя из изменившегося водного режима источника орошения, погодных условий и иных причин.

Глава 13. ПЛАНОВОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

13.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Плановое водопользование — нормированный (во времени и количестве) забор воды из источника и распределение ее между всеми хозяйствами в системе и между отдельными полями в соответствии с потребностями.

Распределение и использование воды во всех звеньях оросительной системы осуществляют на основе внутрихозяйственного и системного планов водопользования. Оба плана должны быть увязаны между собой.

Системный план водопользования составляют на основе планов водопользования отдельных хозяйств при увязке их с режимом водоисточника, пропускной способностью магистральных каналов, мелиоративными условиями системы.

Внутрихозяйственный план водопользования — часть производственного плана хозяйства. Его составляют для организации водообеспечения каждого поля в соответствии с требуемыми режимами орошения сельскохозяйственных культур и учетом организации территории и труда. При этом устанавливают режим орошения каждой культуры, суточные площади полива, расходы воды, подаваемые в оросительные каналы всех порядков, сроки работы каналов.

Если источник орошения полностью обеспечивает потребность хозяйства в воде, то все хозяйственные каналы работают постоянно в соответствии с графиком режима орошения. При недостатке воды в источнике орошения в общесистемном плане необходимо предусмотреть введение водооборота, тогда хозяйственные каналы будут работать поочередно. При этом могут ухудшаться условия водообеспечения орошаемых культур.

Водооборот на оросительной системе может быть допущен на каналах старшего порядка в маловодные годы при недостатке воды в источнике орошения; при орошении небольших площадей и малых расходах воды в каналах, из-за чего возрастают потери на фильтрацию и затрудняется распределение воды при поливах; в периоды малого потребления воды.

На оросительных системах, полностью обеспеченных водой, водооборот вводят лишь на каналах младшего порядка, внутрихозяйственных участковых распределителях, временных оросителях.

Оросительную систему рассчитывают на подачу и распределение оптимального объема воды, достаточного для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур, и объемов воды, необходимых для удовлетворения хозяйственных и коммунальных потребностей.

Расчетная водообеспеченность при проектировании оросительных систем связана с обеспеченностью источника и дефицитом водного баланса орошаемого поля.

Для условий Средней Азии принимают 90 %-ную расчетную водообеспеченность оросительной системы, для регулярного орошения европейской территории СССР — 75 %-ную, а для лиманного орошения — 50- или 75 %-ную вероятность превышения стока в зависимости от типа лиманов.

Определение расчетной водообеспеченности оросительной системы — это оптимизационная задача, которая сводится к просчету нескольких вариантов сочетаний расчетных вероятностей превышения стока и дефицита водного баланса с учетом потребности в оросительной воде, удельных капитальных

вложений и прироста чистого дохода от орошения. Сравнение найденных коэффициентов эффективности с его нормативным значением дает возможность принять оптимальную расчетную водообеспеченность оросительной системы.

Потребность в оросительной воде на системе определяют на основе утвержденных для каждого административного региона режимов орошения сельскохозяйственных культур. По ним строят графики удельных расходов (гидромодули) для соответствующих севооборотов, принятых на данной оросительной системе, укомплектованные ординаты которых служат основой для расчетов вариантов и определения оптимальных параметров.

Все расчеты по водоносности источника орошения, возможной подаче и фактическому забору воды в оросительную систему выполняют для каждого месяца вегетационного периода по декадам, проводя увязку расходов, которые необходимо подать в оросительную систему, с расходами, которые может обеспечить источник орошения. Баланс считается увязанным, если отклонения значений этих величин не будут превышать ±5 %.

13.2. ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ПЛАН ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Внутрихозяйственный план водопользования включает нормированную подачу воды в хозяйство и план эксплуатационных мероприятий.

Внутрихозяйственный план водопользования, подписанный руководителем, главным агрономом и гидротехником хозяйства, поступает на рассмотрение в РАПО и Управление оросительных систем (для хозяйств, расположенных на государственных оросительных системах).

Для составления внутрихозяйственного плана водопользования необходимо иметь лимит воды для полива культур, хозяйственных и коммунальных нужд. Если хозяйство пользуется водой от государственной системы, лимит на воду дает руководство оросительной системы; если хозяйство забирает воду из водоемов местного значения, оно само определяет такой лимит, исходя из водообеспеченности источника.

Внутрихозяйственный план водопользования составляют в каждом хозяйстве, имеющем орошаемую площадь любых размеров, независимо от конструкции системы (открытая, закрытая) и формы обеспечения водой. Все данные плана водопользования заносят в таблицы, описание которых дается в инструкциях, составляемых эксплуатационными органами.

Календарный план проведения поливов и водоподачи в хозяйства составляют для каждой сельскохозяйственной культуры с указанием площади и числа поливов, поливной нормы, водопотребления и способов полива.

В план эксплуатационных мероприятий включают текущие ремонты насосов, двигателей, дождевальных машин, гидротехнических сооружений и уход за каналами. Составляют его помесячно. После окончания вегетационного периода проводят осмотр каналов, гидротехнических сооружений и всего имеющегося оборудования.

Необходимо также сравнить наличие мелиоративной техники и инвентаря в хозяйстве с его потребным количеством для проведения своевременных поливов и определить обеспеченность хозяйства кадрами поливальщиков, машинистов насосных станций и дождевальных машин.

В процессе осуществления планов составляют оперативные планы-заявки на воду за 2. . .3 сут до начала очередной календарной декады. Расчеты выполняют для каждого внутрихозяйственного канала с последующим суммированием объемов воды для каждого водовыдела и хозяйства в целом.

13.3. СИСТЕМНЫЙ ПЛАН ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Системный план водопользования включает в себя ведомость расчетных расходов (горизонтов) источника орошения и возможных расходов в голове системы, план забора и распределения воды по системе.

При составлении системных планов водопользования устанавливают потребность в воде отдельных хозяйств-водопользователей по каждому водовыделу и в целом по системе, согласовывают водопотребление по системе с режимом источника орошения, определяют головные расходы магистрального и межхозяйственного каналов и подачу воды хозяйствам, разрабатывают мероприятия по повышению коэффициентов полезного действия как отдельных оросительных каналов, так и системы в целом.

Для составления **плана водораспределения** необходимы следующие материалы: план и подробная схема системы, внутрихозяйственные планы водопользования, план системы с почвенно-мелиоративной характеристикой, ведомость расходов воды в источнике орошения по декадам, сведения о фактических потерях воды, установленные государственным планом площади посевов на орошаемых землях.

План забора воды в систему определяют, суммируя данные внутрихозяйственных планов водопользования для вододелительных узлов с определением по декадам вегетационного и осенне-зимнего периодов физической площади полива, гектарополивов, водопотребления (нетто и брутто) и расхода воды (брутто). Полученные расходы увязывают с расходами, которые может обеспечить источник орошения. Баланс будет увязанным, если отклонения значений этих величин не превышают ±5 %.

План поливов составляют с учетом каждой сельскохозяйственной культуры и указанием площади ее посева и срока полива. В него обязательно включают проведение влагозарядковых поливов под озимые и яровые культуры, многолетние насаждения. Затем определяют площадь полива всех сельскохозяйственных культур по системе в целом за каждую декаду и нарастающим итогом за весь вегетационный период.

13.4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛИВОВ

Весь цикл работ по организации поливов разбит на три этапа: подготовительный, проведение поливов, заключительный.

Ко времени пуска воды в системы необходимо установить водоизмерительную аппаратуру, проверить работу связи, провести инструктаж эксплуатационного персонала. На каждом вододелительном узле, эксплуатационном участке и оросительной системе необходимо иметь действующие в отрасли инструкции по эксплуатации отдельных сооружений, узлов и др.

Пуск воды по системе проводят в определенной последовательности. В первую очередь заполняют водой магистральные каналы, постепенно наращивая уровни воды в них. После проверки работы всех сооружений по трассе канала воду пропускают в межхозяйственную сеть и так до точек выдела воды хозяйствам, предварительно сообщив об этом водопользователям.

Подготовительные работы проводят также в каждом хозяйстве, имеющем орошаемые земли. Проводят планировку орошаемых площадей, нарезку мелкой поливной сети при поверхностных способах полива и временных оросителей для работы некоторых дождевальных машин, подготавливают поливной инвентарь. К началу полива должны быть отремонтированы каналы и гидротехнические сооружения внутрихозяйственной сети.

В подготовительный период проводят расконсервацию поливной техники, в случае необходимости — монтаж машин. По окончании проводят опробование машин на режимах, соответствующих указанным в инструкциях по эксплуатации данной техники.

При проведении поливов в вегетационный период для каждого вида техники составляют технологическую схему работы машин и строят график поливов, на котором показывают порядок работы машин на поле, размеры поливных норм, сроки проведения поливов.

На технологической схеме работы указывают время стоянки машин на позиции (для машин позиционного действия); число проходов машин, работающих в движении, для выдачи поливной нормы («Кубань», ДДА 100МА, ДДПА-130/140, ДДА-145); скорость движения самоходных машин для выдачи

13.1. Значения коэффициента α по формуле С. Р. Оффенгендена

a / α	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	0,90	0,85	0,80	0,75
0,80	1,22	1,18	1,14	1,09	1,0	0,91	0,86	0,82	0,77
0,75	1,21	1,17	1,13	1,08	1,0	0,92	0,87	0,83	0,79
0,70	1,20	1,16	1,12	1,08	1,0	0,92	0,88	0,84	0,80
0,65	1,18	1,15	1,11	1,07	1,0	0,93	0,89	0,85	0,82
0,60	1,17	1,14	1,10	1,07	1,0	0,93	0,90	0,86	0,84
0,55	1,15	1,12	1,09	1,06	1,0	0,94	0,91	0,88	0,85
0,50	1,13	1,11	1,08	1,00	1,0	1,0	0,92	0,91	0,89

поливной нормы («Фрегат», «Кубань»-ЛК, ДДС-30, ДШ-10, АШУ-32); для стационарных дождевальных систем, при поверхностном, капельном и подпочвенном орошении — время выдачи поливной нормы в зависимости от принятых элементов техники полива.

Планы водопользования в процессе их выполнения могут подвергаться корректировке при изменении установленных ранее размеров площадей или состава сельскохозяйственных культур или при устойчивом уменьшении водоносности источника орошения. При оперативной корректировке по декадным заявкам на воду учитывают следующие условия: если дополнительная заявка на воду в пределах гидротехнического участка не превышает ±10 % его планового расхода, перераспределение воды проводят без увеличения подачи воды участку; если дополнительная заявка на воду превышает ±10 % плановой подачи, осуществляют перераспределение воды между гидротехническими участками.

Ежемесячно показатели плана уточняют на основании прогнозов водоносности источника орошения. При отклонении расходов не более чем на ±20 % осуществляют корректировку плана путем умножения плановых значений расхода воды на коэффициент α, определенный по формуле С. Р. Оффенгендена:

$$\alpha = a^2\eta / [a - \sqrt{a}\,(1-\eta)], \qquad (13.1)$$

где a — отношение расходов нетто, уточненных после корректировки, к расходам нетто, принятым по плану; η — коэффициент полезного действия, принятый при разработке плана.

Для упрощения расчетов значения коэффициентов можно брать по таблице 13.1.

Если отклонение фактических расходов от плановых составляет ±25 % и более, то корректировку системного плана не проводят. В этом случае на оросительной системе необходимо вводить водооборот.

При проектировании водооборота оросительную систему разбивают на группы гидротехнических участков, получающих воду за один такт. При этом необходимо, чтобы максимальная пропускная способность каналов одной группы обеспечивала пропуск форсированных расходов при водообороте; расположение участков в группе было компактным; действующая длина каналов была наименьшей, причем ε по всей длине было равным примерно 0,5; расходы воды отдельных групп каналов были по возможности равными.

Определяют коэффициент полезного действия каналов между участками и подсчитывают суммарный расход каждой группы, который должен быть пропорционален расходу участка при непрерывном вододелении,

$$\eta_c = Q_n\varepsilon / Q_{act}, \qquad (13.2)$$

где η_c — коэффициент полезного действия участковой сети каналов; Q_n — нормальный расход воды в канале; Q_{act} — действительный расход воды при водообороте; ε — коэффициент увязки.

Продолжительность каждого такта водооборота определяют по формулам

$$t_1 = \frac{Q_1\eta_2}{Q_1\eta_2 + Q_2\eta_1} t_w; \qquad (13.3)$$

$$t_2 = \frac{Q_2\eta_1}{Q_1\eta_2 + Q_2\eta_1} t_w, \qquad (13.4)$$

где t_1 и t_2 — продолжительность первого и второго такта водооборота; t_w — период водооборота ($t_w = 10$ сут); Q_1 и Q_2 — расходы действующих групп каналов; η_1 и η_2 — коэффициенты полезного действия действующих групп каналов при водообороте.

13.5. УЧЕТ И КОНТРОЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ И ЗЕМЛИ НА СИСТЕМЕ

Учет воды на оросительной системе является основным мероприятием для проведения планов водопользования и рационального использования водных ресурсов.

Изменение расходов оросительной воды (рис. 13.1) ведут на гидрометрических постах, которые оборудуют на головных участках магистральных каналов, головных участках межхозяйственных, хозяйственных и участковых каналов, границах эксплуатационных участков водоприемников, на коллекторно-дренажной и сбросной сети.

Распределением оросительной воды в хозяйстве руководит главный гидротехник, а в отделениях — гидротехники. Они также отвечают за правильное использование оросительной воды на полях, контролируют сбросы как из внутрихозяйственных каналов, так и на полях.

За качество и своевременность проведения поливов ответственность в хозяйстве, а также в отделениях и бригадах возложена на агрономов и руководителей соответствующих подразделений.

Использование оросительной воды в хозяйствах контролируют специалисты управлений эксплуатации систем.

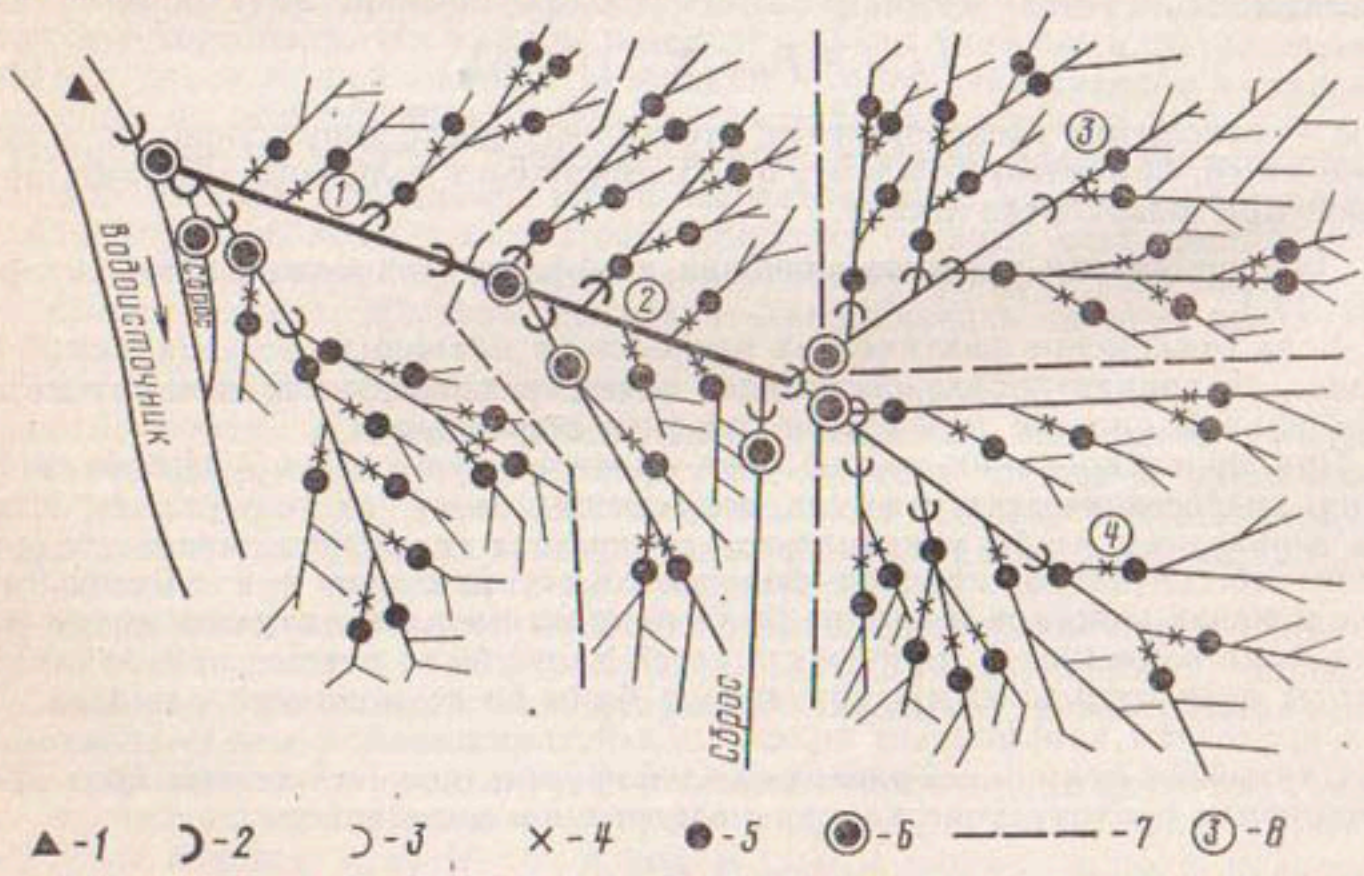


Рис. 13.1. Схема размещения водомерных постов на оросительной системе:
1 — водомерный пост; *2* — распределительные узлы; *3* — узлы командования; *4* — точки водовыделов; *5* — расходомеры в точках водовыделов; *6* — расходомеры на межхозяйственной оросительной и сбросной сети; *7* — границы эксплуатационных участков; *8* — номера эксплуатационных участков

Эффективность водопользования на системе оценивают следующие показатели:

выполнение плана забора в систему за каждую декаду вегетационного периода

$$\gamma = V_{act}/V_n, \tag{13.5}$$

где V_{act} — фактический объем воды, поступившей в оросительную систему за декаду; V_n — объем забора воды, предусмотренный планом за тот же промежуток времени; при нормальной работе оросительной системы коэффициент γ равен единице;

водоносность источника орошения

$$\beta = Q_m/Q_{mw}, \tag{13.6}$$

где Q_m — средний за данный период фактический расход водоисточника, м³/с; Q_{mw} средний плановый расход водоисточника за тот же период времени, м³/с; оросительная система считается вполне обеспеченной водой, если этот показатель (β) равен единице или отклонение не превышает ±5 %;

выполнение плана полива сельскохозяйственных культур выражается показателем P, представляющим отношение фактически политой площади A_{act} к плановой A_t в процентах за определенный промежуток времени (декаду, например),

$$P = \frac{A_{act}}{A_t} 100; \tag{13.7}$$

выполнение плана по гектарополивам выражается аналогичной зависимостью

$$P_1 = \frac{A^0_{act}}{A^0_t}; \tag{13.8}$$

фактический коэффициент полезного действия системы оросительных каналов

$$\eta_c = V_0/V_w, \tag{13.9}$$

где V_0 — объем воды, поданной во временные оросители за определенный период; V_w — объем воды, забранный в голове системы за этот же период;

коэффициент полезного действия межхозяйственной сети

$$\eta_s = V_t/V_w, \tag{13.10}$$

где V_t — объем (или расход) воды за определенный промежуток времени, поданный в хозяйственные водовыделы; V_w — объем (или расход) воды, забираемой из источника орошения;

общий коэффициент полезного использования оросительной воды на системе

$$E_s = M_{mnt} A_{nt}/V_w, \tag{13.11}$$

где M_{mnt} — средневзвешенная оросительная норма нетто, м³/га; A_{nt} — орошаемая площадь нетто, га; V_w — головной водозабор за оросительный период, м³.

Использование земель в рамках оросительной системы характеризуют следующие коэффициенты:

использования валовой площади

$$k_g = A_{nt}/A_g, \tag{13.12}$$

где A_{nt} — орошаемая площадь нетто системы; A_g — валовая площадь системы, включающая неорошаемую и орошаемую площадь брутто;

земельного использования

$$k_a = A_{nt}/A_{br}, \qquad (13.13)$$

где A_{br} — орошаемая площадь брутто системы, га.

Коэффициент земельного использования должен быть не ниже 0,9, а на технически совершенных системах приближаться к единице.

13.6. СВЯЗЬ

Нормальная работа оросительной системы обеспечивается четкой связью со всеми ее звеньями.

В общую схему связи должны входить все точки системы, находящиеся под диспетчерским наблюдением: центральный диспетчерский пункт мелиоративной системы, ее административные подразделения, головные и эксплуатационные участки системы, узлы командования, распределительные узлы, насосные станции, водохранилища, а также служебные помещения должностных лиц, связанных с оперативной работой системы.

Наиболее распространенный вид связи — проволочная телефонная связь, специально приспособленная для диспетчерского обслуживания. Она дает возможность диспетчеру вести индивидуальный разговор, проводить малое или большое совещание.

На системах может применяться радиосвязь с использованием передаточных радиостанций (односторонняя связь) или приемопередающих (двусторонняя связь).

На каждой системе должен быть постоянный контроль за работой средств связи, обеспечивающий немедленное устранение всех неисправностей.

В настоящее время на системах применяются телеизмерения — метод автоматического управления объектами на расстоянии. Он находит применение на крупных сооружениях, насосных станциях и других объектах.

Глава 14. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

14.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Автоматизация работы оросительных систем осуществляется в трех последовательных процессах: водозабор, водораспределение и полив.

Автоматизация водораспределения обеспечивает согласование непрерывного водозабора с характерным прерывистым водопотреблением и связана непосредственно с технологией орошения.

Существующие оросительные системы построены, как правило, с расчетом на ручное управление объектами. На наиболее совершенных системах процессами водораспределения управляют с диспетчерского пункта. Ввиду большой пространственной рассредоточенности объектов оросительной системы, значительной инерционности и запаздывания протекания процессов управление водораспределением без применения автоматизации приводит прежде всего к излишней трате воды, запаздыванию с регулированием расходов, снижению качества поливов. Имеется два подхода к автоматизации водораспределения: централизованное и децентрализованное, или распределенное.

Централизованное управление предполагает контроль, анализ и выработку управляющих решений в одном центре в соответствии с единым общим критерием качества функционирования оросительной системы в целом. Оно характеризуется применением централизованной автоматики, требует надежных линий связи и быстродействующих устройств телемеханики.

Децентрализованное управление базируется на принципах субоптимизации отдельных технологических звеньев оросительной системы в соответствии с частными критериями. Распределенная структура управления водораспределением обусловлена относительно невысокой надежностью линий связи и характеризуется широким применением автономных схем и локальных систем управления. Распределенное управление организуют по схеме «снизу вверх» с использованием обратной (гидравлической, пневматической или электрической) связи в сети каналов и трубопроводов с проведением централизованного контроля.

В составе проекта автоматизации должна быть функционально-структурная схема водораспределения, включающая:

технологический объект управления (ТОУ) — сеть водоводов, обслуживающих орошаемые площади;

сооружения водораспределения — подпорно-регулирующие (включая насосные станции перекачки), водозаборные в межхозяйственную и хозяйственную сеть, водомерные и сбросные, обслуживающие ТОУ в автоматизированном режиме посредством технических средств контроля, регулирования и управления;

систему сбора информации и реализации управления;

комплект технологических задач водораспределения, основанных на экономико-математических моделях;

комплект технологических задач автоматизации управления объектами водорегулирования;

схему диспетчеризации водораспределения.

Имеются следующие виды автоматизированного водораспределения: нормированное, ненормированное и смешанное.

Нормированный принцип автоматизированного водораспределения применим при недостаточной водообеспеченности и при условии, что транспортирующая сеть водоводов выполнена без резервных емкостей при наличии бассейнов-накопителей суточного регулирования (БСР).

Ненормированный принцип используют в случае полной водообеспеченности оросительной системы и при условии, что транспортирующие каналы выполнены с требуемым для бесперебойного водопотребления резервными емкостями.

Смешанный принцип применим при ограниченной водообеспеченности оросительной системы. Транспортирующие каналы в этом случае выполняют с резервными емкостями, объем которых определяют на основе технико-экономических расчетов и анализа возможности осуществления управления.

Водорегулирование можно вести по расходу воды, уровням в каналах и по объему подаваемой воды.

При нормированном водораспределении регулирование осуществляется по расходу, при ненормированном — по объему и уровню, при смешанном — по расходу, объему и уровню.

Главная задача регулирования водораспределения — своевременное удовлетворение потребностей хозяйств в воде при минимизации непроизводительных сбросов.

При автоматизации водораспределения погрешность регулирования расходов воды должна быть не более 5. . .8 % для всех потребителей.

При регулировании по расходу ограничением служит минимум сбросов ($\leqslant$5 % водозабора), при регулировании по уровню — стабилизация уровней с погрешностью, определяемой техническими средствами автоматизации, а при регулировании по объемам — аккумулирующая способность емкостей, которая должна быть больше объема возможных возмущений

14.2. СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Основные способы и схемы автоматического регулирования водоподачи и управления ею следует применять в зависимости от состава водорегулирующих сооружений (перегораживающие сооружения, перекачивающие насосные станции), их сочетаний и реализуемого принципа водораспределения (рис. 14.1. . .14.8).

В зависимости от вида сети, способа полива и местных условий в нормативных документах рекомендуются схемы регулирования, приведенные в таблице 14.1.

При осуществлении систем управления водораспределением используют две основные структуры: каскадное регулирование и централизованный контроль и управление.

В таблицах 14.2 и 14.3 приведены способы водораспределения систем регулирования в самотечных каналах и на каналах с машинным водоподъемом.

Каскадное регулирование проводят с помощью горизонтальных связей между локальными регуляторами гидротехнических сооружений. В простейшем случае связь осуществляется непосредственно по водному потоку (например, как в системе регулирования по уровню нижнего бьефа).

Система централизованного контроля и управления (ЦКУ) выполняет три основные функциональные задачи: перевода, стабилизации и аварийного управления.

При изменении планового задания на водоподачу потребителям делается перевод, который характеризуется, как правило, большими отклонениями. При выявлении аварийных ситуаций переходят на аварийное управление, после чего включается задача перевода или стабилизации. При малых возмущениях и соответственно малых отклонениях уровней и расходов воды от заданных после перевода системы в соответствии с новым плановым заданием она настраивается на стабилизацию. Если отклонения превышают возможности стабилизации и могут привести к значительному ущербу, то необходи-

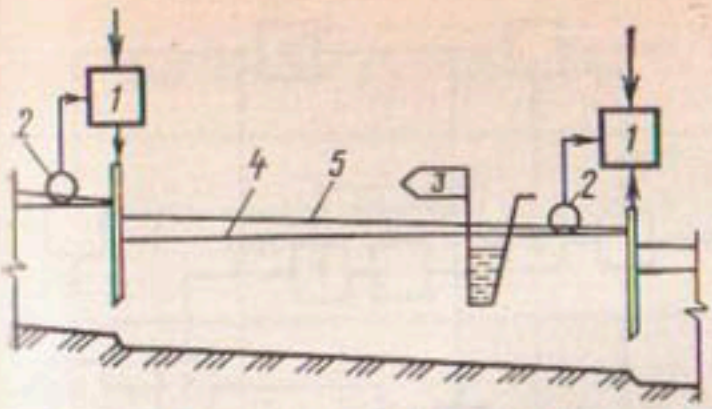


Рис. 14.1. Схема регулирования уровня воды верхнего бьефа:

1 — регулятор уровня воды; *2* — датчик уровня; *3* — водовыпуск; *4* — свободная поверхность воды при $Q=0$; *5* — свободная поверхность воды при Q_{max}

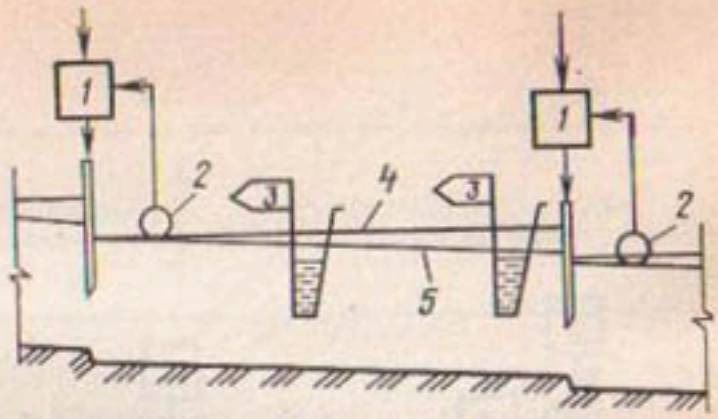


Рис. 14.2. Схема регулирования уровня воды нижнего бьефа (обозначения те же, что на рис. 14.1)

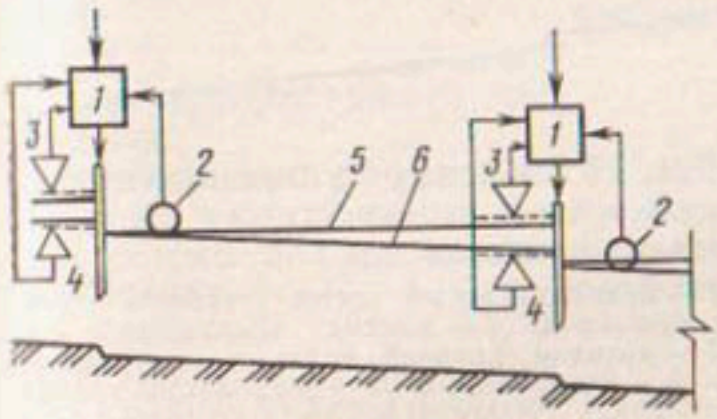


Рис. 14.3. Схема регулирования уровня воды нижнего бьефа с ограничением уровня верхнего бьефа:

1 — регулятор уровня; *2* — датчик уровня; *3, 4* — датчики предельных уровней; *5* — свободная поверхность воды при $Q=0$; *6* — свободная поверхность при Q_{max}

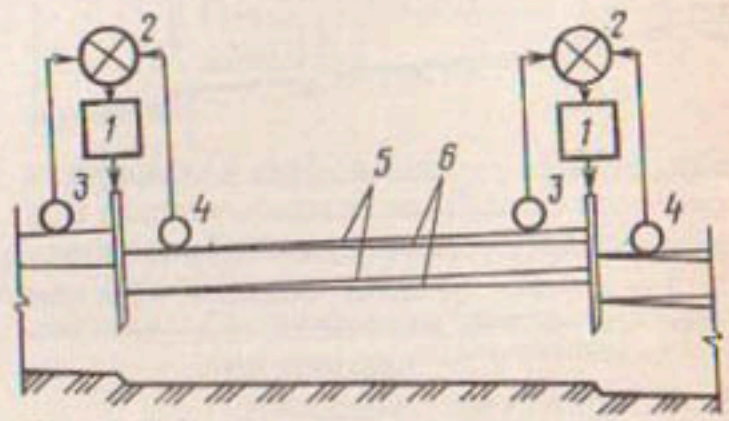


Рис. 14.4. Схема регулирования перепада уровней верхнего и нижнего бьефов:

1 — регулятор; *2* — элемент сравнения; *3, 4* — датчики уровней воды; *5* — свободная поверхность воды при $Q=0$; *6* — свободная поверхность воды при Q_{max}

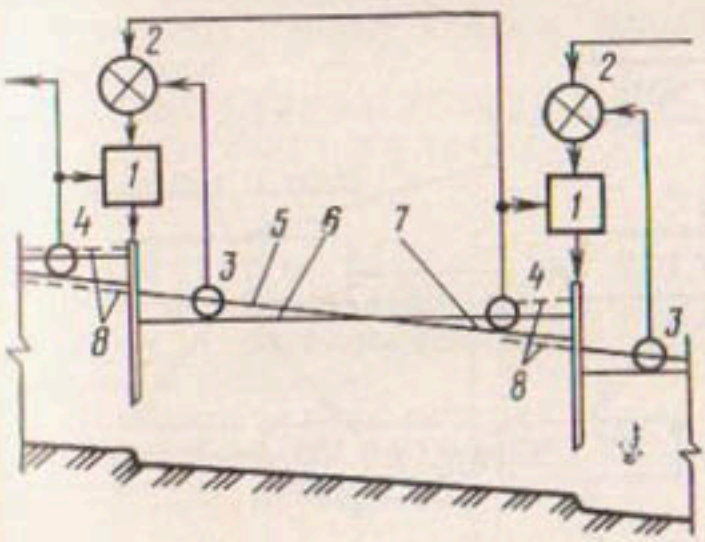


Рис. 14.5. Схема регулирования уровней воды с перетекающими объемами:

1 — регулятор; *2* — элемент сравнения; *3, 4* — датчики уровней воды; *5* — свободная поверхность воды при Q_{max}; *6* — свободная поверхность воды при $Q=0$; *7* — объем регулирования; *8* — предельные уровни воды

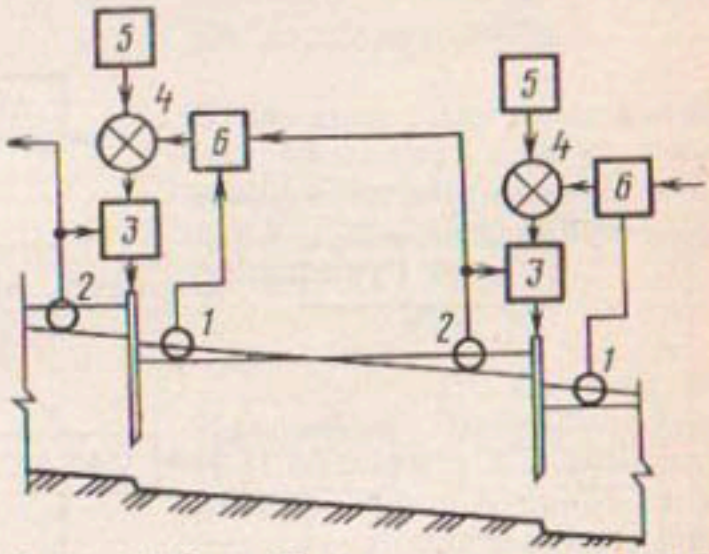


Рис. 14.6. Схема регулирования объемов воды в открытом канале:

1, 2 — датчики уровней воды; *3* — регулятор; *4* — элемент сравнения; *5* — задатчик; *6* — сумматор

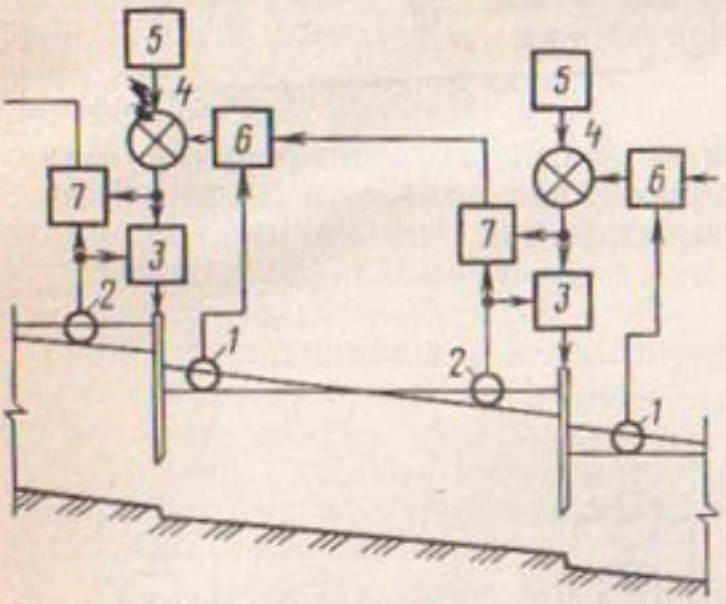


Рис. 14.7. Схема регулирования объемов воды в открытом канале при последовательном суммировании:

1, 2 — датчики уровней воды; *3* — регулятор; *4* — элемент сравнения; *5* — задатчик; *6, 7* — сумматоры

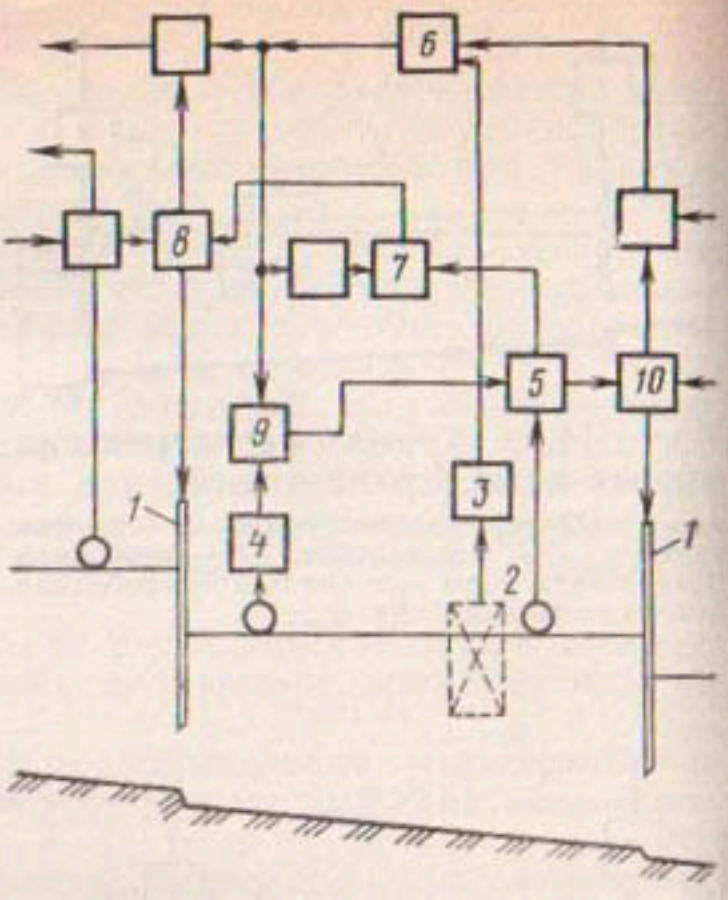


Рис. 14.8. Схема регулирования уровней воды с перекрестными обратными связями:

1 — исполнительный орган (затвор); *2* — водовыпуск; *3* — датчик возмущений; *4, 5* — датчики уровней воды; *6* — сумматор; *7, 9* — задатчики; *8, 10* — регуляторы уровня

мо откорректировать плановое задание на водоподачу и затем выполнить задачу перевода.

В системах ЦКУ водораспределением выполняются также вспомогательные задачи, связанные с учетом воды и энергии.

Реализация указанных функций обеспечивается для небольших систем на двух уровнях, а для больших систем — на трех уровнях (рис. 14.9).

Первый уровень — системы автоматического и автоматизированного управления гидротехническим сооружением и насосной станцией (САУ ГТС и САУ НС).

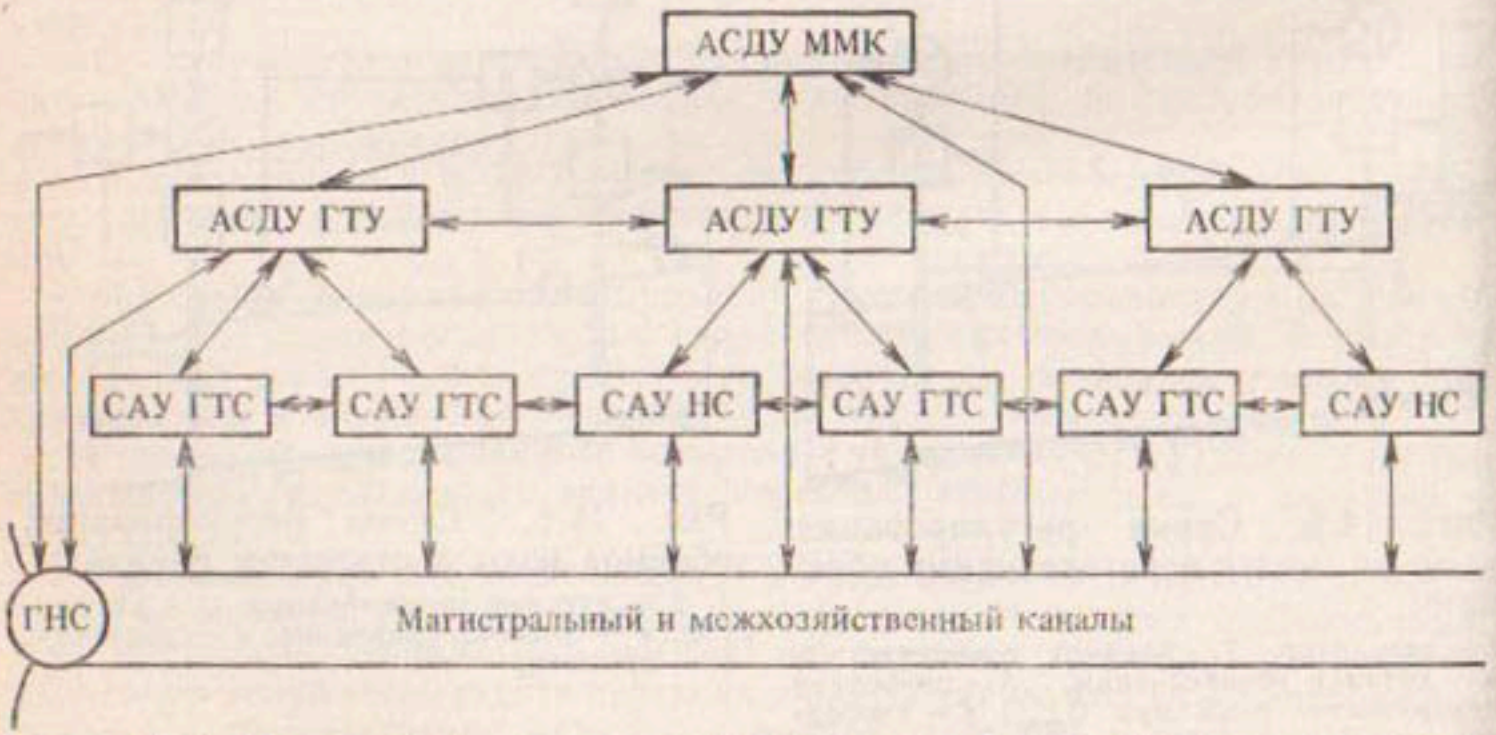


Рис. 14.9. Трехуровневая система ЦКУ водораспределения

14.1. Выбор схем регулирования

Способы полива, местные условия	Тип и конструкция водоводов	Рекомендуемая схема регулирования
Постоянная внутрихозяйственная сеть		
Полив по полосам и бороздам:		
уклоны меньше критических	Каналы, лотки	По верхнему бьефу
уклоны больше критических	Самонапорные трубопроводы	В напорных трубопроводах
	Безнапорные трубопроводы	По верхнему бьефу. Непосредственным отбором расходов
Полив дождевальными машинами:		
независимо от уклонов	Напорные трубопроводы	В напорных трубопроводах
уклоны больше критических	Самонапорные трубопроводы	В напорных трубопроводах. По нижнему бьефу на трубопроводах
средние уклоны поверхности земли на трассе канала менее 0,001	Каналы	Каскадное регулирование по нижнему бьефу или смешанное регулирование
Полив затоплением на рисовых системах	»	Каскадное регулирование по нижнему бьефу
Межхозяйственная сеть		
Полив по бороздам:		
уклоны меньше критических	Каналы	По верхнему бьефу
средние уклоны поверхности земли по трассе канала 0,0005	»	Каскадное регулирование (по нижнему бьефу, смешанное регулирование, поддержание постоянных перепадов)
Полив дождевальными машинами и затоплением на рисовых системах:		
средние уклоны поверхности земли по трассе канала менее 0,001	»	Каскадное регулирование (по нижнему бьефу, смешанное регулирование, поддержание постоянных перепадов)
средние уклоны поверхности земли по трассе канала менее 0,002	»	Каскадное регулирование с перетекающими объемами
средние уклоны поверхности земли более 0,002	»	По верхнему бьефу
уклоны меньше критических	»	По верхнему бьефу

14.2. Средства автоматического регулирования уровней и объемов воды в самотечных каналах

Схема регулирования	Средства регулирования	Достоинства	Недостатки	Условия применения
Уровня воды верхнего бьефа при нормированном водораспределении (рис. 14.1)	Автоматический затвор прислонного типа прямого действия с расходом до 4 м³/с и перепадом от 0,1 до 0,5 м (ГП). Приборы комплекса АКЭСР, «Контур», «Каскад», ЛИУС-2, регулятор «Парус»-1; датчики уровней воды РУС, УПМ-1ч, УПМ-2	Простота технической реализации, высокая надежность, отсутствие емкостей в бьефах	Большие непроизводительные сбросы воды, приоритет вышерасположенных потребителей	Уклоны каналов меньше критических, отсутствие резервных емкостей в бьефах, отсутствие гидравлической обратной связи между сооружениями, централизованное управление
Уровня воды нижнего бьефа при нормированном водораспределении (рис. 14.2)	Затворы диафрагменные вододействующие для сооружений с расходом до 5 м³/с (ГДН). Электрические приборы комплекса АКЭСР, «Контур», «Каскад», ЛИУС-2; регулятор «Парус»-1, «Цикл»; датчики уровней воды РУС, УПМ-1 ч	Простота и надежность технической реализации, минимальные сбросы воды	Удорожание строительства каналов, необходимость аварийных сбросов в конце каждого бьефа	Средние уклоны каналов меньше 0,0003, наличие резервных объемов и гидравлических обратных связей между подпорнорегулирующими сооружениями, каналы с горизонтальными дамбами
Уровня воды нижнего бьефа с ограничением уровня верхнего бьефа при нормированном и смешанном водораспределении (рис. 14.3)	Затворы прислонного типа вододействующие на расход воды до 20 м³/с и перепад 0,5...1,5 м (ЗПВ). Затворы цилиндрические автоматические на расход воды до 5 м³/с	Высокая надежность, минимальные сбросы воды, нет необходимости в устройстве аварийных сбросов в каждом бьефе	Высокая строительная стоимость канала, необходимость аварийного сброса на суммарный транзитный расход в конце канала	То же

Продо жение

Схема регулирования	Средства регулирования	Достоинства	Недостатки	Условия применения
	(ЗЦ). Электрические приборы комплекса АКЭСР, «Контур», «Каскад», ЛИУС-2; регуляторы «Парус»-1, «Цикл»; датчики уровней воды РУС; УПМ-1 ч			
Перепада уровней верхнего и нижнего бьефов при ненормированном водораспределении (рис. 14.4)	Электрические приборы комплекса АКЭСР, «Контур», «Каскад», ЛИУС-2; датчики уровней воды РУС, УПМ-1 ч	Простота и надежность технической реализации, исключает непроизводительные сбросы, одновременное использование резервных емкостей бьефов, минимальная скорость изменения уровней воды в канале	Высокая строительная стоимость канала	Средние уклоны каналов меньше 0,0003, наличие резервных объемов и гидравлических обратных связей между подпорно-регулирующими сооружениями, каналы с горизонтальными дамбами
Уровней воды с перетекающими объемами при ненормированном или смешанном водораспределении (рис. 14.5)	Электрические приборы комплекса АКЭСР, «Контур», «Каскад», ЛИУС-2; датчики уровней воды РУС, УПМ-1 ч, кодовые	Возможность обеспечения высокой надежности благодаря изменению схемы управления, минимальные непроизводительные сбросы, уменьшение капитальных затрат на строительство	Необходимость аварийного сброса в конце канала, устройство линии связи вдоль канала	Уклоны каналов меньше 0,0003; резервные емкости в бьефах, отсутствие гидравлической обратной связи

Продолжение

Схема регулирования	Средства регулирования	Достоинства	Недостатки	Условия применения
Объемов воды в открытом канале при ненормированном или смешанном водораспределении (рис. 14.6)	Электрические приборы комплекса АКЭСР, «Контур», «Каскад», ЛИУС-2; датчики уровней воды РУС, УПМ-1 ч, кодовые	Высокие надежность и качество регулирования, уменьшение капитальных затрат на строительство	Необходимость аварийного сброса в конце канала	Уклоны каналов меньше 0,0003; резервные емкости в бьефах, отсутствие гидравлической обратной связи
Объемов воды в открытом канале при последовательном суммировании с ненормированным или смешанным водораспределением (рис. 14.7)	То же	То же	То же	То же
Уровней воды с перекрестными обратными связями при ненормированном или смешанном водораспределении (рис. 14.8)	»	»	»	»

14.3. Способы водораспределения на каналах с машинным водозабором и самотечной транспортирующей частью

Способ водораспределения	Сущность способа	Достоинства	Недостатки
Равномерное накопление—срабатывание резервных емкостей	Равномерное накопление или срабатывание объемов воды во всех бьефах канала. Изменение подачи насосной станции осуществляют по знаку и скорости изменения объемов воды в первом бьефе после его полного использования	Максимальное использование резервных емкостей, минимальная скорость изменений уровней воды, минимальная резервная емкость первого бьефа, возможность обеспечения максимального КПД насосных агрегатов	
Последовательное накопление—срабатывание резервных объемов снизу вверх	Изменение уровней воды передается в концевой бьеф канала, а затем последовательно, используя резервные объемы каждого бьефа, от концевого бьефа до головного (первого). Ступенчатое изменение подачи насосной станции осуществляют по скорости изменения уровня воды в первом бьефе	Максимальное использование резервных емкостей, минимальная резервная емкость первого бьефа, максимальный КПД насосных агрегатов, простота технической реализации	
Последовательное накопление—срабатывание резервных объемов сверху вниз	Изменение уровней воды передается в первый бьеф канала, а затем последовательно, используя резервные объемы каждого бьефа, от первого бьефа до концевого.	Максимальное использование резервных емкостей, минимальная резервная емкость первого бьефа, максимальный КПД насосных агрегатов,	Увеличенная резервная емкость или бассейн-накопитель в конце канала

Продолжение

Способ водораспределения	Сущность способа	Достоинства	Недостатки
	Ступенчатое изменение подачи насосной станции осуществляют по скорости изменения уровней воды в концевом бьефе	простота технической реализации	
Объемное регулирование с пропорциональным накоплением резервов воды в бьефах канала	По суммарному водопотреблению выбирают расход водоподачи. После включения дополнительного насосного агрегата пропорционально текущим резервным объемам изменяют расходы через перегораживающие сооружения участков, в которых произошло изменение расхода водопотребления	Малое время перестройки на новый режим, малая резервная емкость первого бьефа, использование всех текущих резервных объемов канала	Необходимость измерения расходов водопотребителей, недоиспользование резервных емкостей бьефов
Накопление — срабатывание резервного объема первого бьефа	Отклонения уровней воды передаются в первый бьеф канала. Изменение дискретной подачи насосной станции осуществляют после использования резервного объема первого бьефа канала	Простота реализации при помощи средств регулирования уровней воды	Большая резервная емкость первого бьефа, недоиспользование резервных емкостей нижерасположенных бьефов, отклонение КПД насосных агрегатов от максимального значения, увеличенные затраты электроэнергии

Второй уровень — автоматизированные системы диспетчерского управления водораспределением на эксплуатационном гидротехническом участке (АСД ГТУ) — комплексе сооружений и насосных станций.

Третий уровень — автоматизированная система диспетчерского управления магистральным и межхозяйственным каналом (АСД ММК).

Техническая структура централизованного управления водораспределением с многими уровнями позволяет повысить надежность системы при оптимальных технико-экономических показателях. Сложность техники, качество оптимизационных алгоритмов, а значит, и стоимость растут при переходе по уровням снизу вверх. В то же время при отказах в верхних уровнях управления снижение показателей качества системы не приводит к аварийным ситуациям на канале. Наличие горизонтальных связей между САУ НС и САУ ГТС и между АСДУ ГТУ и АСДУ ММК позволяет использовать не только алгоритмы ЦКУ, но и методы каскадного регулирования и управления.

Наибольшей эффективности системы можно достичь при использовании алгоритмов динамического управления каналом как единым объектом. При этом в реальном масштабе времени осуществляется контроль за всеми резервами воды в канале, за балансом расходов воды в каждом бьефе, прогнозируются возмущения от водопотребителей.

Оптимальную длину бьефов целесообразнее определять путем технико-экономических сравнений: увеличение стоимости строительства каналов при более длинных бьефах не должно превышать стоимости строительства дополнительных перегораживающих сооружений, которые потребуются при более коротких бьефах.

При регулировании по нижнему бьефу оптимальную по капитальным вложениям длину бьефов можно определять по следующим зависимостям:

канал в полувыемке-полунасыпи в земляном русле

$$\frac{2}{3} S_3 m' i^2 l^2 + S_3 (B_d + 2m' h_m)\, il^2 - S_b = 0; \tag{14.1}$$

канал в полувыемке-полунасыпи с облицованным руслом

$$\frac{2}{3} S_3 m' i^2 l^3 + \left[S_3 (B_d + 2m' h_m) + 2S_0 \sqrt{1+m^2}\right] il^2 - S_b = 0; \tag{14.2}$$

канал в выемке в земляном русле

$$2S_P \sqrt{1+m^2 i l^2} - S_b = 0; \tag{14.3}$$

канал в выемке с облицованным руслом

$$2S_0 \sqrt{1+m^2 i l^2} - S_b = 0. \tag{14.4}$$

В приведенных зависимостях приняты следующие обозначения: S_3 — стоимость 1м³ насыпи; $m' = m_{ext} + m/2$, где m_{ext} — заложение наружных откосов дамб; m — заложение внутренних откосов канала, $m' = m$ при $m_{ext} = m$; i — уклон дна канала; B_d — ширина дамбы поверху; h_m — средняя высота насыпи; l — длина бьефа канала; S_b — стоимость сооружений; S_0 — стоимость 1 м² облицовки; S_P — стоимость планировки.

Определенная таким образом оптимальная по капитальным вложениям длина бьефов должна быть больше минимальной длины бьефа или равна ей ($l_{opt} \geqslant l_{min}$). В случае, если $l_{min} > l_{opt}$, длину бьефа принимают минимальной.

По сравнению с регулированием по нижнему бьефу при каскадном регулировании смешанного типа дополнительные затраты на выполнение горизонтальных дамб увеличиваются в случае необходимости обеспечивать пропуск аварийного расхода воды с вышерасположенных участков канала. При этом высоту от максимального уровня до бровки канала можно принимать по зависимости

$$h_1 \geqslant \zeta + h/2, \tag{14.5}$$

где ζ — высота волны пропуска, определяемая из зависимости $Q = \zeta B_b v$; Q — аварийный расход; B_b — ширина канала по урезу воды в голове бьефа;

v — скорость волны пропуска, определяемая по формуле $v=\sqrt{g\omega/B_b}$; ω — площадь поперечного сечения в голове бьефа; h — высота от максимального уровня воды до бровки, принимаемая по нормативным документам в зависимости от пропускной способности каналов.

В случае, когда $\zeta \leqslant h/2$, зависимости (14.2). . .(14.5) справедливы и для регулирования смешанного типа. Если $\zeta > h/2$, то необходимо увеличить дополнительную регулирующую емкость для пропуска аварийного расхода, а следовательно, и дополнительные затраты. Для выбора наивыгоднейшего варианта в некоторых случаях необходимо рассматривать варианты с различными уклонами дна канала. Затраты при различных вариантах подсчитывают по следующим зависимостям:

для каналов в полувыемке-полунасыпи, в земляном русле

$$\sum_{n=1}^{n} S_c \frac{l}{l_{opt}} + \sum_{n=1}^{n} \{S_3 (B_d + mh_m) h_m l_{opt} + S_1 [b + m(d_c - h_m)] d_c l_{opt}\} = S; \quad (14.6)$$

для каналов в полувыемке-полунасыпи с облицованным руслом

$$\sum_{n=1}^{n} S_c \frac{l}{l_{opt}} + \sum_{n=1}^{n} \{S_3 (B_d + mh_m) h_m l_{opt} + S_1 [b + m(d_c - h_m)] d_c l_{opt} + S_0 (b + 2d_c \sqrt{1+m^2}\, l_{opt})\} = S; \quad (14.7)$$

для каналов в выемке в земляном русле

$$\sum_{n=1}^{n} S_c \frac{l}{l_{opt}} + \sum_{n=1}^{n} S_1 (b + md_c) d_c l_{opt} = S; \quad (14.8)$$

для каналов в выемке с облицованным руслом

$$\sum_{n=1}^{n} S_c \frac{l}{l_{opt}} + \sum_{n=1}^{n} \{S_1 (b + md_c) d_c l_{opt} + S_0 (b + 2d_c \sqrt{1+m^2}\, l_{opt})\} = S, \quad (14.9)$$

где l — длина канала; b — ширина канала по дну; d_c — строительная глубина канала; S_1 — стоимость 1 м^3 выемки; n — число бьефов на рассматриваемом канале; S — общая стоимость варианта по каналу.

Сравнивая варианты, принимают канал с уклоном дна, при котором стоимость имеет минимальное значение ($S=S_{min}$). Затем подбирают оптимальное оборудование для автоматизации насосных станций подкачки и перекачки, а также устройства для диспетчеризации.

14.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

При создании систем централизованного контроля и управления (ЦКУ) и каскадного регулирования применяют приборы и средства автоматизации гидравлического и электрического действия.

Средства гидравлической автоматизации являются основой локального регулирования на самотечных гидротехнических сооружениях и по сравнению с электрическими имеют следующие достоинства: меньшая стоимость, более высокая надежность, отсутствие необходимости в обслуживающем персонале высокой квалификации. Недостатки: необходимость создания гидравлических перепадов на сооружениях, невозможность реализации дискретных законов регулирования и осуществления распределенного контроля по длине бьефов, зависимость работоспособности ряда автоматов от режима истечения через водовыпускные отверстия сооружений, невозможность централизованного контроля без дополнительных устройств, усложнение конструкций сооружений.

Гидравлические регуляторы обычно применяют на сооружениях с пропускной способностью до 10 м³/с.

По технологическому признаку различают гидравлические авторегуляторы уровня верхнего, нижнего бьефов, смешанного регулирования, поддержания постоянных гидравлических перепадов, авторегуляторы расхода, пропорциональные вододелители.

По отсутствию или наличию усилительно-преобразовательного устройства гидравлические авторегуляторы делятся на регуляторы прямого и непрямого действия. Регуляторы прямого действия характеризуются безынерционностью, имеют достаточно простую конструкцию, однако обычно они способны стабилизировать только один параметр (уровень верхнего или нижнего бьефа) с невысокой точностью. Регуляторы этого типа характеризуются сложностью изменения уставки вследствие значительной массы и громоздкости поплавковых чувствительных элементов. Многие конструкции гидрорегуляторов прямого действия способны работать только при свободном истечении через отверстие сооружения.

Гидрорегуляторы непрямого действия позволяют обеспечить более высокую точность регулирования, допускают изменение уставки, их можно использовать для реализации технологических схем смешанного регулирования и поддержания постоянных гидравлических перепадов. Такие устройства имеют обычно более сложную конструкцию и обладают инерционностью, из-за чего требуется увязка параметров регуляторов с динамическими характеристиками объекта регулирования.

Принцип действия гидравлических регуляторов основан на уравновешивании моментов сил, действующих на подвижные части относительно оси вращения (для затворов-автоматов с вращательным движением) или проекцией сил на ось перемещения (для устройств, в которых регулирующий орган совершает поступательное движение). Некоторые устройства для стабилизации уровня в верхнем бьефе и пропускаемого расхода воды могут быть выполнены без подвижных частей — водосливные пороги, сифоны, регуляторы расхода, принцип действия которых основан на уменьшении коэффициента расхода водопропускного отверстия при увеличении напора воды.

При проектировании гидравлических регуляторов выполняют статические расчеты подвижных частей, гидравлические расчеты элементов регулирующих устройств и сооружений в целом, расчет устойчивости и качества процесса регулирования.

Принципиальные схемы некоторых конструкций гидравлических водорегулирующих устройств, на которые составлены типовые проекты, и их технические характеристики приведены на рисунках 14.10. . .14.15 и в таблице 14.4.

Электрические средства автоматизации водораспределения можно разделить на три основные группы: средства измерения и контроля, средства автоматического регулирования и телекомплексы.

Средства измерения и контроля (датчики и измерительные приборы) предназначены для получения измерительной и контрольной информации об уровнях, перепадах уровней и расхода воды, о положении рабочих органов исполнительных устройств (затворов, задвижек, щитов).

Для измерения уровня и перепада уровней воды рекомендуется применять поплавковые датчики (УПМ-2, ДУ-01), датчики емкостного типа (РУС) и (ДУЕ-М), акустические датчики (ЭХО-3, УА-1), датчики гидростатического типа («Сапфир» 22ДГ, ДГДВ).

Расход воды в открытых каналах измеряют косвенным методом с использованием датчиков уровня, перепада уровней воды, а также положения затвора на специальных сооружениях. Для измерения расхода воды в закрытых трубопроводах рекомендуются ультразвуковые («Акустрон») и индукционные (ЭРИС-1, ЭРИС-3) расходомеры.

Электрические средства автоматического регулирования базируются на устройствах с «жесткой» логикой («Парус»-1), построенных на микросхемах средней интеграции и на программируемых микроконтроллерах («Миконт»-80). Для автоматического регулирования на насосных станциях и крупных сооружениях можно использовать также локальные телекомплексы

14.4. Гидравлические регуляторы уровня воды в открытых каналах

Тип и принцип действия	Достоинства	Недостатки	Область применения
Секторный прислонный прямодействующий затвор-автомат уровня верхнего бьефа (Средазгипроводхлопок). Принцип действия (рис. 14.10) основан на уравновешивании моментов сил, действующих относительно оси вращения затвора *1* — гидродинамического давления на напорную грань затвора, массы его герметичного сектора и балансира *2*	Простота конструкции и монтажа, надежность при эксплуатации, высокая пропускная способность сооружений и работоспособность при минимальных (0,05 м) гидравлических перепадах, относительно невысокая металлоемкость — 0,41...0,68 т на 1 м² перекрываемого отверстия, 0,57...0,71 т на 1 м² площади водопропускной трубы	Возможность стабилизации только уровня верхнего бьефа, малый (до 20% глубины канала) диапазон регулирования, сложность изменения уставки, большая погрешность стабилизации уровня (до 7 % глубины канала при свободном истечении), необходимость устройства оголовка для затвора	Открытые и трубчатые перегораживающие сооружения с пропускной способностью до 5 м³/с на каналах глубиной до 1,5 м
Регулятор уровня смешанного типа, непрямого действия с секторным прислонным затвором (Узгипроводхоз). Принцип действия (рис. 14.11) основан на уравновешивании моментов сил относительно оси *2*. Изменение степени заполнения затвора, определяющей угол его открытия, при стабилизации уровня нижнего бьефа осуществляется рабочим сифоном *4*, пропускная способность которого зависит от степени дросселирования входного отверстия воздуховода *5*, клапаном *6* поплавкового датчика *7*. При подъеме уровня в верхнем бьефе выше максимально допустимого заряжается аварийный сифон (на схеме не показан), затвор опорожняется и открывается	Высокая (±1,5 см) точность и широкий диапазон регулирования уровня, простота монтажа, настройки и изменения уставки, относительно невысокая металлоемкость — 0,41...0,62 т на 1 м² перекрываемого отверстия	Работоспособность при гидравлических перепадах не менее 0,5 м, снижение пропускной способности сооружений открытого типа на 15...55 %, особенно при значительной мутности потока, запаздывание при регулировании в период зарядки сифона, что снижает качество регулирования, необходимость устройства специального оголовка для установки затвора	Перегораживающие сооружения открытого типа пропускной способностью 0,1... 17 м³/с на каналах глубиной до 3,5 м

Продолжение

Тип и принцип действия	Достоинства	Недостатки	Область применения
Регулятор уровня нижнего бьефа прямого действия с цилиндрическим затвором (Укргипроводхоз). Принцип действия (рис. 14.12) основан на уравновешивании системы поплавок *3* — цилиндр *1*, которые установлены на коромысле *2*. Для увеличения пропускной способности применен отражатель *4*. В цилиндре установлена диафрагма *5*, выполняющая роль демпфера. Для защиты от переполнения канала поплавок *3* сообщен с верхним бьефом трубопроводом малого диаметра (на схеме не показан)	Простота конструкции, надежность в эксплуатации	Большая погрешность при стабилизации уровня, применимость при перепадах не менее 0,5 м, значительная металлоемкость — 0,71...2,02 т на 1 м² площади трубы, уменьшение пропускной способности трубчатых сооружений до 45 %, сложность изменения уставки, повышенные требования к качеству монтажа, ускорение заиления труб, существенное удорожание строительной части сооружений	Перегораживающие и водовыпускные сооружения пропускной способностью 0,5... 4,2 м³/с и перепадом 0,5...4 м
Регулятор уровня нижнего бьефа непрямого действия с мембранным затвором (Укргипроводхоз). Работа основана (рис. 14.13) на уравновешивании проекций сил на вертикальную ось перемещения мембраны *2*. Давление воды на мембрану со стороны над мембраной камеры определяется положением поплавка *5*, связанного с золотником *6*	Простота конструкции, монтажа и изменения установки, высокая (±2 см) точность регулирования	Работоспособен при перепадах не менее 0,5 м, ухудшенные условия пропуска плавника, значительное (до 40 %) снижение пропускной способности сооружения с усложнением его конструкции, быстрое заиление надмембранной камеры при высокой мутности потока, высокая металлоемкость — 0,97...1,21 т на 1 м² площади водовыпускной трубы	Трубчатые перегораживающие и водовыпускные сооружения пропускной способностью до 4,1 м³/с и перепадом 0,5...5 м

Продолжение

Тип и принцип действия	Достоинства	Недостатки	Область применения
Регулятор уровня верхнего, нижнего бьефа смешанного типа непрямого действия с секторным прислонным затвором (УкрНИИГиМ, Укргипроводхоз). Принцип действия (рис. 14.14) основан на уравновешивании моментов сил, действующих относительно оси вращения затвора. Величина пригрузки камеры затвора водой определяется значениями напоров в клапанных коробках *6*, зависящих от положения штоков поплавковых датчиков. В регуляторах уровня верхнего или нижнего бьефа один из датчиков исключается	Высокая (±2 см) точность и широкий диапазон регулирования уровня, простота монтажа и изменения уставки, практически полная пропускная способность сооружения при перепадах 0,15 м и более, относительно невысокая металлоемкость — 0,19...0,22 т на 1 м² перекрываемого отверстия, 0,37...0,52 т на 1 м² площади водопропускной трубы	Необходимость устройства оголовка для затвора, что удорожает сооружение, наличие находящегося в потоке гибкого шланга снижает надежность	Трубчатые перегораживающие сооружения пропускной способностью до 5 м³/с и перепадом от 0,15 м на каналах глубиной до 2,5 м
Регуляторы уровня нижнего бьефа непрямого действия с эластичным затвором (КТЦ «Автоматизация и метрология» Минводхоза СССР). Принцип действия (рис. 14.15) состоит в уравновешивании сил гидродинамического давления, действующих на эластичную оболочку затвора *2* со стороны верхнего и нижнего бьефов и полости затвора. Давление в полости затвора зависит от степени дросселирования сливного отверстия *5* ленточным клапаном, связанным с поплавком *6*	Высокая (±2 см) точность, малая материалоемкость, не усложняется конструкция сооружения	Снижение пропускной способности сооружения до 30 %, необходимость демонтажа на зиму, значительные (до 5 % полной пропускной способности сооружения) потери воды при полностью закрытом затворе	Трубчатые сооружения рисовых систем с диаметрами водопропускных труб 0,2...0,6 м

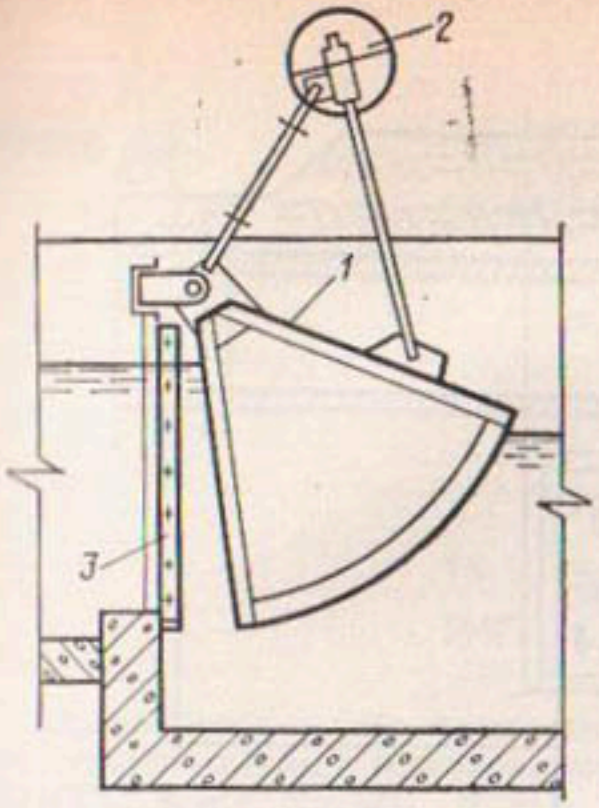


Рис. 14.10. Секторный прислонный прямодействующий затвор-автомат уровня верхнего бьефа (ГП):

1 — затвор; *2* — балансир; *3* — уплотнительная рама

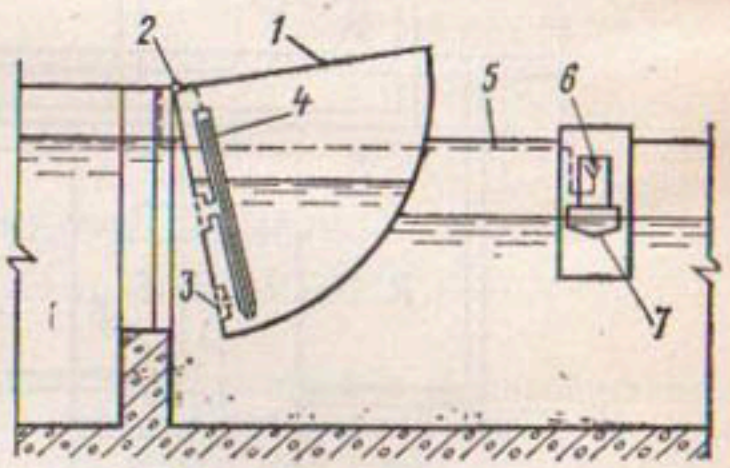


Рис. 14.11. Регулятор уровня смешанного типа непрямого действия с секторным прислонным затвором (ЗПВ):

1 — затвор; *2* — ось вращения; *3* — впускное отверстие; *4* — рабочий сифон; *5* — воздуховод; *6* — клапан; *7* — поплавок

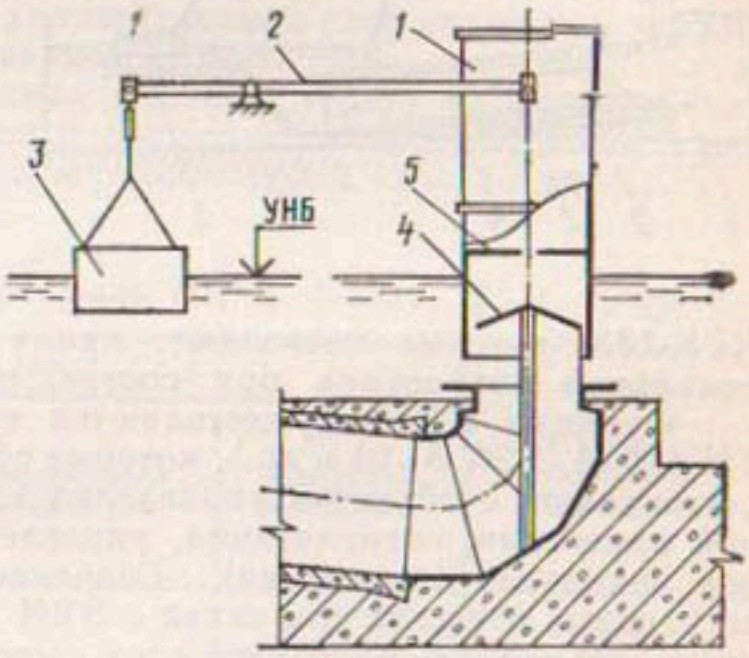


Рис. 14.12. Регулятор уровня нижнего бьефа с цилиндрическим затвором (ЗП):

1 — затвор; *2* — коромысло; *3* — поплавок-противовес; *4* — отражатель; *5* — диафрагма

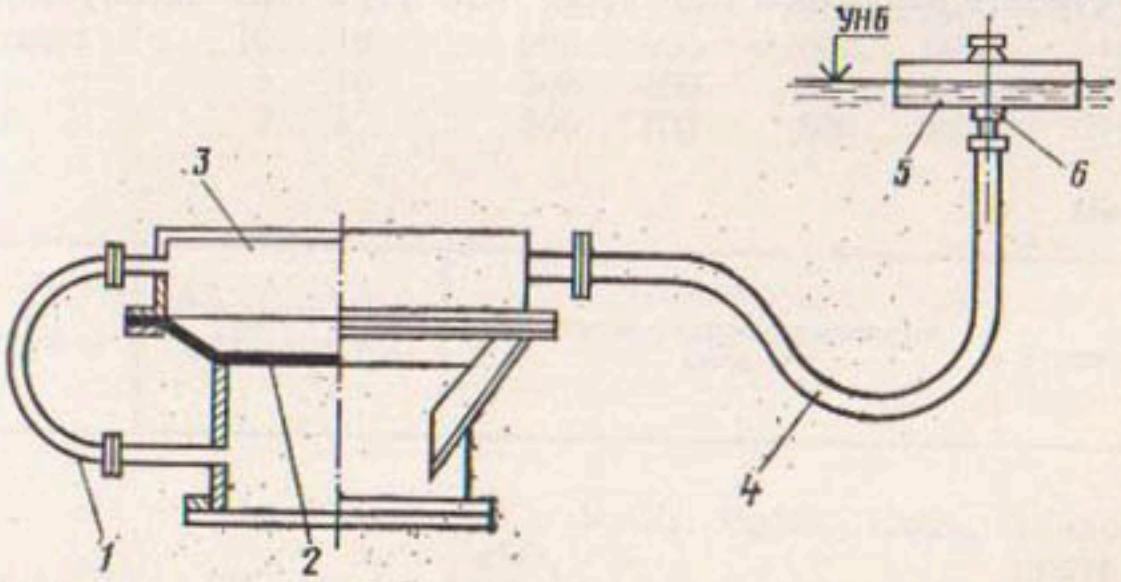


Рис. 14.13. Регулятор уровня нижнего бьефа с мембранным затвором (ГДН)

1 — импульсная трубка; *2* — мембрана; *3* — камера; *4* — соединительный трубопровод; *5* — поплавок; *6* — золотник

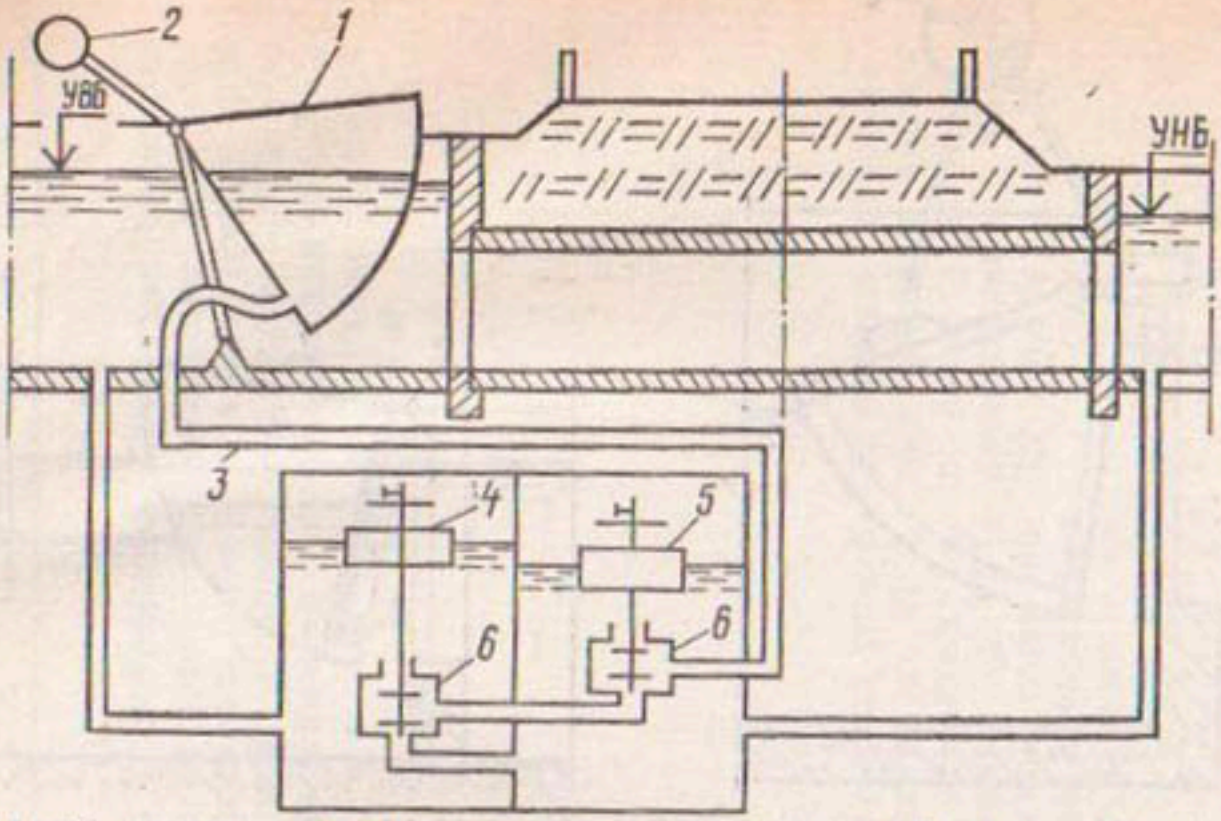


Рис. 14.14. Регулятор смешанного типа непрямого действия с секторным затвором (РСЗ):

1 — затвор; *2* — противовес; *3* — питающий трубопровод; *4* — то же верхнего бьефа; *5* — поплавковый датчик уровня нижнего бьефа; *6* — клапанная коробка

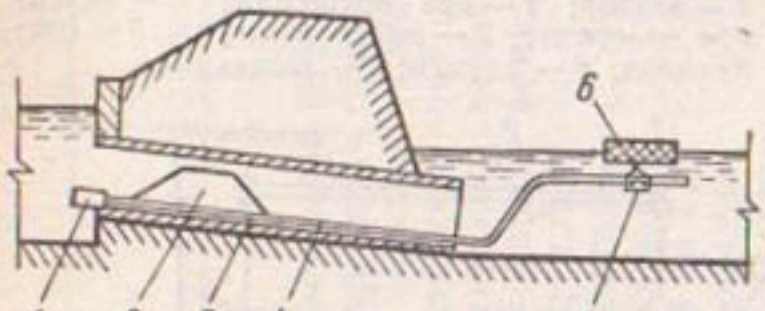


Рис. 14.15. Регулятор нижнего бьефа с гибким затвором (РУР, РУРО):

1 — фильтр; *2* — затвор; *3* — отверстия, сообщающие импульсную трубку с затвором; *4* — импульсная трубка; *5* — сливное отверстие; *6* — поплавок

ЛТК-133, которые позволяют, кроме функций ЦКУ, выполнять задачи локальной автоматики при соответствующем программировании.

Функции ЦКУ осуществляются телекомплексами (ТК-132, ЛТК-133, ТМ-120-М, КЭТ 51.01 и др.), которые обеспечивают взаимодействие диспетчера-технолога с объектом управления на расстоянии при помощи телеопераций измерения, сигнализации, управления, регулирования (передачи уставок локальной автоматики). Современные телекомплексы содержат также встроенные средства для связи с ЭВМ и аппаратурой передачи данных, что позволяет строить различной сложности АСУ ТП и АСУ эксплуатацией.

Глава 15. РАССОЛЕНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

15.1. ЗАСОЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ. ТИП И СТЕПЕНЬ ЗАСОЛЕНИЯ

Засолением почвы называют избыточное скопление в корнеобитаемом слое электролитных (растворенных или поглощенных) солей $MgCl_2$, $NaCO_3$, $NaHCO_3$, NaCl, Na_2SO_4, $MgSO_4$, которые угнетают или губят сельскохозяйственные растения, снижают урожай и его качество. Различают два вида засоления: природное (первичное), зависящее от естественных факторов, и вторичное, связанное с деятельностью человека (табл. 15.1, рис. 15.1).

Основные причины вторичного засоления почв следующие: подъем уровня минерализованных грунтовых вод и интенсивное их испарение; перераспределение запасов легкорастворимых солей в почвогрунтах зоны аэрации без общего подъема грунтовых вод при периодическом увлажнении — иссушении почв; накопление солей в корнеобитаемом слое почвы при использовании на орошение минерализованной воды.

Вторичное засоление вызывает снижение или утрату плодородия орошаемых почв в результате накопления большого количества легкорастворимых и вредных для растений солей в корнеобитаемом слое почвы.

15.1. Природные условия и засоление земель (В. А. Ковда, В. В. Егоров)

Природная зона	Климат			Остаточное засоление осадочных пород
	среднегодовая температура, °С	атмосферные осадки, мм	испаряемость, мм	
Пустыни	15...18	80...100	2000...2500	Обычно
Полупустыни	10...12	200...300	1000...1500	Часто
Степи	5...10	300...500	800...1000	Редко
Лесостепи	3...5	500...700	500...800	Нет

Продолжение

Природная зона	Минерализация грунтовых вод, г/л	Наиболее распространенные соли	Засоление земель
Пустыни	До 200	NaCl, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, $CaSO_4$	Широко распространено
Полупустыни	До 150	NaCl, Na_2SO_4, $MgSO_4$	Встречается часто
Степи	До 50	Na_2SO_4, NaCl, Na_2CO_3, $NaHCO_3$, $CaSO_4$	Встречается редко
Лесостепи	1...3	$NaHCO_3$, Na_2CO_3, Na_2SO_4	Очень редко

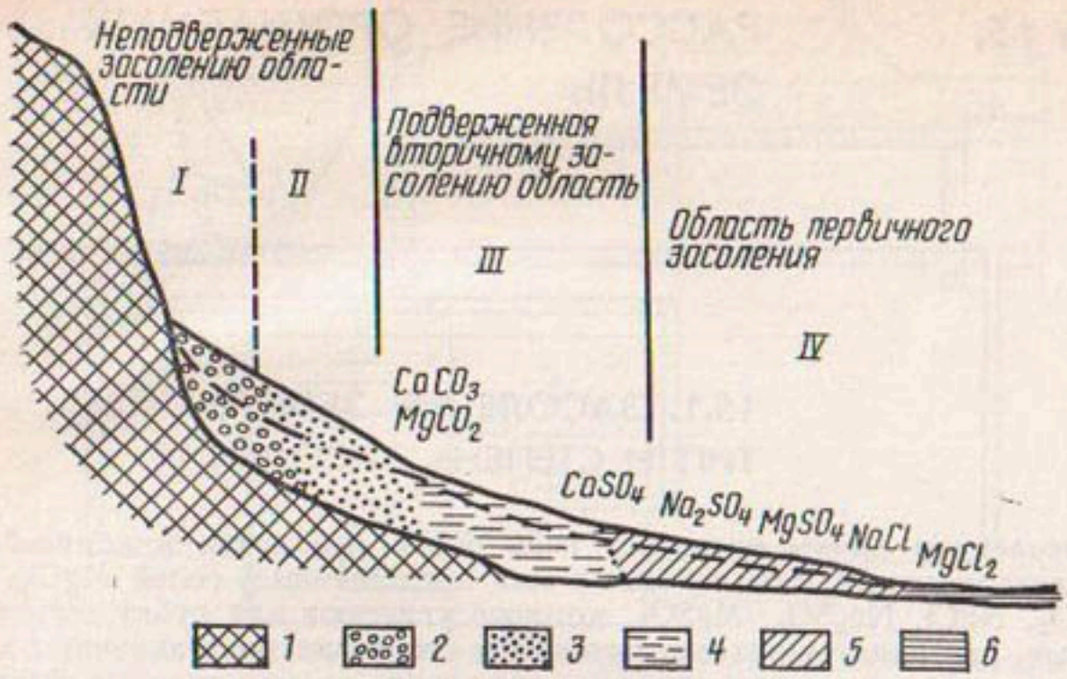


Рис. 15.1. Строение пород в конусах выноса горных рек (в разрезе) и порядок выпадения солей в осадок (по В. В. Егорову):

1 — горные породы; *2* — галечник; *3* — пески крупные и мелкие; *4* — супеси; *5* — суглинки; *6* — глины

Засоленные земли делятся на две группы — **нейтрального** засоления, содержащие в основном хлориды и сульфаты натрия, и **щелочного** засоления, содержащие главным образом карбонаты и гидрокарбонаты натрия. Нейтральное засоление распространено, как правило, в пустынях и полупустынях, щелочное — в степной, лесостепной зонах.

Засоленные земли подразделяются по типу засоления, по степени засоления (табл. 15.2) и по глубине залегания солевого горизонта.

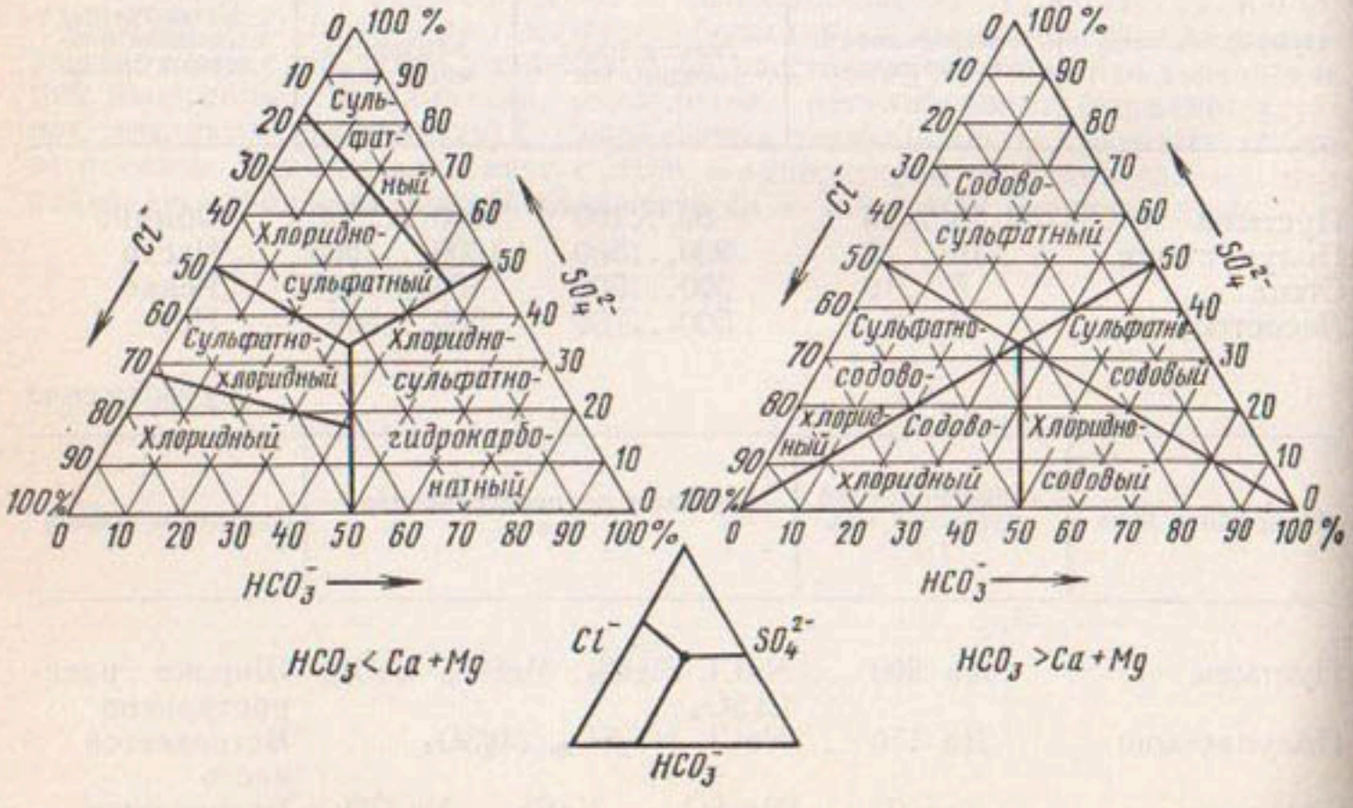


Рис. 15.2. Тип засоления почв в зависимости от соотношения анионов и катионов в водной вытяжке (Я. А. Пачепский)

15.2. **Классификация земель по степени засоления** (Н. И. Базилевич, Е. И. Панкова, В. В. Егоров и др.)

Тип засоления	Показатель, %	Степень засоления			
		слабая	средняя	сильная	очень сильная
Хлоридный и сульфатно-хлоридный	Σ солей	0,1...0,2	0,2...0,4	0,4...0,8	0,8
	Cl	0,01...0,03	0,03...0,10	0,1...0,25	0,23
Хлоридно-сульфатный	Σ солей	0,2...0,4	0,4...0,6	0,6...0,9	0,9
	Cl	0,01...0,03	0,03...0,10	0,1...0,23	0,23
Сульфатный	Σ солей	0,3...0,4	0,4...0,8	0,8...1,2	1,2
	Cl	0,02	0,06	0,12	0,12
Хлоридно-содовый и содово-хлоридный	Σ солей	0,1...0,2	0,2...0,3	0,3...0,5	0,5
	Cl	0,01...0,03	0,07	0,1	0,1
	CO_3	0,001...0,002	0,002...0,006	0,005...0,01	0,01
	HCO_3	0,08	0,08...0,12	0,12...0,18	0,18
Сульфатно-содовый и содово-сульфатный	Σ солей	0,15...0,25	0,25...0,4	0,4...0,6	0,6
	SO_4	0,04...0,07	0,2	0,20	0,20
	CO_3	0,001...0,002	0,002...0,009	0,009...0,015	0,015
	HCO_3	0,08	0,08...0,15	0,15...0,20	0,20
Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный	Σ солей	0,2...0,4	0,3...0,5	Не встречаются	
	Cl	0,03	0,07	» »	
	SO_4	0,1	0,12	» »	
	HCO_3	0,12	0,15	» »	

Почвы	Глубина залегания солевого горизонта, см
Солончаковые	0...30
Солончаковатые	30...80
Глубокосолончаковатые	80...150
Глубокозасоленные	>150

Тип засоления почв можно определить с помощью номограммы (рис. 15.2).

15.2. СОЛОНЦЫ, КОМПЛЕКСНЫЙ ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

К солонцам относятся почвы, содержащие в гумусовом горизонте такое количество обменного натрия, которое обусловливает развитие в почвах комплекса неблагоприятных свойств — щелочную реакцию, высокую дисперсность минеральной части, связность, набухание при увлажнении, сильное уплотнение и твердость при иссушении.

Солонцы и солонцеватые почвы классифицируют по глубине залегания солонцового горизонта, карбонатов, гипса и по содержанию обменного натрия (табл. 15.3).

Солонцы развиваются особенно в сухостепной зоне в сочетании с другими почвенными разностями, образуя сложный комплексный почвенный покров. В зависимости от размера солонцовых пятен различают микрокомплексы — ⩽100 м², мезокомплексы — >100 м², по участию солонцовых пятен — комплексы с содержанием солонцов от 10, 10. . .25, 25. . .50 и более 50 %.

Общая площадь солонцов в СССР составляет более 100 млн га, в том числе 83 млн га на сельскохозяйственных угодьях, из них 19,4 млн га пашни; широко развиты комплексные почвы с содержанием от 10 до 50 % и более солонцов.

Тип солонцов характеризует природную зону и условия гидроморфизма.

Подтипы солонцов определяют наличие водно-растворимых солей, глубину залегания солевых горизонтов:

солонцы солончаковые — солевой горизонт расположен на глубине не более 30 см; степень засоления 2. . .3 %;

солонцы типичные (солончаковатые) — соли с глубины 30. . .60 см; содержание солей 0,5. . .1,5 %;

солонцы остаточные — засоление во 2-м метре, количество солей 0,4. . . 0,6 %;

15.3. Различие солонцов и солонцеватости почв по отдельным признакам (Н. Г. Минашина, В. В. Егоров)

По глубине залегания солонцового горизонта	По глубине залегания карбонатов	По глубине залегания гипса	По содержанию обменного натрия
Мелкосолонцеватые, 0...20 см	Высококарбонатные, <60 см	Высокогипсовые, <60 см	Слабосолонцеватые, 5...10 % ППК *
Среднесолонцеватые, 20...60 см	Глубококарбонатные, >60 см	Глубокогипсовые, >60 см	Среднесолонцеватые, 10...25 % ППК
Глубокосолонцеватые, >60 см	—	—	Сильносолонцеватые и солонцы, >25 % ППК

* ППК — почвенный поглощающий комплекс.

Тип почвы	Генетическая характеристика
Черноземные солонцы	Автоморфные. УГВ—5...7 м. Распространены на засоленных породах, в понижениях на древних речных террасах, в виде крупных массивов или пятен в комплексах
Лугово-черноземные солонцы	Полугидроморфные. УГВ—3...5 м. Встречаются на недренированных равнинах, древних речных террасах, понижениях с близким уровнем грунтовых вод, в виде крупных массивов и в комплексах
Каштановые солонцы	Автоморфные. УГВ—5...7 м и более. Водный режим непромывной, широко распространены в зоне каштановых почв Причерноморской, Приазовской и Прикаспийской низменностях в основном в виде комплексов
Лугово-каштановые солонцы	Полугидроморфные. УГВ—3. . .5 м. Широко распространены в Юго-Западной (Причерноморская низменность, Крым) и Юго-Восточной (Прикаспийская низменность) провинциях.
Луговые солонцы степей	Недренированные равнины. Гидроморфные. УГВ—1. . .3 м. Распространены в черноземной и каштановой зонах на террасах рек, озер, соров
Солонцы полупустынные	Автоморфные. УГВ—более 5...7 м. Сформировались на засоленных породах с близким к поверхности солевым горизонтом в результате опустынивания гидроморфных солонцов. Встречаются в виде сплошных массивов или комплексов с пустынными бурыми почвами
Лугово-полупустынные солонцы	Полугидроморфные. Формирование их обусловлено влиянием на миграционные солевые процессы грунтового и поверхностного увлажнения при наличии подстилающих засоленных малодренированных пород

солонцы осолоделые — соли расположены глубже 150 см, выделяется осолоделый горизонт А, имеющий кислую реакцию почвенного раствора ($pH < 7$).

Солонцы делятся по типу образовавших их солей, связанных с породообразующими минералами, к их числу относятся солонцы нейтрального типа засоления, нейтрального типа с участием соды ($CO_3 \geqslant 0{,}03$ мг·экв, $HCO_3 \geqslant \geqslant 1{,}4$ мг·экв на 100 г) и содового типа. Виды солонцов характеризуются по развитию солонцового профиля (табл. 15.4).

Встречаются почвы, в которых морфологические признаки солонцеватости не коррелируют с содержанием обменного натрия. В них часто наблюдается повышенное количество обменного магния и сохраняются отрицательные водные и физические свойства, снижающие агрономические качества.

15.4. Виды солонцов по развитию солонцового профиля

Мощность гумусового слоя А, см	Мощность солонцовой толщи (А+В), см	Степень солонцеватости, % обменного натрия
Мелкие, <10	Маломощные, <30	Высокая, >40
Средние, 10...18	Среднемощные, 30...40	Средняя, 25...40
Глубокие, >18	Мощные, >40	Низкая, <25
		Остаточная, <10

15.3. СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОРОГА ТОКСИЧНОСТИ СОЛЕЙ

По солеустойчивости сельскохозяйственные растения подразделяются на слабо-, среднесолеустойчивые и солеустойчивые.

Слабосолеустойчивые	Среднесолеустойчивые	Солеустойчивые
Клевер	Зерновые	Свекла сахарная
Люцерна молодая	Джугара	Свекла кормовая
Тимофеевка	Кунжут	Арбуз
Эспарцет	Лук	Хлопчатник
Миндаль	Помидоры	Рис
Слива	Хлопчатник (длинноволокнистый)	Лох
Яблоня	Инжир	Гранат
Тополь пирамидальный	Груша	Карагач
	Шелковица	Акация
	Фисташка	Тамариск
	Акация белая	Саксаул черный
	Алыча (некоторые сорта)	

В таблице 15.5 дана характеристика сельскохозяйственных культур по солеустойчивости и солонцеустойчивости.

Степень засоления почв характеризуется также показателем токсичности. Предельное значение его, выше которого начинается угнетение роста и развития сельскохозяйственных культур, является **порогом токсичности.** Наибольшей токсичностью для растений в почвах обладают бикарбонаты щелочей, затем идут хлориды и нитраты щелочей; наименьшей токсичностью отличаются сульфаты. Смеси солей всегда менее токсичны, чем их более чистые скопления. Степень токсичности основных водорастворимых солей (по Л. П. Розову) представлена следующим образом:

$NaCl$	Na_2SO_4	Na_2CO_3	$NaHCO_3$
$MgCl_2$	$MgSO_4$	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$
$CaCl_2$	$CaSO_4$	$CaCO_3$	$Ca(HCO_3)_2$

Соли, расположенные выше черты, вредны для растений. Наиболее токсичны из них сода, хлористый и сернокислый натрий.

Значения порогов токсичности, ниже которых обеспечивается нормальное развитие всех сельскохозяйственных культур, приведены в таблицах 15.6. . .15.8.

15.5. Соле- и солонцеустойчивость культур

Культура	Солеустойчивость	Солонцеустойчивость
Донник белый и желтый	Сильная	Сильная
Волоснец сибирский, пырей бескорневищный, пырей сизый	Средняя	»
Горчица	Сильная	»
Ячмень	Средняя	»
Суданская трава	Слабая	»

15.6. Допустимое содержание солей в корнеобитаемом слое почвы, %

Тип засоления почв	Сумма токсичных солей	В том числе ионы		
		Cl^-	Na^+	HCO_3^-
Хлоридное	0,05	0,02	0,026	—
Сульфатно-хлоридное	0,05	0,02	0,026	—
Хлоридно-сульфатное	0,10	0,02	0,026	—
Сульфатное (с малым содержанием гипса)	0,15	0,02	0,026	—
Сульфатное (с высоким содержанием гипса)	0,15	0,02	0,026	—
Содовое	0,05	0,01	0,026	0,08
Хлоридно-содовое и содово-хлоридное	0,10	0,01	0,026	0,08
Сульфатно-содовое и содово-сульфатное	0,15	0,01	0,026	0,08
Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатное	0,15	0,01	0,026	0,08

15.7. Порог токсичности ионов при разных типах засоления по данным водных вытяжек (Н. И. Базилевич, Е. И. Панкова)

Возможное содержание ионов, $\frac{\%}{мг\text{-}экв}$

CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}		
			сульфатно- или хлоридно-карбонатное	хлоридно-содовое, содово-хлоридное, сульфатно-хлоридное	сульфатно-содовое
$< \frac{0,001}{0,03}$	$< \frac{0,08}{1,40}$	$< \frac{0,01}{0,30}$	$< \frac{0,04}{0,90}$	$< \frac{0,01}{0,30}$	$< \frac{0,02}{0,50}$

Продолжение

Возможное содержание ионов, $\frac{\%}{мг\text{-}экв}$

SO_4^{2-}			
		сульфатное	
содово-сульфатное	хлоридно-сульфатное	с малым количеством гипса	с повышенным количеством гипса
$< \frac{0,08}{1,70}$	$< \frac{0,07}{1,50}$	$< \frac{0,16\ (до\ 0,68)\ *}{3,40\ (до\ 14,2)}$	$< \frac{0,68}{14,2}$

* В зависимости от содержания гипса.

15.8. Зависимость относительной урожайности Y среднесолеустойчивых сельскохозяйственных культур от типа и степени засоления (по сумме солей в водной вытяжке C)

Засоление почв	Пороговое значение C_*	Зависимость Y от C при $C > C_*$
Хлоридное	0,10	$Y = \exp[2,16\,(0,10 - C)]$
Хлоридно-сульфатное	0,20	$Y = \exp[1,48\,(0,20 - C)]$
Сульфатное (с малым содержанием гипса)	0,30	$Y = \exp[0,87\,(0,30 - C)]$
Сульфатное (с большим содержанием гипса)	0,90	$Y = \exp[1,64\,(0,90 - C]$
Содовое	0,05	$Y = \exp[-6,81\,C^2]$
Хлоридно-содовое и содово-хлоридное	0,10	$Y = \exp[4,35\,(0,01 - C^2)]$
Сульфатно-содовое и содово-сульфатное	0,15	$Y = \exp[2,97\,(0,02 - C^2)]$
Осолонцевание	0,05	$Y = \exp[19,3\,(0,0025 - C^2)]$

Примечание. C — доля Na в сумме обменных катионов.

15.4. ПРОМЫВКА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

15.4.1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫВОК

Промывку земель проводят путем подачи воды в почву в объеме, позволяющем переместить солевые растворы за пределы активного корнеобитаемого слоя, который в зависимости от возделываемых культур составляет 0,6. . .1,5 м.

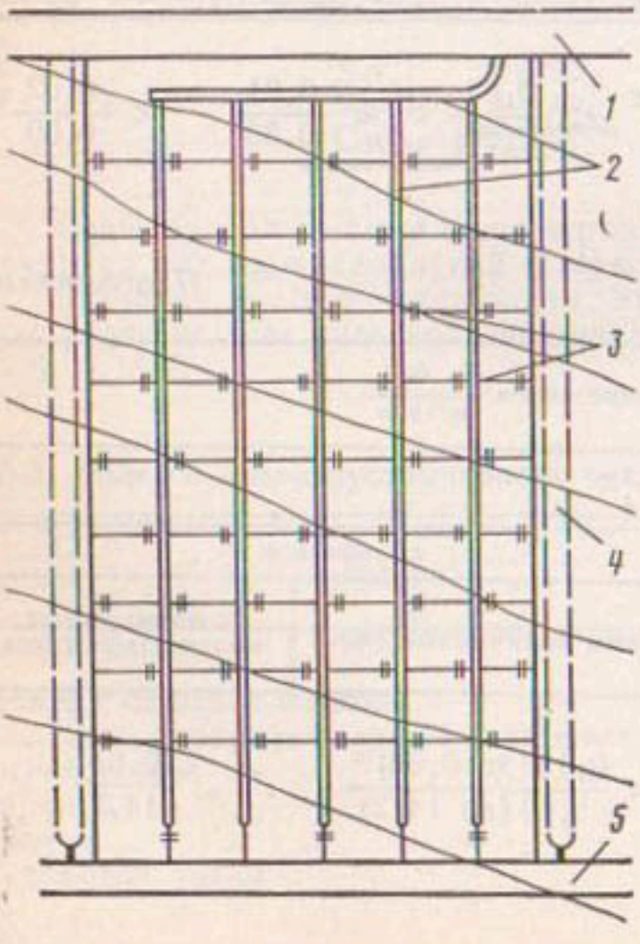


Рис. 15.3. Расположение цепочек чеков в междренье, устроенных при прокладке поперечных водоудерживающих валиков и продольных временных мелких дрен с водоудерживающими банкетами:

1 — открытый собиратель; *2* — временные мелкие дрены и их собиратель; *3* — поперечные водоудерживающие валики с водовыпусками; *4* — закрытые дрены; *5* — участковый ороситель

Промывки по организационно-хозяйственным особенностям проведения работ делятся на капитальные и эксплуатационные. Их проводят на фоне горизонтального, вертикального или комбинированного дренажа. В некоторых случаях допускается «осаживание» солей вглубь, в свободную емкость при автоморфном режиме почвогрунтов.

Промывки проводят по мелким чекам отдельными тактами без сброса промывной воды, по мелким чекам с постоянным затоплением, перепуском воды из чека в чек и частичным поверхностным сбросом, по крупным чекам отдельными тактами.

15.9. Расходы и глубина воды во временных оросителях и выводных бороздах в зависимости от уклона

Уклон дна временного оросителя	Расход воды, л/с					
	60		80		100	
	ширина по дну, см	глубина воды, см	ширина по дну, см	глубина воды, см	ширина по дну, см	глубина воды, см
Менее 0,001	50	35	50	40	50	45
0,001...0,003	50	30	50	35	50	40
0,003...0,005	50	25	50	30	50	35

Промывки по мелким чекам или цепочкам чеков — один из самых распространенных способов на слабопроницаемых почвах при устройстве временного дренажа (рис. 15.3). Для затопления участка прокладывают поперечные водоудерживающие валики высотой 25. . .30 см. Разность напоров воды при затоплении не должна превышать 5 см. Вода подается из оросителя из чека в чек по цепочке длиной 200. . .300 м.

Размеры чеков определяются расстояниями между временными дренами (20. . .50 м), которые выполняют в виде открытых каналов глубиной 0,8. . . 1 м. Временные дрены соединяются временным коллектором глубиной 1. . . 1,2 м.

Поперечные сечения элементов промывной сети приведены на рисунке 15.4, а расходы и глубина воды в канале в зависимости от уклонов — в таблице 15.9.

При мелиорации земель почвы, требующие продолжительности промывок более 90. . .100 сут, можно одновременно использовать для выращивания затопляемого риса. Основные требования агротехники, обеспечивающие удовлетворительный урожай риса, выращиваемого при промывке засоленных земель, следующие: тщательная планировка поверхности участка, регулирование беспрерывного уровня затопления от посевов до выхода в трубку не более 5 см и после — 10. . .15 см, соблюдение оптимальных сроков посевов риса (например, в Средней Азии это вторая половина апреля — начало мая).

Для предотвращения разрушения дренажно-коллекторной сети сброс оросительной воды в нее не допускается. При неизбежности сброса некоторого объема воды необходимо выделять часть площади в нижней части участка.

Наиболее эффективны промывка по мелким чекам отдельными тактами без сброса промывной воды, полосовая промывка от центра междренья к дренам (рис. 15.5). Начинают ее с затопления центральной полосы, на которую подают всю промывную норму, на средние полосы — 60 %, а на придренные — 50 % расчетной нормы. Очередную полосу затопляют после того, как в предыдущую подано заданное количество промывной воды.

Промывки по крупным чекам применяют на почвогрунтах с коэффициентами фильтрации $k>1$ м/сут при малых уклонах поверхности. Водоудерживающие валы высотой 60. . .80 см (рис. 15.6) отсыпают бульдозером, сообразуясь с горизонталями местности. Площадь чеков равна 1. . .3 га. Валы, прилегающие к дренам, располагают на расстоянии 40. . .50 м от них для предохранения их от разрушения. Допустимый перепад напоров при затоплении в чеке — 10. . .15 см.

Такое расположение чеков внутри междренья (рис. 15.7) дает возможность применить полосовой метод затопления, что повышает эффективность промывки, так как скорость фильтрации воды в придренных зонах участка значительно больше, чем в средней части междренья. В зависимости от нормы промывки и глубины наполнения чеков их затопление повторяют несколько раз. Благодаря значительному слою воды этот способ можно применять в зимнее время.

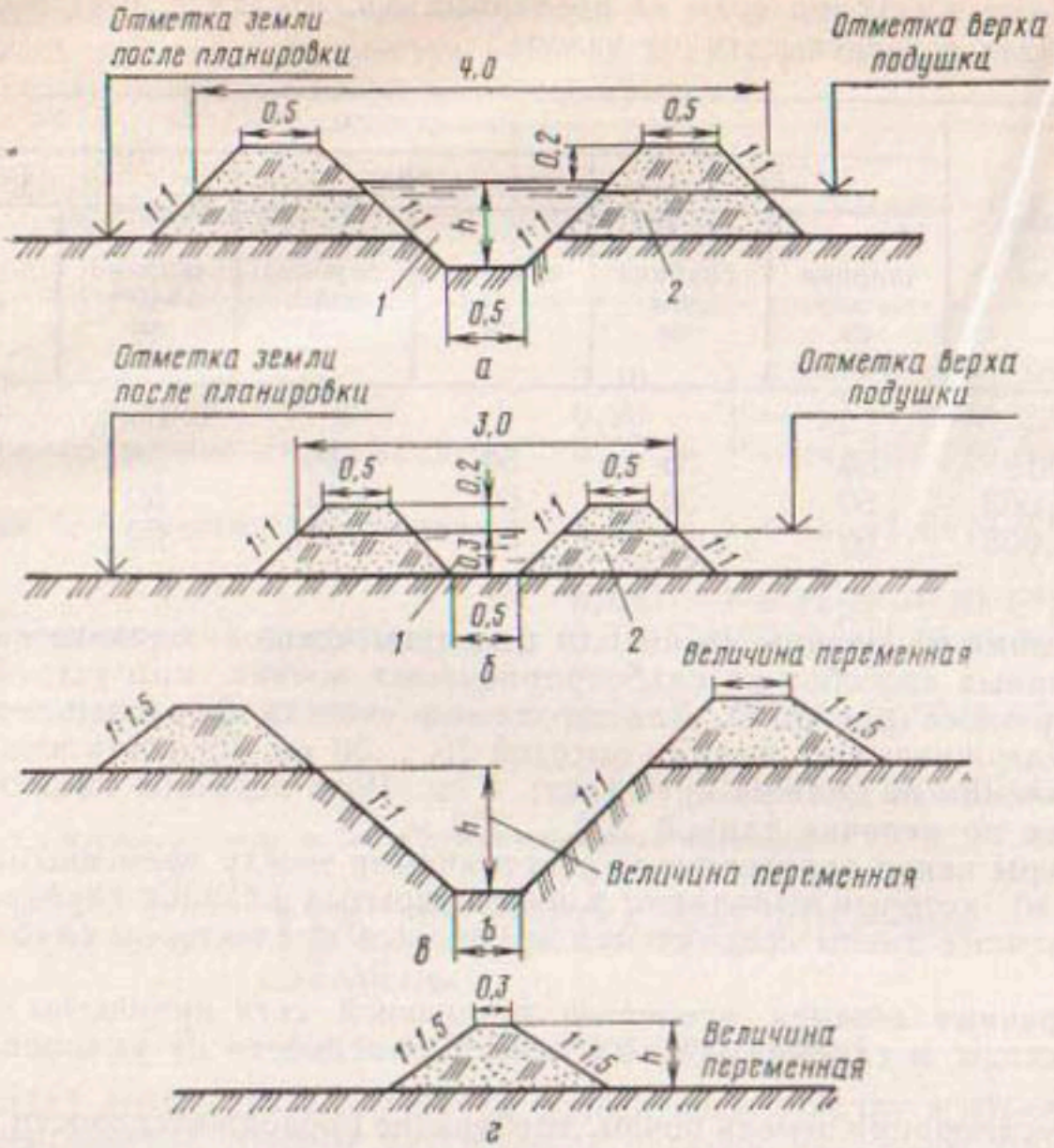
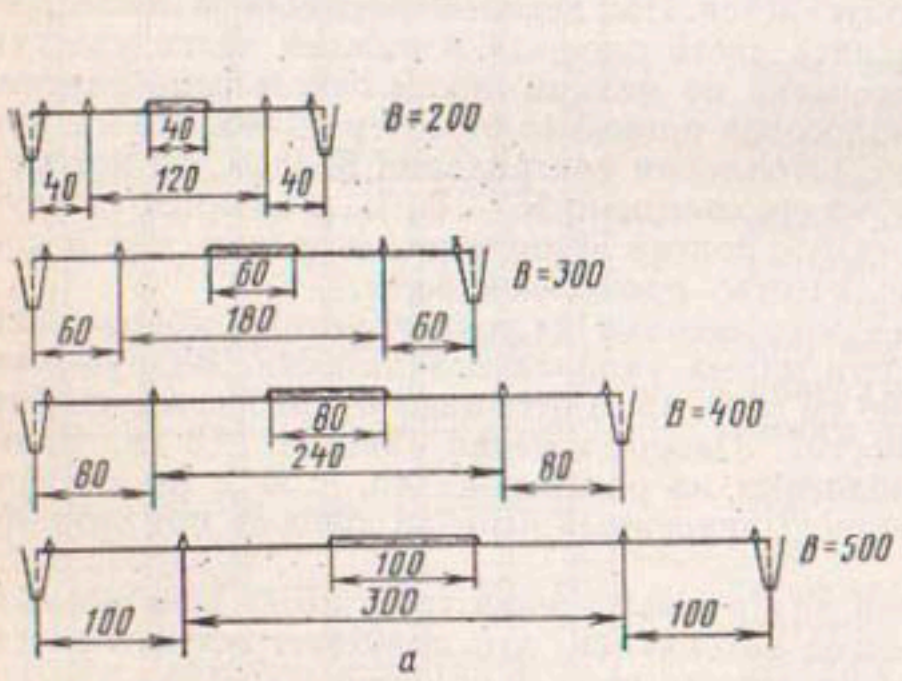


Рис. 15.4. Поперечные сечения элементов промывной сети:

а — временный ороситель; *б* — выводная борозда; *в* — временная дрена; картовый и групповой временные сбросы; *г* — валик чека; *1* — нарезка канала каналокопателем; *2* — отсыпка подушки (размеры в м)



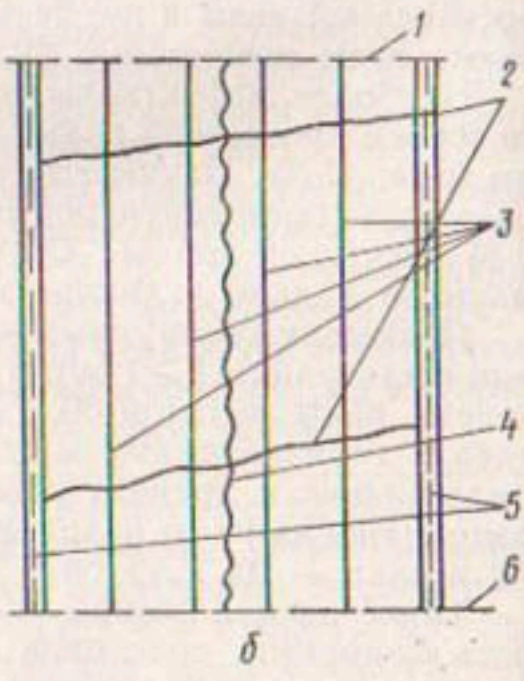


Рис. 15.5. Схемы полосовых промывок:

а — размеры промывных полос при различных междренных расстояниях; *б* — разбивка поля на промывные полосы; *1* — собиратель; *2* — поперечные валики; *3* — продольные валики; *4* — временный ороситель; *5* — дрены; *6* — ороситель (размеры в м)

При проектировании капитальных промывок на фоне вертикального дренажа необходимо выделить зону активного влияния скважины. В этой зоне, площадь которой зависит от гидрогеологических условий, промывку можно проводить без временного дренажа по крупным и средним чекам в любой комбинации в зависимости от уклонов местности.

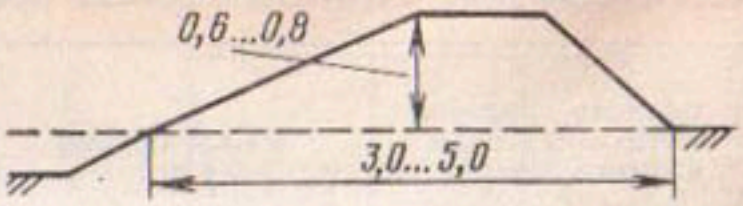


Рис. 15.6. Профиль вала крупного чека с уположенным водоудерживающим откосом (размеры в м)

Трудномелиорируемые сильнозасоленные земли можно промывать в два цикла с использованием временного дренажа.

15.10. Основные элементы техники промывки по бороздам

Водопроницаемость почвогрунтов	Средний уклон					
	0,005		0,00175		0,0005	
	l	q	l	q	l	q
Сильная (супеси и легкие суглинки, подстилаемые галечниками)	175	0,75	225	1,50	150	1,00
Повышенная (легкие суглинки)	275	0,75	300	1,00	250	0,75
Средняя (средние суглинки)	325	0,50	350	0,50	350	0,50
Пониженная (тяжелые суглинки с прослойками средних)	400	0,25	425	0,25	550	0,55
Слабая (глины и суглинки, подстилаемые водонепроницаемыми прослойками)	375	0,10	400	0,10	850	0,25

Примечание. l — длина борозды, м; q — расход поливной струи, л/с.

В процессе капитальной промывки возможно прерывистое затопление. Перерывы в подаче воды способствуют выравниванию концентрации солей в межагрегатном почвенном растворе и внутри агрегатов, что повышает эффективность единицы объема воды в рассолении почвы.

Сроки эксплуатационных промывок определяются динамикой сезонного накопления легкорастворимых солей. В зависимости от природно-хозяйственных условий их проводят или в вегетационный период, увеличивая поливные нормы, или во вневегетационный — промывными поливами.

Промывки в эксплуатационный период проводят по бороздам или полосам. Промывку по бороздам при-

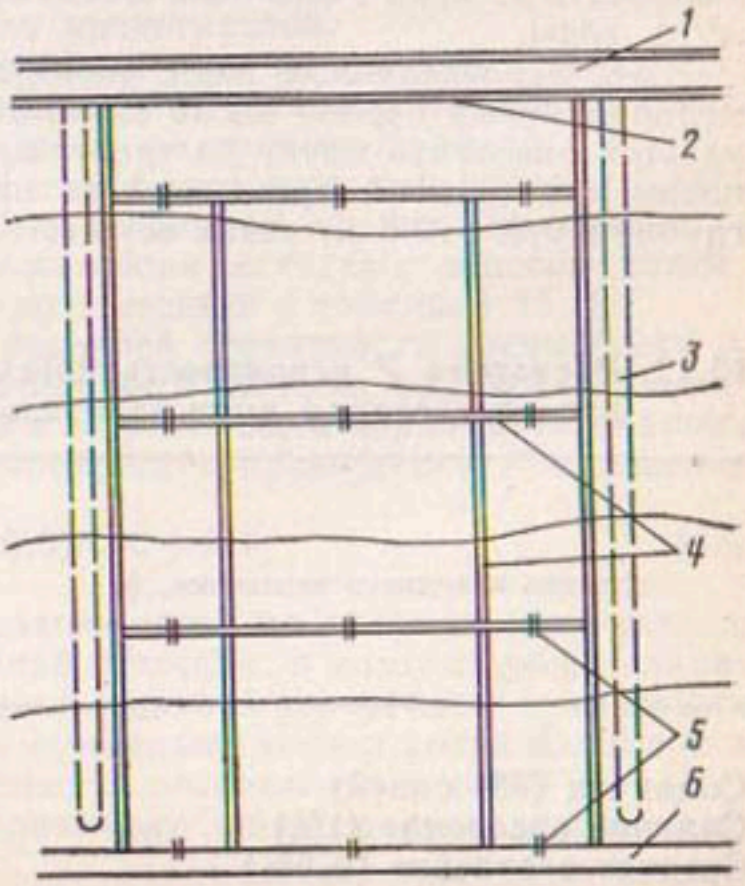


Рис. 15.7. Расположение крупных чеков в междренье с закрытыми дренами при одностороннем уклоне поверхности:

1 — открытый собиратель; *2* — банкет открытого собирателя; *3* — закрытая дрена; *4* — валы чеков; *5* — водовыпуски; *6* — участковый ороситель

15.11. Основные элементы техники промывки по полосам

Средняя скорость впитывания воды в почву, мм/мин	Уклон полосы	Длина полосы, м	Удельный расход, л/с на 1 м ширины полосы
Менее 1,5	0,004...0,005	250...300	8...6
1,5...3	0,003...0,005	200...250	10...8
Более 3	0,003...0,005	120...200	12...10

меняют при солончаковатом и глубокосолончаковатом засолении при уклонах более 0,005. Основные элементы техники промывки по бороздам в зависимости от уклонов местности и водопроницаемости почвогрунтов приведены в таблице 15.10.

На более легких почвах при солончаковом засолении практикуют промывку по полосам при уклонах менее 0,005. Ее можно проводить по сплошному севу культур-освоителей (табл. 15.11).

По бороздам и полосам (табл. 15.10 и 15.11) промывают без поверхностного сброса с промываемого поля, сбросные воды с верхних промываемых участков используют на нижних.

Промывки дождеванием в виде влагозарядково-опреснительных поливов проводят на полях с пожнивными культурами как перед посевом, так и после него, а также по стерне в осенне-зимний период. При малом количестве зимних осадков поливать можно ранней весной — под яровые культуры. Нормы влагозарядково-опреснительных поливов могут составлять 0,7. . .2 тыс. м³/га. Это позволяет рассолить 30. . .50-сантиметровый слой почвы при слабом и среднем засолении пахотного слоя. Эффективность промывки дождеванием значительно выше, чем затоплением.

Для повышения эффективности промывок дождеванием рекомендуется проводить агромелиоративные мероприятия, входящие в мелиоративную подготовку почвы перед началом поливов. Цель их — уменьшить поверхностный сток и улучшить фильтрационную способность почвогрунтов (различные виды глубоких обработок, микрочеки, прерывистые борозды и др.). Микрочеки при влагозарядково-опреснительных поливах могут единовременно задержать до 0,35. . .0,5 тыс. м³/га, прерывистые борозды — 0,25. . .0,3 тыс. м³/га воды.

Все перечисленные виды эксплуатационных промывок применяют и в мелиоративный период после капитальной промывки, если за один сезон не удается рассолить почву до требуемых пределов. В этом случае рассоление почвы капитальной промывкой до предела токсичности солей проводят до глубины 0,5. . .0,6 м, затем осуществляют промывной режим орошения при

15.12. Расчетная P вероятность превышения исходного засоления почв для определения норм капитальных промывок (А. И. Голованов)

Степень исходного засоления, %	Расчетная вероятность превышения (%) при разных значениях коэффициента вариации запасов солей C_v		
	1,6	1,0	0,5
Солончак (2% солей)	95	90	80
Сильное засоление (1%)	93	90	75
Среднее засоление (0,5%)	90	85	65

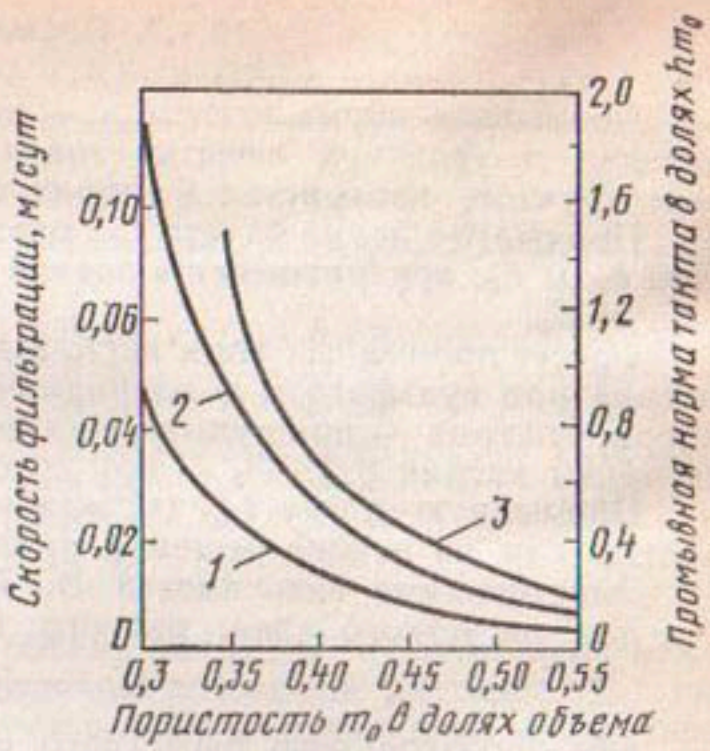


Рис. 15.8. Зависимость оптимальных скоростей фильтрации и норм отдельных тактов при промывке от водно-физических свойств почв:

1 и *3* — нижний и верхний пределы оптимальных скоростей фильтрации промывных вод; *2* — нормы отдельных тактов промывки; *h* — глубина опресняемого слоя в м

промывных нагрузках на 30. . .40 % выше нормы водопотребления в случае возделывания влаголюбивых и солеустойчивых культур. Особая роль в мелиоративный период должна быть отведена люцерне, которая выдерживает засоление до 0,3. . .0,4 %, способствует улучшению физических свойств почвы, ее структурности и обладает мощной корневой системой, отбирает влагу из 2. . .3-метрового слоя.

Процессы солеотдачи при промывках во многом зависят от скорости фильтрации воды в почвогрунтах. При $v_f < 0{,}01$ м/сут промывка практически становится невозможной.

В песчаных и легких по гранулометрическому составу почвах наиболее эффективное использование промывной воды обеспечивается при скоростях фильтрации 0,025. . .0,05 м/сут. Технически это достигается непрерывной подачей промывной воды при постоянном затоплении, в том числе и при промывках по крупным чекам. Промывки средних по гранулометрическому составу почв целесообразно проводить при скоростях фильтрации 0,01. . .0,03 м/сут с подачей промывной воды отдельными тактами и устройством мелкого временного дренажа, тяжелых почв — при скоростях фильтрации 0,005. . . 0,015 м/сут с подачей воды отдельными тактами. Обеспечение промывок засоленных земель при оптимальных скоростях фильтрации позволяет сократить промывные нормы на 10. . .20 %.

Промывные нормы отдельных тактов промывки определяют в зависимости от водно-физических свойств почв (рис. 15.8).

Интенсификация процесса промывок достигается также различными агротехническими приемами (щелевание, кротование, глубокое мелиоративное рыхление) и химическими мелиорациями, создающими структуру, повышающую фильтрационную способность почвогрунтов.

Для рассоления тяжелых почвогрунтов, если не помогают перечисленные способы, можно применять вакуумирование дренажа, промывки с наложением постоянного электрического тока, омагниченной водой.

Исходное содержание солей в расчетном слое почв при проектировании капитальных промывок принимают на основании технико-экономических расчетов. Расчетную вероятность превышения исходных запасов солей в почвах при промывках принимают в соответствии с таблицей 15.12.

Для определения запасов солей заданной вероятности превышения все данные по содержанию солей в расчетном слое в пределах выделенного контура выстраивают в ранжированный ряд в возрастающем порядке. Порядковый номер n с запасами солей заданной вероятности превышения P определяют по формуле

$$n = P\,(N + 0{,}3)/100 + 0{,}4, \qquad (15.1)$$

где N — общее число точек.

Расчетное содержание и распределение солей по профилю почв устанавливают по данным послойных измерений в точках, в которых общие запасы солей в расчетном слое близки к запасам заданной вероятности превышения. Если в выбранных точках, в которых суммарные запасы солей близки к запасам расчетной вероятности превышения, распределение солей по глубине различно, то в качестве расчетной принимают эпюру солончакового типа с поверхностным засолением.

15.4.2. ПРОМЫВНЫЕ НОРМЫ

Промывная норма нетто L_{nt} — количество воды, необходимое для растворения и удаления избытка токсичных солей из корнеобитаемого слоя почвогрунтов, измеряется в метрах слоя воды или м³/га.

Промывная норма брутто L_{br} равна промывной норме нетто плюс количество воды E_0, испарившейся с водной поверхности за время промывки: $L_{br} = L_{nt} + E_0$.

Расчет промывных норм нетто ведут по сумме токсичных солей и по иону натрия при сульфатном и хлоридно-сульфатном типах засоления, по ионам хлора и натрия — при сульфатно-хлоридном и хлоридном типах засоления и по ионам натрия и HCO_3 — при содовом типе засоления почвогрунтов.

Промывную норму L_{nt} (м) можно определить по эмпирическим зависимостям или на основе решений уравнений солепереноса.

Эмпирические зависимости В. Р. Волобуева:

для расчетного слоя, равного 1 м,

$$L_{nt} = \alpha \lg C_{in}/C_{adm}; \tag{15.2}$$

для произвольного расчетного слоя

$$L_{nt} = \alpha \lg (C_{in}/C_h + h/\mu), \tag{15.3}$$

где C_{in} — исходное содержание солей в метровом слое почвы, %; C_{adm} — допустимое содержание солей в метровом слое почвы, %; C_h — допустимое содержание солей в конце промывки на глубине h, %; α — коэффициент солеотдачи (табл. 15.13); h — расчетная глубина опреснения, м; μ — коэффициент, учитывающий скорость отвода промывных вод.

Скорость фильтрации, м/сут	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Значение коэффициента μ	1,0	1,3	1,6	2,5	3,4	3,8	2,3	0,8

Расчет промывных норм можно выполнить на основе решений уравнений солепереноса. Наиболее простой вид имеет модель конвективно-диффузионного переноса легкорастворимых солей в однородной несорбирующей пористой среде

$$m_a \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x}, \tag{15.4}$$

15.13. Значения коэффициента солеотдачи α (В. Р. Волобуев)

Группа почв по гранулометрическому составу и физико-химическим свойствам	Солевой состав почв			
	хлоридный, Cl=40...60% плотного остатка	сульфатно-хлоридный, Cl=25...30% плотного остатка	сульфатно-натриевый, Cl=10...20% плотного остатка	сульфатно-натриево-кальциевый, Cl=0...10% плотного остатка
Почвы легкого состава со свободной солеотдачей	0,62	0,72	0,82	1,18
Почвы среднесуглинистые или аналогичные им по солеотдаче слоистые почвы неоднородного состава	0,92	1,02	1,12	1,41
Почвы глинистые или суглинистые с пониженной солеотдачей	1,22	1,32	1,42	1,78
Почвы глинистые с низкой солеотдачей	1,80	1,90	2,10	2,40
Почвы тяжелоглинистые слитные с особо низкой солеотдачей	2,70	2,80	3,00	3,30

15.14. Значения параметра A в формулах (15.6) и (15.7)

$\overline{C}$	A	$\overline{C}$	A	$\overline{C}$	A
0,001	2,19	0,10	0,91	0,30	0,37
0,005	1,82	0,12	0,83	0,35	0,27
0,01	1,65	0,14	0,75	0,40	0,18
0,02	1,45	0,16	0,70	0,45	0,09
0,04	1,24	0,18	0,65	0,50	0,00
0,06	1,10	0,20	0,60		
0,08	0,99	0,25	0,48		

где m_a — активная пористость в долях объема почвы; C — содержание иона хлора, натрия или суммы токсичных солей в почвенном растворе, % на 100 г или г/л; t — время, сут; D — коэффициент конвективной диффузии, м²/сут,

$$D = D_m + \lambda |v|, \tag{15.5}$$

здесь D_m — коэффициент молекулярной диффузии ионов ($10^{-4}...10^{-6}$ м²/сут); λ — коэффициент гидродинамической дисперсии, м; v — скорость фильтрации, м/сут; x — расстояние от поверхности почвы или мощность расчетного слоя, м.

Для равномерного по глубине исходного засоления промывную норму нетто L_{nt} можно определить по одной из следующих формул, полученных из уравнения (15.4):

С. Ф. Аверьянова

$$L_{nt} = (2A\sqrt{Dt} + h)\, m_a; \tag{15.6}$$

А. И. Голованова

$$L_{nt} = (2A\sqrt{\lambda m_a h} + h)\, m_a, \tag{15.7}$$

где A — коэффициент, зависящий от требуемой степени опреснения почв $\overline{C}$ (табл. 15.14)

$$\overline{C} = (C_{adm} - C_L)/(C_0 - C_L), \tag{15.8}$$

где C_{adm} — допустимое содержание солей на глубине h; C_0 — исходное содержание солей в расчетном слое h (среднее); C_L — содержание солей в промывной воде; значения C_0, C_{adm} и C_L должны быть в одних единицах измерения (г/л или %); $D = \lambda/|v|$ (м²/сут) — коэффициент конвективной диффузии; λ — коэффициент гидродинамической дисперсии, м; v — скорость фильтрации воды в почвогрунте, м/сут; t — продолжительность промывки, сут; h — расчетный слой опреснения почв, м; m_a — активная пористость в долях от объема.

Формулы (15.6) и (15.7) справедливы для случая, когда параметр $a = L_{nt}/(2m_a\sqrt{Dt}) \geqslant 1$, что обычно бывает при капитальных промывках.

При равномерной эпюре исходного засоления решение уравнения (15.4), полученное С. Ф. Аверьяновым для расчета изменения содержания солей при промывках, имеет вид

$$\overline{C} = 0{,}5\left[\operatorname{erfc} Z_2 - \exp\left(Z_2^2 - Z_1^2\right)(\operatorname{erfc} Z_1 - 4a \operatorname{ierfc} Z)\right], \tag{15.9}$$

где $\overline{C} = \dfrac{C(h, t) - C_L}{C_0 - C_L}$; $C(h, t)$ — концентрация солей в точке с координатой h (м) в момент времени t; $Z_1 = a(1 + \overline{x})$; $z_2 = a(1 - \overline{x})$; $a = v\sqrt{t}/2m_a\sqrt{D}$; $\overline{x} = hm_a/vt$, остальные обозначения прежние.

Значение функций erfc Z и ierfc Z приведены в таблице 15.15, erfc $(-Z) = 2 - \operatorname{erfc} Z$; ierfc $(-Z) = 2Z + \operatorname{erfc} Z$.

Расчет промывной нормы с использованием формулы (15.9) ведут подбором. Для заданных значений v, h, D, m_a, C_L определяют $\overline{C}$ для ряда момен-

15.15. Значения функций erfc Z и ierfc Z

Z	erfc Z	ierfc Z	Z	erfc Z	ierfc Z
0	1	0,5642	1,1	0,1198	0,0365
0,01	0,9887	0,5542	1,2	0,0897	0,0260
0,02	0,9774	0,5444	1,3	0,0660	0,0183
0,03	0,9662	0,5350	1,4	0,0477	0,0127
0,04	0,9549	0,5251	1,5	0,0339	0,0086
0,05	0,9436	0,5156	1,6	0,0237	0,0058
0,06	0,9324	0,5062	1,7	0,0162	0,0038
0,07	0,9211	0,4969	1,8	0,0109	0,0025
0,08	0,9099	0,4878	1,9	0,0072	0,0016
0,09	0,8987	0,4787	2,0	0,0047	0,0010
0,10	0,8875	0,4698	2,1	0,0030	0,0006
0,20	0,773	0,3866	2,2	0,0019	0,0003
0,30	0,6714	0,3142	2,3	0,0011	0,0001
0,40	0,5716	0,2521	2,4	0,0007	
0,50	0,4785	0,1996	2,5	0,0004	
0,60	0,3961	0,1559	2,6	0,0002	
0,70	0,3332	0,1201	2,7	0,0001	
0,80	0,2579	0,0912	2,8	0,00008	
0,90	0,2031	0,0682	2,9	0,00004	
1,0	0,1573	0,0503	3,0	0,00002	

тов времени t_i и по ним строят кривую изменения концентрации в координатах ($\bar{C}$, t). Из точки с координатой $\bar{C}$ проводят прямую, параллельную оси t. Из точки пересечения этой линии с кривой изменения концентрации опускают перпендикуляр на ось t и таким образом получают момент времени t^*, когда на глубине h концентрация достигнет заданного предельного значения. Про-

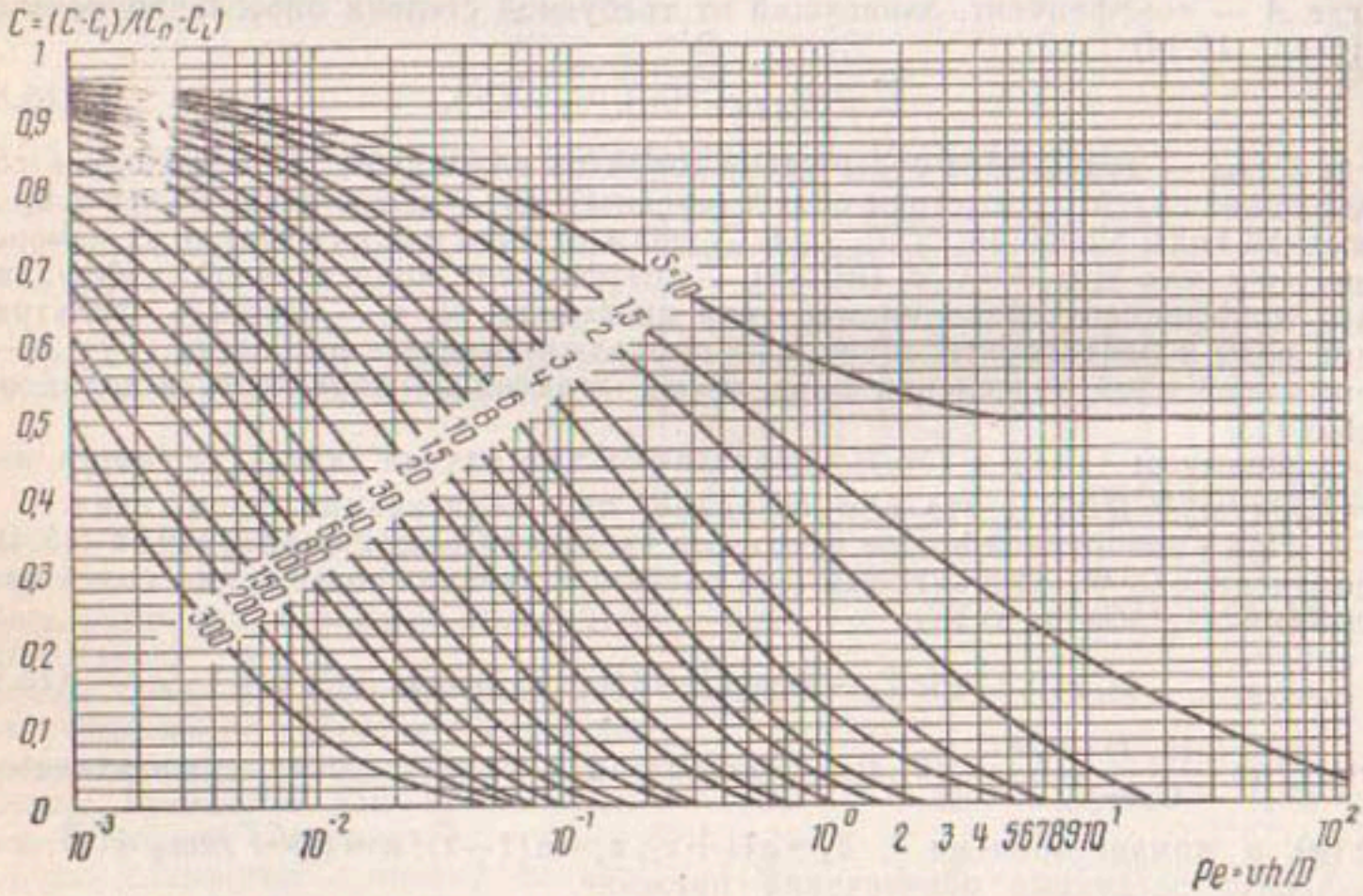


Рис. 15.9. График зависимости $C(x, t)=(C-C_L)/(C_0-C_L)=f(\mathrm{Pe}, S)$ для определения концентрации солей, промывной нормы, коэффициента конвективной диффузии и процесса рассоления равномерно засоленной толщи почвогрунтов

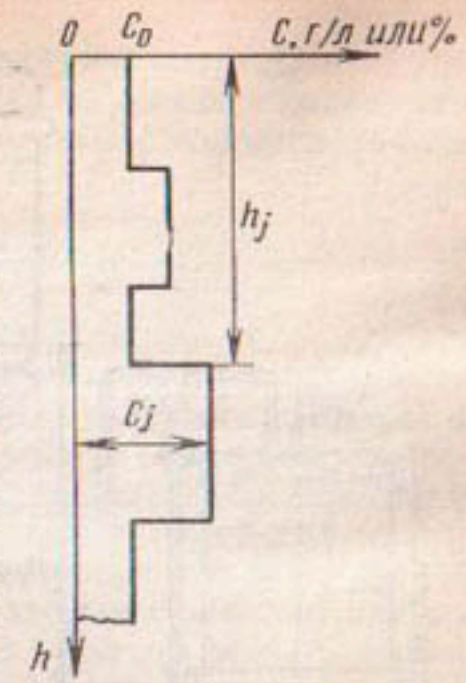


Рис. 15.10. Исходное распределение солей по глубине при ступенчатой эпюре засоления

мывную норму (м³/га) вычисляют по формуле

$$L_{nt} = 10\,000 v t^*. \qquad (15.10)$$

Для облегчения расчетов можно использовать номограмму, представленную на рисунке 15.9. Чтобы определить значение $\overline{C}$ (h, t), подсчитывают $\mathrm{Pe} = vh/D$ и $S = vt/(m_a h)$. Далее находят значение Pe на оси абсцисс, восстанавливают перпендикуляр до пересечения с соответствующей линией S и через полученную точку проводят горизонталь к оси ординат. Полученная точка на оси ординат дает значение $\overline{C}$ (h, t).

При значительной неравномерности начальной эпюры засоления для аналогичного расчета промывной нормы используют формулу Л. М. Рекса:

$$C(h, t) = C_L + 0{,}5\left[(C_0 - C_L) F(aZ_0) + \sum_{j=0}^{n-1} (C_{j+1} - C_j) F(aZ_{j+1})\right], \qquad (15.11)$$

где

$$F(aZ_j) = \operatorname{erfc}(aZ_j^-) + \left[\operatorname{erfc}(aZ_j^+) - 4a\operatorname{ierfc}(aZ_j^+)\right] \exp(4a^2 Z);$$

$$Z_j^{\pm} = 1 + h_j^0 \pm Z;\ h_j^0 = h_j m_a/(vt);$$

$$h_0 = 0;\quad Z = hm_a/(vt);\ a = (v/2m_a)\sqrt{t/D}.$$

Здесь C_j — исходное содержание солей в j-м от поверхности горизонте; h_j — расстояние от поверхности почвы до j-го горизонта; h_n — число горизонтов.

Формула (15.11) позволяет рассчитать содержание солей на произвольной глубине h в момент времени t для ступенчатой эпюры исходного засоления (рис. 15.10). Ее можно использовать при прогнозировании солевого режима почвогрунтов (см. 15.7).

15.4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОЛЕПЕРЕНОСА ДЛЯ НЕСОРБИРУЕМЫХ ИОНОВ

Достоверность решения задач по прогнозированию солевого режима почвогрунтов при эксплуатационных и капитальных промывках засоленных земель в значительной степени зависит от точности определения параметров солепереноса — активной пористости m_a и коэффициента конвективной диффузии D. Их находят по несорбируемому иону хлора для каждого выделенного контура по данным опытных промывок монолитов почвогрунта в лабораторных условиях и по данным опытных промывок небольших площадок в полевых условиях.

Параметры солепереноса по данным промывки монолита можно определить на характерных участках мелиоративного объекта. Из различных генетических горизонтов отбирают монолиты почвы. Минимальные размеры монолитов 0,2×0,2×0,2 м. Для увязки почвенно-мелиоративных и гидрогеологических данных в сложных условиях, характеризующихся пестрым литологическим составом почвогрунтов, целесообразно осредненное опробование слоя 0. . .2 м путем последовательной промывки двух монолитов высотой 1 м. Они могут быть в форме параллелепипеда или цилиндра. Параллельно при отборе монолита должно быть определено его исходное засоление по ионам Cl, SO_4, HCO_3, Ca, Mg, Na.

Монолиты загружают в кожух из металла или органического стекла, а промежуток между монолитом и кожухом заливают парафином, битумом или

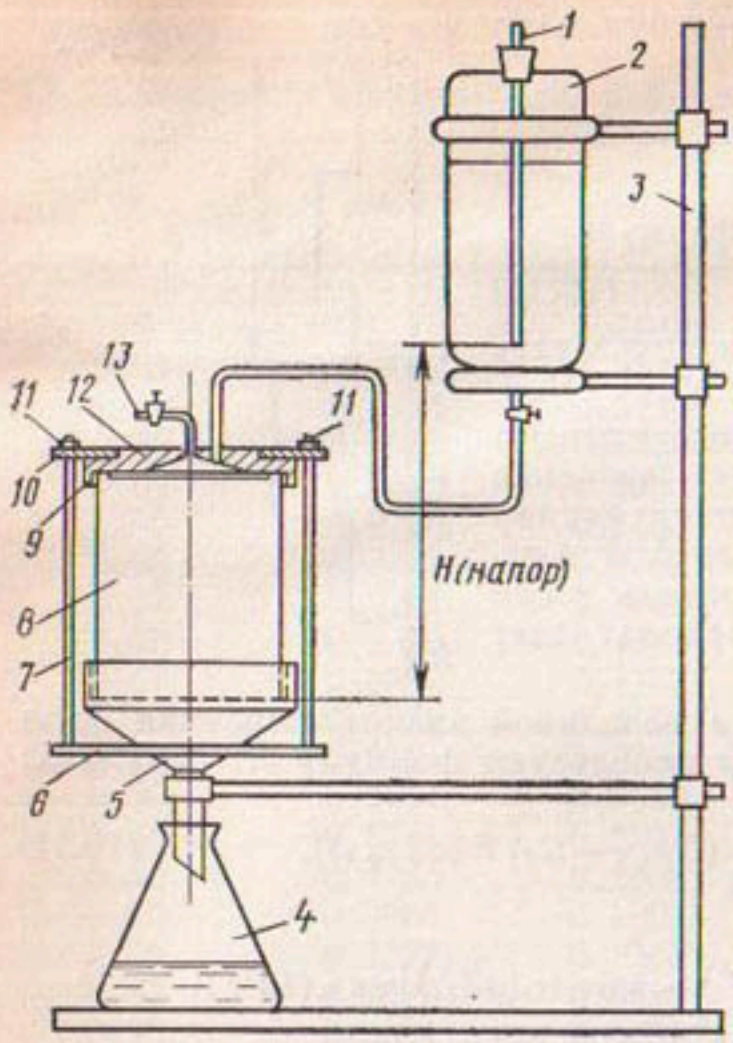


Рис. 15.11. Фильтрационная установка для промывки монолитов почвогрунта:

1 — воздуховпускная трубка; *2* — сосуд Мариотта; *3* — штатив; *4* — приемная колба; *5* — фарфоровая воронка; *6* — нижнее крепежное кольцо; *7* — шпильки (4 шт.); *8* — труба-контейнер с монолитом почвы; *9* — уплотнитель; *10* — верхнее крепежное кольцо; *11* — гайки; *12* — крышка; *13* — воздуховыпускная трубка

их смесью. После этого монолит помещают в специальную установку для проведения промывки (рис. 15.11).

Монолиты засоленных почв промывают пресной водой. Исходно незасоленные почвы (черноземы, каштановые) и солонцы промывают раствором соли $CaCl_2$ с концентрацией иона хлора порядка 3 г/л.

По результатам лабораторного опыта строят график изменения минерализации или концентрации фильтрата по ионам (чаще всего Cl^- или Na^+) во времени — выходная кривая (рис. 15.12, *а*).

Активную пористость m_a определяют по моменту времени t_0, когда на выходе из монолита появляется порция фильтрата с относительной концентрацией $\overline{C}=\dfrac{C(l,\,t_0)-C_L}{C_0-C_L}=0{,}5$ (рис. 15.12, *а*). Для этого вычисляют «фактическую» скорость движения раствора по порам грунта (м/сут)

$$v_{ef}=l/t_0, \qquad (15.12)$$

где l — длина монолита, м, а затем определяют активную пористость

$$m_a=v/v_{ef}, \qquad (15.13)$$

где v — скорость фильтрации раствора в опыте, м/сут.

Коэффициент конвективной диффузии определяют по точкам выходной кривой, отличной от $\overline{C}=0{,}5$. Для точки с концентрацией $C_1(l_1,\,t_1)$ находят величину $S=vt_1/m_al$, причем момент t_1 выбирают таким образом, чтобы $S_1>1$.

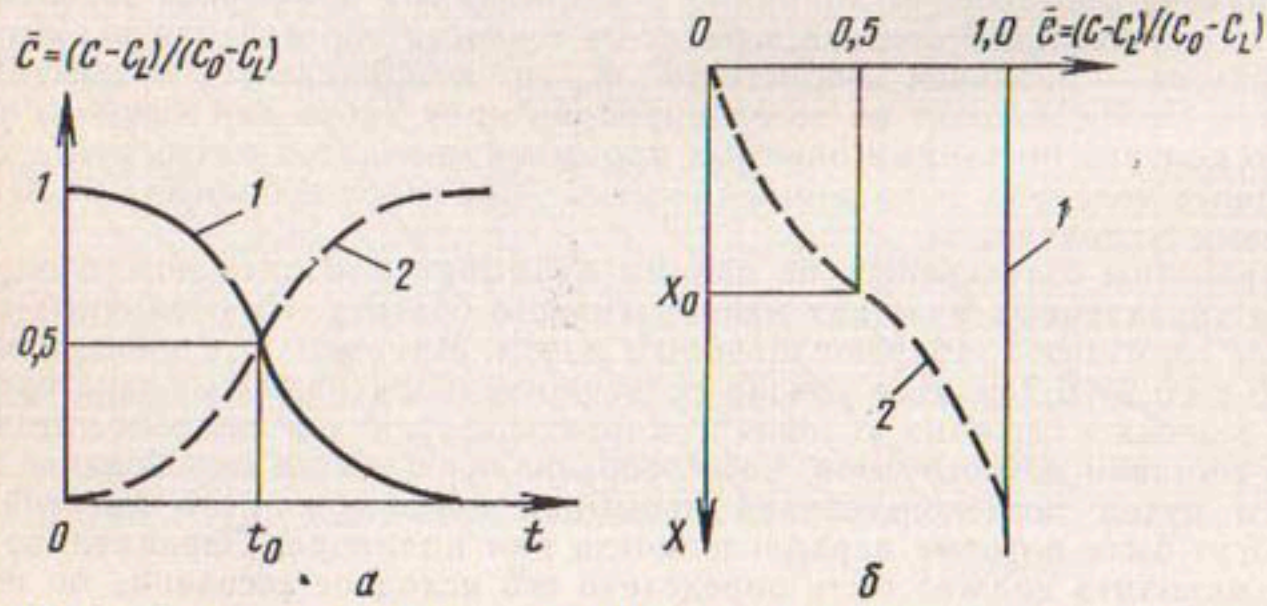


Рис. 15.12. Схемы к расчету параметров солепереноса:

а — при промывке монолита; *1* — рассоление; *2* — засоление; *б* — при промывке площадки: *1* — исходное засоление; *2* — засоление после промывки

Затем из точки $\overline{C_1}$ на номограмме (см. рис. 15.9) проводят горизонтальную прямую до пересечения с линией S_1 и из полученной точки опускают перпендикуляр на ось абсцисс. Таким образом находят число $Pe=vl/D$, и следовательно,

$$D=vl/Pe_1. \tag{15.14}$$

Параметр гидродисперсии λ определяют по формуле

$$\lambda=D/v. \tag{15.15}$$

Параметры солепереноса по данным опытных промывок площадок определяют в типичных почвенных и гидрогеологических условиях. Площадки оборудуют следующим образом: выбирают ровный участок земли, на котором разбивают площадку размером от 2×2 до 10×10 м; площадку обваловывают, валики высотой 0,25. . .0,3 м укрепляют полиэтиленовой пленкой для исключения утечки воды при их размыве; в центре площадки устанавливают кольцо или раму площадью не менее 1 м², где должен поддерживаться постоянный напор и фиксироваться расход воды на фильтрацию. Уровни воды в кольце (раме) и на площадке должны быть одинаковые (рис. 15.13). Рядом с площадкой устанавливают испаритель ГГИ-3000 для учета количества испарившейся за время опыта воды.

Расчет параметров солепереноса ведут по легкорастворимым солям (обычно по хлору или сумме токсичных солей). Если исходная эпюра засоления близка к равномерной, то параметры солепереноса определяют следующим образом. На эпюре засоления после промывки находят координату x_0 точки, где $\overline{C}=0{,}5$ (см. рис. 15.12, *б*) и по ней вычисляют «фактическую» скорость (м/сут) движения воды по порам грунта

$$v_{ef}=x_0/t_0, \tag{15.16}$$

где t_0 — фактическое время промывки.

Активную пористость вычисляют по формуле (15.13). Коэффициент конвективной диффузии определяют с помощью номограммы (см. рис. 15.9). Выбирают сечение x_1 таким образом, чтобы $S_1=vt_0/(m_a x_1)>1$, и по конечной эпюре определяют концентрацию солей C_1 в этой точке. Далее процедура определения D аналогична рассмотренной выше.

При значительной неравномерности исходной эпюры засоления параметры m_a и D можно определять путем подбора. Для ряда значений исходных параметров по зависимости (15.11) или численным решением уравнения солепереноса на момент времени t_0 рассчитывают теоретические эпюры засоления

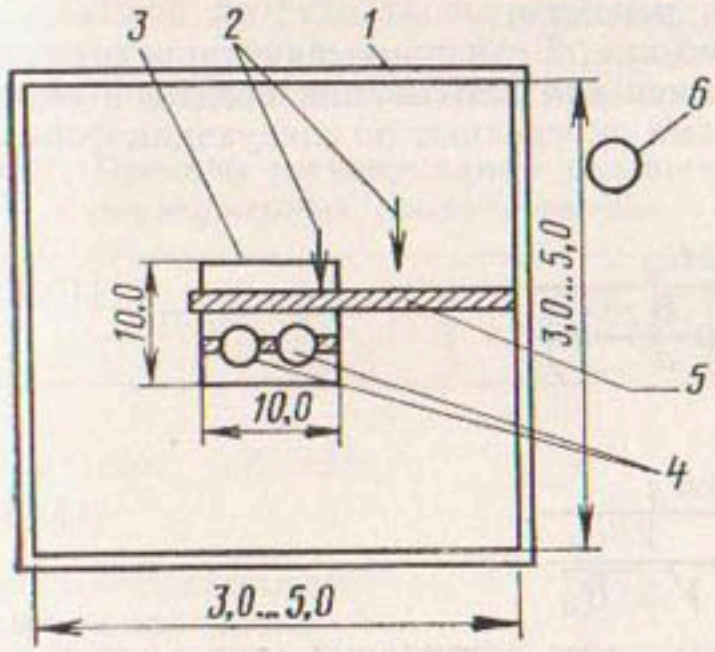


Рис. 15.13. Схема оборудования площадки в полевых условиях:

1 — ограждающий валик; *2* — мерные рейки; *3* — внутренняя рама или кольцо; *4* — сосуды Мариотта; *5* — мостик; *6* — испаритель (размеры в м)

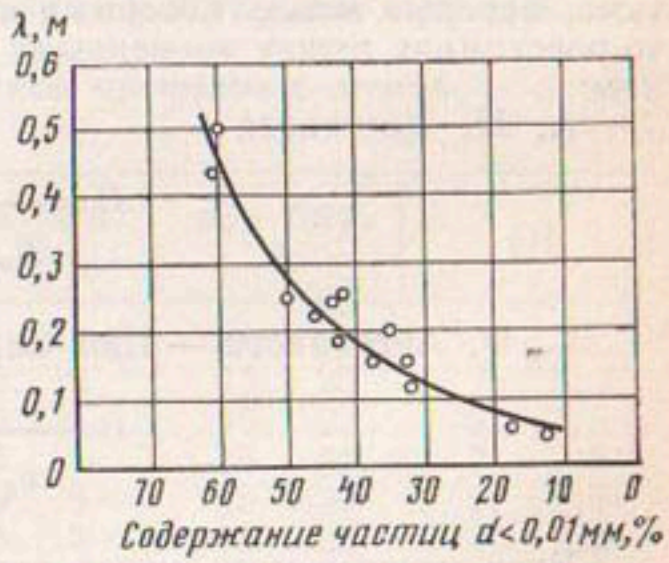


Рис. 15.14. График зависимости параметра гидродисперсии от механического состава почв (И. П. Айдаров)

после промывки. Совпадение экспериментальной эпюры с одной из теоретических дает искомые значения параметров. При расчете в качестве начального приближения значение m_a определяют как разность между полной и максимальной молекулярной влагоемкостью. Такие расчеты обычно выполняют на ЭВМ.

При отсутствии опытных данных параметр гидродинамической дисперсии λ ориентировочно можно определить по графику (рис. 15.14) или по следующим данным в зависимости от гранулометрического состава почв (по иону Cl^-):

Содержание частиц $d<0{,}01$ мм, %	10	10...20	20...40	40...60	60...80
λ, м	0,01...0,05	0,05...0,1	0,1...0,2	0,2...0,5	0,5...1,0

Коэффициент конвективной диффузии вычисляют по зависимости (15.5).

15.4.4. ВРЕМЕННЫЙ ДРЕНАЖ ПРИ ПРОМЫВКАХ

Расчет капитальных промывок включает определение не только промывных норм и продолжительности их проведения, но и параметров временного дренажа, необходимого для обеспечения отвода промывной воды в установленные сроки

$$T = L_{nt}/v_{opt}. \tag{15.17}$$

Наиболее надежен и проверен мелкий временный дренаж (0,8. . .1,2 м). Активная зона его действия составляет 2. . .3 м; соли удаляются только из расчетного слоя почв.

Временный дренаж предусматривают в следующих случаях: когда уровень грунтовых вод до промывки расположен на глубине менее 5 м; при поверхностном или равномерном по профилю засолении расчетного слоя почв, когда скорости отвода промывных вод, создаваемые постоянным дренажем при $H_d = h_d$ (где H_d — напор над дреной; h_d — глубина дренажа), меньше необходимых скоростей отвода промывных вод v_{opt}.

Нагрузку на временный дренаж рассчитывают по формуле (м/сут)

$$v_{tem} = v_{opt} - v_{\perp} = L_{nt}/t - v_L, \tag{15.18}$$

где v_{opt} и v_L — оптимальная скорость фильтрации и скорость отвода промывных вод, обеспечиваемая постоянным дренажем.

Расчет ведут с учетом способа промывки. Если промывки проводят тактами, перерыв между которыми достаточен для впитывания поданной воды, то расстояния между временными дренами определяют по следующим формулам:

А. Н. Костякова

$$B = \frac{\pi k H_d}{v_{opt}\left(\ln\frac{B}{d} - 1\right)}; \tag{15.19}$$

С. Ф. Аверьянова — Цюй-Син-Е

$$B = \frac{\pi k H_d}{v_{opt} \ln\frac{2B}{\sqrt{2dH_d}}}. \tag{15.20}$$

Если промывки проводят при постоянном затоплении (под рисом), то расстояние между временными дренами рассчитывают по формуле В. В. Ведерникова

$$B = 2{,}23\,(h + h_w)\sqrt{\frac{k}{v_{opt}}}. \tag{15.21}$$

В этих формулах k — коэффициент фильтрации почв, м/сут; h — глубина временных дрен, м (h=0,8. . .1,2 м); h_w — слой воды на поверхности почвы, м; d — диаметр дрены, d=0,56 ($b+h_1$); b — ширина дрены по дну (b==0,2. . .0,5 м); h_1 — глубина наполнения дрен, м.

15.5. РАСЧЕТ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА

Для создания оптимального мелиоративного режима необходимо поддерживать в корнеобитаемом слое почвы водный солевой режим в заданных пределах. При регулировании водного режима почв можно пользоваться данными таблицы 15.16. Пределы допустимого содержания солей в почве в

15.16. Пределы регулирования водного режима почв на орошаемых землях

Почвы	ППК, мг-экв/100 г	Пределы регулирования влажности корнеобитаемого слоя почвы в долях НВ	Интенсивность промывного режима в долях суммарного испарения
Черноземы обыкновенные и южные	40	0,6...0,7	<0,05
	30	0,6...0,8	≤0,05
	20	0,6...0,8	≤0,05...0,1
Лугово-черноземные	30	0,7...0,8	≤0,05
Темно-каштановые	35	0,6...0,8	≤0,1
	30	0,7...0,8	≤0,1
Каштановые	20	0,7...0,8	0,1...0,15
Светло-каштановые	15	0,7...0,85	0,1...0,15
	10	0,7...0,9	0,1...0,2
Сероземы	10	0,7...0,9	0,1...0,15

зависимости от типа засоления назначают по данным таблиц 15.6... 15.8. Для почв, подверженных осолонцеванию, необходимо выполнять дополнительные требования по составу обменных катионов в ППК (табл. 15.17).

Расчет водно-солевого режима зоны аэрации выполняют для каждой выделенной по гидрогеологическому и почвенно-мелиоративному районированию территории с учетом природно-хозяйственных условий, техники и режима орошения, состава основных сельскохозяйственных культур.

15.17. Пределы регулирования солевого режима орошаемых земель, подверженных осолонцеванию

Почвы	ППК, мг-экв/100 г	Na в ППК, %	Mg в ППК, %	pH
Черноземы обыкновенные	40	2...6	15...20	7...7,5
	30	1,5...5	15...20	7...7,5
	20	1,5...5	15...20	7...7,5
Лугово-черноземные	30	1,5...5	15...20	7...7,5
Темно-каштановые	35	1,5...5	15...25	7...7,3
	30	2,5	15...30	7...7,5
Каштановые	20	2...6	15...30	7...7,5
	15	5...10	15...30	7...7,5
Светло-каштановые	15	5...10	15...30	7...8
	10	5...10	15...30	8...8,2
Сероземные	10	5...10	15...30	8...8,3

Один из основных методов расчета водного режима — **балансовый.** Для расчета солевого режима **аналитическим методом** (по Na^+, Cl^- или токсичным солям) можно использовать формулу (15.11). Порядок вычислений следующий: для выбранного севооборота рассчитывают режим орошения; на каждый расчетный период (поливные, межполивные осенне-зимний, весенний) составляют таблицу статей водного баланса по периодам и вычисляют скорость фильтрации воды в почве (м/сут)

$$v = \frac{L_{nt} + P - (E + T)}{10\,000 t_0}, \qquad (15.22)$$

где L_{nt}, P, E, T — соответственно промывная норма, осадки, физическое испарение и транспирация ($м^3$/га) за период времени t_0 (сут); коэффициент конвективной диффузии рассчитывают по формуле (15.5) на каждый интервал времени; за исходное распределение солей по глубине принимают то, которое установлено к окончанию промывки или существовало ранее (для слабозасоленных почвогрунтов); рассчитывают солевой режим почв по формуле (15.11) на первый интервал времени; полученное распределение солей принимают за исходное и выполняют расчет на второй интервал времени и т. д.

В результате расчетов получают эпюры распределения солей по профилю на соответствующие моменты времени. По ним строят графики изменения количества солей в корнеобитаемом слое. При возникновении опасности засоления линия изменения концентрации солей пересекает линию допустимых концентраций (рис. 15.15). После выполнения расчета для полной ротации севооборота делают заключение о направленности процесса солепереноса. В случае превышения засоления допустимого уровня, варьируя нормами вегетационных и влагозарядковых поливов и сроками подачи воды, можно

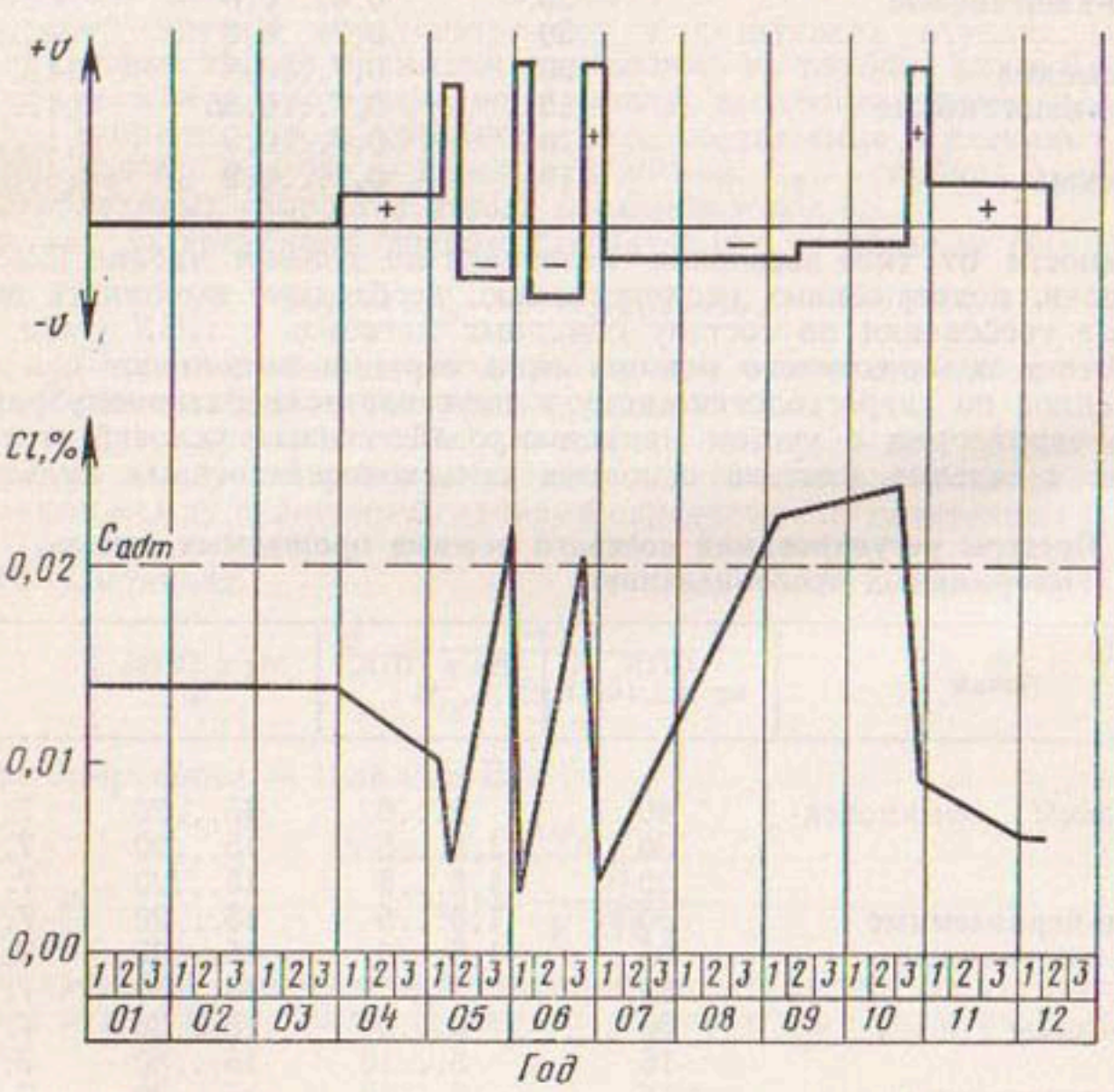


Рис. 15.15. Влияние величины и направления потока влаги в почвогрунте на изменение содержания Cl в слое 0. . .10 см (в годовом разрезе)

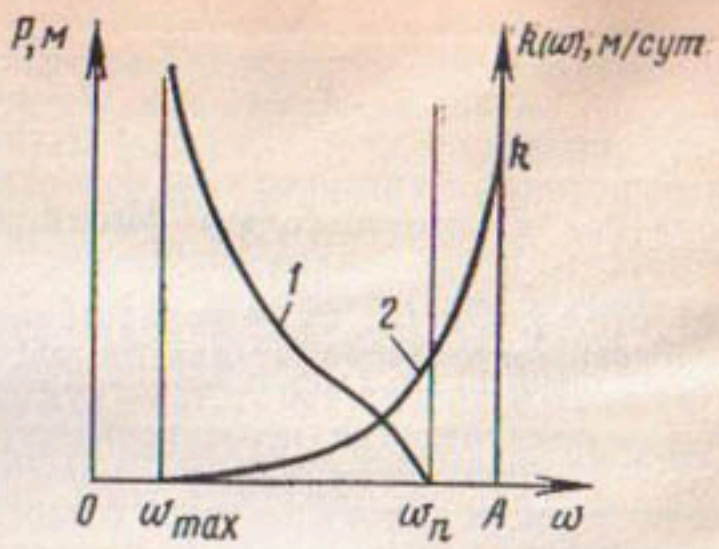


Рис. 15.16. Вид гидрофизических характеристик почвогрунта:

1 — зависимость капиллярно-сорбционного потенциала от влажности; *2* — зависимость влагопроводности от влажности; W_h — полная влагоемкость; A — пористость; W_{max} — максимальная гигроскопичность; k — коэффициент фильтрации

добиться благоприятного солевого режима. Таким образом устанавливают промывной режим орошения.

Численный метод расчета водного режима основан на решении уравнения влагопереноса, описывающего движение воды в неводонасыщенной и водонасыщенной зонах почвогрунта. В одномерной постановке оно имеет вид

$$\sigma \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[k(w) \frac{\partial H}{\partial x} \right] - e, \qquad (15.23)$$

где $\sigma = \partial w / \partial P$ — капиллярная влагоемкость; H — гидродинамический потенциал, м; $H = P - x$, $P = f(w)$ — капиллярно-сорбционный потенциал, м; $k(w)$ — влагопроводность почвы, м/сут; e — интенсивность отбора влаги корнями растений в долях объема почвы; w — объемная влажность, %.

Для расчета необходимо экспериментальное определение двух гидрофизических характеристик каждого литологического слоя: зависимостей капиллярно-сорбционного потенциала $P(w)$ и влагопроводности $k(w)$ от влажности. Характерный вид этих зависимостей приведен на рисунке 15.16. Их можно определять на капиллярометрических установках, пластинчатых и мембранных прессах, а также другими способами.

На верхней границе задается интенсивность потока воды (испарение, осадки или поливы), а на нижней — краевое условие, отражающее гидрогеологические условия или условие, моделирующее работу дренажа. В результате расчета на любой момент времени получают распределение влажности w в зоне аэрации, скорости потоков воды $v_w = -k(w) \frac{\partial H}{\partial x}$, положение уровня грунтовых вод. Эти характеристики используют для расчета солевого режима. Уравнение солепереноса решают совместно с уравнением (15.16). Для легкорастворимых солей (Cl^-, Na^+ в несорбирующих грунтах, токсичные соли) модель солепереноса имеет вид

$$\frac{\partial (wC)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D^* w \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial (v_w C)}{\partial x}, \qquad (15.24)$$

где $D^* = D / m_a$.

Для почв сухостепной и степной зон прогноз солевого режима следует вести с учетом динамики поглощенных оснований (Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}). Модель солепереноса в этом случае имеет такой вид:

$$\frac{\partial (wC_1)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D^* w \frac{\partial C_1}{\partial x} \right) - \frac{\partial (vC_1)}{\partial x} - \gamma \frac{\partial N_1}{\partial t} - \gamma \frac{\partial N_{15}}{\partial t}; \qquad (15.25)$$

$$\frac{\partial (wC_2)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D^* w \frac{\partial C_2}{\partial x} \right) - \frac{\partial (vC_2)}{\partial x} - \gamma \frac{\partial N_2}{\partial t}; \qquad (15.26)$$

$$\frac{\partial (wC_3)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D^* w \frac{\partial C_3}{\partial x} \right) - \frac{\partial (vC_3)}{\partial x} - \gamma \frac{\partial N_3}{\partial t}; \qquad (15.27)$$

$$\frac{\partial (wC_4)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D^* w \frac{\partial C_4}{\partial x} \right) - \frac{\partial (vC_4)}{\partial x}; \qquad (15.28)$$

$$\frac{\partial (wC_5)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D^* w \frac{\partial C_5}{\partial x} \right) - \frac{\partial (vC_5)}{\partial x} - \gamma \frac{\partial N_{15}}{\partial t}; \qquad (15.29)$$

$$\frac{N_3}{\sqrt{N_1}}=K_{31}\frac{C_3}{\sqrt{C_1}};\qquad \frac{N_1}{N_2}=K_{12}\frac{C_1}{C_2};\tag{15.30}$$

$$N_1+N_2+N_3=N_0(x);\tag{15.31}$$

$$\gamma\frac{\partial N_{15}}{\partial t}=\beta_{15}w(C_{15}-C_{H15}),\tag{15.32}$$

где C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 — концентрация ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, Cl^-, SO_4^{2-} в почвенном растворе, мг·экв/100 мл; N_1, N_2, N_3 — содержание Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ в ППК, мг·экв/100 г; N_0 — сумма поглощенных оснований, мг·экв/100 г; N_{15} — концентрация нерастворенного гипса в почве, мг·экв/100 г; K_{31}, K_{12} — коэффициенты изотерм ионного обмена Na — Ca и Ca—Mg; C_{15} — концентрация гипса в растворе (гипотетическая соль), мг·экв/100 мл; C_{H15} — концентрация предельного насыщения раствора гипсом как функция содержания хлоридов и сульфатов, мг·экв/100 мл; β_{15} — параметр скорости растворения гипса, $сут^{-1}$.

Система уравнений (15.23), (15.25). . .(15.32) позволяет рассчитать водно-солевой режим с учетом ионообменной сорбции катионов раствора и ППК, растворения — кристаллизации гипса.

Коэффициенты изотерм ионообменной сорбции рассчитывают на основе экспериментальных данных совместного определения катионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ в почвенном растворе и ППК. По результатам эксперимента для каждого горизонта составляют таблицу, в которую записывают значения C_1, C_2, C_3, N_1, N_2, N_3, $N_3/\sqrt{N_1}$, $C_3/\sqrt{C_1}$, N_1/N_2, C_1/C_2. Полученные значения наносят на графики: на одном по оси абсцисс откладывают значения $C_3/\sqrt{C_1}$, а по оси ординат $N_3/\sqrt{N_1}$, на другом соответственно C_1/C_2 и N_1/N_2. Полученные области точек аппроксимируются прямыми линиями. По тангенсу угла наклона прямой на первом графике определяют K_{31}, а на втором — K_{12}. По данным Д. С. Орлова, для черноземов эти константы меняются в следующих пределах: $K_{31}=0{,}06. . .0{,}25$; $K_{12}=1{,}5. . .3$. Константу скорости растворения гипса β_{15} следует подбирать по данным промывки монолита путем сопоставления экспериментальных и теоретических выходных кривых для аниона SO_4^{2-}.

Если в почве нет гипса и концентрация ионов Cl^- и SO_4^{2-} находится в заданных пределах, то расчеты водно-солевого режима можно вести по модели, состоящей из уравнений (15.25) (без последнего члена), (15.26), (15.27), (15.30), (15.31).

15.6. ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ

Назначение химической мелиорации — нейтрализация щелочности и замена ППК натрия на двух-трехвалентные катионы.

Обменная, или физико-химическая, поглотительная способность состоит в обмене катионов почвы на катионы раствора в ППК по следующей схеме:

$$ПNa_2+CaSO_4\rightleftarrows ПCa+Na_2SO_4,$$

где ПNa, ПCa — почвенные коллоиды, содержащие поглощенные катионы.

Поглощенные катионы находятся в компенсирующем слое коллоидов, их сумма иначе называется емкостью поглощения и выражается мг·экв на 100 г почвы. Органические коллоиды почвы имеют емкость поглощения значительно выше, чем минеральные.

В реальных почвах в зависимости от содержания гумуса и глинистых минералов емкость поглощения колеблется от 50. . .60 (черноземы) до 20. . . 25 мг·экв/100 г (каштановые почвы).

Процессы обмена возможны из-за неодинаковой энергии вхождения разных катионов в ППК. По энергии вхождения катионы располагаются в следующий ряд:

$$Al^{3+}>H^+>Ca^{2+}>Mg^{2+}>K^+>NH_4^+>Na^+.$$

При малом количестве солей Ca в почвенном растворе по сравнению с солями Na промывка приводит к увеличению солонцеватости почвы.

Двух-трехвалентные катионы, являясь хорошими коагуляторами, способствуют свертыванию почвенных коллоидов и образованию водопрочных агрегатов; при этом уменьшается гидратация, следовательно, и набухаемость почв, увеличивается фильтрационная способность.

В качестве химических мелиорантов можно применять гипс и гипсосодержащие вещества (фосфогипс, глиногипс), хлористый кальций, серу, сернокислое железо (железный купорос), неорганические кислоты (серная, соляная, азотная), а также полимерные вещества.

При использовании химических веществ необходимо учитывать их растворимость для правильного определения дозы внесения.

Химический мелиорант	Растворимость, г/л при 20 °С
Двуводный гипс — $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2,0
Ангидрит — $CaSO_4$	2,0
Известняк — $CaCO_3$	0,065
Хлористый кальций — $CaCl_2$	745
Сульфат железа — $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	265,2
Серная кислота и другие кислоты	Неограничена
Сера — S	Нерастворима

При внесении химических мелиорантов в солонцовую почву происходят следующие реакции:

Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2Na\text{—почва} \rightleftarrows Ca\text{—почва} + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O + Na_2CO_3 \rightleftarrows CaCO_3 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2NaHCO_3 \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

Глиногипс, фосфогипс — Реакции идут, как с гипсом

Хлористый кальций $CaCl_2 \cdot 2H_2O$

$$CaCl_2 \cdot 2H_2O + 2Na\text{—почва} \rightleftarrows 2NaCl + Ca\text{—почва} + 2H_2O$$

$$CaCl_2 \cdot 2H_2O + Na_2CO_3 \rightleftarrows CaCO_3\downarrow + 2NaCl + 2H_2O$$

$$CaCl_2 \cdot 2H_2O + 2NaHCO_3 \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2 + 2NaCl + 2H_2O$$

Серная кислота

$$H_2SO_4 + 2Na_2CO_3 \rightarrow Na_2SO_4 + 2NaHCO_3$$

$$H_2SO_4 + 2NaHCO_3 \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2CO_3 \begin{cases} \nearrow CO_2 \\ \searrow H_2O \end{cases}$$

$$H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + H_2CO_3 \begin{cases} \nearrow CO_2 \\ \searrow H_2O \end{cases}$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

$$H_2SO_4 + MgCO_3 \rightarrow MgSO_4 + H_2CO_3 \begin{cases} \nearrow CO_2 \\ \searrow H_2O \end{cases}$$

$$CaSO_4 + Na\text{—почва} \rightleftarrows Ca\text{—почва} + Na_2SO_4$$

$$H_2SO_4 + 2Na\text{—почва} \rightarrow Na_2SO_4 + 2H\text{—почва}$$

Сера S

$$2S + O_2 + 2H_2O \xrightarrow[\text{действие}]{\text{микробное}} 2H_2SO_4,$$ далее реакции идут, как с серной кислотой

Оросительная вода

$$H_2O + Na_2CO_3 \rightleftarrows NaHCO_3 + NaOH$$

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Na_2SO_4 \rightleftarrows 2NaHCO_3 + CaSO_4$$

$$Ca(HCO_3)_2 + 2NaCl \rightleftarrows 2NaHCO_3 + CaCl_2$$

$$\text{почва}\begin{matrix}\nearrow \text{Ca}\\ \searrow \text{Mg}\end{matrix} + 2Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + MgCO_3 + 4Na - \text{почва}$$

Сернокислое железо $FeSO_4 \cdot 7H_2O \xrightarrow{\text{гидролиз}} Fe(OH)_2 + H_2SO_4$, далее реакции идут, как с серной кислотой

$$FeSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow FeCO_3 + Na_2SO_4$$
$$FeSO_4 + 2NaHCO_3 \rightarrow Fe(HCO_3)_2 + Na_2SO_4$$
$$Fe(HCO_3)_2 \text{ в зоне аэрации} \rightarrow FeCO_3 + H_2O + O_2$$
$$FeSO_4 + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow Fe(HCO_3)_2 + CaSO_4$$
$$FeSO_4 + Mg(HCO_3)_2 \rightarrow Fe(HCO_3)_2 + MgSO_4$$

Гипс наиболее часто применяют как химический мелиорант естественного происхождения. Требования к качеству гипса для химической мелиорации даны в таблице 15.18.

Фосфогипс является отходом при производстве фосфорных удобрений, на 80. . .90 % состоит из $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Кроме гипса, фосфогипс содержит 0,5. . .1,5 % подвижного P_2O_5 и токсичные примеси, главным образом фтор, что учитывается в технических требованиях (табл. 15.19).

Благодаря присутствию подвижного P_2O_5 фосфогипс повышает урожайность сельскохозяйственных культур.

Глиногипс относится к естественным породам локального распространения.

Хлористый кальций — отход содового производства — имеет высокую растворимость, хороший коагулятор, значительно повышает водопроницаемость почвы. Однако большое содержание токсичного иона хлора и высокая стоимость ограничивают его применение.

Кислоты употребляют в виде сильно разбавленных растворов (0,5. . . 5 %). Наиболее доступна и дешева серная кислота, являющаяся отходом нефтяной промышленности. Кислоты гасят щелочность почвенного раствора, растворяют имеющиеся в почве практически нерастворимые в воде карбонаты Са, превращая их в гипс и мелиорируя тем самым ППК. Но так как в кислотах действующим началом является ион водорода, то в почвогрунтах без естественных запасов солей Са использование их приведет к осолодению почв и разрушению ППК. В этих случаях при кислковании почвы добавляют соли, содержащие двух-трехвалентные катионы (например, железный купорос — отход лакокрасочной промышленности). Образующаяся в результате реакции гидрозакись железа приобретает дополнительную валентность и тем самым дополнительную обменную энергию.

Сера — инертное вещество, нерастворимое в воде. Ее активность начинает проявляться только после окисления под влиянием серобактерий в серный ангидрид, который с водой дает серную кислоту. На осуществление микробиологического процесса требуется значительное время (год), что не-

15.18. Технические требования к гипсу

Показатели	Гипс	
	класса А	класса Б
Содержание гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ %, не ниже	85	70
Содержание сверхкристаллизационной воды %, не выше	5	5
Содержание частиц (%), проходящих через сито с диаметром отверстий, мм:		
2	100	100
1	97	97
0,25	75	75

15.19. Технические требования к фосфогипсу

Показатели	Фосфогипс	
	апатитовый	из фосфоритов Каратау
Содержание $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, %	92	80
Содержание водорастворимого фтора %, не более	0,3	0,3
Содержание свободной влаги, %:		
не менее	8	8
не более	15	15

обходимо учитывать при конкретном проектировании химических мелиораций.

При мелиорации солонцово-осолоделых почв, довольно широко распространенных в сухостепной зоне, в них вносят известь. Ее растворимость зависит главным образом от содержания углекислоты в почвенном растворе.

Содержание CO_2, %	Растворимость $CaCO_3$, г/л
0,00	0,0131
0,03	0,0634
0,30	0,1334
1,00	0,2029
10,00	0,4700
100,00	1,0986

Для успешного осуществления химической мелиорации содержание CO_2 увеличивают с помощью агробиологического метода мелиорации почвы, используя культуры-освоители (прежде всего люцерну и различные травы) или дефекат — отход свеклосахарного производства. Качество дефеката регламентируется техническими условиями и должно соответствовать следующим требованиям:

Содержание, %:	I класс	II класс
$CaCO_3$	60	40
влаги, не более	20	30

Дешевым химическим мелиорантом в хлопкосеющей зоне является лигнин — отход гидролизного, гидролизно-дрожжевого, целлюлозно-бумажного производства. Он содержит до 3 % кислоты, которая может взаимодействовать с карбонатами почвы, высвобождая Са и углекислый газ.

Синтетические полимерные вещества (полиакриламид, К-9 и др.) применяют на малонатриевых солонцах, на тяжелых слабоводопроницаемых почвах. Их вносят в жидком виде (1. . .3 %-ный раствор) в количестве 100. . . 300 кг/га.

15.6.1. МЕЛИОРАЦИЯ СОДОВО-ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Основное требование при химической мелиорации земель — удаление продуктов химических реакций за пределы мелиорируемого слоя.

Обоснование химических мелиораций дают на всех стадиях проектирования.

Особое внимание в проектах необходимо уделять толщине расчетного слоя, так как при мелиорации содово-засоленных почв следует учитывать фильтрационную способность почв, чтобы обеспечивался достаточный вынос солей через дренаж.

Промывку проводят по чекам, в которые подают 0,8. . .1 %-ный раствор кислоты. Заданная концентрация устанавливается автоматическим дозатором. Раствор из оросителя в каждый чек подается по временным трубчатым водовыпускам.

Сухой мелиорант (железный купорос) разбрасывают по полю и перемешивают с верхним слоем почвы.

Для повышения скорости фильтрации растворов кислоты выполняют рыхление на глубину 0,5. . .1 м.

Промывные нормы при мелиорации содово-засоленных земель рассчитывают, используя модели (см. 15.6.5) с учетом образования вторичных солей.

Расчетные запасы солей при промывках содово-засоленных земель устанавливают с учетом исходного засоления и «вторичных» солей. Основная реакция при кислковании содовых почв

$$Na_2CO_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + H_2O + CO_2\uparrow.$$

Норму кислоты рассчитывают, исходя из полной нейтрализации соды и вытеснения натрия из ППК,

$$S = 0{,}049\,(M - P_{adm})\,\gamma h/n, \qquad (15.33)$$

где S — количество мелиоранта, т/га; 0,049 — эквивалентная масса серной кислоты; M — сумма ионов HCO_3 и поглощенного Na; P_{adm} — допустимое количество поглощенного Na (5 % емкости поглощения); γ — объемная масса почвы, г/см³; h — мощность мелиорируемого слоя, см; n — процентное содержание кислоты.

15.6.2. МЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЦОВ И СОЛОНЦЕВАТЫХ ПОЧВ

Гипсование — основной прием химической мелиорации солонцов в степной, сухостепной и частично в полупустынной зонах. Вносить гипс следует во всех случаях, если количество природного гипса не превышает 2 % массы почвы.

Подтипы, роды и виды солонцов определяют способы мелиорации. Дозу мелиоранта (т/га) при использовании гипса рассчитывают по эквивалентному количеству обменного натрия, которое необходимо вытеснить из почвенного комплекса,

$$S = A\,(P_{Na} - P_{adm})\,\gamma h, \qquad (15.34)$$

где A — коэффициент перевода мг·экв в массу вещества; P_{Na} — количество поглощенного натрия в почвенном комплексе, мг·экв на 100 г почвы; P_{adm} — допустимое количество поглощенного натрия, мг·экв на 100 г почвы; γ — объемная масса почвы, г/см³; h — мощность мелиорируемого слоя, см.

Для слабощелочных почв в расчет вводят показатель S_c (сумма карбонатного и бикарбонатного иона за вычетом кальция)

$$S = A\,[(P_{Na} - P_{adm}) + S_c]\,\gamma h. \qquad (15.35)$$

После расчета дозы химмелиоранта по формулам необходимо внести поправки на содержание действующего вещества в применяемом сырье.

Дозы других мелиорантов определяют по этим же формулам в расчете на количество действующего вещества в мелиоранте (Ca, H). Ниже приведены переводные коэффициенты мг·экв в массу вещества для некоторых мелиорантов.

Гипс	0,086
Хлористый кальций	0,073
Известняк и мел	0,050
Сера	0,016
Серная кислота	0,149
Сульфат железа	0,139
Сульфат алюминия	0,112
Полисульфид кальция	0,066

При промывном режиме орошения часть гипса выносится из почвы фильтратом, поэтому рекомендуется рассчитанные дозы увеличить на 10. . .20 %.

В малонатриевые солонцы следует вносить гипс для устранения физической солонцеватости. Дозы гипса для малонатриевых солонцов определяют коагуляционным способом.

Для ускоренной мелиорации почвогрунтовой толщи в зоне действия дренажа необходимо вносить гипс во всю толщу солонцового горизонта до глубины залегания природного гипса, на гидроморфных и полугидроморфных солонцах до глубины 30. . .50 см. В степных солонцах верхняя граница природного гипса, как правило, опускается до 50. . .60 см, и в этом случае вносить гипс необходимо во всю разрыхленную толщу (до 0,6. . .0,8 м), а иногда и глубже.

Эффективность химических мелиорантов повышается при внесении органических удобрений (навоз, компосты, запашка сидератов) и кислых минеральных удобрений в виде суперфосфата и аммиачной селитры в количестве до 150 кг действующего вещества на 1 га.

Промывки и опреснительные поливы — обязательные мероприятия для проведения коренной мелиорации солонцов.

Расчет промывных норм выполняют для эпюр не менее 90 %-ной вероятности превышения содержания поглощенного натрия в ППК. Расчетную глубину промываемой толщи принимают 0. . .60 см для кормовых и овощных культур, 0. . .70 см — для зерновых. При использовании земель под солеустойчивые культуры можно промывать толщу 0,5 м до слабой степени засоления при дальнейшем опреснительном режиме орошения сельскохозяйственных культур.

Восстановление скорости фильтрации, свойственной зональной неосолонцованной почве, достигается при снижении содержания обменного Na в ППК до 3. . .5 % суммы поглощенных оснований, Mg — до 15 %.

При рассолонцевании с помощью культур-освоителей или основных культур в севообороте количество остаточного поглощенного Na зависит от устойчивости культур и может достигать 10. . .15 % для светло-каштановых и бурых полупустынных почв.

В зависимости от природных условий и хозяйственных задач мелиоративный период для полного улучшения солонцовых комплексов продолжается 1. . .3 года.

Применение комплекса мелиоративных мероприятий по коренному преобразованию солонцов показывает, что в среднем капитальные затраты окупаются при использовании земель под овощные культуры за 1. . .2 года, под рис — за 3. . .4 года, при кормовых севооборотах — за 3. . .4 года, при выращивании зерновых культур — за 6. . .9 лет.

15.7. ОРОСИТЕЛЬНАЯ ВОДА ДЛЯ ПРОМЫВОК

15.7.1. КАЧЕСТВО ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Оросительная вода содержит взвешенные наносы, растворимые соли, биологические элементы. К качеству оросительной воды относится также ее температура. Оптимальной следует считать температуру воды 15. . .30 °С.

Государственный стандарт на химический состав оросительной воды в нашей стране имеется только для южных районов Украины. На остальные регионы он не распространен. Классификация оросительных вод по степени пригодности для полива дана на рисунке 15.17 и в таблице 15.20.

Допустимое для растений и почвы содержание растворимых солей в оросительной воде, по А. Н. Костякову, составляет от 1 до 1,5 г/л. При повышении содержания солей до 3,0 г/л им рекомендовано проводить химический анализ воды для установления соотношения солей натрия, магния, кальция и др. Если преобладают соли гипса ($CaSO_4$), то вода безвредна. При преобладании солей натрия (хлористых или сернокислых) применение такой воды

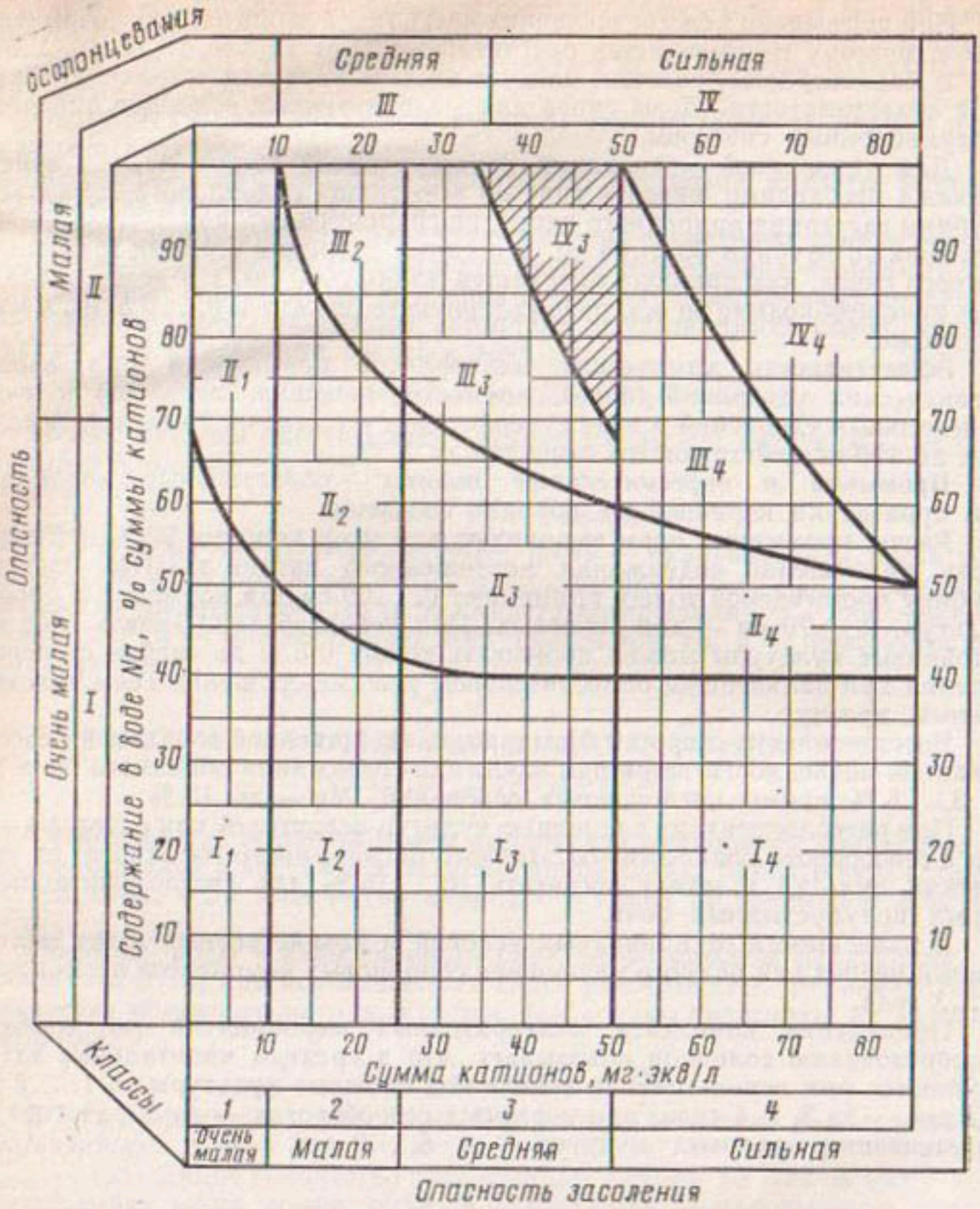


Рис. 15.17. Классификация оросительной воды по степени пригодности для полива (по А. И. Болдыреву)

для полива возможно лишь на легких почвах. Вода, в составе которой преобладает сода, для орошения непригодна.

Н. Н. Антипов-Каратаев в качестве критерия пригодности воды для орошения предложил использовать коэффициент ионного обмена K

$$K=(r\mathrm{Ca}+r\mathrm{Mg})\,(r\mathrm{Na}+0{,}238S),$$

где r Ca, r Mg, r Na — эквивалентное содержание химических элементов в воде; S — минерализация воды, г/л.

Воду считают пригодной для орошения при $K\leqslant 1$ и непригодной при $K>1$. При соотношении $\mathrm{Na}/(\mathrm{Ca}+\mathrm{Mg})\geqslant 4$ возможно осолонцевание почвы за счет поглощения ионов натрия.

Оросительная вода, имеющая в своем составе свободные карбонаты, способствует осолонцеванию почвы. Для улучшения оросительной воды вносят гипс: на каждый 1 мг·экв/л иона HCO_3, остающегося после связывания его с катионом кальция, рекомендуется вносить 0,08 г/л гипса. Улучшение воды

15.20. Классификация минерализованных вод по степени пригодности их для орошения (рис. 15.17)

Концентрация растворенных солей (сумма катионов), моль/дм³·10³ или моль/л·10³	Степень опасности		Классы воды по степени опасности		Характеристика пригодности воды
	осолонцевания почвы	засоления почвы	осолонцевания почвы	засоления почвы	
Не более 10	Очень малая (доля поглощенного Na не более 3...4% емкости катионного обмена почвы)	Очень малая	I	1	Пригодная (не требует улучшения)
10...25		Малая		2	
25...50		Средняя		3	
50...85		Сильная		4	
Не более 10	Малая (доля поглощенного Na не более 10% емкости катионного обмена почвы)	Очень малая	II	1	Ограниченно пригодная (на некоторых почвах требует улучшения)
10...25		Малая		2	
25...50		Средняя		3	
50...85		Сильная		4	
10...25	Средняя (доля поглощенного Na от 10 до 15% емкости катионного обмена почвы)	Малая	III	2	Условно пригодная (на всех почвах, за исключением гипсоносных, требует улучшения)
25...50		Средняя		3	
50...85		Сильная		4	
35...50	Сильная (доля поглощенного Na 15% и более емкости катионного обмена почвы)	Средняя	IV	3	Непригодная (обязательно требует улучшения и разбавления)
50...80		Сильная			

Примечание. Концентрация солей в моль/дм³ представляет собой сумму молярных концентраций эквивалентов всех растворенных в воде солей (выражается также в моль/л, мг·экв/л). При этом концентрацию солей, выраженную в г/л, с достаточной точностью получают умножением концентрации, выраженной в моль/дм³, на коэффициент 60.

15.21. Качество оросительной воды

Класс воды	Минерализация воды для орошения почв		
	с тяжелым механическим составом и ППК=30...60	со средним механическим составом и ППК=15...30	с легким механическим составом и ППК < 15
I	<0,5	<0,5	<0,5
II	0,5...0,8	0,5...1,0	0,5...1,0
III	0,8...1,2	1,0...1,5	1,0...2,0
IV	>1,2	>1,5	>2,0

Продолжение

Класс воды	Оценка воды по степени опасности развития процессов			
	хлоридного засоления Cl^-	натриевого осолонцевания $Ca^{2+}/Na+$	магниевого осолонцевания $Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Ca^{2+})$	содообразования $(CO_3^{2-}+HCO_3^-)-(Ca^{2+}+Mg^{2+})$
I	<2,0	<2,0	>0,5	<1,0
II	2,0...4,0	2,0...1,0	0,5...0,6	1,0...1,25
III	4,0...10,0	1,0...0,5	0,6...0,7	1,25...2,5
IV	>10,0	>0,5	<0,7	>2,5

Примечания: 1. Концентрация ионов выражена в мг·экв/л. 2. ППК — емкость поглощения почв в мг·экв/100 г почвы.

необходимо при орошении из каналов, проложенных в открытом грунте, где содержание HCO_3 в летнее время может доходить до 10. . .15 мг·экв/л, и потребность в гипсе в данном случае составляет 1 г/л, то есть 1 т на каждую тыс. $м^3$ воды.

При оценке качества оросительной воды в соответствии с агрономическими, техническими и экологическими условиями можно пользоваться данными таблицы 15.21.

Классы оросительной воды характеризуются следующим образом.

Класс I — оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. Не требуется ограничения состава сельскохозяйственных культур.

Класс II — оросительная вода не оказывает неблагоприятного влияния на качество сельскохозяйственной продукции, поверхностные и подземные воды. При недостаточной дренированности возможно засоление почв, снижение урожайности культур слабой солеустойчивости на 5. . .10 %. Для удаления лишних солей требуются умеренный промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, специальный комплекс мелиоративных мероприятий.

Класс III — оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Урожайность культур слабой и средней солеустойчивости снижается на 10. . .25 %. Без предварительной мелиорации воды и почв неизбежно развитие процессов засоления, натриевого и магниевого осолонцевания и содообразования. Необходимо регулирование pH оросительной воды, обогащение ее кальцием. Требуется промывной режим орошения при обеспеченной дренированности, интенсивность которого должна быть увязана со свойствами почв. Требуются ограничение состава сельскохозяйственных культур и специальный комплекс мелиоративных мероприятий.

Класс IV — оросительная вода оказывает неблагоприятное влияние на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

15.22. Предельные значения C_L и соотношение ионов в зависимости от свойств почв

ППК, мг·экв/100 г	C_L, г/л	Соотношение ионов, мг·экв/л		
		$Na^+/\sqrt{Ca^{2+}}$	$Na^+/\sqrt{Mg^{2+}}$	$Na^+/\sqrt{0,5\,(Ca^{2+}+Mg^{2+})}$
5	5	7,50	10,0	6,0
10	1,5...2	5,0	7,0	4,1
15	1,2...1,5	4,5	6,8	4,0
20	1,0	3,5	4,5	2,5
25	0,6	2,0	3,0	1,7
30	0,6	2,0	3,0	1,7
40	0,5	2,0	2,5	1,5

Урожайность культур слабой и средней солеустойчивости снижается на 25. . . 50 %. Требуется мелиорация почв и воды. Вода непригодна без предварительного изменения ее качественного состава или без проведения специальных исследований влияния ее на качество сельскохозяйственной продукции, на плодородие почв и другие природные факторы.

15.7.2. ПРИМЕНЕНИЕ ВОД ПОВЫШЕННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПРОМЫВОК

Применение вод повышенной минерализации в зависимости от исходного засоления C_0, минерализации C_L и химизма промывных вод, а также допустимого содержания солей в почвах C_{adm} возможно в следующих случаях: для рассоления засоленных почв при условии $C_L < C_{adm} < C_0$; для частичного опреснения почв при условии $C_{adm} < C_L < C_0$ с последующей допромывкой пресной водой.

При $C_L < C_{adm} < C_0$ задача расчетов сводится к обоснованию промывных норм в зависимости от C_0 и свойств почв (табл. 15.22).

При $C_{adm} < C_L < C_0$ расчет сводится к обоснованию объема вод повышенной минерализации для частичной промывки засоленных почв. Предельные

15.23. Предельные значения минерализации промывной воды C_L (г/л) и начального опреснения почв $\overline{C}$

Пористость почв, %	Показатели	Значение исходного засоления C_0, %		
		0,4	0,6	0,8
0,30	$\overline{C}$	0,05...0,1	0,05...0,1	0,05...0,1
	C_L	5...15	5...20	5...25
0,35	$\overline{C}$	0,07...0,15	0,07...0,15	0,07...0,15
	C_L	5...15	5...20	5...25
0,40	$\overline{C}$	0,12...0,22	0,12...0,22	0,12...0,22
	C_L	5...10	5...15	5...20
0,45	$\overline{C}$	0,15...0,3	0,15...0,3	0,15...0,3
	C_L	5...10	5...10	5...15
0,50	$\overline{C}$	0,2...0,4	0,2...0,4	0,2...0,4
	C_L	5	5...10	5...15
0,55	$\overline{C}$	0,3...0,5	0,3...0,5	0,3...0,5
	C_L	5	5	5...10

Продолжение

Пористость почв, %	Показатели	Значение исходного засоления C_0, %			
		1,0	2,0	3,0	4,0
0,30	$\bar{C}$	0,05...0,1	0,05...0,1	0,05...0,1	0,05...0,1
	C_L	5...25	5...25	5...25	5...25
0,35	$\bar{C}$	0,07...0,15	0,07...0,15	0,07...0,15	0,07...0,15
	C_L	5...25	5...25	5...25	5...25
0,40	$\bar{C}$	0,12...0,22	0,12...0,22	0,12...0,22	0,12...0,22
	C_L	5...25	5...25	5...25	5...25
0,45	$\bar{C}$	0,15...0,3	0,15...0,3	0,15...0,3	0,15...0,3
	C_L	5...20	5...25	5...25	5...25
0,50	$\bar{C}$	0,2...0,4	0,2...0,4	0,2...0,4	0,2...0,4
	C_L	5...15	5...20	5...25	5...25
0,55	$\bar{C}$	0,3...0,5	0,3...0,5	0,3...0,5	0,3...0,5
	C_L	5...10	5...15	5...20	5...20

значения минерализации промывных вод C_{adm} и значения начального опреснения почв $\bar{C}=(C-C_L)/(C_0-C_L)$ в зависимости от свойств почв приведены в таблице 15.23.

Промывные нормы при первоначальной промывке водами повышенной минерализации (I этап) определяют по формулам (15.6) и (15.7) или по номограмме (рис. 15.9), исходя из приведенной в таблицах 15.22 и 15.23 степени опреснения $\bar{C}$ свойств почв и гидрохимических параметров.

Промывные нормы для промывки почв пресной водой рассчитывают по тем же формулам и номограммам, исходя из содержания солей после промывки минерализованными водами, $C_0'=(C_0-C_L)\bar{C}+C_L$.

Воду минерализацией 15. . .25 г/л можно использовать для первой стадии промывки, предназначаемой для превращения солончаков из сильнозасоленных почв в среднезасоленные.

На второй стадии промывку следует проводить водой минерализацией 5. . .10 г/л. На этой стадии возможно возделывание культур-освоителей или плановых сельскохозяйственных культур, обладающих повышенной солеустойчивостью (ячмень, пшеница, сорго, просо, суданская трава, донник, пырей, костер безостый, сахарная свекла, томаты, подсолнечник и др.). При этом необходимо обеспечить промывной режим орошения, широко применять приемы влагонакопления (в степной и сухостепной зонах).

Глава 16. ЭРОЗИЯ ПОЧВ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

16.1. НЕРАЗМЫВАЮЩАЯ СКОРОСТЬ ПОТОКА

Комплексным показателем, характеризующим сопротивляемость почв эрозии, следует считать неразмывающую (неэродирующую) скорость потока, зависящую от сопротивляемости почв размывку, гидравлических параметров и других факторов, обусловливающих эрозию, которую определяют с учетом исходной влажности.

При отсутствии данных специальных исследований, необходимых для установления неразмывающих скоростей течения водного потока, для ориентировочных расчетов можно использовать данные, приведенные в таблице 16.1.

16.2. ЗАЩИТА ПОЧВ ОТ ЭРОЗИИ ПРИ ДОЖДЕВАНИИ

В соответствии с допустимой интенсивностью дождя по техническим показателям подбирают дождевальную машину, обеспечивающую требуемую интенсивность дождя без образования при поливе луж на поверхности почвы. При возможности интенсивность дождя регулируют непосредственно при поливе: у дождевальной машины ДДА-100М за счет изменения скорости

16.1. Ориентировочные значения неразмывающих донных скоростей течения воды (м/с) для различных почвогрунтов в состоянии полного водонасыщения

Почвогрунты	Содержание частиц, %		Неэродирующая скорость для почвогрунтов различной плотности, м/с			
	менее 0,005 мм	0,005...0,05 мм	малоплотных, 1,2 т/м³	среднеплотных, 1,2...1,65 т/м³	плотных, 1,65...2,04 т/м³	очень плотных, 2,04...2,14 т/м³
Глина	30...50	50...70				
Тяжелые суглинки	20...30	80...70	0,12	0,30	0,45	0,65
Легкие и средние суглинки	10...20	20...40	0,12	0,25	0,40	0,60
Почва песчаная и супесчаная	10	20	0,10	0,15	—	—

Примечание. Для учета увеличения сопротивляемости почв размыву при повышении пластичности используют следующие коэффициенты: при верхнем пределе пластичности от 30 до 40 значения донных допускаемых скоростей умножают на коэффициент $k=1,05$; при 40...60 — $k=1,1...1,2$; при 60...90 — $k=1,2...1,4$; при 90...150 — $k=1,4...1,7$. Значения этих скоростей умножают еще и на коэффициент μ, учитывающий предварительное увлажнение. Для районов с сухим климатом $\mu=0,5$, для районов с влажным климатом $\mu=0,9$. Полученные в результате поправок значения донных скоростей не должны быть меньше значений заиляющих скоростей v_b (обычно принимают $v_b=0,1$ м/с).

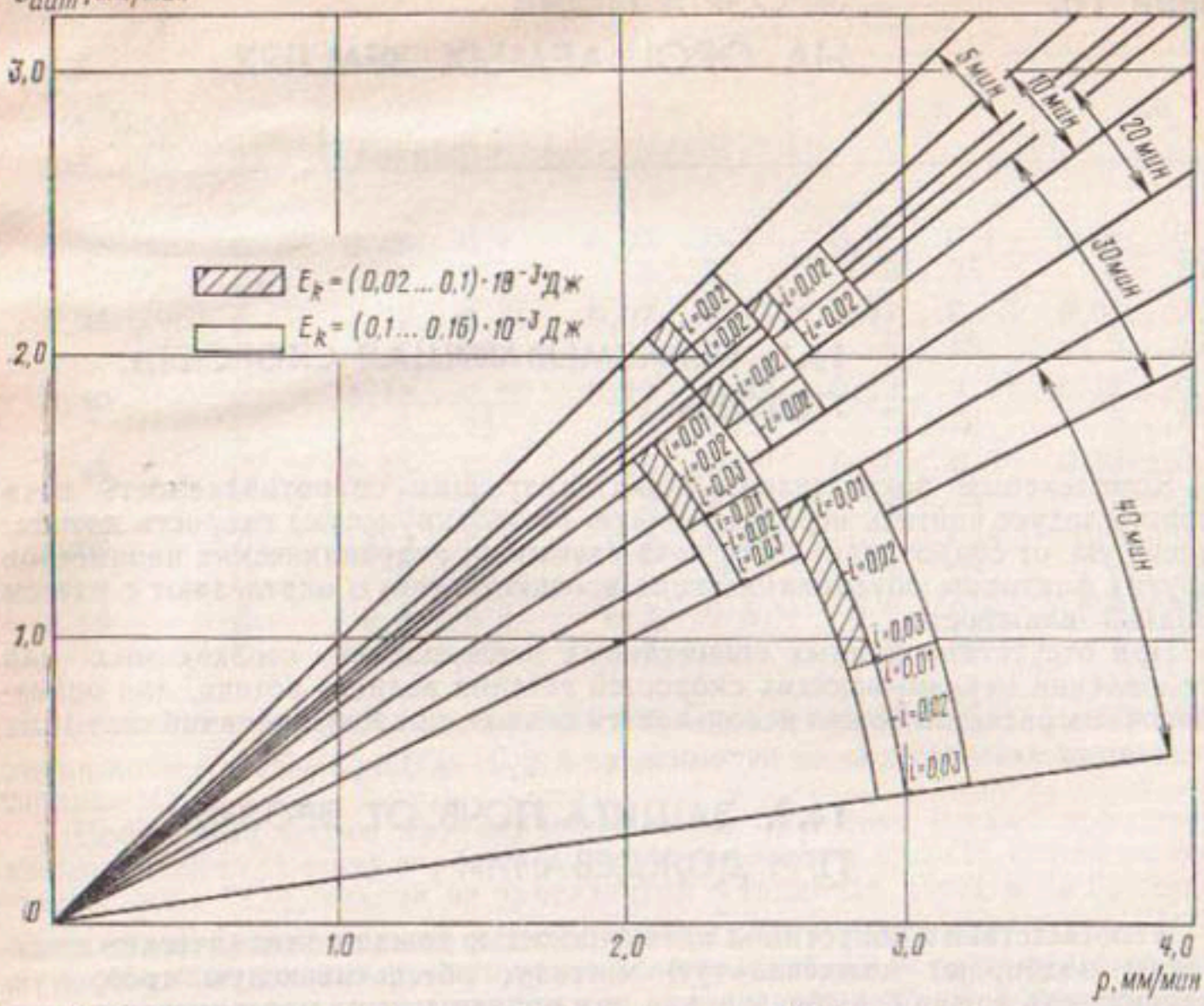


Рис. 16.1. Номограмма для определения $v_{adm} = f(\rho)$ по времени с учетом i и E_k

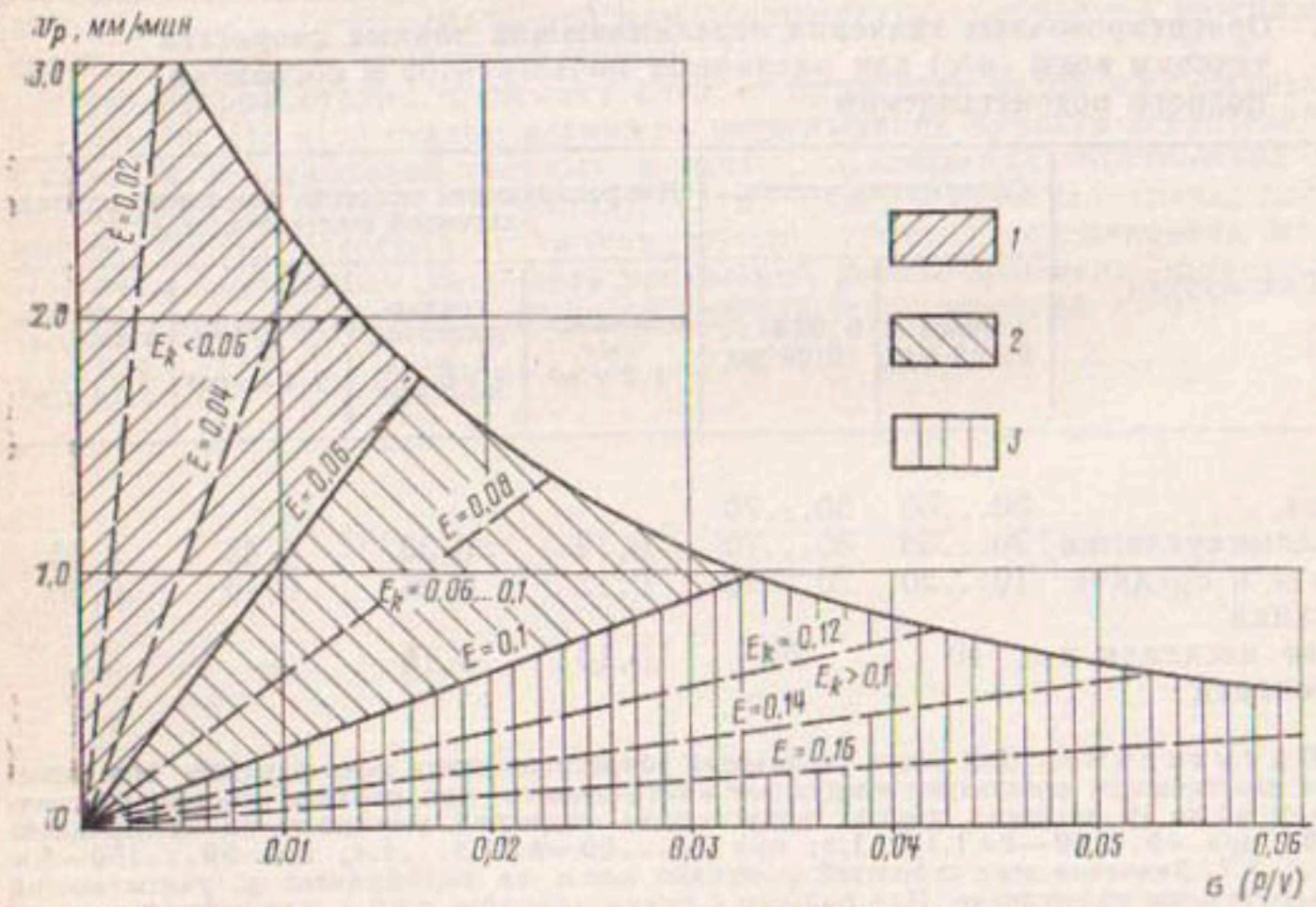


Рис. 16.2. Номограмма для определения $\sigma(P/V) = f(v_p)$:

1, 2, 3 — соответственно зоны полива короткоструйными, среднеструйными и дальнеструйными дождевальными машинами

перемещения, у ДДН-70 и КИ-50 «Радуга» — меняя сопла, а у «Фрегата» предусмотрен набор дождевальных аппаратов с различной интенсивностью. В дождевальной машине ДКШ-64 «Волжанка» изменить интенсивность дождя практически невозможно.

При поливах дождеванием на стадии проектных проработок можно использовать методику прогнозирования объема твердого стока на расстоянии от водораздела до конца эродируемой части склона

$$V_t = \sigma V = \sigma A t\,[\rho - f(i,\ t,\ \rho,\ E_k)]. \qquad (16.1)$$

Схема и порядок расчета по предлагаемой методике следующие: имея исходные данные для проектирования — уклоны полей i, вид дождевальной машины и интенсивность дождевания ρ, время полива и площадь каждого поля t и A, значение кинетической энергии дождя E_k для каждой машины при среднем значении интенсивности по номограмме (рис. 16.1) $v_t = f(\rho)$, определяют фактическую скорость впитывания воды почвой при дождевании v_p.

Объем жидкого стока с поля определяют по зависимости

$$V = At\,(\rho - v_p). \qquad (16.2)$$

Зная кинетическую энергию дождя и фактическую скорость впитывания, по номограмме (рис. 16.2) $\sigma = f(v_p)$ находят значения коэффициента σ для перевода жидкого стока в твердый. Имея значения коэффициента σ, по формуле $V_t = V\sigma$ определяют ожидаемый твердый сток при поливе.

Сравнивая значения ожидаемого твердого стока с допустимым смывом, путем постепенного приближения добиваются допустимого соотношения ожидаемого смыва при соответствующих свойствах почвы, типе дождевальных устройств и качестве дождя.

16.3. ЗАЩИТА ПОЧВ ОТ ЭРОЗИИ ПРИ ПОЛИВЕ ПО БОРОЗДАМ

Исследования показали, что полив без смыва почвы при поверхностном способе орошения, начиная с уклона 0,008, практически невозможен. Однако смыв не должен превышать допустимых для данных почв пределов.

Рекомендуется следующая группировка почв по значениям донных неразмывающих скоростей:

Почвы	v_b, м/с
Лугово-аллювиальные	$4 \cdot 10^{-2}$
Сероземы и бурые пустынные	$5 \cdot 10^{-2}$
Каштановые и светло-каштановые, дерново-подзолистые	$6 \cdot 10^{-2}$
Серые лесные, темно-каштановые, черноземы южные	$8 \cdot 10^{-2}$
Черноземы обыкновенные	$9 \cdot 10^{-2}$
Черноземы типичные и выщелоченные	$10 \cdot 10^{-2}$

При отсутствии данных о донных неразмывающих скоростях необходимы дополнительные полевые исследования.

Для предотвращения смыва почвы при поливе по бороздам на участках со значительными уклонами (до 0,025) следует пользоваться данными таблицы 16.2.

Имея значения толщины слоя смыва почвы h за сезон, установленные опытным путем, по предлагаемой шкале устанавливают абсолютное значение смыва почвы за год (мм/год) на данной территории:

Черноземы предкавказские	Черноземы южные и обыкновенные	Темно-каштановые почвы	Каштановые почвы	Светло-каштановые почвы
0,29	0,18	0,15	0,13	0,1
0,29	0,18	0,15	0,13	0,1
0,58	0,36	0,30	0,26	0,2
1,50	1,0	0,75	0,65	0,5
5,80	3,60	3,00	2,60	2,0
5,8	3,60	3,00	2,60	2,0

Исходя из предложенной классификации допустимых смывов почвы, устанавливают допустимые расходы воды в борозде, не вызывающие заметной эрозии (табл. 16.3).

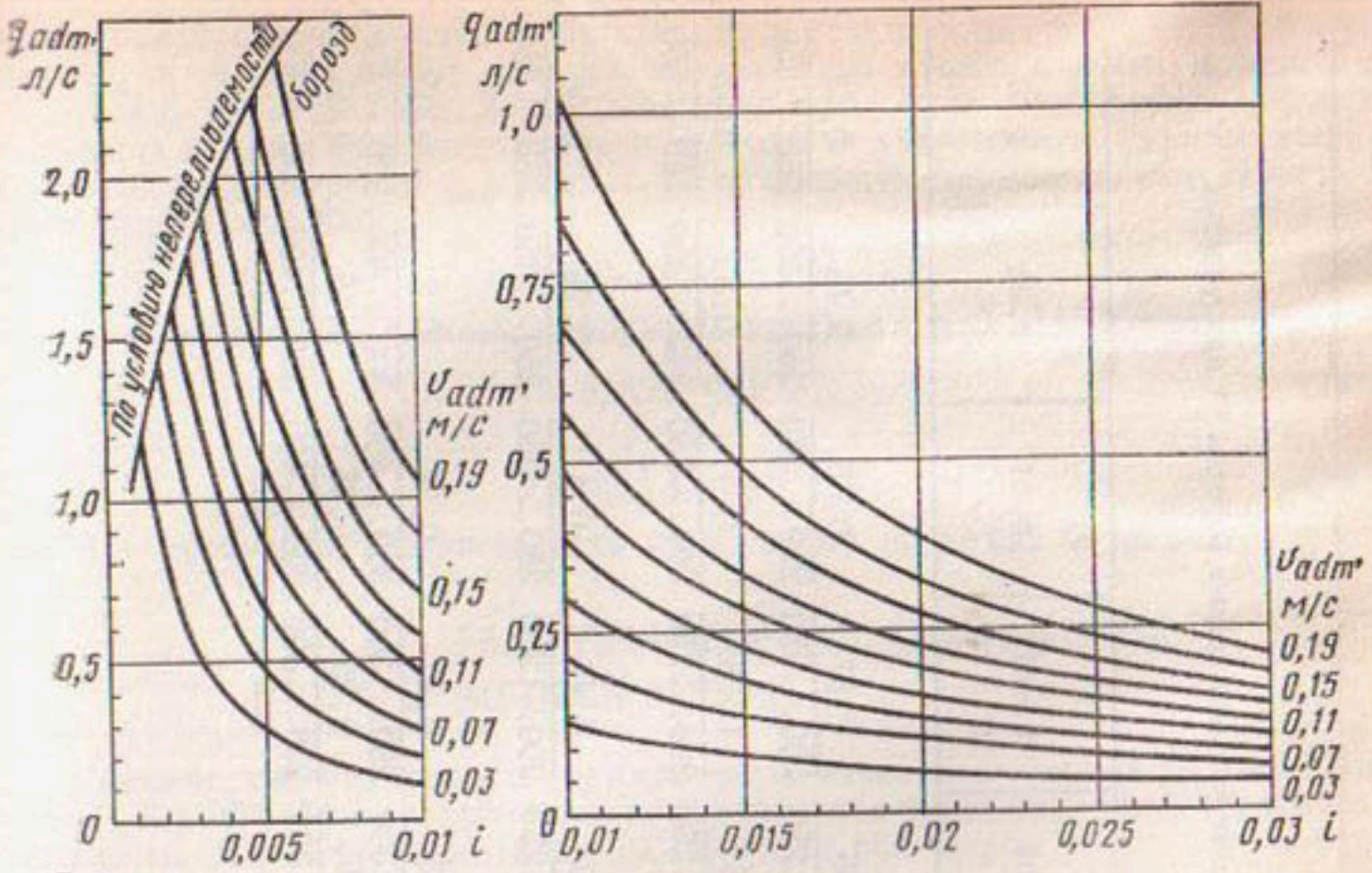
Для сероземов Средней Азии разработана схема расчета допускаемого расхода воды q_{adm}, исходя из донной допускаемой (по условию неразмываемости почвы) скорости потока v_{adm} и уклона борозды i. Значения q_{adm} можно найти по графикам (рис. 16.3).

Значение донной допускаемой скорости потока v_{adm} для рыхлого слоя культивации находят по графику (рис. 16.4) в зависимости от средневзвешен-

16.2. Поливная струя (л/с) при поливе по бороздам

Уклон	Длина борозды, м					Примечание
	50	100	150	200	250	
0,038	0,13	0,21	—	—	—	
0,033	0,15	0,24	—	—	—	$v_b = 0,1$ м/с;
0,028	0,18	0,27	—	—	—	
0,023	0,21	0,31	0,44	—	—	$v_{st} = 0,0000348$ м/с
0,018	0,26	0,37	0,51	—	—	
0,013	0,35	0,49	0,64	0,81	—	
0,008	0,56	0,74	0,96	1,16	1,39	
0,023	0,11	0,14	0,17	0,20	0,24	
0,018	0,15	0,18	0,21	0,25	0,29	$v_b = 0,1$ м/с;
0,013	0,21	0,25	0,20	0,34	0,39	
0,008	0,36	0,42	0,48	0,54	0,61	$v_{st} = 0,0000116$ м/с
0,023	0,16	0,26	—	—	—	
0,018	0,20	0,30	—	—	—	$v_b = 0,09$ м/с;
0,013	0,27	0,39	0,54	—	—	
0,008	0,42	0,77	0,93	—	—	$v_{st} = 0,0000348$ м/с
0,023	0,25	0,32	0,4	0,5	—	
0,018	0,32	0,41	0,5	0,6	0,71	$v_b = 0,12$ м/с;
0,013	0,42	0,56	0,67	0,8	0,93	
0,008	0,78	0,94	1,1	1,26	1,44	$v_{st} = 0,0000232$ м/с
0,023	0,23	0,35	—	—	—	
0,018	0,29	0,43	—	—	—	$v_b = 0,11$ м/с;
0,013	0,39	0,56	0,73	—	—	
0,008	0,64	0,86	1,1	1,34	—	$v_{st} = 0,0000405$ м/с
0,023	0,24	0,32	0,4	0,5	—	
0,018	0,32	0,41	0,5	0,6	0,71	$v_b = 0,12$ м/с;
0,013	0,45	0,56	0,67	0,8	0,93	
0,008	0,78	0,94	1,1	1,26	1,44	$v_{st} = 0,0000232$ м/с

Примечание. v_{st} — установившаяся скорость впитывания; v_b — донная неразмывающая скорость потока.



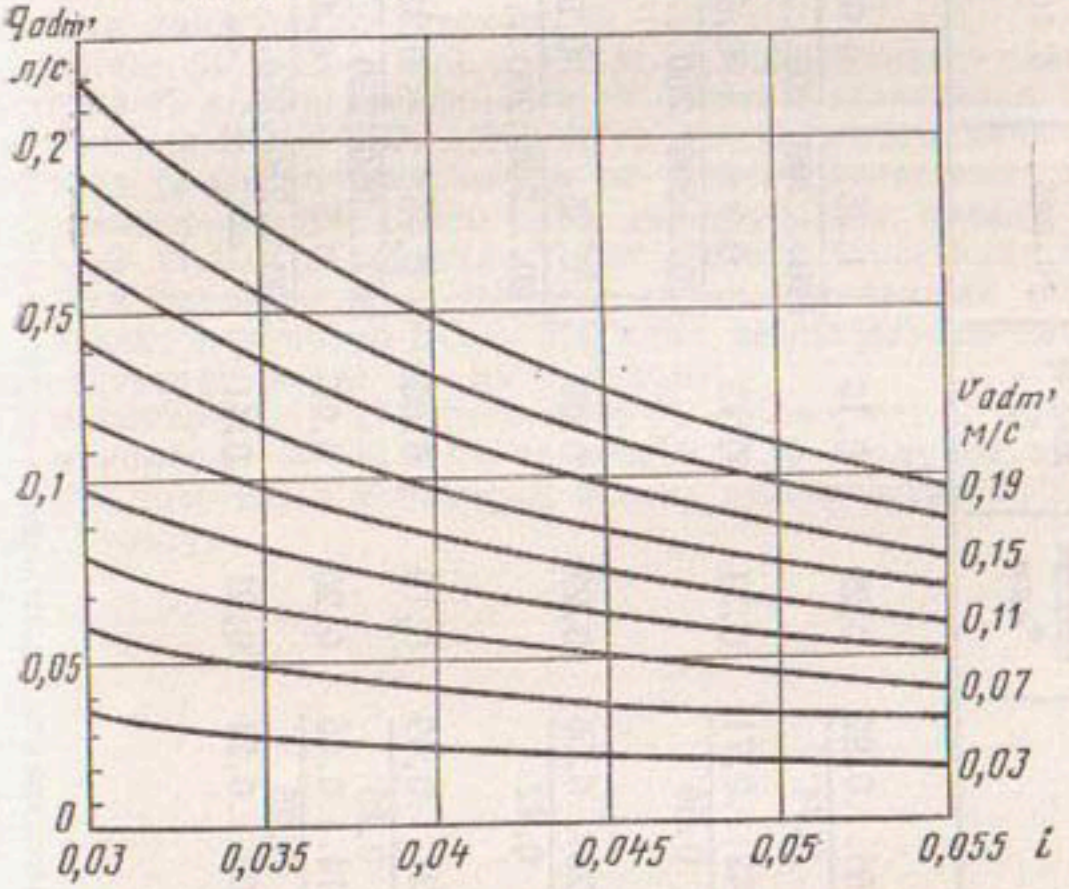


Рис. 16.3. Схема расчета допускаемого расхода воды q_{adm} в зависимости от допускаемой донной скорости v_{adm} и уклона борозды i

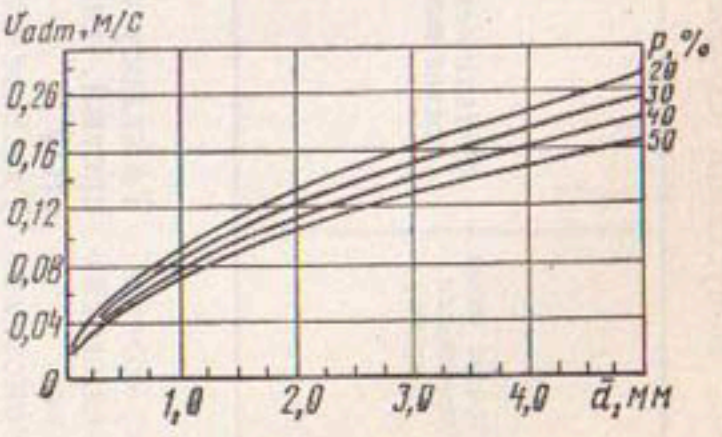


Рис. 16.4. Схема расчета донной скорости потока v_{adm} в зависимости от средневзвешенного диаметра $\bar{d}$

16.3. Допустимые скорости потоков и расходы в поливных бороздах для зоны Северного Кавказа

Почвы зоны орошения (пашня)	Механический состав почв	Установившаяся водопроницаемость с поверхности *, мм/мин	Допустимые скорости потоков в борозде, соответствующие допустимым смывам почвы, м/с		Допустимые расходы воды в борозды ** при уклонах					
			средние v_{adm}	донные v_b	0,005	0,006	0,007	0,01	0,02	0,03
Черноземы предкавказские	Тяжелосуглинистый, глинистый	0,56...0,92 / 0,74	0,29	0,16	1,25 / 120...200	0,95 / 200...250	0,87 / 200...250	0,65 / 250...350	9,45 / 250...350	0,15 / 250...350
Черноземы южные и обыкновенные	Тяжелосуглинистый, глинистый	0,42...0,71 / 0,56	0,31	0,13	0,9 / 120...200	0,6 / 200...250	0,55 / 200...250	0,4 / 200...350	0,3 / 250...350	0,08 / 250...350
Темно-каштановые	Тяжелосуглинистый, местами среднесуглинистый	0,28...0,56 / 0,42	0,22	0,09	0,85 / 120...200	0,5 / 200...250	0,47 / 200...250	0,4 / 250...350	0,25 / 250...350	0,06 / 250...350
Каштановые	Среднетяжелосуглинистый	0,21...0,49 / 0,35	0,19	0,08	0,75 / 200...250	0,45 / 250...300	0,42 / 250...300	0,34 / 300...400	0,2 / 300...400	0,05 / 300...400
Светло-каштановые	Среднетяжелосуглинистый	0,14...0,35 / 0,25	0,20	0,07	0,5 / 200...250	0,4 / 250...300	0,35 / 250...300	0,25 / 300...400	0,15 / 300...400	0,05 / 300...400
Солонцовые комплексы	Глинистый тяжелосуглинистый	0,03...0,21	0,21	0,11	—	—	—	—	—	—

* Числитель — интервалы водопроницаемости, знаменатель — средние значения.

** Числитель — допустимый расход (л/с), знаменатель — рекомендуемая длина борозды (м).

ного диаметра водопрочных агрегатов d_m и порозности агрегатов A. Значения d_m и A определяют экспериментально по общепринятым методикам.

Длину борозды l (м), время добегания воды до конца борозды t_l и длительность полива T (ч) рассчитывают, исходя из допускаемого расхода воды в головной части борозды q_{adm} (м³/с), по следующим приближенным зависимостям (при $i \ll 0{,}002$):

$$l = 31{,}6 \cdot 10^3 \alpha^{1{,}43} \sqrt{q_{adm}}, \tag{16.3}$$

где α — показатель степени в формуле впитывания А. Н. Костякова;

$$t_l = 0{,}27\alpha^{1{,}43}/\sqrt{q_{adm}}; \tag{16.4}$$

$$T = t_l \Big/ \left(1 - \eta^{\frac{1}{1-\alpha}}\right), \tag{16.5}$$

где η — требуемая равномерность увлажнения по длине борозды.

16.4. ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ МЕЛИОРАНТОВ

Химические мелиоранты применяют в начальный период развития растений. В дальнейшем сопротивление эрозии почв будет оказывать сама растительность. Ниже приведены нормы внесения полимеров.

Для движущихся песков:

латекс АРМ-15 — 300. . .499 кг/га действующего начала в виде 8 %-ного раствора (2 л/м² в зависимости от степени зарастания песков);

иономер-ВО — 250. . .350 кг/га действующего начала в виде 2 %-ного раствора (2 л/м² в зависимости от степени зарастания песков);

иономер-Л—150. . .250 кг/га действующего начала в виде 1,5 %-ного раствора (2 л/м² в зависимости от степени зарастания песков).

Для серо-бурых и сероземных эродированных почв:

латекс и иономер-ВО — 200 кг/га действующего начала (под травы непосредственно вслед за их посевом);

иономер-ВО — 270 кг/га (0,05 % объема массы почвы);

иономер-Л — 160 кг/га (в дозе 0,03 % объемной массы почвы).

Иономер-ВО и иономер-Л вносят непосредственно после посадки овощных культур.

Глава 17. ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ И СПОСОБЫ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ

17.1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ. ПОЧВЕННАЯ ВЛАГА

К общим физическим свойствам относятся плотность почвы, плотность ее твердой фазы и пористость.

Плотность твердой фазы почвы — отношение массы твердой фазы почвы в сухом состоянии к массе равного объема воды при температуре 4 °С. Ее значение зависит от вида входящих в почву минералов и количества органического вещества; для минеральных почв оно колеблется от 2,4 до 2,8 г/см³, для торфяных почв в зависимости от степени разложения и зольности торфа — от 1,4 до 1,7 г/см³. Плотность твердой фазы используют для определения пористости почвы и ее полной влагоемкости.

Плотность (объемная масса) — масса единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении; выражается в г/см³. Плотность почвы всегда меньше плотности твердой фазы и зависит от плотности составляющих ее веществ, сложения и пористости. Она определяет водный, воздушный, тепловой режимы почвы, физические условия роста растений, рост корневой системы растений, урожай. Плотность минеральных почв составляет 0,9. . . 1,8 г/см³, болотных торфяных — 0,15. . .0,4 г/см³. Значение плотности используют для вычисления пористости и полной влагоемкости почвы.

Пористость почвы (порозность, скважность) — суммарный объем всех пор в почве, выраженный в процентах (или в долях) общего объема почвы. В разных горизонтах минеральных почв пористость изменяется в широких пределах (25. . .90 %), для гумусовых горизонтов обычно составляет 5. . . 60 %, для болотных торфяных почв — 80. . .90 %.

Различают капиллярную и некапиллярную пористость. **Капиллярная пористость** равна объему капиллярных промежутков почвы, **некапиллярная** — объему крупных пор. Сумма видов пористости составляет общую пористость почвы, которую вычисляют по формуле

$$A = (1 - \gamma/m)\,100,$$

где γ — объемная масса (плотность почвы); m — плотность твердой фазы почвы.

Пористость почвы необходимо определять для характеристики физических условий роста растений и расчета влагоемкости почвы.

Вода в почве находится в парообразной, гигроскопической, пленочной, капиллярной и гравитационной формах (классификация А. Ф. Лебедева).

Парообразная вода движется, как газ, из мест с большей упругостью пара к местам с меньшей упругостью и способна переходить в другие формы. Она недоступна корневой системе растений.

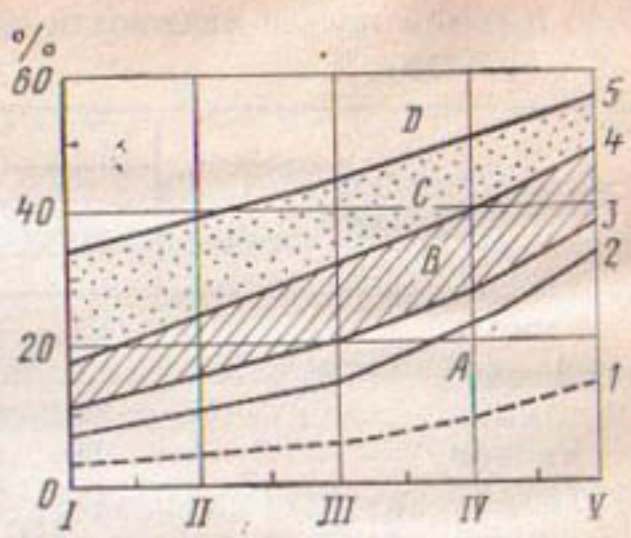
Гигроскопическая влага образуется на поверхности частиц при поглощении почвой из воздуха паров воды. Максимальная гигроскопичность песчаных почв — около 1 %, суглинистых — 5. . .8, глинистых — 10. . . 12 % массы сухой почвы и недоступна растениям.

Пленочная вода обволакивает почвенные частицы тонким слоем поверх гигроскопической, удерживается молекулярными силами и недоступна растениям.

Капиллярная влага заполняет все мелкие поры (капилляры) и передвигается в любом направлении от мест с более высоким увлажнением к ме-

Рис. 17.1. Содержание влаги в почве в процентах от объема почвы при различном увлажнении:

1 — максимальная гигроскопичность; *2* — коэффициент устойчивого увядания; *3* — критическая влажность; *4* — наименьшая влагоемкость *5* — полная влагоемкость; *A* — недоступная влага; *B* — усвояемая влага; *C* — воздух; *D* — скелет почвы; *I* — песок; *II* — супеси; *III* — суглинки; *IV* — глины; *V* — тяжелые глины



стам с меньшей влажностью под действием сил поверхностного натяжения, не подчиняясь силам гравитации; доступна растениям.

Гравитационная влага заполняет в почве крупные поры и пустоты, она подчиняется силам гравитации. Содержится в почве после полива, обильных дождей, затем просачивается вглубь, уходя за пределы расположения корневой системы, или переходит в состояние капиллярной влаги; доступна растениям.

Основные формы почвенной влаги (по терминологии А. А. Роде) следующие (рис. 17.1).

Влагоемкость — способность почвы поглощать и удерживать определенное количество воды; выражается количеством влаги в процентах массы сухой почвы или ее объема, а также в мм водного слоя (запасы влаги в почве). При вычислении влагоемкости в мм используют плотность почвы. Различают полную, наименьшую, капиллярную и максимальную молекулярную влагоемкость.

Полная влагоемкость почвы (или полная водовместимость ПВ) — количество влаги, которое может вместить почва при условии полного заполнения влагой всех ее пор.

Наименьшая влагоемкость (предельная полевая влагоемкость НВ) — максимально возможное количество воды, удерживаемой почвой после обильного увлажнения и свободного стекания при глубоком залегании грунтовых вод и однородном сложении почвы. Эта величина имеет наибольшее агрономическое значение, так как характеризует верхний предел оптимальной влажности почвы; ее выражают в процентах пористости или объемной массы почвы.

Капиллярная влагоемкость — наибольшее количество капиллярно-подпертой влаги, которое может содержаться в почве. Значение ее зависит от высоты изучаемого слоя над уровнем грунтовых вод.

Влажность почвы — содержание воды в единице объема почвы, выраженное в процентах массы абсолютно сухой почвы (абсолютная влажность), объема почвы (объемная), содержания влаги, соответствующего виду влагоемкости (чаще всего наименьшей или полной). По влажности почвы определяют запасы влаги в том или ином ее слое в данный момент, запасы влаги, доступной растениям, а также устанавливают время проведения очередного полива, наступления спелости почвы для обработки, оценивают влагообеспечение растений.

Влажность почвы можно выразить в процентах массы сухой почвы

$$w_0 = \frac{m_f - m_d}{m_d} 100,$$

где w_0 — влажность, % сухой навески; m_f, m_d — масса соответственно влажной и сухой почвы;

в процентах объема почвы

$$w = w_0 \gamma,$$

где γ — объемная масса почвы, г/см³ (т/м³);

в процентах пористости

$$w_A = \frac{w_0 \gamma}{A} 100,$$

где A — пористость, %.

17.1 Нижний предел влажности почв для различных сельскохозяйственных культур, %

Сельскохозяйственные культуры	Почвы			
	супесчаные	легкосуглинистые	среднесуглинистые	тяжелосуглинистые
Пшеница:				
озимая	60...65	65...70	70...75	75...80
яровая	60...65	65...70	70...75	75...80
Кукуруза	60...65	65...70	70...75	75...80
Рис	100	100	100	100
Горох	65...75	70...80	70...80	75...80
Соя	65...70	70...80	75...80	
Хлопчатник	65...70	60...70	65...75	70...85
Свекла:				
столовая	75...80	75...80	70...80	70...80
сахарная	60...65	65...70	70...75	75...80
кормовая	65...70	70...75	70...75	75...80
Подсолнечник	65...75	65...75	70...80	70...80
Люцерна	65...70	65...70	70...75	75...80
Культурные пастбища	65...75	65...75	70...80	70...80
Суданская трава	65...70	70...75	70...75	70...75
Сорго	55...60	65...70	65...70	75...80
Вика	70	70	75...80	75...80
Капуста, огурцы	75...80	75...80	80...85	80...85
Лук	70...75	70...75	75...80	75...80
Морковь	65...80	70...80	70...80	75...85
Перец, баклажаны	65...75	70...75	70...80	70...80
Картофель	65...80	65...80	75...80	75...85
Бахчевые	70...75	70...75	70...75	70...75
Плодовые, виноград	70...75	70...75	70...75	70...75

Кроме абсолютной и объемной влажности почвы, различают влажность устойчивого завядания растений и влажность разрыва капилляров.

Влажность устойчивого завядания (ВУЗ) — количество воды в почве, при котором появляются необратимые признаки завядания растений, выражается в мм водного слоя.

Влажность разрыва капилляров (ВРК) — влажность, при которой подвешенная влага в почве в процессе испарения теряет сплошность и способность передвигаться к испаряющей поверхности (табл. 17.1).

По степени усвояемости растениями выделяют доступную влагу — часть почвенной влаги, которая может быть поглощена растениями в процессе жизнедеятельности. Доступная растениям влага делится на продуктивную и эффективную.

Продуктивная влага — почвенная влага в диапазоне от влажности устойчивого завядания до наименьшей влагоемкости, доступна для растений. Она равна фактическому запасу воды минус запас воды при влажности устойчивого завядания.

Эффективная влага — вода, которая легко используется растением. Она равна фактическому запасу воды минус запас при критической влажности. Синоним — легкодоступная или активная.

Запасы влаги в почве — суммарное количество почвенной влаги, содержащееся в определенном слое почвы в рассматриваемый период, составляющая водного баланса, выражается в мм водного слоя или м³/га. Запасы воды в почвенном слое определяют по формуле

$$W = 10hw,$$

где h — глубина расчетного слоя почвы, м; w — объемная влажность, %.

Запасы воды в активном слое почвы ($м^3/га$)

$$W = 100hw \text{ или } W = 100\gamma w.$$

По запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы в период всходов можно судить о влагообеспеченности сельскохозяйственных культур.

Запасы влаги, мм	60	61...90	91...130	131...160	160
Оценка запасов	Очень плохие	Плохие	Удовлетворительные	Хорошие	Очень хорошие

По глубине почву делят на **генетические горизонты**, свойства которых различны. Если в расчетный слой почвы входит несколько горизонтов, то общий запас воды равен сумме объемов воды, заключенных в каждом. В условиях орошения обычно определяют запасы воды в **активном слое почвы**, где расположена основная масса (до 90 %) корней растений. Мощность активного расчетного слоя почвы увеличивается от посева до поспевания и уборки; ее осредненные значения для разных почв приведены в таблице 17.2.

Для маломощных почв, подстилаемых галечниковыми или щебенчатыми отложениями, глубину расчетного слоя принимают по таблице 17.2, но не более глубины до залегания щебня или гальки. На луговых почвах глубину увлажнения для хлопчатника, люцерны и сахарной свеклы принимают: при глубине грунтовых вод 2. . .3 м — не более 0,7. . .1 м, при глубине 1. . . 2 м — не более 0,7. . .0,8 м, при глубине грунтовых вод около 1 м — 0,4. . . 0,5 м.

17.2. Глубина расчетного слоя почвы для различных сельскохозяйственных культур, см

Культуры	Посев (посадка) — начало вегетации	Созревание — конец вегетации
Пшеница:		
озимая	60	80
яровая	50	80
Кукуруза	60...70	75...80
Горох	50	70
Соя	70	80
Хлопчатник	50...60	60...100
Свекла:		
кормовая	70	80...90
сахарная	50	80
столовая	50	60...80
Подсолнечник	70	80
Люцерна	80	100
Культурные пастбища	50...70	50...70
Суданская трава	35...40	35...40
Вика	60	60
Томаты	40	80
Капуста, огурцы	20...30	30...60
Морковь	50	60
Перец, баклажаны	50	50
Картофель	40...50	60...70
Бахчевые	50...60	70
Плодовые	100...120	100...120
Виноград	80	100

17.2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

17.2.1. ТОЧЕЧНЫЕ СПОСОБЫ

Точечными способами измеряют влажность в объемах от нескольких кубических сантиметров до нескольких кубических дециметров и в таких же объемах проводят наблюдения за ее изменениями.

В практике получили распространение следующие точечные способы измерения влажности и средства, их реализующие.

Термостатно-весовой (гравиметрический). Он широко известен и является образцовым. Для отбора проб используют буры типа АМ-16, а из мерзлых грунтов — АМ-26. Пробы берут с горизонтов 0. . .5, 5. . .10, 10. . . 20, 20. . .30 см. Взвешивают пробы до и после высушивания. Влажность почвы определяют в процентах массы. Конструкция технических средств для извлечения проб, индивидуальные особенности оператора при взятии проб влияют на точность результатов. Недостатки способа: большая трудоемкость, отсутствие оперативности, невозможность выполнять повторные измерения в одних и тех же объемах.

Карбидный. Реализуется в экспресс-влагомере почв (ЭВК), предназначенном для массового оперативного контроля весовой влажности почвогрунтов в полевых условиях (рис. 17.2). ЭВК состоит из герметичной камеры, выполненной в виде конического сосуда, с манометром. В камеру помещают навеску почвы массой 13 или 26 г и порцию реагента. После герметизации камеры пробу перемешивают с реагентом путем встряхивания. Влажность пробы определяют по шкале манометра, отградуированной в единицах весовой влажности. В комплект влагомера входят камера с манометром, взвешивающее устройство, два стальных шара для перемешивания в сосуде пробы с реагентом, ложка для реагента, ерш.

Техническая характеристика влагомера ЭВК

Диапазон измерения влажности (весовой), %	От 0 до 42
Интервал температур воздуха, °С	От 1 до 45
Время одного определения, мин	Не более 5
Абсолютная погрешность не превышает в диапазоне измерений:	
от 0 до 20 % весовой влажности	±2 %
от 20 до 42 % весовой влажности	±4 %
Масса камеры манометра, кг	Не более 3
Масса комплекта влагомера с футляром, кг	Не более 6,5
Расход карбидного реагента на одно определение, г	7 или 14
Срок службы влагомера, годы	8

Расход реагента при интенсивности использования влагомера 40 определений в сутки составляет около 50 кг за вегетационный период.

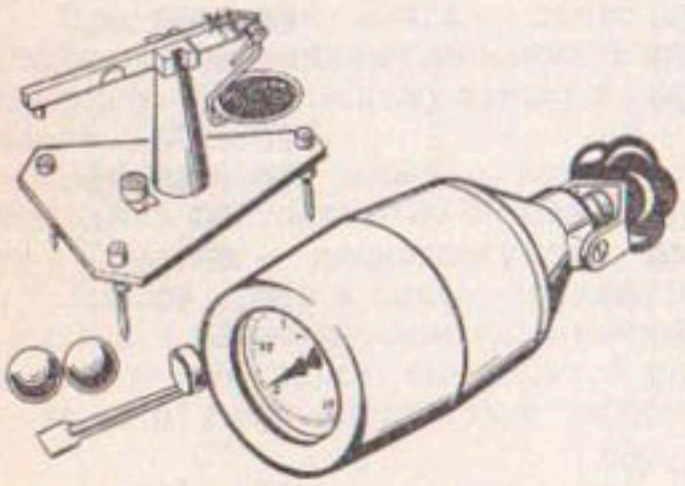


Рис. 17.2. Экспресс-влагомер ЭВК

Влагомеры такого типа выпускают и за рубежом (США, ПНР и др.).

Электрические. Во влагомере «Днестр», выпускаемом отечественной промышленностью, реализован кондуктометрический способ измерения влажности. Прибор выполнен в виде исходного щупа общей массой около 4 кг. Диапазон измерения 30. . .100 % НВ, глубина измерения — до 50 см, погрешность ±5 % НВ. На показания влагомера влияют поляризация электродов, прилегание почвы к зонду, нестабильность сопротивления между почвой

и зондом, засоленность почвы. В связи с этим погрешность измерения влажности в практике высока — 15. . .25 %. Разрабатываются более совершенные влагомеры, основанные на этом способе (ППВ-1 и др.).

Диэлькометрический способ основан на зависимости диэлектрической проницаемости почвы от влажности на частотах 1,4. . .19,4 МГц. На диэлектрическую проницаемость влияют температура, механический состав, соли и плотность почвы. Прибор «Агротестер» Т, разработанный на этом принципе, позволяет выполнять измерения до глубины 0,7 м.

Измерение комплексного сопротивления реализовано в датчике влажности почвы — ДВПТ. Он предназначен для измерения влажности почвы в зоне корней растений и состоит из чувствительного элемента с двумя электродами, укрепленными в оправке. При контакте влагочувствительного элемента датчика с почвой система приходит в термовлажностное равновесие, электрическое сопротивление датчика соответствует влажности почвы.

Техническая характеристика ДВПТ

Диапазон измеряемой влажности, %	50...90
Изменение электрического сопротивления, кОм	1...20
Абсолютная погрешность, %	±10
Габаритные размеры, мм	29×15×3
Масса, г	10

Концентрация солевых растворов в почвенной влаге оказывает значительное влияние на работу электрических влагомеров. При помощи промежуточных сред (гипсовых блоков) закладных датчиков, отградуированных применительно к данному месту размещения, можно наблюдать изменения влажности на незасоленных почвах.

В измерителе влажности почвы типа АМ-11 использована зависимость электросопротивления гигроскопического элемента от влажности. Датчики стационарно устанавливают в почве, пульт переносной. Диапазон измерения 10. . .50 %, погрешность ±2,5 % об.

Для уменьшения влияния солевых растворов в промежуточные среды вводят ионообменные смолы или экранируют их этими смолами. С применением ионообменных смол вариация концентраций солевых растворов слабо влияет на электрическое сопротивление промежуточных сред.

Радиационные. Нейтронный способ основан на облучении почвы быстрыми нейтронами и измерении вблизи источника излучения (излучателя) плотности потока медленных нейтронов. Предпосылкой для применения этого метода является то, что движение нейтронов замедляется лишь в результате взаимодействия с ядрами водорода, которые содержатся преимущественно во влаге. Поэтому существует зависимость между плотностью потока медленных нейтронов и объемной влажностью. На практике влажность почвы обычно находят либо по градуированному графику — эмпирической зависимости количества медленных нейтронов, зарегистрированных радиометрической частью влагомера в единицу времени от объемной влажности, либо по показаниям стрелочного или цифрового индикатора.

Градуировочная зависимость практически едина для подавляющего большинства почв любого гранулометрического и химического состава. В некоторых случаях показания нейтронных влагомеров могут искажаться: при наличии бора, хлора, лития и некоторых других элементов — аномально сильных поглотителей медленных нейтронов (если их концентрация значительно превышает повсеместные) и резкой слоистости почв по гранулометрическому составу в пределах контролируемой влагомером почвенной толщи. Для предотвращения искажения показаний влагомеров в указанных случаях измерения выполняют по специальным методикам.

Отечественной промышленностью выпускаются нейтронные влагомеры ВПГР-1 (влагомер поверхностно-глубинный радиоизотопный), «Электроника»-ВНП-1 (влагомер нейтронный переносной) и радиационный измеритель влажности — РИВ.

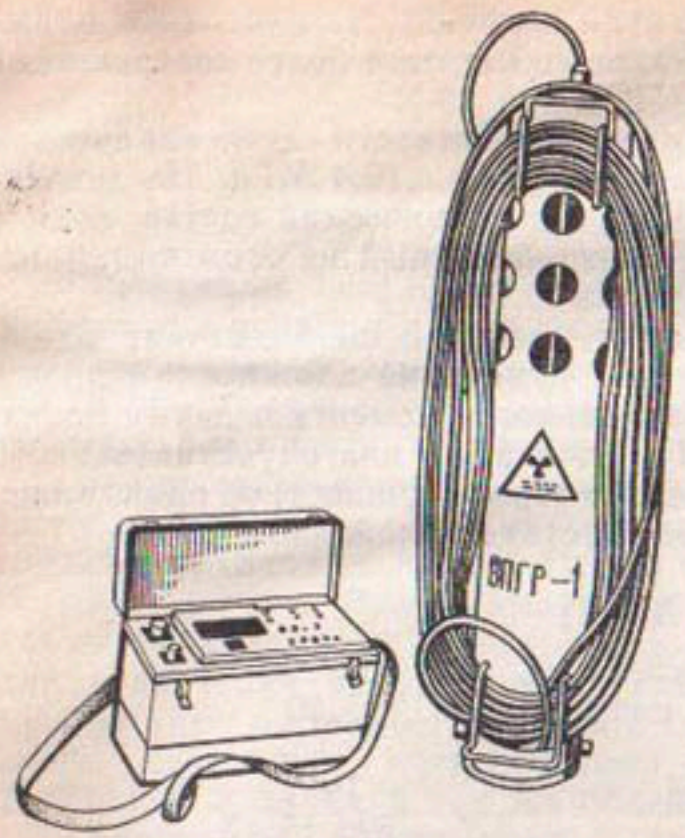


Рис. 17.3. Влагомер поверхностно-глубинный, радиоизотопный ВПГР-1

Нейтронный влагомер ВПГР-1 (рис. 17.3, 17.4) отличается от ранее выпускавшихся нейтронных влагомеров НИВ меньшей массой, меньшим диаметром зонда, возможностью точных измерений в верхнем (пахотном) слое почвы, более высоким быстродействием, повышенной точностью и меньшей активностью излучателя.

Влагомер отградуирован для дюралюминиевых труб с внутренним диаметром 38 и внешним 40. . .42 мм. В устойчивых почвогрунтах допускается проводить измерения в необсаженных скважинах, которые можно армировать также стальными или пластмассовыми трубами. Градуировочный график (рис. 17.4, *в*) для таких труб корректируют потребители. Влагомер состоит из зонда с источником быстрых и детектором медленных нейтронов, пульта-счетчика импульсов детектора с блоком питания (СИП-1М), который обеспечивает дискретную регистрацию в цифровой форме электрических импульсов, выдаваемых блоком детектирования и питания всех цепей прибора стабилизированным напряжением. Выполнен он в виде переносного прибора в пылебрызгозащищенном исполнении.

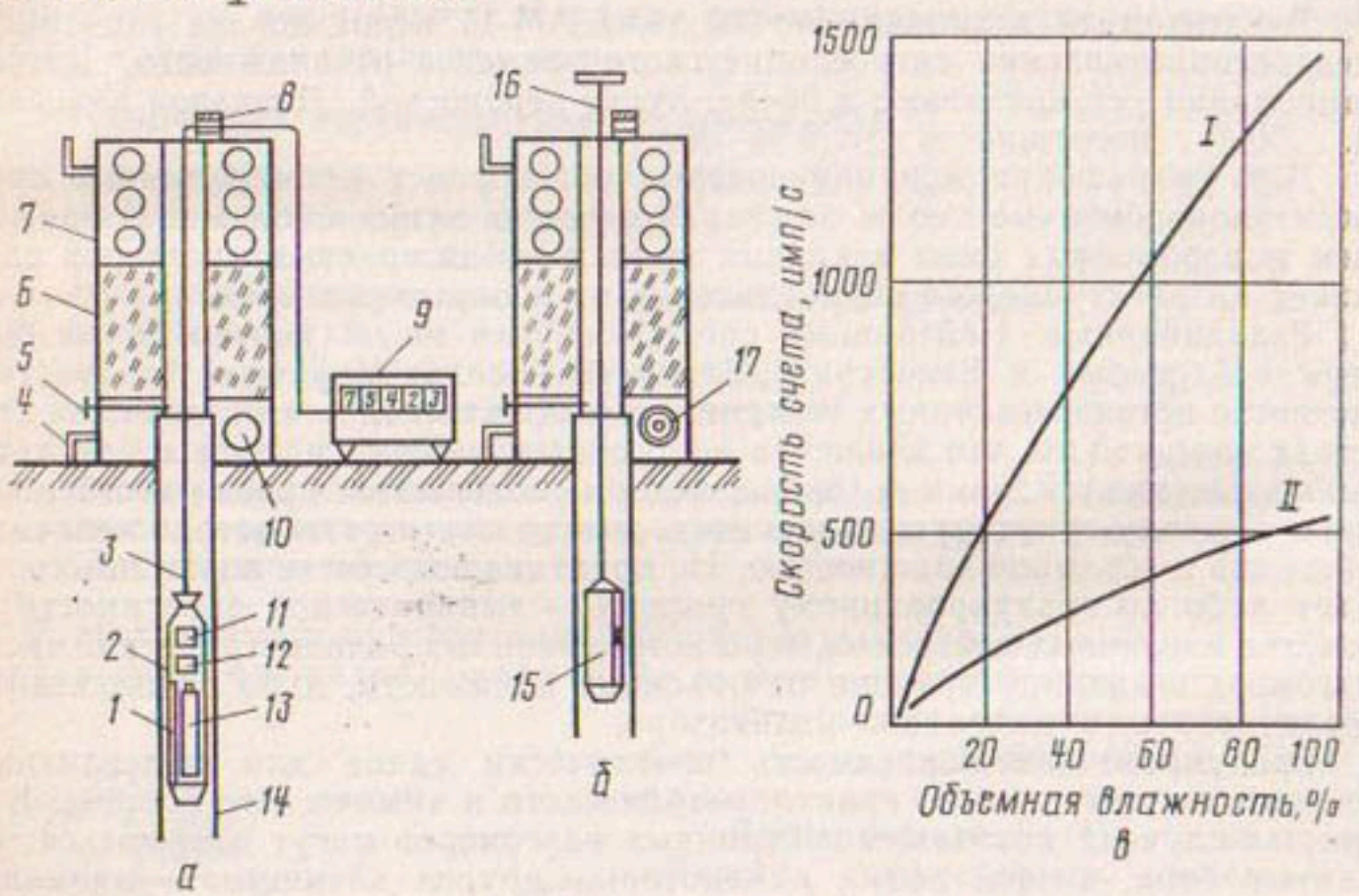


Рис. 17.4. Схемы измерений влагомером ВПГР-1:

а — глубинных; *б* — поверхностных; *в* — градуировочный график; *1* — источник быстрых нейтронов; *2* — глубинный зонд; *3* — кабель; *4* — ручка; *5* — фиксатор блока источника; *6* — полиэтиленовый блок; *7* — контрольно-транспортное устройство (КТУ); *8* — указатель глубины введения зонда; *9* — счетчик электрических импульсов; *10* — горизонтальный канал для размещения блока детектирования при поверхностных измерениях; *11* — преобразователь высокого напряжения; *12* — усилитель и формирователь электрических импульсов; *13* — обсадная труба; *14* — детектор; *15* — блок источника в положении для поверхностных измерений; *16* — удлинитель; *17* — блок детектирования с детектором в положении для поверхностных измерений; *I* — для глубинных измерений; *II* — для поверхностных измерений при заглублении источника нейтронов на 10 см

Техническая характеристика ВПГР-1

Диапазон измерения объемной влажности, % об:	
глубинные измерения	1...100
поверхностные измерения	1...50
Случайная погрешность при доверительной вероятности 0,9, % об	±1...1,5
Время единичного измерения влажности, с	10; 30
Глубина измерений, м	0,1...5; 0,1...30
Интервалы задаваемого времени измерения, с	1; 10; 30; 100; 300
Диаметр зонда, мм	35,5
Диаметр скважины, мм	40...50
Питание сетевое и автономное от элементов типа 373 напряжением, В	12
Температурные условия эксплуатации, °С	—10...+40
Выход плутоний-бериллиевого источника, нейтрон/с	$5 \cdot 10^4$
Масса, кг	14

Радиоизотопный измеритель влажности РИВ (рис. 17.5) предназначен для оперативного контроля влагозапасов корнеобитаемого слоя почв орошаемых земель. Разработан на основе радиоизотопного (нейтронного) влагомера ВПГР-1 и отличается от него меньшей массой (в 3 раза), меньшей активностью нейтронного источника (в 5 раз), возможностью прямого считывания значений влажности по стрелочному индикатору, отградуированному в единицах объемной влажности (г/см³ или %).

Влагомер состоит из полой штанги, содержащей в нижней части собственно зонд — источник быстрых и детектор медленных нейтронов, небольшого блока биологической защиты и пульта с электронной схемой, стрелочным индикатором и аккумуляторами. На пульте имеется только один орган управления — тумблер «Вкл» — «Выкл».

Техническая характеристика РИВ

Диапазон измерений объемной влажности, %	5...50
Случайная погрешность при доверительной вероятности 0,86, % об	1,5
Время единичного измерения влажности, с	30...60
Глубина измерений, м	От 0,15 до 1,0
Диаметр штанги-зонда, мм	35,5
Диаметр скважины, мм	40...50
Питание автономное от аккумуляторной батареи или от элементов типа 343 напряжением, В	13
Температурные условия эксплуатации, °С	5...50
Масса, кг	5

Влагомер ВНП-1 (рис. 17.6) выполнен в виде единого блока, содержащего зонд (источник быстрых и счетчик медленных нейтронов), электронную схему с цифровым табло на жидкокристаллических индикаторах, источник питания (миниатюрные аккумуляторы) и кабель, связывающий зонд с электронной схемой.

Влагомер ВНП-1 отличается от влагомера ВПГР-1 следующим: непосредственным высвечиванием значений влажности на цифровом табло; простотой управления (имеются всего две кнопки, нажатие на любую из них

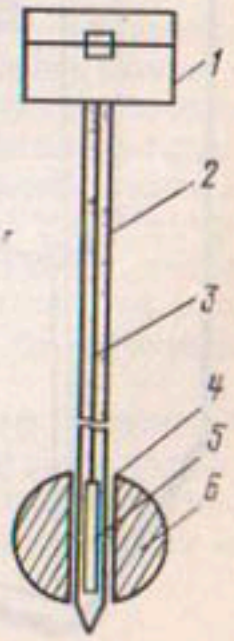


Рис. 17.5. Схема радиоизотопного измерителя влагозапасов (РИВ):

1 — пульт; *2* — штанга-зонд; *3* — кабель; *4* — детектор медленных нейтронов; *5* — излучатель; *6* — блок биологической защиты

вводит электронную схему в режим измерений и через 30. . .40 с на индикаторе высвечивается значение влажности применительно к заданным значениям плотности сухого почвогрунта — 1,2; 1,4 или 1,6 г/см³*); меньшей активностью источника быстрых нейтронов (в 5 раз); меньшей массой (в 3 раза); одноблочностью исполнения; экономичностью питания (один заряд аккумуляторной батареи обеспечивает 4000 единичных измерений); меньшей стоимостью (в 2 раза).

Техническая характеристика ВНП-1

Диапазон измерений влажности, г/см³	0,05...0,5
Среднеквадратичная погрешность измерений, г/см³	Не более +0,01
Время единичного измерения, с	Не более 60
Глубина измерений, м	0,1...2,0
С кабелем по спецзаказу, м	0,1...20,0
Рабочий диапазон температур, °С	—10...+40
Напряжение питания, В	8,4
Источник питания — аккумуляторы Д-0,55Д (допускается применение сухих элементов «Крона» и др.), шт.	10
Потребляемая мощность, Вт	Не более 0,1
Исполнение влагомера:	
зонд	Герметичен
блок электроники	Брызгозащищен
Диаметр зонда, мм	35,5
Габариты блока влагомера в сборе, мм:	
высота	420
поперечное сечение	150×150
Источник быстрых нейтронов плутоний-бериллиевый с потоком, нейтрон/с	10^4
Масса, кг	Не более 5,5

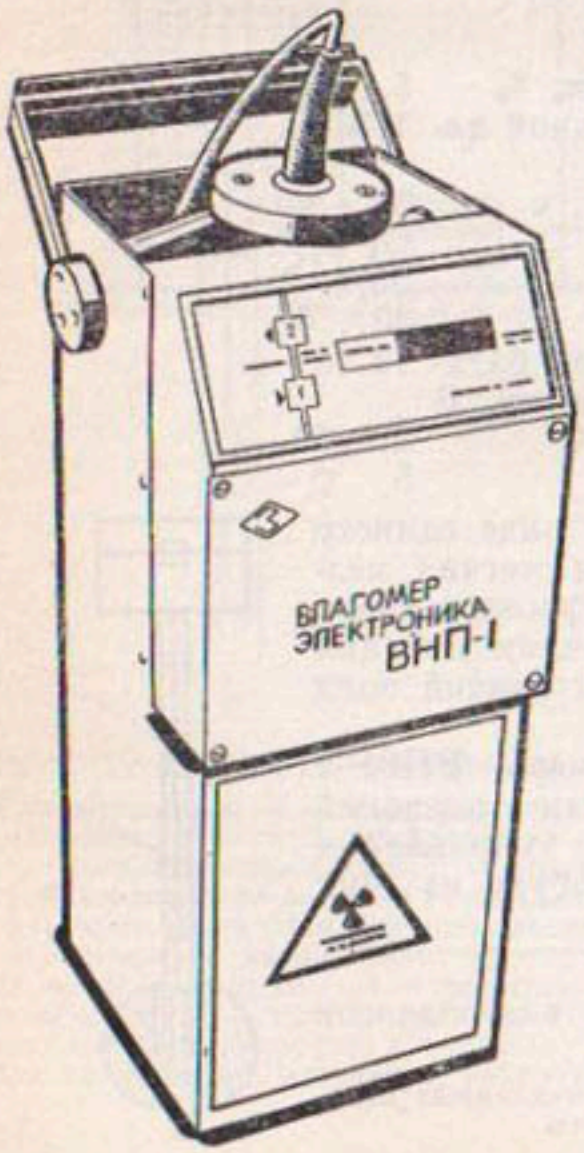


Рис. 17.6. Нейтронный переносной влагомер ВНП-1

Нейтронный крот-влагомер НКВ предназначен для измерения влажности почв по трубопроводам, уложенным горизонтально в подпахотном слое. Смонтирован из шасси автомобиля повышенной проходимости, представляющего полевую лабораторию контроля влагозапасов (ПЛКВ) (рис. 17.7). В кузове автомобиля расположены устройства, необходимые для транспортировки зонда-крота по контрольным трубопроводам: лебедка, компрессор, коробка отбора мощности, механизм передачи крутящих усилий к компрессору и лебедке, пульт управления механизмами. Мобильный вариант реализации позволяет с помощью одного прибора НКВ контролировать влагозапасы почвогрунтов на 150. . .200 орошаемых участках площадью 10. . .20 тыс. га.

Конструкция НКВ обеспечивает также возможность измерения влагозапасов

* Значение плотности сухого почвогрунта задают нажатием на обе кнопки.

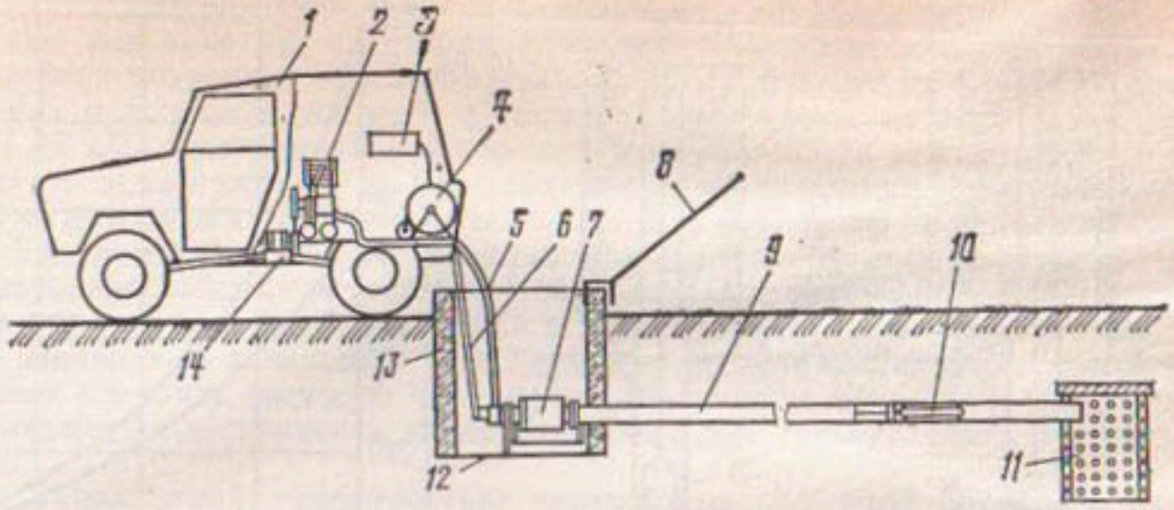


Рис. 17.7. Схема полевой лаборатории (ПЛКВ) для определения влажности почвогрунта:

1 — автомобиль; *2* — компрессор; *3* — пульт измерения; *4* — лебедка; *5* — пневмошланг; *6* — провод; *7* — контрольно-транспортное устройство; *8* — крышка колодца; *9* — контрольный трубопровод; *10* — нейтронный кротозонд; *11* — воздушный коллектор; *12* — опорная рама; *13* — колодец; *14* — коробка отбора мощности

на полях по сети оборудованных вертикальных скважин по методике, аналогичной измерениям нейтронными влагомерами ВПГР-1, ВНП-1.

С помощью НКВ можно выполнять как дискретные (точечные) измерения влажности, так и интегральные (трассовые) вдоль контрольного трубопровода. Интегральный способ измерения является основным режимом работы НКВ при оперативном контроле влагозапасов на орошаемых полях. Точность измерения практически остается такой же, как и при дискретных измерениях.

Техническая характеристика ПЛКВ-НКВ-1

Диапазон измерений объемной влажности, г/см³	0,01...1
Среднеквадратичная погрешность определения влагозапасов участка площадью 60 га, мм	8
Время измерения средней влажности вдоль контрольного трубопровода, с	300
Длина контрольного трубопровода, м	60
Глубина укладки контрольных трубопроводов, м	0,4...0,8
Напряжение питания НКВ-1, В	10...15
Интервал рабочих температур, °С	—10...+40
Обслуживающий персонал (включая водителя)	2

Гамма-способ реализуется путем наблюдения изменений влажности почв при систематических измерениях их объемной массы (плотность почвы + + объемная влажность) в одних и тех же толщах, когда плотность почв постоянна. Такие наблюдения можно выполнять серийно выпускаемым гамма-плотномером ППГР-1 (плотномер поверхностно-глубинный радиоизотопный).

Принцип действия плотномера (рис. 17.8, *а* и *б*) основан на рассеянии и ослаблении γ-излучения контролируемым материалом. Величина потока рассеянного и ослабленного γ-излучения пропорциональна плотности материала. Градуировочный график зависимости скорости счета от плотности показан на рисунке 17.8, *в*.

Измерения выполняют так же, как и ВПГР-1. Плотномер состоит из зонда (измерительного преобразователя) с источником и детектором γ-излучения, СИП-1М, кабеля, связывающего зонд с пультом, и контрольно-транспортного устройства, в котором хранится и транспортируется источник γ-излучения.

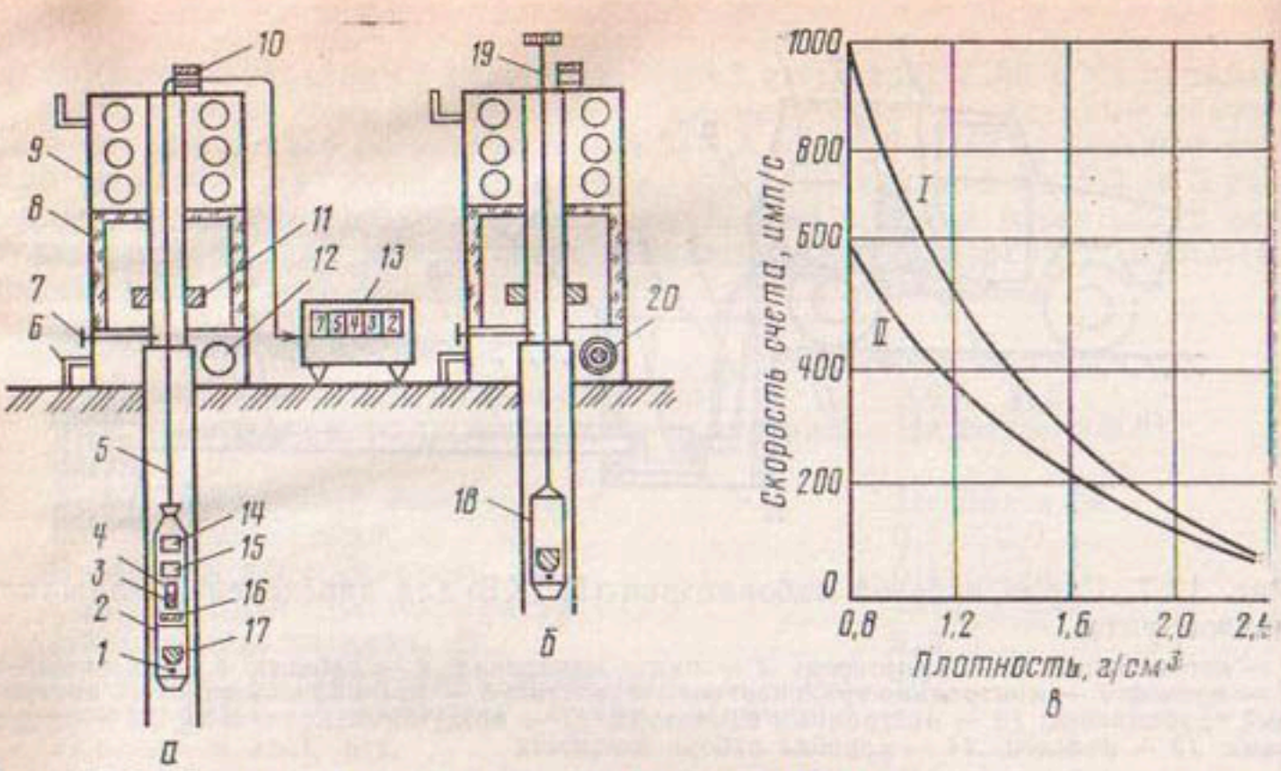


Рис. 17.8. Структурная схема плотномера ППГР-1:

а — глубинные измерения; *б* — поверхностные измерения; *в* — градуировочный график; *1* — источник γ-излучения; *2* — глубинный зонд; *3* — детектор излучения; *4* — фотоумножитель; *5* — кабель; *6* — ручка; *7* — фиксатор блока источника; *8* — полиэтиленовый рассеиватель излучения; *9* — контрольно-транспортное устройство; *10* — указатель глубины введения зонда; *11* — свинцовый защитный экран; *12* — горизонтальный канал для размещения блока детектирования при поверхностных измерениях; *13*—счетчик электрических импульсов; *14*—преобразователь высокого напряжения; *15* — усилитель и формирователь электрических импульсов; *16* и *17* — свинцовые экраны; *18* — блок источника в положении для поверхностных измерений; *19* — удлинитель; *20* — блок для детектирования с детектором в положении для поверхностных измерений; *I* — для глубинных измерений; *II* — для поверхностных измерений при заглублении источника γ-излучения на 20 см

Техническая характеристика ППГР-1

Диапазон измерений плотности, г/см³	0,8...2,3
Погрешность измерений, г/см³	±0,04
Глубина измерений, м	0...0,3 и 0,3...30
Время однократного измерения, с	Не более 100
Источник γ-излучения	Цезий 137, 0,1 мг× ×экв Ra
Чувствительность	4 имп/с на 0,01 г/см³
Скорость счета в воде, имп/с	550
Максимальная частота регистрирующих счетчиков входных периодических импульсов, имп/с	10^5
Выходное стабилизированное напряжение пульта, В	12 и 420
Интервалы задаваемого времени измерения, с	1; 10; 30; 100; 300
Время установления рабочего режима, мин	Не более 15
Питание	220 В (50 Гц) или автономное
Интервал рабочих температур, °С	—10...+40
Масса, кг:	
КТУ	10,7
СИП-1М	4,6
Габариты, мм:	
КТУ	1050×270×240
СИП-1М	290×135×185
Гарантийный срок службы, мес	18
Срок службы, годы	Не менее 6

Тензиометрический. Способ основан на измерении капиллярного натяжения или энергии, с которой почвенная влага удерживается почвой. Измеряемая энергия и капиллярный потенциал зависят от почвенно-климатических и погодных условий, а также от культуры и находятся в интервале 0. . .80 кПа. Такой диапазон соответствует влажности от капиллярной влагоемкости почв примерно до 0,5 наименьшей влагоемкости. Тензиометры могут служить только как индикаторы полива, как влагомеры их использовать нельзя. Тензиометрам присуща инерционность, их необходимо градуировать применительно к местам установки. Необходимы периодическая промывка фильтров и снятие их с места установки при наступлении холодов.

Почвенный тензиометр АМ-20-П — стационарный прибор, который позволяет измерять сосущую силу почвы (натяжение почвенной влаги), характеризующую доступность почвенной влаги для сельскохозяйственных культур.

Характерной особенностью тензиометра АМ-20-П является съемный переносной взаимозаменяемый индикатор, благодаря которому одним индикатором можно обслуживать большую группу тензиометров. Это удешевляет прибор, увеличивает его надежность, улучшает эксплуатационные качества.

Технические данные АМ-20-П

Глубина установки приборов в почву, см	10...100
Пределы измерения, кПа	0...85
Основная погрешность, кПа	±3,0
Коэффициент инерции (в воде), мин	1
Диапазон рабочей температуры, °С	5...50
Габариты, мм	70×70× (350, 750, 1250)
Масса, кг	0,8; 1,2; 1,5

В комплект АМ-20-П входят потенциометры трех размеров, индикатор.

17.2.2. ПЛОЩАДНЫЕ (ДИСТАНЦИОННЫЕ) СПОСОБЫ

Эти способы позволяют практически одномоментно измерять влажность (наблюдать ее изменения) на площади от нескольких десятков квадратных метров до сотен и даже тысяч гектаров, причем получать ее в процентах массы абсолютно сухой почвы. Для нахождения влажности в объемных процентах необходимы сведения о плотности почвы тех массивов полей, на которых выполняют измерения.

Существуют следующие дистанционные способы измерения влажности почвы.

Способ пассивной локации. Сущность способа состоит в измерении собственного и рассеянного излучения электромагнитного поля Земли в оптическом, инфракрасном и радиодиапазонах волн. Увеличение влагосодержания в поверхностном слое приводит к повышению диэлектрической проницаемости и электропроводности почвы. Следствием этого является уменьшение интенсивности излучения и мощности изучаемой толщи. Наиболее эффективны измерения в СВЧ-диапазоне. В качестве приемников излучения применяют инфракрасный термометр (длина волн 8. . .14 мкм) и многочастотные СВЧ-радиометры для интервалов длины волн (от 1,1 до 30 см) не более пяти. Измерения проводят с самолетов, вертолетов, искусственных спутников Земли (рис. 17.9).

Способ активной локации. На летательные средства устанавливают передаточно-приемную аппаратуру, которая излучает радиоволны в области УКВ на поверхность Земли и принимает отраженные. Коэффициент отражения радиоволн от поверхности с неровностями не превышает 0,1 длины волны, и отражение происходит так же, как от идеально гладкой. Измеряемая площадь обхвата зависит от высоты передаточно-приемной антенны и составляет 50. . .150 м². Мощность измеряемого слоя достигает 1,5 м.

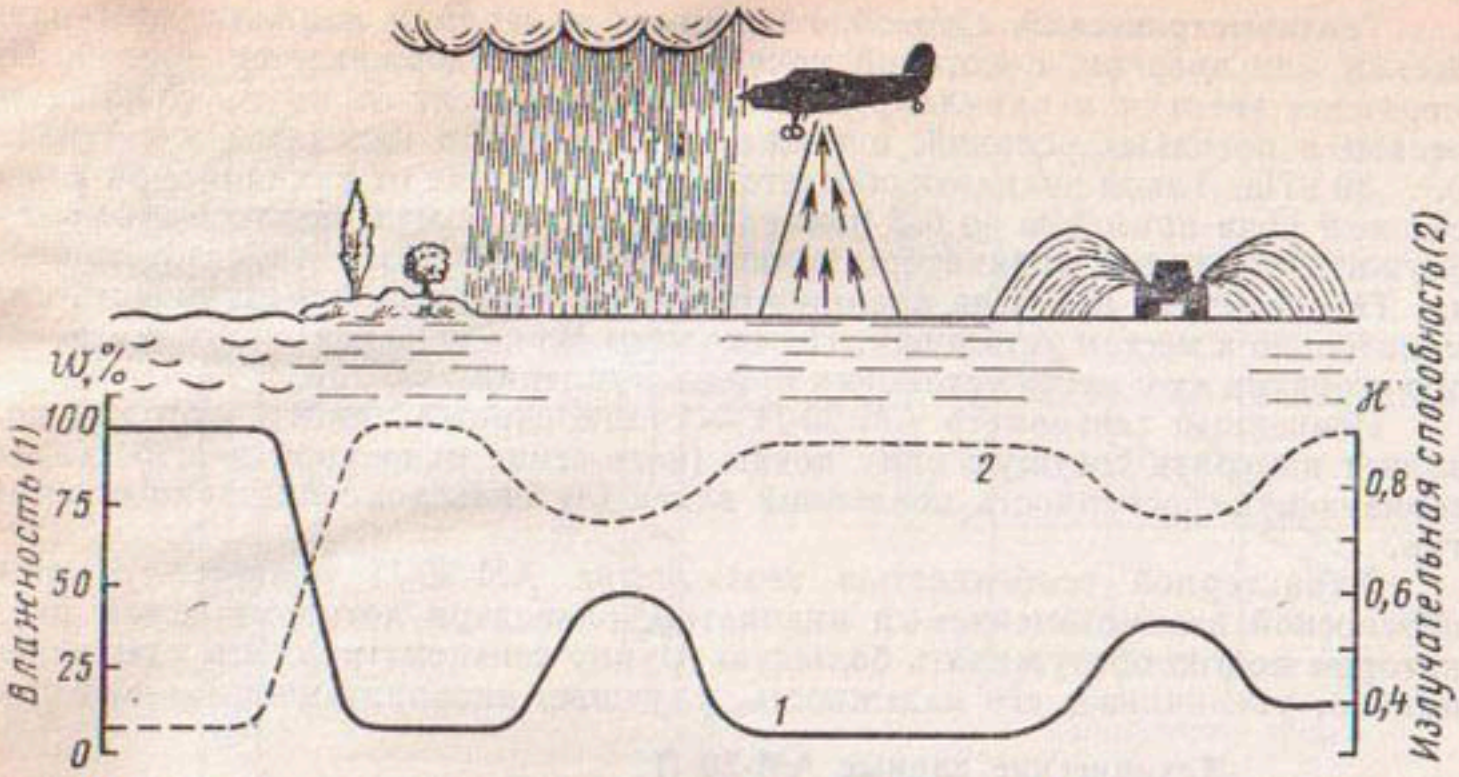


Рис. 17.9. Схема, поясняющая принцип работы СВЧ радиометрического влагомера

Измерительная аппаратура может быть расположена на автомашине и использована при автомаршрутных обследованиях, а также установлена стационарно.

Способ самолетной гамма-съемки. Радиоактивные элементы почвы создают в приземной атмосфере гамма-фон, интенсивность которого в большой степени обусловливается влажностью поверхностного слоя почвы мощностью 30. . .40 см. Эта мощность слоя определяет глубину измерения влажности почвы с помощью гамма-съемки. Погрешность измерения не превышает 2. . . 3 % весов.

Самолетная гамма-съемка из всех рассмотренных дистанционных способов к настоящему времени получила наибольшее развитие: оценены погрешности измерения влажности почвы на сельскохозяйственных полях, подготовлена методика измерений влажности на больших площадях, серийно выпущена аппаратура.

СВЧ — дистанционный способ, основанный на регистрации и последующей интерпретации электромагнитного излучения почвенного покрова в диапазоне сантиметровых и дециметровых радиоволн. Интенсивность этого излучения в значительной мере обусловлена влажностью почвы: повышение влажности увеличивает диэлектрическую проницаемость и электропроводность почвы, что уменьшает интенсивность излучения и мощность излучающей толщи.

Самолетный СВЧ-влагомер позволяет при детальности съемок влажности 0,3. . .1 га охватить измерениями 500. . .1000 га/ч. Влажность измеряется в полосе шириной 0,7 высоты полета.

Глава 18. ОРОШАЕМОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

18.1. СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Система земледелия — комплекс взаимосвязанных агротехнических, мелиоративных и организационно-хозяйственных мероприятий, обеспечивающих интенсивное использование земли. Она должна обеспечивать наибольший выход сельскохозяйственной продукции при наименьших затратах труда и средств. При разработке ее необходимо включать комплекс мероприятий по защите почвы от засоления, заболачивания, водной эрозии и др. На орошаемых землях в различных почвенно-биоклиматических областях (табл. 18.1) вводят разные системы земледелия, имеющие главным направлением интенсификацию растениеводства в сочетании с почвозащитными мерами. Они должны включать оптимальную структуру посевных площадей из наиболее урожайных и экономически выгодных культур и сортов; рациональный севооборот с повторными и промежуточными посевами; научно обоснованный комплекс мероприятий по удобрению и обработке почвы, а также борьбу с сорняками и вредителями; применение орошения; использование современных машин и орудий, обеспечивающих своевременность и высокое качество проведения обработок почвы, а также организационно-хозяйственные мероприятия.

В субтропических районах Средней Азии хлопчатник занимает до 70. . . 75 % посевной площади. Здесь преобладают пропашные хлопково-люцерновые севообороты. Система земледелия характеризуется как интенсивно пропашная. При посеве промежуточных культур зимой она приобретает черты плодосменной.

В Закавказье в севооборотах применяют большое число культур, в том числе скороспелых. Это дает возможность получать два-три урожая в год. Удельный вес пропашных (хлопчатник, сахарная свекла, кукуруза и др.) в севооборотах значителен. Для земледелия характерно применение обильных поливов, в том числе влагозарядковых и опреснительных.

В степных районах Заволжья в севооборотах зерновые занимают 50. . . 70 %. Среди зерновых преобладают твердые яровые пшеницы. По составу и чередованию севообороты приближаются к плодосменным.

В пойме и дельте р. Волги возделывают рис.

На Северном Кавказе можно выделить подзоны с разным направлением. В предгорной зоне большие площади отводят под кукурузу. Здесь применяют и интенсивную пропашную систему земледелия.

В степях Ставрополья и Ростовской области распространены хозяйства зернового направления (в основном озимая пшеница) с севооборотами плодосменного типа. На Кубани и Тереке возделывают рис.

В большей части Причерноморской степи на поливных землях возделывают озимую пшеницу, кукурузу, сахарную свеклу, люцерну, сою, овощные и другие культуры. Здесь вводят плодосменные севообороты и складывается интенсивная плодосменная система земледелия.

18.2. СЕВООБОРОТЫ

Севооборот — определенная в многолетнем плане система, включающая соотношение площадей посева под культурами и порядок их чередования, а также приемы обработки почвы, применение удобрений, способ орошения и

Почвы	Водно-физические свойства почв				
	Общий гумус, %	pH	Емкость поглощенного N_3, мг·экв/100 г почвы	Подвижные формы питательных веществ, мг на 100 г почвы	
				P_2O_5	K_2O
Лесостепная об					
Черноземы выщелоченные	7...9	6,0...6,5	50...60	5,0...6,0	20...30
Черноземы типичные	7...12	6,5...7,0	50...60	5,0...6,0	25...40
Степная область (Поволжье, Северный Кавказ, юг					
Черноземы обыкновенные	5...8	7,0...8,0	40...50	3,0...4,0	25...40
Черноземы южные	4,5...5,5	7,0...8,0	30...35	—	—
Черноземы предкавказские	4,7...5,1	7,0...7,5	30...35	3,0...4,0	20...40
Лугово-черноземные	5,0...9,0	7,0...7,5	35...40	3,0...4,5	20...40
Солонцы черноземные, типичные	2,5...4,0	7,0...9,0	30...45	3,0...5,0	20...40
Сухостепная область (Поволжье, Северный					
Темно-каштановые	3,0...4,0	7,5...8,0	30...35	2,5...3,5	20...40
Каштановые	2,0...3,0	7,5...8,0	25...30	2,0...4,0	20...40
Лугово-каштановые	3,2...4,2	6,5...7,5	25...35	2,0...4,0	20...40
Солонцы каштановые типичные	1,5...2,5	8,0...9,0	30...40	2,5...4,0	30...60
Пустынно-степная область (Нижнее Поволжье, юг					
Светло-каштановые	1,5...2,0	7,5...8,5	20...25	1,5...3,0	20...55
Бурые полупустынные	1,0...2,5	8,5...9,0	15...20	1,2...3,5	20...60
Солонцы каштановые	1,2...1,5	8,0...9,0	25...35	0,5...3,0	35...65
Пустынная область (Казахская ССР,					
Серо-бурые	1,5...0,8	8,0...9,0	5...10	1,0...1,5	30...65
Такыры	0,3...0,8	8,0...10,0	3...8	0,09...0,13	—
				0,09...0,12	—
Предгорно-пустынная область (Азербайджанская ССР, Таджик					
Сероземы светлые	1,0...1,5	7,5...8,0	9...10	—	—
Сероземы типичные	1,5...2,0	7,5...8,0	10...15	2,5...4,0	10...50
Сероземы темные	3,5...5,0	7,5	15...20	3,5...4,5	20...60
Лугово-сероземные	0,95...1,36	7,5	15...20	2,5...4,5	10...50
Солончаки (для всех природных зон)	1,0...8,0	7,8...11,0	10...20	0,08...0,1	—

земель СССР

для слоя 0...100 см			Гидрологические	
Объемная масса, г/м³	Общая скважность, %	Наименьшая влагоемкость, %	Глубина залегания грунтовых вод, м	Минерализация грунтовых вод, г/л
ласть (Поволжье)				
1,0...1,3	50...60	30...40	5...10	0,5...10
1,0...1,3	50...60	30...40	—	—
Украинской ССР, Молдавская ССР, Северный Казахстан)				
1,2...1,35	45...55	25...30	2...10	0,5...10
—	—	—	—	—
1,25...1,35	45...55	25...30	2...10	0,5...10
1,25...1,35	45...55	25...30	2...10	0,5...10
1,2...1,3	45...55	25...30	2...5	0,5...10
Кавказ, юг Украинской ССР, Центральный Казахстан)				
1,25...1,4	40...45	—	2...10	0,5...10
1,3...1,4	40...45	22...28	2...10	0,5...30
1,3...1,4	40...45	22...28	2...10	0,5...30
1,25...1,45	40...45	25...30	2...5	0,5...30
Казахской ССР, Узбекская ССР, Туркменская ССР)				
1,40...1,50	35...45	20...28	2...10	0,5...30
1,3...1,4	40...45	20...25	1,5...10	0,5...50
1,3...1,5	40...45	15...20	1,5...10	0,5...50
Узбекская ССР, Туркменская ССР)				
1,45...1,55	35...40	20...28	1,5...10	0,5...50
1,4...1,5	35...40	—	1,0...5	1,0...50
1,4...1,5	45...40	—	1,0...5	1,0...50
ская ССР, Армянская ССР, Грузинская ССР, Киргизская ССР)				
—	—	—	—	—
1,3...1,45	45...55	—	1,0...5	1,0...50
1,15...1,25	55...60	—	—	1,0...100
1,15...1,20	50...60	—	1,0...5	1,0...50
—	—	—	—	1,0...100

18.2. Примерная структура посевов на орошаемой пашне

Удельный вес зерновых культур на всех землях, %	Доля орошаемых земель в общей площади пашни, %	Соотношение посевов	
		зерновых	кормовых
45...50	До 15	10...20	70...85
	15...30	20...40	40...60
	Более 30	45...50	30...45
55...60	До 15	20...40	55...75
	15...30	40...50	35...45
	Более 30	55...65	22...30

др. Системы земледелия получают название по типу применяемого севооборота.

Различают хлопково-люцерновые, рисовые, полевые, свекловичные, кормовые, зернокормовые, овощные севообороты.

Организация севооборотов необходима как для небольших орошаемых участков, так и для хозяйств с большим удельным весом поливных площадей в структуре сельскохозяйственных угодий. Для степной зоны орошения научно-исследовательские учреждения (ВНИИОЗ, УкрНИИОЗ и др.) обосновывают структуру посевных площадей, увязывая ее с удельным весом посевов всех зерновых культур в хозяйстве и наличием орошаемых земель в общей площади пашни (табл. 18.2).

Оптимальные размеры полей интенсивных севооборотов зависят от специализации хозяйств (табл. 18.3).

В хозяйствах с небольшим удельным весом орошаемых земель возделывают преимущественно кормовые культуры для удовлетворения собственных нужд. Размеры полей на таких севооборотных участках уменьшают до пределов, которые обеспечивают рациональное использование сельскохозяйственной и мелиоративной техники.

Примерные схемы полевых севооборотов для степной зоны РСФСР и УССР представлены в таблице 18.4.

Хлопково-люцерновые севообороты в Средней Азии и Закавказье. Люцерна — лучший предшественник хлопчатника, способствующий повышению плодородия почвы в результате накопления большой массы корней, обогащения почвы органическим веществом, улучшения ее физического состояния. Культура люцерны — важное и эффективное биологическое средство борьбы с сорняками хлопчатника, его болезнями.

В хозяйствах республик Средней Азии люцерну выращивают преимущественно в течение трех лет, хлопчатник — в течение 6. . .7 лет, на сильнозасоленных землях — 4. . .5 лет. Соотношение числа полей люцерны и хлопчатника соответственно составляет 3 : 7; 3 : 6; 3 : 5; 3 : 4 (табл. 18.5).

18.3. Характеристика специализированных орошаемых севооборотов

Тип интенсивного севооборота	Площадь севооборотного участка, га	Число полей в севообороте	Размер поля севооборота, га
Кормовой	900...1200	6...9	100...200
Зернокормовой	700...1200	7...9	80...180
Рисовый	600...800	6...8	80...140
Овощекормовой	400...900	6...9	40...100
Овощной	250...400	6...8	30...60
Хлопково-люцерновый	250...400	6...8	25...40
Полевой с посевами сахарной свеклы и картофеля	450...700	6...8	60...120

18.4. Примерные схемы полевых севооборотов на орошаемых землях

Тип севооборота	Поволжье		Северный Кавказ		Юг Украины	Центрально-Черноземная область
	Волгоградская и Астраханская области	Саратовская и Куйбышевская области	Ростовская область и Ставропольский край	Краснодарский край	Одесская, Херсонская, Николаевская области	
Кормовой	1...3, иногда и 4 — люцерна, 5... 7 — кукуруза, одно из полей может быть занято промежуточными посевами, суданкой или кормовой свеклой	1...3 — многолетние травы, 5...8 — кукуруза, суданка, промежуточные посевы — кормовая свекла	1...3 — люцерна, 4 — озимые на корм с поукосными посевами смесей кормовых культур, 5 — кукуруза на зерно, 6 — горох с овсом с поукосными посевами, 7 — озимая рожь с поукосными посевами, 8 — люцерна под покровом ячменя на монокорм	1...3 — люцерна, 4 — озимые на корм с пожнивными, 5 — кукуруза, 6 — бобово-злаковые травосмеси, 7 — кукуруза, 8 — промежуточные посевы	1, 2 — люцерна, 3 — озимая пшеница, пожнивно горохоовсяная смесь, 4 — кормовые корнеплоды, 5 — кукуруза на зерно, 6 — кукуруза на силос, 7 — озимые — злакобобовые смеси + пожнивно зеленая масса, 8 — злакобобовые смеси с подсевом люцерны	1...3 — многолетние травы, 4, 5 — кукуруза, 6 — озимые на зеленый корм + поукосные, 7 — суданка
Зерно-кормовой	1...3 — люцерна, 4 — озимая пшеница с пожнивными посевами, 5...7 — кукуруза на зерно и силос	1...3 — многолетние травы, 4 — яровые колосовые, 5, 6 — кукуруза на зерно и силос, 7 — зерновые колосовые	1...3 — люцерна, 4 — озимая пшеница, 5, 6 — кукуруза на зерно и силос, 7 — озимая пшеница	1...3 — люцерна, 4 — озимая пшеница, 5... 7 — кукуруза на зерно и силос	1, 2 — люцерна, 3 — озимая пшеница, 4 — озимая пшеница + пожнивные, 5...7 — кукуруза на зерно и силос, 8 — яровой ячмень с подсевом люцерны	1...3 — многолетние травы, 4 — озимая пшеница + + пожнивные, 5, 6 — кукуруза на силос и зеленый корм, 7 — озимая пшеница

18.5. Схемы хлопковых севооборотов Средней Азии

Почвы	Удельный вес хлопчатника, %	Схемы севооборотов
	Зона сероземов	
Окультуренные	70...80	2:6:1:3; 3:6:1:2; 1:4:1:4
Окультуренные слабозасоленные	70	3:7; 2:4:1:3
Слабоокультуренные средне- и сильнозасоленные	70...75	3:6; 3:7; 2:4:1:2; 2:4:1:3
Среднезасоленные	66...70	2:4:1:3
	Зона засоленных или подверженных засолению почв	
Окультуренные слабозасоленные	70...80	3:7; 2:6:1:3; 1:4:1:4
Слабоокультуренные среднезасоленные	60...80	3:6; 3:7
Слабоокультуренные средне- и сильнозасоленные	60...66	3:6; 1:3:6

В качестве промежуточных культур сеют рис, смеси гороха с ячменем и овсом.

В Азербайджанской ССР рекомендуются севообороты с более короткой ротацией — пяти-, шести- и семипольные — 2 : 3; 2 : 4 и 2 : 5. Два первых поля отводят под люцерну, которую высевают в смеси с кукурузой или сахарным сорго.

Рисовые севообороты. Доля площади под рисом изменяется в них от 50 до 75 %. Размещение риса по рису более трех лет подряд не допускается. Лучший предшественник для риса — многолетние бобовые травы, из других культур — бобово-злаковые и крестоцветные, убираемые на корм или запахиваемые на зеленое удобрение. Для Дальнего Востока предшественники при летнем посеве — соя, горох, горчица, чина, вика, рапс; при осеннем посеве — озимая рожь и озимый рапс в смеси с зимующим горохом.

Для Казахстана рекомендуют восьмипольный севооборот с содержанием риса 62,5 % (1, 2 — люцерна, 3. . .5 — рис, 6 — занятый пар, 7, 8 — рис) или семипольный севооборот с содержанием риса 57,4 % (1, 2 — люцерна, 3, 4 — рис, 5 — занятый пар, 6, 7 — рис).

Для Узбекистана рекомендуют десятипольный севооборот, в котором 70 % площади отводят под рис (1. . .4 — рис, 5 — мелиоративное поле, 6. . .8 — рис, 9 и 10 — травы).

В Краснодарском крае применяют восьмипольный севооборот с содержанием риса 75 % (1. . .3 — многолетние травы, 4 — рис, 5 — рис + промежуточные культуры, 6 — промежуточные культуры + рис, 7, 8 — рис) (табл. 18.6).

В Приморском крае специализированные рисовые хозяйства размещают рис в севооборотах с соей — четырехпольном (1. . .3 — рис, 4 — соя на зеленое удобрение) и пятипольном (1. . .4 — рис, 5 — соя).

Полевые севообороты. В хозяйствах зернового направления ведущие зерновые культуры — озимая и яровая пшеница, удельный вес их составляет 50. . .75 % орошаемой площади. Лучшие места для озимой пшеницы в севообороте — пласт многолетних бобовых трав. Хорошими предшественниками являются также бобовые, бобово-злаковые смеси. Лучшим местом для яровой пшеницы являются пласт и оборот пласта люцерны или зерновые, бобовые и кукуруза.

Примерная схема полевых севооборотов дана в таблице 18.4.

Свекловичные севообороты. Они включают два или три поля свеклы. Лучшим предшественником свеклы считается озимая пшеница после многолетних трав. В степной зоне свеклосеяния с двумя полями сахарной свеклы

18.6. Возможные схемы рисовых севооборотов для зоны сухой степи

Севооборот	Удельный вес риса, %	Схемы севооборотов
Четырехпольный	75	1...3—рис, 4—мелиоративное поле
Пятипольный	60	1, 2—многолетние травы, 3...5—рис
Шестипольный	50	1, 2—многолетние травы, 3, 4—рис, 5—мелиоративное поле, 6—рис
Семипольный	57	1, 2—многолетние травы, 3...5—рис, 6—мелиоративное поле, 7—рис
Восьмипольный	62,5	1, 2—многолетние травы, 3...5—рис, 6—мелиоративное поле 7, 8—рис

рекомендуется восьмипольный севооборот (1 — яровой ячмень, 2, 3 — многолетние травы, 4 — озимая пшеница, 5 — сахарная свекла, 6 — кукуруза на силос, 7 — озимая пшеница, 8 — сахарная свекла) или девятипольный севооборот (1, 2 — многолетние травы, 3 — озимая пшеница, 4 — сахарная свекла, 5 — кукуруза на силос, 6 — сахарная свекла, 7 — озимая пшеница, 8 — сахарная свекла, 9 — яровые или озимые). На благополучных в мелиоративном отношении почвах считается возможным осваивать пяти- шестипольные севообороты с насыщением их свеклой до 15 % и более.

Картофельные и овощные севообороты. При небольшом объеме планируемого производства картофель и овощные культуры можно выращивать в полевых севооборотах. Вблизи городов и крупных промышленных центров вводят специальные овощные и картофельные севообороты.

В овощных севооборотах обязательной культурой являются многолетние травы с таким примерным чередованием культур: 1, 2 — люцерна, 3 — томаты, 4 — огурцы, 5 — лук и корнеплоды, 6 — томаты, 7 — капуста, 8 — томаты.

Производство кормов частично осуществляется в обычных полевых и специальных севооборотах, в основных и промежуточных посевах. Для специализированных животноводческих комплексов рекомендуют восьмипольный севооборот, дающий при сочетании орошения и повышенных норм удобрений по 14. . .16 тыс. кормовых единиц с 1 га. Многолетние травы занимают в этом севообороте около 45 % площади, однолетние — 25. . .30, кукуруза на силос — 12. . .15, кормовая свекла — 10. . .12 %.

Орошение создает благоприятные условия для внедрения в севооборот промежуточных культур — поукосного и пожнивного посевов, что позволяет получать на одном поле два-три урожая в год. Для оценки севооборота в этом случае применяют **индекс использования** орошаемой площади, показывающий, на какой части площади севооборота выращивают два урожая в год. При отсутствии культур, дающих второй урожай, индекс равен единице. Если два урожая получают на 30 % площади севооборота, индекс составляет 1,3, при выращивании двух урожаев на 50 % площади он равен 1,5 и т. д.

Возможность и целесообразность повторных посевов обусловлены наличием рано убираемых культур, обеспеченностью хозяйства оросительной водой.

Внедрение промежуточных культур позволяет также повысить **коэффициенты использования вегетационного периода.** Возможный потенциал использования вегетационного периода на всех полях севооборота принимают за 100 %. Фактический вегетационный период возделываемых культур в сутках, выраженный в процентах от возможного числа суток вегетации, характеризует использование вегетационного периода местности.

При орошении становится возможным включение в севооборот сидеральных культур, используемых в соответствующих условиях на зеленое удобрение.

18.7. Способы обработки каштановых почв, южных и обыкновенных черноземов в полевых севооборотах

Культуры	Способы обработки почвы		
	основная	предпосевная	при уходе за посевами
Овес (яровой ячмень) на зеленый корм или сено с подсевом люцерны	Лущение на 8...10 см при засорении корнеотпрысковыми сорняками. Вспашка на 25...30 см, планировка, влагозарядка	Закрытие влаги (покровное боронование). Культивация на 6...7 см, прикатывание до и после посева	Боронование после уборки покровной культуры
Люцерна прошлых лет	То же	То же	Рано весной — рыхление, после первого укоса — щелевание
Люцерна + озимая пшеница	Лущение на 8...10 см. Вспашка на 22...25 см	Культивация на 6...8 см с уплотнением и боронованием	—
Озимая пшеница	То же	То же	При необходимости боронование в 1...2 следа зубовой бороной
Кукуруза (пожнивно) или злакобобовая смесь на зеленый корм	»	Дискование на 8...10 см. Посев СЗС-2,1 или вспашка на 20...22 см, посев сеялками с дисковыми сошниками	—

Продолжение

Культуры	Способы обработки почвы		
	основная	предпосевная	при уходе за посевами
Кукуруза на зерно и силос	Зяблевая вспашка на 25...30 см, планировка	Боронование, культивация на 12...14 см или чизелевание с прикатыванием, вторая культивация на 8...10 см с боронованием, нарезкой щелей и внесением гербицидов по астраханской индустриальной технологии	Боронование до и после всходов, две-три междурядные обработки с нарезкой борозд-щелей перед первым поливом. При индустриальной технологии—без междурядных рыхлений
Кукуруза на силос	Лущение двукратное, вспашка на 25...30 см. По предшественнику кукурузе на силос — выравнивание почвы длиннобазовым планировщиком	Боронование, культивация на 12...14 см или чизелевание на 14...16 см с прикатыванием. Вторая культивация на 8...10 см с боронованием, нарезкой щелей и ленточным внесением гербицидов	—
Озимая пшеница	Дискование на 10...12 см. Вспашка на 20...22 см или дискование, посев СЗС-2,1	Культивация на 6...8 см с боронованием без культивации при посеве СЗС-2,1	Боронование в два следа весной при необходимости
Пожнивно кукуруза или злакобобовая смесь на зеленый корм	—	Дискование на 8...10 см. Посев СЗС-2,1 или вспашка на 20...22 см с боронованием, посев сеялками с дисковыми сошниками	—

18.3. СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Агротехнически и экономически обоснованной признана разноглубинная обработка, при которой обычная вспашка на глубину 20. . .22 см чередуется со вспашкой на 25. . .27 в Поволжье и 28. . .30 см в степях Украины (табл. 18.7). В условиях орошения глубокую вспашку в сочетании с внесением органических и минеральных удобрений проводят преимущественно под пропашные культуры (кукуруза, соя, сахарная свекла, картофель, овощные).

В севооборотах с люцерной применение дифференцированной разноглубинной обработки почвы в сочетании с внесением органических и минеральных удобрений, гербицидов, научно обоснованным поливным режимом обеспечивает окультуривание пахотного слоя.

Под озимую пшеницу следует пахать на глубину 20. . .22 см. На черноземных, каштановых и светло-каштановых почвах, не засоренных многолетними сорняками, а также после пропашных культур пахоту под озимую пшеницу можно заменять плоскорезной обработкой на 20. . .22 см или дисковой тяжелой бороной на 10. . .12 см, сочетая ее с пожнивным лущением и предпосевной культивацией.

В интенсивных севооборотах после уборки первой культуры под посев пожнивных культур проводят вспашку на 20. . .22 см или плоскорезную обработку на ту же глубину с одновременным боронованием и прикатыванием. На окультуренных, чистых от сорняков почвах пожнивные посевы проводят стерневыми сеялками после лущения поля дисковой тяжелой бороной.

В степных и полупустынных районах обработку почвы на орошаемых землях следует проводить с обязательным учетом противоэрозионных мероприятий, промывкой засоленных земель, химической и агробиологической мелиорацией солонцов.

18.4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ

На орошаемых землях повышается не только эффективность вносимых удобрений, но и на их фоне одновременно возрастает эффективность орошения. Оно благоприятствует высокой усвояемости растениями питательных веществ,

18.8. Система удобрений в зернокормовом восьмипольном севообороте на темно-каштановых почвах и южных черноземах (УкрНИИОЗ)

Культуры	Навоз, т/га	Минеральные удобрения, кг/га				
		под вспашку			в рядки при посеве P_2O_5	подкормка N
		N	P_2O_5	K_2O		
Озимая пшеница + кукуруза	90...120	90...120	50	—	10	30
Гречиха или просо пожнивно	—	60...90	50	—	10	—
Кукуруза на зерно	40...50	90...120	40...80	—	10	30...60
Люцерна под покровом ячменя	—	30...60	100...120	30...60	10	—
Озимая пшеница + многокомпонентная травосмесь	—	60...90	50...80	—	10	30
Овощные, картофель, корнеплоды	40...50	60...90	60...90	60	10	30...60
Кукуруза на силос	—	90...120	40...80	—	10	30...60
Зернобобовые (соя)	—	30...60	50	—	10	—

18.9. Система удобрений на каштановых и светло-каштановых почвах Поволжья (ВНИИОЗ)

Культура	Навоз, т/га	Минеральные удобрения, кг/га								
		всего			основное внесение			в рядки при посеве P_2O_5	подкормка N	
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O		первая	вторая
Кукуруза на силос	—	150	90	60	80	72	60	15	35	35
Яровая пшеница с подсевом люцерны	40	180	80	240	180	80	240	—	—	—
Люцерна	—	90	270	270	60	260	270	10	30	—
Яровая пшеница	—	60	60	60	40	50	60	12	20	—
Озимая пшеница	—	160	60	60	120	45	60	15	30	30
Пожнивная кукуруза	—	60	—	—	60	—	—	—	—	—
Всего за ротацию	40	480	450	—	—	—	—	—	—	—

18.10. Примерные нормы внесения азота, фосфора и калия (кг д. в./га) для Поволжья и Северного Кавказа

Зона орошаемого земледелия	Кукуруза	Ячмень с подсевом люцерны	Люцерна	Сахарная свекла	Озимая пшеница
Азот					
Поволжье:					
лесостепь и черноземная степь	90	120...150	120	60	150
сухая и полупустынная степь	150	180	120	60	180
Северный Кавказ	180	150...180	120	60	180
Фосфор					
Поволжье:					
лесостепь и черноземная степь	60	90	90	90	120
сухая и полупустынная степь	60	60	60	90	90
Северный Кавказ	90	60...90	60	90	120
Калий					
Поволжье:					
лесостепь и черноземная степь	60	60	60	60	60
сухая и полупустынная степь	60	—	45	60	60
Северный Кавказ	90	—	60	60	120

18.11. Примерные нормы внесения азота и фосфора (кг д. в./га) для Украины

Почва	Озимая пшеница	Кукуруза	Соя	Сахарная свекла	Кормовая свекла
		Азот			
Обыкновенный чернозем	60...90	60...120	30...50	80...110	200...250
Южный чернозем	90...120	120...150	50...60	110...130	250...300
Темно-каштановая	120...150	120...180	60...70	120...140	300...350
		Фосфор			
Обыкновенный чернозем	50...60	60...90	50...60	80...110	80...100
Южный чернозем	60...90	60...90	60...70	80...100	100...120
Темно-каштановая	60...90	60...90	70...80	60...90	120...140

которые при повышенном увлажнении почвы легко переходят в раствор и поглощаются корнями.

С повышением влажности почвы расход воды на единицу урожая увеличивается, но удобрения при любых условиях влажности уменьшают его. При оптимальной влажности почвы удобрения снижают транспирационный коэффициент примерно на 20. . .40 % по сравнению с недостаточным водоснабжением.

В таблицах 18.8. . .18.11 приведены нормы внесения удобрений.

18.5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ И КОМПЛЕКСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Программирование урожаев — научное направление по разработке методов целенаправленного управления развитием посевов сельскохозяйственных культур для получения запланированного урожая.

Метод программирования урожаев включает ежегодную разработку технологических схем для каждого поля под каждую культуру; оперативную корректировку технологических схем в связи с изменением погодных условий, производственной ситуации и ресурсной обеспеченности хозяйств; жесткий технологический контроль за выполнением основных этапов технологических схем и всех корректировок к ним с применением санкций за нарушение технологии.

Практически метод программирования урожаев состоит из разработки агрокомплекса под запланированный на конкретном поле урожай и оперативной корректировки элементов агрокомплекса в процессе его выполнения.

Разработку агрокомплекса ведут в такой последовательности: для конкретного поля рассчитывают действительно возможный урожай культуры и выбирают планируемый урожай; для планируемого урожая рассчитывают нормы органических и минеральных удобрений; для конкретных условий поля выбирают технологическую схему возделывания культуры.

18.5.1. РАСЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИ ОБЕСПЕЧЕННОГО ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ВОЗМОЖНОГО УРОЖАЯ

Расчет климатически обеспеченного действительного возможного урожая (ДВУ) ведут по среднемноголетним значениям гидрометеорологических параметров с учетом лимитирующих факторов: по приходу ФАР, по влагообеспеченности посевов, по тепловым ресурсам (с учетом почвенного плодородия),

18.12. Значения величин q, w, α и η

Культура	q, ккал/кг	w, %	α	η, %
Озимая пшеница	4500	14	2,5	2,9
Озимая рожь	4500	14	3,0	2,8
Яровая пшеница	4400	14	2,2	2,8
Ячмень	4500	14	2,1	3,5
Овес	4400	14	2,3	3,2
Картофель	4300	80	2 (среднеспелый) 1,7 (позднеспелый)	
Многолетние травы	4800	16 (сено)	1,0	4,0
		56 (сенаж)	1,0	4,0
		75 (зеленая масса)	1,0	4,0

При расчете ДВУ по приходу ФАР пользуются формулой

$$У_{FAR} = 10Q\eta B/q, \qquad (18.1)$$

где $У_{FAR}$ — урожай абсолютно сухой биомассы, т/га; Q — сумма приходящей ФАР за период от всходов до отмирания листьев, ккал/см^2; η — коэффициент использования падающей ФАР, %; q — калорийность единицы абсолютно сухой биомассы урожая, ккал/кг; B — бонитет поля в замкнутой шкале, балл.

Располагая значениями среднемноголетних декадных сумм прямой $\bar{S}_i$ и рассеянной D_i солнечной радиации, легко подсчитать

$$Q = \sum_{i=i_c}^{i_d} (0{,}42\bar{S}_i + 0{,}60\bar{D}_i), \qquad (18.2)$$

где i_c, i_d — номера декад всходов и отмирания листьев.

Урожай основной продукции стандартной влажности w (%) определяют по формуле

$$У_{FAR} = \bar{У}_{FAR} \frac{100}{(100-w)\alpha}, \qquad (18.3)$$

где α — отношение суммы частей абсолютно сухой биомассы основной продукции, равной единице, к абсолютно сухой биомассе побочной продукции

Значения q, η, w и α приведены в таблице 18.12.

Если урожай лимитируется влагообеспеченностью, то величину ДВУ по приходу ФАР следует скорректировать умножением на коэффициент биологической продуктивности k_b.

Для расчета k_b определяют вначале коэффициент увлажнения

$$k_u = W/E_0, \qquad (18.4)$$

где W — запасы влаги в метровом слое почвы за время от посева (весеннего возобновления вегетации) до уборки, мм; E_0 — испаряемость за это же время, мм.

Величину W рассчитывают следующим образом:

$$W = \Delta W_c + P_c k + V_{gr} + M, \qquad (18.5)$$

где ΔW_c — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, израсходованные за время от посева до уборки, мм; P_c — сумма осадков, выпавших на посев за это же время, мм; k — коэффициент использования осадков ($\approx$0,75); V_{gr} — объем воды за счет капиллярного подпитывания грунтовых вод за это же время, мм; M — оросительная норма, мм.

Значение ΔW_c находят как разность между запасами продуктивной влаги в моменты посева и уборки.

18.13. Значения параметра m_i

Почвогрунты	Период до посева и первая декада после него	Вторая декада после посева	Декады в период активной вегетации	Предпоследняя декада перед датой полной спелости	Последняя декада вегетации перед датой полной спелости
Глинистые	1,2	0,9	0,7	0,9	1,2
Суглинистые	1,4	1,0	0,8	1,0	1,4
Супесчаные	2,0	1,6	1,1	1,6	2,0
Песчаные	2,5	2,6	1,3	2,0	2,5

Имея значения среднемноголетних декадных сумм осадков P_{ci}, можно вычислить

$$P_c = \sum_{i=i_0}^{i_t} P_{ci}, \tag{18.6}$$

где i_0, i_t — номера декад посева и уборки.

Объем капиллярного подпитывания грунтовыми водами (мм) можно рассчитать по формуле

$$V_{gr} = \sum_{i=i_0}^{i_t} F_{0i} e^{-m_i h_i}, \tag{18.7}$$

где E_{0i} — испаряемость за i-ю декаду, мм; h_i — среднедекадная глубина залегания грунтовых вод, м; m_i — параметр, значения которого приведены в таблице 18.13.

Испаряемость E_{0i} (мм) за декаду можно вычислить так:

$$E_{0i} = \frac{d_\varphi}{3 \sum_{IV}^{IX} d_\varphi} \cdot \frac{\sum_{IV}^{IX} R}{0{,}06} k_E, \tag{18.8}$$

где d_φ — среднемесячный дефицит влажности воздуха рассматриваемого месяца, мб; $\sum_{IV}^{IX} d_\varphi$ — сумма среднемесячных дефицитов влажности воздуха за теплый период (апрель — сентябрь), мб; k_E — поправочный множитель, учитывающий условия испаряемости за теплый период в различных зонах увлажнения:

Зона увлажнения	k_E	Зона увлажнения	k_E
Избыточно влажная	0,80	Засушливая	1,08
Достаточно влажная	0,94	Очень засушливая	1,13
Слабо засушливая	1,02	Сухая	1,20

$\sum_{IV}^{IX} R$ — сумма радиационного баланса горизонтальной поверхности за теплый период (апрель — сентябрь, ккал/см²).

По значениям E_{0i} можно рассчитать испаряемость

$$E_0 = \sum_{i=i_0}^{i_t} E_{0i}. \tag{18.9}$$

Связь между коэффициентом биологической продуктивности k_b и коэффициентом увлажнения k_u следующая:

k_u	≤0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
k_b	0	0,11	0,36	0,52	0,63	0,73	0,81
k_u	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
k_b	0,87	0,93	0,97	1,00	0,995	0,98	0,94

18.14. Значения коэффициентов водопотребления k_w для Нечерноземной зоны РСФСР

Культуры	Характер года		
	влажный	средний	засушливый
Озимая пшеница	375...450	450...500	500...525
Озимая рожь	400...425	425...450	450...550
Яровая пшеница	350...400	400...465	435...500
Ячмень	375...400	435...500	470...530
Овес	435...480	500...550	530...590
Картофель	300...350	350...400	400...450
Многолетние травы (сено)	500...550	600...650	700...750

При лимитировании урожая влагой полезную продукцию ДВУ (т/га) можно рассчитать также по формуле

$$У_w = \frac{WB}{10k_w} \cdot \frac{100}{(100_w)\alpha}, \qquad (18.10)$$

где W — влагозапасы в метровом слое почвы за время от посева до уборки, мм; k_w — коэффициент водопотребления культуры, м³/т (табл. 18.14 и 18.15); B — бонитет поля в замкнутой шкале, балл.

При лимитировании урожая не только влагой, но и теплом для расчета ДВУ зерновых можно использовать биоклиматический потенциал Д. И. Шашко.

18.15. Значения коэффициентов водопотребления k_w для юга РСФСР

Культуры	Зоны		
	I...II	III...IV	V
Озимая пшеница	950	920	840
Кукуруза на зерно	900	750	650
Люцерна на сено	780	650	500
Люцерна на семена	6100	5800	5300
Кукуруза на силос	80	60	50
Кукуруза на силос пожнивно	140	100	95
Соя на семена	—	—	165
Сорго на зеленый корм	95	90	85
Капуста ранняя	140	135	125
Капуста поздняя	160	155	145
Томаты	135	130	100
Лук	165	160	155
Огурцы	95	89	80

Примечание. Агроклиматические зоны юга РСФСР:

I. Сухая полупустынная — охватывает Прикаспийскую низменность, включая южную часть Астраханской области, восточные районы Калмыцкой АССР и Ставропольского края, Ногайские степи Дагестанской и Чечено-Ингушской АССР.

II. Очень засушливая степная — включает северную часть Астраханской и южные районы Волгоградской области, Центральные районы Калмыцкой АССР.

III. Засушливая степная — занимает западную часть Волгоградской и Саратовской области, восточную — Куйбышевской, северо-восточную — Ростовской области и Ставропольского края, северо-восточные районы Дагестанской АССР.

IV. Полузасушливая степная — включает западную часть Воронежской и Саратовской областей, северо-западные районы Ростовской области, северные районы Краснодарского края, восточные районы Кабардино-Балкарской и Северо-Осетинской АССР.

V. Слабозасушливая — охватывает Приазовские районы Ростовской области, центральную часть Краснодарского края, южные районы Ставропольского края.

При этом урожай зерна (т/га) будет

$$y = cl, \tag{18.11}$$

где

$$l = 55k_b \frac{\Sigma t_{>10^\circ}}{1000}. \tag{18.12}$$

Здесь c — цена балла, т/га; l — климатический индекс, балл; $\Sigma t_{>10^\circ}$ — сумма средних суточных температур выше 10°, град.

Цену балла рассчитывают по формуле

$$c = 0{,}23\eta B/1000. \tag{18.13}$$

Окончательное значение ДВУ обычно принимают минимальное из рассчитанных по разным лимитирующим факторам.

Среднемноголетние значения прямой и рассеянной солнечной радиации — S' и D, радиационного баланса — R, осадков — P_c, дефицита влажности — d_Φ и сумм температур — $\Sigma t_{>10^\circ}$ можно взять в справочниках по климату СССР.

Среднемноголетние запасы продуктивной влаги W_c в периоды посева, всходов, отмирания листьев и уборки, определяющие значения i_0, i_c, i_d, i_l, приведены в агроклиматических справочниках для соответствующих областей.

Сведения о глубине залегания грунтовых вод, а также о других агрометеорологических факторах можно получить, используя данные ежедекадных агрометеорологических бюллетеней, издаваемых гидрометеорологическими бюро областей (краев, республик).

Бонитет B оценивают по бонитировочным шкалам, составляемым в каждом регионе для наиболее распространенных сельскохозяйственных культур.

18.5.2. АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ

Важнейшее условие получения программированных урожаев — это бесперебойное обеспечение растений необходимыми элементами питания в соответствии с их потребностями в процессе вегетации.

Нормы минеральных удобрений определяют по формуле

$$D_m = \frac{100V - (Gk_G + D_0c_0k_0)}{c_mk_m}, \tag{18.14}$$

где D_m — норма минеральных удобрений, кг/га туков; V — вынос рассматриваемого элемента минерального питания с урожаем, кг/га (табл. 18.16); G — содержание доступных форм питательных веществ в почве, кг/га; D_0 — норма органических удобрений, т/га (табл. 18.17); c_0 — содержание питательных веществ в органических удобрениях, кг/т (табл. 18.18); c_m — содержание питательных веществ в минеральных удобрениях, %; k_G, k_0, k_m — коэффициенты использования питательных веществ из почвы, органических и минеральных удобрений, % (табл. 18.19 и 18.20).

Содержание доступных форм фосфора и калия в почве (кг/га) рассчитывают умножением агрохимических показателей картограмм обеспеченности почв фосфором и калием (мг/100 г почвы) на коэффициент, равный 25. . .30. Содержание доступных форм азота в почве может быть взято из таблиц 18.21 и 18.22.

Примерные нормы внесения удобрений под запланированный урожай приведены в таблице 18.23.

18.16. Вынос азота, фосфора и калия с урожаем (кг/ц) основной продукции (с учетом побочной)

Культуры	Основная продукция	N	P_2O_5	K_2O
Пшеница:				
озимая	Зерно	3,2	1,3	2,5
яровая	»	3,5	1,2	2,5
Рожь озимая	»	2,6	1,2	2,6
Ячмень	»	2,5	1,1	2,3
Овес	»	2,9	1,3	2,8
Кукуруза	»	3,03	1,02	3,13
Подсолнечник	Семена	6,0	2,6	18,6
Лен	Соломка	1,4	0,7	1,2
Картофель	Клубни	0,6	0,2	0,9
Свекла:				
сахарная	Корнеплоды	0,6	0,2	0,8
кормовая	»	0,6	0,15	0,7
Капуста:				
ранняя	Кочаны	0,6	0,2	0,6
поздняя	»	0,6	0,1	0,4
Томаты	Плоды	0,4	0,1	0,4
Огурцы	»	0,9	0,1	0,6
Лук-севок	Луковицы	0,4	0,2	0,3
Клевер с тимофеевкой (сено)	Сено	1,7	0,6	2,0
Люцерна	»	2,6	0,7	1,5
Клевер:				
луговой	Сено	1,97	0,56	1,60
ползучий	»	2,32	0,78	1,31
Естественные сенокосы	»	1,7	9,6	1,6
Тимофеевка	»	1,55	0,7	2,04
Кукуруза	Силос	0,3	0,1	0,4
Подсолнечник	»	0,6	0,3	0,5
Вико-овес	»	0,3	0,2	0,5
Рожь озимая	»	0,3	0,1	0,4
Турнепс	Корнеплоды	0,25	0,14	0,4
Брюква	»	0,40	0,25	0,70
Морковь кормовая	»	0,35	0,15	0,70
Культурные пастбища	»	0,3	0,1	0,5

18.17. Примерные нормы внесения навоза (т/га) в зависимости от содержания гумуса в почве

Культуры	Содержание гумуса		
	повышенное	среднее	пониженное
Озимые и яровые с подсевом трав	20...30	30...40	40...50
Картофель	20...30	35...40	40...50
Капуста	30...40	45...50	60...70
Свекла	30...40	30...40	45...50
Корнеплоды	30...35	40...45	50...60
Силосные, пропашные	20...30	30...40	45...60
Культурные пастбища при закладке и ремонте	20...30	30...40	40...50

18.18. Содержание питательных веществ в органических удобрениях

Показатель	Навоз крупного рогатого скота	Навозно-торфяной компост	Навоз жидкий — 92...96 % воды	Птичий помет сырой
Содержание NPK в удобрениях, кг/т				
N	4...5	5,5...6,5	2...3	15...25
P_2O_5	2...3	2...2,5	0,5...1	10...20
K_2O	4,5...5,5	4...5	1...2	6...10
Коэффициенты использования удобрений в первый год:				
зерновыми				
N	20...30	15...25	30...40	30...40
P_2O_5	25...35	25...35	30...40	40...50
K_2O	50...60	50...60	60...70	60...70
пропашными, овощными				
N	30...40	20...30	40...50	40...50
P_2O_5	35...45	35...45	40...60	50...60
K_2O	60...70	60...70	70...80	80...90

18.19. Коэффициент использования полевыми культурами питательных веществ из почвы

Культуры	Почвы	k_G, %	
		P_2O_5	K_2O
Пшеница озимая	Дерново-подзолистые	5...10	8...15
Ячмень	То же	5...9	6...10
Овес	»	5...11	8...14
Лен	»	5...10	9...20
Пропашные	»	5...12	9...40
Многолетние травы, овощные	Дерново-подзолистые	8...15	17...40
Кукуруза на зерно	Мощный малогумусовый чернозем	10...11	6...7
» » »	Чернозем выщелоченный	4	15
» » »	Мощный малогумусовый легкосуглинистый чернозем	20	25
» » »	Обыкновенные неглубокие среднесуглинистые черноземы	13	17
» на силос	Чернозем выщелоченный	4	12
Сахарная свекла	» »	6...9	25...40

Примечание. При расчете норм азотных удобрений коэффициент использования азота из почвы k_G принимается равным 100 %.

18.20. Коэффициент использования полевыми культурами питательных веществ из минеральных удобрений

Культуры	Почвы	k_m, %		
		N	P_2O_5	K_2O
Пшеница озимая	Дерново-подзолистые	50...86	15...45	55...95
Ячмень	То же	60...76	20...40	60...70
Пропашные, овощные, многолетние травы	»	50...70	20...25	60...70
Овес	»	60...80	25...35	65...85
Кукуруза на силос	»	60...85	25...40	46...96
Картофель	»	50...80	26...36	86...96
Пшеница озимая	Малогумусовый выщелоченный чернозем	75	29	46
Пшеница озимая	Мощный слабовыщелоченный чернозем	29...46	13...18	30...42
Кукуруза на зерно	Мощный малогумусовый выщелоченный чернозем	50	19	39
» » »	Мощный малогумусовый слабовыщелоченный чернозем	38	16	23
Сахарная свекла	Чернозем	53	10	35
Гречиха	Мощный малогумусовый слабовыщелоченный чернозем	24	10	23

18.21. Ориентировочный уровень содержания доступных форм азота (кг/га) на дерново-подзолистых и серых лесных суглинистых почвах

Культуры	Степень окультуренности			
	низкая (слабая)	средняя	высокая (хорошая)	очень высокая (высокая)
Зерновые	15...30	35...45	60...75	80...100
Пропашные, овощные, многолетние травы	30...50	55...75	100...125	130...150

18.5.3. ИНТЕНСИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАННЫХ УРОЖАЕВ

Интенсивная технология — совокупность механизированных процессов по возделыванию культуры, обусловленная определенными сроками работ, достаточными материально-техническими ресурсами, обеспечивающими получение в конкретных природно-климатических условиях максимального урожая высокого качества.

Интенсивную технологию применяют на богарных почвах. Применение ее в условиях орошения позволяет получать урожайность сельскохозяйственных культур, близкую к расчетной (программированной).

Интенсивная технология возделывания сельскохозяйственных культур включает размещение культур в севообороте, основную обработку почвы, внесение удобрений, допосевную обработку почвы, применение гербицидов, посев, уход за посевами, борьбу с вредителями и болезнями, применение ре-

18.22. Основные агрохимические показатели окультуренности подзолистых почв

Показатели	Почвы	Степень окультуренности			
		слабая	средняя	хорошая	высокая
Мощность пахотного слоя, см	Песчаные и супесчаные	16...20	22...26	24...30	26...32
	Легко- и среднесуглинистые	14...18	20...24	22...26	24...30
Содержание гумуса, % (по Тюрину)	Песчаные и супесчаные	0,6...1,6	1,6...2,2	2,2...3,0	3,0...4,0
	Легко- и среднесуглинистые	1,0...2,0	2,0...2,6	2,6...3,4	3,4...4,5
Кислотность pH (солевая)	Песчаные и супесчаные	4,0...5,2	5,2...5,8	5,8...6,4	6,4...6,8
	Легко- и среднесуглинистые	3,8...4,8	4,8...5,6	5,6...6,4	6,4...6,8
P_2O_5, мг/100 г почвы	Песчаные и супесчаные	До 5	5...15	15...25	Более 25
	Легко- и среднесуглинистые	До 8	8...15	15...20	Более 20
K_2O, мг/100 г почвы	Песчаные и супесчаные	До 6	6...10	10...14	Более 16
	Легко- и среднесуглинистые	До 8	8...14	14...20	Более 20

18.23. Примерные нормы внесения удобрений под запланированный урожай при орошении

Культуры	Планируемый урожай, т/га	Норма, кг действующего вещества на гектар		
		N	P_2O_5	K_2O
Пшеница озимая	5...6	120...150	60...70	45...90
Пшеница яровая	3,5...4	90...120	50...60	45...60
Кукуруза на зерно	6...8	120...150	80...90	60...90
Кукуруза на силос	60...70	150...180	60...90	45...60
Сахарная свекла	45...60	120...150	40...90	40...60
Рис	5...6	120...150	45...60	45...60
Люцерна	25...30	30...60	150...180	60...90
Картофель	15...25	60...150	60...120	30...60
Овощные	25...50	60...200	60...120	30...60

тардантов, подготовку к уборке, уборку, послеуборочную обработку урожая. Ее представляют в форме технологической карты.

Технологическая карта — нормативный документ, регламентирующий комплекс технологических мероприятий, параметры и сроки их проведения. Его разрабатывают для каждого поля с учетом плодородия, водно-физических свойств почв, особенностей климата, а также биологии сельскохозяйственной культуры.

Технологические карты программированного возделывания сельскохозяйственных культур должны содержать перечни и последовательность технологических операций с указанием объемов работ, сроков их проведения и необходимого материально-технического обеспечения; контрольных операций, необходимых для поступления оперативной информации о состоянии посевов и условиях их выращивания и перечень рекомендаций по корректировке технологий (изменение сроков проведения работ, исключение одних и введение других технологических операций) в зависимости от меняющихся условий.

При корректировке технологических процессов можно использовать данные, содержащиеся в ежедневном гидрометеорологическом бюллетене; прогнозы опасных явлений; информацию декадного агрометеорологического бюллетеня; сведения, содержащиеся в специальных справках; агрометеорологические прогнозы; материалы обследования посевов; сведения и прогнозы станции защиты растений.

18.6. ИНФОРМАЦИОННО-СОВЕТУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОРОШЕНИЯ (ИСС ОПО)

Оптимальное управление системой орошения требует обора и обработки больших объемов разносторонней информации, что возможно только при использовании математических моделей происходящих на поле процессов и решения их на ЭВМ. В этих целях все более широкое применение получают информационно-советующие системы оперативного планирования орошения (ИСС ОПО).

ИСС ОПО решают следующие задачи: прогнозирование сроков и норм поливов для каждого поля в отдельности и динамики изменения запасов влаги в почве; составление оперативных планов поливов для совокупности полей севооборота; оптимизация (при дефиците ресурсов планов в целях получения

максимального эффекта от использования наличных ресурсов на совокупности полей севооборота; подготовка информационных отчетов для руководящих органов о ходе поливов.

Влажность почвы измеряют один раз в год ранней весной. В последующий период влажность почвы рассчитывают по модели динамики влагозапасов. Для контроля правильности расчетного установления влажности выделяют 4. . .5 контрольных полей, на которых поливы проводят в точном соответствии с рекомендациями ИСС ОПО и ведут регулярные измерения влажности. Результаты измерений сравнивают с рассчитываемыми системой. При обнаружении систематических расхождений расчетную влажность корректируют. Эпизодические контрольные измерения влажности проводят при возникновении сомнений в правильности расчетного определения ее системой.

Основой расчетного комплекса ИСС ОПО служит многослойная модель посуточной динамики изменения запасов влаги в 10—15-сантиметровых слоях почвенного профиля. Ход изменений влажности в каждом слое определяют по уравнению водного баланса. При этом наряду с нисходящим передвижением поливной воды и осадков модель учитывает послойный расход воды на физическое испарение и десукцию корнями растений. Потенциальное испарение, реализующееся при влажности почвы выше критического уровня, принимают пропорциональным испарению с водной поверхности, измеренному с помощью испарометра ГГИ-3000. Его определяют умножением пропорционального испарения на эмпирические коэффициенты водопотребления культур, значения которых изменяются в течение периода вегетации культур от 0,5. . .0,6 в начальные и конечные фазы развития до 1. . .1,2 в фазу наиболее активной вегетации. При снижении влажности почвы ниже критического уровня потенциальное испарение умножают на коэффициент редукции, значение которого уменьшается от 1 при влажности, равной критическому уровню или превышающей его, до 0 при влажности завядания. Погрешность составляет 5. . .10 %.

В основе прогнозирования динамики влажности на предстоящие 10 сут лежат допущения, что осадков не будет и что посуточное испарение по данным испарометра будет равным среднемноголетним значениям его, вычисленным для соответствующих дат по данным наблюдений близлежащей метеостанции. Это ориентирует хозяйство на худший вариант, а в случае выпадения обильных осадков остановить полив несложно. Оба допущения не приводят к накоплению ошибок, так как каждую неделю прогнозные данные (по испарению и осадкам) в дни расчета рекомендаций корректируют фактическими.

Модель оптимизации режимов орошения в условиях дефицита ресурсов планирует очередность проведения поливов на конкурирующих полях в соответствии с приоритетами, определяемыми в баллах в зависимости от народнохозяйственного значения возделываемых культур, их видовой засухоустойчивости и чувствительности к недостаточному водообеспечению в конкретную фазу развития, а также от уровня пониженияу влажности и общего состояния культуры. Наибольшее число баллов присваивают культурам, оказавшимся в аварийной ситуации (например, пшеница в фазе налива зерна), а также овощным, возделывание которых без поливов невозможно.

Для оперативного планирования необходима следующая информация:

научная нормативно-справочная (НСИ) к моделям, постоянно хранимая в памяти ЭВМ, о глубине активного слоя почвы, изменяющейся по фазам, верхней и нижней границах оптимального увлажнения, критическом уровне запасов влаги по типам почв, сезонной динамике биологических коэффициентов водопотребления и степени покрытия поля растениями и др.;

условно-постоянная (сезонная), вводимая в память ЭВМ до начала поливного сезона (обычно не меняющаяся в течение оросительного периода), о возделываемых культурах, типах почвы, запасах влаги в 15-сантиметровом слое при наименьшей влагоемкости и влажности завядания, среднемноголетних значениях суточных сумм испарения из испарометра ГГИ-3000, параметрах рабочих скоростей используемых дождевальных машин

оперативная, вводимая в ЭВМ один раз в неделю для выполнения очередных расчетов, о сумме испарения с водной поверхности испарометра по суткам прошедшей недели, количестве осадков, выпавших на площадях, за-

нятых севооборотом, изменении фаз развития культур на полях, фактических (исполнительных) сроках и нормах поливов.

Динамику изменения запасов влаги рассчитывают за каждые сутки. Расчеты планов поливов выполняют регулярно один раз в неделю на десять суток вперед.

Программное обеспечение ИСС ОПО включает значительный объем программ идентификации исходных данных, выдачи результатов и работы с информационным базисом (около 62 % общего объема комплекса). Применение ЭВМ на уровне хозяйства (совхоз, колхоз) сопряжено не только с большими организационными трудностями, но и с повышенными требованиями к макетам представления информации и контролю правильности исходных данных.

Функционирование системы ИСС ОПО обеспечивается специальной службой, в обязанности которой входит: обучение собственного персонала, а также гидротехников и агрономов колхозов и совхозов правилам эксплуатации ИСС и пользованию ее услугами (декабрь — январь); сбор и ввод в память ЭВМ сезонной информации (январь — март); в возможно более ранние сроки весной — измерение стартовой влажности почвы и ввод ее данных в ЭВМ. При участии гидротехников или агрономов хозяйств еженедельно (по определенным дням недели) осуществляют сбор оперативной информации об осадках, фазах развития культур и исполнительных сроках и нормах поливов на полях. Эту информацию контролируют и наносят на сводную ленту телетайпа и вводят в ЭВМ. Рассчитанные оперативные рекомендации по поливам и информационные отчеты доставляют в хозяйства и в руководящие организации. Служба реализует измерения влажности, осуществляет контроль правильности поданной информации и выполнения рекомендуемых планов поливов.

Связь подразделений службы с хозяйствами осуществляется по телефону, а с вычислительным центром — по телетайпу. Рекомендации и отчеты доставляются нарочным или почтой. Цикл от заполнения оперативной сводки в хозяйстве до доставки рекомендаций занимает 1,5 сут. Оперативная работа службы должна быть обеспечена автотранспортом. На одного человека этой службы приходится 5. . .7 тыс. га обслуживаемых земель.

Основное содержание передаваемых еженедельно хозяйствам рекомендаций по севооборотам состоит из оперативных сведений о влажности почвы и планируемых на предстоящую декаду рациональных сроках и нормах поливов на полях, а также из требующихся для реализации поливов расходов водоподачи на севооборот (по суткам).

Каждые полмесяца составляют информационные отчеты, содержащие сведения по хозяйствам и району о физической площади полива и гектарополивах, о водозаборе на орошение, об использовании техники полива, а также о площадях с влажностью ниже критического уровня.

В результате применения ИСС ОПО повышается технологическая дисциплина, а в итоге — урожайность сельскохозяйственных культур до проектного уровня.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автоматизация водораспределения 244, 311, 322
— оросительных систем 161, 249, 250, 251
Агроклиматические зоны 397
Агромелиоративные мероприятия 251
Альбедо 14
Арматура поливная 78, 79, 186
Атмосферные осадки 28, 30, 64, 65
— — продуктивно используемые 51
— — эффективные 27
Аэрозольное увлажнение (мелкодисперсное дождевание) 49, 147

Баланс водный 209, 276
— водно-солевой 209
— грунтовых вод 209
— почвенных вод 209
Биоклиматический метод установления режимов орошения 46
Бонитет почвы 397
Борозда поливная 73, 173
— вдавленная 73
— выводная 173
— засеваемая мелкая 73
— сквозная (проточная) 73, 88
— с террасками 50
— тупая (глухая) 50, 73, 88
Борозды-щели 50, 73

Валик 72, 73, 255
Вегетационный период 27
Вероятность превышения 32, 35, 178
— — водопотребления суммарного 26
— — оросительной нормы 32, 35, 36, 37, 38, 39
Влага доступная 372
— гигроскопическая 370
— гравитационная 371
— капиллярная 370
— продуктивная 372
— эффективная 372
Влагоемкость почв 371
— — наименьшая 28, 41, 371
— — капиллярная 371
— — полная 371
Влагомер почвенный 374, 375, 376
Влагообеспеченность территории 64, 69
Влажность почвы 28, 371, 404
— — критическая 28, 45
— — соответствующая наименьшей влагоемкости 28, 41
— — соответствующая полной влагоемкости
— — объемная 28
— — разрыва капилляров 372
— — устойчивого завядания 41, 372
— — фактическая 28
Внутрихозяйственная сеть 173
Внутрипочвенный полив 9, 49, 150
Водный баланс 63, 209
Водовыпуск (см. Арматура поливная)
Водозабор (общий объем воды) 177
Водозаборное сооружение 173
Водоносность источника орошения 309
Водомерные устройства 226
Водооборот 307
Водообеспеченность оросительной системы 244
Водоподача 168
Водопользование плановое 305
Водопотребление суммарное 13, 14, 21, 27, 28, 29, 30
— внутрисезонное 26
Водопроницаемость почвы 52, 53, 368
Водораспределение 306, 312
Водосборно-сбросная сеть 208
Водоупор 210
Водоучет 226
Водохозяйственный расчет 177
Водохранилище годового (сезонного) регулирования 264
— многолетнего регулирования 264
Возвратные воды 263, 289
Впитывание 71
Время добегания 73

Гидрант 81, 87
Гидромодуль дренажного стока 46
Гидромелиоративная система 173, 221
Гипсование 356
Глубина грунтовых вод 54
Глубокое объемное рыхление почв 351

Гранулометрический состав почвы 156
График гидромодуля 46
Грунтовые воды 27
Гумус 384

Дефицит водопотребления 29, 30, 47
— испаряемости 51
Дождевальная машина 113, 129
— — дальнеструйная 113
— — широкозахватная 119, 124, 125, 129, 135
Дождевальная система 141
— — стационарная 141
— — сезонно-стационарная 143
Дождевальная установка среднеструйная 104
Дождевание мелкодисперсное 9, 49, 92, 147
— синхронно-импульсное 143
Дождевальная насадка 94
— дефлекторная 94
— щелевая 94
Дождевальное оборудование 104, 105, 106
Дождевальный агрегат 110
Дождевальный аппарат 94
— — среднеструйный 96
— — дальнеструйный 96
Дождевальный шлейф 107
Дороги на орошаемых землях 173, 224
— внутрихозяйственные 224
— межхозяйственные 224
— эксплуатационные 204
Дрена 209, 212
Дренаж 208
— вертикальный 211, 213
— выборочный 209
— горизонтальный 211
— комбинированный 211, 214
— линейный 209
— систематический 209
Дренажная сеть 208
Дренажная скважина 214
Дренажный сток 211
Дренажный фильтр 214
Дренированная площадь 209

Запасы влаги 27, 28, 372, 373, 395, 397, 398
— — активные 27, 30, 372
— — критические 27
— — продуктивные 372, 395
Засоление первичное 53, 329
— вторичное 391
Засоленные земли 330
Зона природная (см. Почвенно-биоклиматическая область)
— увлажнения (см. Климатическая зона увлажнения)

Инвентаризация оросительных систем 299
Индекс использования орошаемой площади 389
Инженерная служба эксплуатации поливной техники 290
Изыскания при реконструкции 249
Интенсивность дождевания 92, 93
— — действительная 92
— — допустимая 93
— — мгновенная 92
— — средняя 92
Информационно-советующие системы 403
Инфильтрация 209
Испарение 14, 64
— динамическое
— изометрическое 14, 16
— с поверхности почвы 209
— энергетическое 19
Испарометр 17, 404
Испаряемость 16, 17, 51, 64, 396

Канал внутрихозяйственный 173, 186
— магистральный 173
— межхозяйственный 173
— нагорный 176
— распределительный 173
Капельница 159
Капельное орошение 9, 49, 159
Карта поливная 253
— дальневосточного типа 254
— краснодарского типа 254
— кубанского типа 254
— широкого фронта 254
Качество оросительной воды 357
Классификация оросительных систем 176, 196
Классы оросительной системы 176
Климатическая зона увлажнения 61, 62, 64, 65
— — — избыточного 28, 61, 64, 85, 281
— — — недостаточного 61, 64, 65, 281
— — — незначительного 61, 64, 65
— — — неустойчивого 61, 64, 65
Коллектор 212, 253
Кольматация грунта 250
Коэффициент асимметрии 272
— биоклиматический 14, 18
— биологический 14, 18, 19, 21, 23, 24, 25
— биологической продуктивности 396
— вариации 92, 272
— водного баланса 62, 63
— водно-солевого баланса 247
— водооборота 261
— водопотребления 397
— водопроницаемости почв 71

— весовой 14, 15
— впитывания 71
— гидротермический 69
— засоленности почв 247
— затухания скорости впитывания 71
— земельного использования 244, 245, 247, 173
— извилистости горизонталей 252
— — использования вегетационного периода 389
— использования воды 177, 244, 245, 247
— использования грунтовых вод 29
— использования рабочего времени суток 297
— использования питательных веществ 398, 400, 401
— конвективной диффузии 246
— микроклиматический 14, 20, 21
— минерализации грунтовых вод 247
— модульный 273
— относительной изменчивости урожайности 247
— полезного действия оросительной сети 178, 191, 307, 309
— полезного действия техники полива 78
— полезного использования воды 168, 177, 245
— снижения скорости ветра 20
— солеотдачи 342
— стока 63, 64
— увлажнения 31, 32, 63, 69, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 64, 69, 395, 397
— уровня напорных вод 247
— форсирования расхода 192
— фильтрации 53, 191, 250

Лесная полезащитная полоса 173, 224
Лиман водораздельного плато 264, 266
— глубоководный 264
— естественный 264
— замкнутых понижений 267
— искусственный 267
— использующий сток степных рек 270
— мелководный 264
— многоярусный 264
— питаемый водами оросительно-обводнительных систем 271
— питаемый сбросными водами из водохранилищ и прудов 267
— пойменный 271
— потяжин и лощин 267
— простой 264
— среднего слоя затопления 264
— устраиваемый на пологих склонах 266

Лиманное орошение 49, 264
Лоток 89, 192
Лотковая сеть 195
Лотковый канал 192

Магистральный канал (см. Канал)
Машинно-инъекционный полив 50
Межполивной период 45
Мелиоративное состояние земель 249, 250
Мелиоранты 353
Мелиорации оросительные 9
— отеплительные 9
— увлажнительные 9
— удобрительные 9
— химические 9
Местный сток 264
Метод теплового баланса 14
Метод пробных поливов 76
Механический состав почв (см. Гранулометрический состав почв)
Микроводовыпуск 161, 162, 163, 164
Микрорельеф 252
Минерализация грунтовых вод 54
Модуль дренажного стока 211

Надежность поливной техники 299
Намоточное устройство 83
Нефтевание 250
Норма лиманного орошения 273, 274
Нормы удобрительных поливов 285
Нормы удобрений 332, 333, 398, 399
Напор пьезометрический 67, 203
Норматив сезонной нагрузки поливных машин 295
— выработки 295
— потребности 295
— сроков службы 298
Нормативы затрат на эксплуатацию 291
Нормы амортизационных отчислений 301
Насосная станция 174

Обеспеченность орошения (см. Вероятность превышения)
Облицовка каналов 250
— асфальтобетонная 250
— глиняная 250
— железобетонная 250
— бетонная 250
Ордината гидромодуля 46, 144, 169, 188
Обработка почвы 390
— — основная 390
— — предпосевная 390
— — при уходе за посевами 390
Объемная масса 370
Общий объем воды (см. Водозабор) 177
Оросительный временный 173

— картовый 253
— сбросный 254
Оросительная вода 357, 358
Оросительная норма 27, 31
— — брутто 37
— — нетто 37
— — оптимальная биоклиматическая (нетто) 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40
Оросительная сеть 183
— — временная 173
— — внутрихозяйственная 173
— — закрытая 195
— — комбинированная 207
— — межхозяйственная 244
— — открытая 184, 188
Оросительная система 173, 244, 246, 247
— — закрытая 176
— — комбинированная 176
— — открытая 176
— — передвижная 196
— — полустационарная 196
— — регулярного орошения 173
— — рисовая 253
— — с механическим водоподъемом 176
— — самонапорная 90
— — стационарная поверхностного орошения 90, 196
— — стационарная дождевальная 141
Оросительная способность водоисточника 177
Оросительно-обводнительная система 10
Орошаемая площадь (см. Площадь орошаемых земель)
Орошение земель (см. Способ орошения)
— — разовое 10
— — лиманное 10
— — регулярное 10
Осолонцевание 349
Осушительно-оросительная система 10
Осушительно-увлажнительная система 10
Отстойники 282
Очистка сточных вод 289, 282
Очистные сооружения 282

Падение напора 201, 202
Параметры солепереноса 345, 346
План водопользования 304
— — внутрихозяйственный 305
— — поливов 306
— — системный 305
План забора воды в систему 306
План водораспределения 306
Планировка поверхности 251
— — капитальная 251
— — эксплуатационная 252
Плотность почвы (см. Объемная масса)
Площадь водосборная 273
Площадь орошаемых земель брутто 173, 176
— — валовая 309
— — — нетто 173, 176
Поверхностное орошение 9, 49, 71
Подпочвенное орошение (см. Внутрипочвенный полив) 9, 49, 150
Подтопление с искусственным подъемом почвенно-грунтовых вод 49
Показатель надежности поливной техники 299
Показатель трудоемкости обслуживания поливной техники 299
Полив вегетационный 44, 49
— влагозарядковый 13, 44
— опреснительный 357
— обводнительный 13
— приживочный 13
— промывной 336
— противозаморозковый 13
— удобрительный 13, 285, 286
Полив затоплением (чеков) 71, 257
— по полосам напуском 72
— — с боковым пуском воды 72
— — с верхним пуском воды 72
Полив по бороздам 73
Поливная карта 253
Поливная норма 14, 41, 44, 188
— — вегетационная 44
— — влагозарядковая 44
— — достоковая 43
— — расчетная 41
Поливная полоса 72
— — узкая 72
— — широкая 72, 73
Поливная техника 49, 244
Поливной агрегат 35, 85
Поливной участок 71
Пористость почв 370
— — активная 346
— — капиллярная 370
— — некапиллярная 370
Потери воды на испарение 189
Потери воды на фильтрацию 189
Порог токсичности солей 334
Почвенная влага (см. Влага)
Почвенно-биоклиматическая область 61, 62, 396
— — лесолуговая 61, 62
— — лесостепная 61, 62, 65
— — лиственно-лесная 61, 62, 65
— — предгорно-пустынная 61, 62, 65
— — пустынная 61, 62, 65
— — пустынно-степная 61, 62, 65
— — степная 61, 62, 65
— — сухая субтропическая 61, 62, 65

— — сухостепная 61, 62
— — южно-таежная 61, 62, 65
Почвенно-биоклиматический пояс 62
— — арктический (холодный) 62
— — теплый 62
— — умеренный 62
Почвенный испаритель (см. Испарометр)
Предельно допустимая концентрация
Природная зона (см. Почвенно-биоклиматическая зона)
Природоохранные мероприятия 288
Программирование урожаев 394
Продуктивная влага (см. Запасы влаги) 372
Промывка засоленных земель 293, 336, 357
— — — капитальная 336
— — — эксплуатационная 336
Промывная норма брутто 342, 343
— — нетто 342, 343
Противофильтрационные мероприятия 250

Радиация солнечная 14, 17
— длинноволновая остаточная 14
— приходящая коротковолновая 14
— суммарная остаточная 14
— фотосинтетически активная 62, 394, 395
Разряд оросительных систем 32
Район физико-географический 70
Районирование орошаемых территорий 32, 39, 62
Распределитель хозяйственный 173
— внутрихозяйственный 173
Расход воды 177
— — аварийный 321
— — брутто 144
— — максимальный 188, 261
— — нетто 177
— — минимальный 138, 261, 262
— — расчетный 138
— — форсированный 192
Регулирование водораспределения 312
Регулирование стока 264
— — многолетнее 264
— сезонное 264
Регулятор уровня воды 322
Режим орошения 13
— — водно-солевой 209
— — проектный 13
— — промывной 29
— увлажнительно-промывной 13
— — специальный 13
— — эксплуатационный 13
Реконструкция оросительных систем 226
— — — комплексная 245, 248
— — — частичная 248, 249
Ремонт оросительных систем 292

Сброс-ороситель 254
Севооборот 383
Севообороты картофельные и овощные 389
— полевые 388
— рисовые 388
— свекловичные 388
— хлопково-люцерновые 384
Севооборотный участок 157
Сеть водосборно-сбросная 208
— коллекторно-дренажная 208
Способы измерения влажности почвы 374
— — — — карбидный 374
— — — — площадный (дистационный) 381
— — — — радиационный 375
— — — — тензометрический 381
— — — — термостатно-весовой 374
— — — — точечный 374
— — — — электрический 374
Система земледелия 383
Сифон поливной 79, 80, 181
Скорость ветра 20
— — флюгерная 20
Слой увлажнения почвы активный 373
— — — расчетный 373
Содовозасоленные почвы 355, 356
Солеперенос 345
Солнечное сияние 14, 15
— — фактическое (наблюдаемое) 16, 17
Солонцеватые почвы 332, 334
Солонцеустойчивость растений 334
Солонцы 332
Солончаковатые почвы 333
Способ орошения 49
Срок полива 44
Срок службы поливной техники 299
Степень засоления 330
— солеустойчивости растений 334
Сток весенний 272
Сточные воды 279
— — животноводческие 279, 281
— — хозяйственно-бытовые 279
— — производственные 279
— — смешанные 279
Суммарное водопотребление (см. Водопотребление суммарное)
Схема комплексного использования и охраны вод 288
Схема полива 76, 77
— — комбинированная 76, 77
— — поперечная 76, 77
— — продольная 76, 77

Телекомплексы 323
Телемеханизация оросительных систем 311
Техника полива 49
Техническое состояние оросительных

систем 244
Технологическая карта 403
Тип дренажа 210
Тип засоления 392
Тип местности 70
Технология интенсивная 401
Транспирация растений 209
Трубка поливная 79, 80, 187
Трубопровод поливной 80, 85, 196
— — гибкий 80, 81, 82
— — закрытый 196
— — жесткий 80, 81, 82
— — колесный 87
— — магистральный 196
— — открытый 196
— — передвижной 80, 85
— — перфорированный закрытый 90
— — подземный 82
— — разборный 196
— — распределительный 196
— — транспортирующий 80, 82, 91
— — стационарный 80

Увлажнитель полиэтиленовый 155
Увлажнительно-осушительная сеть (см. Осушительно-увлажнительная сеть)
Удобрительное орошение 285
Уклон допустимый 167, 273 366
— минимальный 203
— оптимальный 54, 56, 57, 58, 59
— поперечный 72
— продольный 76
Уплотнение грунта 250
— — глубокое 250
— — поверхностное 250
Управление водораспределением 311
— — автоматизированное 314
— — автоматическое 314
— — децентрализованное 311
— — централизованное 311
Урожай действительно возможный 394
— программированный 396
Уровень грунтовых вод 55, 246, 247

Факторы применения способов орошения 51, 56, 57
— — — — биологические 55, 56, 57
— — — — водохозяйственные 55, 56, 57
— — — — геоморфологические 54, 56, 57
— — — — гидрологические 54, 56, 57
— — — — климатические 51, 56, 57
— — — — почвенные 52, 56, 57
— — — — хозяйственные 55, 56, 57
— — — экономические 58
Фазы развития растений 42
Фильтрация воды 189
Фотосинтетическая активная радиация (ФАР) 62, 394, 395

Частота поливов 44
Чек поливной 71, 255
— — прямоугольный 71
— — косоугольный 71

Шланг гибкий (см. Трубопровод)
Щит для полива 80, 186

Эвапотранспирация (см. Суммарное водопотребление)
— потенциальная 16
Экран бентонитовый 250
— пластмассовый 250
Эксплуатация оросительных систем 290
Элементы техники полива 71, 74, 75, 76, 77, 78
Эрозия почвы 54, 363
— — ирригационная 54
Эффект народнохозяйственный 248
— социальный 245
— экологический 248

Ярус лимана 264, 276

ОГЛАВЛЕНИЕ

Основные буквенные обозначения 5

Глава 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ 9

1.1. Оросительные сельскохозяйственные мелиорации 9
1.2. Площади орошения в различных странах мира 10

Глава 2. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР 13

2.1. Краткая характеристика и назначение режимов орошения 13
2.2. Суммарное водопотребление 13
2.3. Оросительная норма 27
2.4. Поливные нормы и сроки полива 41
2.5. Сроки и частота поливов 44
2.6. Графики гидромодуля 46

Глава 3. СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ И ПОЛИВНАЯ ТЕХНИКА . . 49

3.1. Классификация способов орошения и поливной техники 49
3.2. Условия применения способов орошения и поливной техники 51
3.3. Способы орошения в различных районах страны 59

Глава 4. ПОВЕРХНОСТНОЕ ОРОШЕНИЕ 71

4.1. Увлажнение почвы 71
4.2. Полив затоплением чеков 71
4.3. Полив по полосам напуском 72
4.4. Полив по бороздам 73
4.5. Поверхностное орошение в условиях предгорных и горных склонов 77
4.6. Поливная арматура 78
4.7. Гибкие и жесткие поливные трубопроводы 80
4.8. Поливные передвижные агрегаты с гибкими шлангами . . 83
4.9. Поливные передвижные агрегаты с жесткими и полужесткими трубопроводами 85
4.10. Комплект автоматизированного оборудования для полива по бороздам 88
4.11. Поливные лотки 89
4.12. Стационарные системы поверхностного орошения 90

Глава 5. ДОЖДЕВАНИЕ 92

5.1. Элементы техники дождевания 92
5.2. Дождевальные насадки и аппараты 94
5.3. Комплекты передвижного дождевального оборудования 104
5.4. Дождевальные шлейфы и машины с подводом воды по гибкому шлангу 107
5.5. Двухконсольный дождевальный агрегат ДДА-100МА . . 110
5.6. Дальнеструйные навесные дождевальные машины 113
5.7. Многоопорные дождевальные машины позиционного действия фронтального перемещения 119
5.8. Самоходная многоопорная дождевальная машина «Фрегат» 129

5.9. Электрифицированная многоопорная самоходная дождевальная машина ЭДМФ «Кубань» 135
5.10. Стационарные и сезонно-стационарные дождевальные системы 141
5.11. Синхронное импульсное дождевание 143
5.12. Аэрозольное увлажнение (мелкодисперсное дождевание) 147

Глава 6. ВНУТРИПОЧВЕННОЕ (ПОДПОЧВЕННОЕ) ОРОШЕНИЕ (ВПО) 150

6.1. Проектирование ВПО 150
6.2. Системы ВПО 153
6.3. Режимы орошения 155
6.4. Гидравлический расчет трубопроводов 157

Глава 7. КАПЕЛЬНОЕ ОРОШЕНИЕ 159

7.1. Системы капельного орошения 159
7.2. Автоматизация систем 161
7.3. Гидравлический расчет трубопроводов 165
7.4. Технология капельного орошения 168
7.5. Технические средства для очистки поливной воды. Внесение удобрений 171

Глава 8. ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛЯРНОГО ОРОШЕНИЯ 173

8.1. Типы, схемы, элементы 173
8.2. Водохозяйственные расчеты 177
8.2.1. Расчет оросительной способности водоисточника 177
8.2.2. Методика выбора расчетной обеспеченности орошения . . 178
8.3. Схемы и расчет открытой сети 183
8.3.1. Конструкции сети 183
8.3.2. Арматура на временной оросительной сети 186
8.3.3. Расчетные расходы открытой оросительной сети 188
8.3.4. Лотковые каналы 192
8.4. Схемы и расчет закрытой сети 195
8.4.1. Условия применения и классификация закрытых систем 195
8.4.2. Схемы сети при различных способах орошения и технике полива 198
8.4.3. Гидравлический расчет сети 200
8.4.4. Режим наносов в трубопроводах 204
8.4.5. Выбор материала труб. Защита от коррозии 205
8.5. Схемы комбинированной сети 207
8.6. Водосборно-сбросная сеть 208
8.7. Дренажная сеть 208
8.7.1. Назначение и типы дренажа 208
8.7.2. Расчет водно-солевого баланса орошаемых земель 209
8.7.3. Выбор типа дренажа на основе геофильтрационной схематизации 210
8.7.4. Определение сроков строительства дренажа 211
8.7.5. Расчет параметров дренажа 211
8.8. Технико-экономическое обоснование оптимальных параметров гидромелиоративных систем 221
8.9. Дорожная сеть. Лесные насаждения 224
8.10. Сооружения и устройства для учета воды 226
8.11. Реконструкция оросительных систем 226
8.11.1. Задачи и цели реконструкции 226
8.11.2. Техническое состояние оросительных систем 244
8.11.3. Проектирование реконструкции оросительных систем . . 245
8.11.4. Повышение водообеспеченности оросительных систем и улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель 249
8.11.5. Планировка поверхности орошаемых участков 251

Глава 9. РИСОВЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ 253
9.1. Особенности и типы рисовых оросительных систем, их специфика 253
9.2. Режим орошения и водохозяйственные расчеты 257
9.3. Схемы и расчеты сети 260

Глава 10. ЛИМАННОЕ ОРОШЕНИЕ 264
10.1. Местный сток, методы его регулирования и использования 264
10.2. Типы и конструкции лиманов 264
10.3. Расчет систем лиманного орошения 272
10.3.1. Расчетный объем стока для лиманного орошения 272
10.3.2. Норма лиманного орошения 273
10.3.3. Проектирование глубоководных лиманов 275
10.3.4. Проектирование мелководных ярусных лиманов 276

Глава 11. ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТОЧНЫХ ВОД И СТОКОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 279
11.1. Виды и оценка сточных вод для орошения 279
11.2. Оросительная сеть и поливная техника 281
11.3. Режимы орошения сточными водами 285
11.4. Природоохранные мероприятия 288

Глава 12. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 290
12.1. Служба эксплуатации 290
12.2. Техническое обслуживание и ремонт оросительных систем 292
12.3. Эксплуатация поливной техники 295
12.4. Инвентаризация оросительных систем 299
12.5. Права и обязанности эксплуатационной службы 303

Глава 13. ПЛАНОВОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ 304
13.1. Организация водопользования 304
13.2. Внутрихозяйственный план водопользования 305
13.3. Системный план водопользования 305
13.4. Организация поливов 306
13.5. Учет и контроль использования воды и земли на системе 308
13.6. Связь 310

Глава 14. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ 311
14.1. Общие вопросы 311
14.2. Схемы регулирования водораспределения 312
14.3. Технические средства автоматизации водораспределения 322

Глава 15. РАССОЛЕНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ 329
15.1. Засоление земель. Тип и степень засоления 329
15.2. Солонцы, комплексный почвенный покров 332
15.3. Солеустойчивость растений и предельные значения порога токсичности солей 334
15.4. Промывка засоленных земель 336
15.4.1. Технология промывок 336
15.4.2. Промывные нормы 342
15.4.3. Определение параметров солепереноса для несорбируемых ионов 345
15.4.4. Временный дренаж при промывках 348
15.5. Расчет водно-солевого режима 349
15.6. Химическая мелиорация почв 352
15.6.1. Мелиорация содово-засоленных почв 355
15.6.2. Мелиорация солонцов и солонцеватых почв 356
15.7. Оросительная вода для промывок 357
15.7.1. Качество оросительной воды 357
15.7.2. Применение вод повышенной минерализации для промывок 361

Глава 16. ЭРОЗИЯ ПОЧВ НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ 363
16.1. Неразмывающая скорость потока 363
16.2. Защита почв от эрозии при дождевании 363
16.3. Защита почв от эрозии при поливе по бороздам 365
16.4. Применение химических мелиорантов 369
Глава 17. ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ И СПОСОБЫ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ 370
17.1. Физические свойства почвы. Почвенная влага 370
17.2. Инструментальные способы измерения влажности почвы 374
17.2.1. Точечные способы 374
17.2.2. Площадные (дистанционные) способы 381
Глава 18. ОРОШАЕМОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ 383
18.1. Системы земледелия 383
18.2. Севообороты 383
18.3. Способы обработки почвы 392
18.4. Эффективность удобрений 392
18.5. Программирование урожаев и комплексное регулирование факторов жизни растений на орошаемых землях 394
18.5.1. Расчет климатически обеспеченного действительно возможного урожая 394
18.5.2. Агрохимические основы программирования урожаев . . . 398
18.5.3. Интенсивная технология получения программированных урожаев 401
18.6. Информационно-советующие системы оперативного планирования орошения (ИСС ОПО) 403
Предметный указатель 406

Справочное издание

АЙДАРОВ ИВАН ПЕТРОВИЧ,
АРЕНТ КАРЛ ПЕТРОВИЧ,
БАЯКИН ВАЛЕРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ и др.

СПРАВОЧНИК. МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

6. ОРОШЕНИЕ

Зав. редакцией А. И. Гераськина
Художественный редактор Н. А. Никонова
Технический редактор Г. Г. Хацкевич
Корректор В. И. Хомутова

ИБ № 3714

Сдано в набор 12.10.89. Подписано к печати 05.03.90. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага кн.-журнальная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 26,0. Усл. кр.-отт. 26,0. Уч.-изд. л. 32,83. Изд. № 367. Тираж 8500 экз. Заказ № 449. Цена 1 р. 60 к.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат», 107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18

Набрано в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» Государственного комитета СССР по печати. 113054, Москва, Валовая, 28

Отпечатано в Московской типографии № 11 Государственного комитета СССР по печати. Москва, Нагатинская ул., д. 1.