

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

ТЕХНИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ
БАШЕННЫХ ПРОТИВОТОЧНЫХ ГРАДИРЕН
ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ВСН 14-67
Минэнерго СССР

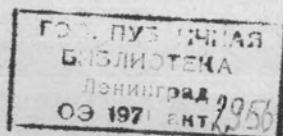


«ЭНЕРГИЯ»
Ленинградское отделение
1971

скачано с
akvann.ru

Настоящие ТУ разработаны Отделом технического водоснабжения и охладителей ТЭС ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева и Отделом проектирования градирен Ленинградского отделения ВГПИ «Теплоэлектропроект».

Главы I—V ТУ и приложения II, III (разделы 1 и 2), IV составлены В. Е. Андриановым, главы VI—VIII — В. Е. Андриановым, В. А. Морозовым и Б. С. Фарфоровским, приложение III (разделы и 4) — В. Б. Дульневым и Н. А. Чертковой.



2956 212 64246

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие энергетики и промышленных предприятий ряда областей народного хозяйства СССР неуклонно сопровождается возрастающим потреблением воды на производственные нужды этих предприятий. Рост водопотребления сильно ограничивает возможность прямого их водоснабжения, в связи с чем превалирующее значение приобретают оборотные системы и в первую очередь системы с градирнями.

Широкое применение градирен существенно увеличило круг организаций, занимающихся научно-исследовательскими работами в области градирен, их проектированием (включая разработку проектов модернизации действующих градирен при их капитальном ремонте), а также организаций, применяющих типовые проекты градирен. Наряду с этим, увеличилось и число организаций, осуществляющих строительство градирен и особенно предприятий, эксплуатирующих градирни.

В результате широкого применения градирен за два последних десятилетия в области их проектирования и научных исследований накоплен большой материал, требующий обобщения. Настоящие Технические указания по расчету и проектированию башенных противоточных градирен для тепловых электростанций и промышленных предприятий являются первым опытом в этом направлении.

Технические указания распространяются на вновь проектируемые и модернизируемые противоточные градирни производительностью 3000—30 000 м³/ч, площадью орошения 500—4000 м².

Они содержат указания технологического и конструктивного характера, но не содержит рекомендаций по статическому расчету градирен. Известным исключением являются краткие указания об основных нагрузках и воздействиях, на которые должны рассчитываться главные части градирен, что представилось необходимым вследствие специфических условий работы градирен.

В некоторой своей части Технические указания могут быть использованы при проектировании башенных противоточных градирен малой и средней производительности ($Q < 3000$ м³/ч), а также вентиляторных противоточных градирен.

Технические указания состоят из двух частей: собственно указаний и приложений к ним, в которых даны примеры технологического расчета градирен с предпосланными им краткими методологическими пояснениями.

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРGETИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР	ВЕДОМСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ	ВСН 14-67
	Технические указания по расчету и проектированию башенных противото- чных градирен для тепловых электро- станций и промышленных предприятий	
		МИНЭНЕРГО СССР

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Область применения

1. Настоящие технические указания распространяются на вновь проектируемые и модернизируемые башенные противоточные градирни производительностью 3000—30 000 м³/ч, площадью орошения 500—4000 м², предназначенные для охлаждения воды тепловых электростанций и промышленных предприятий.

Примечания: 1. Настоящие технические указания не распространяются на башенные поперечноточные и поперечнопротивоточные градирни.

2. При проектировании башенных противоточных градирен, возводимых в сейсмических районах и районах вечной мерзлоты надлежит дополнительно руководствоваться нормами и правилами строительства в указанных районах.

Основные обозначения

2. При расчетах и проектировании градирен надлежит придерживаться следующих основных обозначений:

U — тепловая нагрузка градирни, ккал/ч;

Q — производительность или гидравлическая нагрузка градирни, м³/ч;

q — плотность орошения, м³/м²·ч;

Δt — температурный перепад, °С;

t_1 — температура нагретой воды, поступающей в градирню, °С;

t_2 — температура охлажденной воды, °С;

θ — температура воздуха по сухому термометру, °С;

τ — температура воздуха по влажному термометру, °С;

φ^* — относительная влажность воздуха, % или доли единицы;

P_B — барометрическое давление, ат или мм рт. ст;

x — влагосодержание воздуха, кг/кг;

x'' — влагосодержание насыщенного воздуха, кг/кг;

$c_{ж}$ — удельная теплоемкость воды, ккал/кг, °С;

c_p — удельная теплоемкость влажного воздуха при постоянном давлении, ккал/кг, °С;

r — теплота парообразования, ккал/кг;

i — энтальпия (теплосодержание) влажного воздуха, отнесенная к 1,0 кг сухого воздуха в смеси, ккал/кг;

i'' — энтальпия насыщенного влажного воздуха, отнесенная к 1,0 кг сухого воздуха в смеси, ккал/кг;

γ_v — удельный вес воздуха, кг/м³;

$\gamma_{ж}$ — удельный вес воды, кг/м³;

α_v — объемный коэффициент теплоотдачи, ккал/м³ч °С;

Внесены Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники им. Б. Е. Веденеева	Утверждены Главтехстройпроектом Минэнерго СССР 19 октября 1967 года	Срок введения 1968 год
---	---	------------------------

β_{xv} — объемный коэффициент массоотдачи, отнесенный к разности влагосодержания, $кг/м^3ч$ ($кг/кг$);

$\beta_{общ}$ — общий коэффициент аэродинамического сопротивления градирни;

$\beta_{ор}$ — коэффициент аэродинамического сопротивления оросительного устройства;

k_a, k_p, k_z — коэффициенты перехода от лабораторных к натурным условиям соответственно для $\alpha_z, \beta_{xv}, \beta_{общ}$;

$v_{ор}$ — скорость воздуха в полном нестесненном конструктивными элементами сечении оросительного устройства, $м/сек$;

w — скорость ветра, $м/сек$;

V — расход воздуха, проходящего через градирню, $м^3/ч$;

$V_{уд}$ — удельный расход воздуха, $м^3/м^2ч$;

Z — сила тяги в градирне, $кг/м^2$ или $мм вод. ст$;

Z' — полное сопротивление градирни, $кг/м^2$ или $мм вод. ст$;

F — площадь оросительного устройства, $м^2$;

H — высота градирни (от борта водосборного бассейна до выходного сечения башни), $м$;

$H_б$ — высота вытяжной башни (от верха оросительного устройства до выходного сечения башни), $м$;

$h_{ор}$ — высота оросительного устройства, $м$;

$h_{ок}$ — высота воздухоходного окна, $м$;

Параметры воздуха в градирнях

$\theta_1, \varphi_1, x_1, i_1, \gamma_1$ — наружный воздух, входящий в градирню;

$\theta_2, \varphi_2, x_2, i_2, \gamma_2$ — воздух, выходящий из градирни;

x_1'', i_1'' — насыщенный воздух у

поверхности охлажденной воды при ее температуре t_2 ;

x_2'', i_2'' — насыщенный воздух у поверхности нагретой воды при ее температуре t_1 .

Терминология

3. Башенные противоточные градирни представляют собой теплообменные сооружения, предназначенные для охлаждения воды в системе оборотного водоснабжения тепловых электростанций и промышленных предприятий. При наименовании отдельных частей градирни (рис. 1) надлежит применять следующую терминологию:

вытяжная башня — часть градирни, служащая для создания в ней тяги;

оросительное устройство — устройство, в пределах которого в основном протекает процесс охлаждения воды;

водораспределительное устройство или система — система, распределяющая охлаждаемую воду по площади оросительного устройства и состоящая из магистральных распределительных и рабочих трубопроводов или лотков и разбрызгивающих устройств;

водоуловитель — устройство для улавливания мелких капель воды, выносимых проходящим через градирню воздушным потоком;

опорный каркас — опорная конструкция оросительного и водораспределительного устройств, а также водоуловителя;

водосборный бассейн — резервуар для сбора охлажденной воды;

воздухораспределительное пространство — пространство, находящееся под оросительным устройством градирни, для подвода воздуха в ороситель;

воздуховходные окна — отверстия в нижней части градирни, через которые воздух поступает в воздухораспределительное пространство;

воздухонаправляющий козырек — устройство на воздухоходных окнах, служащее для более равномерного распределения воздуха;

зимние щиты — щиты перед воздухоходными окнами для регулирования расхода и направления воздуха, поступающего в градирню в холодные периоды года;

ветровые перегородки — вертикальные стенки, расположенные в воздухораспределительном пространстве градирни и предназначенные для устранения сквозной продувки этого пространства ветром и выноса воды из градирни;

секционные перегородки — перегородки, разделяющие градирню на независимо отключаемые секции и расположенные по всей высоте градирни от дна водосборного бассейна до водораспределительного устройства, включая высоту факела разбрызгивания разбрызгивающих устройств;

подводящие водоводы — напорные трубопроводы, подающие нагретую воду в водораспределительную систему;

отводящие водоводы — самотечные трубопроводы или каналы для подачи охлажденной воды из водосборного бассейна к циркуляционным насосам или сброса ее в водоем;

канализационные водоводы — трубопроводы для отвода воды из водосборного бассейна в канализацию при его переполнении и при опорожнении.

Классификация градирен

4. Башенные противоточные градирни подразделяются в зависимости от типа оросительного устройства на капельные, капельно-пленочные, пленочные и комбинированные, т. е. с оросителем различных типов, например капельным и пленочным.

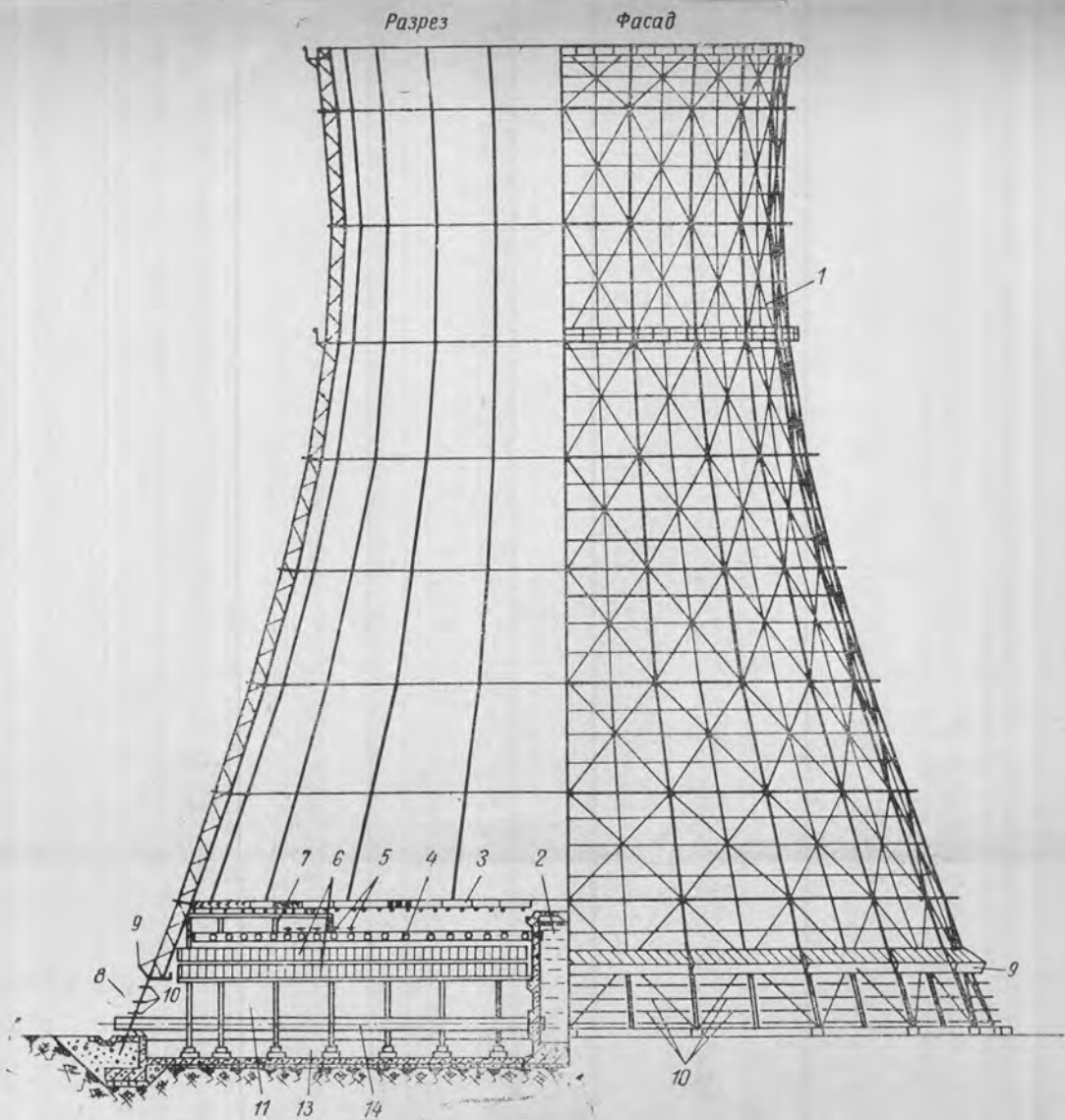
Состав, содержание, порядок разработки и виды проектирования градирен. Класс капитальности градирен

5. Состав, содержание, порядок разработки, согласование и утверждение проектов и смет вновь проектируемых, а также модернизируемых градирен устанавливаются согласно инструкции СН 202-69 «Временная инструкция по разработке проектов и смет промышленного строительства», Изд-во лит-ры по стр-ву М., 1970. Разработка типовых проектов градирен должна производиться в соответствии с инструкцией СН 227-62 «Инструкция по разработке типовых проектов для промышленного строительства», Изд-во лит-ры по стр-ву, архитектуре и строит. материалам, М., 1963.

6. Проектирование градирен по своему характеру подразделяется на следующие виды: а) типовое проектирование; б) индивидуальное проектирование; в) переработка типовых проектов градирен; г) проектирование модернизации действующих градирен.

7. Типовое проектирование градирен наряду с индивидуальным является основным видом проектирования градирен и должно проводиться по предварительно разработанной шкале типоразмеров серии (§ 23—24).

8. Индивидуальное проектирование заключается в разработке проектов градирен новых типов и конструкций, градирен, вошедших в состав шкалы типовых проектов, и градирен тип



План на разных уровнях

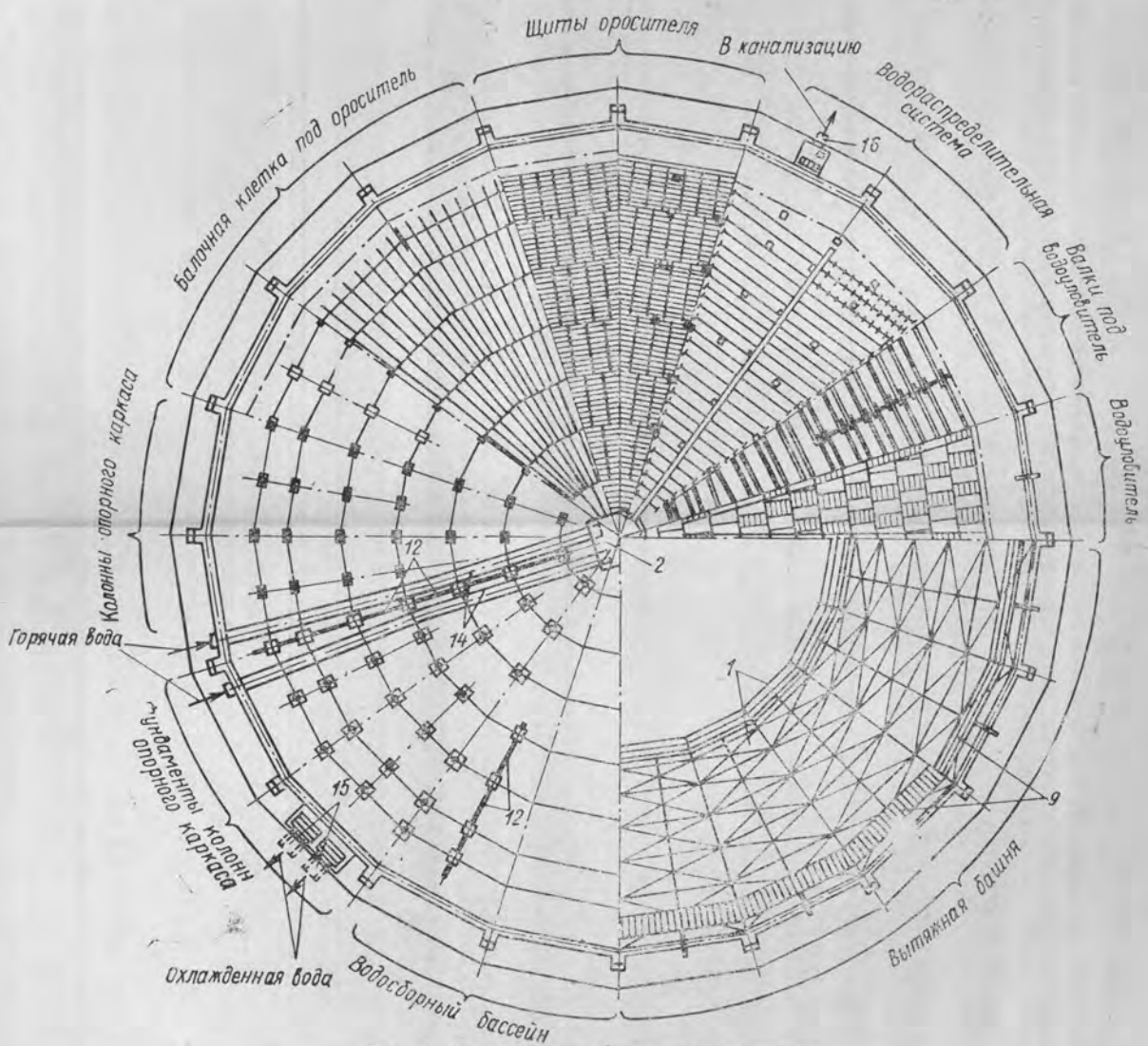


Рис. 1. Башенная противоточная градирня

1—вытяжная башня; 2—водораспределительный стояк; 3—водоуловитель; 4—водораспределительная система; 5—разбрызгивающие устройства; 6—оросительное устройство; 7—опорный каркас оросительного и водораспределительного устройства, а также водоуловителя; 8—воздуховодные окна; 9—воздухонаправляющий козырек; 10—зимние поворотные щиты; 11—воздухораспределительное пространство; 12—ветровые перегородки; 13—водосборный бассейн; 14—подводящие водоводы; 15—отводящие водоводы; 16—канализационный колодец.

вых серий для районов с ветровой нагрузкой, большей или меньшей принятой при разработке типовых проектов.

9. Переработка типовых проектов градирен производится в случаях их строительства или эксплуатации в условиях, отличных от принятых при разработке этих проектов.

10. Проектирование модернизации действующих градирен состоит в реконструкции некоторых их частей в целях повышения эффективности охлаждения воды в градирне и увеличения срока службы этих частей. Такая реконструкция охватывает преимущественно конструкции водораспределительной системы, оросительного устройства, водоуловителя, воздухонаправляющих козырьков и зимних щитов.

11. Проектирование градирен выполняется в две стадии: технический проект и рабочие чертежи (СН 202-69 «Временная инструкция по разработке проектов и смет промышленного строительства»).

Примечание. В случае, если при разработке технического проекта выяснится необходимость и целесообразность разработки дополнительного варианта градирни, не предусмотренного заданием, проектная организация ставит об этом в известность инстанцию, утвердившую задание на проектирование, для решения вопроса о разработке дополнительного варианта.

12. Класс капитальности градирен устанавливается согласно указаниям СНиП II-A. 3-62 «Классификация зданий и сооружений. Основные положения проектирования».

Примечание. Градирни тепловых электростанций площадью орошения 4000 м² и более относятся к I классу, а остальные градирни независимо от площади орошения и обслуживаемой мощности — ко II классу («Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей». «Энергия», 1970).

II. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Исследования и изыскания

13. Проектирование градирен производится на основании комплекса натуральных и лабораторных исследований: гидравлических, термических и аэродинамических.

14. Выполнение комплекса лабораторных гидроаэротермических исследований требует продолжительного времени и поэтому сроки исследований и проектирования должны быть взаимно увязаны.

В состав исследований входит определение данных, характеризующих воздушный и водный потоки в градирнях, коэффициентов тепло- и массоотдачи, коэффициентов аэродинамического сопротивления градирен и их главных частей и ряда других опытных величин.

15. При проектировании типовых градирен принимаются следующие условия: 1) рельеф поверхности участка строительства — горизонтальный; 2) грунты — непросадочные и непучинистые

с сопротивлением на глубине 2,0 м от поверхности не менее $2,0 \text{ кг/см}^2$; 3) объемный вес грунта $1,8 \text{ т/м}^3$; 4) уровень стояния грунтовых вод — ниже подошвы фундаментов и днища водосборного бассейна градирен; 5) метеорологические условия и ветровая нагрузка на градирни — отвечающие районам предполагаемого преимущественного применения типовых проектов; 6) режим работы градирен — непрерывный в течение года.

16. При разработке индивидуальных проектов и переработке типовых проектов необходимы следующие материалы, входящие в комплекс материалов изысканий, проводимых для объекта, в состав сооружений которого входят проектируемые градирни:

Топографические: план участка расположения градирен в масштабе 1:100 с сечением рельефа горизонталями через 0,5 м и с координатной сеткой в строительной или условной системе. На плане должны быть нанесены все существующие на участке подземные коммуникации (водопровод, канализация, теплофикация и др.).

Геологические: литологические разрезы и профили горных выработок. План расположения выработок. Характеристика грунтов (гранулометрический состав, пределы пластичности, коэффициент пористости, объемный и удельный вес, естественная влажность, коэффициент насыщения, консистенция, угол трения и сила сцепления, компрессионные свойства, модуль деформации применительно к СНиП II-Б. 1-62 «Основания зданий и сооружений», а просадочность грунтов согласно СНиП II-Б. 2*-62 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах»). Глубина промерзания. Нормативное давление на грунты основания сооружения, а также категория разрабатываемости грунтов. Инженерно-геологическое заключение по материалам изысканий.

Гидрогеологические: уровенный режим грунтовых вод в районе расположения градирен и их агрессивность по отношению к бетону и металлическим конструкциям.

Метеорологические: для градирен, работающих непрерывно, и для градирен, работающих периодически.

Для градирен, работающих непрерывно:

- а) среднемесячные температуры и относительная влажность воздуха, а также скорости ветра за многолетний период (не менее 10 лет);
- б) обеспеченность среднесуточных температур воздуха и отвечающих им относительных влажностей в летнее время года с 15 мая по 15 сентября за многолетний период (не менее 10 лет);
- в) максимальные температуры воздуха и его относительная влажность; г) барометрическое давление в летнее время года с 15 мая по 15 сентября за многолетний период (не менее 10 лет);
- д) максимальная скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью земли согласно СНиП II-А. 11-62 «Нагрузки и воздействия».

Для градирен, работающих сезонно или периодически, метеорологические данные за исключением ветровой нагрузки должны отвечать периодам их работы.

Примечания: 1. Данные о максимальных скоростях ветра, требующиеся для установления нормативной ветровой нагрузки на градирни, необходимы только в случаях расположения градирен в горных местностях, указанных СНиП II-A. 11-62. При расположении градирен во всех остальных районах СССР ветровая нагрузка на градирни принимается согласно указанию СНиП II-A. 11-62.

2. Для ряда пунктов СССР институтом «Теплоэлектропроект» совместно с ВНИИГом составлены графики обеспеченности среднесуточных температур воздуха и отвечающей им относительной влажности.

Условия строительства и эксплуатации

17. Условия строительства градирен: обеспечение рабочей силой и материалами, сооружение подъездных путей, снабжение строительной площадки электроэнергией, водой, воздухом и пр. определяются условиями строительства объекта, в состав которого входят проектируемые градирни.

18. Особенностью градирен, существенно отражающейся на производстве работ по их сооружению, является значительная высота градирен. Вследствие этого при их проектировании надлежит предусмотреть необходимое для возведения вытяжных башен соответствующее подъемно-транспортное и вспомогательное оборудование.

19. Необходимо учитывать также повышенные требования к бетону для железобетонных вытяжных башен градирен и каркасов оросителей, к гидронизации железобетонных башен и водосбросных бассейнов и требования антисептирования водорастворимыми антисептиками элементов деревянных оросительных устройств (§ 117, 118, 134, 156).

20. При переработке типовых проектов, а также при индивидуальном проектировании градирен надлежит учитывать производственные возможности строительных организаций, которые будут осуществлять сооружение градирен.

21. Условия эксплуатации градирен определяются режимом их работы и требованиями обслуживаемого оборудования. Исходя из этих условий для градирен, работающих непрерывно, надлежит установить: а) среднемесячные расходы охлаждаемой воды; б) среднемесячные температурные перепады; в) максимально допустимые температуры охлажденной воды.

При иных режимах работы данные, указанные в пп. «а» и «б», должны охватывать соответствующие периоды работы градирен.

22. Для технико-экономического обоснования выбора конструкции главных частей градирен и их основных размеров необходимо располагать характеристиками обслуживаемого градирнями оборудования.

Пример. При обслуживании градирнями турбин тепловых электростанций такими характеристиками будут графики зависимости вакуума в конден-

саторе турбины от расхода пара, поступающего в конденсатор, расхода и температуры охлаждающей воды; график изменения расхода пара или эквивалентной ему мощности в зависимости от вакуума в конденсаторе турбины; график зависимости гидравлического сопротивления в конденсаторе турбины от расхода воды и пр.

III. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Типизация градирен

23. Типизация градирен заключается в разработке шкалы типоразмеров градирен и в разработке типовых проектов градирен, разделенных на серии в пределах установленной шкалы типоразмеров.

При разработке шкалы типоразмеров и серии типовых градирен надлежит исходить из требований производства, для обслуживания которого предназначаются градирни (§ 21).

24. Диапазон шкалы типоразмеров и число типоразмеров градирен в серии устанавливаются на основании технико-экономических расчетов и положений § 26.

25. Головным проектом серии типовых градирен, разрабатываемым в первую очередь, должен являться, как правило, проект градирни с наибольшей площадью орошения в данной серии.

26. При проектировании типовых градирен определенной серии надлежит руководствоваться следующими положениями:

Высоту подачи воды в градирни при самотечном водораспределении или напор на входе в градирни при напорном водораспределении целесообразно принимать одинаковыми. Это позволит обеспечить нормальную параллельную работу градирен с различными площадями орошения без дросселирования напора в водоподводящих коммуникациях системы водоснабжения, в наибольшей мере унифицировать главные части градирен (воздуховходные окна, оросительные и водораспределительное устройства, водоуловитель, а также их каркас).

Эффективность охлаждения воды во всех градирнях должна быть практически одна и та же и должна соответствовать эффективности охлаждения в головной градирне.

27. Конструктивные решения градирен должны быть идентичны, а элементы конструкций максимально унифицированы.

Выбор конструкций и определение основных размеров главных частей градирен

28. Проектирование градирен на стадии технического проекта заключается в выборе конструкций, основных размеров главных частей градирни (вытяжная башня, оросительное устройство, водораспределительная система, водоуловитель, опорный каркас, воздуховходные окна, водосборный бассейн и фундамент градирни) и общей компоновке градирни.

29. Решение указанных в § 28 вопросов требует разработки нескольких вариантов данной градирни и технико-экономического их сопоставления.

30. При выборе конструкций главных частей градирен, работающих периодически, необходимо в целях соблюдения пожарной безопасности принимать преимущественно конструкции из огнестойких материалов.

31. При проектировании типовых градирен вопросы компоновки и выбора конструкции главных их частей должны быть решены при разработке проекта головной градирни и затем приняты согласно указаниям § 26, 27 в остальных проектах серии.

Примечание. При назначении предварительных размеров главных частей градирен можно руководствоваться размерами построенных эффективно работающих градирен. В приложении I приведены данные по ряду градирен, построенных в СССР и за границей.

32. В целях наиболее полного использования местных возможностей снабжения строительства градирен материалами и заготовками для изготовления оросительных устройств, обшивки металлических каркасных башен, а также других частей градирен и тем самым облегчения условий их сооружения в типовых проектах градирен следует предусматривать взаимозаменяемые, выполняемые из разных материалов части градирен.

33. Взаимозаменяемые конструкции должны допускать их установку без изменений других частей градирен, а взаимозаменяемые оросительные устройства должны обеспечивать одинаковое охлаждение воды.

Компоновка градирен

34. Компоновка градирен производится на основе предварительно принятых решений, определивших форму и материал вытяжной башни и ее основные размеры, высоту воздухопроводных окон, тип оросительного устройства, тип водораспределительной системы, включая разбрызгивающие устройства, тип водоуловителя, необходимость секционирования градирни и присоединения ее к водоподводящим и водоотводящим коммуникациям системы водоснабжения и канализационной сети.

35. По характеру плановой компоновки оросительного устройства и водораспределительной системы градирни разделяются на две основные группы: градирни с секторной компоновкой и градирни с ортогональной компоновкой.

При секторной компоновке площадь оросительного устройства разделяется на ряд равновеликих секторов или треугольников. Основные стойки каркаса оросительного устройства располагаются по сторонам секторов или треугольников (радиусам градирни). Щиты или блоки в оросительных устройствах пленочного и капельно-пленочного типов, решетник в оросителях капельного типа устанавливаются параллельно основанию треугольников.

Магистральные лотки или трубопроводы водораспределительной системы располагаются также по радиусам градирни (рис. 1).

При ортогональной компоновке каркас оросительного устройства разбивается по квадратной или прямоугольной сетке. Щиты и блоки оросительного устройства или решетник устанавливаются параллельно одному или двум взаимноперпендикулярным диаметрам или осям градирни. Лотки или трубопроводы водораспределительной системы располагаются в соответствии с принятой сеткой (рис. 2).

36. Компоновка оросителя зависит от плановой конфигурации вытяжной башни градирни. В оросителях, квадратных в плане (рис. 2, а), применяется ортогональная компоновка, в оросителях, имеющих в плане форму правильного многоугольника или круга, — как секторная (рис. 1), так и ортогональная (рис. 2, б) компоновка.

37. Вертикальная компоновка градирен определяется высотой воздухоподводящих окон, типом и профилем оросительного устройства, а также типом и размерами водораспределительного устройства.

38. По профилю оросительные устройства подразделяются на устройства постоянной высоты (рис. 1), ступенчатые (рис. 3, а), трапециевидные (рис. 3, б).

39. Оросительные устройства трапециевидного и ступенчатого профилей по сравнению с оросителем постоянной высоты дают возможность некоторого снижения высоты подачи воды в градирню без уменьшения высоты воздухоподводящих окон. Это достигается за счет уменьшения высоты оросителя в периферийной зоне и увеличения ее в центральной зоне. Недостатком этих оросителей является большая подверженность их обмерзанию и большая конструктивная сложность. При этом трапециевидный профиль целесообразен только для капельно-пленочных оросительных устройств (решетник того или иного сечения).

40. Конструктивно наиболее простым является одноярусное оросительное устройство постоянной высоты. Увеличение числа ярусов до двух и более усложняет опорную конструкцию оросителя.

Преимущество многоярусной компоновки состоит в возможности изготовления оросительного устройства из элементов меньших размеров, чем в одноярусных устройствах, например в оросителях из асбестоцементных щитов.

41. Вертикальная компоновка в значительной мере определяет характер воздушного потока в градирне и влияет на ее аэродинамические показатели. Образование в градирне воздушных вихрей и малоактивных зон влечет за собою снижение эффективности охлаждения воды в градирне.

42. Во избежание образования в оросительном устройстве в периферийной его зоне (на входе в градирню) замкнутого вихря низ оросительного устройства в этой зоне должен быть располо-

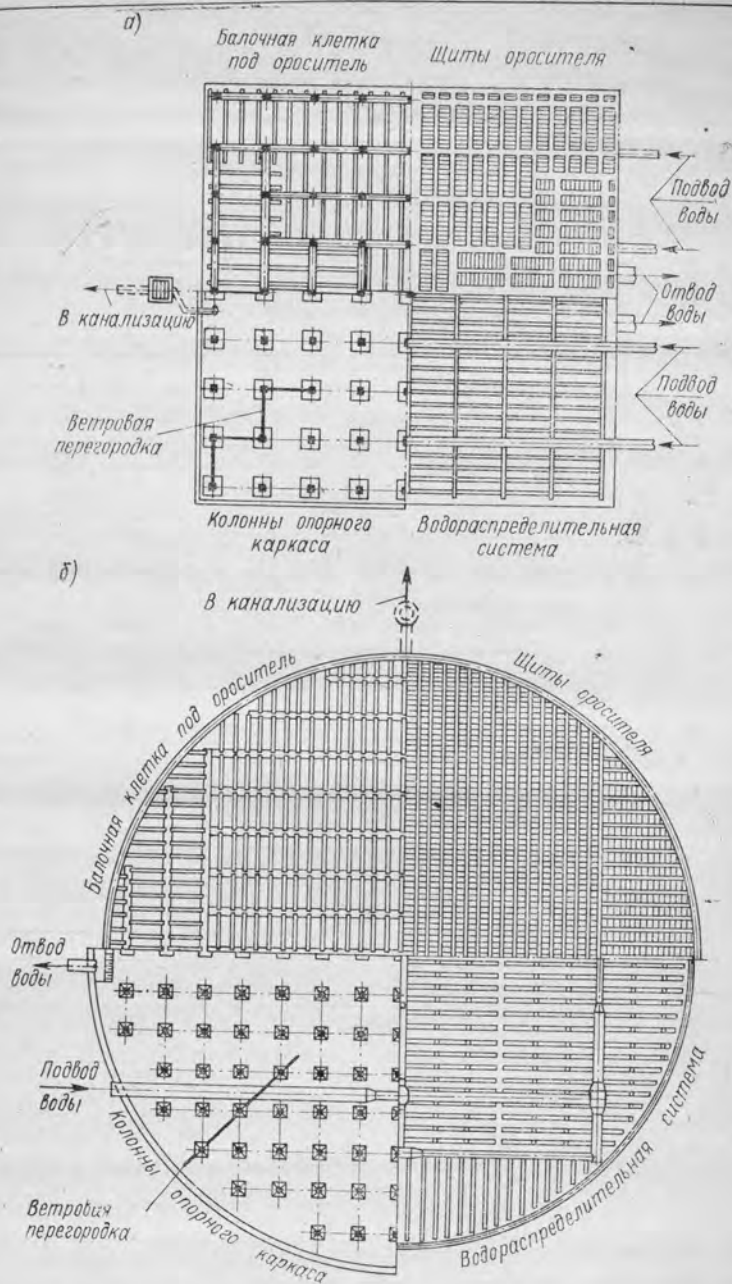
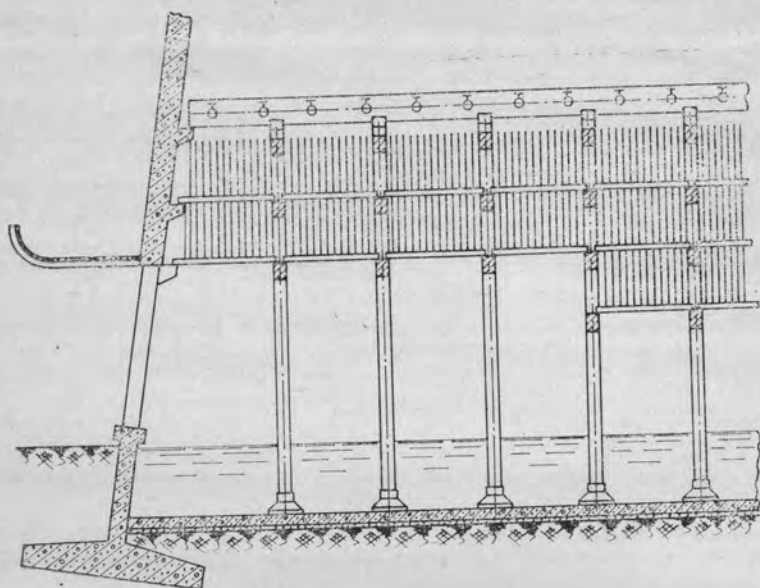


Рис. 2. Плановая ортогональная компоновка грядки
 а — с квадратным оросительным устройством; б — с круглым или многоугольным оросительным устройством.

a)



б)

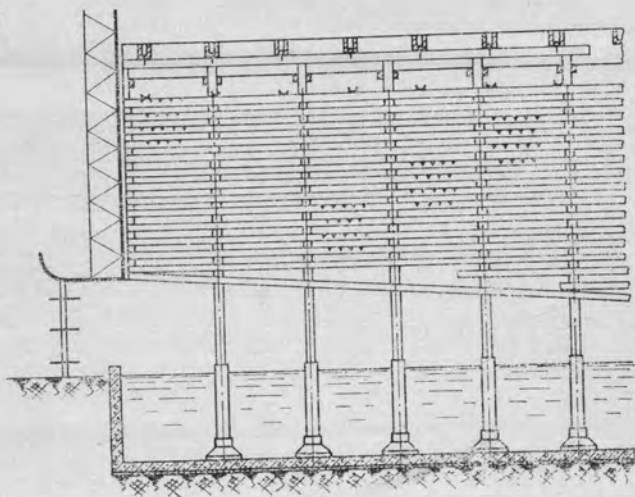


Рис. 3. Вертикальная компоновка градирен с оросительными устройствами
а—ступенчатый профиль; б—трапецидальный профиль.

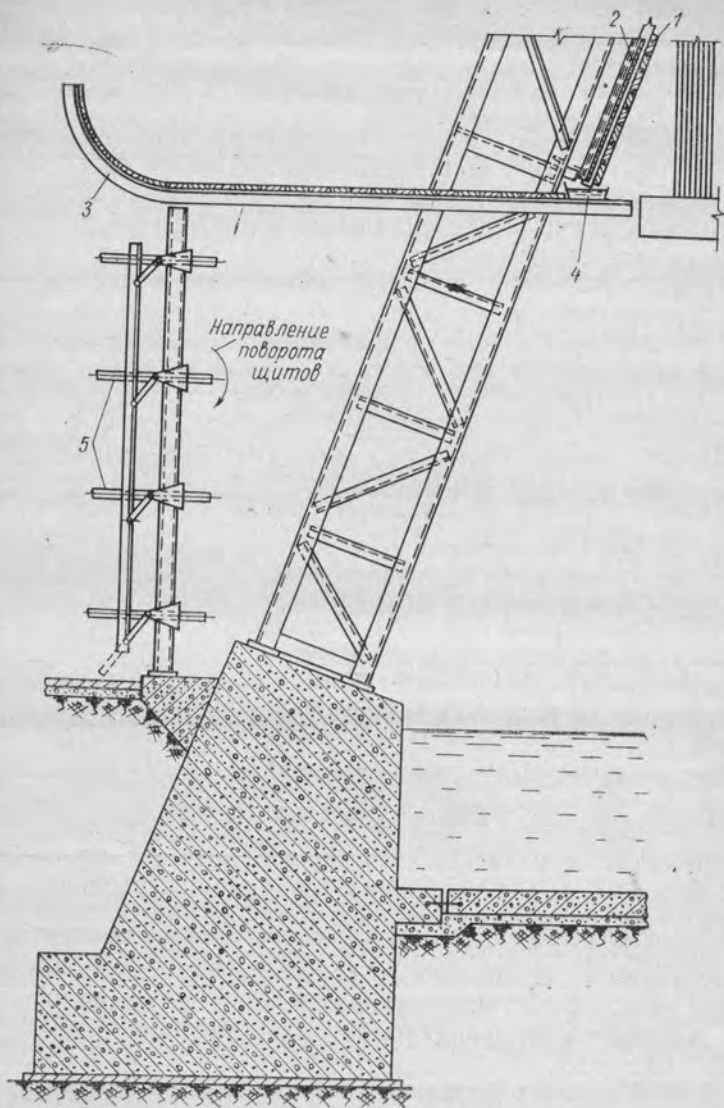


Рис. 4. Воздуховодное окно градирни с воздухонаправляющим козырьком и зимними щитами

1—отбойный щит; 2—обшивка башни; 3—воздухонаправляющий козырек; 4—водосборный лоток; 5—зимние поворотные щиты.

жен на уровне кромки верха воздухоходных окон (рис. 4). С этой же целью, а также для уменьшения неравномерности распределения воздуха в периферийной зоне оросительного устройства верхняя кромка воздухоходных окон должна иметь удобообтекаемую форму.

43. В градирнях с оросительными устройствами постоянной высоты и сравнительно равномерным распределением воздуха по площади оросительного устройства следует применять равномерное распределение воды по его площади.

В остальных случаях необходимо установить, на основе имеющихся опытных данных и специальных исследований, целесообразность дифференцированного водораспределения.

44. При обслуживании производства или его первой очереди одной — двумя градирнями и невозможности остановки их на ремонт или чистку надлежит предусматривать секционирование градирен, позволяющее выключать из работы любую их половину. В остальных случаях секционирование градирен необязательно.

45. Присоединение градирни к водоподводящим и водоотводящим коммуникациям системы водоснабжения рекомендуется осуществлять с одной стороны градирни, а к канализационной сети — с другой (рис. 2, а).

46. При подводе воды к градирне двумя магистралями подача ее должна осуществляться от каждой магистрали, т. е. двумя трубопроводами, также должно осуществляться и присоединение градирни к водоотводящим водоводам.

Для отключения градирни от коммуникаций на них должны быть установлены задвижки и щиты.

IV. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГРАДИРЕН

Общие указания

47. Задачей технологического расчета является определение температуры воды, охлажденной в градирне при различных тепловых и гидравлических нагрузках, а также при различных метеорологических условиях.

Результаты технологического расчета градирен являются исходными данными для последующих технико-экономических расчетов и для построения расчетных графиков температуры охлажденной воды.

48. Существующие методы технологического расчета разработаны для условий работы градирен при штиле, что обусловлено почти полной неизученностью аэродинамики градирен в условиях ветрового воздействия. В силу этого технологический расчет градирен выполняется для условий штиля и дополняется поправочной кривой, учитывающей влияние ветра на эффективность их работы. Поправочная кривая составляется по данным натурных исследований градирен.

Тепловой расчет градирен

49. Тепловой расчет градирен производится по точному или упрощенному методам. Ввиду трудоемкости обоих методов в случае больших объемов расчетов их следует выполнять на электронно-вычислительной машине. При небольших объемах расчеты проводятся обычным способом, и в этом случае целесообразно применять упрощенный метод.

50. При тепловом расчете градирен следует различать градири, имеющие а) однотипное оросительное устройство постоянной высоты с неизменными размерами всех его элементов; б) равномерное или близкое к равномерному распределение плотности орошения по всей площади оросительного устройства; в) равномерное или близкое к нему распределение расхода (скоростей) воздуха по площади оросительного устройства.

При тепловом расчете градирен, в которых одно или несколько из этих условий не соблюдаются, градирию следует разбить на зоны, отвечающие с известным приближением всем перечисленным выше условиям.

51. При выполнении технологических расчетов на ЭВМ рекомендуется пользоваться программами расчета, разработанными в Математической лаборатории ВНИИГа им. Б. Е. Веденеева для однозонных и многозонных градирен (до 10 зон включительно).

52. Для технологического расчета на ЭВМ необходимы следующие исходные данные¹:

Для однозонной

градири

производительность градири;
температурный перепад;
площадь орошения;
высота градири;
высота вытяжной башни;
высота оросительного устройства;
высота воздухоподводящих окон;
объемные коэффициенты тепло- и массоотдачи;
общий коэффициент аэродинамического сопротивления градири;

коэффициенты перехода для α_v , β_{xv} и $\beta_{обш}$;
метеорологические данные для градирен, работающих непрерывно: а) для технико-экономических расчетов — среднемесячные температуры воздуха, относительная влажность и среднемесячные скорости ветра; б) для построения графиков охлажденной воды — диапазон значений температур воздуха и его влажности.

Для многозонной градири (дополнительно):

площади орошения отдельных зон $F_1, F_2, \dots, F_n, \text{ м}^2$;
высота оросителя по зонам (для градирен с оросителем ступенчатого или трапецидального профиля) $h_{ор 1}, h_{ор 2}, \dots, h_{ор n}, \text{ м}$;
эпюра общего распределения плотности орошения по площади оросительного устройства;

эпюра распределения расхода (скоростей) воздуха по площади оросительного устройства;
метеорологические данные для градирен, работающих сезонно или периодически — в соответствии с периодами их работы.

¹ Обозначения и размерность основных величин, приведенных в § 2, здесь и далее не повторяются.

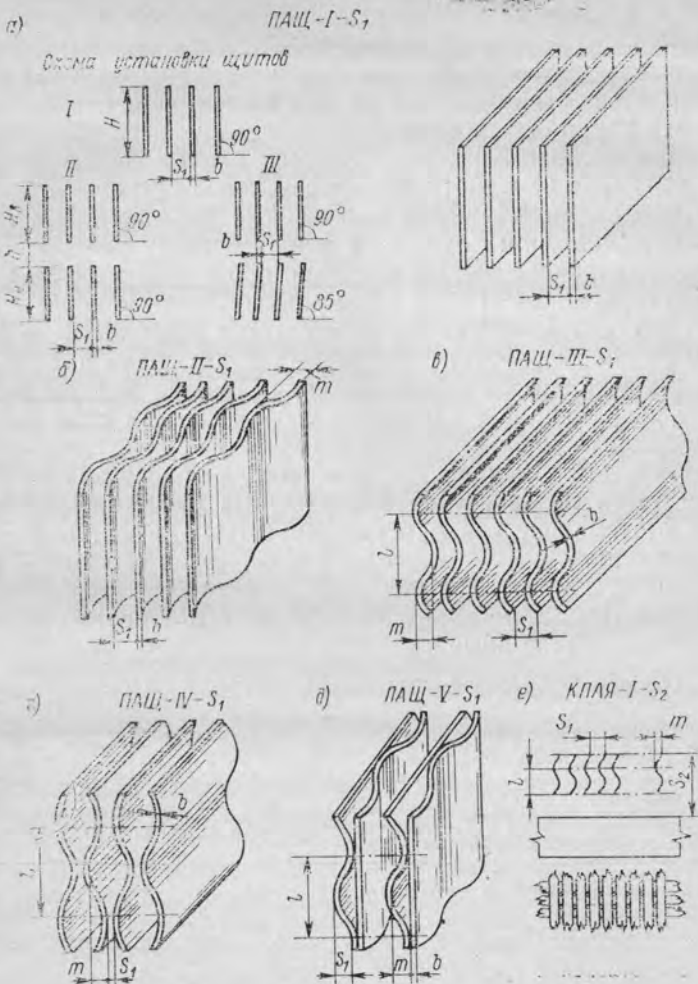


Рис. 5. Асбестоцементные оросительные устройства

а—ПАЩ-I-S₁; I—плёночное одноярусное из асбестоцементных плоских щитов; II—плёночное двухярусное из асбестоцементных плоских щитов с установкой их под углом 90° к горизонтали; III—плёночное двухярусное из асбестоцементных плоских щитов с установкой их в верхнем ярусе под углом 90°, а в нижнем—под углом 85° к горизонтали; б—ПАЩ-II-S₁—плёночное одноярусное из асбестоцементных волнистых щитов с параллельным вертикальным расположением волн; в—ПАЩ-III-S₁—плёночное одноярусное из асбестоцементных волнистых щитов с параллельным горизонтальным расположением волн; г—ПАЩ-IV-S₁—плёночное одноярусное из асбестоцементных волнистых щитов с встречным горизонтальным расположением волн; д—ПАЩ-V-S₁—плёночное одноярусное из асбестоцементных волнистых щитов с чередующимся вертикальным и горизонтальным расположением волн; е—КПАЯ-I-S₂—капельно-плёночное ячеистое из асбестоцементных волнистых решетин.

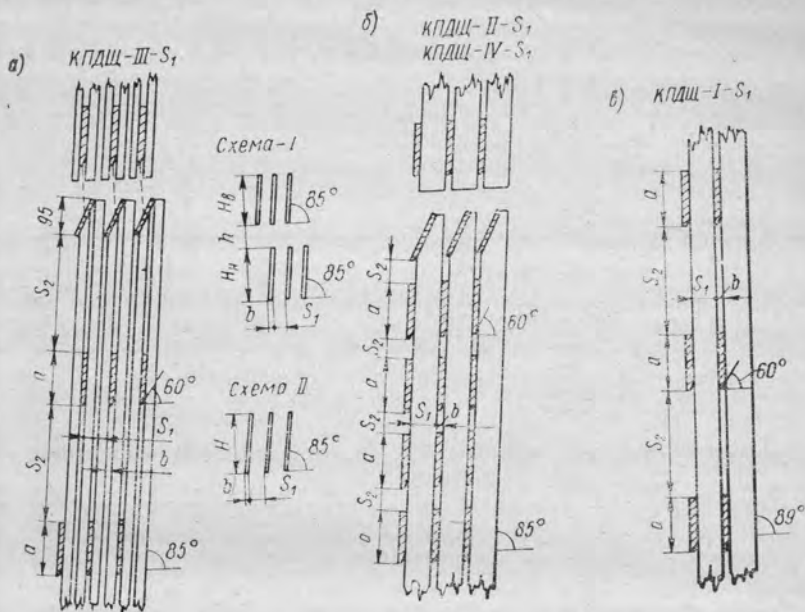


Рис. 6. Деревянные блочно-щитовые оросительные устройства

а—КПДШ-III-S₁—капельно-плёночное двухъярусное деревянное блочно-щитовое с установкой щитов в обоих ярусах под углом 85° к горизонтали (схема I); б—КПДШ-II-S₁ и КПДШ-IV-S₁—капельно-плёночное одноярусное деревянное блочно-щитовое с установкой щитов под углом 85° к горизонтали (схема II) и капельно-плёночное двухъярусное блочно-щитовое с установкой щитов в обоих ярусах под углом 85° к горизонтали (схема I); в—КПДШ-I-S₁—капельно-плёночное одноярусное деревянное блочно-щитовое с установкой щитов под углом 89° к горизонтали.

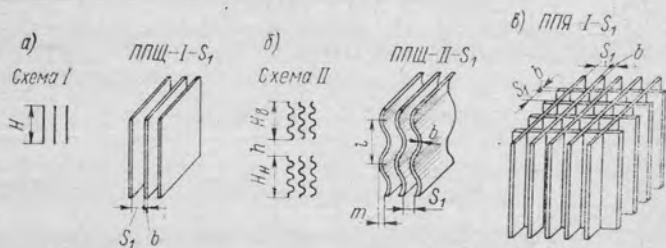


Рис. 7. Пластмассовые оросительные устройства

а—ППШ-I-S₁—плёночное одноярусное из плоских винилпластовых щитов (схема I); б—ППШ-II-S₁—плёночное двухъярусное из волнистых винилпластовых перфорированных щитов с горизонтальным параллельным расположением ем волн (схема II); в—ППЯ-I-S₁—плёночное одноярусное винилпластовое ячеестое.

53. Технологический расчет градирен по упрощенному методу производится согласно указаниям разделов 1 и 2 приложения II.

54. Входящие в состав исходных данных, необходимых для технологического расчета, объемные коэффициенты тепло- и

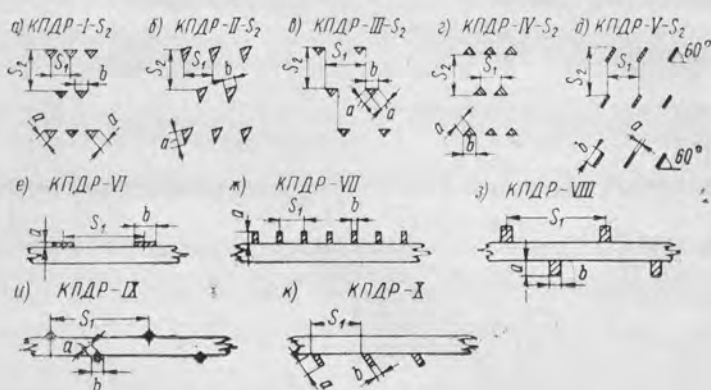


Рис. 8. Деревянные решетчатые оросительные устройства

a—КПДР-I-S₂—капельно-плёночное шахматное из деревянных решетин треугольного сечения ребром вниз; *б*—КПДР-II-S₂—капельно-плёночное шахматное из деревянных решетин треугольного сечения ребром вниз; *в*—КПДР-III-S₂—капельно-плёночное ступенчатое из деревянных решетин треугольного сечения ребром вниз; *г*—КПДР-IV-S₂—капельно-плёночное шахматное из деревянных решетин треугольного сечения ребром вверх; *д*—КПДР-V-S₂—капельно-плёночное из деревянных решетин прямоугольного сечения, установленных под углом 60° к горизонтали; *е*—КПДР-VI—капельно-плёночное ступенчатое из деревянных решетин прямоугольного сечения; *ж*—КПДР-VII—капельно-плёночное ступенчатое из деревянных решетин прямоугольного сечения; *з*—КПДР-VIII—капельно-плёночное, двухрядное в каждом ярусе, из деревянных решетин прямоугольного сечения; *и*—КПДР-IX—капельно-плёночное, двухрядное в каждом ярусе, из деревянных решетин квадратного сечения; *к*—КПДР-X—капельно-плёночное из деревянных решетин прямоугольного сечения, установленных под углом 65° к горизонтали.

массоотдачи оросительных устройств, представленных на рис. 5—8, определяются по формулам (1)—(4):

Для оросителей ПАЩ-I-S₁, КПДЩ-I-S₁, КПДЩ-II-S₁, КПДЩ-III-S₁, КПДЩ-IV-S₁, ППЩ-I-S₁, ППЩ-II-S₁, ППЩ-III-S₁,

$$\beta_{xv} = A \frac{V_{yd}^n}{q^{n-1}} = A V_{yd}^{0,6} q^{0,4}, \quad (1)$$

$$\alpha_v = 0,25\beta_{xv}. \quad (2)$$

Коэффициент A кг/м⁴, характеризующий интенсивность массоотдачи, принимается по данным табл. 1 или по графику на рис. 9.

Для оросителей КПДР-I-S₂, КПДР-II-S₂, КПАЯ-I-S₂, ПАЩ-II-S₁, ПАЩ-III-S₁, ПАЩ-IV-S₁, ПАЩ-V-S₁

$$\beta_{xv} = \lambda \left(\frac{\gamma_B V_{yd}}{\gamma_{ж} q} \right)^{-n} \gamma_{ж} q, \quad (3)$$

$$\alpha_v = 0,25\beta_{xv}. \quad (4)$$

Коэффициент λ и показатель степени n принимаются по данным табл. 2.

Примечание. Формулы (1) и (3) применимы в пределах изменения $V_{уд}$ и q , указанных для каждого типа оросительного устройства в табл. 1 в графе «условия опытов» и в табл. 2 в примечании.

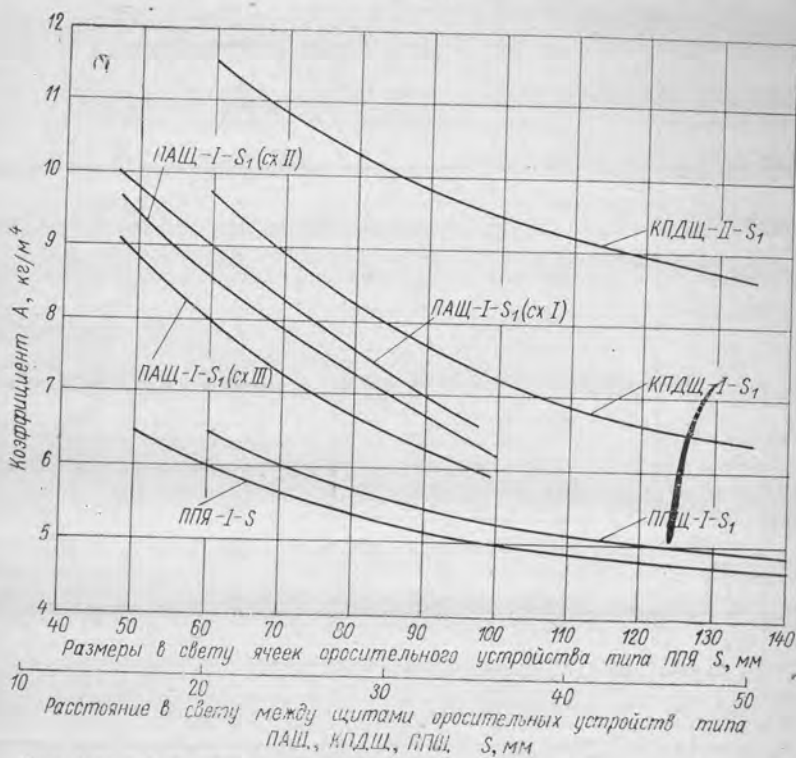


Рис. 9. График коэффициентов A для оросительных устройств типа ПАЩ, КПДЩ, ППЩ, ППЯ.

55. Значения коэффициентов перехода для объемных коэффициентов тепло- и массоотдачи устанавливаются по данным натурных исследований градирен. Впредь до накопления достаточных данных коэффициенты перехода ориентировочно могут быть приняты $k_{\alpha} = k_{\beta} = 0,85-0,95$.

56. Расчетные графики температуры воды, охлажденной в градири, в последующем должны быть скорректированы на основании результатов натурных исследований головной градири. До указанного уточнения расчетный график дается с допуском на определенную по графику температуру охлажденной воды, равным $+1,0^{\circ}\text{C}$.

57. Величина поправки, учитывающей влияние ветра на эффективность работы градирен, определяется по ориентировочному

Значения "А" для определения объемных коэффициентов массоотдачи по формуле (1)

Тип устройства	Характеристика оросительного устройства		Условия опытов						Источ-ник		
			Обозначения		Основные размеры, мм					A, кг/м ⁴	
			a	b	s ₁	s ₂	q, м ³ /м ² ·ч	V _{уд} , м ³ /м ² ·ч			h _{ор} , м
Пленочное, одноярусное, из асбестоцементных плоских щитов, рис. 5, а, схема I Пленочное, двухъярусное, из асбестоцементных плоских щитов с установкой их в верхнем ярусе под углом 90°, в нижнем—под углом 85° к горизонтали, рис. 5, а, схема III Пленочное, двухъярусное, из асбестоцементных плоских щитов с установкой их под углом 90° к горизонтали, рис. 5, а, схема II Капельно-пленочное, одноярусное, деревянное, блочно-щитовое с установкой щитов под углом 85° к горизонтали, рис. 6, б, схема II Капельно-пленочное, одноярусное, деревянное, блочно-щитовое с установкой щитов под углом 80° к горизонта-	ПАЩ-I-S ₁	—	7	15—35	—	—	3,5—10,0	2100—5100	2,5	по графику на рис. 9	3
	ПАЩ-I-S ₁	—	7	15—35	—	—	4,0—6,5	2700—5600	2,5 $\left(\frac{1,0}{1,2} \right)$	по графику на рис. 9	1
	ПАЩ-I-S ₁	—	7	15—35	—	—	3,5—6,5	2500—5500	2,5 $\left(\frac{1,0}{1,2} \right)$	по графику на рис. 9	1
	КПДЩ-II-S ₁	100	10	20—50	40	—	4,5—9,0	3600—5700	2,5	по графику на рис. 9	2
										по графику	

Капельно-плочное, двухъярусное, деревянное, блочно-щитовое с установкой щитов в обоих ярусах под углом 85° к горизонтали, рис. 6, а, схема I	КПДЦ-III-S ₁	100	8	46	215	3,5-6,5	2000-4000	2,32 $\left(\frac{1,04}{1,04}\right)$	7,05	1
Капельно-плочное, двухъярусное, деревянное, блочно-щитовое с установкой щитов в обоих ярусах под углом 85° к горизонтали, рис. 6, б, схема I	КПДЦ-IV-S ₁	100	8	50	40	3,5-7,0	2000-4000	2,36 $\left(\frac{1,08}{1,08}\right)$	6,27	1
Плочное, одноярусное, из плоских виннипластовых щитов, рис. 7, а, схема I	ППЦ-I-S ₁	-	2	20-50 от 40× ×40 до 130×130	-	3,5-7,0	2500-4500	2,5	по графику на рис. 9	1
Плочное одноярусное, виннипластовое, ячеестое, рис. 7, в	ППЯ-I-S ₁	-	2	-	-	3,5-7,0	2700-4700	2,5	по графику на рис. 9	1
Плочное, двухъярусное, из волнистых виннипластовых перфорированных щитов с горизонтальным параллельным расположением волн, рис. 7, б, схема II	ППЦ-II-S ₁	-	0,45	35 50	-	3,6-7,0	2000-5000	3,0 $\left(\frac{1,35}{1,35}\right)$	9,19 8,47	1

Примечания: 1. Цифры в графе "Источник" означают: 1 — по опытам Андрианова, 2 — Акуловой, 3 — Сухова. 2. В графе $\eta_{ор}$ в скобках приведены: в числителе — высота верхнего, в знаменателе — нижнего яруса оросительного устройства. 3. Размеры волн виннипластового оросительного устройства ППЦ-II-S₁ следующие: $l=120$ мм, $m=30$ мм.

Значения λ и n для определения объемных коэффициентов массоотдачи по формуле (3)

Тип устройства	Обозначения	Характеристика оросительного устройства							$\lambda, \text{ м}^{-1}$	n
		Основные размеры, мм								
		a	b	s_1	s_2	l	m			
Капельно-плenoчное, шахматное, из деревянных решетин треугольного сечения ребром вниз, рис. 8, а	КПДР-I-S ₂	38	38	152	225	—	—	—	0,297	0,50
		38	38	152	152	—	—	—	0,310	0,50
		38	38	152	300	—	—	—	0,248	0,42
		38	38	112	450	—	—	—	0,238	0,47
Капельно-плenoчное, шахматное, из деревянных решетин треугольного сечения ребром вниз, рис. 8, б	КПДР-II-S ₂	50	28	100	200	—	—	—	0,287	0,55
		50	28	100	250	—	—	—	0,261	0,58
		50	28	100	188	—	—	—	0,314	0,53
		50	28	100	150	—	—	—	0,324	0,54
		50	28	125	200	—	—	—	0,307	0,46
50	28	50	150	—	—	—	0,616	0,65		
Капельно-плenoчное, ячеистое, из асбестоцементных волнистых решетин, рис. 5, е	КПАЯ-I-S ₂	—	—	19	269	146	19	19	0,670	0,70
		—	—	19	168	146	19	19	0,947	0,68
		—	—	19	518	146	19	19	0,390	0,69
		—	—	19	394	146	19	19	0,508	0,67
Капельно-плenoчное, ячеистое, из асбестоцементных волнистых решетин, рис. 5, е	КПАЯ-I-S ₂	—	—	19	156	133	32	32	1,160	0,66
		—	—	32	156	133	32	32	0,815	0,66
		—	—	32	382	133	32	32	0,557	0,65
		—	—	32	506	133	38	38	0,333	0,63

Пленочное, одноярусное, из асбестоцементных волнистых щитов с вертикальным параллельным расположением волн, рис. 5, б	ПАЩ-II-S ₁	—	—	38	—	146	48	0,363	0,66
Пленочное, одноярусное, из асбестоцементных волнистых щитов с параллельным горизонтальным расположением волн, рис. 5, в	ПАЩ-III-S ₁	—	—	38	—	146	48	0,693	0,69
Пленочное, одноярусное, из асбестоцементных волнистых щитов с встречным горизонтальным расположением волн, рис. 5, 2	ПАЩ-IV-S ₁	—	—	19	—	146	48	0,562	0,58
Пленочное, одноярусное, из асбестоцементных волнистых щитов с чередующимся вертикальным и горизонтальным расположением волн, рис. 5, д	ПАЩ-V-S ₁	—	—	—	—	146	48	0,614	0,73
		—	—	—	—	72	22	1,016	0,80
		—	—	—	—	178	54	0,538	0,71

Примечания: 1. Все данные приведены по опытам Лоу и Кристли. 2. Все оросительные устройства испытывались при следующих условиях: плотность орошения в пределах $q = 3,0-12,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$; удельный расход воздуха $V_{\text{уд}} = 3300-7600 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$; высота оросительных устройств $1,2-2,4 \text{ м}$.

графику, представленному на рис. 10 (до его уточнения по более подробным данным натуральных и лабораторных исследований гра-

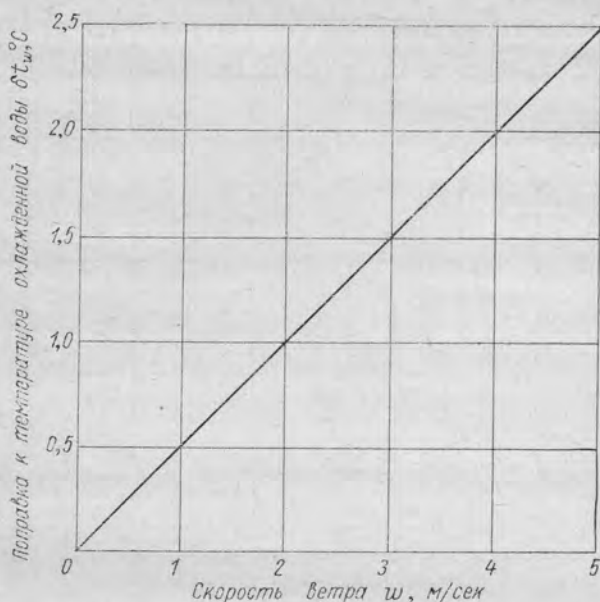


Рис. 10. График поправок к температуре воды, охлажденной в башенных противоточных градирнях, в зависимости от скорости ветра.

дирен). Скорость ветра принимается при этом на высоте 2 м над землей.

Аэродинамический расчет градирен

58. Задачей аэродинамического расчета градирни является определение расхода воздуха, проходящего через градирню, что, в свою очередь, требует определения силы тяги в градирне и ее сопротивления. Для этого расчета необходимы следующие исходные данные:

Для однозонной градирни:

высота вытяжной башни;	параметры (температура и влажность) воздуха, поступающего в градирню и выходящего из нее.
тип и размеры оросительного устройства;	

Для многозонной градирни (дополнительно):

разбивка градирни на зоны;	параметры (температура и влажность) воздуха, поступающего и выходящего из отдельных зон оросительного устройства.
средние удельные расходы воздуха в зонах оросительного устройства или средние скорости воздуха в этих зонах, отнесенные к полному сечению оросителя;	

59. Сила тяги в однозонной и многозонной градириях определяется по формуле:

$$Z = (H_6 + 0,5h_{op}) (\gamma_{в_1} - \gamma_{в_2}), \quad (5)$$

где $\gamma_{в_1}$ и $\gamma_{в_2}$ находятся по параметрам воздуха на входе и выходе из оросительного устройства.

В многозонной градирике удельный вес воздуха $\gamma_{в_2}$ принимается равным

$$\gamma_{в_2} = \frac{\gamma_{в_1}' V' + \gamma_{в_1}'' V'' + \dots + \gamma_{в_1}^n V^n}{V}, \quad (6)$$

где $\gamma_{в_2}$ — удельный вес смешанного воздуха, кг/м³; $\gamma_{в_1}'$, $\gamma_{в_1}''$, ..., $\gamma_{в_1}^n$ — удельные веса воздуха, выходящего из первой, второй и других зон оросителя, кг/м³; V — расход воздуха, проходящего через градирику, м³/ч; V' , V'' , ..., V^n — расходы воздуха, проходящие через зоны оросителя, м³/ч.

60. Полное сопротивление однозонной и многозонной градири определяется по формуле:

$$Z' = \tau_{обш} \frac{v_{op,cp}^2}{2g} \gamma_{в,cp} \quad (7)$$

Средний удельный вес воздуха в оросительном устройстве принимается равным:

$$\gamma_{в,cp} = \frac{\gamma_{в_1} + \gamma_{в_2}}{2}. \quad (8)$$

61. Общий коэффициент аэродинамического сопротивления градири определяется на основании лабораторных аэродинамических исследований данной градири.

При предварительных аэродинамических расчетах градири площадью орошения 500—3000 м², конструктивно соответствующих градириям, представленным на рис. 11, 12, 13, общие коэффициенты аэродинамического сопротивления могут быть определены по графикам, приведенным на этих рисунках. Графики выражают зависимость коэффициентов сопротивления от площади (высоты) воздухоподводящих окон и коэффициента сопротивления оросительного устройства (конструкции оросителя и плотности орошения).

Примечание. Градири, представленные на рис. 11, 12, 13, имеют следующую основную конструктивную характеристику: плановая конфигурация — правильный многоугольник (восьми-шестнадцатигугольник); форма башни — пирамидальная; плановая компоновка оросительного устройства — секторная с расположением щитов или блоков оросителя параллельно граням градири; система водораспределения — лотковая; водоуловитель отсутствует.

62. Необходимые для определения общих коэффициентов аэродинамического сопротивления градири коэффициенты сопротивления оросительных устройств устанавливаются на основе данных лабораторных исследований.

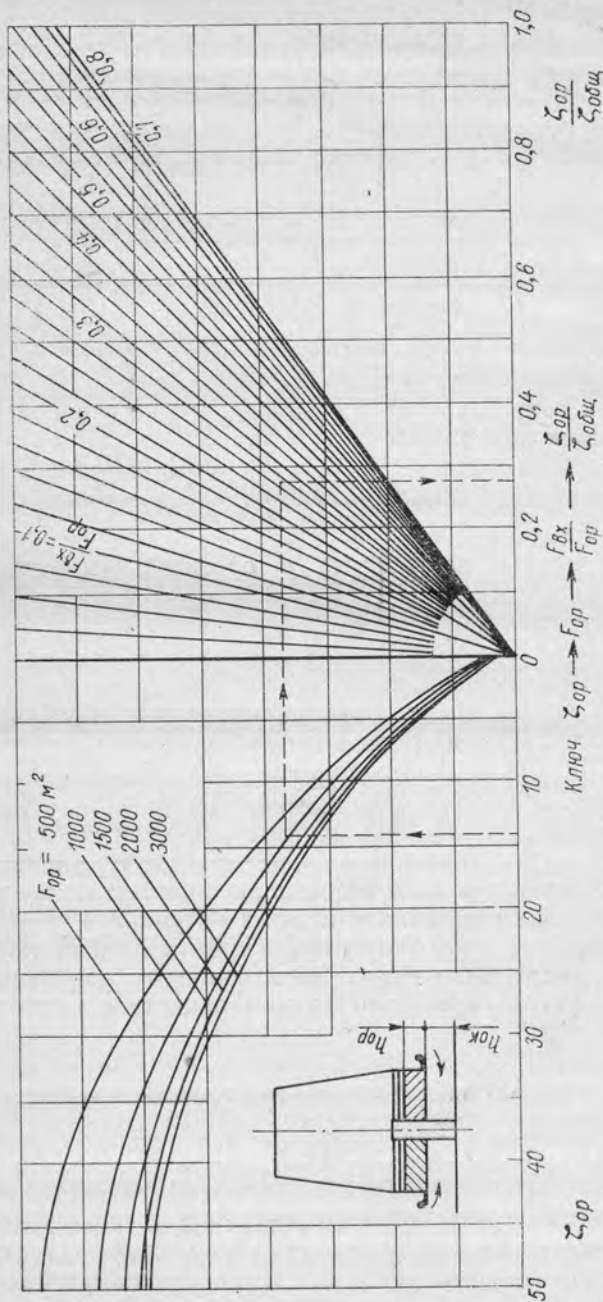


Рис. 11. График коэффициентов аэродинамического сопротивления башенных противоточных градирен площадью орошения $F = 500-3000 \text{ м}^2$ с оросительным устройством постоянной высоты и воздухонаправляющим козырьком (по опытам Недвиги).

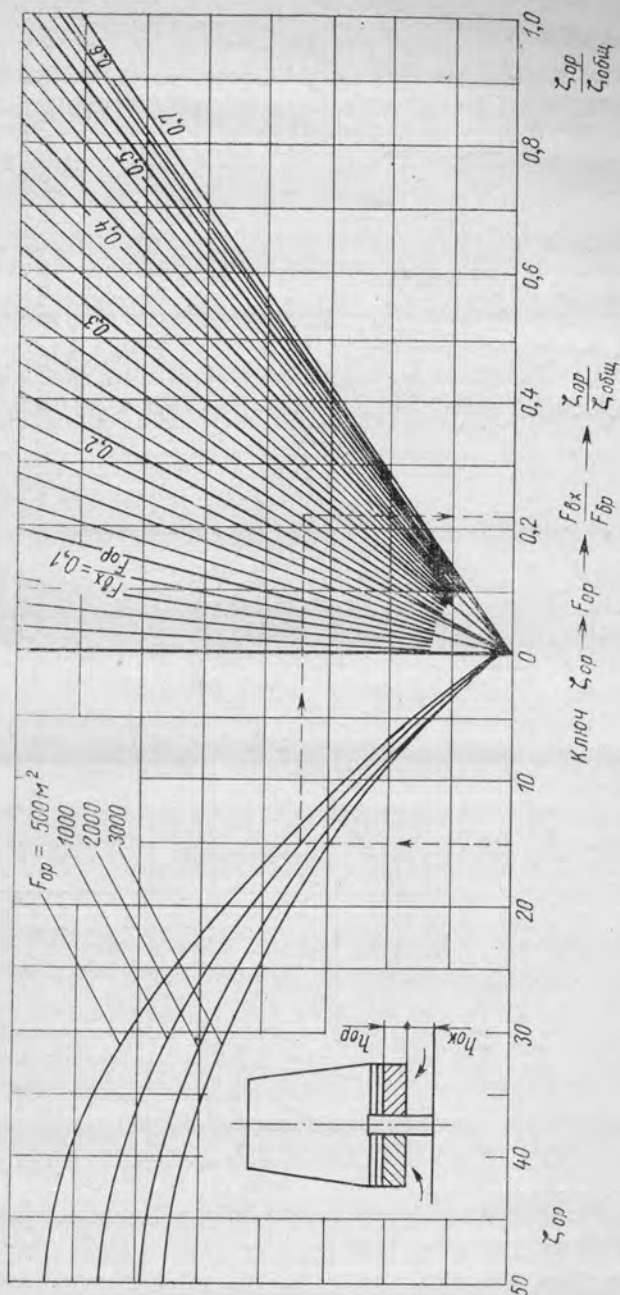


Рис. 12. График коэффициентов аэродинамического сопротивления башенных противочных градирен площадью орошения $F = 500-3000 \text{ м}^2$ с оросительным устройством постоянной высоты без воздухонаправляющего козырька (по опытам Недвиги).

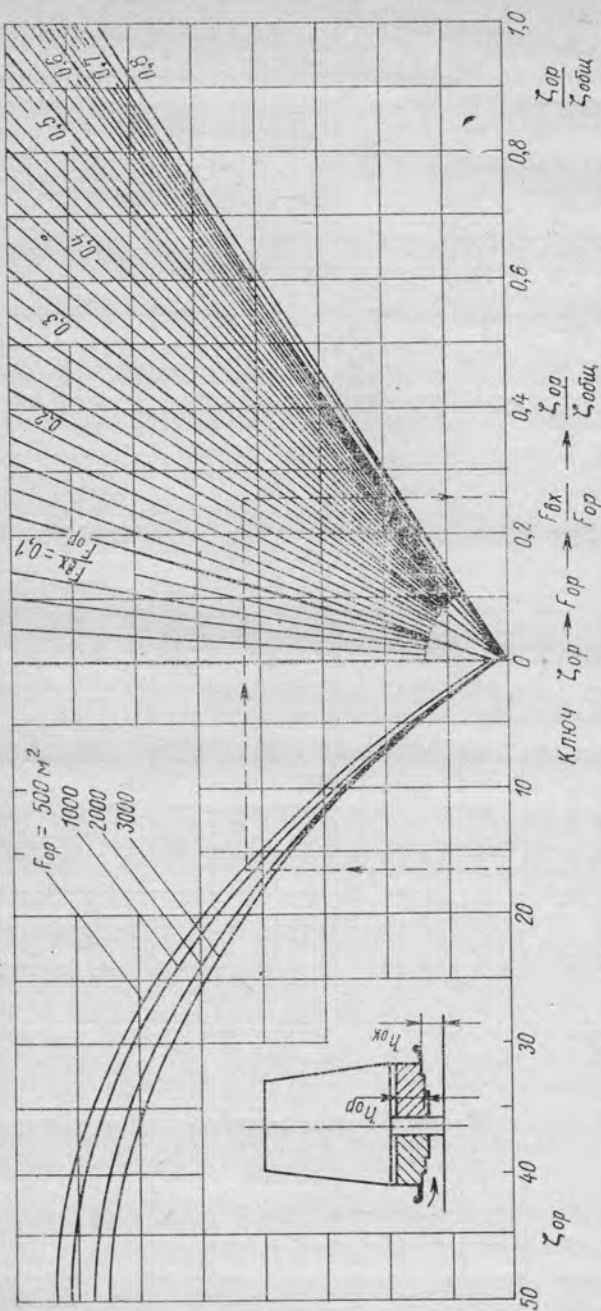


Рис. 13. График коэффициентов общего аэродинамического сопротивления башенных противоточных градилен площадью орошения $F = 500 - 3000 \text{ м}^2$ с оросительным устройством ступенчатого профиля и воздухом направляющим козырьком (по опытам Недвиги).

63. Коэффициенты аэродинамического сопротивления на 1,0 м высоты оросительных устройств, представленных на рис. 5—8, определяются по формулам (9) и (10).

Для оросителей КПДР-I-S₂, КПДР-III-S₂, КПДР-IV-S₂, КПДР-V-S₂, КПДР-VI, КПДР-VII, КПДР-VIII, КПДР-IX, КПДР-X, КПДЩ-III-S₁, КПДЩ-IV-S₁, ПАЩ-II-S₁, ПАЩ-III-S₁, ПАЩ-IV-S₁, ПАЩ-V-S₁

$$\zeta_{ор} = \zeta_{сух} + kq, \quad (9)$$

где $\zeta_{сух}$ — коэффициент аэродинамического сопротивления оросителя в сухом состоянии (без воды). Коэффициенты $\zeta_{сух}$ и k принимаются по данным табл. 3.

Для оросителей КПДР-II-S₂, КПАЯ-I-S₂, КПДР-I-S₂, КПДЩ-I-S₁, КПДЩ-II-S₁, ПАЩ-I-S₁

$$\zeta_{ор} = k \left(\frac{s}{s_0} \right)^{-n} + (r - ps) \frac{q}{8}, \quad (10)$$

где s — расстояние между щитами в свету, мм, или между рядами решетин по высоте, мм.

Величины n , k , s_0 , r , p принимаются по данным табл. 4, причем для оросительных устройств типа КПДР-I-S₂, КПДР-II-S₂, КПАЯ-I-S₂ величина s принимается равной s_2 , а для устройств типа КПДЩ-I-S₁, КПДЩ-II-S₁ и ПАЩ-I-S₁ равной s_1 .

Примечание. Формулы (9) и (10) применимы в пределах изменений q , указанных для каждого типа оросительного устройства в табл. 3 и 4 в графе «условия опытов».

64. Коэффициенты аэродинамического сопротивления и эффективности водоуловителей, представленных на рис. 14, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения коэффициентов аэродинамического сопротивления и эффективности водоуловителей

Тип водоуловителя	Коэффициент аэродинамического сопротивления $\zeta_{ул}$	Коэффициент эффективности водоуловителя η	Скорость воздуха в сечении перед водоуловителем в опытах v , м/сек
Деревянный жалюзийный (рис. 14, а)	3,6	0,94—0,96	0,9—2,0
Асбестоцементный усиленного профиля (ГОСТ 8423-57) с шагом 50 мм (рис. 14, б)	5,5	0,94	1,0
	5,2	0,93	1,6
	4,9	0,94	2,1
Асбестоцементный обыкновенного профиля (ГОСТ 378-60) с шагом 25 мм (рис. 14, в)	5,2	0,91	0,80
	5,1	0,80	1,25
	4,7	0,75	2,00

Примечания: 1. Коэффициент эффективности водоуловителя равен: $\eta = Q_{ул} / Q_{в.п.}$ где $Q_{ул}$ — количество воды, задержанной водоуловителем; $Q_{в.п.}$ — количество воды, содержащейся в воздушном потоке перед водоуловителем. 2. Источник: по опытам Андрианова и Румянцевой.

Значения $\zeta_{\text{сух}}$ и k для определения коэффициентов аэродинамического сопротивления оросительных устройств по формуле (9) (на 1,0 м высоты оросительного устройства)

Тип устройства	Характеристика оросительного устройства					Условные опыты				$\zeta_{\text{сух}}$	k	Ис-точ-ник
	Обозначения	Основные размеры, мм			$q, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$	$v_{\text{ор}}, \text{ м/сек}$	$h_{\text{ор}}, \text{ м}$					
		a	b	s_1				s_2				
Капельно-плenoчное, шахматное, из деревянных решетин треугольного сечения ребром вниз, рис. 8, а	КПДР-I-S ₂	50,0	50,0	150,0	300	2,0—5,0	0,5—2,0	2,10	6,30	0,34	1	
То же ступенчатое, рис. 8, в	КПДР-III-S ₂	50,0	50,0	213,0	300	2,0—4,0	0,5—2,0	2,10	2,54	0,30	1	
Капельно-плenoчное, шахматное, из деревянных решетин треугольного сечения ребром вверх, рис. 8, г	КПДР-IV-S ₂	50,0	50,0	150,0	300	2,5—4,5	0,5—2,0	2,10	9,35	0,42	1	
Капельно-плenoчное, из деревянных решетин прямоугольного сечения, установленных под углом 60° к горизонтали, рис. 8, д	КПДР-V-S ₂	10,0	80,0	80,0	290	3,0—8,0	0,5—2,0	2,10	6,24	0,22	1	
Капельно-плenoчное, ступенчатое, из деревянных решетин прямоугольного сечения, рис. 8, е	КПДР-VI	9,5	50,8	203,0	229	0—19,5	1,25	6,10	4,30	0,47	2	
Капельно-плenoчное, ступенчатое, из деревянных решетин прямоугольного сечения, рис. 8, ж	КПДР-VII	22,2	22,2	102,0	610	0—19,5	1,25	6,10	3,30	0,56	2	
Капельно-плenoчное, двухрядное в каждом ярусе, из деревянных решетин прямоугольного сечения, рис. 8, з	КПДР-VIII	47,6	32,2	152,0	610	0—19,5	1,25	6,10	3,10	0,53	2	
Капельно-плenoчное, двухрядное в каждом ярусе, из деревянных решетин квадратного сечения, рис. 8, и	КПДР-IX	22,2	22,2	15,2	610	0—19,5	1,25	6,10	1,90	0,53	2	
Капельно-плenoчное, из деревянных решетин прямоугольного сечения, установленных под углом 65° к горизонтали, рис. 8, к	КПДР-X	38,1	22,2	95,2	610	0—19,5	1,25	6,10	1,90	0,46	2	
Капельно-плenoчное, двухрядное в каждом ярусе, из деревянных решетин квадратного сечения, рис. 8, л	КПДР-IX	22,2	31,4	114,0	610	0—19,5	1,25	6,10	3,60	0,58	2	
Капельно-плenoчное, из деревянных решетин прямоугольного сечения, установленных под углом 65° к горизонтали, рис. 8, к	КПДР-X	38,1	22,2	95,2	610	0—19,5	1,25	6,10	2,90	0,46	2	

Капельно-плечное, двухъярусное, деревянное, блочно-щитовое с установкой щитов в обоих ярусах под углом 85° к горизонтали, рис. 6, а, схема 1

Капельно-плечное, двухъярусное, деревянное, блочно-щитовое с установкой щитов в обоих ярусах под углом 85° к горизонтали, рис. 6, б, схема 1

Плечное, одноярусное, из асбестоцементных волнистых щитов с параллельным вертикальным расположением волн, рис. 5, б

Плечное, одноярусное, из асбестоцементных волнистых щитов с параллельным горизонтальным расположением волн, рис. 5, в

Плечное, одноярусное, из асбестоцементных волнистых щитов с встречным горизонтальным расположением волн, рис. 5, г

Плечное, одноярусное, из асбестоцементных волнистых щитов с чередующимся вертикальным и горизонтальным расположением волн, рис. 5, д

Примечания: 1. Цифры в графе „Источник“ означают: 1—по опытам Андрианова и Громцева; 2—Келли и Свенсена; 3—Андрианова; 4—Лоу и Кристли. 2. Высота оросительных устройств, испытанных Лоу и Кристли, составляет 1,2—2,4 м. 3. В графе $H_{ор}$ в скобках приведены: в числителе—высота верхнего, а в знаменателе—высота нижнего яруса оросительного устройства. 4. Данные испытаний оросительного устройства КПДР-1-S₂ по опытам Лоу и Кристли приведены в табл. 4.

	100,0	8,0	46,0	215	3,5—6,5	1,20	2,32 ($\frac{1,04}{1,04}$)	1,60	0,37	3
	100,0	8,0	50,0	40	3,5—7,0	1,20	2,36 ($\frac{1,08}{1,08}$)	1,12	0,17	3
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>s</i> ₁	<i>s</i> ₂						
КПДЦ-IV-S ₁	146	48	38	—	3,0—12,0	1,83	—	0,40	0,24	4
ПАЦ-II-S ₁	146	48	26	—	3,0—12,0	1,83	—	8,50	0,38	4
ПАЦ-III-S ₁	146	48	38	—	3,0—12,0	1,83	—	7,60	0,25	4
ПАЦ-IV-S ₁	146	48	19	—	3,0—12,0	1,83	—	10,80	0,51	4
ПАЦ-V-S ₁	146	48	—	—	3,0—12,0	1,83	—	9,20	0,33	4
	178	54	—	—	3,0—12,0	1,83	—	10,80	0,33	4

Значения n , k , S_0 , r , p для определения коэффициентов аэродинамического сопротивления
оросительных устройств по формуле (10)
(на 1 м высоты оросительного устройства)

Тип устройства	Обозначения	Основные размеры, мм			Условия опытов				Источники					
		a	b	S ₁	S ₂	q _r , м ³ /м ² ч	v _{ор} , м/сек	h _{ор} , м		n	k	S ₀	r	p
Капельно-плочное, шахматное, из деревян- ных решетин треуголь- ного сечения ребром вниз, рис. 8, а	КПДР-I-S ₂	38	38	152	150—300	0—12,0	1,83	—	1,59	4,32	250	5,40	0,0009	1
Капельно-плочное, шахматное, из деревян- ных решетин треуголь- ного сечения ребром вниз, рис. 8, б	КПДР-II-S ₂	50	28	100	150—250	0—12,0	1,83	—	1,65	1,20	250	4,06	0,0004	1
Капельно-плочное, одноярусное, деревянное, блочко-щитовое с уста- новкой щитов под углом 89° к горизонтали, рис. 6, в	КПДЦ-I-S ₁	100	10	20—50	200	0—7,2	1,90	2,50	1,16	1,10	35	4,40	0,040	2
Капельно-плочное, одноярусное, деревянное, блочко-щитовое с уста- новкой щитов под углом 85° к горизонтали, рис. 6, б, схема II	КПДЦ-II-S ₁	100	10	20—50	40	0—9,0	2,25	2,50	1,32	1,80	35	2,60	0,028	2

Капельно-плёночное, ячеистое, из асбестоцементных волнистых решетин, рис. 5, е	КПАЯ-1-S ₂	—	19	160—500	0—12,0	1,83	—	1,00	7,60	250	6,10	0,008	1
Плёночное, двухъярусное, из асбестоцементных плоских щитов с установкой их в верхнем ярусе под углом 90°, в нижнем—под углом 85° к горизонтали, рис. 5, а, схема III	ПАЩ-1-S ₁	—	7	15—35	0—6,5	1,50	2,50 $\left(\frac{1,0}{1,2} \right)$	1,47	1,00	35	2,20	0,037	3
Плёночное, одноярусное, из асбестоцементных плоских щитов, рис. 5, а, схема I	ПАЩ-1-S ₁	—	7	15—35	0—10,0	1,80	2,50	2,07	0,32	35	2,79	0,060	4

Примечания: 1. Цифры в графе „Источник“ означают: 1—по опытам Лоу и Кристли; 2—Акуловой; 3—Андриана; 4—Сухова. 2. Высота оросительных устройств, испытанных Лоу и Кристли, составляет 1,2—2,4 м. 3. Размеры волн решетки ячеистого оросительного устройства КПАЯ-1-S₂ следующие: $l = 146$ мм; $m = 25$ мм. 4. В графе $h_{ор}$ в скобках приведены: в числителе—высота верхнего, а в знаменателе—высота нижнего яруса оросительного устройства. 5. Данные испытаний оросительного устройства КПДР-1-S₂ по опытам Андрианова приведены в табл. 3.

65. Значения коэффициентов перехода для общих коэффициентов аэродинамического сопротивления градирен устанавливаются по данным натурных исследований градирен.

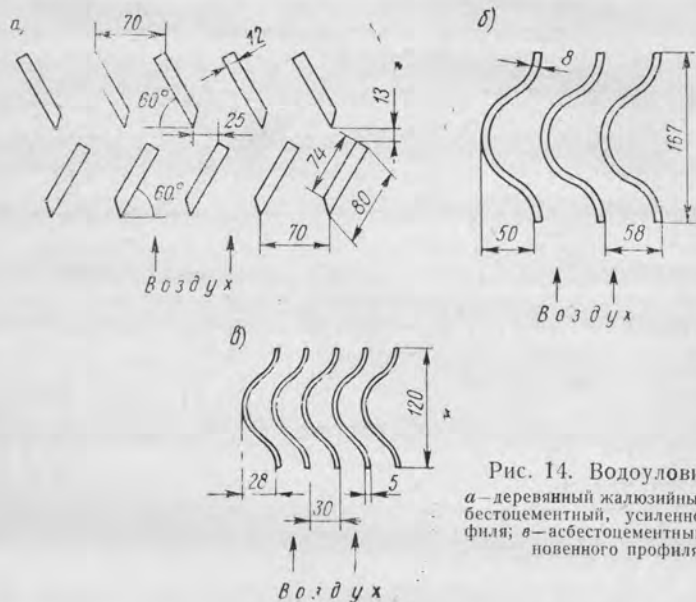


Рис. 14. Водоуловители
 а — деревянный жалюзийный; б — асбестоцементный, усиленного профиля; в — асбестоцементный, обыкновенного профиля.

Впредь до накопления достаточных данных коэффициент перехода ориентировочно может быть принят $k_2 = 1,1-1,25$.

V. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Общие указания

66. Задачей гидравлического расчета водораспределительной системы является установление степени неравномерности распределения воды по площади оросительного устройства. Степень неравномерности в основном зависит от разбрызгивающих устройств. Результаты расчета являются исходными для последующего технико-экономического выбора оптимальных вариантов типа и размеров разбрызгивающих устройств, планового и высотного их расположения, диаметров трубопроводов или размеров лотков системы, напора в водораспределительной системе.

67. Гидравлический расчет системы состоит из последовательных расчетов разбрызгивающих устройств и водораспределительной системы.

Гидравлический расчет разбрызгивающих устройств

68. Гидравлический расчет разбрызгивающих устройств основывается на опытных данных о распределении плотности орошения по радиусу факела разбрызгивания данного устройства.

69. Гидравлический расчет разбрызгивающих устройств заключается в установлении степени неравномерности распределения плотности орошения по площади оросительного устройства и влияния на неравномерность водораспределения изменения напора в системе при заданных средней плотности орошения градири, типе и размерах разбрызгивающего устройства, пьезометрическом напоре над выходным сечением гидравлического насадка или сопла разбрызгивающего устройства, конструктивных условиях расположения разбрызгивающих устройств.

70. Определение неравномерности распределения плотности орошения по площади оросительного устройства производится путем вычисления плотности орошения в ряде точек расчетной площадки оросителя. Это осуществляется методом суммирования плотностей орошения, обусловленных поступлением воды в каждую точку от всех разбрызгивающих устройств, в зоны факелов разбрызгивания которых попадает данная точка.

Примечания: 1. Расчетной площадкой оросителя является ячейка принятой сетки планового расположения разбрызгивающих устройств.

2. Расчет неравномерности плотности орошения выполняется согласно указаниям разделов 1 и 2 приложения III.

71. Критерием неравномерности распределения плотности орошения по площади оросительного устройства служит коэффициент неравномерности плотности орошения, в общем случае выражающийся формулой

$$\xi = \iint \frac{|q(x, y) - q_{\text{ср}}|}{Q} dF, \quad (11)$$

где $q(x, y)$ — плотность орошения в точке с координатами x, y расчетной площадки; $q_{\text{ср}}$ — средняя плотность орошения в градири или ее отдельной зоне (при дифференцированной плотности орошения); Q — расход воды, охлаждаемой в градири или ее отдельной зоне; F — площадь оросительного устройства градири или ее отдельной зоны.

В частном случае при расположении разбрызгивающих устройств в плане по ортогональной сетке формула (11) имеет вид:

$$\xi = \int_0^a \int_0^b \frac{|q(x, y) - q_n| dx dy}{q_n}, \quad (12)$$

где a, b — размеры расчетной площадки оросительного устройства; q_n — расход воды через разбрызгивающее устройство.

72. Коэффициент неравномерности плотности орошения ξ ориентировочно принимается равным 0,05—0,20 и не должен превышать 0,25—0,30.

73. Затенение площади оросительного устройства препятствиями увеличивает неравномерность распределения плотности орошения по его площади. Величина затенения наряду с коэффициентом неравномерности плотности орошения характеризует общую неравномерность орошения.

74. Ввиду большой трудоемкости гидравлического расчета разбрызгивающих устройств эти расчеты следует выполнять на ЭВМ. При этом рекомендуется пользоваться программой расчета, разработанной в Математической лаборатории ВНИИГа им. Б. Е. Веденеева.

75. Гидравлический расчет разбрызгивающих устройств, кроме основного показателя неравномерности распределения плотности орошения — коэффициента неравномерности, — позволяет также установить плановое распределение плотности орошения и построить интегральную кривую распределения плотности орошения по площади оросителя.

76. При выборе планового расположения разбрызгивающих устройств следует учитывать, что наиболее целесообразным расположением, обеспечивающим наименьшую неравномерность распределения плотности орошения, будет расположение устройств по ортогональной сетке с соотношением сторон, не превышающим двух.

Гидравлический расчет водораспределительных систем

77. Гидравлический расчет водораспределительных систем заключается в установлении диаметров трубопроводов в напорной системе водораспределения или размеров сечений лотков в самотечной системе, напора в начале и на отдельных участках напорной системы или горизонта воды в лотках самотечной системы, а также коэффициента неравномерности водораспределения в системе (§ 81).

78. Исходными данными для гидравлического расчета водораспределительных систем являются: схема водораспределительной системы, т. е. плановое и высотное расположение трубопроводов (напорная система) или лотков (самотечная система) с указанием расстояния между трубами или лотками и между разбрызгивающими устройствами по оси трубопроводов или лотков; тип и размеры разбрызгивающего устройства; средний расход воды через разбрызгивающее устройство.

79. Схема водораспределительной системы разрабатывается на основе результатов гидравлического расчета разбрызгивающих устройств. Она должна быть возможно простой в гидравлическом отношении, для чего желательно избегать несимметричных и закольцованных участков трубопроводов или лотков.

80. Расчет напорных водораспределительных систем рекомендуется производить согласно указаниям разделов 3 и 4 приложения III.

81. Коэффициент неравномерности распределения воды в водораспределительной системе, т. е. между разбрызгивающими

устройствами, выраженный через коэффициенты отклонения скорости (расхода) от среднего их значения, определяется по формуле

$$\psi = \psi_{\Pi} + \psi_{\text{P}} = (\varphi_{\text{нмакс}} - \varphi_{\text{нмин}}) + (\varphi_{\text{Рмакс}} - \varphi_{\text{Рмин}}) =$$

$$= \left(\frac{v_{\text{нмакс}}}{v_{\text{нср}}} - \frac{v_{\text{нмин}}}{v_{\text{нср}}} \right) + \left(\frac{v_{\text{Рмакс}}}{v_{\text{Рср}}} - \frac{v_{\text{Рмин}}}{v_{\text{Рср}}} \right), \quad (13)$$

где ψ_{Π} — коэффициент неравномерности распределения воды между разбрызгивающими устройствами на рабочем трубопроводе; ψ_{P} — коэффициент неравномерности распределения воды между рабочими трубопроводами; $\varphi_{\text{нмакс}}$ и $\varphi_{\text{нмин}}$ — максимальное и минимальное значения коэффициентов отклонения скоростей в насадках разбрызгивающих устройств рабочего трубопровода от среднего их значения во всей водораспределительной системе; $\varphi_{\text{Рмакс}}$ и $\varphi_{\text{Рмин}}$ — максимальное и минимальное значения коэффициентов отклонения скоростей в начале рабочих трубопроводов от среднего их значения; $v_{\text{нмакс}}$ и $v_{\text{нмин}}$ — максимальная и минимальная скорости в насадках разбрызгивающих устройств рабочего трубопровода; $v_{\text{Рмакс}}$ и $v_{\text{Рмин}}$ — максимальная и минимальные скорости в начале рабочих трубопроводов; $v_{\text{нср}}$ и $v_{\text{Рср}}$ — средние скорости в насадках разбрызгивающих устройств и в начале рабочего трубопровода.

82. При первоначальном назначении размеров поперечных сечений лотков самотечных водораспределительных систем рекомендуется в рабочих лотках принимать скорости воды равными $v_{\text{P}} = 0,2 - 0,3$ м/сек, а в магистральных — $v_{\text{M}} = 0,5 - 0,7$ м/сек. При этих скоростях обычно обеспечивается допустимая степень неравномерности водораспределения в системах.

83. Глубины воды в лотках, необходимые для пропуска через насадки расчетных расходов воды, определяются величиной напора над выходными сечениями гидравлических насадков. Для обеспечения нормальной работы насадков глубина воды в лотках должна быть не менее 0,20—0,25 м (над входным сечением насадков).

84. Допустимая величина потери напора в водораспределительной системе ориентировочно составляет 0,3—0,4 м.

85. Коэффициент неравномерности распределения ориентировочно не должен превышать $\psi = 0,10$.

VI. ПОТЕРИ ВОДЫ В ГРАДИРНЯХ

86. Потери воды в градирнях обуславливаются испарением воды в процессе ее охлаждения; уносом мелких капель воды воздушным потоком, выходящим из градирен и продувкой в целях стабилизации солевого состава воды в системах водоснабжения.

Примечание. Потеря воды в грунт через днище и стенки водосборных бассейнов в расчетах не учитывается, поскольку сколь-либо существенная фильтрация воды в грунт является недопустимой во избежание повышения уровня грунтовых вод в районе площади объекта, обслуживаемого градирнями.

87. Потери воды на испарение определяются по данным технологического расчета градирен по формуле:

$$q_{ис} = \frac{\gamma_{в.с} V (x_2 - x_1)}{\gamma_{ж}}, \quad (14)$$

где $q_{ис}$ — количество испарившейся воды, $м^3/ч$; x_1 и x_2 — влагосодержание воздуха, входящего и выходящего из градирни, $кг/кг$; $\gamma_{в.с}$ — удельный вес сухого воздуха, $кг/м^3$.

Влагосодержание воздуха на входе и на выходе из градирни определяется по температуре и влажности воздуха, установленным технологическим расчетом, а удельный вес сухого воздуха по таблице приложения V.

88. При предварительных ориентировочных расчетах потери воды на испарение могут быть подсчитаны по формуле (СНиП II-Г. 3-62 «Водоснабжение»)

$$q_{ис} = c \Delta t, \quad (15)$$

где $q_{ис}$ — количество испарившейся воды в процентах от расхода охлаждаемой воды; Δt — температурный перепад в градирне, $^{\circ}C$; c — коэффициент, зависящий от температуры наружного воздуха, принимаемый по данным табл. 6.

Таблица 6

Значение c в формуле (15) для определения величины испарения в градирнях

Температура наружного воздуха, $^{\circ}C$	-10	0	10	20	30
Коэффициент c	0,08	0,10	0,12	0,14	0,15

89. Потери воды на унос из градирен без водоуловителей площадью орошения до $500 м^2$ принимаются равными $0,5 \div 0,8\%$ от расхода охлаждаемой воды, а для градирен площадью орошения свыше $500 м^2$ — $0,3 \div 0,5\%$.

Потери воды на унос из градирен с водоуловителями впрядь до накопления опытных данных принимаются равными $0,05\%$ от расхода охлаждаемой воды.

90. Расход воды на продувку определяется в зависимости от качества циркуляционной и добавочной воды и способа ее химической обработки. Потери воды на унос в этом случае учитываются как часть расхода воды на продувку.

ВИ. КОНСТРУКЦИЯ ГРАДИРЕН

Вытяжные башни

91. Конструкция вытяжных башен определяется в основном материалом, из которого сооружается башня.

92. Железобетонные вытяжные башни могут быть цилиндрическими, коническими, гиперболическими, а также могут иметь форму, приближающуюся к гиперболической, например, биконическую (рис. 15).

93. Вытяжные башни, состоящие из стального каркаса с внутренней обшивкой, могут иметь пирамидальную форму и форму,

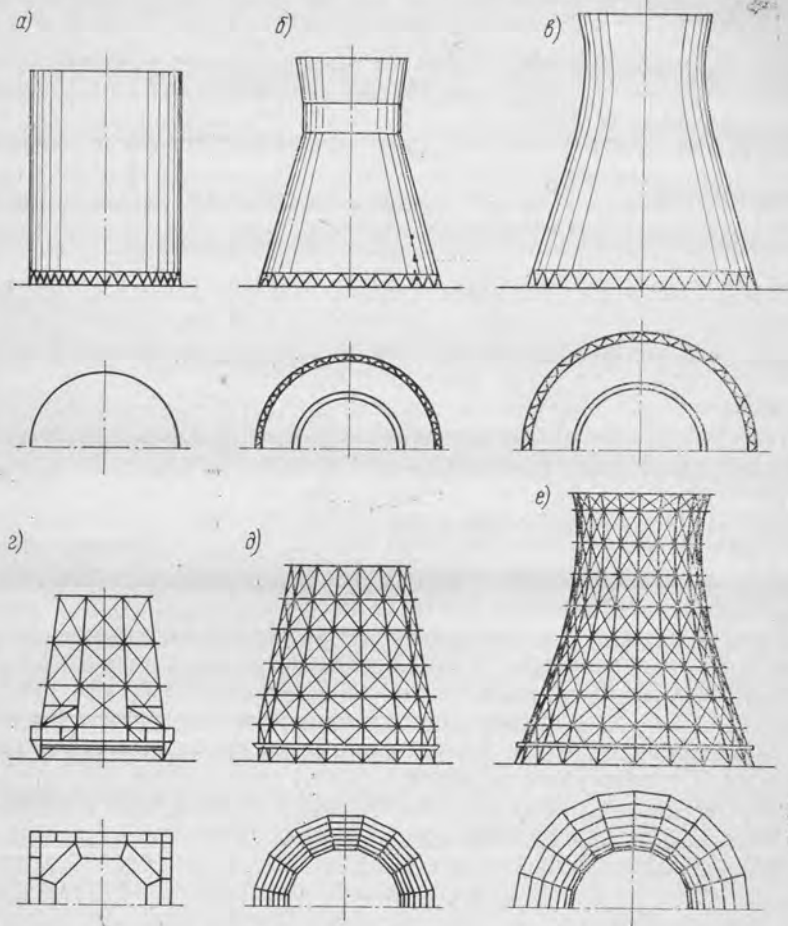


Рис. 15. Формы железобетонных и каркасно-обшивных вытяжных башен градирен

Железобетонные: а — цилиндрические; б — биконические; в — гиперболические.
Каркасно-обшивные: г — пирамидальные, восьмигранные с квадратным основанием; д — пирамидальные многогранные; е — гиперболические.

приближающуюся к гиперболической. Основания таких вытяжных башен могут иметь форму правильного многоугольника, а также могут быть квадратными, переходящими выше водораспределительного устройства в восьмигранник (рис. 15).

94. Деревянные вытяжные башни имеют гиперболическую (каркас типа башни Шухова с внутренней обшивкой) или цилиндрическую форму (башни-оболочки или башни с сетчатым досчатым каркасом).

Примечание. Деревянные вытяжные башни не получили широкого применения для градирен средней и большой производительности и поэтому выбор этого типа башни в каждом конкретном случае должен быть соответствующим образом обоснован.

95. В аэродинамическом отношении наиболее рациональной формой башни является гиперболическая или приближающаяся к ней по форме. В этих случаях градирни в меньшей мере подвержены влиянию ветрового воздействия, снижающего эффективность охлаждения воды. Наименее рациональной является цилиндрическая форма башни. Применение ее может быть допущено только в отдельных надлежащим образом обоснованных случаях.

96. Для безотрывного выхода воздушного потока из башен гиперболической или приближающейся к ней формы при работе градирен в условиях штиля и слабого ветра центральный угол диффузорной их части не должен превышать 10° .

97. Статический расчет вытяжных башен со стальным каркасом производится, как пространственных стержневых конструкций, а железобетонных башен — как оболочек.

98. Вытяжные башни каркасно-обшивные и железобетонные рассчитываются следующим образом:

каркасно-обшивные — на нагрузки и воздействия от собственного веса конструкции, от давления ветра с учетом динамического его воздействия, зависящего от периода собственных колебаний башни;

железобетонные (дополнительно) — на воздействия от температурных изменений (разность температур воздуха внутри и снаружи башни в зимнее время в период эксплуатации и влияние солнечной радиации в летнее время в период строительства) с учетом влажностного режима.

99. Ветровая нагрузка на вытяжные башни принимается согласно СНиП II-A 11-62 «Нагрузки и воздействия».

100. Аэродинамические коэффициенты распределения ветровой нагрузки по сечению вытяжной башни принимаются по данным лабораторных аэродинамических исследований.

101. Аэродинамические коэффициенты должны учитывать влияние на распределение ветровой нагрузки соседних градирен и близрасположенных сооружений в зависимости от расстояния между ними, а также влияние внешней поверхности башни (гладкая, шероховатая и др.).

102. Аэродинамические коэффициенты распределения ветровой нагрузки по сечению вытяжных башен градирен, не подверженных влиянию других сооружений, принимаются для гладких башен цилиндрической, конической и гиперболической форм по

эпюре, приведенной на рис. 16, а, для каркасных пирамидальных восьми-, двенадцати- и шестнадцатигранных башен по эюрам на рис. 17.

103. Вытяжные башни со стальным каркасом и основанием в виде правильного многоугольника могут применяться для градирен средней и большой производительности, т. е. площадью орошения 1000 м² и более. Башни с квадратным основанием — для градирен площадью орошения до 800—900 м².

104. Вытяжные башни со стальным каркасом должны проектироваться с учетом их монтажа укрупненными панелями и должны выполняться из марок стали по СНиП II-V. 3-62. «Стальные конструкции».

Для районов с минимальной расчетной температурой до минус 30°С применяется сталь ВМ ст. 3 ПС по группе В (ГОСТ 380-60*). Допускается также применение низколегированных сталей. Для районов с минимальной расчетной температурой минус 30°С и ниже используется сталь ВМ ст. 3 (спокойная) по группе В (ГОСТ 380-60*) с дополнительными гарантиями загиба в холодном состоянии (п. 2.5. 2д) и предельного содержания химических элементов (п. 2.6. 3 и 2.6. 4).

105. Стальные конструкции вытяжных башен должны иметь антикоррозионное покрытие.

106. Обшивка вытяжных башен со стальным каркасом может быть деревянной, из асбестоцементных листов, из алюминиевых листов и других материалов.

107. Обшивка из асбестоцементных листов может применяться для градирен, сооружаемых в районах с расчетной температурой пятидневки до минус 23,0°С.

При более низкой температуре для обшивки башен применяется дерево или алюминий («Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей»).

108. Деревянная обшивка стальных каркасов вытяжных башен должна выполняться из отдельных щитов. Породы и качество древесины, пиломатериалов и заготовок для изготовления деталей щитов обшивки вытяжных башен, точность и чистота их обработки должна устанавливаться в соответствии с ГОСТ 9685-61 «Заготовки из древесины хвойных пород» и МРТУ-34 «Технические условия на изготовление деревянных деталей градирен для тепловых электростанций» (ВГПИ «Теплоэлектропроект»).

109. Для защиты древесины щитов обшивки от биологического разрушения все готовые детали должны пропитываться маслянистыми (каменноугольное, креозотовое или антраценовое масло) или минеральными невымываемыми водой антисептиками в соответствии с ТУ 34-5604-68 «Пропитка деталей градирен водорастворимыми антисептиками» (ВГПИ «Теплоэлектропроект»).

Примечание. Перспективной является пропитка деталей щитов антипиренами, обладающими антисептическими свойствами и защищающими древесину от возгорания.

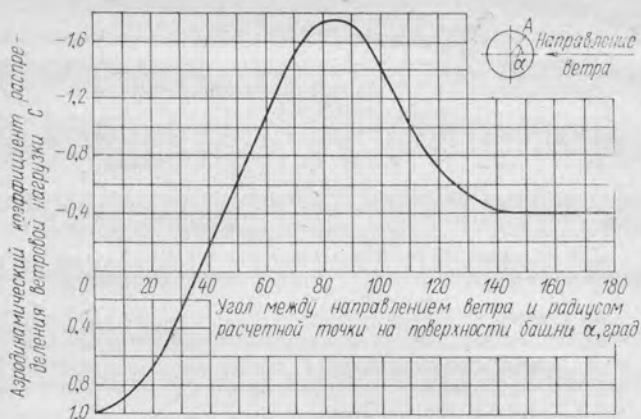


Рис. 16. Эюра аэродинамических коэффициентов распределения ветровой нагрузки по сечению гладких вытяжных башен цилиндрической, конической и гиперболической формы (по данным СНИП II-A 11-62).

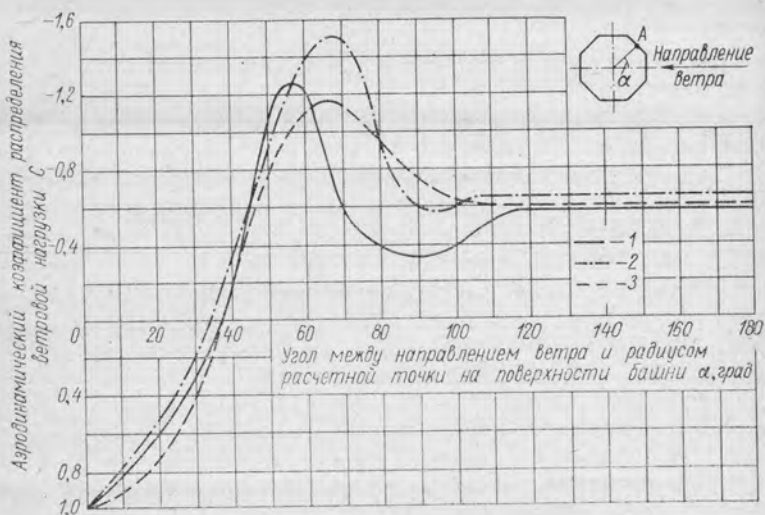


Рис. 17. Эюра аэродинамических коэффициентов распределения ветровой нагрузки по сечению металлических каркасно-обшивных пирамидальных вытяжных башен (по данным Аэродинамической лаборатории Ленинградского политехнического института)

1 — восьмигранная башня; 2 — двенадцатигранная башня; 3 — шестнадцатигранная башня.

110. Асбестоцементная обшивка вытяжных башен должна выполняться из волнистых асбестоцементных листов усиленного профиля по ГОСТ 8423-57*.

111. Асбестоцементные листы обшивки башни должны быть защищены гидроизоляцией от разрушения под влиянием температурно-влажностных изменений состояния воздуха снаружи и внутри градирни в зимнее время. С этой целью рекомендуются окрасочные покрытия на основе эпоксидных смол, а также пропитка листов каменноугольным пеком или петролатумом.

Примечания: 1. Окрасочное покрытие листов должно выполняться в соответствии с ВСН 09-65 «Временная производственная инструкция по устройству окрасочной эпоксидной гидроизоляции железобетонных и асбестоцементных поверхностей», «Энергия», 1966. Рекомендуется также покрытие их краской ЭФАЖС, применяемой для защиты металлических трубопроводов (ВСН 007-67 «Временная производственная инструкция по антикоррозионной защите металлических трубопроводов эпоксидной краской ЭФАЖС», «Энергия», 1967).

2. Пропитка листов должна производиться в соответствии с ВСН 04-65 «Временные технологические указания по применению пропиточной гидроизоляции для асбестоцементных конструкций градирен», «Энергия», 1965.

112. Крепление асбестоцементных листов к каркасу вытяжных башен должно производиться оцинкованными клямерами и болтами. Стыки между листами должны уплотняться битумной мастикой.

113. Монтаж укрупненных панелей стального каркаса башен надлежит производить при огнестойкой обшивке (асбестоцемент, алюминий) вместе с обшивкой; при неогнестойкой обшивке (дерево) во избежание загорания обшивки при сварке — без обшивки. Обшивка устанавливается после окончания монтажа каркаса.

114. Крепежный материал обшивки должен иметь антикоррозионное покрытие (оцинковка и др.).

115. Железобетонные вытяжные башни могут сооружаться в монолитном и сборном исполнении.

Примечание. Башни в сборном исполнении не получили широкого применения, строительство их производится в опытным порядке.

116. Железобетонные вытяжные башни могут применяться только в районах, где расчетная температура пятидневки — минус 28,0° С и выше («Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей»).

117. Железобетонные вытяжные башни должны сооружаться в соответствии с требованиями СН 374-67 «Указания по возведению монолитных железобетонных промышленных труб и башенных градирен», Изд-во лит-ры по стр-ву, М., 1968.

118. Внутренние поверхности железобетонных башен градирен и поверхности железобетонного опорного каркаса во избежание разрушения конструкций под влиянием температурно-влажностных изменений состояния воздуха снаружи и внутри градирни должны быть защищены антикоррозионным покрытием на

основе эпоксидных составов, торкретным покрытием или другой изоляцией, отвечающей требованиям работы градирен.

119. Фундаменты вытяжных башен градирен со стальным каркасом площадью орошения до 2600 м^2 выполняются в виде отдельных опор, а площадью орошения 2600 м^2 и более — как ленточными, так и в виде отдельных опор. Фундаменты железобетонных вытяжных башен градирен обычно выполняются ленточными.

120. Вытяжные башни градирен должны иметь по согласованию с органами гражданской авиации (в зависимости от места их расположения) дневную маркировку и световое ограждение в соответствии с «Правилами дневной маркировки, светового ограждения и радиомаркировки препятствий, находящихся на приаэродромных территориях и воздушных трассах», М., 1965.

121. В верхней части вытяжных башен надлежит предусматривать площадку для подвески люлек при ремонтных работах.

122. Для обслуживания градирни в вытяжной башне должна быть предусмотрена дверь для входа на оросительное и водораспределительное устройства. Для доступа на верхнюю площадку вытяжной башни и к двери на ороситель необходимо соорудить лестницы с промежуточными площадками (§ 121).

123. Вытяжные башни должны быть оборудованы грозозащитным устройством и заземлением.

124. Для обеспечения нормальных условий входа воздуха в градирню (§ 42) верхнюю кромку воздухоходных окон следует выполнять в виде воздухонаправляющего козырька (§ 127). Конфигурация козырька устанавливается на основании лабораторных исследований. На начальной стадии проектирования козырек может быть принят состоящим из горизонтального участка и оголовка, описанного радиусом $0,2h_{ок}$.

125. Во избежание обледенения воздухоходных окон градирен в зимнее время необходимо предусмотреть устройство по всему периметру вытяжной башни градирни водосборного лотка для сбора стекающей по ее внутренней поверхности воды с сосредоточенными выпусками воды в водосборный бассейн, а также необходимо обеспечить плотность обшивки башни, исключающую просачивание воды на наружную ее поверхность. Возможно также применение других способов борьбы с обледенением градирен.

Примечания: 1. Водосборный лоток должен быть водонепроницаемым и его следует располагать на уровне воздухонаправляющего козырька (рис. 4). 2. В целях уменьшения поступления воды на внутреннюю поверхность обшивки и последующего ее просачивания рекомендуется устройство по периметру градирни, в пределах факелов разбрызгивания водораспределительной системы и оросительного устройства, отбойного щита (рис. 4).

126. Во избежание обледенений внутренних частей градирен (оросительного устройства, каркаса, ветровых перегородок), об-

разующихся прежде всего в воздухо-распределительном пространстве, необходимо оборудовать воздухоходные окна зимними щитами для регулирования расхода и направления воздуха, поступающего в градирию, и тем самым поддержания температуры охлажденной воды на уровне, исключающем образование наледей; необходимо также не допускать образования в оросительном устройстве неорошаемых или слабо орошаемых участков.

127. Образуемый воздухонаправляющим козырьком тамбур целесообразно использовать для размещения в его пределах зимних щитов. Длина тамбура (расстояние от оси металлического каркаса или железобетонной башни) должна быть порядка 2,0—2,5 м.

128. Зимние щиты могут быть плоскими, поднимающимися вверх и поворотными (рис. 4). Конструктивно поворотные щиты являются более простыми, вследствие чего они получили широкое применение.

Зимние поворотные щиты в открытом положении располагаются горизонтально и не оказывают большого сопротивления входящему в градирию воздуху. При повороте щитов их задняя по направлению движения воздуха кромка должна опускаться вниз, а передняя подниматься вверх.

129. Рекомендуются применять механизированные зимние поворотные щиты с дистанционным управлением.

Водораспределительные системы и водоуловители

130. Водораспределительные системы градирен подразделяются на самотечные или безнапорные, представляющие собою систему магистральных и рабочих лотков, и напорные, состоящие из магистральных и рабочих трубопроводов.

131. Магистральные и рабочие лотки самотечных водораспределительных устройств изготавливаются из дерева или железобетона (рис. 18). Они должны иметь унифицированные элементы, что позволит осуществлять сборку системы на месте установки в градири.

132. Деревянные лотки должны быть плотными, исключаящими течи и должны изготавливаться из шпунтовых досок с жесткими обвязками. Особое внимание следует уделять конструкции стыков лотков по длине и в боковых сопряжениях.

Примечание. Опорные конструкции лотков не должны деформироваться в процессе эксплуатации, так как осадка опор нарушает горизонтальность дна лотков и их плотность, что может значительно увеличить неравномерность водораспределения.

133. Магистральные лотки следует использовать для устройства служебных мостков с перилами с одной стороны.

134. Породы и качество древесины пиломатериалов и заготовок для изготовления деталей лотков, точность и чистота их об-

работки должны устанавливаться в соответствии с ГОСТ 9685-61 «Заготовки из древесины хвойных пород» и МРТУ-34 «Технические условия на изготовление деревянных деталей градирен для тепловых электростанций».

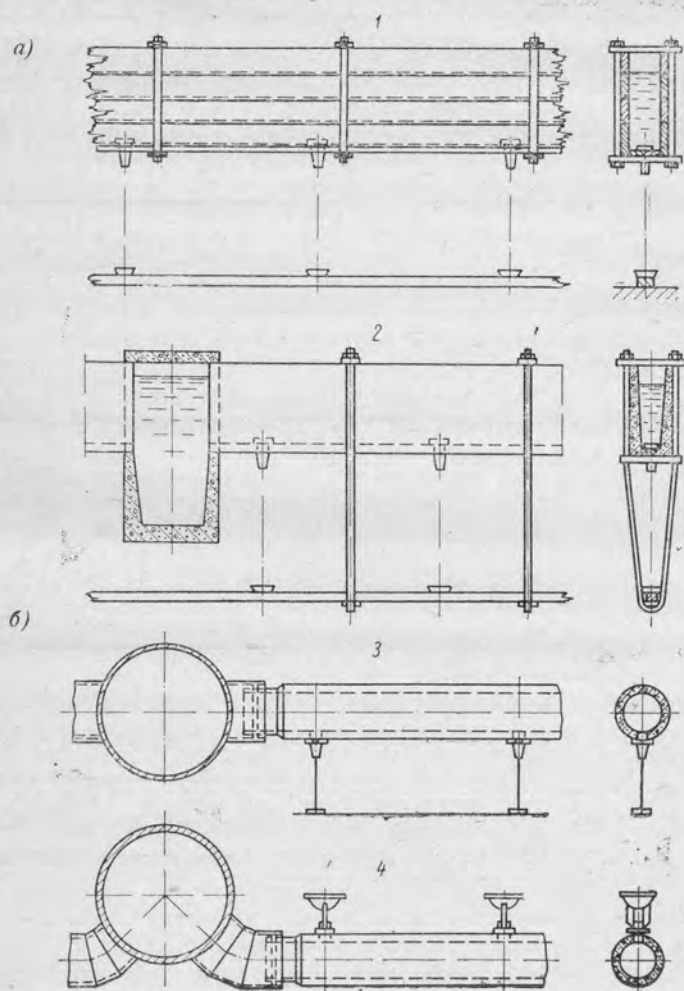


Рис. 18. Водораспределительные системы

а—самотечные; *б*—напорные; 1—с деревянными лотками; 2—с железобетонными лотками; 3—с металлическими магистральными и асбестоцементными рабочими трубопроводами (разбрызгивающее устройство насадок и тарелочка); 4—то же (разбрызгивающее устройство сопло-отражатель).

Все готовые детали деревянных лотков подлежат антисептированию минеральными невымываемыми водой антисептиками (ТУ 34-5604-68. «Пропитка деталей градирен водорастворимыми

антисептиками»), а крепежные изделия должны иметь антикоррозионное покрытие.

135. Ширина деревянных и железобетонных лотков должна быть не менее 0,1 м, а превышение бортов над максимальным горизонтом воды — $0,10 \div 0,12$ м.

136. Железобетонные лотки надлежит изготовлять из бетона, отвечающего требованиям, предъявляемым к бетону для 1-й зоны конструкций градирен (СН 374-67 «Указания по возведению монолитных железобетонных промышленных труб и башенных градирен»).

137. Трубопроводы напорных водораспределительных устройств выполняются из стальных или асбестоцементных труб (рис. 18); возможно также применение пластмассовых труб.

138. Магистральные и рабочие трубопроводы напорных водораспределительных устройств изготовляются и монтируются отдельными унифицированными звеньями. Соединение стальных труб производится путем сварки, а в отдельных местах на фланцах, соединение асбестоцементных труб — при помощи муфт.

139. Для промывки трубопроводов напорных водораспределительных систем с разбрызгивающими устройствами, выходное сечение которых направлено вверх, на концах трубопроводов следует устанавливать задвижки или заглушки.

140. Стальные трубопроводы водораспределительных систем должны иметь антикоррозионное покрытие (СНиП III-В. 6-62. «Защита строительных конструкций от коррозии»).

141. Для распределения воды по площади оросительного устройства в системах водораспределения применяются разбрызгивающие устройства следующих типов:

гидравлический насадок и разбрызгивающая тарелочка, выходное сечение которого направлено вниз (рис. 19, а) — в самотечных водораспределительных системах;

гидравлический насадок и разбрызгивающая тарелочка, сопло с отражателем (рис. 19, б и в) и брызгальное центробежное сопло со свободным выходом струи (рис. 19, г) — в напорных системах¹.

142. Разбрызгивающие устройства типа гидравлический насадок и разбрызгивающая тарелочка устанавливаются отдельно с креплением тарелочки к бруску, непосредственно расположенному на оросителе, или к бруску, подвешенному к лотку или трубопроводу (рис. 19, а), и совместно с креплением тарелочки на штоке, установленном в гидравлическом насадке (рис. 19, б).

Совместная установка гидравлического насадка и разбрызгивающей тарелочки в наибольшей мере обеспечивает их соосность, но лопасти штока способствуют засорению насадка. Поэтому применение разбрызгивающего устройства данной кон-

¹ В разбрызгивающих устройствах двух последних типов выходное сечение направлено вверх.

струкции в градирнях, охлаждающих воду, загрязненную относительно крупными механическими веществами, не рекомендуется.

При отдельной установке гидравлического насадка и разбрызгивающей тарелочки необходимо учитывать, что подвески разрезают факел разбрызгивания, создавая за собой неорошаемые сектора, а бруски затеняют оросительное устройство. В силу

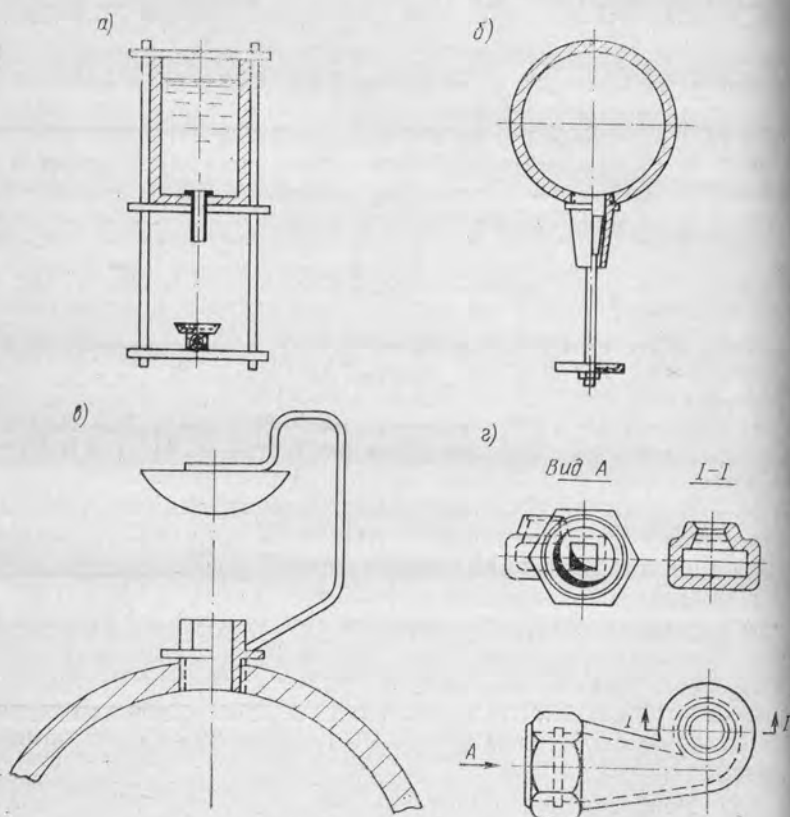


Рис. 19. Разбрызгивающие устройства градирен

а — гидравлический насадок и разбрызгивающая тарелочка; *б* — гидравлический насадок и разбрызгивающая тарелочка на центрирующем штоке; *в* — сопло-отрагатель; *г* — эвольвентное сопло.

этого подвески следует располагать на расстоянии примерно 0,15 м и более от оси разбрызгивающего устройства, а размеры брусков принимать минимальными.

143. В самотечных водораспределительных системах гидравлические насадки устанавливаются в отверстия в дне лотков и должны иметь заплечики; в напорных системах насадки и сопла присоединяются к трубопроводам на резьбе или хомутами.

144. Гидравлические насадки и тарелочки могут изготавливаться из технического фарфора, пластмассы, металла и других материалов, отвечающих условиям работы в градириях, в частности, не подверженных коррозии и допускающих очистку от отложений солей.

145. Разбрызгивающие устройства типа сопла с отражателем и разбрызгивающих центробежных сопел для водораспределительных систем градирен должны быть незасоряющимися и низконапорными. Величина пьезометрического напора над выходным сечением сопел — на более 1,5—2,0 м. Разбрызгивающие устройства этих типов так же, как и гидравлические насадки и тарелочки, могут изготавливаться из металла, пластмассы и других материалов, отвечающих условиям работы в градириях. В частности, для изготовления разбрызгивающих центробежных сопел может применяться ковкий чугун.

146. Для уменьшения уноса воды из градирен площадью орошения 2500 м² и более должна быть предусмотрена установка водоуловителей. В градириях меньшей площади орошения необходимость устройства водоуловителя определяется технико-экономическим расчетом.

147. Необходимые для технико-экономических расчетов коэффициенты аэродинамического сопротивления водоуловителей и эффективности водоулавливания устанавливаются по данным лабораторных исследований.

148. Ввиду недостаточности гидроаэродинамических исследований водоуловителей впредь до накопления необходимых опытных данных рекомендуется применять водоуловители, представленные на рис. 14.

Оросительные устройства

149. Оросительные устройства (рис. 20, 21) конструктивно подразделяются на щитовые (сплошные или решетчатые щиты), блочно-щитовые, решетниковые, ячеистые (из перекрестных рядов элементов оросителя), блочно-ячеистые, сотовые.

По способу установки (на балках их каркасов) оросительные устройства (за исключением решетниковых и ячеистых) могут быть опорной или подвесной конструкции.

150. Основными материалами для изготовления оросительных устройств служат дерево и асбестоцемент. Пластмассы не получили еще широкого распространения и применяются в опытно-попыском порядке.

151. Деревянные оросительные устройства капельного типа выполняются из решетин треугольного или прямоугольного сечения с шахматным, ступенчатым или каскадным расположением (рис. 21). Размеры решетин треугольного сечения, применяемых на практике, составляют 40×40 и 50×50 мм, прямоугольного сечения — 20×40 мм.

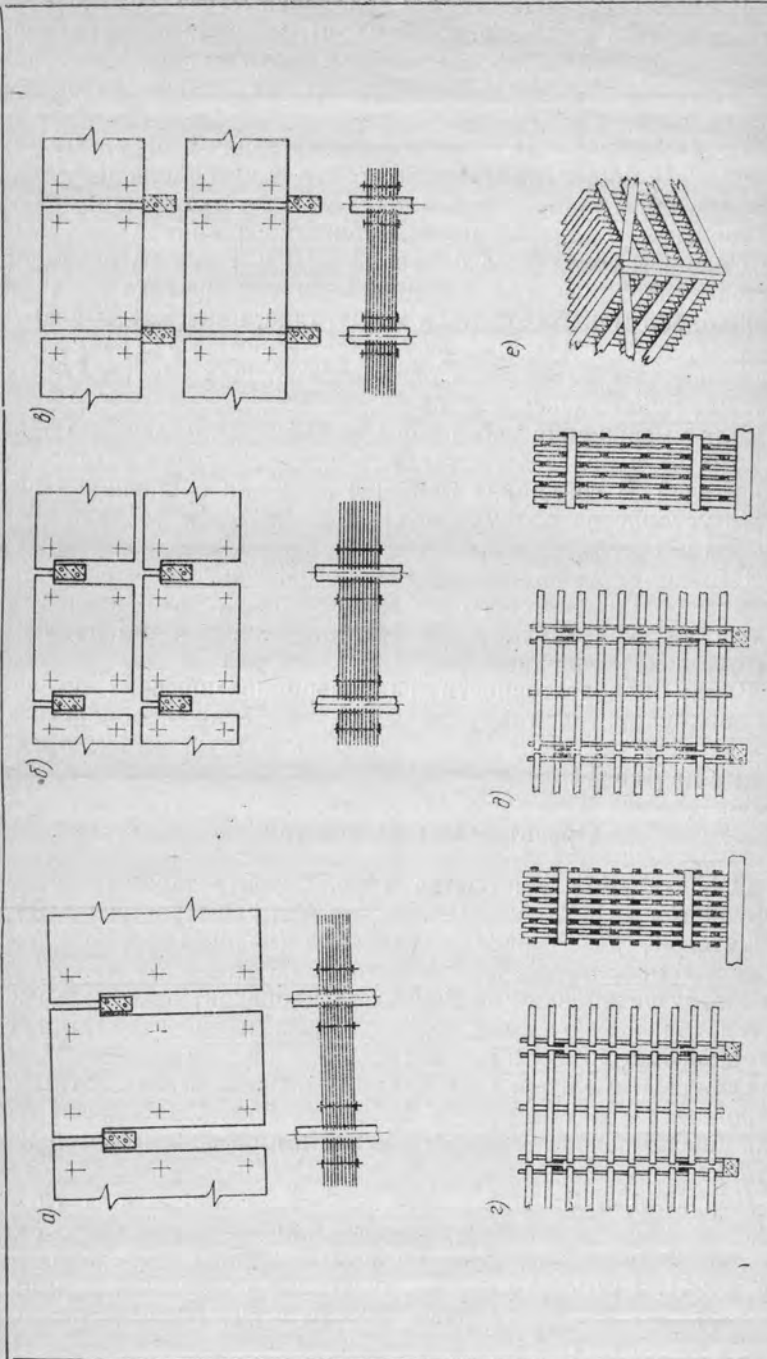


Рис. 20. Блочно-щитовые и ячеистые оросительные устройства
 а — одноярусное из асбестоцементных плоских щитов подвальной конструкции; б — двухъярусное из асбестоцементных плоских щитов подвальной конструкции; в — то же опорной конструкции; г — одноярусное деревянное блочно-щитовое опорной конструкции с деревянным распределительным лотком; д — то же с пластиковым распределительным лотком; е — блочно-щитовое деревянное; ж — то же с пластиковым распределительным лотком; з — то же с асбестоцементным лотком.

152. Решетка укладывается на подрешетки, являющиеся элементом каркаса оросительного устройства. При каскадном расположении решетин они крепятся к наклонным брускам (рис. 21, б).

153. Деревянные оросительные устройства пленочного и капельно-пленочного типов выполняются из досок толщиной 8,0—10,0 мм. Эти оросительные устройства могут иметь два и большее число ярусов. При этом первый верхний ряд досок второго и последующего ярусов должен быть установлен наклонно (рис. 6).

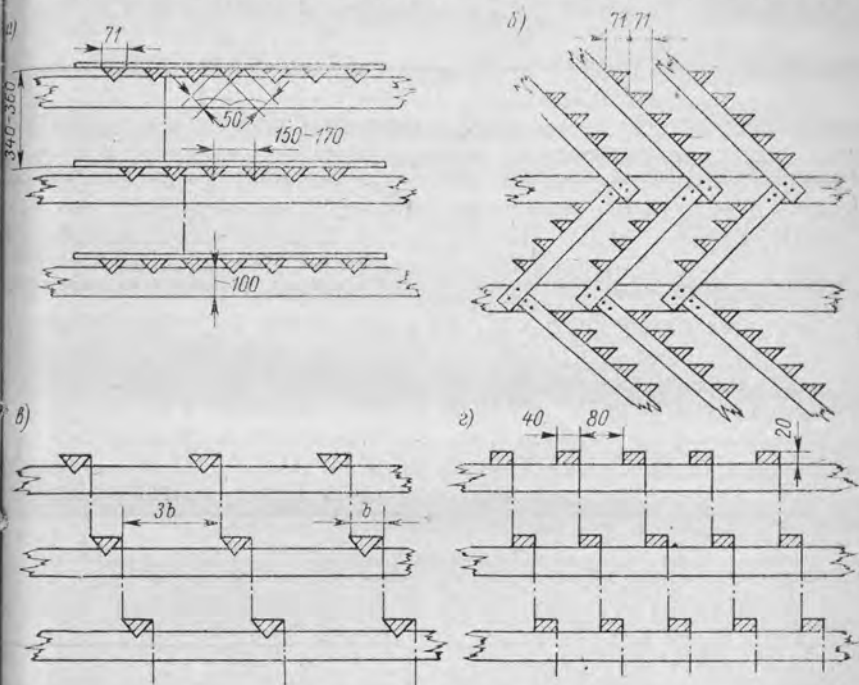


Рис. 21. Расположение решетки в капельно-пленочных оросительных устройствах
 а — шахматное; б — каскадное; в и г — ступенчатое.

Компоноваться деревянные оросительные устройства пленочного и капельно-пленочного типов должны из отдельных жестких блоков (рис. 20, г и 20, д), так как применение отдельных щитов не оправдало себя на практике.

154. Высота блоков одноярусных оросительных устройств пленочного и капельно-пленочного типов принимается равной $2,5 \div 3,0$ м, устройств с двумя и большим числом ярусов — $1,0 \div 1,5$ м для каждого яруса; ширина блоков составляет $1,2 \div 1,6$ м, длина (в направлении опорных балок) — $0,5 \div 0,8$ м.

Примечания: 1. Вес блоков должен соответствовать грузоподъемности подъемно-транспортного оборудования, используемого для монтажа оросительного и водораспределительного устройства. 2. Длина блока должна обеспечить его устойчивость.

155. Породы и качество древесины для изготовления деталей оросительных устройств, точность и чистота их обработки должны устанавливаться в соответствии с ГОСТ 9685-61 «Заготовки из древесины хвойных пород» и МРТУ-34 «Технические условия на изготовление деревянных деталей градирен для тепловых электростанций».

156. Все готовые детали деревянных оросителей подлежат антисептированию минеральными невымываемыми водоустойчивыми антисептиками (ТУ 34-5604-68 «Пропитка деталей градирен водораспределительными антисептиками»).

157. Все крепежные изделия деревянных оросителей должны иметь антикоррозионное покрытие (оцинковка, омеднение и др.).

158. Асбестоцементные оросительные устройства (рис. 5) выполняются из плоских или волнистых асбестоцементных листов (щитов). В оросительных устройствах из плоских асбестоцементных щитов (рис. 5, а), из волнистых щитов с параллельным вертикальным или горизонтальным расположением волн (рис. 5, б и в), а также из волнистых щитов с встречным горизонтальным расположением волны (рис. 5, г) необходима установка разделительных элементов, фиксирующих расстояние между щитами.

В оросительных устройствах из волнистых щитов с встречным вертикальным и чередующимися вертикальным и горизонтальным расположением волн (рис. 5, д) установка разделительных элементов не требуется, так как расстояние между щитами определяется высотой волн.

159. В оросительных устройствах опорной конструкции из плоских асбестоцементных щитов (рис. 20, в), не обладающих жесткостью, щиты должны быть связаны в блоки болтами, пропущенными через разделительные элементы. Эти элементы могут быть изготовлены из фарфора, пластмассы и других материалов.

160. Размеры опорных участков асбестоцементных щитов в оросительных устройствах опорной конструкции принимаются равными $50 \div 80$ мм, а в подвесной конструкции (запечники) — $60 \div 100$ мм.

Недостатком подвесной конструкции является необходимость вырезки в щитах запечников, что уменьшает охлаждающую поверхность; изготовление таких щитов не на заводе-поставщике, а на строительной площадке из готовых листов требует дополнительных работ.

161. Для удобства и облегчения монтажа и ремонта и для обеспечения общей устойчивости ряды щитов оросителей должны быть разбиты на участки с установкой на концах упорных брусев. Длина участков определяется шагом колонн каркаса оросительного устройства, к которым крепятся упорные брусья (рис. 22, а).

162. При применении для щитов оросителей плоских и волнистых стандартных асбестоцементных листов необходимо учитывать, что максимальные размеры плоских листов составляют:

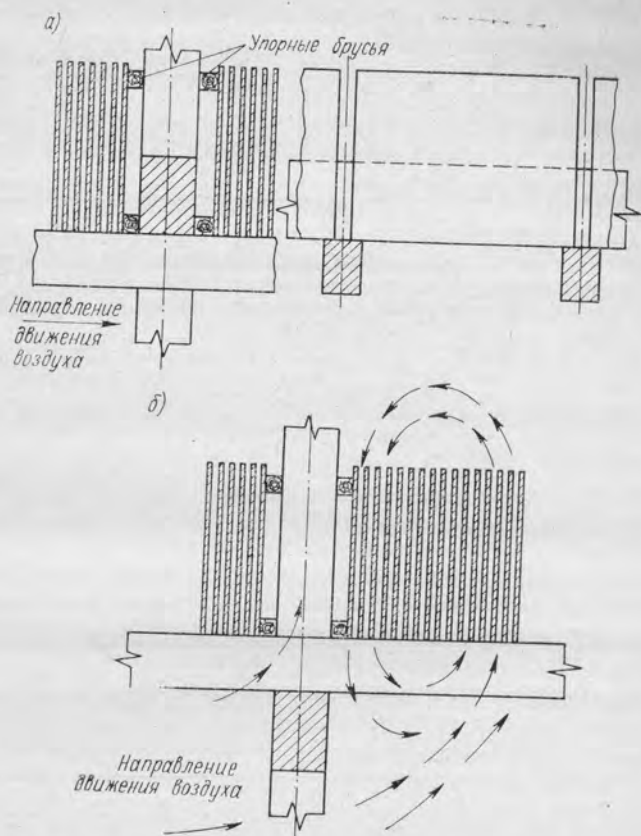


Рис. 22. Блочная клетка опорного каркаса блочно-щитовых оросительных устройств

а — опорные балки расположены по направлению движения воздуха; ригеля в пределах оросительного устройства; *б* — опорные балки уложены на ригелях, выступающих в воздухораспределительное пространство; выступающие ригеля ухудшают условия входа воздуха в оросительное устройство.

1200×1600 мм (ГОСТ 929-59), а волнистых — 994×2500 мм и 994×2800 мм (ГОСТ 8423-57).

Примечание. Плоские асбестоцементные листы стандартных размеров 1200×1600 мм в настоящее время не выпускаются. По специальным заказам изготавливаются листы не стандартных, близких к ним размеров.

163. Толщина щитов плоских и волнистых непрессованных принимается 8,0—10,0 мм, плоских прессованных — 6,0 мм.

164. Физико-механические свойства асбестоцементных щитов (водонасыщение, морозостойкость, сопротивление на изгиб и пр.), требования, предъявляемые к исходным материалам для их изготовления (цемент, асбест) и допускаемые отклонения в размерах щитов надлежит принимать по ГОСТ 929-59 и ГОСТ 8423-57.

165. Наиболее целесообразным следует считать применение (§ 158) одноярусных оросительных устройств из плоских, крупногабаритных щитов и двухъярусных оросительных устройств из плоских малогабаритных щитов и из волнистых щитов с параллельным горизонтальным расположением волн.

Примечание. Не рекомендуется применять как наименее эффективные оросительные устройства из волнистых щитов с встречным горизонтальным расположением и с чередующимися вертикальным и горизонтальным расположением волн, а по конструктивным соображениям (малая ширина листов) щиты с параллельным и встречным вертикальным расположением волн.

Каркас оросительных устройств и ветровые перегородки

166. Каркас оросительного устройства рассчитывается на следующие нагрузки: собственный вес каркаса; собственный вес водоуловителя и водораспределительного устройства, наполненного водою, с учетом монтажной нагрузки на служебные мостки, равной 100 кг на 1,0 м длины; собственный вес оросительного устройства, насыщенного водою, с учетом наличия водяной пленки, образующейся на его элементах; собственный вес ветровых перегородок; вес наледей на оросителе в зимнее время, равный примерно 10% от собственного веса оросителя.

167. Каркас оросительного устройства должен, как правило, выполняться из сборного железобетона.

Примечание. Деревянные каркасы оросительных устройств не оправдали себя в градирнях средней и большой производительности (площадь орошения свыше 500 м²) и поэтому не рекомендуется применять их в таких градирнях.

168. Элементы сборных железобетонных каркасов оросительных устройств должны выполняться из бетона (согласно СН 374-67 «Указания по возведению монолитных железобетонных промышленных труб и башенных градирен»).

169. Балки опорной конструкции под щиты или блоки оросительного устройства следует располагать по направлению движения воздушного потока, поступающего в градирню (рис. 22, а), а ригеля — в пределах оросителя с тем, чтобы избежать образования за ними вихрей, снижающих эффективность охлаждения воды в градирне (рис. 22, б).

170. При выборе размеров сечения балок и ригелей каркаса их ширину следует принимать минимально допустимой с тем, чтобы возможно меньше стеснить площадь оросительного устройства.

171. Ветровые перегородки следует располагать в пределах воздухораспределительного пространства так, чтобы верх перегородок примыкал к низу оросительного устройства, а низ перегородок располагался на 0,5 м ниже нормального горизонта воды в водосборном бассейне.

172. Секционные перегородки конструктивно разделяются на две части: нижнюю, в пределах водосборного бассейна, и верхнюю — выше него. Нижняя часть этих перегородок, как правило, выполняется из железобетона, верхняя их часть, а также ветровые перегородки выполняются обычно из антисептированного пиломатериала в соответствии с указаниями (§ 155, 156). Секционные перегородки должны быть плотными, для чего их следует выполнять из шпунтовых досок. В ветровых перегородках досчатая обшивка выполняется с пролетами в 10—20 м.

Водосборные бассейны

173. Водосборные бассейны подразделяются на емкостные — собственно водосборные бассейны (рис. 23) и безъемкостные — водосборные поддоны.

Водосборные поддоны применяются в отдельных случаях, например, при совместной сезонной работе градирен с водоохранилищами-охладителями.

174. Глубина воды в водосборных бассейнах устанавливается из условия создания на площадке обслуживаемого градирнями предприятия аварийного и противопожарного запасов воды (аварии в системе подкачки водоснабжения, в самой оборотной системе и др.). В типовых проектах градирен глубина воды принимается 1,5—2,0 м, а величина снижения горизонта воды ниже нормального в пределах 1,0 м.

Примечание. Сработка в бассейнах градирен тепловых электростанций слоя воды в 1,0 м обеспечивает нормальную работу системы водоснабжения без подкачки в течение 4—6 часов.

175. Превышение борта бассейна над нормальным горизонтом воды в нем и над уровнем планировки площадки, прилегающей к градирне, принимается равным 0,2—0,3 м.

176. Глубина воды в водосборных поддонах принимается не менее 0,2 м.

177. Водосборные бассейны, все их части (днище, стенки и перегородки) выполняются из монолитного или сборного железобетона (СН 374-67 «Указания по возведению монолитных железобетонных промышленных труб и башенных градирен»).

178. Водосборные бассейны больших размеров должны быть разрезаны температурно-усадочными швами.

179. Внутренние поверхности стенок и днище водосборных бассейнов, а также поверхности секционной перегородки должны быть покрыты окрасочной гидронзоляцией на основе эпоксидных смол или холодной асфальтовой мастикой (ВСН 167-67

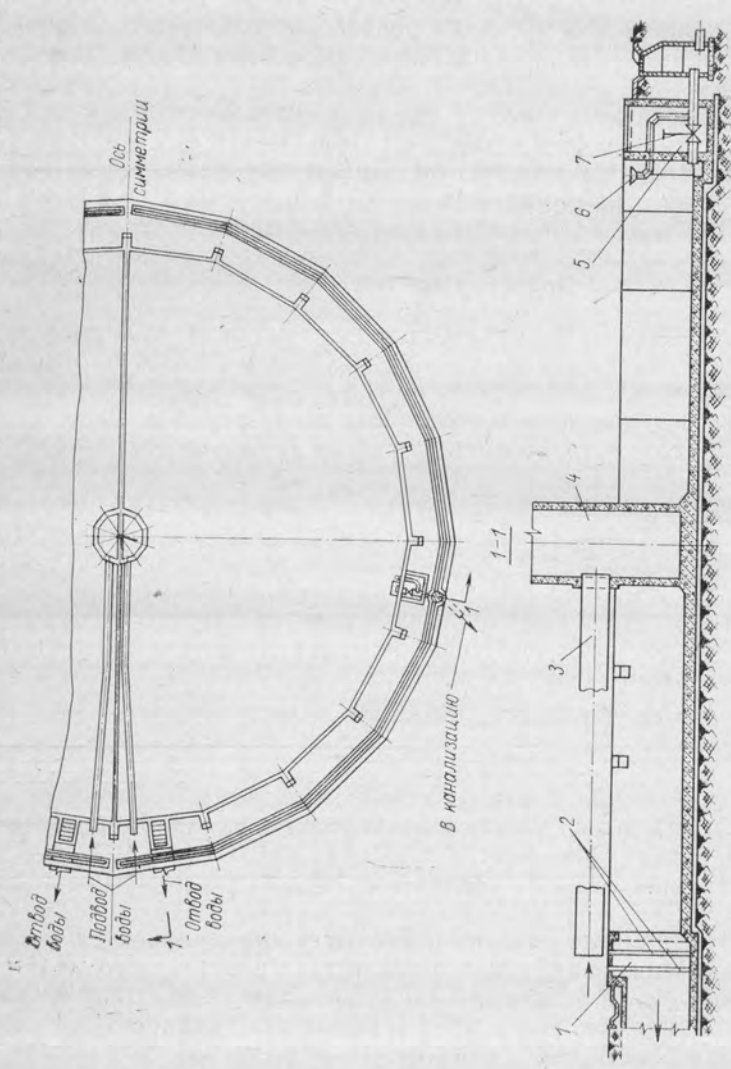


Рис. 23. Водосборный бассейн

1—водосборный колодезь; 2—пазы для решеток и люков; 3—подводящий трубопровод; 4—стояк; 5—канализационный колодезь; 6—переливной трубопровод; 7—задвижка.

«Технические правила устройства холодной асфальтовой гидроизоляции и безрулонных покрытий, «Энергия», 1969). Наружную поверхность стенок бассейна следует покрывать горячей битумной мастикой (СНиП III-В. 9-62 «Гидроизоляция и пароизоляция. Правила производства и приемки работ»).

180. Гидроизоляция внутренних поверхностей водосборных бассейнов должна производиться после окончания всех строительных работ по градириям.

181. Поверх гидроизоляционного покрытия днища водосборных бассейнов должна быть уложена защитная бетонная корка, создающая уклон $i \geq 0,005$ для стока воды при очистке бассейна.

182. Статический расчет бассейна производится следующим образом. Днище рассчитывается, как плита на упругом основании на нагрузку от каркаса (несущего водоуловительное, водораспределительное, оросительное устройство), передающуюся на плиту через фундаменты колонн каркаса.

Стенки рассчитываются, как консольные плиты, заделанные в днище бассейна, для двух случаев: бассейн наполнен, боковая засыпка грунтом отсутствует и бассейн опорожнен и стенки воспринимают давление грунта с временной нагрузкой на засыпке.

Секционная перегородка рассчитывается на одностороннее давление воды.

183. Водосборный бассейн, а в секционных градириях каждая секция бассейна должна иметь выпуск в канализационную сеть для опорожнения бассейна и переливную трубу с приемной воронкой для сброса воды в канализацию при переполнении бассейна.

184. На трубопроводе для опорожнения бассейна следует устанавливать задвижки, вынесенные в колодцы за пределы бассейна. К этим трубопроводам за задвижками приключается переливной трубопровод (рис. 23).

185. Для очистки воды от крупных плавающих и взвешенных веществ на водоотводящих коммуникациях градирен должны быть установлены грубые решетки и сетки, вынесенные за пределы бассейна. Решетки и сетки должны быть оборудованы подъемными механизмами для подъема на очистку и промывку. При обслуживании предприятия рядом градирен и центральной насосной станцией рекомендуется применение централизованных и механизированных решеток и сеток. («Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей»).

186. Площадка вокруг градирен по их периметру должна быть заасфальтирована на ширину не менее 3,0 м и должна заканчиваться водосборной канавкой с отводом поверхностных вод в колодец промливневой канализационной сети (рис. 23).

187. Площадка вокруг градирен должна быть освещена.

VIII. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ГРАДИРЕН

188. Задачей технико-экономических расчетов градирен является выбор оптимальных: производительности градирен (расхода воды в системе водоснабжения), типа и площади орошения градирен, типа и параметров обслуживаемого градириями оборудования; конструкций главных частей градирен и их основных размеров.

189. Техничко-экономические расчеты выполняются в соответствии с типовой методикой Академии наук СССР, общей для всех отраслей народного хозяйства СССР, и отраслевыми методиками, учитывающими особенности той или иной отрасли промышленности.

190. При решении указанных в § 188 вопросов в качестве экономического критерия для сравнения возможных вариантов принимается разность приведенных затрат между рассматриваемыми вариантами и вариантом, принятым за базовый. Оптимальным является вариант с наименьшей разностью приведенных затрат.

191. Суммарные приведенные затраты, при одновременных капитальных вложениях (срок строительства не более года) и постоянных ежегодных издержках производства определяются по формуле $Z = pK + I_n$, где p — коэффициент приведения, установленный для данной отрасли промышленности; K — единовременные капитальные вложения; I_n — ежегодные издержки производства при нормальной эксплуатации.

192. При сроке строительства более года, когда капитальные вложения, а в общем случае также и ежегодные издержки производства меняются по годам расчетного периода, за пределами которого капитальные вложения не требуются, а ежегодные издержки практически постоянны, суммарные затраты определяются путем приведения к какому-либо году расчетного периода. При приведении к году начала строительства суммарные приведенные затраты вычисляются по формуле $Z = p \sum_{t=1}^T (K_t + I_t) (1+p)^T + I_n$, где K_t и I_t — капитальные вложения и ежегодные издержки в год t ; T — расчетный период.

193. При определении величины капитальных вложений необходимо учитывать затраты на градирни, сооружения и оборудование системы технического водоснабжения, на оборудование, обслуживаемое градирнями, и связанные с ним сооружения. В случае снижения мощности предприятия, обусловленного режимом работы градирен, необходимо учитывать также дополнительные капитальные вложения в замещающую мощность.

Примечание. Для тепловых электростанций величина замещающей мощности определяется, как сумма разности величины снижения мощности турбоагрегатов при высоких температурах охлаждающей воды и разности величины мощности, потребляемой циркуляционными насосами.

194. При определении ежегодных издержек производства следует учитывать: 1) себестоимость дополнительно выработанной

или недовыработанной продукции или же изменения ее себестоимости, обусловленные различием температуры охлаждающей воды в сравниваемых вариантах; 2) затраты на приобретение топлива, сырья, материалов, энергии, необходимых для осуществления производственного процесса; 3) отчисления на реновацию; 4) отчисления на капитальный ремонт.

Эксплуатационные затраты, включающие расходы на текущий ремонт, заработную плату, общепроизводственные расходы.

195. Температуры охлажденной воды по сравниваемым вариантам определяются по среднемесячным значениям тепловой и гидравлической нагрузок градирни и по метеорологическим факторам среднего за многолетний период года.

196. Ежегодные отчисления на реновацию и капитальный ремонт рекомендуется принимать по временным нормам, составленным ВГПИ «Теплоэлектропроект» (табл. 7).

Таблица 7

Нормы амортизационных отчислений по башенным противоточным градирням

Конструктивные части градирен	Амортизационные отчисления, %		Конструктивные части градирен	Амортизационные отчисления, %	
	на реновацию	на капитальный ремонт		на реновацию	на капитальный ремонт
Вытяжные башни			Оросительные устройства		
Железобетонные . . .	2,5	1,3	Пленочные, асбестоцементные	6,7	2,7
Металлические каркаснообшивные:			Капельно-пленочные, деревянные, антисептированные	8,3	7,5
металлический каркас	3,3	2,3	Капельные, деревянные (решетниковые), антисептированные	8,3	5,0
обшивка деревянная антисептированная	7,7	3,0	Каркас оросительных устройств (железобетонный)	4,0	2,0
обшивка асбестоцементная с антикоррозийной защитой	6,7	3,0	Водосборные бассейны и фундаменты (железобетонные)	2,0	1,0
Водоуловители			Оборудование		
Деревянные антисептированные	7,7	3,0	Разбрызгивающие устройства	10,0	—
Асбестоцементные . .	6,7	2,7	Задвижки		
Водораспределительные системы			металлические лестницы, площадки, решетки, сетки с ручным управлением и пр.	5,0	2,5
Металлические трубопроводы	5,0	2,5	сервомоторы, светозащита и пр.	6,7	3,0
Асбестоцементные трубопроводы	6,7	2,7			
Деревянные лотки, антисептированные . . .	8,3	7,5			
Железобетонные лотки	4,0	2,0			

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Основные параметры ряда башенных противоточных градирен большой производительности

Наименование тепловых электростанций	Производительность Q , $m^3/ч$	Площадь орошения F , m^2	Основные размеры			
			Высота $H_{гр}$, m	Диаметр, m		
				основания	горловины	устья башни

Градирни с гиперболическими железобетонными вытяжными башнями

Лагиша (ПНР)	17000	3300	90,0	72,0	36,0	36,8
Почерады (ЧССР)	21900	4000	100,0	79,6	45,0	46,2
Типовая (СССР)	9000—11000	1520	55,3	48,0	25,0	26,0
Старобешевская (СССР)	28000	4000	90,0	78,0	43,8	46,6
Фидлерс Ферри (Англия)	30600	—	114,5	91,5	50,0	52,7
Биг Сэнди (США)	27000	3600	97,2	74,5	39,5	42,5
Кистон и Конемо (США)	31800	4300	99,1	76,3	40	43,0
Парадайз (США)	62000	6500	133,0	97,5	50	52,5

Градирни с металлическими каркасно-обшивными башнями

Типовая (СССР)	6600—8400	1200	48,3	40,0	—	26,0
Типовая (СССР)	8800—11200	1600	53,5	46,0	—	30,4
Криворожский металлургический завод (СССР)	18000	2600	66,15	58,9	—	37,7
Ульяновская (СССР)	8600—25000	3200	80,8	70,74	37,8	38,8
Ново-Воронежская (СССР)	28000	4000	89,72	79,02	40,1	42,9

Примечание: Градирни площадью орошения 1200 и 1600 m^2 имеют двенадцатигранные пирамидальные металлические каркасно-обшивные башни, а градирни площадью орошения 2600 m^2 —шестнадцатигранные пирамидальные; градирни площадью орошения 3200 и 4000 m^2 имеют двадцатигранные башни, приближающиеся по форме к гиперболическим.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГРАДИРЕН

1. Методы технологического расчета

Существующие методы технологического расчета башенных противоточных градирен разделяются на точные и упрощенные. Однако такая классификация условна, поскольку все методы расчета являются приближенными,

так как они разработаны в предположении, что процесс охлаждения воды происходит в пределах оросительного устройства градирен. Это допущение дает возможность не учитывать охлаждения воды при ее распределении по площади оросительного устройства, т. е. в факелах, создаваемых разбрызгивающими устройствами водораспределительной системы, а также в капельном потоке, стекающем с оросительного устройства в воздухораспределительном пространстве.

Исключение из рассмотрения поверхностей охлаждения капельных потоков существенно упрощает решение задачи технологического расчета и идет в запас. Однако для окончательного ее решения одного этого допущения недостаточно и поэтому все существующие методы содержат еще дополнительные допущения. В зависимости от того, какие дополнительные допущения приняты в том или ином методе расчета определяется его точность, трудоемкость и основное отличие от других методов.

Большая трудоемкость расчетов по упрощенным и тем более точным методам была значительным препятствием на пути их широкого применения в практике проектирования градирен. Именно это обстоятельство прежде всего обусловило необходимость выполнения технологических расчетов на ЭВМ. Это дало возможность решить ряд вопросов, ответ на которые не может быть получен при расчете ручным способом. Кроме того, представилось возможным свести к минимуму число дополнительных допущений и тем самым повысить точность расчета. Все это привело к тому, что расчет на ЭВМ стал основным методом технологического расчета градирен.

Предварительные расчеты, выполняемые в небольшом объеме, можно вести по упрощенным методам, в том числе по сравнительно простому методу Л. Д. Бермана.

Этот метод разработан для случая, когда требуется установить основные размеры градирни: поверхность охлаждения оросительного устройства или его объем, а затем высоту вытяжной башни. Однако он может быть применен и на случай, когда конструкции главных частей градирен и их основные размеры заданы и требуется определить эффективность охлаждения воды в градирне.

Первый случай расчета проще второго, но он сравнительно редко встречается в практике, поэтому далее рассмотрен ход расчета, отвечающий второму случаю.

Исходя из уравнения Меркеля и преобразовав его, Л. Д. Берман привел метод расчета тепло- и массообмена к методу обычного расчета теплопередачи. Заменяя в пределах температурного перепада кривую зависимости теплосодержания насыщенного воздуха у поверхности воды $i'' = F(t)$ прямой линией и введя поправку на связанную с этим погрешность, Л. Д. Берман получил следующие расчетные уравнения для противоточных градирен:

$$\Delta i_{cp} = \frac{c_{ж} \gamma_{ж} Q \Delta t}{\varepsilon k_{\Sigma}^2 \rho_{жv} F n_{op}}, \quad (16) \quad \Delta i_{cp} = \frac{\Delta i_1 - \Delta i_2}{2,31 g \frac{\Delta i_1 - \delta i''}{\Delta i_2 - \delta i''}}, \quad (17)$$

где $\Delta i_1 = i_1'' - i_2$ — разность теплосодержания воздуха на входе в оросительное устройство; $\Delta i_2 = i_2'' - i_1$ — то же на выходе из оросительного устройства.

Поправка, учитывающая погрешность при замене кривой $i'' = F(t)$ прямой линией, определяется формулой

$$\delta i'' = \frac{i_1'' + i_2'' + 2i_m''}{4}, \quad (18)$$

где i_m'' — теплосодержание насыщенного воздуха при температуре $t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}$.

Теплосодержание воздуха, выходящего из оросительного устройства, подсчитывается по формуле:

$$i_2 = i_1 + \frac{\Delta t}{\epsilon \lambda}, \quad (19)$$

где $\lambda = \frac{\gamma_{в.с} V}{\gamma_{ж} Q}$ — относительный расход воздуха, кг/кг.

Входящий в эту последнюю формулу, а также в формулу (16) поправочный множитель ϵ находится по графику (рис. 24)

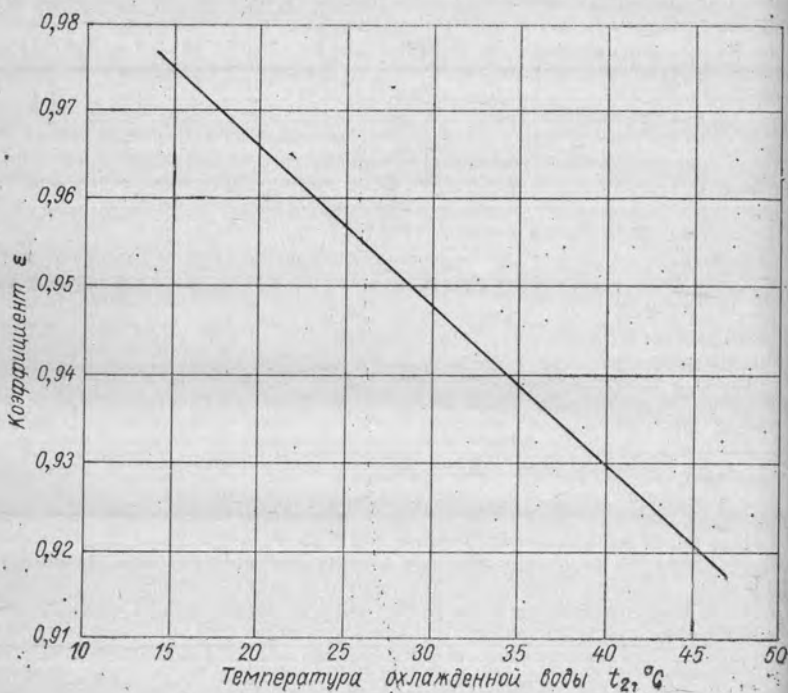


Рис. 24. Поправочный множитель ϵ в упрощенном уравнении теплового баланса.

Температура выходящего воздуха при обычных плотностях орошения, температурных перепадах в градусах для летнего периода может быть найдена по следующей приближенной формуле:

$$t_2 = t_1 + (t_{ср} - t_1) \frac{i_2 - i_1}{i_m^n - i_1}. \quad (20)$$

Если известен расход (скорость) воздуха в оросительном устройстве, то формулы (16) и (17) определяют температуру охлажденной воды. Эти уравнения надо решать совместно путем последовательного приближения, задавая температурой охлажденной воды. Для установления расхода (скорости) воздуха в оросителе и тем самым температуры охлажденной воды

необходимо задаться несколькими его значениями, обычно достаточно тремя, и при каждом расходе определить температуру охлажденной воды и параметры воздуха, выходящего из оросительного устройства.

На этом заканчивается первый этап расчета (тепловой). Зная параметры выходящего воздуха, представляется возможным перейти ко второму этапу расчета (аэродинамическому) и для каждого расчетного случая, пользуясь формулами (5) и (7), вычислить силу тяги и сопротивление градирен.

Последним этапом расчета является определение действительного расхода воздуха в градири, а следовательно и температуры охлажденной воды.

Эта задача наиболее просто решается графическим способом. Строятся кривые зависимости температуры воды, силы тяги и сопротивления градири от расхода (скорости) воздуха, т. е. $t_2 = f(V)$, $Z = f(V)$ и $Z' = f(V)$. Точка пересечения кривых $Z = f(V)$ и $Z' = f(V)$ определяет действительный расход воздуха в градири V и соответствующую этому расходу температуру охлажденной воды.

2. Пример технологического расчета градирен по упрощенному методу

Требуется определить температуру охлажденной воды в башенной противоточной градири площадью орошения $F = 1600 \text{ м}^2$, проектируемой по схеме, представленной на рис. 11.

Исходными данными для расчета являются:

Технологические данные

Гидравлическая нагрузка	10000 $\text{м}^3/\text{ч}$
Температурный перепад в градири	8,0°C
Температура наружного воздуха	20,0°C
Относительная влажность воздуха	60%
Барометрическое давление	745 мм рт. ст
Распределение расхода воды и воздуха, поступающего в оросительное устройство по его площади	равномерное

Конструктивные данные

Вытяжная башня двенадцатигранная пирамидальной формы. Высота башни (от верха оросительного устройства до выходного сечения)	43,0 м
Воздуховодные окна с воздухонаправляющими козырьками. Высота окон	3,75 м
Оросительное устройство одноярусное, из деревянных блоков. Высота устройства постоянная (рис. 6)	3,0 м
Расстояние между досками в рядах оросительного устройства в свету	22,0 мм

Из приведенных исходных данных следует, что градирия является однозонной и поэтому при расчете можно ограничиться рассмотрением ее фрагмента площадью орошения $f = 1,0 \text{ м}^2$. Это несколько упрощает вычисления.

Расчет градиен производится при заданных трех значениях скорости воздуха в полном сечении оросительного устройства: $v_{op}=0,7; 0,9$ и $1,1$ м/сек.

Первый этап расчета (тепловой) заключается в определении температуры охлажденной воды для каждого из трех намеченных расчетных случаев.

Первый расчетный случай ($v_{op}=0,7$ м/сек). Определяем величину плотности орошения:

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{10000}{1600} = 6,25 \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{ч}$$

и относительный расход воздуха

$$\lambda = \frac{3600 V_{уд} \gamma_{в.с}}{q \gamma_{ж}} = \frac{3600 \times 0,7 \times 1,164}{6,25 \times 1000} = 0,47.$$

Удельный вес сухого воздуха при температуре $\theta=20^\circ\text{C}$ находим по таблице приложения V.

Задаемся далее температурой охлажденной воды $t_2=27,0^\circ\text{C}$. Тогда температура горячей воды $t_1=t_2+\Delta t=27,0+8,0=35,0^\circ\text{C}$.

По диаграмме теплосодержания воздуха, приведенной в приложении VII, находим теплосодержание воздуха, входящего в оросительное устройство $i_1=10,2$ ккал/кг. Далее по той же диаграмме определяем теплосодержание насыщенного воздуха ($\varphi=100\%$) при температуре охлажденной воды ($t_1=27,0^\circ\text{C}$) и горячей ($t_2=35,0^\circ\text{C}$), а также при средней (арифметической) температуре воды ($t_{cp}=31,0^\circ\text{C}$). Соответственно имеем $i_2''=20,6$; $i_1''=31,4$; $i_m''=25,6$ ккал/кг.

Теплосодержание воздуха, выходящего из оросительного устройства

$$i_2 = i_1 + \frac{\Delta t}{\varepsilon \lambda} = 10,2 + \frac{8,0}{0,95 \times 0,47} = 28,1 \text{ ккал/кг},$$

где $\varepsilon = 0,95$ (рис. 24).

Температура выходящего воздуха (по приближенной формуле)

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \theta_1 + (t_{cp} - \theta_1) \frac{i_2 - i_1}{i_m'' - i_1} = \\ &= 20,0 + (31,0 - 20,0) \frac{28,1 - 10,2}{25,6 - 10,2} = 32,8^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Зная i_2 и θ_2 , находим по диаграмме приложения VII относительную влажность воздуха, выходящего из оросительного устройства, $\varphi_2 = 100\%$.

Далее по формулам (16) и (17) вычисляем значения величин Δi_{cp} , сходимостью которых явится показателем правильности заданной величины температуры охлажденной воды t_2 . Предварительно находим величины $\delta i''$ и β_{vx} величину $\delta i''$ — по формуле (18)

$$\delta i'' = \frac{i_1'' + i_2'' - 2i_m''}{4} = \frac{31,4 + 20,6 - 2 \times 25,6}{4} = 0,20;$$

величину β_{vx} — по формуле (1)

$$\beta_{vx} = A V_{уд}^{0,6} q^{0,4} = 9,3 \times 2520^{0,6} \times 6,25^{0,4} = 2150 \text{ кг}/\text{м}^3,$$

где $A = 9,3$ — коэффициент, характеризующий интенсивность массоотдачи, определен по графику на рис. 9.

Коэффициент перехода k_p принимаем равным 0,95,

Обращаясь к формуле (16) определяем

$$\Delta i_{\text{ср}} = \frac{c_{\text{ж}} \gamma_{\text{ж}} q \Delta t}{\varepsilon k_{\text{э}} \varphi_2 \lambda_{\text{ор}} h_{\text{ор}}} = \frac{1,0 \times 1000 \times 6,25 \times 8,0}{0,95 \times 0,95 \times 2150 \times 3,0} = 8,58 \text{ ккал/кг.}$$

Затем по формуле (17) находим

$$\Delta i_{\text{ср}} = \frac{\Delta i_1 - \Delta i_2}{2,3 \lg \frac{\Delta i_1 - \delta i''}{\Delta i_2 - \delta i''}} = \frac{3,3 - 10,4}{2,3 \lg \frac{3,3 - 0,2}{10,4 - 0,2}} = 5,97 \text{ ккал/кг,}$$

где $\Delta i_1 = i_1'' - i_2 = 31,4 - 28,1 = 3,3 \text{ ккал/кг;}$

$\Delta i_2 = i_2'' - i_1 = 20,6 - 10,2 = 10,4 \text{ ккал/кг.}$

Существенное расхождение найденных значений $\Delta i_{\text{ср}}$ и превышение первого из них над вторым указывает на то, что принятая температура охлажденной воды $t_2 = 27^\circ\text{C}$ была занижена. Задаемся новой температурой охлажденной воды и повторяем расчет. Путем последовательного приближения находим $t_2 = 28,6^\circ\text{C}$. Параметры выходящего воздуха при этом будут $\theta_2 = 32,6^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 100\%$.

Результаты этих расчетов сведены в таблицу, в которой даны также и результаты подсчетов двух других расчетных случаев при $v_{\text{ор}} = 0,9$ и $1,1 \text{ м/сек.}$

Таблица

Расчетный случай	Скорость воздуха в полном сечении оросителя $v_{\text{ор}}$, м/сек	Температура охлажденной воды t_2 , °C	Сила тяги в градирне Z , мм вод. ст.	Сопротивление градирни Z' , мм вод. ст.
I	0,7	28,6	2,80	1,46
II	0,9	26,9	2,27	2,41
III	1,1	25,3	1,78	3,64

Зная величины t_2 , θ_2 и φ_2 , можно приступить ко второму этапу расчета (аэродинамическому), т. е. к определению силы тяги в градирне и ее сопротивления.

Первый расчетный случай ($v_{\text{ор}} = 0,7 \text{ м/сек.}$) Для определения силы тяги в градирне по диаграмме приложения IX находим удельный вес воздуха, входящего в градирню ($\theta_1 = 20^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 60\%$) и выходящего ($\theta_2 = 32,6^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 100\%$) из градирни; $\gamma_1 = 1,174$ и $\gamma_2 = 1,111 \text{ кг/м}^3$.

Сила тяги

$$Z = (H_6 + 0,5h_{\text{ор}})(\gamma_1 - \gamma_2) = (43,0 + 0,5 \times 3,0)(1,174 - 1,111) = 2,80 \text{ мм вод. ст.}$$

Для определения величины сопротивления градирни предварительно находим коэффициент аэродинамического сопротивления оросительного устройства $\zeta_{\text{ор}}$ и затем общий коэффициент сопротивления градирни $\zeta_{\text{общ}}$.

Для вычисления $\zeta_{\text{ор}}$ на $1,0 \text{ м}$ высоты служит формула (10):

$$\zeta_{op 1,0} = k \left(\frac{s}{s_0} \right)^{-n} + (r - ps) \frac{q}{8,0} = 1,10 \left(\frac{22,0}{35,0} \right)^{-1,16} + (4,40 - 0,04 \times 22,0) \frac{6,25}{8,0} = 4,64.$$

Значение входящих в эту формулу величин k , s_0 , n , r и p находим по данным табл. 4.

Полный коэффициент аэродинамического сопротивления оросительного устройства $\zeta_{op} = \zeta_{op 1,0} h_{op} = 4,64 \times 3,0 = 12,9$. Определив ζ_{op} , находим по графику на рис. 11 общий коэффициент сопротивления градири $\zeta_{обш} = 46,4$, причем в нашем случае площадь входных окон составляет $F_{вх} = 530 \text{ м}^2$, а $F_{вх}/F_{op} = 0,334$. Приняв $k_z = 1,10$, вычисляем величину сопротивления градири

$$Z' = \frac{k_z \zeta_{обш} v_{op}^2}{2g} \left(\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} \right) = \frac{1,10 \times 46,4 \times 0,7^2 (1,174 + 1,111)}{2 \times 9,81 \times 2} = 1,46 \text{ мм вод. ст.}$$

Аналогичные подсчеты производим для двух других расчетных случаев и их результаты сводим в таблицу.

На основании полученных данных строим график зависимости температуры охлажденной воды, силы тяги и сопротивления градири от скорости воздуха в полном сечении оросительного устройства (рис. 25). Точка пересечения кривых $Z = f(v_{op})$

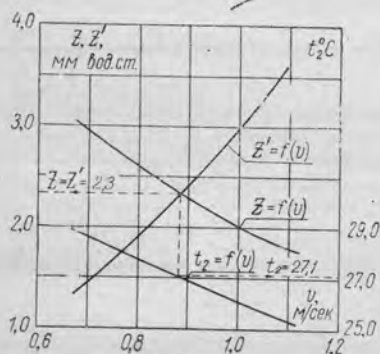


Рис. 25. Графики зависимости $Z = f(v_{op})$, $Z' = f(v_{op})$ и $t_2 = f(v_{op})$ для определения температуры охлажденной в градири воды.

и $Z' = f(v_{op})$ определяет скорость воздуха в градири и соответствующую ей искомую температуру охлажденной воды $t_2 = 27,1^\circ \text{С}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

1. Методика расчета разбрызгивающих устройств

Применяемые в практике разбрызгивающие устройства типа гидравлический насадок и разбрызгивающая тарелочка, сопло-отражатель, центробежные сопла и другие распределяют воду по площади оросительного устройства неравномерно по кольцу, размер которого зависит от типа разбрызгивающего устройства, его размеров, напора над выходным сечением насадка или сопла и их расположением над оросительным устройством по высоте.

Неравномерность распределения воды по кольцу орошения в значительной мере зависит также от структуры факела разбрызгивания, создаваемого разбрызгивающим устройством. При осесимметричном факеле плотность орошения изменяется в пределах кольца орошения только по радиусу кольца, возрастая от нуля до максимума и затем уменьшаясь до нуля. В случае осесимметричного факела разбрызгивания плотность орошения изменяется как по ширине кольца орошения, так и по его окружности.

Разбрызгивающие устройства типа гидравлический насадок и разбрызгивающая тарелочка и сопло-отражатель образуют осесимметричные факелы разбрызгивания, а эвольвентное сопло — осенесимметричный.

Неравномерность распределения плотности орошения по кольцу орошения, образуемого разбрызгивающим устройством, требует такого расположения устройств в плане, при котором взаимное перекрытие их колец орошения позволяло бы достичь минимальной неравномерности распределения плотности орошения по площади оросительного устройства.

Чтобы установить неравномерность водораспределения, необходимо определить плотность орошения в ряде точек по площади оросительного устройства, что производится путем суммирования плотностей орошения, обусловленных поступлением воды в данную точку от всех разбрызгивающих устройств, в зону разбрызгивания которых попадает эта точка.

Таким образом ход расчета будет следующим: 1) составляется задание для расчета, т. е. согласно указаниям § 69 определяются все необходимые исходные расчетные данные; 2) задается сетка расположения разбрызгиваю-

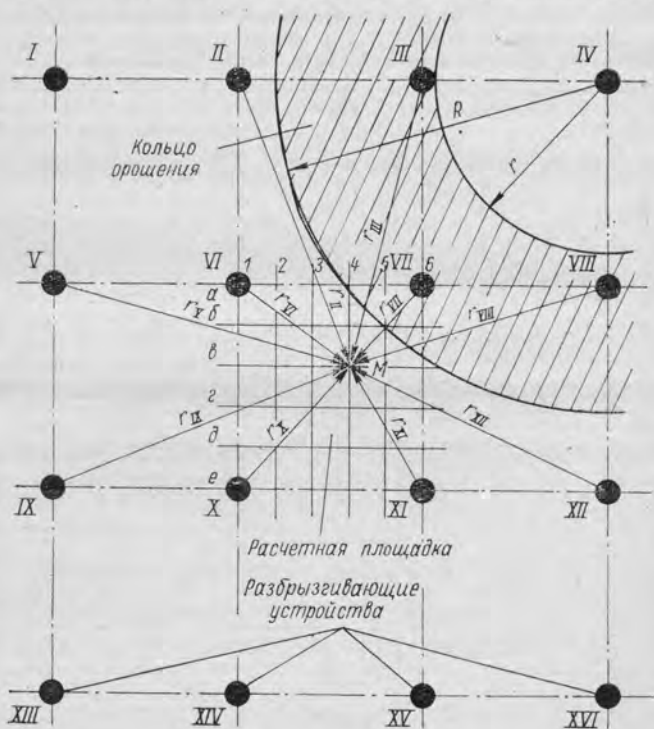


Рис. 26. Расчетная схема разбрызгивающих устройств.

щих устройств в плане; 3) определяется площадь оросительного устройства, приходящаяся на одно разбрызгивающее устройство (площадь ячейки сетки) и устанавливаются ее размеры; 4) производится разбивка этой площади, являющейся расчетной площадкой ортогональной сетки чем определяется число и координаты расчетных точек (рис. 26); 5) определяется расстояние r от всех разбрызгивающих устройств, в зоны факелов разбрызгивания которых попадают расчетные точки, до этих точек, а при осенесимметричном факеле разбрызгивания определяются также и углы между данным радиусом и

радиусом, принятым за исходный; б) по графикам распределения плотности орошения, по радиусам факела разбрызгивающего устройства, зная расстояния от разбрызгивающих устройств до данной точки M , определяются плотности орошения в точке, обусловленные поступлением воды от каждого разбрызгивающего устройства; 7) найденные элементарные плотности орошения в данной точке суммируются, что и определяет плотность орошения в рассматриваемой точке.

Результаты подсчетов плотности орошения в точках дают полную картину неравномерности распределения плотности орошения по площади оросительного устройства, которая может быть представлена графически в изолиниях (линиях равных плотностей орошения).

Для общей оценки степени неравномерности водораспределения служит коэффициент неравномерности распределения плотности орошения, определяемой по формулам (11) или (12). Коэффициент неравномерности распределения плотности уменьшается по мере уменьшения неравномерности водораспределения, обращаясь в нуль при равномерном распределении.

Изложенный метод расчета содержит следующие допущения: 1) соударение капель в перекрывающихся факелах разбрызгивания соседних разбрызгивающих устройств мало вероятно и им можно пренебречь; 2) капли на всем пути движения от разбрызгивающего устройства до оросителя не встречают никаких препятствий (лотки или трубопроводы водораспределительного устройства, балки каркаса оросительного устройства и проч.).

Метод расчета весьма прост, но, как показал опыт, требует довольно значительной затраты времени на вычислительные работы. Поэтому данные расчета целесообразно выполнять на ЭВМ.

2. Пример расчета неравномерности распределения плотности орошения по площади оросительного устройства градири

Требуется рассчитать неравномерность распределения плотности орошения по площади оросительного устройства градири при различных диаметрах разбрызгивающих устройств и напорах в водораспределительной системе.

Исходными данными для расчета являются:

система водораспределения — напорная с разбрызгивающими устройствами типа гидравлический насадок и разбрызгивающая тарелочка;

сетка расположения разбрызгивающих устройств — ортогональная;

средняя плотность орошения градири $q_{\text{ср}} = 6,5 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$;

диаметр гидравлического насадка разбрызгивающего устройства $d_n = 24,0; 28,0$ и $32,0 \text{ мм}$.

Расстояние h между выходным сечением насадка и разбрызгивающей тарелочкой, устанавливаемой на оросителе, — 110 мм ;

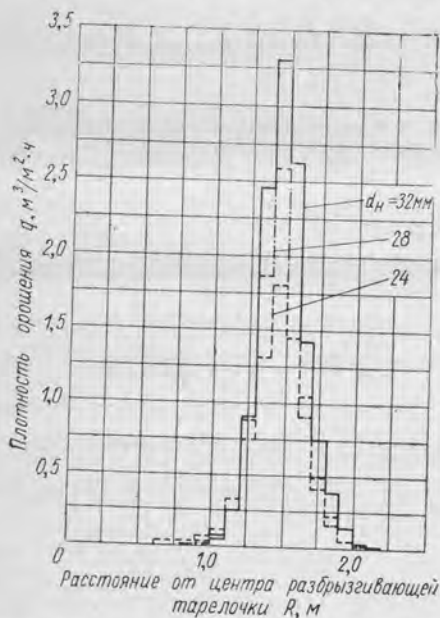


Рис. 27. Эюра распределения плотности орошения по радиусу факела разбрызгивающего устройства типа гидравлический насадок и разбрызгивающая тарелочка при $H_0 = 1,0 \text{ м}$.

напор над выходным сечением насадка $H_0 = 0,5; 1,0; 1,5$ м;
расход воды, проходящей через разбрызгивающее устройство, для указанных выше значений d_n и H_0 .

эпюры распределения плотности орошения по радиусу факела разбрызгивания для указанных выше значений d_n и H_0 ¹.
Определим плановые размеры сетки разбрызгивающих устройств для следующих условий: $d_n = 24,0$ мм и $H_0 = 0,5$ (вариант 1). Расход воды q_n , проходящий через разбрызгивающее устройство, в этом случае равен $5,18$ м³/ч.

Площадь орошения, приходящаяся на одно разбрызгивающее устройство, т. е. площадь ячейки сетки, составит

$$f = \frac{q_n}{q_{cp}} = \frac{5,18}{6,50} = 0,79 \text{ м}^2.$$

Размеры ячейки сетки принимаем, руководствуясь указанием § 76, а также по конструктивным соображениям. Этим условиям будут удовлетворять следующие размеры: $b = 1,0$ м (расстояние между разбрызгивающими устройствами по оси трубопровода) и $a = 0,79$ м (расстояние между разбрызгивающими устройствами по оси трубопровода).

Результаты подсчетов размеров ячеек сетки по всем рассмотренным в расчете вариантам даны в табл. 1 настоящего приложения. В этой же таблице приведены результаты расчетов коэффициентов неравномерности плотности, а также максимальные и минимальные значения плотности орошения.

Таблица 1

Номер варианта	Диаметр насадка d_n , мм	Напор H , м	Расход через насадок q_n , м ³ /ч	Коэффициент неравномерности распределения плотности орошения ξ	Расстояние между разбрызгивающими устройствами		Максимальная и минимальная плотности орошения, м ³ /м ² ч	
					по оси трубы a , м	между трубами b , м	q_{max}	q_{min}
1	24	0,50	5,18	0,23	0,79	1,00	10,25	1,77
2	28	0,50	6,73	0,48	0,86	1,20	14,81	0,67
3	32	0,50	8,68	0,51	1,11	1,20	13,52	0,06
4	24	1,00	7,24	0,21	0,32	1,20	8,45	1,82
5	28	1,00	9,43	0,26	0,96	1,50	12,39	1,92
6	32	1,00	12,31	0,39	1,26	1,50	12,16	0,43
7	24	1,50	8,67	0,11	1,11	1,20	8,92	4,96
8	28	1,50	11,81	0,16	1,21	1,50	10,08	5,34
9	32	1,50	15,12	0,23	1,16	2,00	10,74	3,41

Эти расчеты выполнены на ЭВМ для одной ячейки сетки, расположенной в центральной зоне градирии. В периферийной ее зоне в первых трех-четырёх рядах сетки коэффициенты неравномерности распределения плотности орошения будут отличаться от коэффициентов во всей ее остальной части. Это обусловлено преобладающим поступлением воды в указанную зону со стороны внутренних рядов разбрызгивающих устройств. Так поступление воды в зону первого ряда сетки, примыкающего к вытяжной башне, происходит

¹ В качестве примера на рис. 27 даны эпюры распределения плотности орошения при $H_0 = 1,0$ м и $d = 24,0; 28,0$ и $32,0$ мм.

только от внутренних устройств. Поступление воды в зону второго ряда сток происходит как с внутренней, так и с внешней стороны: от первого периферийного ряда разбрызгивающих устройств. В следующую зону подача воды производится двумя рядами периферийных устройств, затем третья и т. д.

В градирях большой производительности, в которых периферийная зона с переменным коэффициентом неравномерности плотности орошения пезелина, по сравнению с полной ее площадью, коэффициент неравномерности, опреде-

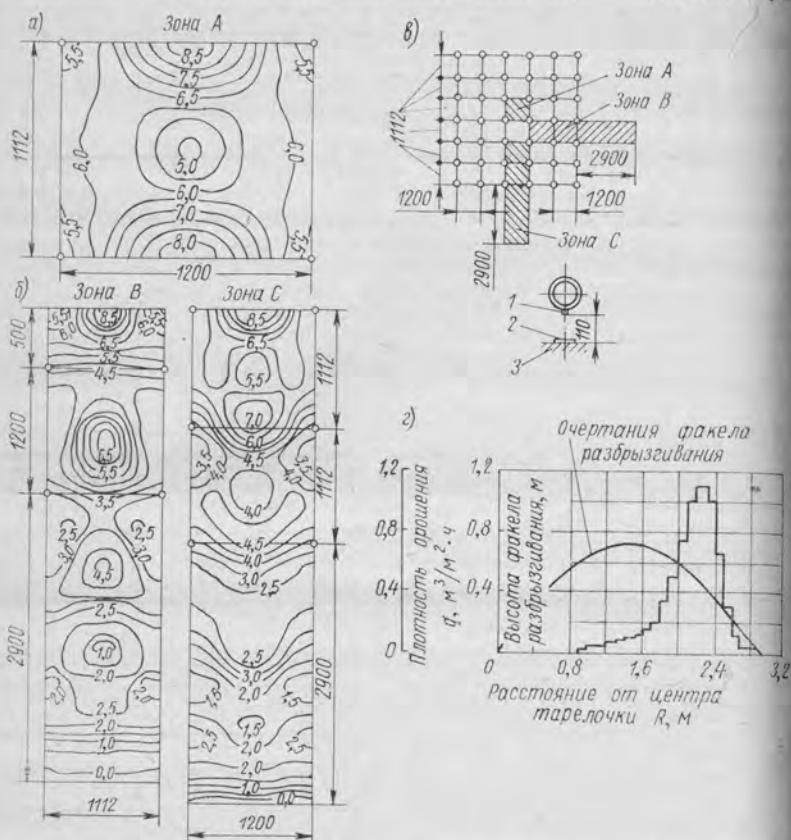


Рис. 28. Распределение плотности орошения по площади оросительного устройства

а — в основной зоне оросителя; б — в периферийной зоне оросителя; в — схемы планового и высотного расположения разбрызгивающих устройств; 1 — гидравлический насадок; 2 — разбрызгивающая тарелочка; 3 — ороситель; г — эпюра распределения плотности орошения.

ленный для расчетной площадки (ячейки сетки), в центральной зоне градири может быть принят в первом приближении как общий коэффициент неравномерности для всей градири.

При этом допущении (табл. 1 данного приложения) лучшие гидравлические показатели имеет 7 вариант, в котором $d_n = 24,0$ мм; $H_0 = 1,5$ м; $\xi = 0,11$. Далее следуют варианты 8 и 4, для которых соответственно $\xi = 0,16$; $d_n = 28,0$ мм; $H_0 = 1,5$ и $d_n = 24,0$ мм; $H_0 = 1,0$ м.

Таким образом, в результате произведенных расчетов представляется возможным отобрать варианты с лучшими гидравлическими показателями для

последующего выбора одного из них уже на основе технико-экономического расчета.

Данные гидравлического расчета по варианту 7 в графическом виде, дающем полное представление о неравномерности распределения плотности орошения в центральной и периферийной зонах градирии, приведены на рис. 28. Поля плотности орошения в периферийной зоне построены в предположении, что стенка вытяжной башни не оказывает ограничивающего влияния на распределение воды. Эти эпюры могут служить материалом для установления расстояния от крайнего ряда разбрызгивающих устройств до стенки.

3. Методика гидравлического расчета напорных водораспределительных систем

Метод гидравлического расчета напорных водораспределительных систем основывается на уравнении Бернулли, причем предполагается равномерное распределение воды между разбрызгивающими устройствами.

Возможность введения данного допущения, существенно упрощающего метод расчета, непосредственно вытекает из условия, что распределение воды в системах должно быть близким к равномерному. Отсюда следует, что связанная с этим допущением погрешность не будет сколь-либо значительной.

Гидравлический расчет разработан исходя из следующих положений: 1) разбрызгивающие устройства системы принимаются одного типа и одинаковых размеров; 2) средний расход воды каждого разбрызгивающего устройства равен $q_n = Q/N$, где N — количество разбрызгивающих устройств в градирии; 3) расход воды, поступающий в рабочий трубопровод, пропорционален числу установленных на нем разбрызгивающих устройств: $q_{pi} = q_n n_i$, где n_i — число разбрызгивающих устройств, установленных на рассматриваемом рабочем трубопроводе; 4) расстояния между разбрызгивающими устройствами (шаг) вдоль рабочих трубопроводов и между этими трубопроводами вдоль магистрального трубопровода — постоянны; 5) диаметры рабочих трубопроводов — одни и те же; 6) все продольные оси рабочих и магистральных трубопроводов расположены в одной горизонтальной плоскости.

Полученные из уравнения Бернулли расчетные формулы для выбора диаметров трубопроводов и для определения степени неравномерности распределения воды между разбрызгивающими устройствами в системах имеют безразмерный вид. Формулы для расчета магистральных трубопроводов различных схем водораспределительных систем несколько отличны друг от друга.

В табл. 2 настоящего приложения приведены формулы для расчета рабочих трубопроводов, а в табл. 3 и 4 — магистральных трубопроводов для наиболее часто применяемых схем водораспределительных устройств, а именно: прямоугольной, осесимметричной и осенесимметричной и секторной, осесимметричной и осенесимметричной (с убывающим и возрастающим к концу магистрального трубопровода числом разбрызгивающих устройств, установленных на рабочих трубах).

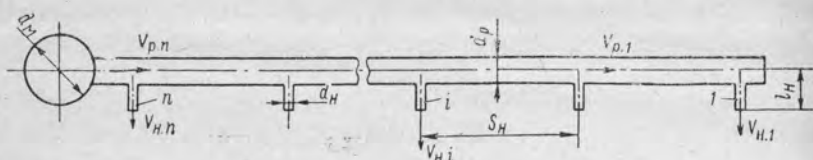
Для расчета других возможных схем водораспределения необходимо произвести вывод соответствующих зависимостей, что не представляет каких-либо затруднений¹.

Расчет системы производится последовательно от последнего водораспределительного устройства конечного рабочего трубопровода к входному сечению магистрального трубопровода. В случае, если магистральный трубопровод разбит на участки с разными диаметрами, то его расчет производится по участкам (от конечного к головному).

Некоторое отступление от указанной последовательности имеет место при расчете диаметров рабочих трубопроводов распределительных систем с различным числом разбрызгивающих устройств, установленных на этих трубопроводах. В таких системах расчету (определение диаметра трубы) подлежит трубопровод с наибольшим числом разбрызгивающих устройств.

¹ В. Б. Дульнев. Гидравлический расчет труб напорной водораспределительной системы градирии, расположенных по секторной схеме. Известия ВНИИГ, т. 92, 1970.

Формулы для расчета рабочего трубопровода водораспределительной системы градинки



Формулы для определения диаметра трубопровода	Формулы для определения неравномерности расходов воды
$d_n \sqrt{n} = d_p \sqrt[4]{\frac{\zeta_{\text{вх.нл}} - \zeta_{\text{вх.нп}}}{\zeta_{\text{тр.рл}} + \zeta_{\text{рш.рл}}} \quad (1)}$	$\varphi_{ni} = \frac{v_{ni}}{v_{н.сп}} - 1; \quad (2)$
<p>где $\zeta_{\text{вх.нп}} = f(\beta_1)$, $\beta_1 = \left(\frac{d_n}{d_p}\right)^2$;</p> <p>$\zeta_{\text{вх.нл}} = f(\beta_n)$, $\beta_n = n\beta_1$;</p> <p>$\zeta_{\text{тр.рл}} = \frac{\lambda_p S_n n(n-1)(2n-1)}{d_p 6n^2}$;</p> <p>$\zeta_{\text{рш.рл}} = \frac{n-1}{n^2}$.</p>	<p>где $\frac{v_{ni}}{v_{н.сп}} = \sqrt{\frac{A_{ni}}{a_{ni}}}$, $A_{ni} = a_{ni} + b_{pi}$;</p> <p>$a_{ni} = 1 + \zeta_{\text{вх.нп}}$; $a_{ni} = 1 + \zeta_{\text{вх.нл}}$;</p> <p>$b_{pi} = (\zeta_{\text{тр.рл}} + \zeta_{\text{рш.рл}}) n^2 \left(\frac{d_n}{d_p}\right)^4$;</p> <p>$\zeta_{\text{вх.нп}} = f(\beta_i)$, $\beta_i = i\beta_1$;</p> <p>$\zeta_{\text{тр.рл}} = \frac{\lambda_p S_n i(i-1)(2i-1)}{d_p 6n^2}$;</p> <p>$\zeta_{\text{рш.рл}} = \frac{i-1}{n^2}$;</p> <p>$i$ — порядковый номер насадки; $n \geq i \geq 1$.</p>
<p>Скорость в начале рабочей трубы</p>	
$v_{p.сп} = \frac{4nq_n}{\pi d_p^2}, \quad (3)$	
<p>Скорость в насадке</p>	
$v_{н.сп} = \frac{4q_n}{\pi d_n^2}, \quad (4)$	

Примечание: Расчет сложной рабочей трубы аналогичен расчету магистрального трубопровода, состоящего из нескольких участков.

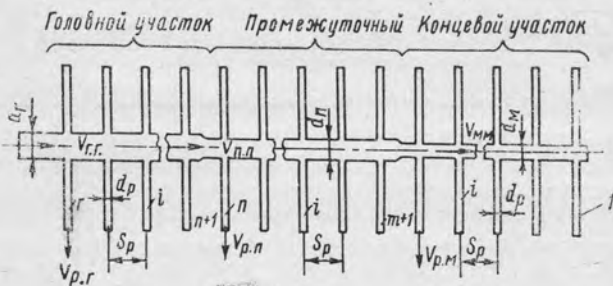
Так как полученные в результате расчета диаметры трубопроводов системы в ряде случаев будут отличны от диаметров, установленных сортаментом, то окончательные диаметры должны быть приняты по сортаменту, ближайшими к расчетным.

В целях обоснованного выбора расчетных размеров водораспределительной системы гидравлический расчет системы следует производить для нескольких возможных вариантов. Результаты расчета диаметров трубопроводов системы по соответствующим формулам, приведенным в табл. 2, 3 и 4 данного приложения, являются исходными и позволяют задать диаметры трубопроводов для других вариантов. В некоторых случаях следует рассмотреть

реть также возможность разбивки магистральных трубопроводов на отдельные участки. Дальнейший расчет водораспределительной системы заключается в определении степени неравномерности распределения воды и потерь напора во всей системе и отдельных ее звеньях.

Таблица 3

Формулы для расчета магистрального трубопровода
прямоугольной осесимметричной схемы водораспределительной
системы гравитри



Участок	Формулы для определения диаметра магистрального трубопровода	Формулы для определения неравномерности расходов воды
Концевой	$d_p \sqrt{2m} = d_m \sqrt{\frac{\zeta_{вх.рm} - \zeta_{вх.р1}}{\zeta_{тp.мm} + \zeta_{рш.мm}}}, \quad (1)$	$\zeta_{р1} = \frac{v_{рi}}{v_{р.ср}} - 1, \quad (2)$
	<p>где $\zeta_{вх.рm} = f(\beta_{рm}); \beta_{рm} = 2m \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^2;$</p> <p>$\zeta_{вх.р1} = f(\beta_{р1}); \beta_{р1} = 2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^2;$</p> <p>$\zeta_{тp.мm} = \frac{\lambda_m S_p}{d_m} \frac{m(m-1)(2m-1)}{6m^2};$</p> <p>$\zeta_{рш.мm} = \frac{m-1}{m^2}.$</p>	<p>где $\frac{v_{рi}}{v_{р.ср}} = \sqrt{\frac{A_{рi}}{a_{рi}}}; A_{рi} = a_{рi} + b_{mi}$</p> <p>$a_{рi} = 1 + \zeta_{вх.рi}; a_{рi} = 1 + \zeta_{вх.рi};$</p> <p>$b_{mi} = (\zeta_{тp.mi} + \zeta_{рш.mi}) 4m^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^4;$</p> <p>$\zeta_{тp.mi} = \frac{\lambda_m S_p}{d_m} \frac{i(i-1)(2i-1)}{6m^2};$</p> <p>$\zeta_{рш.mi} = \frac{i-1}{m^2}; \zeta_{вх.рi} = f(\beta_{рi});$</p> <p>$\beta_{рi} = 2i \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^2; m \geq i > 1.$</p>
<p>Скорость в начале концевой участка магистральной трубы</p> $v_{mm} = \frac{8mnq_n}{\pi d_m^2}. \quad (3)$		

Участок	Формулы для определения диаметра магистрального трубопровода	Формулы для определения неравномерности расходов воды
Промежуточный	$d_p \sqrt{2\pi} = d_n \sqrt[4]{\frac{\zeta_{\text{вх.рн}} - \zeta_{\text{вх.рк}}}{\zeta_{\text{тр.пн}} + \zeta_{\text{рш.пн}}}}, \quad (4)$ <p>где $\zeta_{\text{тр.пн}} = \frac{\lambda_n S_p}{d_n} \frac{n(n-1)(2n-1) - m(m-1)(2m-1)}{6\pi^2}$;</p> $\zeta_{\text{рш.пн}} = \frac{\pi - (m+1)}{\pi^2};$ $\zeta_{\text{вх.рн}} = f(\beta_{\text{р.н}}); \quad \beta_{\text{р.н}} = 2\pi \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^2;$ $\zeta_{\text{вх.рк}} = f(\beta_{\text{р.к}});$ $\beta_{\text{р.к}} = 2(m+1) \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^2;$ <p style="text-align: center;">($k = m+1$; $n = \pi$);</p>	$\varphi_{pi} = \frac{v_{p,i}}{v_{p,cp}} - 1, \quad (5)$ <p>где $\frac{v_{p,i}}{v_{p,cp}} = \sqrt{\frac{A_{p,i}}{a_{p,i}}}$; $A_{p,i} = a_{pi} + b_{pi}$;</p> $a_{pi} = 1 + \zeta_{\text{вх.рi}}; \quad a_{p,i} = 1 + \zeta_{\text{вх.рi}}$ $b_{pi} = (\zeta_{\text{тр.мм}} + \zeta_{\text{рш.мм}} + \zeta_{\text{к1}}) \times$ $\times 4m^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^4 + (\zeta_{\text{тр.пi}} + \zeta_{\text{рш.пi}}) \times$ $\times 4\pi^2 \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^4;$ $\zeta_{\text{тр.пi}} = \frac{\lambda_n S_p}{d_n} \frac{i(i-1)(2i-1) - m(m-1)(2m-1)}{6\pi^2}$ $\zeta_{\text{рш.пi}} = \frac{i - (m+1)}{\pi^2};$ $\zeta_{\text{вх.рi}} = f(\beta_{pi}); \quad \beta_{pi} = 2i \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^2;$ <p>i — порядковый номер узла, причем $n \geq i \geq m+1$; $\zeta_{\text{к1}}$ — коэффициент сопротивления конуса (определяется по справочным материалам или по табл. 5 этого приложения для данных d_p/d_m и угла сходимости θ).</p>
	<p>Скорость в начале промежуточного участка магистральной трубы</p> $v_{\text{пн}} = \frac{8\pi n q_n}{\pi d_n^2} \quad (6)$	

Потери напора в трубах (с учетом головного участка магистральной трубы)

$$h_w = \zeta_{\text{вх.пн}} \frac{v_{\text{пн}}^2}{2g} + (\zeta_{\text{тр.рп}} + \zeta_{\text{рш.рп}} + \zeta_{\text{вх.р1}}) \frac{v_{\text{рп}}^2}{2g} + (\zeta_{\text{тр.мм}} + \zeta_{\text{рш.мм}} + \zeta_{\text{к1}}) \times$$

$$\times \frac{v_{\text{мм}}^2}{2g} + (\zeta_{\text{тр.пн}} + \zeta_{\text{рш.пн}} + \zeta_{\text{к2}}) \frac{v_{\text{пн}}^2}{2g} + (\zeta_{\text{тр.гг}} + \zeta_{\text{рш.гг}}) \frac{v_{\text{гг}}^2}{2g}. \quad (7)$$

Величина напора во входном сечении головного участка магистральной трубы $H_{\text{гг}} = \frac{v_{\text{гг}}^2}{2g} \pm l_n + h_w$ (перед членом l_n ставится знак $+$ для насадков, направленных вверх, и знак $-$ для насадков, направленных вниз).

Примечание: Если магистральная труба имеет еще головной участок, то при его расчете можно использовать формулы для промежуточного участка

при условии замены индексов p на $г$ и n на p , причем $k=p+1$ и $n=g$; $r > i > p+1$;

$$A_{pi} = a_{pi} + b_{ri}; \quad b_{ri} = (\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм} + \zeta_{к1}) 4m^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^4 + (\zeta_{тр.пп} + \zeta_{рш.пп} + \zeta_{к2}) 4n^2 \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^4 + (\zeta_{тр.гi} + \zeta_{рш.гi}) 4r^2 \left(\frac{d_p}{d_r}\right)^4.$$

Степень неравномерности распределения воды через разбрызгивающие устройства водораспределительной системы характеризуется коэффициентом неравномерности водораспределения, в общем случае выражающимся формулой

$$\psi = \frac{q_{н.макс} - q_{н.мин}}{q_n} = \frac{v_{н.макс} - v_{н.мин}}{v_{н.ср}},$$

где $q_{н.макс}$ и $v_{н.макс}$ — максимальный расход воды, проходящий через разбрызгивающее устройство, и соответствующая ему скорость воды в насадке или сопле устройства; $q_{н.мин}$ и $v_{н.мин}$ — минимальные расход и скорость воды в насадке и сопле; q_n и $v_{н.ср}$ — средние расход и скорость воды в насадке или сопле.

Для определения величин $q_{н.макс}$ и $q_{н.мин}$ необходимо вычислить расходы воды, проходящие через каждое разбрызгивающее устройство системы. Этот расчет производится по формуле

$$q_{ni} = \mu_{ni} \omega_n \sqrt{2gH_{ni}},$$

где $\mu_{ni} = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_{вх.ни}}}$ — коэффициент расхода воды, проходящего через насадок или сопло разбрызгивающего устройства; $\zeta_{вх.ни}$ — коэффициент сопротивления на вход в насадок или сопло; ω_n — площадь выходного отверстия; $H_{ni} = H_m - h_i$ — напор в сечении перед i -м насадком или соплом, отнесенный к плоскости их выходных сечений; H_m — напор в начале магистрального трубопровода, отнесенный к той же плоскости; h_i — потери напора в системе от начала магистрального трубопровода до сечения перед i -м разбрызгивающим устройством; g — ускорение силы тяжести.

Приведенный способ определения коэффициента неравномерности водораспределения является сравнительно трудоемким и его применение рекомендуется в редких случаях при расчете особо сложных систем водораспределения.

В большинстве случаев коэффициент неравномерности водораспределения может быть определен по формуле (13) § 81 ТУ, в которой этот коэффициент выражен через коэффициенты отклонения скорости воды в насадках или соплах разбрызгивающих устройств и в рабочих трубопроводах от их средних значений.

Общими формулами для определения этих последних коэффициентов являются

$$\varphi_{ni} = \frac{v_{ni} - v_{н.ср}}{v_{н.ср}} = \frac{v_{ni}}{v_{н.ср}} - 1 \quad \text{и} \quad \varphi_{pi} = \frac{v_{pi}}{v_{р.ср}} - 1.$$

Коэффициенты неравномерности водораспределения в насадках рабочей трубы и в рабочих трубах ψ_n и ψ_p находятся по данным вычислений относительных скоростей во всех насадках разбрызгивающих устройств расчетного рабочего трубопровода и в начале всех рабочих труб системы. В зависимости от схемы водораспределения за расчетный рабочий трубопровод принимается, как и при расчете диаметров трубопроводов, либо концевой трубопровод (например, при прямоугольной схеме), либо трубопровод с наибольшим числом установленных на нем разбрызгивающих устройств (например, по секторной схеме), так как в них следует ожидать наибольшей неравномерности в распределении расходов воды. При определении экстре-

мальных величин относительных скоростей в трубопроводах их значения единичной повторяемости могут быть исключены из рассмотрения и не приниматься во внимание.

Потери напора в системах слагаются из потерь на трение, потерь на расширение и отделение потока (в крестовинах и тройниках), а также потерь при изменении диаметра труб (в переходных конусах). В формулах для определения потерь напора учитывается явление восстановления кинетической энергии в местах отделения потока, что в системах водораспределения градиент имеет существенное значение, поскольку эти системы состоят из трубопроводов с последовательно расположенными сосредоточенными отборами воды.

Приведенные в табл. 2, 3 и 4 данного приложения формулы для определения потерь напора в системах получены из общезвестных формул потерь на трение и местные сопротивления путем их преобразования.

Потери напора на вход в цилиндрический насадок разбрызгивающего устройства или в рабочий трубопровод определяются по формуле

$$h_{\text{вх}} = \zeta_{\text{вх}} \frac{v_{\text{отв}}^2}{2g},$$

где $\zeta_{\text{вх}} = f(\beta)$ — коэффициент сопротивления на вход; $\beta = v_{\text{под}}/v_{\text{отв}}$ — коэффициент отвода; $v_{\text{под}}$ — скорость в подводящем трубопроводе перед боковым отводом, м/сек; $v_{\text{отв}}$ — скорость в начале отвода (насадка или рабочей трубы), м/сек.

Значение коэффициента сопротивления на вход под прямым углом в насадок или трубу может быть принято по графику $\zeta_{\text{вх}} = f(\beta)$ на рис. 29 при $\beta < 2,5$. Для $\beta \geq 0,4$ значение коэффициента может быть также подсчитано по формуле

$$\zeta_{\text{вх}} = 0,870\beta^2 + 0,278\beta + 0,111.$$

Потери напора на трение и на расширение потока вследствие его разветвления на участке трубы от i -го отвода до конца трубы находятся по формулам

$$h_{\text{тр } i} = \zeta_{\text{тр } i} \frac{v_0^2}{2g}; \quad h_{\text{рш } i} = \zeta_{\text{рш } i} \frac{v_0^2}{2g},$$

где $\zeta_{\text{тр } i}$ и $\zeta_{\text{рш } i}$ — коэффициенты сопротивления на трение и на расширение; v_0 — скорость в начале трубопровода, м/сек.

При постоянном шаге отводов (насадков или рабочих трубопроводов) по длине трубы постоянного диаметра для определения коэффициентов сопротивления на трение и расширение служат следующие формулы:

$$\zeta_{\text{тр } i} = \frac{\lambda S}{d} \frac{i(i-1)(2i-1)}{6n^2}, \quad \zeta_{\text{рш } i} = \frac{i-1}{n^2},$$

где d — диаметр трубы, м; S — шаг (расстояние) между смежными отводами, м; n — количество (односторонних или двухсторонних) отводов по всей длине трубы ($n \geq i \geq 1$); λ — коэффициент трения.

Коэффициент трения для стальных труб находится по формуле Ф. А. Шевелева (рис. 30): $\lambda = 0,021/d^{0,3}$ или по формуле Маннинга $\lambda = \frac{8g}{C^2} = \frac{125n_{\text{ш}}^2}{\sqrt[3]{d}}$,

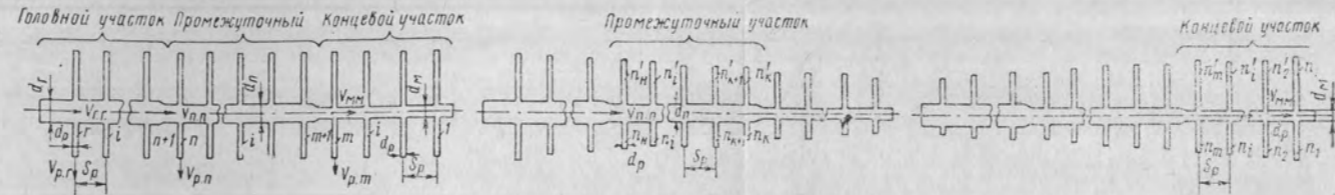
где C — коэффициент Шези, м^{1/2}/сек; $n_{\text{ш}}$ — коэффициент шероховатости.

Потери напора в сходящемся переходном конусе вычисляются по формуле

$$h_{\text{к}} = \zeta_{\text{к}} \frac{v_2^2}{2g},$$

где v_2 — скорость на выходе из переходного конуса, м/сек; $\zeta_{\text{к}}$ — коэффициент сопротивления конуса, зависящий от угла сходимости θ° .

Формулы для расчета магистрального трубопровода секторной осесимметричной и осенесимметричной и прямоугольной осенесимметричной схем водораспределительной системы градирен



Участок	Формулы для определения диаметра магистрального трубопровода		Формулы для определения неравномерности расходов воды в распределителях	
	Количество разбрызгивающих устройств на рабочих трубах по длине магистрального трубопровода		Количество разбрызгивающих устройств на рабочих трубах по длине магистрального трубопровода	
	убывает	возрастает	убывает	возрастает
Концевой	$d_p \sqrt{\frac{N_{MM}}{n_m}} = d_m \sqrt{\frac{\Delta \zeta_{тр.рм}^y + \Delta \zeta_{рш.рм}^y + \zeta_{вх.рм} - \left(\frac{n_{11}}{n_m}\right)^2 \zeta_{вх.р1}}{\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм}}}, \quad (1)$ <p>где $\Delta \zeta_{тр.рм}^y = \frac{\lambda_p S_H n_m (n_m - 1) (2n_m - 1) - n_1 (n_1 - 1) (2n_1 - 1)}{6n_m^2}$;</p> <p>$\Delta \zeta_{рш.рм}^y = \frac{n_m - n_1}{n_m^2}$; $N_{MM} = \sum_1^m (n_i + n_i')$;</p> <p>$\zeta_{вх.рм} = f(\beta_{рм})$; $\beta_{рм} = \frac{N_{MM}}{n_m} \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^2$;</p> <p>$\zeta_{вх.р1} = f(\beta_{р1})$; $\beta_{р1} = \left(1 + \frac{n_1'}{n_1}\right) \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^2$;</p>	$d_p \sqrt{\frac{N_{MM}}{n_1}} = d_m \sqrt{\frac{\left(\frac{n_m}{n_1}\right)^2 \zeta_{вх.рм} - (\Delta \zeta_{тр.рм}^B + \Delta \zeta_{рш.рм}^B + \zeta_{вх.р1})}{\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм}}}, \quad (2)$ <p>где $\Delta \zeta_{тр.рм}^B = \frac{\lambda_p S_H n_1 (n_1 - 1) (2n_1 - 1) - n_m (n_m - 1) (2n_m - 1)}{6n_1^2}$;</p> <p>$\Delta \zeta_{рш.рм}^B = \frac{n_1 - n_m}{n_1^2}$;</p> <p>$\zeta_{тр.мм} = \frac{\lambda_m S_p}{d_m} \frac{N_1^2 + N_{11}^2 + \dots + N_{m-1}^2}{N_{MM}^2}$;</p> <p>$\zeta_{рш.мм} = \frac{(n_2 + n_2')^2 + (n_3 + n_3')^2 + \dots + (n_m + n_m')^2}{N_{MM}^2}$;</p>	$\varphi_{pi} = \frac{v_{pi}}{v_{pi\text{cp}}} - 1 = \frac{n_1}{n_i} \sqrt{\frac{A_{pi}}{a_{pi}}} - 1, \quad (3)$ <p>где $A_{pi}^y = 1 + \zeta_{вх.р1} + (\zeta_{тр.ми} + \zeta_{рш.ми}) \left(\frac{N_{MM}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^4$;</p> <p>$a_{pi}^y = \Delta \zeta_{тр.рi}^y + \Delta \zeta_{рш.рi}^y + \zeta_{вх.рi} + \left(\frac{n_1}{n_i}\right)^2$;</p> <p>$\Delta \zeta_{тр.рi}^y = \frac{\lambda_p S_H n_i (n_i - 1) (2n_i - 1) - n_1 (n_1 - 1) (2n_1 - 1)}{6n_i^2}$;</p> <p>$\Delta \zeta_{тр.рi}^B = \frac{\lambda_p S_H n_1 (n_1 - 1) (2n_1 - 1) - n_i (n_i - 1) (2n_i - 1)}{6n_1^2}$;</p> <p>$\zeta_{тр.ми} = \frac{\lambda_m S_p}{d_m} \frac{N_1^2 + N_{11}^2 + \dots + N_{i-1}^2}{N_{MM}^2}$;</p> <p>$\zeta_{вх.рi} = f(\beta_{pi})$; $\beta_{pi} = \frac{N_i}{n_i} \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^2$;</p> <p>$i$ — порядковый номер узла (крестовин), причем $m > i > 1$.</p>	$A_{pi}^B = \left(\frac{n_i}{n_1}\right)^2 + \Delta \zeta_{тр.рi}^B + \Delta \zeta_{рш.рi}^B + \zeta_{вх.р1} + (\zeta_{тр.ми} + \zeta_{рш.ми}) \left(\frac{N_{MM}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^4$ <p>$a_{pi}^B = 1 + \zeta_{вх.рi}$;</p> <p>$\Delta \zeta_{рш.рi}^y = \frac{n_i - n_1}{n_i^2}$;</p> <p>$\Delta \zeta_{рш.рi}^B = \frac{n_1 - n_i}{n_1^2}$;</p> <p>$\zeta_{рш.ми} = \frac{(n_2 + n_2')^2 + (n_3 + n_3')^2 + \dots + (n_i + n_i')^2}{N_{MM}^2}$;</p> <p>$N_i = \sum_1^i (n_i + n_i')$;</p>
		<p>Скорость в начале концевой участка трубы</p> $v_{MM} = \frac{4N_{MM}q_H}{\pi d_m^2}$		

Участок	Формулы для определения диаметра магистрального трубопровода		Формулы для определения неравномерности расходов воды в распределителях	
	Количество разбрызгивающих устройств на рабочих трубах по длине магистрального трубопровода		Количество разбрызгивающих устройств на рабочих трубах по длине магистрального трубопровода	
	убывает	возрастает	убывает	возрастает
Промежуточный	$d_p \sqrt{\frac{N_{пп}}{n_n}} = d_n \sqrt{\frac{\Delta \zeta_{тр.р.н}^y + \Delta \zeta_{рш.р.н}^y + \zeta_{вх.р.н} - \left(\frac{n_k}{n_n}\right)^2 \zeta_{вх.р.к}}{\zeta_{тр.пп} + \zeta_{рш.пп}}}; \quad (5)$ <p>где $\Delta \zeta_{тр.р.н}^y = \frac{\lambda_p S_n n_n (n_n - 1) (2n_n - 1) - n_k (n_k - 1) (2n_k - 1)}{6n_n^2}$; $\Delta \zeta_{рш.р.н}^y = \frac{n_n - n_k}{n_n^2}$; $\zeta_{вх.р.к} = f(\beta_k); \beta_k = \frac{N_{п.к}}{n_k} \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^2$; $\zeta_{тр.пп} = \frac{\lambda_p S_p N_{пк}^2 + N_{пк+1}^2 + \dots + N_{пн-1}^2}{N_{пп}^2}$;</p>	$d_p \sqrt{\frac{N_{пп}}{n_k}} = d_n \sqrt{\frac{\left(\frac{n_n}{n_k}\right)^2 \zeta_{вх.р.н} - (\Delta \zeta_{тр.р.н}^в + \Delta \zeta_{рш.р.н}^в + \zeta_{вх.р.к})}{\zeta_{тр.пп} + \zeta_{рш.пп}}}; \quad (6)$ <p>где $\Delta \zeta_{тр.р.н}^в = \frac{\lambda_p S_n n_k (n_k - 1) (2n_k - 1) - n_n (n_n - 1) (2n_n - 1)}{6n_k^2}$; $\Delta \zeta_{рш.р.н}^в = \frac{n_k - n_n}{n_k^2}; N_{пп} = N_{мм} + \sum_k^n (n_i + n_i')$; $\zeta_{вх.р.н} = f(\beta_n); \beta_n = \frac{N_{пп}}{n_n} \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^2$; $\zeta_{рш.пп} = \frac{(n_{к+1} + n'_{к+1})^2 + \dots + (n_n + n'_n)^2}{N_{пп}^2}$;</p>	$\zeta_{pi} = \frac{v_{pi}}{v_{pi\text{ ср}}} - 1 = \frac{n_1}{n_i} \sqrt{\frac{A_{pi}^b}{A_{pi}^y}} - 1;$ <p>где $A_{pi}^y = 1 + \zeta_{вх.рi} + (\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм} + \zeta_{к1}) \left(\frac{N_{мм}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^4 +$ $+ (\zeta_{тр.пi} + \zeta_{рш.пi}) \left(\frac{N_{пп}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^4$; $A_{pi}^b = \left(\frac{n_i}{n_1}\right)^2 + \Delta \zeta_{тр.рi}^в + \Delta \zeta_{рш.рi}^в + \zeta_{вх.рi} + (\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм} +$ $+ \zeta_{к1}) \left(\frac{N_{мм}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^4 + (\zeta_{тр.пi} + \zeta_{рш.пi}) \left(\frac{N_{пп}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^4$; $a_{pi}^y = \Delta \zeta_{тр.рi}^y + \Delta \zeta_{рш.рi}^y + \zeta_{вх.рi} + \left(\frac{n_k}{n_i}\right)^2$; $\Delta \zeta_{тр.рi}^y = \frac{\lambda_p S_n n_i (n_i - 1) (2n_i - 1) - n_1 (n_1 - 1) (2n_1 - 1)}{6n_i^2}$; $\Delta \zeta_{тр.рi}^в = \frac{\lambda_p S_n n_1 (n_1 - 1) (2n_1 - 1) - n_i (n_i - 1) (2n_i - 1)}{6n_1^2}$; $\zeta_{тр.пi} = \frac{\lambda_p S_p N_{пк}^2 + N_{пк+1}^2 + \dots + N_{пi-1}^2}{N_{пп}^2}$; $\Delta \zeta_{рш.рi}^y = \frac{n_i - n_1}{n_i^2}; \zeta_{вх.рi} = f(\beta_{pi})$; $\Delta \zeta_{рш.рi}^в = \frac{n_1 - n_i}{n_1^2}; \beta_i = \frac{N_i}{n_i} \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^2$; $\zeta_{рш.пi} = \frac{(n_{к+1} + n'_{к+1})^2 + \dots + (n_i + n'_i)^2}{N_{пп}^2}$;</p>	<p>i — порядковый номер узла, причем $n > i > m + 1; N_i = N_{мм} + \sum_k^i (n_i + n_i')$; $\zeta_{к1}$ — коэффициент сопротивления конуса (определяется по справочным материалам для данных $\frac{d_n}{d_m}$ и угла сходимости θ).</p>
	Скорость в начальном сечении промежуточного участка магистральной трубы			$v_{пп} = \frac{4N_{пп}q_n}{\pi d_n^2} \quad (8)$

Потери напора в трубах (с учетом головного участка магистральной трубы):

$$h_w = \zeta_{вх.п1} \frac{v_n^2}{2g} + (\zeta_{тр.рп} + \zeta_{рш.рп} + \zeta_{вх.р1}) \frac{v_{pn}^2}{2g} + (\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм} + \zeta_{к1}) \frac{v_{мм}^2}{2g} + (\zeta_{тр.пп} + \zeta_{рш.пп} + \zeta_{к2}) \frac{v_{пп}^2}{2g} + (\zeta_{тр.гг} + \zeta_{рш.гг}) \frac{v_{гг}^2}{2g}$$

Величина напора во входном сечении головного участка магистральной трубы $H_{гг} = \frac{v_n^2}{2g} \pm l_n + h_w$ (перед членом l_n берется знак + для насадков, направленных вверх, и - для насадков, направленных вниз).

Примечание: Если магистральная труба имеет еще головной участок, то при его расчете можно использовать формулы для промежуточного участка при условии замены индексов n на $г$ и m на $п$, причем $к = п + 1; н = г; г > i > п + 1$;

$$a_{pi}^y = \Delta \zeta_{тр.рi}^y + \Delta \zeta_{рш.рi}^y + \zeta_{вх.рi} + \left(\frac{n_1}{n_i}\right)^2$$

$$A_{pi}^y = 1 + \zeta_{вх.рi} + (\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм} + \zeta_{к1}) \left(\frac{N_{мм}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^4 + (\zeta_{тр.пп} + \zeta_{рш.пп} + \zeta_{к2}) \left(\frac{N_{пп}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^4 + (\zeta_{тр.гг} + \zeta_{рш.гг}) \left(\frac{N_{гг}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_g}\right)^4; a_{pi}^b = 1 + \zeta_{вх.рi}$$

$$A_{pi}^b = \left(\frac{n_i}{n_1}\right)^2 + \Delta \zeta_{тр.рi}^в + \Delta \zeta_{рш.рi}^в + \zeta_{вх.рi} + (\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм} + \zeta_{к1}) \left(\frac{N_{мм}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_m}\right)^4 + (\zeta_{тр.пп} + \zeta_{рш.пп} + \zeta_{к2}) \left(\frac{N_{пп}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_n}\right)^4 + (\zeta_{тр.гг} + \zeta_{рш.гг}) \left(\frac{N_{гг}}{n_1}\right)^2 \left(\frac{d_p}{d_g}\right)^4$$

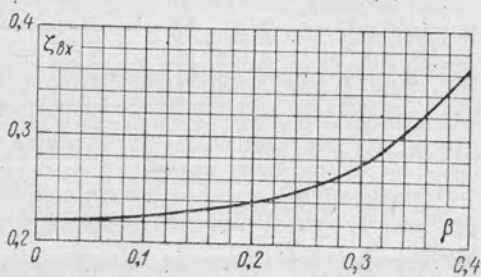
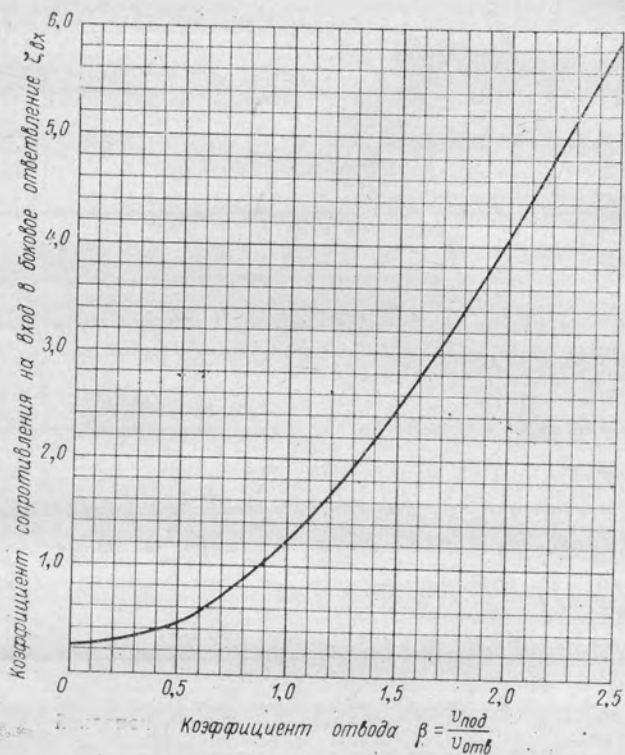


Рис. 29. График значений коэффициента сопротивления на вход в отвод под прямым углом $\zeta_{вх}$ в зависимости от коэффициента отвода β .

Угол сходимости θ° должен назначаться таким, чтобы длина переходного конуса l_k была меньше расстояния (шага) между смежными отводами S . Значения коэффициента ζ_k при различных значениях угла сходимости θ° и

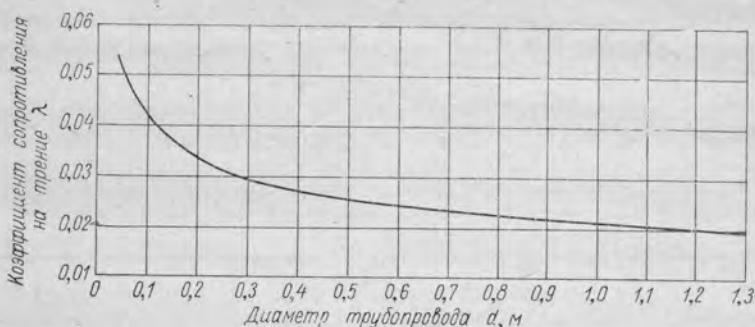


Рис. 30. График значений коэффициента сопротивления на трение для стальных трубопроводов по формуле Ф. А. Шевелева.

отношения диаметров d_1 — подводящей и d_2 — отводящей труб, приведены в табл. 5 настоящего приложения.

Таблица 5

Соотношение трубопроводов d_1/d_2	Угол сходимости конуса θ°							
	10	20	30	40	45	60	80	180
1,2	0,04	0,05	0,07	0,08	0,085	0,09	0,10	$0,5(1 - d_2^2/d_1^2)$
2,0	0,07	0,09	0,12	0,14	0,15	0,16	0,175	$0,5(1 - d_2^2/d_1^2)$
3,0	0,08	0,10	0,14	0,17	0,18	0,195	0,215	$0,5(1 - d_2^2/d_1^2)$

4. Пример гидравлического расчета напорной секторной водораспределительной системы

Требуется рассчитать напорную секторную водораспределительную систему, представленную на рис. 31. Система запроектирована осесимметричной, расширяющейся, т. е. длина рабочих трубопроводов и соответственно число установленных на трубопроводах разбрызгивающих устройств возрастают к концу магистрального трубопровода.

Разбрызгивающие устройства приняты типа сопло-отражатель, выходное сечение которого направлено вверх, рабочие трубопроводы системы — стальными, одного диаметра.

Исходными данными для расчета являются:

Производительность градирни Q	15500 $м^3/ч$
Диаметр сопла разбрызгивающего устройства d_n	0,026 $м$
Длина сопла (считая от стенки трубы) l_n'	0,10 $м$
Общее количество разбрызгивающих устройств (в шести секторах установлено по 150 разбрызгивающих устройств, а в других шести — по 136 устройств) N	1716 шт

¹ Расстояние $l_n' = l_n - \frac{d_p}{2}$.

Количество двухсторонних отводов на магистральном трубопроводе в каждом секторе m	17 шт.
Шаг разбрызгивающих устройств S_n	1,0 м
Шаг рабочих трубопроводов S_p	1,5 м

Расчет произведен для сектора со 150 разбрызгивающими устройствами.

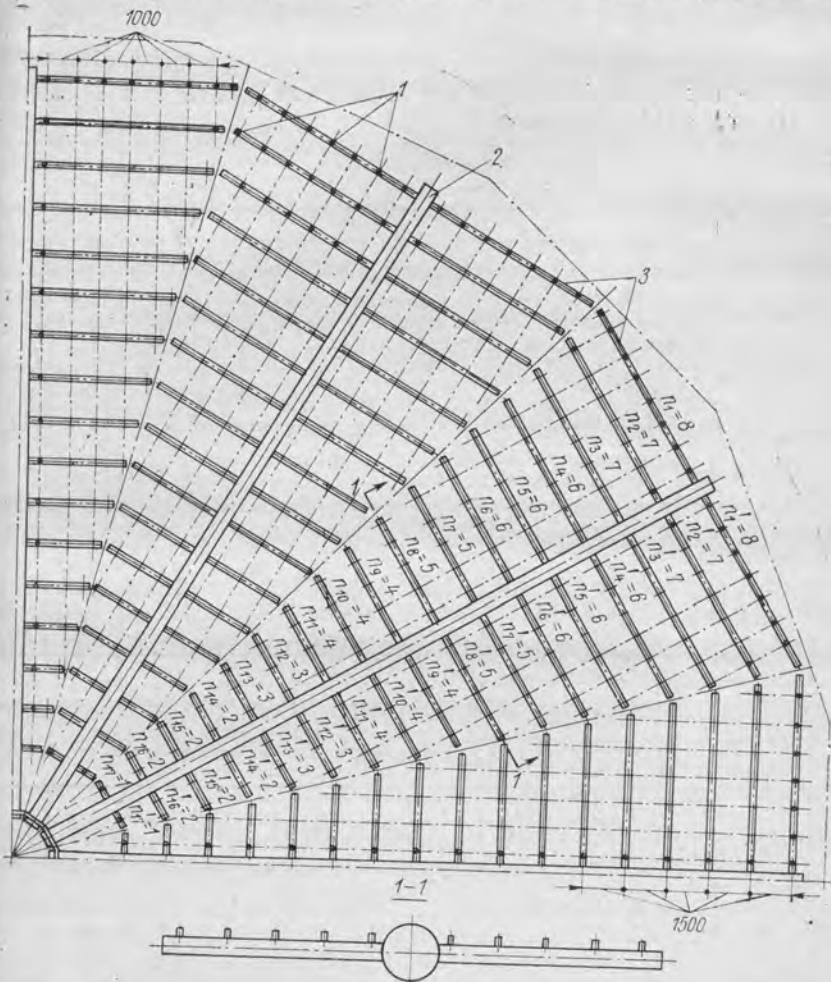


Рис. 31. Схема напорной секторной водораспределительной системы.
1—разбрызгивающие устройства; 2—магистральный трубопровод; 3—рабочие трубопроводы.

Средний расход воды через каждое разбрызгивающее устройство вычисляем по формуле

$$q_n = Q/N = 15500 : 1746 = 9,04 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0025 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Диаметр рабочих трубопроводов определяем для трубопровода, имеющего наибольшее количество разбрызгивающих устройств ($n=8$), по формуле (1) табл. 2 данного приложения:

$$d_n \sqrt[n]{n} = d_p \sqrt[4]{\frac{\zeta_{\text{вх.пл}} - \zeta_{\text{вх.пл}}}{\zeta_{\text{тр.рп}} - \zeta_{\text{рп.рп}}} = d_p \sqrt[4]{M_p}$$

В этом уравнении левая часть при заданных значениях d_n и n постоянна, а правая является функцией диаметра рабочего трубопровода d_p .

Решая это уравнение подбором, задаем несколькими значениями диаметра рабочего трубопровода $d_p = 0,16; 0,18; 0,20; 0,22$ м и вычисляем соответствующие значения правой части уравнения. Для этого, предварительно определив величины β_1 и β_n , находим по графику (рис. 29) коэффициенты потерь напора на вход в сопла первого (концевого) и последнего разбрызгивающих устройств, т. е. величины $\zeta_{\text{вх.пл}}$ и $\zeta_{\text{вх.пл}}$.

При $d_p = 0,16$ м будем иметь $\beta_1 = \left(\frac{d_n}{d_p}\right)^2 = \left(\frac{0,026}{0,16}\right)^2 = 0,0264$; $\beta_8 = 8\beta_1 = 8 \cdot 0,0264 = 0,211$ и $\zeta_{\text{вх.пл}} = 0,220$; $\zeta_{\text{вх.пл}} = 0,242$.

Коэффициент сопротивления на трение по длине трубопровода при $d_p = 0,16$ м будет

$$\zeta_{\text{тр.рп}} = \frac{\lambda_p S_n n(n-1)(2n-1)}{d_p 6n^2} = \frac{0,0362 \cdot 1,0 \cdot 8(8-1)(2 \cdot 8-1)}{0,16 \cdot 6 \cdot 8^2} = 0,494$$

где $\lambda_p = 0,0362$ по графику на рис. 30.

Коэффициент сопротивления на расширение составит

$$\zeta_{\text{рп.рп}} = \frac{n-1}{n^2} = \frac{8-1}{8^2} = 0,109$$

Подсчеты указанных величин для всех заданных диаметров рабочего трубопровода приведены в табл. 6 данного приложения. Искомый диаметр получен на основании графика, приведенного на рис. 32, и равен примерно 0,18 м.

Поскольку по сортаменту на стальные трубы ближайшим является $d_p = 0,185$ м, то этот диаметр принят как окончательный.

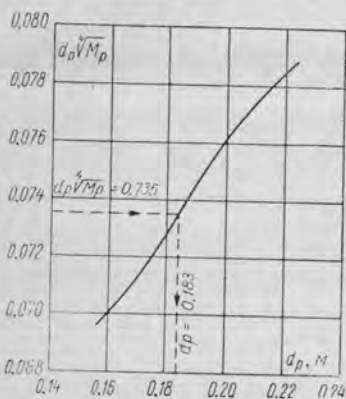


Рис. 32. График зависимости $d_p \sqrt[4]{M_p} = f(d_p)$ для определения диаметра рабочих трубопроводов водораспределительной системы.

Расчет магистрального трубопровода аналогичен расчету рабочего, но в случае секторной расширяющейся системы следует учитывать следующие обстоятельства: 1) уменьшение диаметра магистрального трубопровода (по направлению течения воды) в данной системе приводит к увеличению степени неравномерности водораспределения и поэтому в этом случае диаметр магистрального трубопровода целесообразно принять постоянным; 2) наличие в системе рабочих трубопроводов с одним—двумя разбрызгивающими устройствами осложняет расчет диаметра магистрального трубопровода, вследствие чего целесообразно исключить их из рассмотрения.

Такое упрощение расчета представляется допустимым, так как оно не влияет на последующие расчеты по определению основных показателей системы, т. е. величины потери напора и коэффициента неравномерности водораспределения.

Исходя из указанных положений, расчеты магистрального трубопровода выполнены для постоянного по длине диаметра без учета разбрызгивающих устройств на рабочих трубопроводах в центральной части градирии, начиная

с четырнадцатого по семнадцатый, имеющих один или два разбрызгивающих устройства.

При этом а) количество разбрызгивающих устройств, установленных на первом и последнем рабочих трубопроводах $n_1 = 8$ и $n_m = n_{13} = 3$; б) количество разбрызгивающих устройств, установленных на первом отводе от магистральной трубы и на всех отводах с первого по тринадцатый включительно, $N_1 = n_1 + n_1' = 16$ и $N_{MM} = (n_1 + n_1') + (n_2 + n_2') + \dots + (n_{13} + n_{13}') = 136$.

Таблица 6

Расчетные величины	Диаметр разбрызгивающего устройства d_p , м			
	0,16	0,18	0,20	0,22
β_1	0,0264	0,0208	0,0169	0,0140
$\zeta_{вх.п1}$	0,220	0,220	0,220	0,220
β_n	0,211	0,166	0,135	0,112
$\zeta_{вх.пn}$	0,242	0,234	0,230	0,227
λ_p	0,0362	0,0348	0,0335	0,0327
$\frac{\lambda_p S_{пн}}{d_p}$	0,226	0,193	0,168	0,149
$\frac{n(n-1)(2n-1)}{6n^2}$	2,188	2,188	2,188	2,188
$\zeta_{тр.пn}$	0,494	0,422	0,368	0,326
$\zeta_{рш.пn}$	0,109	0,109	0,109	0,109
$M_p = \frac{\zeta_{вх.пn} - \zeta_{вх.п1}}{\zeta_{тр.пn} + \zeta_{рш.пn}}$	0,0365	0,0264	0,0210	0,0161
$d_p \sqrt[4]{M_p}$	0,0700	0,0727	0,0762	0,0785
$d_n \sqrt{n}$	0,0735	0,0735	0,0735	0,0735

Диаметр магистрального трубопровода находим по формуле (2) табл. 4 настоящего приложения.

$$d_p \sqrt{\frac{N_{MM}}{n_1}} = d_m \sqrt[4]{\frac{\left(\frac{n_m}{n_1}\right)^2 \zeta_{вх.пm} - (\Delta_{тр.пm}^B + \Delta_{рш.пm}^B + \zeta_{вх.п1})}{\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм}}} = d_m \sqrt[4]{M_m}$$

Задаемся следующими значениями диаметра трубопровода $d_m = 0,60; 0,70; 0,80$ м.

Все связанные с решением уравнения подсчеты сводим в табл. 7. По данным этой таблицы можно построить кривую $d_m \sqrt[4]{M_m} = f(d_m)$ и, определив величину $d_p \sqrt{\frac{N_{MM}}{n_1}}$, найти диаметр магистрали $d_m = 0,735$ (рис. 33). Окончательно по сортаменту на стальные трубы принимаем $d_m = 0,70$ м.

Установив величины диаметров, трубопроводов водораспределительной системы ($d_p = 0,185$ м и $d_m = 0,70$ м), переходим к расчету потерь напора пользуясь формулой (9) табл. 4 данного приложения:

$$h_w = \zeta_{вх.п1} \frac{v_n^2}{2g} + (\zeta_{тр.пn} + \zeta_{рш.пn} + \zeta_{вх.п1}) \frac{v_{пn}^2}{2g} + (\zeta_{тр.мм} + \zeta_{рш.мм}) \frac{v_{мм}^2}{2g} =$$

$$= 0,220 \frac{4,762^2}{2 \cdot 9,81} + (0,403 + 0,109 + 0,230) \frac{0,748^2}{2 \cdot 9,81} +$$

$$+ (0,364 + 0,060) \frac{0,975^2}{2 \cdot 9,81} = 0,296 \text{ м.}$$

Большинство из входящих в формулу коэффициентов были определены в табл. 6 и 7 настоящего приложения.

Таблица

Расчетные величины	Диаметр разбрызгивающего устройства d_m , м		
	0,60	0,70	0,80
β_1	0,190	0,140	0,106
$\zeta_{\text{вх.р1}}$	0,238	0,230	0,226
$\beta_{\text{рm}}$	4,31	3,17	2,40
$\zeta_{\text{вх.рm}}$	17,46	9,69	5,52
$\frac{\lambda_{\text{р}} S_{\text{н}}}{d_{\text{р}}}$	0,184	0,184	0,184
$\frac{n_1(n_1-1)(2n_1-1) - n_m(n_m-1)(2n_m-1)}{6n_1^2}$	2,110	2,110	2,110
$\Delta_{\text{тр.рm}}^{\text{в}}$	0,388	0,388	0,388
$\Delta_{\text{рш.рm}}^{\text{в}}$	0,078	0,078	0,078
λ_m	0,0245	0,0235	0,0225
$\frac{\lambda_m S_{\text{р}}}{d_m}$	0,061	0,050	0,042
$\frac{N_{\text{I}}^2 + N_{\text{II}}^2 + \dots + N_{\text{XIII}}^2}{N_{\text{XIII}}^2}$	5,02	5,020	5,020
$\zeta_{\text{тр.мм}}$	0,306	0,251	0,211
$\zeta_{\text{рш.мм}}$	0,070	0,070	0,070
$M_m = \left(\frac{n_m}{n_1}\right)^2 \zeta_{\text{вх.рm}} -$ $-(\Delta_{\text{тр.рm}}^{\text{в}} + \Delta_{\text{рш.рm}}^{\text{в}} + \zeta_{\text{вх.р1}})$	4,617	2,069	0,285
$\frac{\zeta_{\text{тр.мм}} + \zeta_{\text{рш.мм}}}{d_m \sqrt[4]{M_m}}$	0,879	0,839	0,584
$d_{\text{р}} \sqrt{\frac{N_{\text{мм}}}{n_1}}$	0,764	0,764	0,764

Скорость воды в сопле разбрызгивающего устройства подсчитана по формуле (4) табл. 2 настоящего приложения:

$$v_{\text{н}} = \frac{4q_{\text{н}}}{\pi d_{\text{н}}^2} = 1,274 \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{0,026^2} = 4,762 \text{ м/сек.}$$

Скорости воды в начале первого рабочего и в голове магистрального трубопровода рассчитаны по формулам табл. 2 и 4 данного приложения и равны $v_{\text{р1}} = 0,748 \text{ м/сек.}$, $v_{\text{мм}} = 0,975 \text{ м/сек.}$

Потребный напор в начале магистрального трубопровода составит

$$H_{\text{мм}} = \frac{v_n}{2g} + \frac{d_p}{2} + l_n' + h_w = 1,156 + 0,092 + 0,100 + 0,296 = 1,644 \text{ м.}$$

Здесь перед членом l_n' взят знак плюс, так как выходное сечение сопла разбрызгивающего устройства направлено вверх.

Дальнейший расчет системы, заключающийся в определении коэффициента неравномерности водораспределения, представлен в табличной форме. В табл. 8 приведены подсчеты по определению величины коэффициента неравномерности распределения воды в расчетном (концевом) рабочем трубопроводе, а в табл. 9 — в магистральном трубопроводе.

Из данных табл. 8 следует, что распределение расходов воды, проходящих через разбрызгивающие устройства вдоль рабочего трубопровода, близко к равномерному. Экстремальные значения коэффициента отклонения скоростей равны: $\varphi_{\text{н.макс}} = 0$ и $\varphi_{\text{н.мин}} = -0,001$. Следовательно, коэффициент неравномерно-

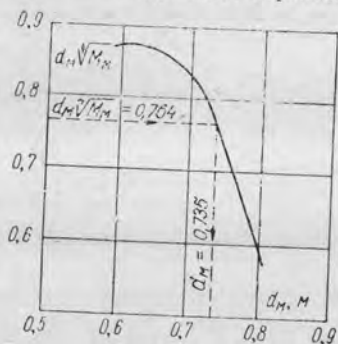


Рис. 33. График зависимости $d_n \sqrt{M_x} = f(d_n)$ для определения диаметра магистральных трубопроводов водораспределительной системы.

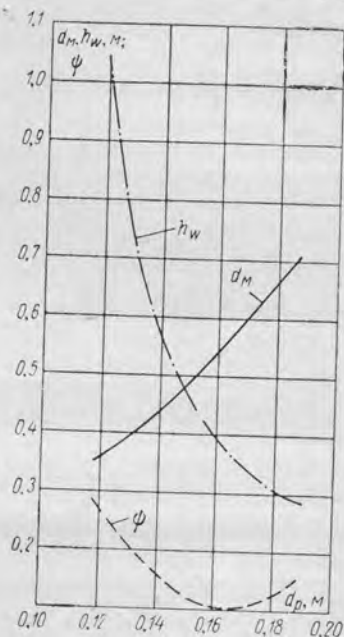


Рис. 34 График зависимости неравномерности водораспределения ψ , напора h_w и диаметра магистрального трубопровода d_m от диаметра рабочего трубопровода водораспределительной системы d_p .

сти распределения воды в разбрызгивающих устройствах равен $\psi_n = \varphi_{\text{н.макс}} - \varphi_{\text{н.мин}} = 0 - (-0,001) = 0,001$.

Для магистрального трубопровода согласно данным табл. 9 имеем $\varphi_{p.\text{макс}} = 0,091$ и $\varphi_{p.\text{мин}} = -0,064$. Отсюда коэффициент неравномерности распределения воды в рабочих трубопроводах составит

$$\psi_p = \varphi_{p.\text{макс}} - \varphi_{p.\text{мин}} = 0,091 - (-0,064) = 0,155.$$

Общий коэффициент неравномерности водораспределения в системе будет

$$\psi = \psi_n + \psi_p = 0,001 + 0,155 = 0,156.$$

Однако, принимая во внимание малое число разбрызгивающих устройств, установленных на 12-м рабочем трубопроводе (6 устройств в обе стороны),

Таблица 8

Расчетные величины	Номер разбрызгивающего устройства							
	1	2	3	4	5	6	7	8
β_1	0,020	—	—	—	—	—	—	—
$\zeta_{\text{вх.иИ}}$	0,220	—	—	—	—	—	—	—
$\hat{\zeta}_i = i\hat{\zeta}_1$	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160
$\zeta_{\text{вх.иИ}}$	0,220	0,221	0,222	0,224	0,225	0,228	0,230	0,233
$a_{\text{иИ}} = 1 + \zeta_{\text{вх.иИ}}$	1,220	—	—	—	—	—	—	—
$a_{\text{иИ}} = 1 + \zeta_{\text{вх.иИ}}$	1,220	1,221	1,222	1,224	1,225	1,228	1,230	1,233
λ_p	0,0340	—	—	—	—	—	—	—
$\frac{\lambda_p S_n}{d_p}$	0,184	—	—	—	—	—	—	—
$\frac{i(i-1)(2i-1)}{6n^2}$	0	0,016	0,078	0,219	0,469	0,859	1,422	2,188
$\zeta_{\text{тр.пИ}}$	0	0,003	0,015	0,041	0,087	0,160	0,264	0,407
$\zeta_{\text{рш.пИ}}$	0	0,016	0,031	0,047	0,062	0,078	0,094	0,109
$b_{\text{пИ}} = (\zeta_{\text{тр.пИ}} + \zeta_{\text{рш.пИ}}) \times$ $\times n^2 \left(\frac{d_n}{d_p}\right)^4$	0	0,001	0,001	0,002	0,004	0,006	0,009	0,013
$A_{\text{иИ}} = a_{\text{иИ}} + b_{\text{пИ}}$	1,220	1,221	1,221	1,222	1,224	1,226	1,229	1,233
$\frac{A_{\text{иИ}}}{a_{\text{иИ}}}$	1	1	0,999	0,998	0,999	0,998	0,999	1
$\frac{v_{\text{иИ}}}{v_{\text{н.сп}}} = \sqrt{\frac{A_{\text{иИ}}}{a_{\text{иИ}}}}$	1	1	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	1
$\varphi_{\text{иИ}} = \frac{v_{\text{иИ}}}{v_{\text{н.сп}}} - 1$	0	0	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0

что составляет 4% от общего числа разбрызгивающих устройств в расчетном секторе, коэффициент $\varphi_{\text{р.мин}} = -0,064$ может быть исключен из рассмотрения как величина единичной повторяемости.

Тогда коэффициент неравномерности водораспределения в рабочих трубопроводах будет

$$\psi_p = 0,091 - (0,052) = 0,143.$$

Таблица 9

Номер трубопровода	$\varphi_{\text{пИ}}$	Номер трубопровода	$\varphi_{\text{пИ}}$	Номер трубопровода	$\varphi_{\text{пИ}}$
1	0	7	0,003	13	-0,024
2	0,091	8	-0,039	14	-0,052
3	0,037	9	-0,024	15	-0,048
4	0,091	10	-0,050	16	-0,048
5	0,036	11	-0,034	17	-0,008
6	-0,013	12	-0,064		

а общий коэффициент неравномерности

$$\psi = 0,001 + 0,143 = 0,144.$$

Окончательные гидравлические показатели рассмотренного варианта водораспределительной системы (вариант I) приведены в табл. 10, в которой даны также результаты расчетов еще двух ее вариантов. В графическом виде эти результаты представлены на рис. 34. Расчет последних двух вариантов системы выполнен исходя из заданных величин диаметров рабочих трубопроводов, а именно: во втором варианте $d_p = 0,160$ м и в третьем $d_p = 0,120$ м.

Из приведенных результатов расчетов следует, что лучшими гидравлическими показателями обладают I и II варианты водораспределительной системы, которые и подлежат дальнейшему рассмотрению.

Таблица 10

Номер варианта системы	Диаметр трубопровода		Потери напора в системе h_{Σ} , м	Коэффициенты неравномерности водораспределения		
	рабочего	магистрального		в разбрызгивающих устройствах ψ_{Π}	в рабочих трубопроводах ψ_p	общий ψ
	d_p	d_m				
I	0,185	0,700	0,296	0,001	0,143	0,144
II	0,160	0,540	0,389	0,002	0,104	0,106
III	0,120	0,360	1,056	0,003	0,268	0,271

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

РАСЧЕТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАШЕННЫХ ПРОТИВОТОЧНЫХ ГРАДИРЕН

1. Характеристики градирен и их применение

Расчетные характеристики или графики охлаждения воды в градирнях являются технологическим паспортом градирен. На их основе производится приемка градирен в эксплуатацию, а затем ведется и контролируется режим их работы. Характеристики служат также исходным материалом при применении типовых и повторном применении индивидуальных проектов градирен.

Характеристики выражают зависимость температуры охлажденной в градирнях воды от тепловой и гидравлической нагрузок, а также метеорологических условий работы градирен. Так как интенсивность охлаждения воды в градирнях зависит в основном от конструкции и размеров этих сооружений, то каждая градирня имеет свою характеристику. Однако возможны случаи совпадения в той или иной мере характеристик градирен различного типа и размеров.

Общность характеристик может быть предусмотрена при проектировании градирен соответствующим выбором размеров некоторых их главных частей. Так, например, для серии однотипных градирен с различной площадью орошения это можно достигнуть за счет высоты вытяжной башни или высоты башни и воздухоходных окон.

Следует иметь в виду, что внесение в проект той или иной градирни каких-либо изменений или отступлений от проекта при ее сооружении, например, изменение расстояния между щитами оросительного устройства может оказать существенное влияние на эффективность работы градирни и тем самым изменить ее первоначальную характеристику.

Таким образом, применение характеристик является ограниченным. Определение температур охлажденной воды по этим графикам может производиться только для тех градирен, для которых они построены. Поэтому каждая характеристика должна иметь краткие указания о конструкции градирни и ее основных размерах. Кроме того, должны быть указаны организация, выпустившая проект данной градирни, номер заглавного чертежа и год выпуска проекта. Характеристики без таких указаний не имеют практического значения и не могут быть надлежащим образом использованы.

При определении температур воды по характеристикам необходимо предварительно выяснить общий характер работы рассматриваемой градирни или группы совместно работающих градирен.

Здесь возможны следующие случаи:

Цикл работы градирни — замкнутый

1. Градирня работает в блоке с обслуживаемым ее оборудованием, температурный перепад в градирне равен нагреву воды (температурному перепаду на производстве, или средневзвешенному температурному перепаду, если градирня обслуживает не один, а несколько агрегатов с различными параметрами (расходами воды и температурными перепадами).

2. Градирня работает параллельно с другими градирнями, имеющими общую с ней характеристику. При равных плотностях орошения температурные перепады и температуры воды во всех градирнях будут одни и те же. Следовательно, режим работы всех градирен идентичен, и каждая градирня может рассматриваться, как работающая в блоке с оборудованием.

При разных плотностях орошения и при одной и той же температуре воды, поступающей в градирни, температура охлажденной воды и температурные перепады в градирнях будут уже различными. В этих условиях режим работы каждой градирни, помимо всех других факторов, зависит от режима работы всех остальных градирен.

3. Параллельно работающие градирни имеют разные характеристики. Идентичность режима их работы может быть достигнута при различных плотностях орошения, т. е. при вполне определенном распределении общего расхода охлаждаемой воды между отдельными градирнями. Такое же положение имеет место и при параллельной работе градирен с охладителями других типов, а именно: водохранилищами-охладителями и брызгальными бассейнами.

Цикл работы градирен — разомкнутый

При работе градирен по разомкнутому циклу температурный перепад в градирнях зависит от температуры поступающей воды и метеорологических условий (температуры наружного воздуха и его относительной влажности).

Работа градирен по разомкнутому циклу имеет место в сравнительно редких случаях, например, в проточных системах водоснабжения при необходимости некоторого доохлаждения воды перед сбросом ее в водоток или при последовательной работе градирен с водохранилищем-охладителем.

Расчетные графики охлаждения воды могут быть представлены, как это имеет место в практике, в различном виде, но наряду с удобством и простотой их применения они должны обеспечивать достаточную точность определяемых величин температур воды.

Приведенные в качестве примера на рис. 35—37 графики для определения температуры охлажденной воды для башенных противоточных градирен конструкции ЛОТЭПа площадью орошения $F = 1200$ и 1600 м² составлены, как обычно, для условий их работы по замкнутому циклу, но они применимы также и для случаев работы градирен при разомкнутом цикле.

Эти градирни являются однотипными и запроектированы в двух вариантах с железобетонными гиперболическими и металлическими каркасно-обшивными вытяжными башнями. Плановая компоновка градирен — секторная. Оросительное устройство в каждой градирне предусмотрено двух взаимозаменяемых типов: асбестоцементное из плоских щитов с расстоянием между ними, равным 25,0 мм в свету и деревянное блочно-щитовое с расстоянием между досками в рядах 22,0 мм (в свету).

Подача воды в градирню осуществляется через центральный железобетонный стоек. Система водораспределения — напорная, трубчатая с разбрызгивающими устройствами типа сопло-отражатель с направленным вверх выходным сечением. Водоуловители в градирнях не предусмотрены.

График температур охлажденной воды при $q = 6,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ и $\Delta t = 10,0^\circ\text{C}$

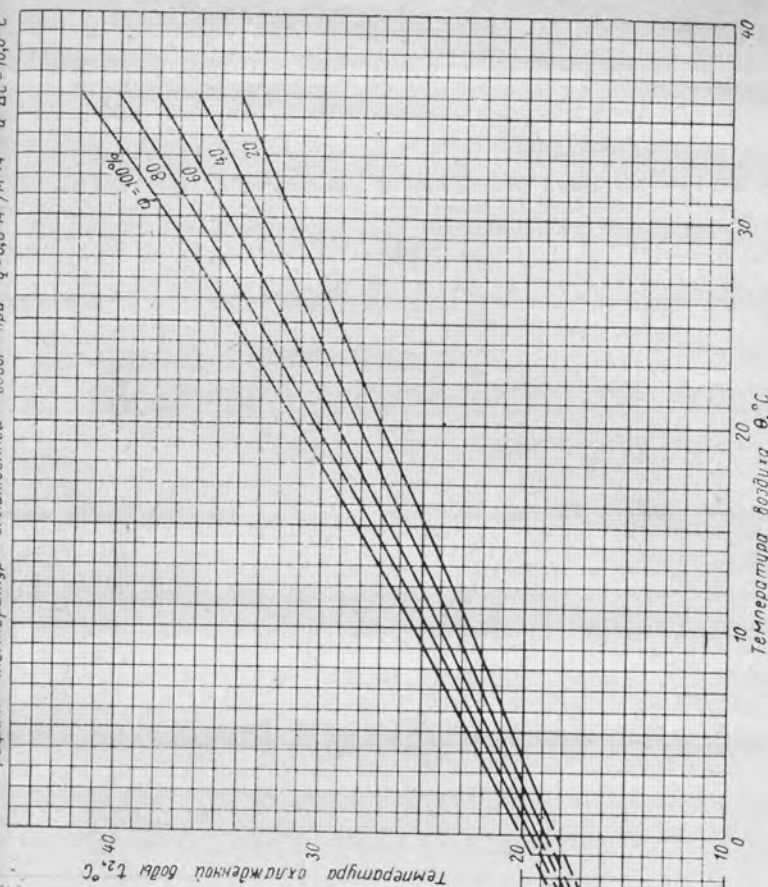


Рис. 35. График температуры охлажденной воды для градиен площадью орошения $F = 1200$ и 1600 м^2 конструкции ЛОТЭПа при $q = 6,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ и $\Delta t = 10,0^\circ\text{C}$.

График поправок на температурный перепад $\Delta t^\circ\text{C}$

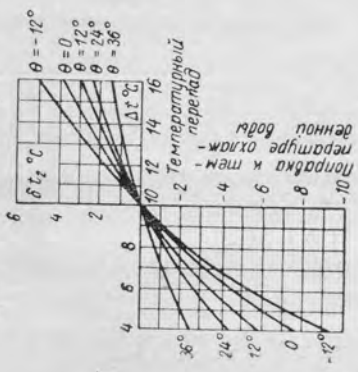


График поправки на температурный перепад Δt °С

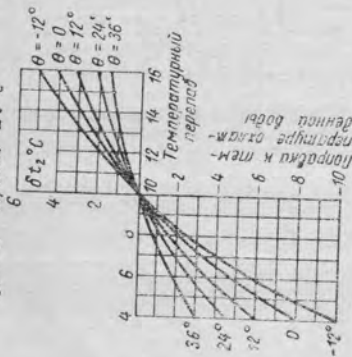


График температур охлажденной воды при $q = 8,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ и $\Delta t = 10,0^\circ \text{C}$

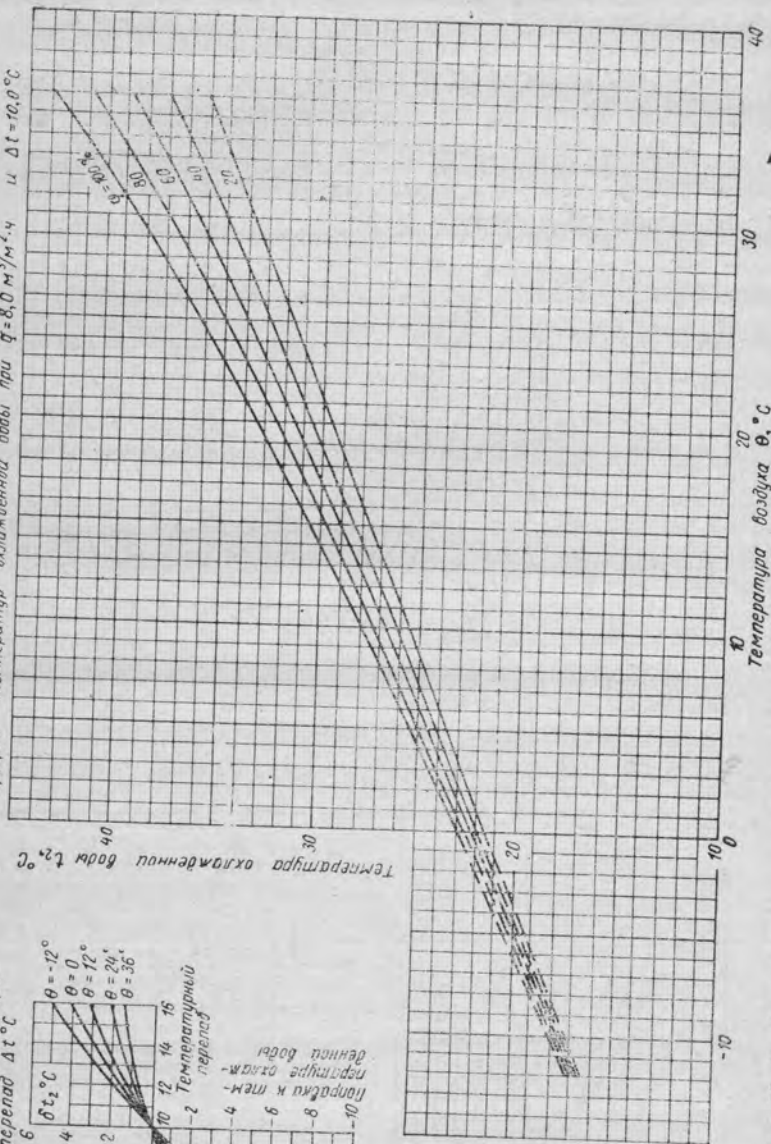


Рис. 36. График температуры охлажденной воды для градирен площадью брожения $F = 1200$ и 1600 м^2 конструкции ЛОТЭПа при $q = 8,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ и $\Delta t = 10,0^\circ \text{C}$

1600 м² конструкции ЛОТЭПа при q = 8,0 м³/м²ч и Δt = 10,0°С.

График поправки на температурный переход Δt°С

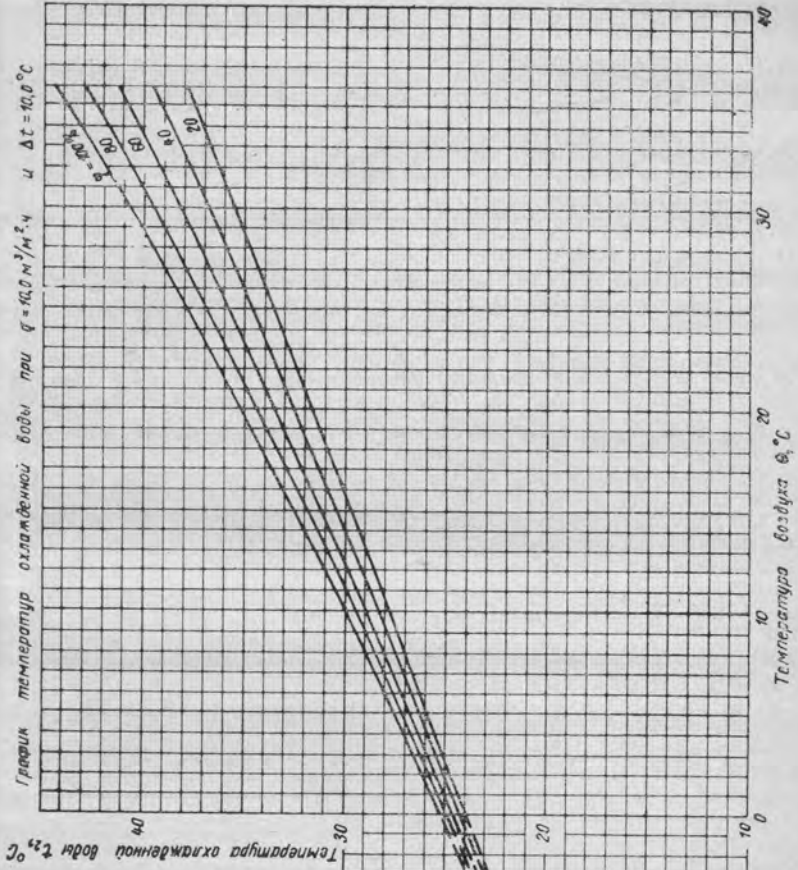
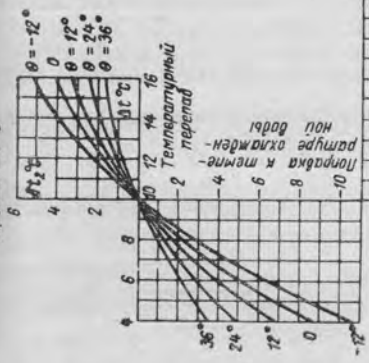


График температур охлаждающей воды при $q = 10,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ и $\Delta t = 10,0^\circ\text{C}$

Рис. 37. График температуры охлаждающей воды для градирен площадью Орошения $F = 1200$ и 1600 м^2 конструкции ЛОТЭПа при $q = 10,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ и $\Delta t = 10,0^\circ\text{C}$.

Воздуховодные окна градирен имеют воздушнонаправляющие козырьки и оборудованы поворотными щитами для регулирования в зимнее время расхода воздуха, поступающего в градирни.

Основные размеры градирен, являющиеся их конструктивным показателем и исходными данными для технологического расчета следующие:

Площадь орошения, $м^2$	1200	1600
Диаметр градирни в основании, $м$	40,0	46,0
Диаметр входного сечения башни, $м$	25,0	29,9
Высота градирни, $м$	49,68	54,90
Высота башни, $м$	43,53	47,75
Высота воздуховодных окон, $м$	3,30	3,30
Высота оросительного устройства, $м$	2,85	2,85
Площадь воздуховодных окон, $м^2$	414	477

Общая расчетная характеристика этих градирен состоит из трех графиков для определения температуры охлажденной воды при плотности орошения $q=6,0; 8,0$ и $10,0 м^3/м^2ч$.

Каждый такой график в свою очередь состоит из основного графика и поправочного на температурный перепад. По основному графику находятся температуры охлажденной воды при указанных выше плотностях орошения при температурном перепаде $\Delta t=10,0^\circ C$, температуре наружного воздуха в пределах от $-10,0$ до $+35,0^\circ C$ и его относительной влажности в диапазоне $20-100\%$.

При других температурных перепадах температура охлажденной воды находится также по основному графику с введением поправки на температурный перепад. Для плотностей орошения в пределах $q=6,0-8,0 м^3/м^2ч$ и $q=8,0-10,0 м^3/м^2ч$ температуры охлажденной воды находятся путем линейной интерполяции.

При определении температуры охлажденной воды для отрицательной температуры наружного воздуха необходимо иметь в виду, что температура охлажденной воды в зимнее время не должна снижаться ниже определенного уровня во избежание обледенения внутренних конструкций градирен. Допустимая минимальная температура охлажденной воды в этих условиях зависит от тепловой и гидравлической нагрузок градирни (температурного перепада и плотности орошения) и ее конструкции. В градирнях конструкции ЛОТЭПа при плотности орошения $q=6,0-7,0 м^3/м^2ч$ и температурном перепаде $\Delta t=8,0-10,0^\circ C$ минимальная температура охлажденной воды поддерживается на уровне $10,0-12,0^\circ C$. Чтобы иметь в виду указанное обстоятельство, на графиках кривые температуры охлажденной воды в зоне отрицательных температур наружного воздуха показаны пунктиром.

Примеры определения температур охлажденной воды по графикам

Пример 1. Требуется определить температуру охлажденной воды для группы параллельно работающих однотипных градирен конструкции ЛОТЭПа площадью орошения $1600 м^2$ каждая. Градирни имеют общую характеристику. Плотность орошения и температурный перепад во всех градирнях одни и те же.

Задано: тепловая нагрузка градирни $101 \cdot 10^6 ккал/ч$; гидравлическая нагрузка $11500 м^3/ч$; плотность орошения $7,2 м^3/м^2ч$; температурный перепад $8,8^\circ C$; температура воздуха по сухому термометру $20,4^\circ C$; относительная влажность воздуха 65% ; скорость ветра $1,5 м/сек$.

Температура охлажденной воды при заданной плотности орошения находится путем линейной интерполяции по температурам охлажденной воды, определенным по графикам при плотностях орошения $q=6,0$ и $8,0 м^3/м^2ч$.

По основному графику на рис. 35 находим для заданных θ_1 и φ_1 температуру охлажденной воды t_2' при $q=6,0 м^3/м^2ч$ и $\Delta t=10,0^\circ C$ и затем по второму графику поправку на температурный перепад $\Delta t=8,8^\circ C$.

И меем

$$t_{2(6)} = t_2' + \delta t_t = 29,8 - 0,9 = 28,9^\circ\text{C}.$$

Аналогично по графикам на рис. 36 температура охлажденной воды при $q = 8,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ и $\Delta t = 8,8^\circ\text{C}$ составит

$$t_{2(8)} = 32,0 - 0,7 = 31,3^\circ\text{C}.$$

Температуру охлажденной воды при заданных $q = 7,2 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ и $\Delta t = 8,8^\circ\text{C}$ подсчитываем по формуле

$$t_2 = t_{2(6)} + \frac{t_{2(8)} - t_{2(6)}}{q_{(8)} - q_{(6)}} (q_{(7,2)} - q_{(6)}) =$$

$$= 28,9 + \frac{31,3 - 28,9}{8,0 - 6,0} (7,2 - 6,0) = 28,9 + 1,44 = 30,34^\circ\text{C}.$$

Далее по графику на рис. 10 находим поправку на ветер. Температура охлажденной воды для заданных условий будет равна

$$t_2 = t_2 + \delta t_w = 30,34 + 0,75 = 31,09 \approx 31,1^\circ\text{C}.$$

Пример II. Градирия площадью орошения 1600 м^2 работает в блоке с обслуживаемым ею оборудованием. Необходимо определить температуру охлажденной в градирие воды при следующих условиях: $U = 75,6 \cdot 10^6 \text{ ккал/ч}$; $Q = 12600 \text{ м}^3/\text{ч}$; $q = 6,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$; $\Delta t = 6,0^\circ\text{C}$; $\theta_1 = -11,0^\circ\text{C}$; $\varphi_1 = 80\%$.

По графикам на рис. 35 находим

$$t_{2\text{к}} = t_2' + \delta t_t = 13,9 - 5,1 = 8,8^\circ\text{C}.$$

Так как полученная расчетная температура охлажденной воды ниже минимальной, которая должна поддерживаться во избежание обледенения градирии, то температуру охлажденной воды принимаем равной $t_2 = 12,0^\circ\text{C}$.

Пример III. Градирия площадью орошения 1200 м^2 работает по разомкнутому циклу.

Задано: плотность орошения $q = 8,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$, температура воды, поступающей на градирию $t_1 = 38,4^\circ\text{C}$, температура воздуха по сухому термометру $\theta_1 = 15,5^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $\varphi_1 = 73\%$, скорость ветра $w = 0$.

Требуется определить температуру охлажденной воды и температурный перепад в градирие.

Применение в этом случае графиков охлаждения, составленных для градири, работающих по замкнутому циклу, является более сложным, чем в предыдущих примерах. Очевидно, что при установившемся режиме работы градирии по разомкнутому циклу, т. е. при постоянных значениях величин q , t_1 , θ_1 , φ_1 и w температурный перепад в градирие также будет постоянной величиной. Поэтому режимы работы градирии, работающей на разомкнутом цикле, с температурным перепадом Δt_t и такой же градирии, работающей на замкнутом цикле, с тем же температурным перепадом Δt_t будут полностью идентичны.

Задаемся несколькими значениями температурного перепада и по графикам на рис. 36 находим соответствующую этим перепадам температуру охлаж-

Таблица I

Температурный перепад Δt_t , °C	Температура воды, °C			
	охлажденной			горячей
	t_2'	δt_t	t_2	t_1
16,0	29,7	2,8	32,5	48,5
12,0	29,7	1,1	30,8	42,8
8,0	29,7	-1,5	28,2	36,2

денной воды. Затем, зная температурный перепад, находим температуру горячей воды. Эти данные приведены в табл. 1 данного приложения.

По данным табл. 1 строим график зависимости $t_2 = f(t_1)$, по которому на-

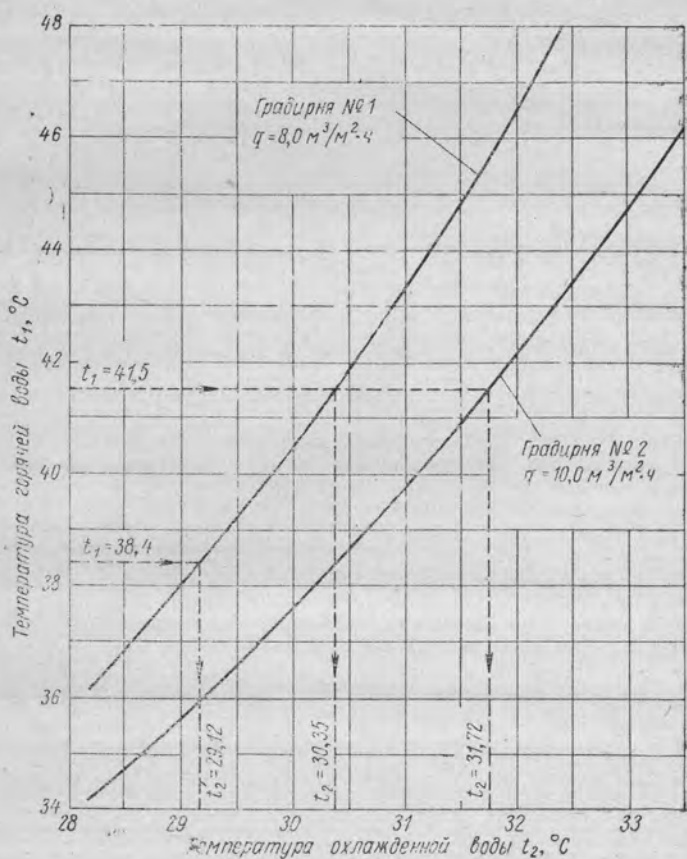


Рис. 38. График зависимости $t_2 = f(t_1)$ для градирии $F = 1600$ м² конструкции ЛОТЭПа.

ходим, что при $t_1 = 38,4^\circ$ С температура охлажденной воды $t_2 = 29,12^\circ$ С (рис. 38, градирия № 1), а температурный перепад: $\Delta t = 38,4 - 29,12 = 9,28^\circ$ С.

Пример IV. Две однотипные градирии № 1 и 2 площадью орошения 1200 м² каждая, имеющие общую характеристику, работают параллельно с различными гидравлическими нагрузками. Плотность орошения градирии № 1 равна $q_1 = 8,0$ м³/м²·ч, а градирии № 2 10,0 м³/м²·ч. Остальные исходные данные за исключением температуры воды, поступающей в градирии, те же, что и в предыдущем примере III. Необходимо при заданных условиях установить режим работы каждой градирии. В данном случае задача решается подбором с использованием графиков зависимости $t_2 = f(t_1)$.

Для градирии № 1 применим график $t_2 = f(t_1)$, приведенный в примере III, поскольку расчетные данные для рассматриваемой градирии полностью отвечают условиям примера.

Для построения соответствующего графика для градири № 2 задаемся, как и ранее, несколькими значениями температурного перепада и по характеристике градири при $q_2 = 10,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}$ (рис. 37) находим для этих перепадов температуру охлажденной и горячей воды. Результаты подсчетов даны в табл. 2 данного приложения и в графическом виде на рис. 38.

Таблица 2

Температурный перепад $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Температура воды, $^\circ\text{C}$			
	охлажденной			горячей
	t_2'	δt	t_2	t_1
12,0	31,9	1,2	33,1	45,1
8,0	31,9	-1,6	30,3	38,3
6,0	31,9	-3,7	28,2	34,2

Далее задаемся температурой горячей воды $t_1 = 41,5^\circ\text{C}$ и по кривым $t_2 = f(t_1)$ находим температуру охлажденной воды, равную для градири № 1 $t_{2(8)} = 30,35^\circ\text{C}$ и для градири № 2 $t_{2(10)} = 31,72^\circ\text{C}$. Температурные перепады в градириях соответственно составят $\Delta t = 11,15^\circ\text{C}$ и $9,78^\circ\text{C}$.

Температуру смешанной охлажденной воды, поступающей на производство, определяем по формуле

$$t_{2(\text{см})} = \frac{(q_1 t_{2(8)} + q_2 t_{2(10)}) F}{(q_1 + q_2) F} = \frac{(8,0 \cdot 30,35 + 10,0 \cdot 31,72) 1200}{(8,0 + 10,0) 1200} = 31,11^\circ\text{C}.$$

Средневзвешенный температурный перепад будет равен $\Delta t_{\text{вз}} = t_1 - t_{2(\text{см})} = 41,50 - 31,11 = 10,39^\circ\text{C}$.

Равенство значений средневзвешенных температурных перепадов, заданного и полученного подсчетом по характеристике градири, определяет правильность подбора температуры горячей воды и следовательно определения режима работы градири.

Так как при заданной температуре нагретой воды $t_1 = 41,50^\circ\text{C}$ средневзвешенный температурный перепад $\Delta t_{\text{вз}} = 10,39^\circ\text{C}$ незначительно отличается от расчетного $\Delta t_{\text{рас}} = 10,40^\circ\text{C}$, то вычисленные значения температуры охлажденной воды и температурных перепадов в градириях могут быть приняты как окончательные.

В противном случае необходимо было бы задаться другими значениями температуры нагретой воды и повторить подсчеты до достижения равенства температурных перепадов. Итак, в результате выполненных подсчетов установлен следующий режим работы градири: температура нагретой воды $t_1 = 41,50^\circ\text{C}$, температура охлажденной воды в градири № 1 $t_2 = 30,35^\circ\text{C}$, в градири № 2 $t_2 = 31,72^\circ\text{C}$, температурные перепады $\Delta t = 11,15^\circ\text{C}$ и $9,78^\circ\text{C}$, температура смешанной охлажденной воды, поступающей на производство $t_{2(\text{см})} = 31,11^\circ\text{C}$, средневзвешенный температурный перепад $\Delta t_{\text{вз}} = 10,39^\circ\text{C}$.

Определим теперь температуру охлажденной воды, полагая, что гидравлические нагрузки градири равны. Тогда плотность орошения градири составит:

$$q = \frac{(q_1 + q_2)}{2} = \frac{8,10 + 10,0}{2} = 9,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ ч}.$$

Температурный перепад в градириях будет равен перепаду на производстве, т. е. $\Delta t = 10,4^\circ\text{C}$.

По графику на рис. 36 находим температуру охлажденной воды при $q = 8,0^\circ\text{C}$ и $\Delta t = 10,4^\circ\text{C}$, равную $t_{2(8)} = 29,8^\circ\text{C}$; по графику на рис. 37 при $q = 10,0^\circ\text{C}$ и $\Delta t = 10,4^\circ\text{C}$ температура охлажденной воды $t_{2(10)}$ равна $32,0^\circ\text{C}$.

Искомая температура охлажденной воды при $\Delta t = 9,0^\circ\text{C}$ будет

$$t_{2(9)} = \frac{t_{2(8)} + t_{2(10)}}{2} = \frac{29,8 + 32,0}{2} = 30,9^\circ\text{C}.$$

Приведенные подсчеты показывают, что однотипные градири, имеющие общую характеристику, работают в оптимальном режиме при равных плотностях орошения и что в случае работы этих градири с различными плотностями орошения определение температуры охлажденной воды по средним значениям q и Δt дает заниженное ее значение.

Однако в данном примере расхождение в температуре охлажденной воды, определенное тем и другим способом, невелико и составляет $0,21^{\circ}\text{C}$. Поэтому в ряде случаев определение температуры воды может производиться по средним значениям q и Δt с введением соответствующей поправки, вычисленной для различных метеорологических условий.

Таким же способом определяется режим параллельно работающих градиен, имеющих различные характеристики.

ПРИЛОЖЕНИЕ V

Физические константы сухого воздуха при давлении 1 *ата*¹

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Удельный вес γ , кг/м^3	Коэффициент теплопроводности λ , $\text{ккал/м}\cdot\text{ч}\cdot^{\circ}\text{C}$	Коэффициент кинематической вязкости $\nu\cdot 10^6$, $\text{м}^2/\text{сек}$
-20	1,351	0,0198	12,0
-10	1,300	0,0204	12,8
0	1,252	0,0210	13,7
10	1,206	0,0217	14,7
20	1,164	0,0223	15,7
30	1,127	0,0229	16,6
40	1,092	0,0235	17,6
50	1,057	0,0241	18,6
60	1,025	0,0248	19,6
70	0,996	0,0254	20,6
80	0,968	0,0260	21,7
90	0,942	0,0266	22,7
100	0,916	0,0272	23,8

¹ При давлениях, близких к 1 *ата*, можно считать, что λ не зависит от давления, а ν обратно пропорционален давлению.

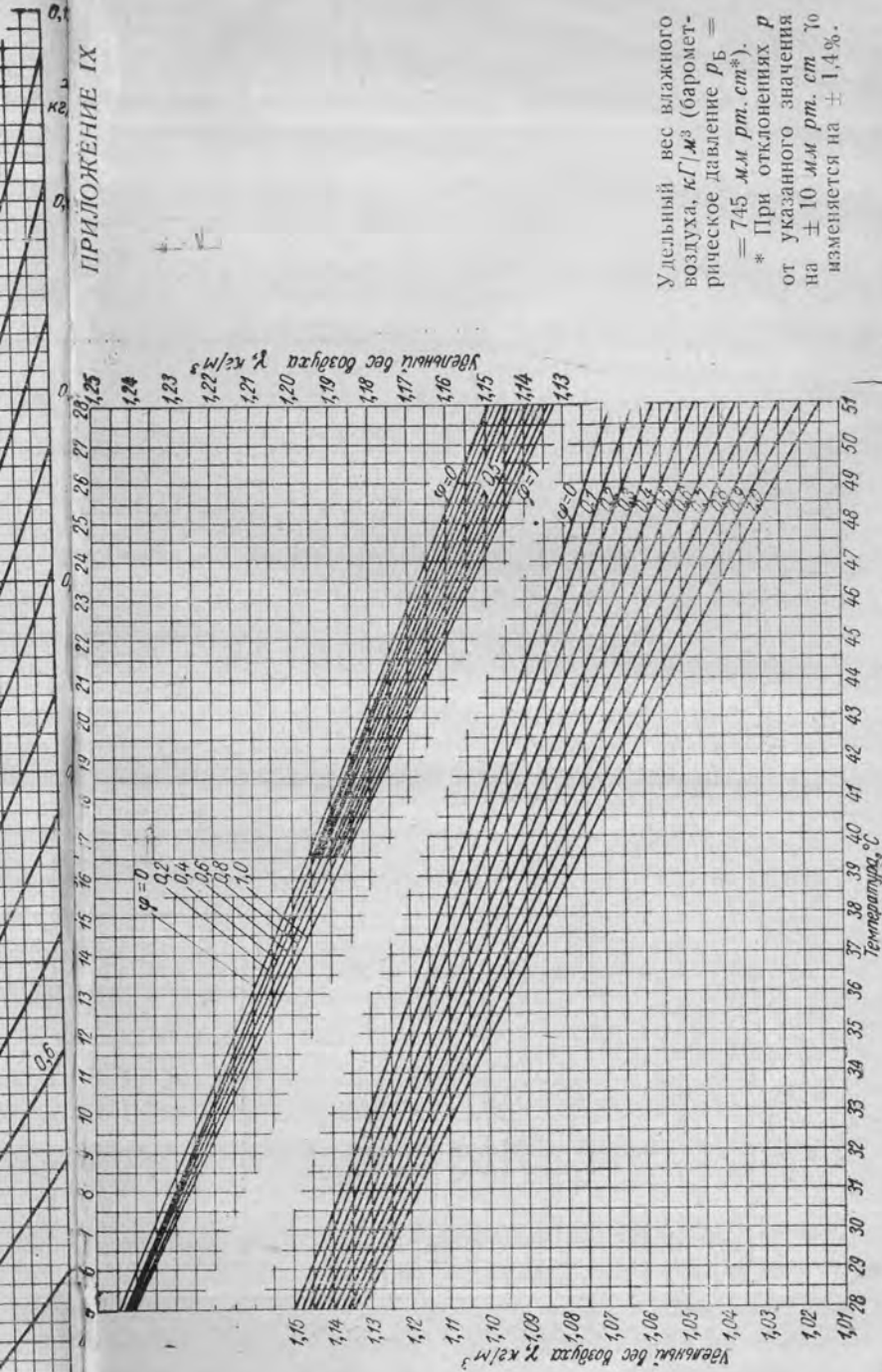
ПРИЛОЖЕНИЕ VI

Физические константы воды

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Удельный вес γ , кг/м^3	Коэффициент теплопроводности λ , $\text{ккал/м}\cdot\text{ч}\cdot^{\circ}\text{C}$	Коэффициент динамической вязкости $\mu\cdot 10^6$, $\text{кг/сек}\cdot\text{м}^2$	Коэффициент кинематической вязкости $\nu\cdot 10^6$, $\text{м}^2/\text{сек}$	Теплота парообразования r , ккал/кг
0	999,8	0,474	182,0	1,790	597,3
5	1000,0	0,484	154,3	1,515	594,5
10	999,7	0,494	133,0	1,300	591,7
15	999,1	0,505	116,5	1,140	588,9
20	998,2	0,515	102,0	1,000	586,0
25	997,1	0,523	90,6	0,891	583,2
30	995,7	0,531	81,7	0,806	580,4
35	994,1	0,538	73,6	0,727	577,6
40	992,2	0,545	66,6	0,659	574,7
45	990,2	0,551	61,1	0,606	571,8
50	988,1	0,557	56,0	0,556	569,0
55	985,7	0,562	51,8	0,515	566,1
60	983,2	0,567	47,9	0,478	563,2
65	980,7	0,571	44,5	0,445	560,2
70	977,8	0,574	41,4	0,415	557,3
75	974,9	0,577	38,7	0,389	554,3
80	971,8	0,580	36,2	0,365	551,3
85	968,7	0,583	34,0	0,344	548,3
90	965,3	0,585	32,1	0,326	545,2
95	961,9	0,587	30,3	0,309	542,1
100	958,4	0,587	28,8	0,295	539,0

Примечание. Все константы для воды (т. е. исключая r) при 1 *ата*

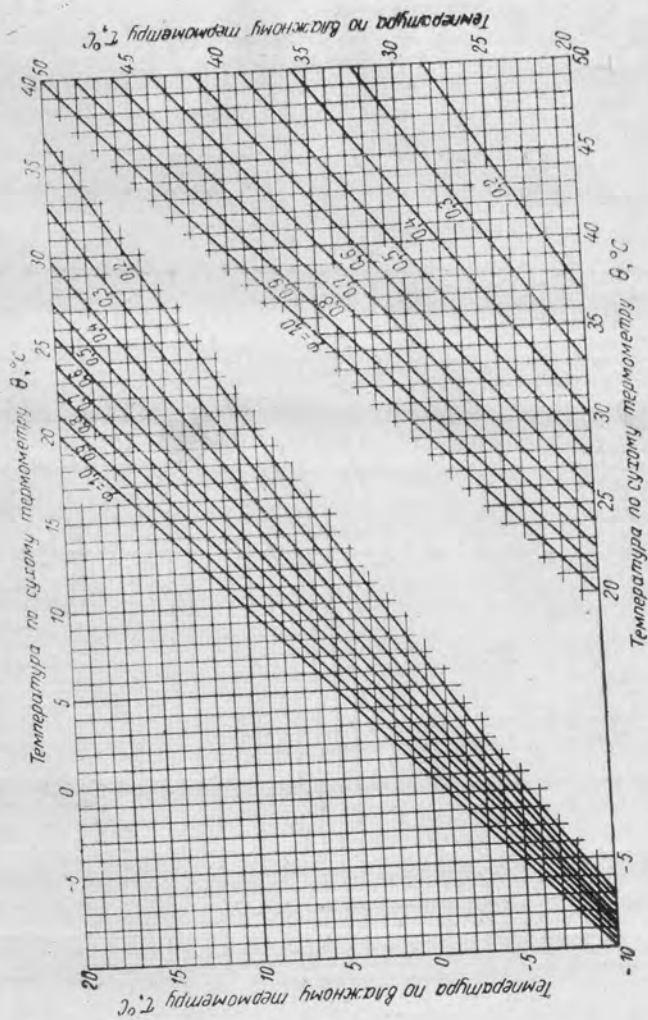
ПРИЛОЖЕНИЕ IX



Удельный вес влажного воздуха, кг/м^3 (барометрическое давление $P_B = 745 \text{ мм рт. ст.}^*$).

* При отклонениях p от указанного значения на $\pm 10 \text{ мм рт. ст.}$ γ_0 изменяется на $\pm 1,4\%$.

ПРИЛОЖЕНИЕ X



Психрометрическая диаграмма (барометрическое давление

$p_B = 745 \text{ мм рт. ст.}$).

(В области температур ниже 0°C давления насыщения пара приняты для льда).

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
I. Общие положения	4
Область применения	4
Основные обозначения	4
Терминология	5
Классификация градирен	6
Состав, содержание, порядок разработки и виды проектирования градирен. Класс капитальности градирен	6
II. Исходные данные для проектирования	7
Исследования и изыскания	7
Условия строительства и эксплуатации	9
III. Основные вопросы проектирования	10
Типизация градирен	10
Выбор конструкций и определение основных размеров главных частей градирен	10
Компоновка градирен	11
IV. Технологический расчет градирен	16
Общие указания	16
Тепловой расчет градирен	17
Аэродинамический расчет градирен	26
V. Гидравлический расчет водораспределительных систем	36
Общие указания	36
Гидравлический расчет разбрызгивающих устройств	37
Гидравлический расчет водораспределительных систем	38
VI. Потери воды в градирнях	39
VII. Конструкция градирен	40
Вытяжные башни	40
Водораспределительные системы и водоуловители	47
Оросительные устройства	51
Каркас оросительных устройств и ветровые перегородки	56
Водосборные бассейны	57
VIII. Технико-экономические расчеты градирен	60
Приложения	
Приложение I. Основные параметры ряда башенных противоточных градирен большой производительности	62
Приложение II. Технологический расчет градирен	62
Приложение III. Гидравлический расчет водораспределительных систем	68
Приложение IV. Расчетные технологические характеристики башенных противоточных градирен	87
Приложение V. Физические константы сухого воздуха	96
Приложение VI. Физические константы воды	96
Приложение VII. Энтальпия (теплосодержание) влажного воздуха	96
Приложение VIII. Влагосодержание воздуха	97
Приложение IX. Удельный вес влажного воздуха	97
Приложение X. Психрометрическая диаграмма	98
	99

вклейка
вклейка

ой
С.
С.
С.
С.
С.
С.

ПРИЛОЖЕНИЕ VII

Энтальпия (теплосодержание) влажного воздуха (барометрическое давление $p_B = 745 \text{ мм рт. ст.}$).

