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

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ НАСОСНЫХ БЛОКОВ И ВОДНЫХ ТРАКТОВ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭС И АЭС БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

П 06-82
ВНИИГ

ЛЕНИНГРАД
1983

gost.e-ecolog.ru

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

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ НАСОСНЫХ БЛОКОВ И ВОДНЫХ ТРАКТОВ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭС И АЭС БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

П 06-82
ВНИИГ

ЛЕНИНГРАД
1983

УДК 628.1 : 621.311.21+621.65/69

Рекомендации составлены на основе обобщения отечественного опыта проектирования и гидравлических расчетов насосных блоков, водных трактов и гидротехнических сооружений, входящих в системы охлаждения ТЭС и АЭС. При составлении Рекомендаций были использованы результаты многолетних гидравлических исследований насосных блоков, напорных трубопроводных систем и различных гидротехнических сооружений, выполненных во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева доктором техн. наук В. Б. Дульневым, инженерами Т. Б. Ищук, Н. А. Чертковой, В. Р. Мери и др., а также проектные материалы института Атомтеплоэлектропроект.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников, занимающихся решением проблем технического водоснабжения ТЭС и АЭС.

Рекомендациями следует руководствоваться при проектировании систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС и при выполнении гидравлических расчетов насосных блоков (т. е. блоков циркуляционных насосных станций, совмещенных с водоприемными сооружениями), напорных и сливных трубопроводов, узлов сопряжения сливных трубопроводов с отводящим каналом и гидротехнических сооружений на отводящем канале.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева (ВНИИГ), 1983.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прирост производства электроэнергии в предстоящие годы будет происходить в основном за счет ядерного горючего, гидроэнергии и использования углей в восточных районах страны. В 1985 г. доля выработки электроэнергии на атомных и гидравлических электростанциях составит около 30% [1], а в европейской части страны основной прирост производства электроэнергии намечено получить за счет строительства АЭС.

Предусмотрено также начать осуществление принципиально нового направления в централизованном теплоснабжении крупных городов. Речь идет о строительстве нескольких мощных атомных станций теплоснабжения, каждая из которых сможет надежно обеспечить теплом город с многотысячным населением, не загрязняя при этом окружающую среду.

Решение этих задач предполагается выполнить за счет опережающего строительства атомных электростанций мощностью по 4 — 6 млн. кВт с энергоблоками единичной мощностью 1 — 1,5 млн. кВт в европейской части страны и на Урале, сооружения тепловых электростанций мощностью по 4 — 6,4 млн. кВт на недефицитных видах топлива, в первую очередь поточное строительство пылеугольных ГРЭС с энергоблоками мощностью по 500—800 МВт, в составе Экибастузского и Канско-Ачинского топливно-энергетических комплексов, а также Сургутских ГРЭС с энергоблоками единичной мощностью 800 и 1200 МВт на попутном газе.

Работы института Атомтеплоэлектропроект по выбору и размещению площадок новых мощных ТЭС и АЭС, намечаемых к строительству с 1980 по 1985 гг., показали, что системы технического водоснабжения этих электростанций будут выполняться в основном по оборотной схеме с использованием в качестве охладителей водохранилищ или башенных градирен большой производительности [35].

Независимо от вида охладителя, в практике техводоснабжения электростанций с крупными энергоблоками сложилась и оправдала себя блочная схема подачи циркуляционной воды к конденсаторам турбин насосами ОПВ и ДПВ.

---

[1] Материалы XXVI съезда КПСС. — М.: Изд. политической литературы, 1981. — 223 с.

При блочной схеме конденсационная установка каждой турбины обеспечивается циркуляционной водой только от «своих», принадлежащих этой турбине циркуляционных насосов, которые работают каждый на свой «поток» конденсатора, по своему напорному и сливному трубопроводам. Блочные циркуляционные насосы, сгруппированные в одном здании насосной, не имеют между собой никаких технологических связей. Блочная схема подачи циркуляционной воды обеспечивает надежность и экономичность системы, так как отсутствие арматуры и разветвленной сети трубопроводов сводит к минимуму гидравлические потери в системе.

Учитывая отмеченные обстоятельства, блочную схему следует считать основной схемой технического водоснабжения ТЭС и АЭС большой мощности.

Рекомендации разрабатывались в Комплексной лаборатории технического водоснабжения ТЭС и АЭС ВНИИГа при участии института Атомтеплоэлектропроект. Рекомендации составлены доктором техн. наук В. Б. Дульневым (разделы I—V) и инженерами О. Ш. Оспановым (ВГПИ Атомтеплоэлектропроект) и Н. Н. Сизовым (ЛОАТЭП) (раздел VI и предисловие). В работе участвовали инженеры Т. Б. Ищук, Г. И. Владимирова и техник Т. Н. Максимова (ВНИИГ) и инженеры А. П. Петров и Б. Б. Бирзнек (ЛОАТЭП).

Общее руководство осуществлял заведующий лабораторией канд. техн. наук И. И. Макаров.

При редактировании Рекомендаций были учтены отзывы, полученные от Главного гидротехника института Атомтеплоэлектропроект Р. Г. Минасяна и Главного специалиста С. Л. Зисмана, от Главного гидротехника ЛОАТЭПа Е. В. Горбачева, от и. о. Главного инженера института Гидропроект им. С. Я. Жука И. А. Желтышева и от Главного инженера СКБ Ленгидросталь Н. И. Деркача, а также дополнительные замечания С. Л. Зисмана, просмотревшего рукопись перед изданием в печати.

Министерство энергетики и электрификации СССР	**Рекомендации по проектированию и гидравлическим расчетам насосных блоков и водных трактов систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС большой мощности**	П 06—82 ВНИИГ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации предназначены для использования при проектировании систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС большой мощности и при выполнении гидравлических расчетов насосных блоков (блоков циркуляционных насосных станций, совмещенных с водоприемными сооружениями), напорных и сливных трубопроводов, узлов сопряжения сливных трубопроводов с отводящим каналом и гидротехнических сооружений на отводящем канале.

1.2. Рекомендации распространяются на гидротехнические сооружения и водоводы, входящие в состав систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС:

насосные блоки с насосами ОПВ и ДПВ;

напорные трубопроводы;

сливные трубопроводы;

узлы местных сопротивлений на напорном и сливном трубопроводах;

сливные колодцы;

сифонные колодцы;

гидротехнические сооружения на отводящем канале: водопропускное сооружение (дюкер, акведук, труба), сопрягающее сооружение (перепад, быстроток), концевое сооружение (эжектирующее сооружение, водослив, струераспределительное сооружение и др.).

Внесены Всесоюзным ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательским институтом гидротехники имени Б. Е. Веденеева, Всесоюзным проектным институтом Атомтеплоэлектропроект	Утверждены ВНИИГом им. Б. Е. Веденеева решение № 6 от 16 июля 1982 года и согласованы с Главниипроектом Минэнерго СССР	Срок введения I квартал 1983 г.

1.3. При проектировании и гидравлических расчетах перечисленных в п. 1.2 гидротехнических сооружений и водоводов данными Рекомендациями необходимо пользоваться совместно с «Нормами технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей» [38], соответствующими главами СНиП и другими нормативными документами [37, 46, 47, 50 — 52, 54, 55].

1.4. Под системой технического водоснабжения ТЭС и АЭС подразумевается совокупность гидротехнических сооружений, водоводов и устройств, обеспечивающих снабжение энергоблоков электростанций технической водой в необходимом количестве и надлежащего качества, а также отвод от энергоблоков и охлаждение циркуляционной воды.

В зависимости от используемых источников водоснабжения и способов охлаждения циркуляционной воды система технического водоснабжения может быть [1, 38]:

1) прямоточной — при незамкнутой циркуляции воды, т. е. при выпуске нагретой в конденсаторах паровых турбин воды обратно в водоисточник (река, канал) ниже места водозабора;

2) оборотной — при замкнутой циркуляции воды с использованием для охлаждения воды водохранилищ-охладителей, градирен, брызгальных бассейнов;

3) комбинированной — при использовании двух предыдущих способов отвода и охлаждения циркуляционной воды.

Выбор системы технического водоснабжения должен производиться согласно указаниям, приведенным в [38].

1.5. Характерные особенности гидротехнических сооружений и водоводов с расположенными на них узлами местных сопротивлений определяются схемой технического водоснабжения, которая может быть [1]:

а) с центральной насосной станцией — вода из источника водоснабжения подается циркуляционными насосами к фронту машинного зала по магистральным напорным трубопроводам, из которых охлаждающая вода подводится к конденсаторам паровых турбин, причем тип и количество циркуляционных насосов, а также схема их подключения к магистральным напорным трубопроводам определяются требуемыми режимами подачи воды;

б) с блочной насосной станцией — вода на каждый поток конденсационной группы энергоблока подается отдельным напорным трубопроводом и одним циркуляционным насосом;

в) напорно-самотечной — вода из источника водоснабжения подается циркуляционными насосами по коротким напорным трубопроводам в напорный бассейн, расположенный на высокой отметке, из которого она поступает на энергоблоки самотеком по напорным подводящим трубопроводам.

При выборе схемы технического водоснабжения ТЭС и АЭС следует руководствоваться указаниями, приведенными в [38].

1.6. Основными элементами систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС, имеющими то или иное назначение, являются следующие сооружения, водоводы, устройства и узлы местных сопротивлений на водоводах.

Подводящий канал — открытый канал (саморегулирующийся или несаморегулирующийся), по которому вода из источника

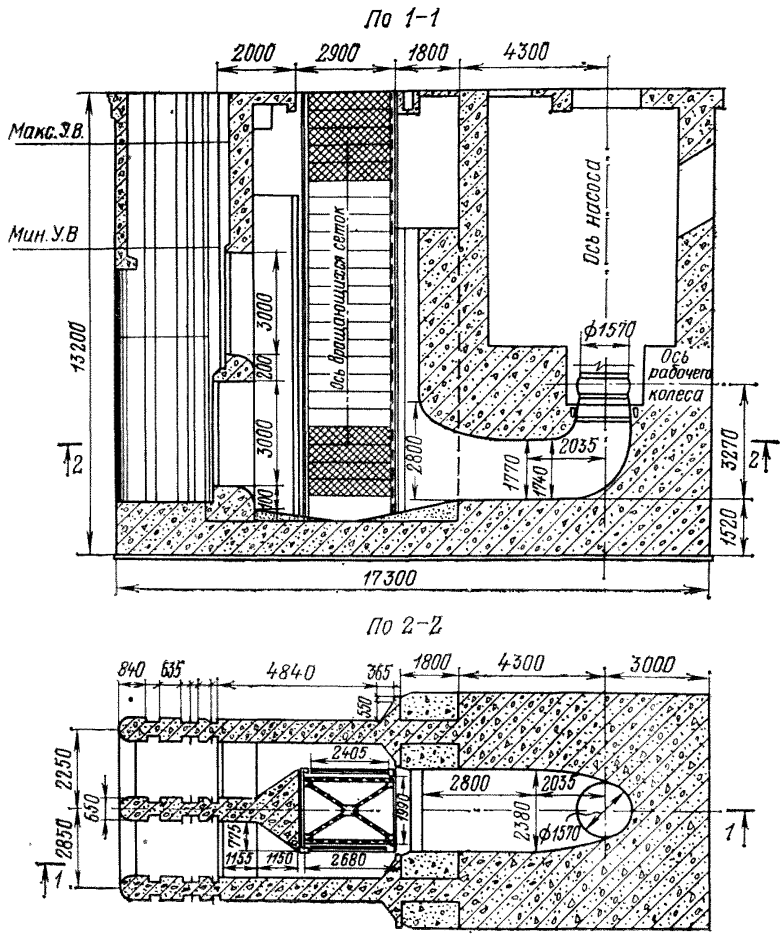


Рис. 1. Схема насосного блока с вращающейся сеткой с наружным подводом воды (подземная часть). Размеры даны в мм.

водоснабжения подводится к циркуляционной насосной станции.

Насосный блок — секция (блок) водоприемного сооружения, совмещенного с циркуляционной насосной станцией, по которой

осуществляется подвод воды из источника водоснабжения или из подводящего канала к циркуляционному насосу (рис. 1).

Напорный трубопровод — трубопровод, предназначенный для подвода охлаждающей воды от циркуляционного насоса к конденсатору паровой турбины, напорному бассейну или к фронту машинного зала электростанции (магистральный трубопровод).

Камера задвижек и обратных клапанов — сооружение, в котором на напорных трубопроводах установлены обратные клапаны и задвижки, а также соединительные трубы (перемычки) с задвижками, служащие для переключения циркуляционных насосов с одного магистрального напорного трубопровода на другой при различных режимах работы системы и в аварийных случаях; применяется в схеме технического водоснабжения с центральной насосной станцией.

Отвод — часть напорного трубопровода, служащая для изменения продольного направления трубопровода.

Колено — отвод с углом поворота 90°.

Напорный бассейн — сооружение, служащее для сопряжения напорных трубопроводов циркуляционной насосной станции с открытым каналом или с самотечными трубопроводами.

Сливной трубопровод — трубопровод, служащий для отвода циркуляционной воды от конденсатора паровой турбины в отводящий канал.

Сливной колодец — устройство (сооружение) для сопряжения сливных трубопроводов с отводящим каналом.

Сифонный колодец — водосливное устройство с развитой в длину переливной стенкой на отводящем канале, служащее для поддержания необходимого уровня воды в сливных колодцах с целью сохранения устойчивого допустимого вакуума в сливной системе конденсатора паровой турбины.

Закрытый отводящий канал — подземный железобетонный канал прямоугольного поперечного сечения, расположенный вдоль фронта машинного зала ТЭС.

Сооружение переключений — устройство для переключения расхода воды с одного закрытого отводящего канала на другой (параллельный).

Открытый отводящий канал — канал для отвода от машинного отделения ТЭС или АЭС нагретой в конденсаторах паровых турбин циркуляционной воды в водоток или водоем, или водохранилище-охладитель или к искусственным охладителям (градирни, брызгальные бассейны т. п.).

Водопроводящее сооружение — сооружение на пересечении трассы канала или трубопровода с естественным или искусственным препятствием (рекой, оврагом, каналом, дорогой), причем пропуск воды может осуществляться над препятствием (акведук) или под препятствием (дюкер, труба).

Сопрягающее сооружение — сооружение для сопряжения смежных участков открытого канала, расположенных на разных

уровнях, сопряжение бьефов может производиться посредством перепада, быстротока и т. п.

Концевое сооружение — сооружение на конце отводящего канала, служащее для сопряжения его с естественным водотоком или водоемом, а также с водохранилищем-охладителем с обеспечением выполнения требований охраны окружающей природной среды в зоне выпуска нагретой циркуляционной воды (эжекция) или с созданием условий для выпуска теплой воды широким фронтом в поверхностные слои водоема-охладителя (диффузор или струераспределительное сооружение).

1.7. Принятые обозначения и определения.

a — высота поперечного сечения опорной балки, м.

$a_с$ — высота сжатого сечения оголовка всасывающей трубы насоса, м.

Δa — разность отметок верхних точек входного отверстия и сжатого сечения оголовка всасывающей трубы насоса, м.

A — суммарная высота поперечных элементов сороудерживающей решетки, м.

b — ширина канала по дну, м.

$b_{пр}$ — величина просвета между стержнями сороудерживающей решетки, м.

B — ширина канала по верху, м.

$B_{в.с}$ — ширина вращающейся сетки, м.

c — коэффициент, учитывающий влияние каркаса на потери напора в сороудерживающей решетке.

$c_{в.т}$ — коэффициент, учитывающий условия подхода воды к всасывающей трубе насоса.

d — диаметр трубы или трубопровода, м.

$d_к$ — диаметр камня, м.

$d_{от}$ — диаметр промывных отверстий, м.

$d_{пуз}$ — диаметр пузырьков воздуха, м.

$d_{р.э}$ — диаметр распорно-связных элементов, м.

g — ускорение свободного падения, м/с^2.

h — глубина воды (в канале, на рисберме), м.

$h_в$ — глубина аэрированного потока, м.

$h_{в.с}$ — потери напора во вращающейся сетке, м.

$h_к$ — местные потери напора в колене, м.

$h_{к.п}$ — потери напора на соединение потоков в канале, м.

h_l — потери напора на трение в трубопроводе, м.

$h_м$ — местные потери напора, м.

$h_р$ — потери напора в сороудерживающей решетке, м.

$h_{сл}$ — потери напора на выходе из сливных трубопроводов, м.

$h_{тр}$ — гидравлические потери в трубопроводе, м.

$h_{уз}$ — местные потери напора в узле, м,

Δh — кавитационный запас насоса, м.

H — напор, м.

$H_б = \frac{P_б}{\gamma}$ — параметр, учитывающий барометрическое давление воздуха, м.

$H_{г.в}$ — геодезическая высота, м.

$H_к$ — высота колена, м.

$H_п = \frac{P_{нас}}{\gamma}$ — параметр, учитывающий давление парообразования, м.

$H_{п.н}$ — потери напора в водопроводящем тракте, м.

$H_{с.к}$ — глубина воды в сеточной камере, м.

$H_в$ — высота всасывания насоса, м.

k — коэффициент, учитывающий засорение решетки или вращающейся сетки.

$k_к$ — коэффициент, учитывающий тип каменного крепления рисбермы при определении крупности камня.

j — коэффициент формы поперечного сечения канала.

i — уклон дна канала.

i_f — уклон трения.

l — длина прямой вставки между смежными коленами и отводами, м.

$l_{вл}$ — длина влияния местного сопротивления, м.

$l_к$ — расстояние между двумя поперечными сечениями канала, м.

$l_{ос}$ — расстояние между осями входного и выходного фланцев узла, м.

$l_{ст}$ — ширина стержня сороудерживающей решетки, м.

l_i — длина прямолинейной вставки между смежными коленами и отводами узла ($i = 1, 2, 3$), м.

L — высота сороудерживающей решетки (под водой), м.

$L_к$ — длина колена, м.

$L_{тр}$ — длина напорного трубопровода, м.

m — коэффициент откоса.

$m' = 2\sqrt{1+m^2}$.

M — пусковой момент электродвигателя, Нм.

$n_ш$ — коэффициент шероховатости.

n_i — количество горизонтальных элементов каркаса сороудерживающей решетки.

P — давление воздуха, Па.

$P_{нас}$ — давление насыщенного водяного пара, Па.

Q — расход жидкости или подача, м³/с.

$Q_{н.б}$ — расход воды, проходящей через насосный блок, м³/с.

$Q_к$ — расход воды в отводящем канале перед узлом, м³/с.

$Q_{к.п}$ — расход воды в отводящем канале за узлом, м³/с.

$Q_{сл}$ — расход воды в сливном трубопроводе, м³/с.

R — радиус кривизны оси колена или отвода, м.

S — толщина стержня сороудерживающей решетки, м.

t — температура воды, °С.

T — продолжительность работы насосного агрегата, ч.

u — напряжение (электрическое), В.

v — средняя скорость в поперечном сечении водного потока, м/с.

$v_{доп}$ — скорость воды, допустимая для крепления рисбермы, м/с.

$v_к$ — средняя скорость воды в сливном колодце, м/с.

$v_{к.п}$ — средняя скорость воды в отводящем канале за узлом, м/с.

$v_{кр}$ — критическая скорость гидросмеси, при которой обеспечивается транспортирование водой воздушных пузырьков, м/с.

$v_о$ — скорость воды в окне перед сеточной камерой, м/с.

$v_с$ — средняя скорость воды в сжатом сечении оголовка всасывающей трубы насоса, м/с.

$v_{сл}$ — средняя скорость воды в сливном трубопроводе, м/с.

α — коэффициент кинетической энергии.

$\alpha_{от}$ — угол поворота отвода, град.

$\alpha_р$ — угол наклона сороудерживающей решетки к горизонту, град.

β — угол изменения направления течения в узле, град.

$\beta_к$ — относительная ширина дна канала.

$\beta_{ст}$ — коэффициент формы стержней сороудерживающей решетки.

$\beta_v = \dfrac{v_{сл}}{v_{к.п}}$ — отношение скоростей.

δ — минимально допустимое заглубление верхней кромки входного отверстия всасывающей трубы под наинизший уровень воды, м.

γ — удельный вес воды, Н/м³.

λ — коэффициент трения.

η — КПД насоса, насосного агрегата, %.

θ — угол между плоскостями, в которых расположены колена или простые узлы, град.

ζ — коэффициент сопротивления.

$\zeta_{в.с}$ — коэффициент сопротивления вращающейся сетки.
$\zeta_к$ — коэффициент местного сопротивления колена или отвода.
$\zeta'_к$ — коэффициент местного сопротивления колена при течении жидкости в обратном направлении.
$\zeta_{к.п}$ — коэффициент сопротивления при соединении водных потоков в канале.
$\zeta_м$ — коэффициент местного сопротивления.
$\zeta_р$ — коэффициент сопротивления сороудерживающей решетки.
$\zeta_{сл}$ — коэффициент местного сопротивления на выходе из сливного трубопровода.
$\zeta_{уз}$ — коэффициент местного сопротивления узла.
$z_{сл}$ — разность отметок наивысшей точки сливной линии конденсатора и наинизшего уровня воды в сливном колодце, м.

2. НАСОСНЫЕ БЛОКИ

Основные сведения

2.1. Насосный блок является основным конструктивным элементом совмещенной с водоприемным сооружением насосной станции, компонуемой из нескольких насосных блоков. Выбор конструкции насосного блока (из монолитного или сборно-монолитного железобетона) должен производиться с учетом условий строительства, возможности поставки сборных железобетонных элементов, изготовляемых заводами Минэнерго, с учетом имеющихся в наличии строительных материалов, механизмов и транспортных средств.

2.2. Компоновка насосного блока должна выбираться в зависимости от схемы технического водоснабжения электростанции, типа и производительности намечаемых к применению циркуляционных насосов, типов, размеров и количества в одном насосном блоке вращающихся сеток, а также с учетом типа гидромеханического и подъемно-транспортного оборудования и других устройств, которые будут установлены на сооружении.

2.3. Выбор типоразмеров циркуляционных насосов следует производить по универсальным характеристикам насосов на основе заданных напорно-расходных характеристик $H — Q$ системы для всех режимов эксплуатации насосов с учетом принятой схемы технического водоснабжения ТЭС и АЭС и условий запуска насосов при их параллельной работе.

При этом следует иметь в виду следующее.

В схемах технического водоснабжения с центральной и блочной насосными станциями нормальный напор H циркуляционного насоса (при заряженном сифоне) слагается из геодезической высоты подъема воды $H_{г.в}$, равной разности отметок уровней воды в сливном колодце и в сеточной камере, и из потерь напора $H_{п.н}$ в водопроводящем тракте, включающем в себя напорный и сливной трубопроводы и конденсатор паровой турбины. При этом потери напора $H_{п.н}$ в водопроводящем тракте слагаются из потерь напора: на трение по длине напорного и слив-

ного трубопроводов, на преодоление местных сопротивлений, расположенных на напорной и сливной линиях, и в конденсаторе паровой турбины.

В случае напорно-самотечной схемы технического водоснабжения геодезическая высота подъема воды $H_{г.в}$ равна разности отметок уровней воды в напорном бассейне и перед всасывающей трубой насоса, а потери напора $H_{п.н}$ в водопроводящем тракте равны гидравлическим потерям в напорном трубопроводе и водовыпускном сооружении.

Величину потерь напора в конденсаторе паровой турбины следует назначать по заводским гидравлическим характеристикам конденсатора с учетом возможного ее увеличения на 10—20% при эксплуатации вследствие загрязнения конденсаторных трубок.

2.4. Режим работы циркуляционного насоса определяется точкой пересечения напорно-расходных характеристик насоса $H-Q$ и водопроводящего тракта $(H_{г.в}+H_{п.н})-Q$, построенных в одном масштабе.

2.5. Высотное положение циркуляционного насоса должно назначаться таким, чтобы при любых возможных режимах работы насоса в нем не возникала кавитация. Для выполнения этого условия требуется, чтобы высота всасывания H_s, равная разности отметок оси рабочего колеса циркуляционного насоса и уровня воды перед всасывающей трубой, не превышала допустимую величину $H_{s\,доп}$ при всех возможных режимах работы циркуляционного насоса.

2.6. При параллельном включении нескольких (n) циркуляционных насосов на один напорный трубопровод рабочий режим их работы определяется графическим способом, путем построения в одном масштабе напорно-расходных характеристик n параллельно работающих насосов $H-\Sigma Q$ и напорного водопроводящего тракта $(H_{г.в}+H_{п.н})-\Sigma Q$ [48, 53].

2.7. При пуске циркуляционного насоса на пустой напорный трубопровод геодезическая высота подъема воды имеет максимальное значение $H_{г.в\,макс}$, равное разности отметок самой верхней точки сливной линии конденсатора и уровня воды в камере чистой воды. Поэтому необходимо производить проверку запуска циркуляционного насоса при указанном условии путем нахождения точки пересечения напорно-расходной характеристики насоса $H-Q$ и характеристики напорного водопроводящего тракта $(H_{г.в\,макс}+H_{п.н})-Q$.

Следует иметь в виду, что напорно-расходная характеристика $H-Q$ циркуляционного насоса осевого типа состоит из нерабочего (начального) и рабочего (основного) участков. Первый участок представляет собой v-образную кривую с крутым падением и подъемом ее ветвей, а второй участок имеет форму плавно опускающейся кривой, причем переход режима насоса с нерабочего участка на рабочий и обратно совершается скачком [27].

Эксплуатация осевого насоса на нерабочем участке его характеристики не допускается, так как связана с кавитацией, неустойчивой работой насоса и опасными для сохранности насоса вибрационными явлениями. Поэтому напорно-расходная характеристика водопроводящего тракта не должна пересекать характеристику насоса на нерабочем участке.

2.8. Необходимо проверять условия запуска циркуляционного насоса, работающего параллельно с другими циркуляционными насосами на один напорный трубопровод. Для обеспечения возможности такого запуска циркуляционного насоса осевого типа, напорно-расходная характеристика $H - Q$ водопроводящего тракта не должна пересекать характеристику запускаемого осевого насоса на ее нерабочей части.

При проектировании блочных циркуляционных насосных станций следует предусматривать меры по предотвращению работы осевых насосов в опасных режимах в случаях внезапного отключения электродвигателей. При этом следует учитывать, что вода под напором, равным разности отметок уровней воды в сифонном колодце и в водоприемном сооружении, начнет течь в обратном направлении и, пройдя через насос, начнет вращать его ротор в обратную сторону, причем частота вращения может превысить допустимую величину. Кроме того, на случай останова электродвигателя должна предусматриваться блокировка с запретом на повторное включение электродвигателя до полного останова ротора [27]. Расчет режимов вращения и условий запуска насоса изложен в [21].

2.9. Запуск циркуляционного насоса повышенного напора (типа ОПВ3-185 и ОПВ10-185) должен производиться при условии создания предварительного вакуума в конденсаторе с помощью вакуум-насоса или эжектора, так как запуск насоса без создания предварительного вакуума в конденсаторе сопровождается резкими колебаниями давления, и насос, попадая на первой частоте вращения в неустойчивую зону характеристики, работает с недопустимыми вибрациями [48].

Составные элементы насосных блоков

2.10. Насосный блок состоит из подземной (проточной) части и надземной части (надземное строение). Схема насосного блока приведена на рис. 1.

2.11. В подземную (проточную) часть насосного блока входят следующие составные элементы:

Водоприемник — входная часть насосного блока, в которой размещаются рабочие и ремонтные затворы, а также сороудерживающие решетки.

Как правило, на входе в водоприемник следует предусматривать забральную балку (стенку), предназначенную для задержания крупных плавающих тел и льда, а также для предотвра-

щения образования льда внутри насосной. Для предотвращения попадания влекомых насосов в водоприемник, последний снабжается донным порогом высотой 0,5 м. Пазы для ремонтных затворов, устраиваемые в бычках водоприемника, размещаются в начале водоприемника (перед сороудерживающими решетками).

При возможности появления в источнике водоснабжения плавающего мусора, перед водоприемником (в голове подводящего канала или аванкамеры) полезно предусматривать запань, которую следует устанавливать под некоторым углом к направлению течения воды. Удаление задержанного запанью материала следует осуществлять путем транспортирования его катерами или иными средствами к участку берега, где должно быть выбрано и подготовлено место для подъема и вывозки этого материала.

Нижняя кромка верховой забральной балки водоприемника должна находиться не менее чем на 0,3 м ниже отметок: 1) наинизшего уровня воды, положение которого определяется в аванкамере с учетом высот волны понижения неустановившегося режима и ветровой волны, и 2) нижней кромки льда, образующегося перед сооружением (в аванкамере).

С целью улучшения гидравлических условий работы вращающихся сеток и использования одного комплекта затвора в качестве как рабочего, так и ремонтного затвора, всю высоту водоприемника рекомендуется перекрывать секционным затвором.

Сеточная камера — камера, в которой обычно устанавливаются одна или две ленточные вращающиеся сетки, посредством которых осуществляется очистка воды от мелкого сора и других механических примесей.

Сеточная камера состоит из трех последовательно расположенных частей:

камеры грязной воды — непосредственно перед вращающейся сеткой;

внутрисеточной камеры — пространства, ограниченного полотнищами вращающейся сетки;

камеры чистой воды — открытого водовода, подводящего воду от вращающейся сетки к всасывающей трубе циркуляционного насоса.

Примечание. Размеры сеточной камеры должны назначаться исходя из необходимости создания равномерного распределения скоростей в водном потоке перед полотнищами вращающихся сеток и перед всасывающей трубой циркуляционного насоса.

Всасывающая труба (подвод) циркуляционного насоса — коленчатая конфузорная труба или камера всасывания, служащая для плавного изменения поля скоростей воды при подводе ее к рабочему колесу насоса.

Примечание. Всякие изменения, вносимые в типовую конструкцию всасывающей трубы или замена последней всасывающей трубой другой формы

следует обосновывать материалами экспериментальных гидравлических исследований в лаборатории и согласовывать с заводом-изготовителем насоса или с институтом ВНИИГидромаш.

Циркуляционный насос — насос осевого или диагонального типа, обеспечивающий подачу охлаждающей воды к теплообменному оборудованию электростанции.

Примечание. Циркуляционный насос следует подбирать таким образом, чтобы характеристика напорного водоподводящего тракта проходила в оптимальной зоне характеристики насоса, что обеспечивает максимальное значение КПД насоса в рабочей точке и требуемый кавитационный запас [26, 27, 48].

2.12. В надземной части насосного блока размещаются:

сороочистная машина с транспортными средствами;

подъемные механизмы рабочих и ремонтных затворов;

электроприводы и механизмы вращающихся сеток;

промывные устройства вращающихся сеток и промывные лотки;

циркуляционный насос с электродвигателем;

подъемно-транспортное оборудование;

ремонтные площадки;

электрическое, вентиляционное и другое оборудование.

2.13. Сороудерживающие решетки, обычно устанавливаемые в пазы рабочих затворов, изготавливаются в виде отдельных плоских секций, каждая из которых состоит из рамы, вертикальных стержней обтекаемого профиля, распорно-связных (поперечных) стержней и др.

Сороудерживающие решетки должны удовлетворять следующим требованиям: прочности и устойчивости, свободного маневрирования в спокойной воде, эффективной очистки с помощью сороочистной машины.

Для устранения опасности забивки сороудерживающих решеток шугой и льдом (где существует такая опасность) необходимо предусматривать подвод к водоприемнику теплой воды или устройство электрообогрева решеток.

2.14. Применяемая для очистки сороудерживающих решеток сороочистная машина, передвигающаяся по рельсам вдоль водоприемного фронта сооружения, снабжена специальным очистным устройством скребкового типа, посредством которого сор периодически счищается со стержней решетки и выгружается в транспортное средство, используемое для последующего удаления сора за пределы сооружения.

При незначительных засорениях сороудерживающих решеток (например, в оборотной системе водоснабжения с градирнями) они могут периодически (1—2 раза в год) выниматься из пазов и очищаться вручную. В этих условиях эксплуатации сороочистной машины не требуется.

2.15. Рабочие затворы, предназначенные для прекращения доступа воды к циркуляционным насосам, должны удовлетво-

рять следующим основным требованиям: прочности и устойчивости, свободного маневрирования в спокойной воде, водонепроницаемости самого затвора, а также по периметру сопряжения затвора с частями сооружения.

2.16. Ремонтные затворы предназначены для прекращения доступа воды в водоприемник в аварийных случаях и при необходимости осуществления ремонта сороудерживающих решеток,

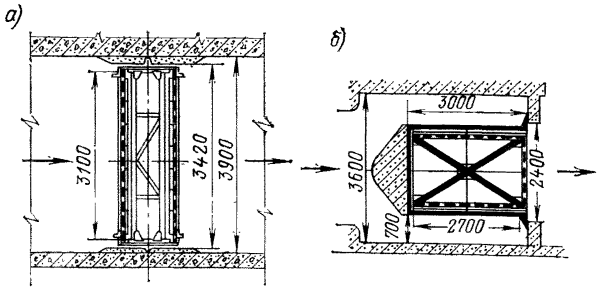


Рис. 2. Типы вращающихся сеток
а — с лобовым подводом воды; *б* — с наружным подводом воды.

рабочих затворов и других элементов проточной части насосного блока. Они должны удовлетворять тем же требованиям, что и рабочие затворы.

2.17. Вращающаяся сетка — водоочистная ленточная или конусная сетка, приводимая во вращательное движение электрическим мотором и очищаемая от сора непрерывно или периодически гидравлическим путем (посредством так называемого «водяного ножа»).

Промышленностью выпускаются ленточные вращающиеся сетки двух типов (рис. 2): 1) с лобовым подводом воды (ТЛ) и 2) с наружным подводом воды (ТН). Типоразмеры вращающихся сеток, определяемые шириной $B_{в.с}$ их полотнищ, имеют такие номенклатурные значения: 1,5; 2 и 3 м.

При применении вращающихся сеток с лобовым подводом воды создаются наиболее благоприятные с гидравлической точки зрения условия для подвода воды к циркуляционному насосу, так как движение воды на всей длине насосного блока совершается в одном направлении. Однако возможность перебрасывания вращающимися сетками сора, неполностью смытого с их полотнищ, в камеру чистой воды ограничивает область их применения и делает эти сетки пригодными лишь для источников водоснабжения с относительно небольшим количеством сора.

Вращающиеся сетки с наружным подводом воды обладают примерно в 1,5 раза большей пропускной способностью, чем вращающиеся сетки с лобовым подводом воды, и лишены способности перебрасывать сор в камеру чистой воды, что делает

их пригодными для применения при наличии в источнике водоснабжения значительных количеств сора. Недостатком этого типа вращающихся сеток является неупорядоченность течений воды в сеточной камере вследствие косого подхода струй воды к полотнищам вращающейся сетки и резкого их поворота во внутрисеточной камере, вызывающего сбой течений и образование вихревых явлений перед входом во всасывающую трубу циркуляционного насоса.

Вращающиеся сетки с внутренним подводом воды обладают теми же достоинствами, что и сетки с наружным подводом воды. Однако насосные блоки, оборудованные такими вращающимися сетками, имеют значительно худшие гидравлические характеристики, чем насосные блоки с вращающимися сетками других типов (ТЛ и ТН). Поэтому применение вращающихся сеток с внутренним подводом воды в каждом конкретном случае требует специального обоснования.

2.18. С целью увеличения рабочей площади, жесткости и прочности полотнищ вращающейся сетки ее рамкам иногда при-

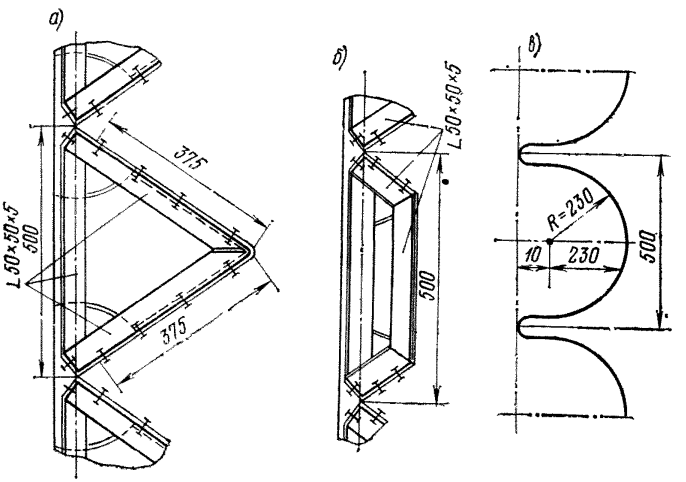


Рис. 3. Профили полотнищ вращающихся сеток из рамок пространственной формы
а — призматический; *б* — зубчатый; *в* — цилиндрический.

дают цилиндрическую или призматическую форму, вследствие чего полотнища сетки приобретают или пилообразный, или зубчатый, или циркульный профиль (рис. 3). Гидравлические характеристики незасоренных вращающихся сеток с рамками этих форм незначительно отличаются от таковых для вращающихся сеток с плоскими рамками.

Пространственная форма рамок улучшает прочностные характеристики вращающихся сеток, однако осложняет промывку рамок при их засорении.

2.19. Для обеспечения равномерного распределения скоростей воды по высоте рабочих полотнищ вращающихся сеток с плоскими рамками рекомендуется применять перепадные стенки, изготовляемые из швеллеров № 16 в виде решеток с горизонтальными стержнями, расположенными на расстоянии порядка 5 и 10 см друг от друга. Перепадные стенки могут устанавливаться: а) между полотнищами вращающихся сеток с лобовым подводом воды и б) непосредственно за полотнищами или в выходных окнах вращающихся сеток с наружным подводом воды.

За счет установки перепадных стенок может быть достигнуто равномерное распределение скоростей воды по высоте вращающихся сеток, расположенных как в незаглубленных, так и в заглубленных сеточных камерах, благодаря чему имеется возможность использовать новые, более экономичные компоновки насосных блоков с заглубленными сеточными камерами [18].

Местоположение и размеры элементов перепадных стенок

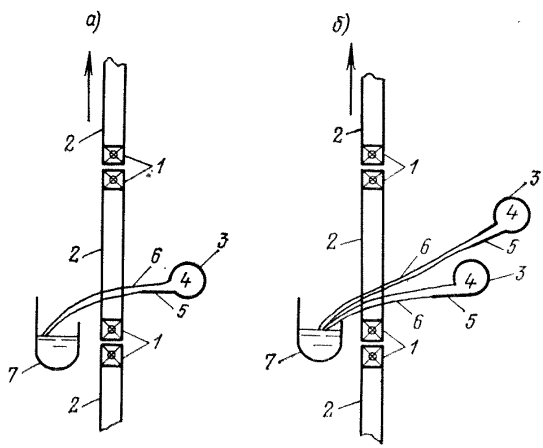


Рис. 4. Схемы промывного устройства вращающейся сетки

а — с лобовым подводом воды; *б* — с наружным подводом воды.

1 — обвязка рамки; *2* — сито; *3* — напорная труба; *4* — промывное отверстие; *5* — растекатель; *6* — водяной нож; *7* — лоток.

следует определять экспериментальным путем при проведении лабораторных гидравлических исследований насосных блоков.

2.20. Промывное устройство вращающейся сетки с наружным подводом воды выполняется в виде горизонтальной напорной дырчатой промывной трубы, расположенной позади промываe-

мого полотна (выше пола машинного зала), в которую вода подается под напором 20 — 30 м из трубопровода, питаемого от центробежного насоса или от напорной линии циркуляционных насосов (рис. 4). Так называемый «водяной нож» создается за счет расширения струек воды, вытекающих из отверстий промывной трубы, при ударе струек о горизонтальную пластинку (растекатель), расположенную у основания отверстий, параллельно оси промывной трубы. Промывной расход воды рекомендуется принимать равным 20 — 30 л/с при диаметре промывных отверстий $d_{от} = 5 — 8$ мм и шаге расположения отверстий по длине трубы 50 мм.

Промывное устройство вращающейся сетки с лобовым подводом воды, с целью повышения надежности смыва сора с полотнища, следует конструировать из двух параллельных горизонтальных напорных промывных труб, расположенных во внутрисеточной камере на разных уровнях таким образом, чтобы создаваемые ими «водяные ножи» встречались под некоторым углом на очищаемом полотнище вращающейся сетки примерно в одной точке.

2.21. Смываемый с полотнища вращающейся сетки «водяным ножом» сор падает вместе с промывной водой в лоток, расположенный перед промываемым полотнищем вращающейся сетки (на уровне пола надземного строения), и транспортируется по нему водой за пределы сооружения.

Конструкции и компоновки насосных блоков

2.22. Состав элементов насосного блока и их компоновка зависят главным образом от принятой схемы технического водоснабжения. При применении схем технического водоснабжения с блочной и центральной насосными станциями в состав насосного блока входят: водоприемник, оборудованный сороудерживающими решетками, сеточная камера с вращающимися сетками, всасывающая труба циркуляционного насоса и сам циркуляционный насос.

В случае же применения напорно-самотечной схемы технического водоснабжения сеточная камера в состав насосного блока может не входить, если вращающиеся сетки устанавливаются за водоприемником самотечных водоводов (перед входом в последние), которые подают охлаждающую воду из напорного бассейна на конденсаторы паровых турбин.

Следует иметь в виду, что решающее влияние на компоновку насосного блока оказывают форма и размеры сеточной камеры, которые назначаются в зависимости от типа и количества вращающихся сеток, устанавливаемых в одном насосном блоке.

Примечание. Основные сведения о конструкции сороудерживающих решеток и механического оборудования для их очистки и подъема приведены в [43].

2.23. Размеры и очертания подземной части насосных блоков должны обеспечивать плавный переход водного потока в каждом блоке от сечения входного отверстия водоприемника к сечению входного отверстия всасывающей трубы циркуляционного насоса, при постепенном нарастании скорости течения по длине этого участка.

2.24. Конструкция и размеры фундаментной плиты должны обеспечивать прочность основания и устойчивость сооружения

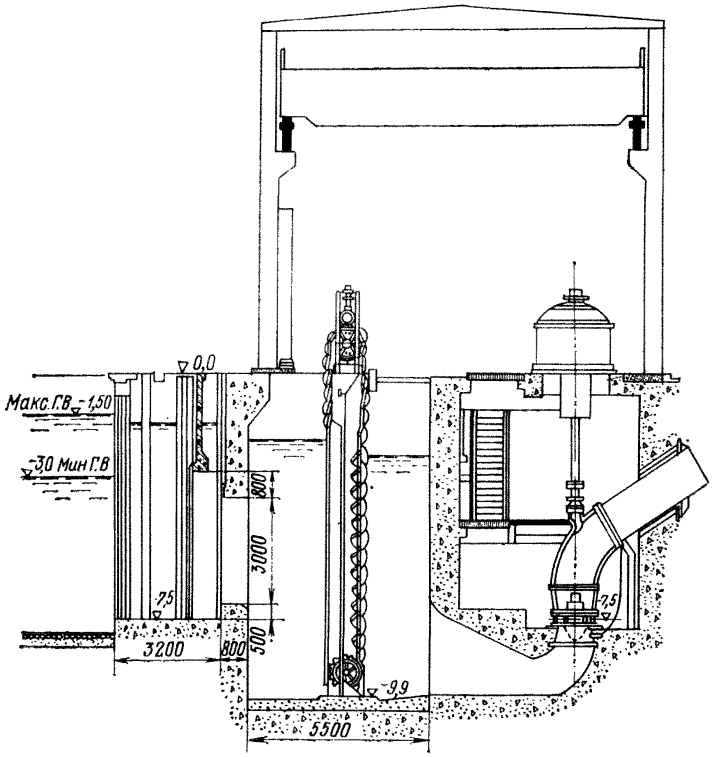


Рис. 5. Схема насосного блока с вращающейся сеткой с лобовым подводом воды (вертикальный разрез).

при допустимых осадках как по величине, так и по степени их неравномерности.

При статическом расчете насосных блоков на прочность следует руководствоваться указаниями главы СНиП II-31-74, пп. 13.25 — 13.27 [50].

2.25. При сравнительно небольшой пропускной способности насосного блока ($Q_{н.б} = 7 — 10$ м³/с), допускающей применение

одной вращающейся сетки с лобовым или наружным подводом воды, могут применяться компоновки насосного блока, изображенные на рис. 1 (вращающаяся сетка с наружным подводом воды) и на рис. 5 (вращающаяся сетка с лобовым подводом воды).

2.26. При блочной схеме технического водоснабжения, как правило, на один циркуляционный насос следует предусматривать одну вращающуюся сетку.

В случае же применения крупных циркуляционных насосов ($Q \geqslant 10-20$ м³/с) и отсутствия в настоящее время вращающихся сеток такой пропускной способности, как исключение, допустимо применять [16, 17, 36] компоновку с двумя вращающимися сетками в одном насосном блоке (рис. 6):

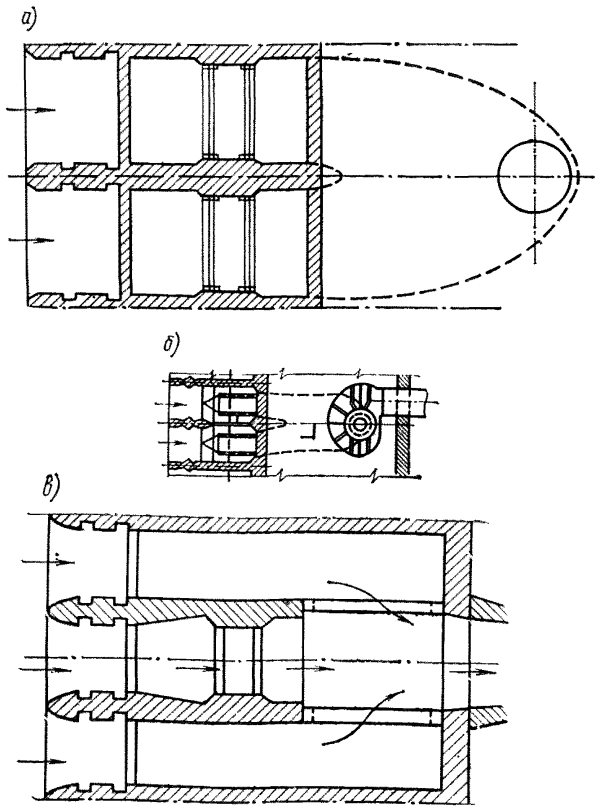


Рис. 6. Компоновка насосного блока с двумя вращающимися сетками

а — с лобовым подводом воды; *б* — с наружным подводом воды; *в* — с наружным и лобовым подводами воды.

а) схема насосного блока с двумя вращающимися сетками с лобовым подводом воды ($Q_{н.б} = 10 — 16$ м³/с);

б) схема насосного блока с двумя вращающимися сетками с наружным подводом воды ($Q_{н.б} = 15 — 20$ м³/с);

в) схема насосного блока с двумя разнотипными вращающимися сетками ($Q_{н.б} = 12 — 15$ м³/с).

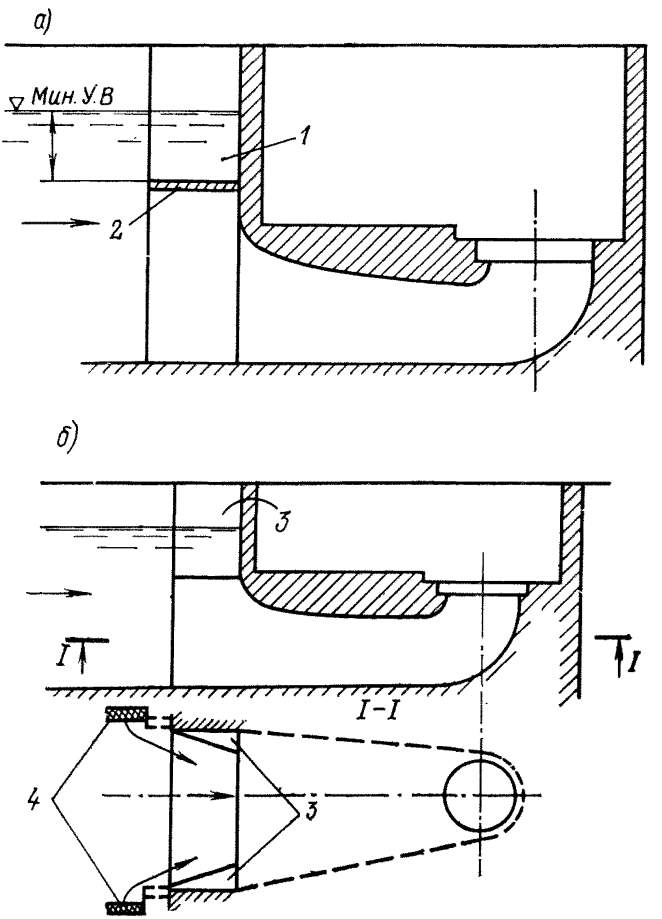


Рис. 7. Устройства для предотвращения вихреобразований в камере чистой воды

а — горизонтальный козырек; *б* — утолщение боковых стенок (боковые щеки)

1 — камера чистой воды; *2* — козырек; *3* — щеки; *4* — сетка.

С целью установления оптимальных очертаний и размеров отдельных элементов проточной части насосного блока рекомендуется подвергнуть исследованиям на гидравлической модели в лаборатории запроектированный насосный блок. Окончатель-

ный выбор компоновки насосного блока следует делать на основе технико-экономического сопоставления возможных для применения в данных условиях вариантов насосного блока.

2.27. При наличии перед входом во всасывающую трубу циркуляционного насоса камеры чистой воды ее ширина не должна существенно отличаться от ширины входного сечения всасывающей трубы, а длину камеры чистой воды следует принимать минимально допустимой по конструктивным или гидравлическим соображениям.

На боковой стенке камеры чистой воды следует предусматривать установку лестницы для обеспечения доступа во всасывающую трубу циркуляционного насоса. Длина камеры чистой воды должна назначаться с учетом данных модельных гидравлических исследований насосного блока в лаборатории.

Для устранения возможности возникновения вихревых воронок перед всасывающей трубой циркуляционного насоса, при применении вращающейся сетки с наружным водводом воды желательно вовсе отказаться от устройства камеры чистой воды.

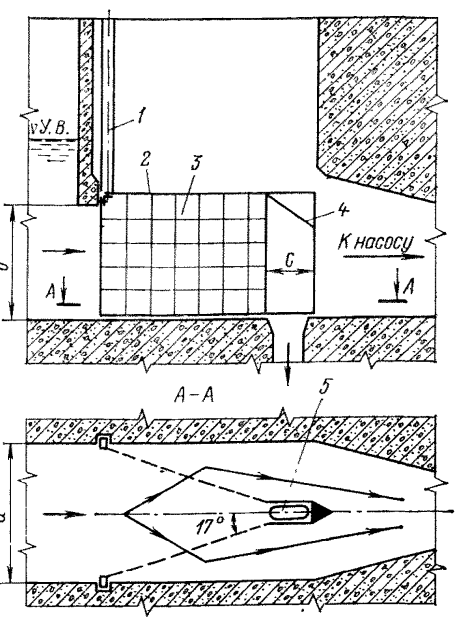


Рис. 8. Рыбозащитное устройство типа v-образной сетки с рыбоотводом

1 — паз; *2* — глухая крышка; *3* — сетка; *4* — отражатель мусора; *5* — рыбоотвод.

2.28. Опасность возникновения вихревых явлений в насосном блоке и подсоса воздуха в циркуляционный насос возрастает с увеличением скоростей воды и с уменьшением глубины воды в сеточной камере. Поэтому наибольшая веротность образования вихревых воронок и жгутов существует при минимальных уровнях воды в сеточной камере.

Для предотвращения опасности образования вихревых воронок перед входом во всасывающую трубу циркуляционного насоса помимо надлежащего заглубления всасывающей трубы под наинизший уровень воды в сеточной камере следует рекомендовать устройство в камере чистой воды [16]: откидного козырька (рис. 7, *а*) или боковых щек за счет утолщения стенок камеры выше верхней кромки входного отверстия всасывающей трубы (рис. 7, *б*).

2.29. При заборе воды из водотоков и водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение, для предотвращения травмирования и гибели молоди рыб могут применяться рыбозащитные устройства, размещенные перед водоприемными сооружениями [52] или в самих водоприемных сооружениях (в сеточных камерах).

Рыбозащитные устройства должны быть рассчитаны на сохранение только тех пород рыб, которые имеют промысловое значение [17].

2.30. При сравнительно небольшой пропускной способности насосного блока ($Q_{н.б} \cong 5$ м³/с), в сеточной камере может быть размещено рыбозащитное устройство в виде v-образной плоской сетки с гидравлической очисткой и с рыбоотводом (рис. 8).

С целью ограничения высоты сетки и создания стабильных условий для ее эксплуатации, сеточную камеру выгодно перекрыть потолком, расположенным на отметке наинизшего уровня воды в сеточной камере (рис. 8).

Примечание. Описание сетчатого рыбозащитного устройства и метода его гидравлического расчета приведено в [57].

2.31. В насосных блоках большой пропускной способности ($Q_{н.б} = 10$—20 м³/с) целесообразно применять рыбозащитные устройства, размещенные в сеточных камерах. Рекомендуются следующие приспособленные к существующим типам и конструкциям вращающихся сеток рыбозащитные устройства:

Экран-укрытие — в насосном блоке, оборудованном вращающейся сеткой с наружным подводом воды (рис. 9). Это рыбозащитное устройство, размещаемое в конце камеры грязной воды, включает в себя экран, рыбосборную камеру и рыбоподъемник [8].

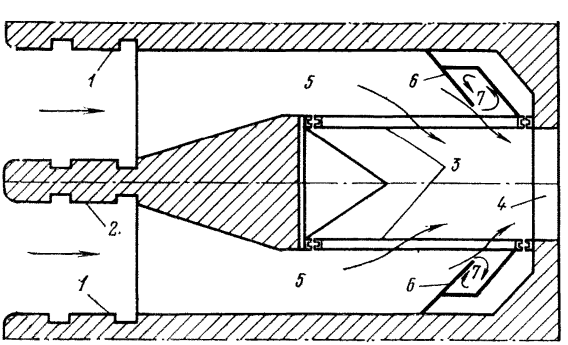


Рис. 9. Рыбозащитное устройство типа «экрана-укрытия»
1 — раздельная стенка; *2* — бычок; *3* — вращающаяся сетка; *4* — камера чистой воды; *5* — камера грязной воды; *6* — экран—укрытие; *7* — рыбосборная камера с рыбоподъемником.

Рыбозащитный подъемник — в насосном блоке, оборудованном вращающейся сеткой с лобовым подводом воды (рис. 10). Это рыбозащитное устройство размещается перед верховым полотнищем вращающейся сетки и имеет ширину, равную ширине камеры грязной воды. Его основными составными частями являются: рыбосборный контейнер, снабженный механизмом для его перемещения, и устройство для приема и транспортировки рыбы [9].

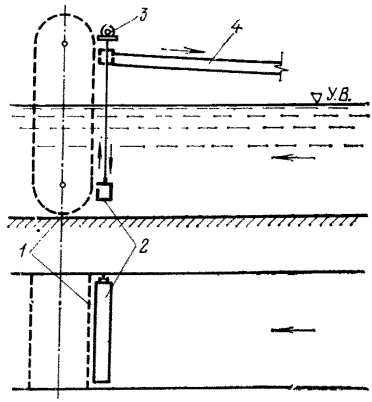


Рис. 10. Рыбозащитное устройство типа «рыбозащитного подъемника»
1 — вращающаяся сетка; *2* — контейнер (пунктиром показано его верхнее положение); *3* — механизм перемещения контейнера вдоль сетчатого полотна; *4* — устройство для приема и транспортирования рыбы.

При проектировании рыбозащитных устройств, для обоснования возможности применения того или иного типа рыбозащитного устройства и для назначения его оптимальных очертаний и размеров должны использоваться материалы экспериментальных исследований и эксплуатации опытных и серийных (промышленных) образцов этих рыбозащитных устройств, осуществленных на действующих электростанциях.

В проекте рыбозащитного устройства должен быть разработан способ удаления молоди рыб из создаваемой рыбозащитным устройством зоны ее скопления перед вращающейся сеткой, а также способ дальнейшего транспортирования спасенной молоди рыб из сеточной камеры обратно в источник водоснабжения.

Рекомендации по гидравлическому расчету насосных блоков

2.32. Расчетные расходы насосного блока $Q_{н.б}$ определяются подачей циркуляционного насоса при его расчетных напорах.

2.33. Расчетные уровни воды перед насосным блоком определяются с учетом расположения циркуляционной насосной станции: на берегу источника водоснабжения или на подводящем канале.

Гидравлические расчеты подводящего канала должны определить положения (отметки) свободной поверхности воды перед циркуляционной насосной станцией при установившемся и неустановившемся режимах течения, а также условия пропуска шуги (льда) и выпадения наносов в канале и в аванкамере и др. Эти расчеты следует выполнять, руководствуясь указаниями ТУиН МСЭС-108-59 [54, с. 42 — 54]. При этом расход воды в

подводящем канале принимается равным максимальной расчётной подаче циркуляционной насосной станции.

Вычисления гидравлических потерь в подводящем канале следует производить по формулам, приведенным в П 91-80/ВНИИГ [47], с учетом режима течения жидкости в канале и характера прогнозируемой шероховатости его стенок.

При расчете каналов с бетонными стенками, режим течения в которых может соответствовать как квадратичной, так и переходной области гидравлического сопротивления, вычисления коэффициента Шези рекомендуется выполнять по формулам, приведенным в [3].

Гидравлические расчеты неустановившегося движения воды в подводящем канале при внезапном уменьшении или увеличении расхода воды, потребляемой циркуляционной насосной станцией, можно выполнять согласно указаниям, приведенным в [53, с. 251 — 254].

Необходимо производить также поверочные гидравлические расчеты подводящего канала при режимах течения, соответствующих различным очередям ввода мощности ТЭС или АЭС при ее строительстве.

2.34. Для береговой циркуляционной насосной станции расчетными уровнями воды являются: средний (наиболее продолжительный по времени стояния), максимальный и минимальный расчетные уровни воды в источнике водоснабжения у места водозабора.

2.35. При расположении циркуляционной насосной станции на саморегулирующемся подводящем канале максимальный расчетный уровень воды перед насосной станцией следует считать равным максимальному расчетному уровню воды в источнике водоснабжения, а минимальный расчетный уровень воды определяется расчетом при пропуске по подводящему каналу максимального расчетного расхода воды [54].

Примечание. Под саморегулирующимся подводящим каналом подразумевается открытый канал, повышение уровня воды в котором при прекращении забора воды насосной станцией может достигать максимальной отметки уровня воды в источнике водоснабжения (без сброса воды из канала).

2.36. При расположении циркуляционной насосной станции на несаморегулирующемся подводящем канале минимальный расчетный уровень воды перед насосной станцией определяется отметкой порога водосбросного сооружения, которая равна отметке уровня воды при пропуске по подводящему каналу максимального расчетного расхода при равномерном режиме, а максимальный расчетный уровень воды определяется напором над порогом водосбросного сооружения (водослива), который вычисляется на основе указаний, приведенных в [46] при сбросе всего максимального расчетного расхода воды подводящего канала через водосбросное сооружение (водослив).

Несаморегулирующийся подводящий канал представляет собой открытый канал, повышение уровня воды в котором определяется отметками порогов водосбросных сооружений на нем, и при прекращении забора воды насосной станцией оно ограничивается отметкой, обеспечивающей сброс всего расхода воды через водосбросные сооружения.

2.37. Определение поперечных размеров и площади отверстий водоприемной (входной) части насосного блока следует выполнять согласно указаниям, приведенным в [50].

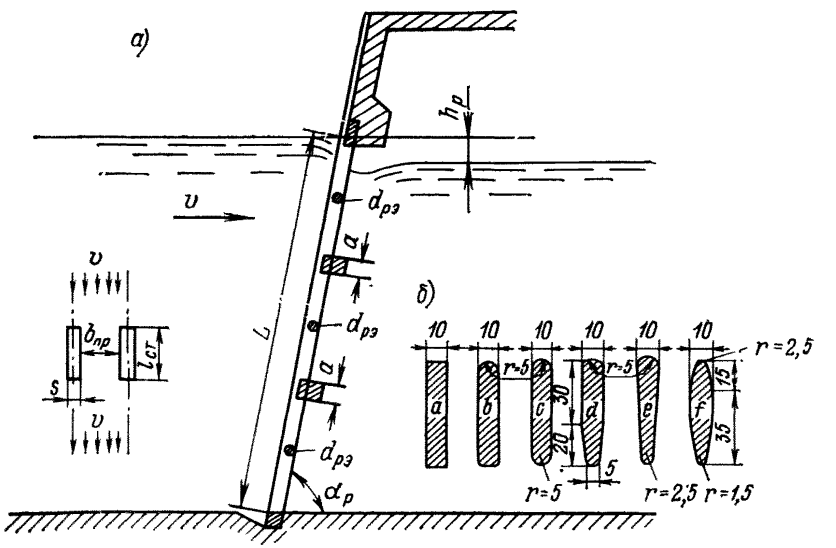


Рис. 11. Сороудерживающая решетка

а — схема расположения решетки; *б* — форма стержней решетки.

2.38. Потерю напора $h_р$ на сороудерживающей решетке (рис. 11) следует определять путем вычислений по формулам:

$$h_р = k\zeta_р \frac{v^2}{2g}, \qquad (1)$$

$$\zeta_р = c\beta_{ст}\left(\frac{S}{S+b_{пр}}\right)^{1,6}\left(2{,}3\frac{l_{ст}}{b_{пр}} + 8 + 2{,}4\frac{b_{пр}}{l_{ст}}\right)\cdot \sin\alpha_р, \qquad (2)$$

где v — средняя скорость в поперечном сечении водного потока, равная частному от деления расхода воды Q на площадь сечения Ω, перекрываемого решеткой;

$\zeta_р$ — коэффициент сопротивления решетки;

k — коэффициент, учитывающий засорение решетки и равный 2,0 (при 30% засорения решетки);

g — ускорение свободного падения;

S — толщина стержня решетки;

$l_{ст}$ — ширина стержня сороудерживающей решетки;

$b_{пр}$ — величина просвета между стержнями решетки;

$\alpha_р$ — угол наклона стержней решетки к горизонту (рис. 11, *а*);

$\beta_{ст}$ — коэффициент, зависящий от формы поперечного профиля стержня решетки, определяемый по табл. 1 и рис. 11, *б*;

Таблица 1

Значения коэффициента $\beta_{ст}$

Форма поперечного сечения стержня решетки	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
$\beta_{ст}$	0,50	0,37	0,32	0,21	0,18	0,15

c — коэффициент, учитывающий влияние на потери напора поперечных элементов и каркаса решетки, вычисляемый по формуле:

$$c = \frac{1}{\left(1 + \frac{A}{L}\right)^2}; \qquad (3)$$

L — высота решетки в свету (рис. 11, *а*);
A — суммарная высота поперечных элементов:

$$A = n_1 d_{р.э} + n_2 a; \qquad (4)$$

n_1 — количество распорно-связных горизонтальных элементов (высотой $d_{р.э}$);
n_2 — количество промежуточных опорных балок (высотой *a*).

При определении потери напора h_p:

а) рекомендуется с целью получения наименьших потерь напора на решетке выдерживать такие соотношения между размерами *S*, $l_{ст}$ и $b_{пр}$: $\frac{l_{ст}}{b_{пр}} \cong 1{,}5$ и $\frac{l_{ст}}{S} \cong 4{,}5$;

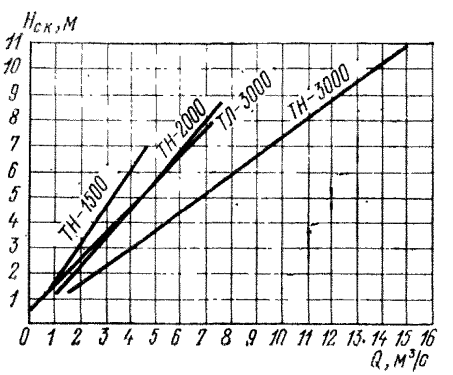


Рис. 12. График для определения ориентировочной пропускной способности вращающейся сетки *Q* в зависимости от типа сетки и заглубления сетки под минимальный уровень воды $H_{с.к}$.

б) не рекомендуется назначать ширину стержня $l_{ст}$ менее 45—50 мм, а величину просвета между стержнями $b_{пр}$ менее 30 мм и более 100 мм.

Примечание. Расчеты прочности и обогрева сороудерживающих решеток следует выполнять согласно положениям, изложенным в [43].

2.39. Выбор типа вращающихся сеток и определение их размеров при заданных расходах воды и минимальных уровнях воды в насосных блоках рекомендуется производить при помощи ориентировочного графика (рис. 12):

$$Q = f(H_{с.к}),$$

где Q — расход воды, проходящей сквозь вращающуюся сетку;
$H_{с.к}$ — глубина воды в сеточной камере (при минимальном уровне воды).

График составлен в СКБ Ленгидросталь с учетом указаний главы СНиП II-31-74 [50] при следующих условиях:

а) скорость прохождения воды сквозь ячейки сит вращающейся сетки принята равной 1,0 м/с при 30% засорения полотен сетки;

б) размеры ячеек сит в рамках полотна вращающейся сетки приняты равными 5×5 мм при диаметре проволоки 0,7 — 1,2 мм.

В сокращенном наименовании вращающихся сеток буквы «Н» и «Л» указывают соответственно на наружный и лобовой подвод воды к сетке, а цифры 1500, 2000 и 3000 обозначают ширину полотна сетки $B_{в.с}$ в мм.

При проектировании водоприемных сооружений с применением двух вращающихся сеток в одном насосном блоке пропускную способность каждой вращающейся сетки следует определять по графику $Q = f(H_{с.к})$ (см. рис. 12).

Потеря напора на вращающейся сетке $h_{в.с}$ может быть вычислена по формуле:

$$h_{в.с} = k\zeta_{в.с}\frac{v_0}{2g}, \qquad (5)$$

где v_0 — скорость в окне перед сеточной камерой;
g — ускорение свободного падения;
k — коэффициент, учитывающий степень засорения вращающейся сетки и равный 2,0 (при 30% засорения сетки);
$\zeta_{в.с}$ — коэффициент сопротивления вращающейся сетки, равный 1,3 — для сетки с лобовым подводом воды и 2,0 — для сетки с наружным подводом воды.

2.40. Допустимая высота всасывания циркуляционного насоса $H_{s\,доп}$, определяющая необходимое заглубление оси рабочего колеса насоса, может быть вычислена по следующей формуле:

$$H_{s\,доп} = H_{б.м} - \Delta h - H_п, \qquad (6)$$

$H_{б.м} = \left(\frac{P}{\gamma}\right)_{б.м}$ — параметр, учитывающий абсолютное минимальное барометрическое (атмосферное) давление;
Δh — кавитационный запас при минимальном уровне воды в сеточной камере, величина которого берется из рабочей универсальной характеристики насоса;
$H_п = \frac{P_{нас}}{\gamma}$ — параметр, учитывающий давление парообразования при максимально возможной температуре воды в сеточной камере;
P — давление воздуха;
$P_{нас}$ — давление насыщенного водяного пара;
γ — удельный вес воды.

Примечание. 1. Значения параметра $H_{б.м}$ для различных высот над уровнем моря приведены в табл. 2.

2. Значения параметра $H_п$ для различной температуры воды t указаны в табл. 3.

Таблица 2

Значения параметра $H_{б.м}$ в зависимости от высоты над уровнем моря[1]

Высота над уровнем моря, м	0	500	1000	1500	2000
$H_{б.м}=\left(\frac{P}{\gamma}\right)_{б.м}$, м	9,97	9,41	8,86	8,34	7,85

Таблица 3

Значения параметра $H_п$ при различной температуре воды t

t°С	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$H_п=\frac{P_{нас}}{\gamma}$, м	0,062	0,089	0,125	0,174	0,238	0,323	0,432	0,575	0,752	0,995	1,258

2.41. Отметка оси рабочего колеса циркуляционного насоса ∇OH должна назначаться такой, чтобы действительная высота всасывания H_s при самых неблагоприятных условиях эксплуатации циркуляционного насоса не превысила величины $H_{s\,доп}$, вычисленной по формуле (6).

Значение H_s следует вычислять по формуле:

$$H_s = \nabla OH - \nabla УВ_{с.к.мин}, \qquad (7)$$

где ∇OH — отметка оси рабочего колеса циркуляционного насоса;

$\nabla УВ_{с.к.мин}$ — отметка минимального уровня воды в сеточной камере (перед всасывающей трубой насоса), вычисляемая по формуле:

$$\nabla УВ_{с.к.мин} = \nabla УВ_{ав.мин} + \frac{v_{ав}^2 - v_{с.к.}^2}{2g} - \Sigma h_м, \qquad (8)$$

где $\nabla УВ_{ав.мин}$ — отметка минимального уровня воды перед насосной станцией (в аванкамере);

$v_{ав}$ — скорость воды перед входом в насосный блок (в аванкамере);

$v_{с.к}$ — скорость воды перед входом во всасывающую трубу;

$\Sigma h_м$ — сумма потерь напора в отдельных элементах насосного блока (от аванкамеры до всасывающей трубы насоса).

В случае циркуляционной насосной станции величину $\Sigma h_м$ можно вычислять по формуле:

$$\Sigma h_м = \zeta \frac{v_{с.к.}^2}{2g} + h_р + h_{в.с}, \qquad (9)$$

где ζ — коэффициент сопротивления, учитывающий гидравлические сопротивления в водоприемнике и сеточной камере и равный:

0,5 — 0,7 — при лобовом подводе воды к вращающейся сетке;

1,0 — 1,2 — при наружном подводе воды к вращающейся сетке;

---

[1] Указанные значения параметра $H_{б.м}$ получены при величине атмосферного давления, на 3,5% меньшей нормальных значений атмосферного давления для данной высоты местности над уровнем моря [45, с. 46].

$h_р$ — потеря напора на сороудерживающей решетке, вычисляемая по формуле (1);

$h_{в.с}$ — потеря напора на вращающейся сетке, вычисляемая по формуле (5).

2.42. Заглубление δ верхней кромки входного отверстия всасывающей трубы под наинизший уровень воды в сеточной камере, при котором начинают возникать вихревые воронки и засасывание воздуха в циркуляционный насос, может быть вычислено (при ориентировочных расчетах) по формуле [16]:

$$\delta = c_{вт} v_с \sqrt{a_с} - \Delta a, \qquad (10)$$

где $v_с$ — средняя скорость водного потока в сжатом сечении оголовка всасывающей трубы;

$a_с$ — высота сжатого сечения оголовка всасывающей трубы;

Δa — разность отметок верхней кромки входного отверстия и верхней точки сжатого сечения оголовка всасывающей трубы;

$c_{вт}$ — коэффициент, учитывающий условия подхода воды к всасывающей трубе насоса и равный 0,55 — при лобовом подводе воды к вращающейся сетке; 0,75 — при наружном подводе воды к вращающейся сетке.

Значение δ, полученное путем вычислений по формуле (10), необходимо уточнить при проведении лабораторных гидравлических исследований насосного блока.

2.43. Основные гидравлические характеристики насосного блока следует определять экспериментальным путем при проведении лабораторных гидравлических исследований на модели насосного блока, рассчитанной на основе критерия Фруда и выполненной в достаточно крупном масштабе (1/5 — 1/10), чтобы получить значения числа Рейнольдса, соответствующие автомодельной области.

При модельных исследованиях насосного блока подлежат определению:

а) пропускная способность насосного блока и потери напора в нем;

б) отметки уровней воды в водоприемнике и в камерах грязной и чистой воды;

в) распределение скоростей в водном потоке в различных сечениях сеточной камеры и во входных сечениях всасывающей трубы и камеры рабочего колеса циркуляционного насоса;

г) условия возникновения вихревых воронок перед входом во всасывающую трубу циркуляционного насоса и др.

2.44. В процессе выполнения исследований определяются оптимальные с гидравлической точки зрения размеры и очертания различных элементов насосного блока (водоприемник, камера грязной воды, камера чистой воды и т. д.), а также отрабатываются мероприятия: а) по устранению вихревых воронок, образующихся перед входом во всасывающую трубу циркуляционного насоса, б) по обеспечению равномерного распределения скоростей воды по ширине и высоте полотнищ вращающейся сетки, в) по обеспечению равномерного распределения скоростей во

входных сечениях всасывающей трубы и камеры рабочего колеса циркуляционного насоса и др.

2.45. При размещении рыбозащитных устройств в сеточной камере гидравлические лабораторные исследования этих устройств следует выполнять на фрагменте вращающейся сетки при соблюдении натурных скоростей воды, размеров рамок и ячеек сит, причем исследования должны производиться с использованием в опытах молоди рыб по методике, учитывающей поведение молоди в текущей воде и возможность оценки травмирования ее вращающейся сеткой.

3. НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Основные сведения

3.1. В напорных водопроводящих линиях ТЭС и АЭС гидравлические потери слагаются из потерь напора в напорных и сливных трубопроводах (обычно в пределах 2,5 — 5,0 м) и в конденсаторах паровых турбин (обычно порядка 5,0 — 7,0 м), причем главную часть (60 — 80%) гидравлических потерь в напорных трубопроводах составляют потери напора на местные сопротивления.

3.2. Местные гидравлические потери в напорных трубопроводах возникают в арматуре (обратные клапаны, задвижки) и в фасонных частях (тройники, колена, отводы). Вследствие многочисленных изменений направления трассы напорного трубопровода как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях наиболее значительную часть местных гидравлических потерь составляют потери напора в последовательно расположенных коленах и отводах. Поэтому колена и отводы напорных трубопроводов желательно выполнять плавного очертания, и потери напора в них следует вычислять с учетом взаимного влияния друг на друга.

3.3. Основные сведения и указания по расчету и конструированию напорных трубопроводов, которыми следует руководствоваться при проектировании, можно найти в ОСТах, МВН и в [13, 28, 43].

Компоновка напорных трубопроводов

3.4. Основные особенности компоновки напорных трубопроводов для схемы технического водоснабжения с центральной насосной станцией состоят в следующем.

Напорные трубопроводы, идущие от отдельных циркуляционных насосов, снабжены обратными клапанами и задвижками, причем все напорные трубопроводы в камере переключений, объединяются в магистральные напорные трубопроводы (не менее двух), подводящие воду к фронту машинного отделения электростанции (рис. 13).

Магистральные напорные трубопроводы трассируются параллельно фронту машинного отделения электростанции. От каждого магистрального трубопровода отходят ветви для подачи охлаждающей воды на конденсаторы паровых турбин. Регулирование или прекращение подачи воды в конденсатор осуществляется задвижками, расположенными на ответвлениях (в

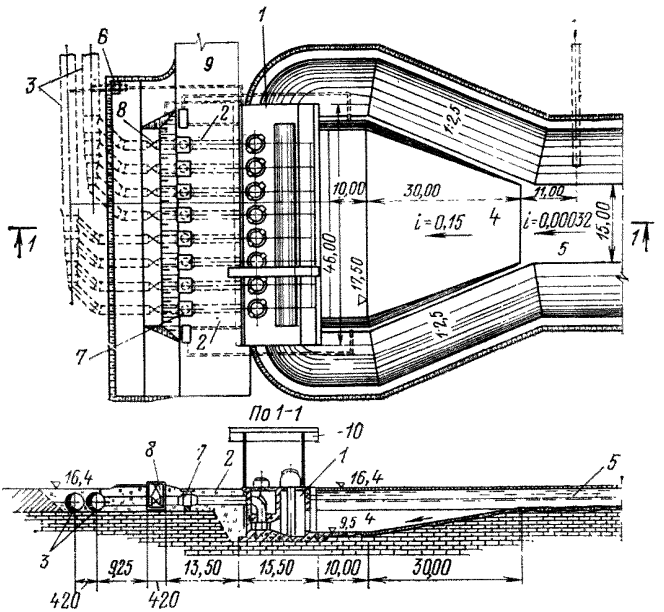


Рис. 13. Расположение напорных трубопроводов при схеме технического водоснабжения с центральной насосной станцией. План и продольный разрез

1 — насосная станция; *2* — напорный трубопровод; *3* — магистральный трубопровод; *4* — аванкамера; *5* — подводящий канал; *6* — колодец для задвижек; *7* — обратные клапаны; *8* — камера задвижек; *9* — дорога; *10* — козловой кран.

машинном отделении). Для отвода воздуха из напорных трубопроводов предусматриваются воздухоотводящие трубы.

В камере задвижек и обратных клапанов устраиваются перемычки, посредством которых может осуществляться переключение циркуляционных насосов с одного магистрального трубопровода на другой. Переключения должны обеспечивать возможность пропуска не менее 50 % расчетного расхода воды всей циркуляционной насосной станции по магистральным трубопроводам в случае аварии на одном из них [51].

3.5. Основные особенности компоновки напорных трубопроводов для схемы технического водоснабжения с блочной насосной станцией состоят в следующем.

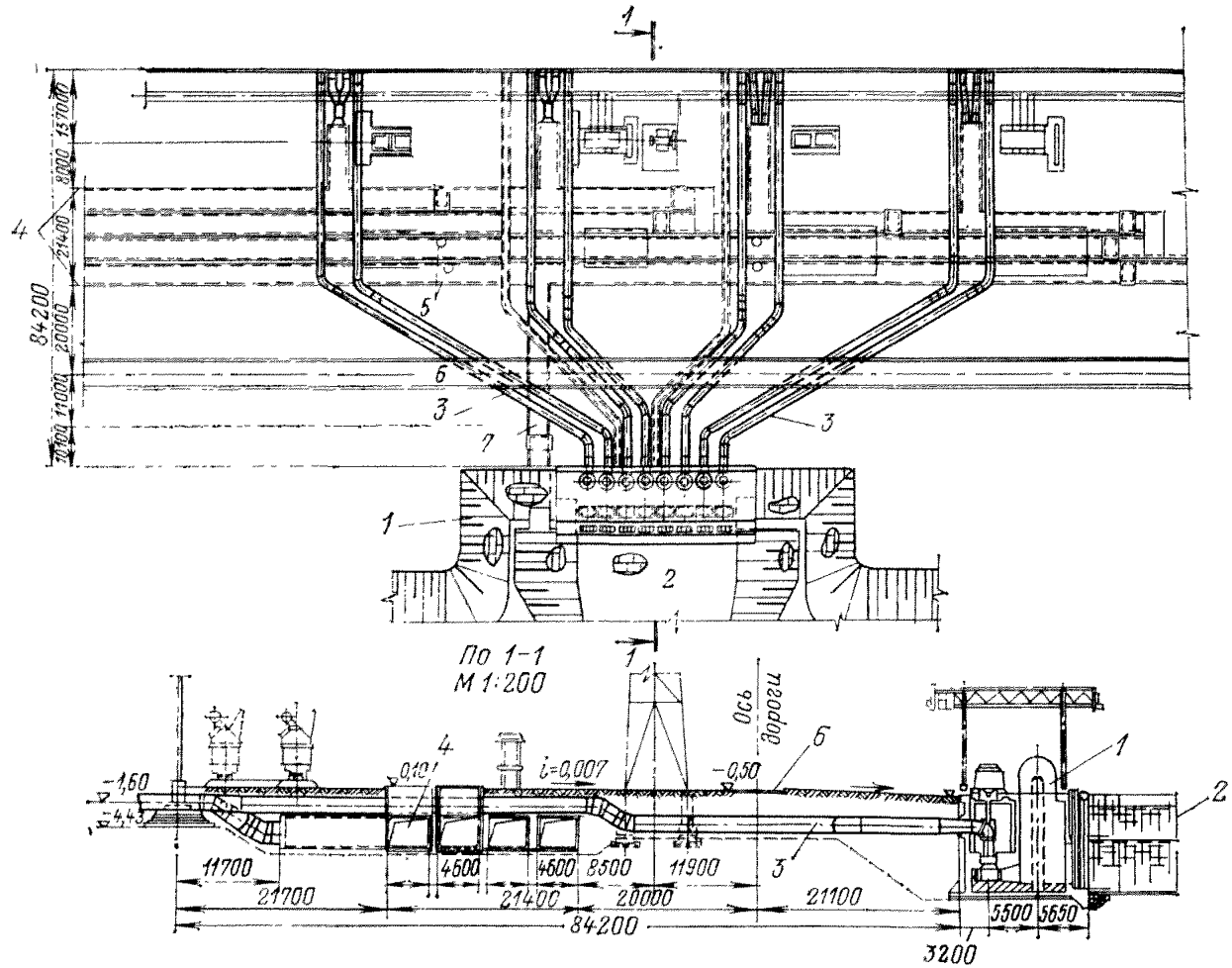


Рис. 14. Расположение напорных трубопроводов при блочной схеме технического водоснабжения. План и продольный разрез.

1 — насосная станция; *2* — аванкамера; *3* — напорный трубопровод; *4* — закрытые каналы; *5* — смотровые колодцы; *6* — дорога; *7* — канал обогрева.

Подача воды от каждого циркуляционного насоса на конденсатор паровой турбины осуществляется по индивидуальному напорному трубопроводу, на котором обратный клапан и задвижка не устанавливаются (рис. 14).

Для заполнения всей напорной системы водой при запуске циркуляционного насоса может использоваться пусковой эжектор.

3.6. Основные особенности компоновки напорных трубопроводов для напорно-самотечной схемы технического водоснабжения следующие.

От каждого циркуляционного насоса вода подается в напорный бассейн по напорному трубопроводу, который сопрягается с напорным бассейном посредством сифонного водовыпуска (рис. 15), снабженного автоматическим воздушным клапаном

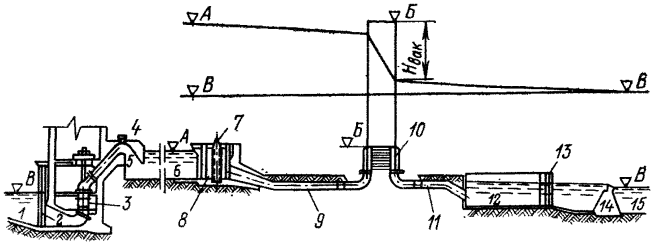


Рис. 15. Расположение водоводов и сооружений при напорно-самотечной схеме технического водоснабжения

1 — подводящий канал; *2* — сороудерживающая решетка; *3* — циркуляционный насос; *4* — клапан срыва вакуума; *5* — сифонный водовыпуск; *6* — напорный бассейн; *7* — вращающаяся сетка; *8* — водозаборное сооружение; *9* — самотечный водовод; *10* — конденсатор; *11* — сливной трубопровод; *12* — отводящий канал; *13* — концевое сооружение; *14* — струенаправляющая дамба; *15* — пруд—охладитель.

для срыва вакуума в сифоне при остановке циркуляционного насоса и предотвращения движения воды из напорного бассейна в обратном направлении (при этом отпадает необходимость в установке обратного клапана и задвижки в начале трубопровода).

Подвод охлаждающей воды из напорного бассейна к конденсаторам паровых турбин осуществляется по самотечным трубопроводам, в голове которых предусматривается водозаборное сооружение с аварийными и ремонтными затворами, сороудерживающими решетками и вращающимися сетками [30, с. 5 — 12].

Примечание. Для отвода воздуха из самотечных трубопроводов предусматриваются воздухоотводящие трубы.

3.7. Подвод теплой воды к градирням осуществляется стальными напорными трубопроводами, а отвод от градирен охлажденной в них воды производится закрытыми железобетонными каналами. При подводе теплой воды к градирням двумя магистральными напорными трубопроводами подача воды на каждую

градирню должна осуществляться от каждого из них. Таким же образом должно осуществляться и присоединение градирни к отводящим водоводам [55, с. 16].

Водоотводящие каналы допускается размещать по схеме, обеспечивающей последовательный пропуск охлажденной воды транзитом через водосбросные бассейны градирен, причем внутри каждого бассейна следует предусматривать устройство донных углублений в виде секционированных водопропускных каналов [7].

Рекомендации по гидравлическому расчету напорных трубопроводов

3.8. Гидравлические расчеты напорных трубопроводов состоят из расчетов по определению потерь напора в трубопроводах при установившемся течении жидкости и из расчетов гидравлического удара при пуске и остановке циркуляционных насосов. Результаты расчетов потерь напора при установившемся течении жидкости в напорном трубопроводе используются: а) при определении рабочего напора циркуляционных насосов; б) при технико-экономических расчетах по обоснованию выбора оптимального варианта напорного трубопровода и в) при расчете гидравлического удара в длинных напорных трубопроводах.

Результаты расчета величины гидравлического удара используются при расчете напорного трубопровода на прочность и для назначения противоударных мероприятий.

3.9. Гидравлические потери в напорных трубопроводах слагаются из потерь напора на трение по длине трубопровода и из потерь напора на преодоление местных сопротивлений в одиночных сопротивлениях (фасонных частях и арматуре) и в узлах:

$$h_{тр} = \Sigma h_l + \Sigma h_м + \Sigma h_{уз}, \qquad (11)$$

где $h_{тр}$ — суммарные гидравлические потери в напорном трубопроводе;

Σh_l — сумма потерь напора на трение по длине прямолинейных участков трубопровода;

$\Sigma h_м$ — сумма потерь напора в одиночных местных сопротивлениях (фасонных частях и арматуре);

$\Sigma h_{уз}$ — сумма потерь напора в узлах, состоящих из последовательно расположенных на близких расстояниях друг от друга одиночных местных сопротивлений.

3.10. Потери напора на трение по длине трубопровода следует определять с учетом режима течения жидкости в трубопроводе и характера шероховатости его стенок, руководствуясь в основном указаниями П 91-80/ВНИИГ [47].

Примечание. Так как напорные бетонные и стальные трубопроводы работают главным образом в переходной области гидравлического сопротивления, то при гидравлическом расчете таких трубопроводов рекомендуется использовать зависимости и указания, приведенные в [2].

3.11. Потери напора в одиночных местных сопротивлениях и в узлах местных сопротивлений, состоящих из последовательно расположенных на близких расстояниях друг от друга несколь-

ких местных сопротивлений, следует определять по формуле Вейсбаха:

$$h_м = \zeta_м \frac{v^2}{2g}, \qquad (12)$$

где $\zeta_м$ — коэффициент местного сопротивления;

v — средняя скорость в сечении трубопровода, расположенном ниже по течению за данным одиночным местным сопротивлением или за узлом местных сопротивлений;

g — ускорение свободного падения.

3.12. Потери напора в одиночных местных сопротивлениях следует определять без учета их взаимного влияния друг на друга при расстояниях между смежными местными сопротивлениями $l \geqslant l_{вл}$, где $l_{вл}$ — длина влияния местного сопротивления, зависящая от вида сопротивления и режима течения жидкости в трубопроводе.

Примечание. Величина $l_{вл}$ может определяться экспериментальным путем при выполнении лабораторных гидравлических исследований или из справочной литературы. Длину $l_{вл}$ для колен и отводов можно принимать равной (12—20) d, где d — диаметр трубопровода [24].

3.13. Численные значения коэффициента местного сопротивления для одиночных местных сопротивлений (задвижки, обратные клапаны, повороты, конфузоры, диффузоры, тройники и др.) при $l \geqslant l_{вл}$ можно принимать по рекомендациям, приведенным в [22, 32].

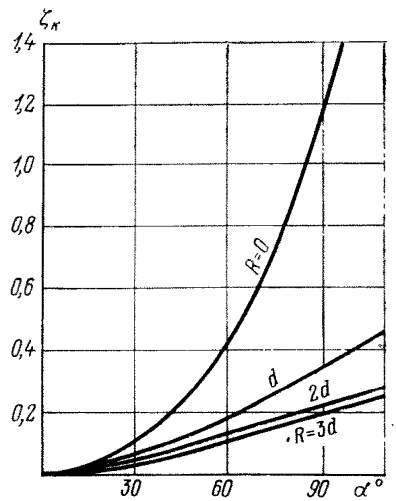


Рис. 16. График $\zeta_к = f(\alpha_{от}, R)$ для одиночных колен при $R = 0, d, 2d, 3d$.

3.14. Численные значения коэффициента местного сопротивления для отводов прямоугольной ($R = 0$) и циркульной формы $\zeta_к$ при угле поворота $\alpha_{от} \leqslant 90°$ и радиусе кривизны оси отвода $R = (0 \div 3)d$ можно определять по графику $\zeta_к = f(\alpha_{от}, R)$, приведенному на рис. 16.

Таблица 4

Значения коэффициента местного сопротивления $\zeta_к$ для сварных колен

R	d	$2d$	$3d$	Примечания
$\zeta_к$	0,41 0,45	0,22 0,28	0,20 0,33	Рис. 17 Рис. 18

Для сварных колен, изготовленных из отдельных сегментных звеньев согласно рис. 17 и 18, значения коэффициента местного сопротивления $\zeta_к$ приведены в табл. 4 [15, 48].

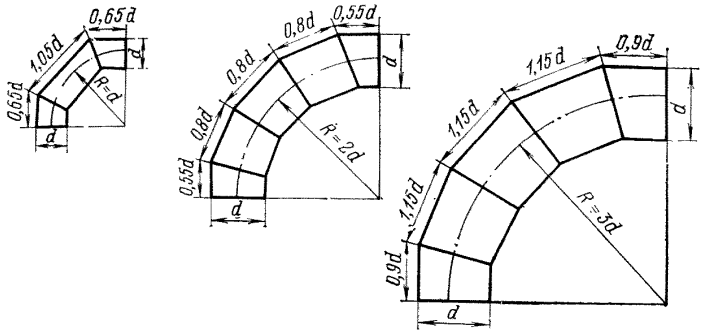


Рис. 17. Сварные колена из нескольких звеньев.

3.15. Для обеспечения минимальных потерь напора в коленах напорных трубопроводов и равномерного распределения скоростей воды за ними, коленам рекомендуется придавать эллиптическую форму (рис. 19), которая характеризуется величиной от-

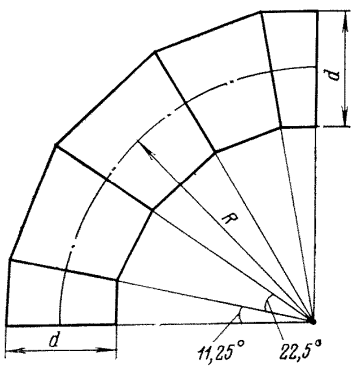


Рис. 18. Сварное колено из 5 звеньев.

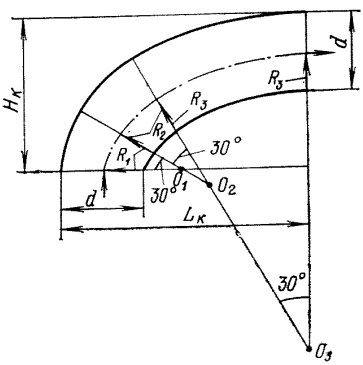


Рис. 19. Форма колена безотрывного профиля. $R_1 = (1{,}0 - 1{,}2)\,d$; $R_2 = R_2 = (1{,}1 - 1{,}4)\,d$; $R_3 = (3{,}5 - 4{,}0)\,d$; $H_к = (1{,}9 - 2{,}0)\,d$; $L_к = (2{,}8 - 3{,}0)d$.

ношения длины колена $L_к$ к его высоте $H_к$, равной 1,5 — 1,7, причем с целью упрощения изготовления колена его осевая линия аппроксимирована тремя дугами окружностей по 30° каждая с постоянными радиусами кривизны [6]:

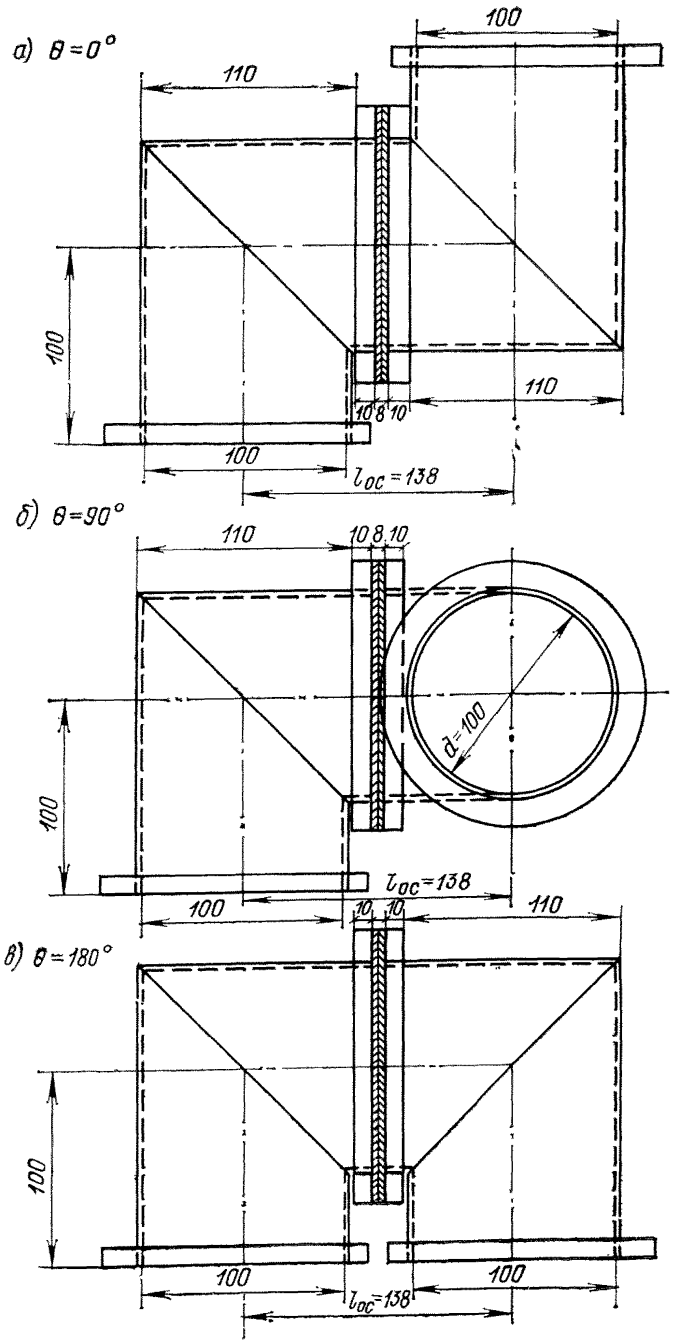


Рис. 20. Формы узлов, состоящих из двух прямоугольных колен (d = 100 м, l_{oc} = 1,38d):

а — z-образная; *б* — г-образная (пространственная); *в* — п-образная.

$$R_1 = (1{,}0 - 1{,}2)d,\ R_2 = (1{,}1 - 1{,}4)d \text{ и } R_3 = (3{,}5 - 4{,}0)d,$$

где d — диаметр трубопровода.

Коэффициент местного сопротивления указанного колена $\zeta_к$ имеет такие численные значения:

$\zeta_к = 0{,}05 - 0{,}10$ — при течении воды в прямом направлении;

$\zeta'_к = 0{,}07 - 0{,}015$ — при течении воды в обратном направлении.

Примечание. Наименьшие значения $\zeta_к$ и $\zeta'_к$ соответствуют наибольшим (граничным) значениям R_1, R_2 и R_3, а наибольшие значения $\zeta_к$ и $\zeta'_к$ относятся к наименьшим (граничным) значениям тех же радиусов кривизны.

3.16. Потери напора в узлах, состоящих из расположенных на близких расстояниях l друг от друга нескольких местных сопротивлений ($l < l_{вл}$), следует определять с учетом взаимного влияния смежных местных сопротивлений (без выделения потерь напора на трение по длине прямолинейных участков напорного трубопровода внутри узла).

Узлы, состоящие из нескольких колен или отводов могут быть простыми и сложными. Простые узлы состоят из двух или

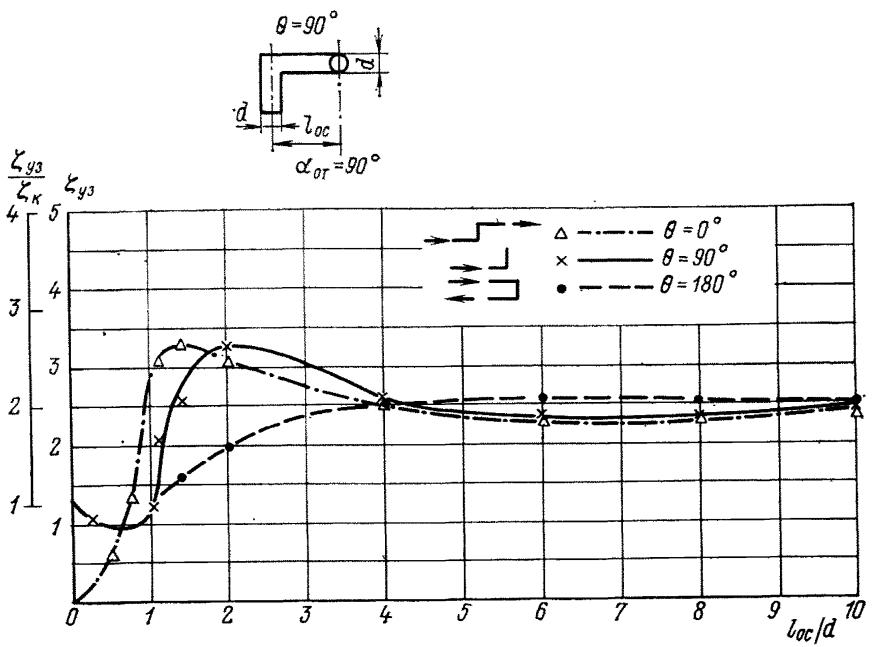


Рис. 21. График $\zeta_{уз} = f\left(\frac{l_{oc}}{d}, \theta\right)$ для узлов, состоящих из двух прямоугольных колен

$\zeta_{уз}$ — коэффициент сопротивления узла; $\zeta_к$ — коэффициент сопротивления колена.

трех одинаковых колен или отводов, расположенных в одной или разных плоскостях.

Простые узлы, состоящие из двух колен или отводов, могут иметь z-образную, Г-образную и П-образную формы (рис. 20),

причем в каждом узле такой формы может изменяться только расстояние l между смежными коленами или отводами.

Сложные узлы состоят из двух или трех одинаковых простых узлов, занимающих то или иное определенное пространственное положение один относительно другого, причем в каждом таком узле может изменяться только расстояние между смежными простыми узлами l.

3.17. Потери напора $h_{уз}$ в простом узле, состоящем из двух последовательно расположенных колен, зависят от расстояния между смежными коленами, от угла изменения направления течения жидкости в узле, от угла между плоскостями, в которых расположены колена, причем значения $h_{уз}$ могут быть как меньше, так и больше арифметической суммы гидравлических потерь в одиночных коленах.

Величина коэффициента местного сопротивления $\zeta_{уз}$ для узлов z-образной, Г-образной и П-образной форм, состоящих из двух прямоугольных колен ($R = 0$) может определяться по представленному на рис. 21 графику [17]:

$$\zeta_{уз} = f\left(\frac{l_{ос}}{d},\ \theta\right),$$

где $l_{ос}$ — расстояние между осями подводящего и отводящего участков напорного трубопровода; θ — угол между плоскостями, в которых расположены колена; d — диаметр напорного трубопровода.

Численные значения коэффициента $\zeta_{уз}$ для узла z-образной формы, состоящего из двух одинаковых угольчатых отводов ($R = 0$) с углами поворота $\alpha_{от} = 90°$, 60° и 30°, даны в виде графической зависимости (рис. 22):

$$\zeta_{уз} = f\left(\frac{l_{ос}}{d},\ \alpha_{от}\right).$$

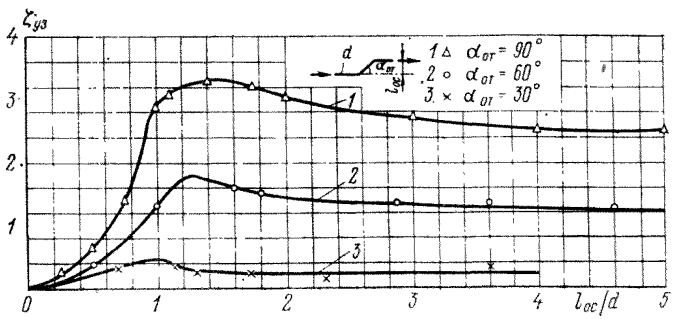


Рис. 22. График $\zeta_{уз} = f\left(\frac{l_{ос}}{d},\ \alpha_{от}\right)$ для z-образного узла, состоящего из двух угольчатых отводов.

3.18. Численные значения коэффициента местного сопротивления $\zeta_{уз}$ для узлов z-образной, Г-образной и П-образной форм (θ=0°, 90° и 180°), состоящих из двух одинаковых колен цир-

кульного очертания, а также для двух аналогичных узлов с $\theta = 45°$ и 135° представлены на рис. 23 в виде графиков [23]:

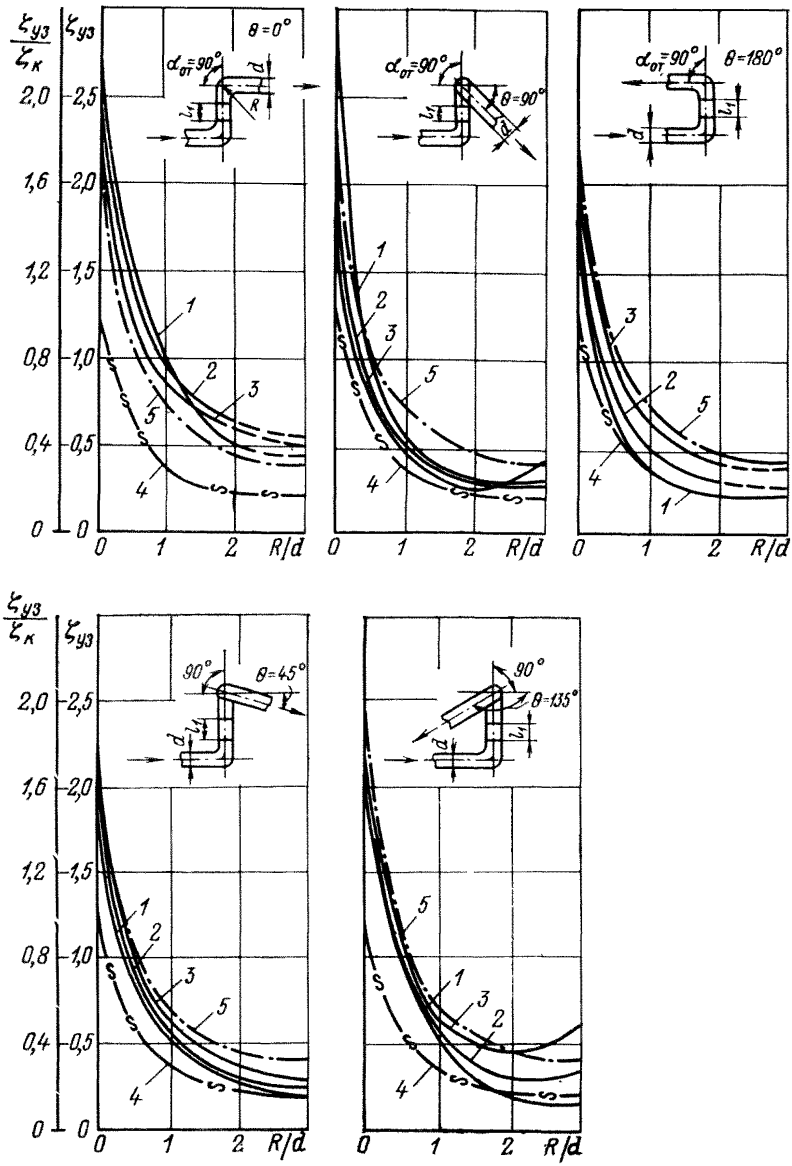


Рис. 23. График $\zeta_{уз} = f\left(\frac{R}{d}, \frac{l}{d}\right)$ для узлов, состоящих из двух циркульных колен

1— $\frac{l}{d}=0$; *2*— $\frac{l}{d}=2$; *3*— $\frac{l}{d}=6$; *4*—одно колено; *5*—два колена.

$$\xi_{уз} = f\left(\frac{R}{d}, \frac{l}{d}\right),$$

где R — радиус кривизны осевой линии колена; l — расстояние между двумя смежными коленами; d — диаметр трубопровода.

Примечание. Продольный профиль колена с $R = 0$ имеет прямоугольное очертание, причем длина каждого его внешнего плеча равна $1{,}5d$.

3.19. Значения коэффициента $\zeta_{уз}$ для узлов z-образной и П-образной форм, состоящих из двух одинаковых циркульных от-

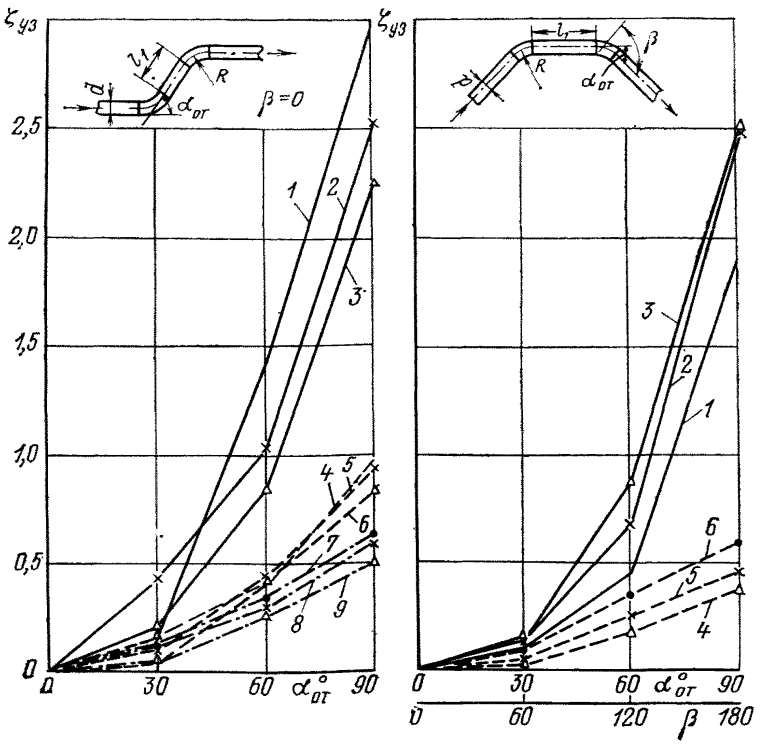


Рис. 24. График $\zeta_{уз} = f\left(\alpha_{от}, \beta, \frac{R}{d}, \frac{l}{d}\right)$ для узлов, состоящих из двух циркульных отводов с углами поворота $\alpha_{от} = 0 \div 90°$

1 — $\frac{R}{d}=0$; $\frac{l}{d}=0$; *2* — $\frac{R}{d}=0$; $\frac{l}{d}=2$; *3* — $\frac{R}{d}=0$; $\frac{l}{d}=6$; *4* — $\frac{R}{d}=1$; $\frac{l}{d}=0$; *5* — $\frac{R}{d}=1$; $\frac{l}{d}=2$; *6* — $\frac{R}{d}=1$, $\frac{l}{d}=6$; *7* — $\frac{R}{d}=2$; $\frac{l}{d}=0$; *8* — $\frac{R}{d}=2$, $\frac{l}{d}=2$; *9* — $\frac{R}{d}=2$; $\frac{l}{d}=6$.

водов с углами поворота $\alpha_{от} = 60°$ и $30°$ приведены в табл. 5 [23], а также на рис. 24 для $\alpha_{от} = 0 \div 90°$ [24].

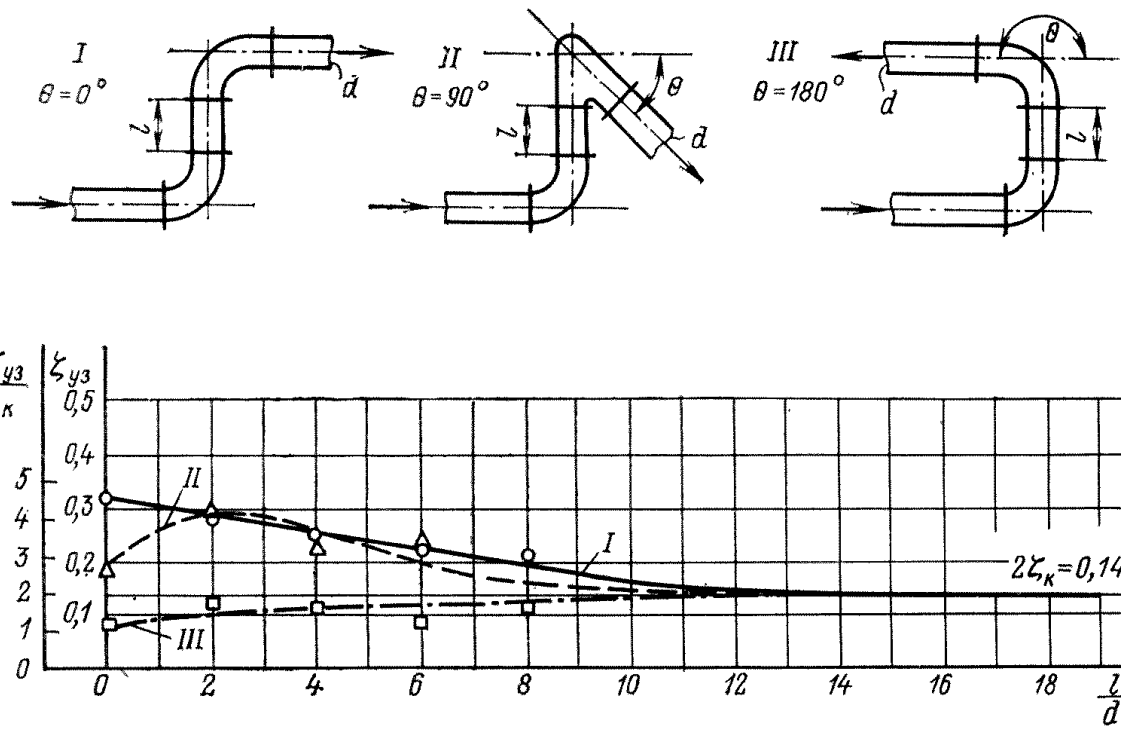


Рис. 25. График $\zeta_{уз} = f\left(\frac{l}{d}, \theta\right)$ для узла, состоящего из двух колен безотрывочного профиля ($R_1 = R_2 = 1{,}125\,d$; $R_3 = 3{,}8\,d$; $H_к = 1{,}98\,d$; $L_к = 2{,}95\,d$) при $\theta = 0°$, 90°, 180°.

Таблица 5

Значения коэффициента местного сопротивления $\zeta_{уз}$ для узлов z-образной и П-образной форм, состоящих из двух циркульных отводов

$\beta°$	$\alpha°_{от}$	$\frac{R}{d}$	l/d					Форма узла
			0	2	4	6	12	
0	60	1	0,40	0,44	0,45	0,42	0,38	z-образная
		2	0,26	0,30	0,36	0,35	0,26	
0	30	1	0,04	0,10	0,12	0,17	0,12	z-образная
		2	0,04	0,11	0,18	0,15	0,08	
120	60	0	0,45	0,68	0,80	0,88	0,84	П-образная
		1	0,18	0,25	0,30	0,35	0,38	

Примечание. $\alpha_{от}$ — угол поворота водного потока в отводе; β — угол изменения направления течения жидкости в узле; R — радиус кривизны осевой линии отвода; l — расстояние между смежными отводами; d — диаметр трубопровода.

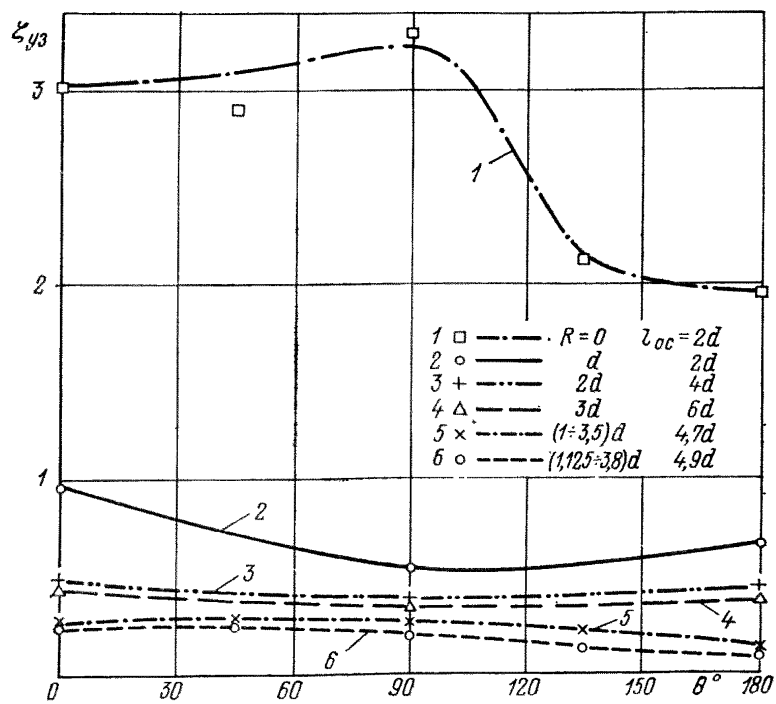


Рис. 26. График $\zeta_{уз} = f(\theta)$ для узла, состоящего из двух колен без промежуточной вставки ($l = 0$).

3.20. Численные значения коэффициента местного сопротивления $\zeta_{уз}$ для узлов z-образной, Г-образной и П-образной форм, состоящих из двух одинаковых колен безотрывного (эллиптиче-

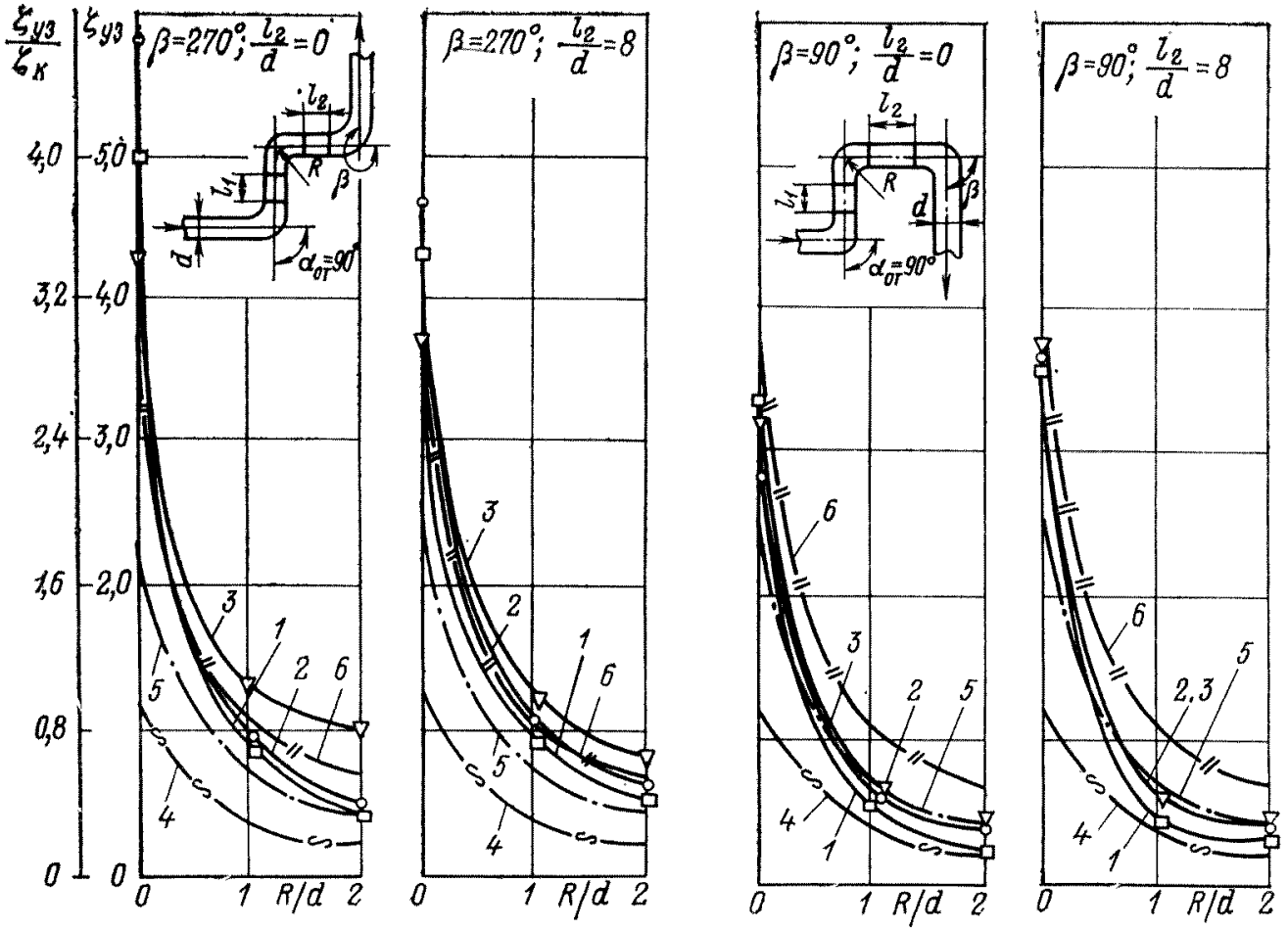


Рис. 27. Графики $\zeta_{уз} = f\left(\frac{R}{d}, \frac{l_1}{d}, \frac{l_2}{d}\right)$ для двух узлов, состоящих из трех колен, расположенных в одной плоскости

1 — $\frac{l_1}{d}=0$; *2* — $\frac{l_1}{d}=2$; *3* — $\frac{l_1}{d}=6$; *4* — одно колено; *5* — два колена; *6* — три колена.

ского) очертания при $R_1 = R_2 = 1{,}125d$ и $R_3 = 3{,}8d$ (рис. 19) даны на рис. 25 в виде графической зависимости:

$$\zeta_{уз} = f\left(\frac{l}{d}, \theta\right),$$

где l — длина прямой вставки между смежными коленами.

Примечание. Значения коэффициента местного сопротивления для одиночного колена указанного очертания таковы: $\zeta_к = 0{,}07$ и $\zeta'_к = 0{,}08$.

3.21. Характер изменения значений коэффициента местного сопротивления $\zeta_{уз}$ для узла, состоящего из двух одинаковых колен или прямоугольного ($R = 0$), или циркульного, или безотрывного очертания, при $l = 0$, в зависимости от величины угла θ

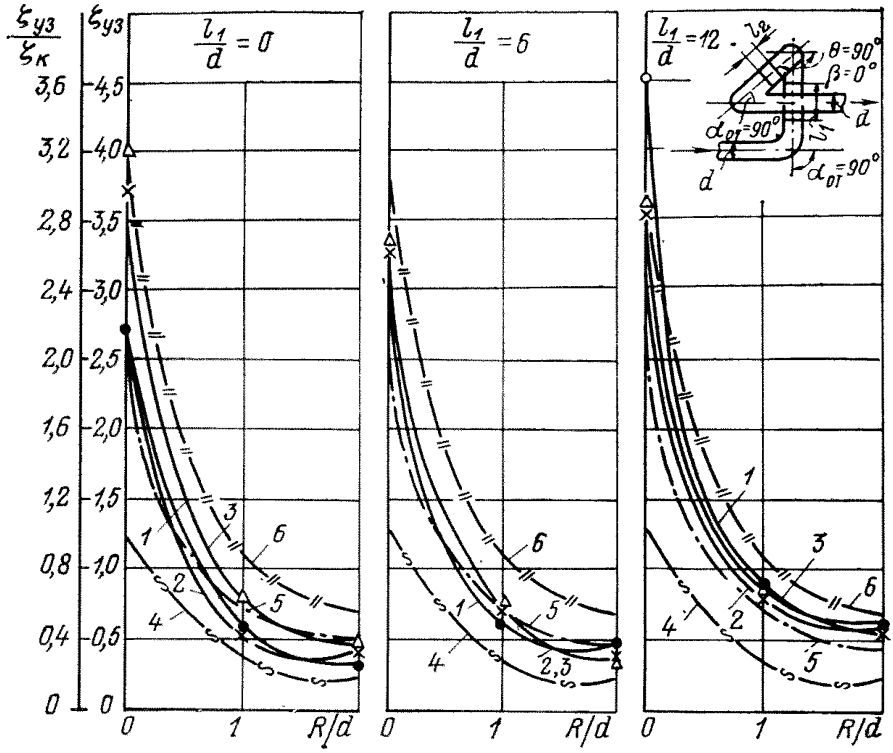


Рис. 28. Графики $\zeta_{уз} = f\left(\frac{R}{d}, \frac{l_1}{d}, \frac{l_2}{d}\right)$ для узла, состоящего из трех колен, расположенных в разных плоскостях ($\theta = 90°$, $\beta = 0$)

1 — $\frac{l_2}{d}=0$; *2* — $\frac{l_2}{d}=4$; *3* — $\frac{l_2}{d}=8$; *4* — одно колено, *5* — два колена; *6* — три колена.

между плоскостями, в которых расположены колена, представлен на рис. 26 в виде графика $\zeta_{уз} = f(\theta)$.

3.22. Численные значения коэффициента местного сопротивления $\zeta_{уз}$ для двух узлов, состоящих из трех расположенных в одной плоскости одинаковых колен прямоугольной ($R = 0$) и

циркульной ($R = d$, $2d$) форм, при $\frac{l_1}{d} = 0$, 2, 6 и $\frac{l_2}{d} = 0$ и 8, в зависимости от значений параметра $\frac{R}{d}$, даны [23] на рис. 27 в виде графических зависимостей

$$\zeta_{уз} = f\left(\frac{R}{d}, \frac{l_1}{d}, \frac{l_2}{d}\right),$$

где l_1 — длина прямой вставки между первым и вторым смежными коленами;
l_2 — длина прямой вставки между вторым и третьим смежными коленами.

На рис. 28 представлен такой же график [24], построенный для аналогичного узла, состоящего из трех колен, расположенных в разных плоскостях ($\theta = 90°$, $\beta = 0°$).

3.23. Для узлов, состоящих из трех одинаковых отводов с углами поворота $\alpha_{от} = 30°$, 60° 90°, расположенными в одной пло-

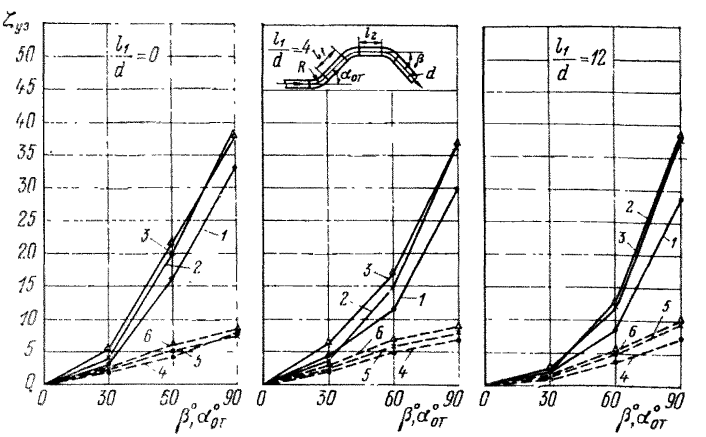


Рис. 29. Графики $\zeta_{уз} = f\left(\beta, \frac{R}{d}, \frac{l_1}{d}, \frac{l_2}{d}\right)$ для узла, состоящего из трех отводов при $\beta = \alpha_{от}$

1 — $\frac{R}{d} = 0$; $\frac{l_2}{d} = 0$; *2* — $\frac{R}{d} = 0$; $\frac{l_2}{d} = 4$; *3* — $\frac{R}{d} = 0$, $\frac{l_2}{d} = 8$; *4* — $\frac{R}{d} = 1$; $\frac{l_2}{d} = 0$; *5* — $\frac{R}{d} = 1$; $\frac{l_2}{d} = 4$; *6* — $\frac{R}{d} = 1$, $\frac{l_2}{d} = 8$.

скости, значения коэффициента местного сопротивления узла $\zeta_{уз}$ при $\beta = \alpha_{от}$ и $\frac{l_1}{d} = 0$; 4; 12 представлены на трех графиках (рис. 29) вида [24]:

$$\zeta_{уз} = f\left(\beta, \frac{R}{d}, \frac{l_2}{d}\right).$$

Аналогичные графики построены на рис. 30 для плоских узлов, состоящих из трех отводов ($\alpha_{от} = 30°$, 60°, 90°), при $\beta =$

$= 360° - \alpha_{от}$ и $\frac{l_1}{d} = 0; 4; 12$.

3.24. Численные значения коэффициента местного сопротивления $\zeta_{уз}$ для двух типов плоских узлов, состоящих из четырех одинаковых отводов ($\alpha_{от} = 30°$, 60° и 90°) при $\beta = 0$, $\frac{R}{d} = 0, 1$, $\frac{l_1}{d} = 0; 4; 12$ и $\frac{l_2}{d} = 0; 4; 12$, $\frac{l_3}{d} = 0; 4; 12$, даны на рис. 31 в виде графиков [24]:

$$\zeta_{уз} = f(\alpha_{от}).$$

3.25. Численные значения коэффициента местного сопротивления $\zeta_{уз}$ для сложных узлов, в состав которых входят два одинаковых простых узла z-образной формы, состоящих из двух

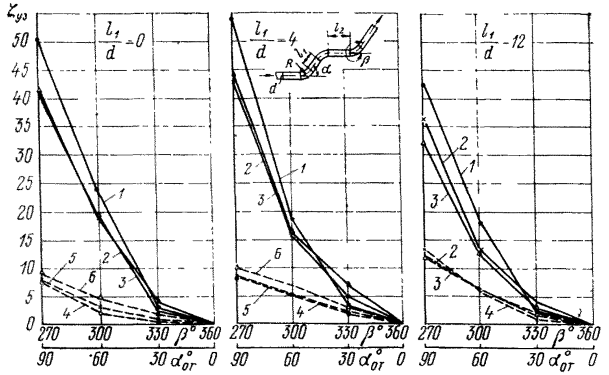


Рис. 30. Графики $\zeta_{уз} = f\left(\beta, \frac{R}{d}, \frac{l_1}{d}, \frac{l_2}{d}\right)$ для узла, состоящего из трех отводов при $\beta = 360 - \alpha_{от}$

1 — $\frac{R}{d} = 0$; $\frac{l_2}{d} = 0$; *2* — $\frac{R}{d} = 0$, $\frac{l_2}{d} = 4$; *3* — $\frac{R}{d} = 0$, $\frac{l_2}{d} = 8$; *4* — $\frac{R}{d} = 1$, $\frac{l_2}{d} = 0$; *5* — $\frac{R}{d} = 1$, $\frac{l_2}{d} = 4$; *6* — $\frac{R}{d} = 1$, $\frac{l_2}{d} = 8$.

прямоугольных колен, и прямая вставка между ними, приведены на рис. 32 в виде графика

$$\zeta_{уз} = f\left(\frac{l}{d}, \theta\right),$$

где l — расстояние между осями смежных z-образных узлов;
θ — угол между плоскостями z-образных узлов.

3.26. Для определения гидравлических сопротивлений различного рода арматуры (задвижки, обратные клапаны и др.), фасонных частей (плоские и пространственные развилки, конфузоры, диффузоры и т. д.) и аэрационных устройств напорных

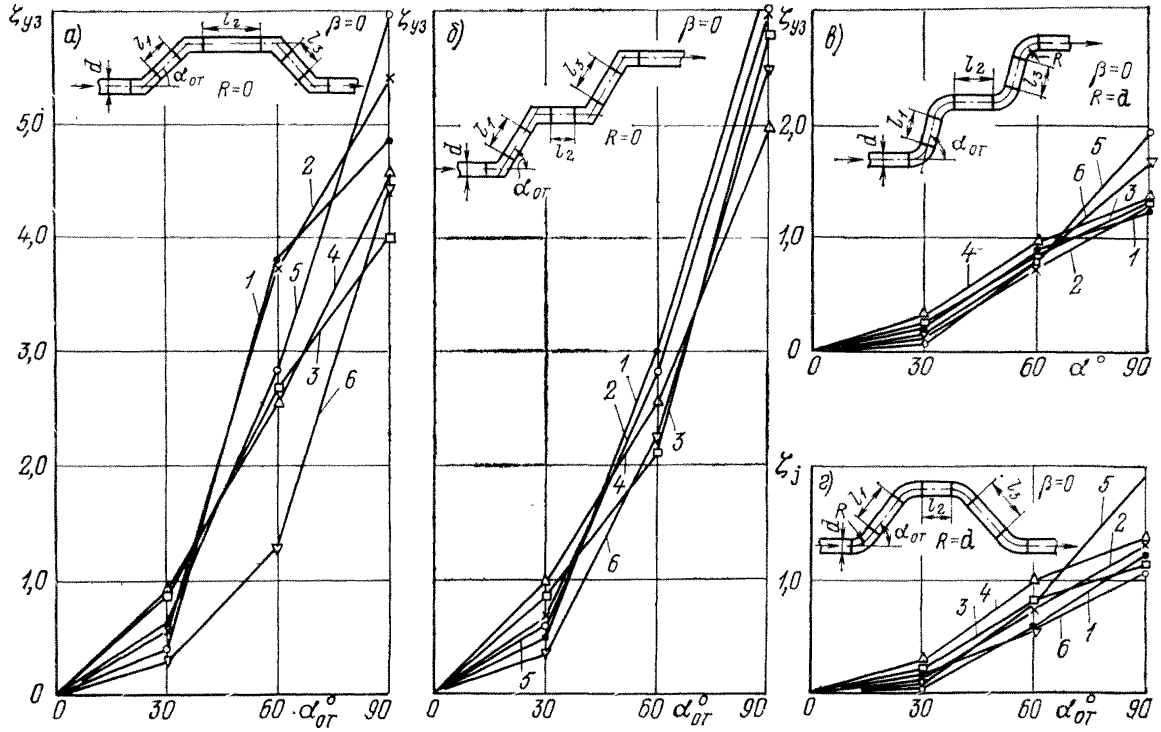


Рис. 31. Графики $\zeta_{уз} = f(\alpha_{от})$ для узла, состоящего из четырех отводов при $\beta = 0$.

а—компенсатор при $\frac{R}{d}=0$; *б*—зигзагообразный узел при $\frac{R}{d}=0$; *в*—компенсатор при $\frac{R}{d}=1$; *г*—зигзагообразный узел при $\frac{R}{d}=1$. *1*—$\frac{l_1}{d}=0$, $\frac{l_2}{d}=0$, $\frac{l_3}{d}=0$; *2*—$\frac{l_1}{d}=0$, $\frac{l_2}{d}=4$, $\frac{l_3}{d}=0$; *3*—$\frac{l_1}{d}=4$, $\frac{l_2}{d}=0$, $\frac{l_3}{d}=4$; *4*—$\frac{l_1}{d}=4$, $\frac{l_2}{d}=4$, $\frac{l_3}{d}=4$; *5*—$\frac{l_1}{d}=0$, $\frac{l_2}{d}=12$, $\frac{l_3}{d}=0$; *6*—$\frac{l_1}{d}=12$, $\frac{l_2}{d}=0$, $\frac{l_3}{d}=12$.

трубопроводов можно пользоваться указаниями, изложенными в [4, 31].

3.27. Гидравлические расчеты сифонного выпуска из напорного трубопровода в напорный бассейн и клапана для автоматического срыва вакуума в сифоне следует выполнять, руководствуясь указаниями, приведенными в [39].

3.28. При расчетах гидравлического удара можно руководствоваться указаниями и зависимостями, приведенными в [32, 56].

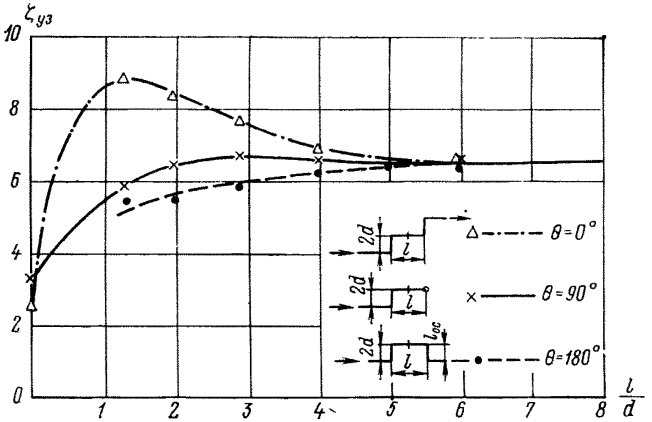


Рис. 32. Графики $\zeta_{уз} = f\left(\frac{l}{d}, \theta\right)$ для сложного узла, состоящего из двух z-образных узлов ($l_{ос} = 2d$).

4. УЗЛЫ СОПРЯЖЕНИЯ СЛИВНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ОТВОДЯЩИМ КАНАЛОМ

Основные сведения

4.1. Сопряжение сливной линии конденсаторов с отводящим каналом осуществляется посредством узлов, состав и тип которых зависит от типа отводящего канала (закрытый или открытый), к которому присоединяются сливные трубопроводы.

С целью экономии затрат энергии на собственные нужды ТЭС и АЭС, конструкции указанных узлов должны назначаться такими, чтобы соединение водных потоков, выпускаемых из сливных линий конденсаторов, с потоком в отводящем канале совершалось с минимальными гидравлическими потерями.

4.2. Положение конденсаторов по отношению к уровню воды в отводящем канале должно быть таким, чтобы высота сифона (т. е. величина вакуума в самой верхней точке сливной линии) была порядка 8—9 м, но не превышала допустимой (по условиям возникновения кавитации) высоты при любом возможном режиме эксплуатации.

Расчетные зависимости и рекомендации для определения высоты сифона приведены в пп. 4.15—4.19 настоящих Рекомендаций.

4.3. На сливных трубопроводах не рекомендуется устанавливать задвижки и другие запорно-регулирующие устройства, а также фасонные части для отвода и приема воды и другие устройства, создающие вихревые зоны в потоке и дополнительные гидравлические сопротивления в трубопроводах.

4.4. При наличии на электростанции закрытого отводящего канала сливные трубопроводы от каждого конденсатора выводятся непосредственно в закрытый канал или в сливной колодец под уровень воды в нем. При этом высотное положение и конструкции концевых участков сливных трубопроводов или сливных колодцев должны назначаться такими, чтобы была устранена опасность прорыва воздуха в сливные трубопроводы при всех возможных расходах и уровнях воды в отводящем канале.

4.5. При выпуске в открытый отводящий канал сливные трубопроводы от каждого конденсатора выводятся в колодец под уровень воды в нем. При выводе сливных трубопроводов под уровень воды в открытом отводящем канале, на конце сливных трубопроводов следует предусматривать отключающие устройства.

4.6. С целью создания устойчивого гидравлического режима в сливных трубопроводах, что необходимо для обеспечения устойчивой высоты сифонов, на открытом отводящем канале следует предусматривать сифонный колодец, создаваемый с помощью общего для всех энергоблоков электростанции водосливного устройства в виде развитой в плане переливной стенки.

Примечание. Глухая переливная стенка исключает возможность регулирования высоты сифона на конденсаторах, что при некоторых условиях (например, при больших расходах и высоких уровнях воды в отводящем канале) может привести к увеличению напора циркуляционных насосов.

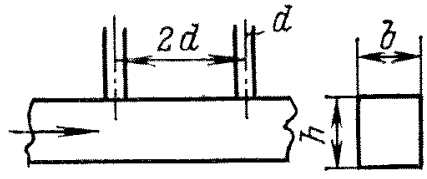
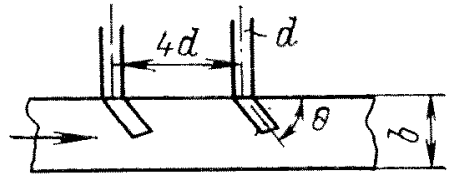
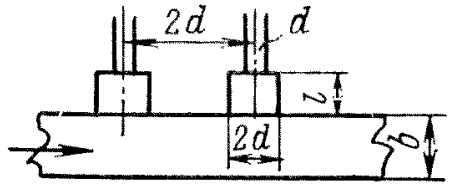
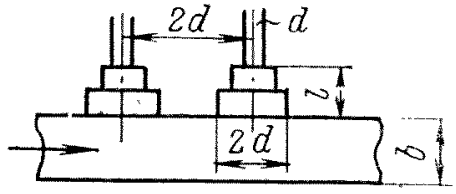
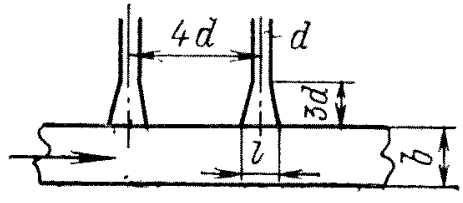
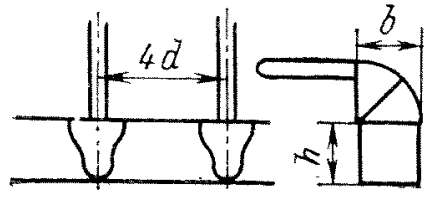
4.7. Для предотвращения опасности срыва сифона (из-за выделения из циркуляционной воды воздуха и скопления его в верхней части сливной линии) диаметр сливного трубопровода рекомендуется назначать таким, чтобы скорость воды в сливном трубопроводе была бы не ниже критической скорости, при которой обеспечивается транспортирование водой пузырьков воздуха в нисходящей ветви сифона [58].

Конструкция и компоновка узлов сопряжения сливных трубопроводов конденсатора с отводящим каналом

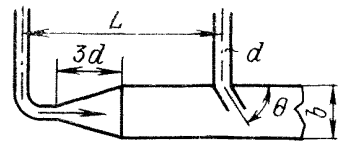
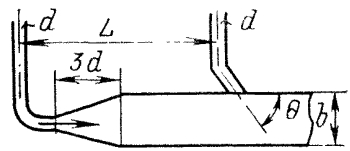
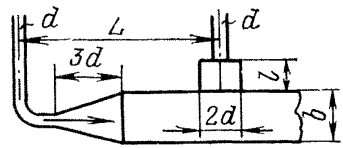
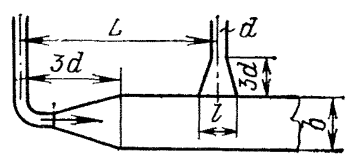
4.8. Компоновка и конструкция узла сопряжения сливных трубопроводов с отводящим каналом зависят в основном от типа узла (со сливным колодцем или без него) и от типа отводящего канала (закрытый, открытый).

Таблица 6

Схемы сопряжения сливных трубопроводов с закрытым отводящим каналом

Подвод сливных труб	Способ присоединения	№ схемы	Место присоединения сливных труб	Схема компоновки узла	Примечание
Под углом 90° (в плане)	Непосредственное	I	К стенке канала		$b = h$
		II	К потолку канала		$b = h$ $\theta = 45°$
	Посредством расширяющихся вставок	III	К стенке канала посредством аванкамер		$b = h$ а) $l = 1{,}5\,d$ б) $l = 2{,}5\,d$ в) $l = 3{,}5\,d$
		IV	К стенке канала посредством двухступенчатых аванкамер		$b = h$ $l = 3\,d$
		V	К стенке канала посредством диффузора		$b = h$ $l = 1{,}5\,d$
		VI	К потолку канала посредством усеченного диффузора		$b = h$

Продолжение табл. 6

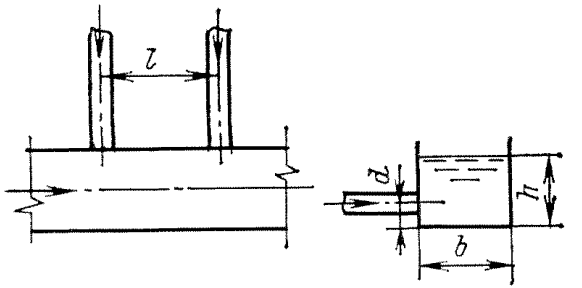
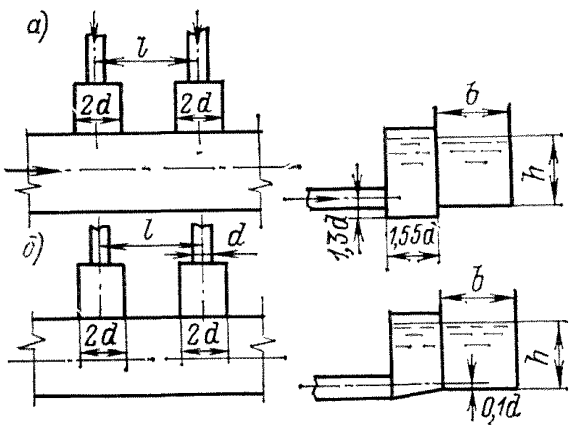
Подвод сливных труб	Способ присоединения	№ схемы	Место присоединения сливных труб	Схема компоновки узла	Примечание
Торцевой	Боковая труба без вставки	VII	К торцу канала посредством диффузора и к потолку канала под углом 45°		$b = h$ $L = 8\,d$ $\theta = 45°$
		VIII	К торцу канала посредством диффузора и к стенке канала под углом 45°		$b = h$ $L = 8\,d$ $\theta = 45°$
	Боковая труба с расширяющейся вставкой	IX	К торцу канала посредством диффузора и к стенке канала посредством аванкамер		$b = h$ $l = 2{,}5\,d$ $L = 8\,d$
		X	К торцу и к стенке канала посредством диффузора		$b = h$ $l = 1{,}5\,d$ $L = 8\,d$

4.9. Схемы возможной компоновки узлов сопряжения сливных трубопроводов конденсатора с закрытым отводящим каналом и геометрические параметры узлов представлены в табл. 6 [59].

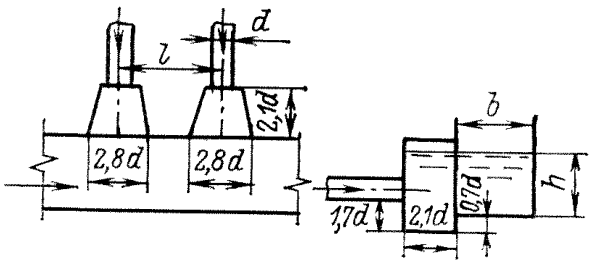
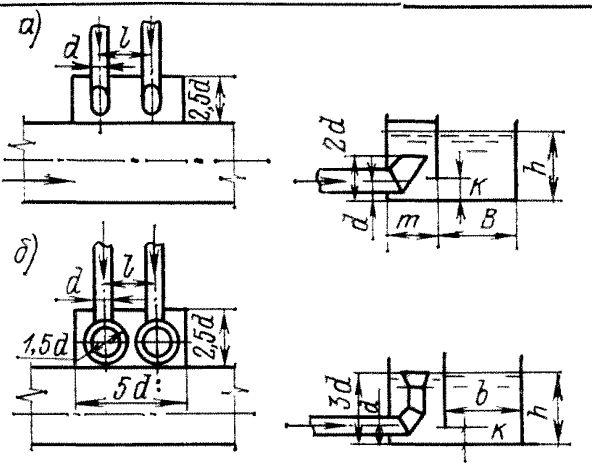
4.10. При проектировании узлов сопряжения сливных трубопроводов с открытым отводящим каналом прямоугольного сечения сливные трубопроводы могут сопрягаться с береговой подпорной стенкой канала непосредственно или посредством сливных колодцев.

Таблица 7

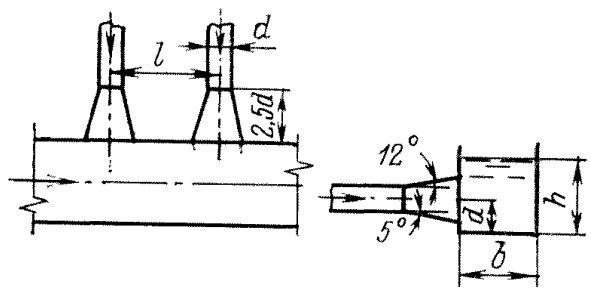
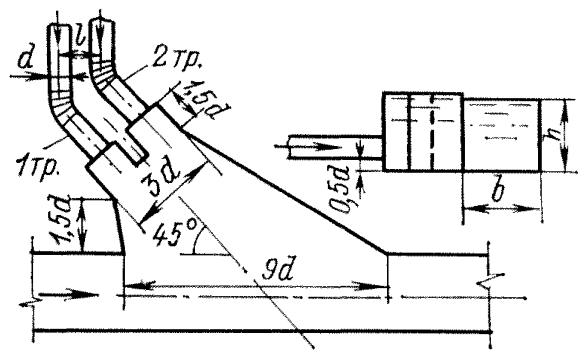
Схемы сопряжения сливных трубопроводов с открытым отводящим каналом прямоугольного сечения

Конструкция сливных труб	Номер схемы	Способ сопряжения сливных труб с каналом	Схема компоновки узла	Примечание
Без расширяющихся элементов	I *а* *б* *в*	Трубы подводятся к боковой стенке канала $l = 2\ d$ $l = 4\ d$ $l = 6\ d$		$b = 6\ d$ $h = 2\ d \div 3\ d$ $l = 2\ d;\ 4\ d;\ 6\ d$
С аванкамерами	II *а* *б*	Трубы подключаются к каналу посредством аванкамер; с говизонтальным дном в аванкамере с наклонным дном в аванкамере		$b = 6\ d$ $h = 2\ d \div 3\ d$ $l = 4\ d$

Продолжение табл. 7

Конструкция сливных труб	Номер схемы	Способ сопряжения сливных труб с каналом	Схема компоновки узла	Примечание
С аванкамерами	III	Трубы подсоединяются к аванкамере с расширяющимися стенками		$b = 6\ d$ $h = 2\ d \div 3\ d$ $l = 6\ d$
	IV *а* *б*	Трубы вводятся в аванкамеру и заканчиваются цилиндрическими водосливами: с косым срезом трубы с диффузором		$b = 6\ d$ $h = 2\ d \div 3\ d$ $l = 2\ d$ $k = 1{,}3\ d$ $m = 2{,}5\ d$

Продолжение табл. 7

Конструкция сливных труб	Номер схемы	Способ сопряжения сливных труб с каналом	Схема компоновки узла	Примечание
С расширяющимися элементами	V	Трубы оканчиваются цилиндрическим асимметричным диффузором		$b = 6\ d$ $h = 2\ d \div 3\ d$ $l = 4\ d$
	VI	Обе трубы объединены в один диффузор, ось которого образует с осью канала угол 45°		$b = 6\ d$ $h = 2\ d \div 3\ d$ $l = 2\ d$

Схемы различных компоновок узлов сопряжения сливных трубопроводов конденсатора с открытым отводящим каналом прямоугольного сечения и геометрические параметры этих узлов приведены в табл. 7 [59].

Аналогичные схемы компоновок упомянутых узлов могут быть использованы в случае применения открытых отводящих каналов трапецеидального поперечного сечения.

Рекомендации по гидравлическому расчету узлов сопряжения сливных трубопроводов с отводящим каналом

4.11. Гидравлические расчеты узлов сопряжения сливных трубопроводов с отводящим каналом включают в себя расчеты:

а) потерь напора на выходе из сливных трубопроводов $h_{сл}$;

б) потерь напора в отводящем канале на соединение выходящего из сливных трубопроводов водного потока с транзитным водным потоком в канале $h_{к.п}$, величину которых необходимо знать при построении пьезометрической линии (в закрытом отводящем канале) или кривой свободной поверхности воды (в открытом отводящем канале);

в) суммарных потерь напора в узле $h_{уз}$, по величине которых можно оценивать гидравлические достоинства различных вариантов компоновки узла.

Для вычисления величин $h_{сл}$, $h_{к.п}$ и $h_{уз}$ служат формулы:

$$h_{сл} = \zeta_{сл} \frac{v^2_{к.п}}{2g}, \tag{13}$$

$$h_{к.п} = \zeta_{к.п} \frac{v^2_{к.п}}{2g}, \tag{14}$$

$$h_{уз} = \zeta_{уз} \frac{v^2_{к.п}}{2g}, \tag{15}$$

где $\zeta_{сл}$, $\zeta_{к.п}$, $\zeta_{уз}$ — коэффициенты местных сопротивлений, соответственно, на выходе из сливных трубопроводов, на соединение водных потоков и узла;

$v_{к.п}$ — средняя скорость водного потока в отводящем канале в сечении непосредственно за узлом;

g — ускорение свободного падения.

Значения коэффициентов местных сопротивлений $\zeta_{сл}$, $\zeta_{к.п}$ и $\zeta_{уз}$ зависят от величины коэффициента β_v, равного отношению скорости воды в сливных трубопроводах $v_{сл}$ к скорости воды в отводящем канале за узлом $v_{к.п}$ $\left(\beta_v = \frac{v_{сл}}{v_{к.п.}}\right)$, и от количества одновременно работающих сливных трубопроводов (один или два). Для учета этих условий приняты следующие обозначения:

при работе одного сливного трубопровода

$\zeta_{сл\,i}$ — для водного потока, выходящего из i-го сливного трубопровода ($i = 1, 2$);

Таблица 8

Значения коэффициентов сопротивления узлов подключения сливных труб к напорному каналу ТЭС

Номер схемы (табл. 6)	При работе одной трубы		При работе двух труб		
	$\zeta_{к.\,п}$	$\zeta_{сл\,i}$	$\zeta'_{к.\,п}$	$\zeta'_{сл}$	$\zeta''_{сл}$
I	$0{,}245\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{1{,}008}$	$1{,}050\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-1{,}932$	$0{,}485\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}871}$	$1{,}003\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}253$	$1{,}025\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-1{,}277$
II	$0{,}156\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}856*}$	$1{,}722\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-1{,}051$	$0{,}276\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}172**}$	$1{,}862\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}582$	$1{,}393\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}703$
IIIа	$1{,}224\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{1{,}1964}$	$0{,}942\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}575$	$0{,}810\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}821}$	$1{,}031\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}315$	$1{,}135\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}964$
IIIб	$0{,}540\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}9316}$	$1{,}088\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}482$	$0{,}7\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}933}$	$1{,}181\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}+0{,}126$	$1{,}919\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}663$
IIIв	$0{,}403\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}9440}$	$0{,}815\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-1{,}141$	$0{,}72\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}905}$	$0{,}901\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}055$	$0{,}883\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}796$
IV	$0{,}395\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{1{,}063}$	$0{,}791\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}235$	$0{,}733\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}712}$	$0{,}814\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}+0{,}056$	$0{,}785\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}719$
V	$0{,}256\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}939}$	$0{,}084\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}283$	$0{,}530\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}287}$	$0{,}370\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}160$	$0{,}254\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}939$

Продолжение таблицы 8

Номер схемы (табл. 6)	При работе одной трубы		При работе двух труб		
	$\zeta_{к.\,п}$	$\zeta_{сл\,i}$	$\zeta'_{к.\,п}$	$\zeta'_{сл}$	$\zeta''_{сл}$
VI	$0{,}625\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{1{,}179}$	$1{,}701\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-1{,}306$	$0{,}981\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{0{,}845}$	$1{,}814\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-0{,}392$	$2{,}037\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}-1{,}682$
VII				$-6{,}92+2{,}704\frac{v'_{сл}}{v_{к.\,п}}+$ $+0{,}114\left(\frac{v'_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}$	$-0{,}941-0{,}516\frac{v''_{сл}}{v_{к.\,п}}+$ $+1{,}27\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}$
VIII				$-5{,}922+2{,}606\frac{v'_{сл}}{v_{к.\,п}}+$ $+0{,}055\left(\frac{v'_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}$	$-2{,}612+0{,}851\frac{v''_{сл}}{v_{к.\,п}}+$ $+0{,}907\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}$
IX				$-10{,}914+1{,}119\frac{v'_{сл}}{v_{к.\,п}}+$ $+1{,}109\left(\frac{v'_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}$	$11{,}469-8{,}819\frac{v''_{сл}}{v_{к.\,п}}+$ $+2{,}054\left(\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}$
X				$-17{,}968+10{,}440\frac{v'_{сл}}{v_{к.\,п}}-$ $-0{,}841\left(\frac{v'_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}$	$-6{,}586+4{,}531\frac{v''_{сл}}{v_{к.\,п}}-$ $-0{,}538\left(\frac{v''_{сл}}{v_{к.\,п}}\right)^{2}$

* При $\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}} < 3{,}09$ ** При $\frac{v_{сл}}{v_{к.\,п}} < 2{,}06$.

$\zeta_{к.п\,i}$ — для транзитного потока в канале при работе сливного трубопровода;

$$\zeta'_{уз} = \zeta_{сл.\,i}\frac{Q_{сл}}{Q_{к.\,п}} + \zeta_{к.\,п.\,i}\frac{Q_к}{Q_{к.\,п}}, \qquad (16)$$

где $i = 1, 2$ (в соответствии с номером работающего сливного трубопровода);

при работе двух сливных трубопроводов

$\zeta'_{сл}$ — для водного потока, выходящего из первого напорного трубопровода;

$\zeta''_{сл}$ — для водного потока, выходящего из второго напорного трубопровода;

$\zeta'_{к.п}$ — для транзитного водного потока в отводящем канале;

$$\zeta''_{уз} = \left(\zeta'_{сл} + \zeta''_{сл}\right)\frac{Q_{сл}}{Q_{к.\,п}} + \zeta'_{к.\,п}\frac{Q_к}{Q_{к.\,п}}, \qquad (17)$$

где $Q_{сл}$ — расход воды в одном сливном трубопроводе;
$Q_к$ и $Q_{к.п}$ — расходы воды в отводящем канале в его поперечных сечениях, взятых перед узлом и за узлом.

Примечание. В случае присоединения одного из сливных трубопроводов к торцу закрытого отводящего канала, формула (17) превращается в такую формулу:

$$\zeta'''_{уз} = \zeta'_{сл}\frac{Q'_{сл}}{Q_{к.\,п}} + \zeta''_{сл}\frac{Q''_{сл}}{Q_{к.\,п}}, \qquad (18)$$

где $Q'_{сл}$ и $Q''_{сл}$ — расходы воды в первом (торцевом) и втором (боковом) сливных трубопроводах.

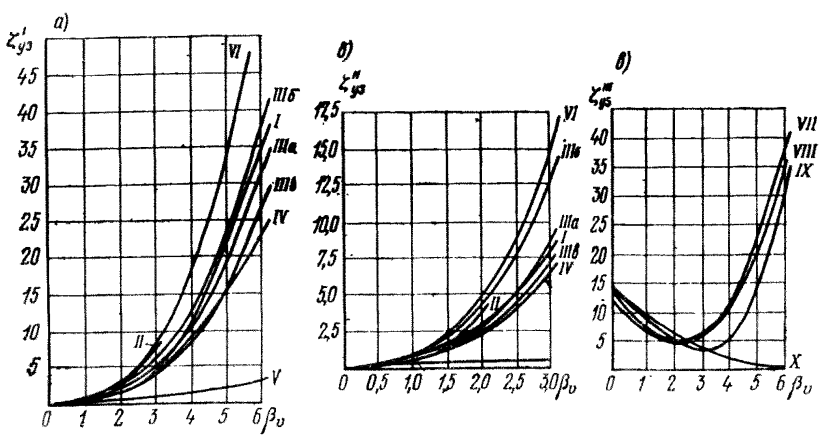


Рис. 33. Графики для определения $\zeta'_{уз}$, $\zeta''_{уз}$ и $\zeta'''_{уз}$ в зависимости от отношения скоростей $\beta_v = \frac{v_{сл}}{v_{кп}}$ для закрытого отводящего канала при работе

а — одной сливной трубы; *б* — двух сливных труб; *в* — при торцевом подводе.

4.12. Значения коэффициентов местных сопротивлений $\zeta_{сл\,i}$, $\zeta'_{сл}$ и $\zeta''_{сл}$, а также $\zeta_{к.п}$ и $\zeta'_{к.п}$ для десяти компоновочных схем узла сопряжения сливных трубопроводов с закрытым отводя-

Значения коэффициентов сопротивления узлов примыкания сливных

Номер схемы (табл. 7)		При работе одной трубы			
		$\zeta_{сл}$	$\zeta_{к.п}$		
			$h/d=2,0$	$h/d=2,5$	$h/d=3,0$
I	а	$0,983\beta_v^2-1,468$	$0,048\beta_v^2+0,072$	$0,059\beta_v^2+0,161$	$0,094\beta_v^2+0,092$
	б				
	в				
II	а	$1,359\beta_v^2-0,356$	$0,150\beta_v^2+0,191$	$0,120\beta_v^2+0,137$	$0,017\beta_v^2+0,145$
	б	$0,787\beta_v^2-0,432$	$0,151\beta_v^2+0,482$	$0,127\beta_v^2+0,289$	$0,100\beta_v^2+0,098$
V		$0,257\beta_v^2-0,305$	—	$0,094\beta_v^2+0,078$	$0,630\beta_v^2+0,122$
VI		Первая труба $0,349\beta_v^2-1,933$ / Вторая труба $0,622\beta_v^2-1,068$	$0,613\beta_v^2-0,937$	$0,075\beta_v^2+0,114$	$0,045\beta_v^2+0,018$

щим каналом (табл. 6) могут быть вычислены по приведенным в табл. 8 формулам, в которые в качестве аргумента входит коэффициент $\beta_v = \frac{v_{сл}}{v_{к.п}}$ [59].

Значения коэффициентов местных сопротивлений узла $\zeta'_{уз}$, $\zeta''_{уз}$ и $\zeta'''_{уз}$ для тех же десяти компоновочных схем узла приведены на рис. 33 в виде графиков $\zeta_{уз} = f(\beta_v)$.

Графики показывают, что наилучшими с гидравлической точки зрения являются сопряжения сливных трубопроводов с закрытым отводящим каналом по схемам V и X, т. е. посредством горизонтальных диффузоров с малым центральным углом расширения (не более 10°).

Компоновки узлов по схемам III и IV существенно уступают в гидравлическом отношении узлам с диффузорами (схемы V и X). Схемы II и IV, в которых сливные трубопроводы подсоединяются к потолку закрытого отводящего канала, характеризуются повышенными потерями напора и возможностью скопления воздуха в верхней части колен, что может вызывать нарушение устойчивой работы сливной линии конденсатора.

4.13. Значения коэффициентов местных сопротивлений $\zeta_{сл.i}$, $\zeta'_{сл}$ и $\zeta''_{сл}$, а также $\zeta_{к.п}$ и $\zeta'_{к.п}$ для четырех компоновочных схем узла сопряжения сливных трубопроводов с открытым отводящим каналом прямоугольного и, ориентировочно, трапецеидального поперечных сечений (табл. 7) могут быть вычислены по приведенным в табл. 9 формулам [59].

Таблица 9

труб к открытому прямоугольному отводящему каналу

При работе двух труб				
$\zeta'_{сл}$	$\zeta''_{сл}$	$\zeta'_{к.п}$		
		$h/d=2,0$	$h/d=2,5$	$h/d=3,0$
$0,912\beta_v^2-0,654$	$0,958\beta_v^2-0,114$	$0,137\beta_v^2+0,262$	$0,198\beta_v^2+0,202$	$0,180\beta_v^2+0,253$
$0,993\beta_v^2+1,034$	$0,921\beta_v^2-0,914$	$0,205\beta_v^2+0,138$	$0,179\beta_v^2+0,134$	$0,161\beta_v^2+0,055$
$1,029\beta_v^2-0,824$	$0,990\beta_v^2-1,079$	$0,148\beta_v^2+0,416$	$0,122\beta_v^2+0,318$	$0,109\beta_v^2+0,237$
$1,571\beta_v^2-0,488$	$1,449\beta_v^2-0,978$	$0,171\beta_v^2+0,354$	$0,014\beta_v^2+1,681$	$0,086\beta_v^2+0,211$
$0,857\beta_v^2-0,674$	$0,925\beta_v^2-1,19$	$0,215\beta_v^2+0,416$	$0,165\beta_v^2+0,271$	$0,130\beta_v^2+0,069$
$0,220\beta_v^2-0,186$	$0,080\beta_v^2-0,192$	—	$0,140\beta_v^2+0,189$	$0,123\beta_v^2+0,039$
$0,529\beta_v^2-0,399$	$0,353\beta_v^2-1,352$	$0,094\beta_v^2+0,158$	$0,094\beta_v^2+0,158$	$0,040\beta_v^2-0,014$

Значения коэффициентов местных сопротивлений узла $\zeta'_{уз}$ и $\zeta''_{уз}$ при одновременной работе одного и двух сливных трубопроводов для всех шести компоновочных схем узла представлены на рис. 34 и 35 в виде графиков $\zeta_{уз} = f(\beta_v)$.

Графики показывают, что наилучшими с гидравлической точки зрения являются сопряжения сливных трубопроводов с открытым прямоугольным отводящим каналом посредством индивидуальных диффузоров с малым углом расширения (схема V) и объединенного для двух сливных трубопроводов диффузора с подводом воды под углом 45° к оси отводящего канала (схема VI).

Компоновки узлов с применением сборного железобетона (схемы II и III) обладают несколько худшими гидравлическими характеристиками, чем узлы с диффузорами.

При выполнении концевых участков сливных трубопроводов в виде цилиндрических водосливов, расположенных в общей аванкамере (схема IV), гидравлические потери в узле существенно возрастают по сравнению с другими схемами. При этом в аванкамере необходимо предусматривать устройство разделительной стенки между оголовками цилиндрических водосливов, чтобы исключить затекание струй воды из одного оголовка в другой.

При такой компоновке узла отпадает необходимость в применении запорно-отключающих устройств на концах сливных трубопроводов, что способствует аэрации водного потока и др.

4.14. Гидравлический расчет водосливной стенки сифонного колодца следует выполнять по формулам, приведенным в[46].

Для создания на выходе из сливных трубопроводов надежного «гидравлического затвора», устраняющего опасность прорыва воздуха в сливные трубопроводы и срыва сифонов, отметка

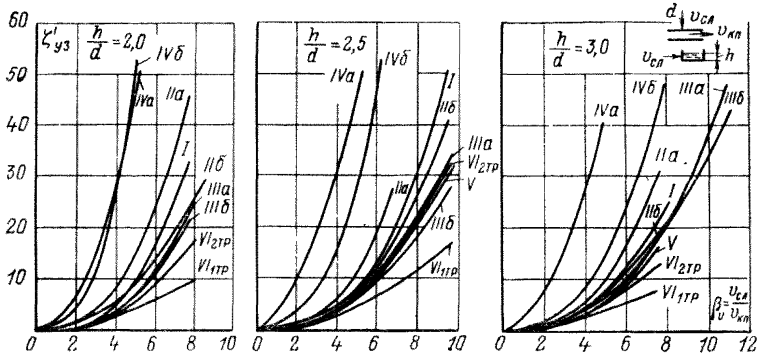


Рис. 34. Графики для определения $\zeta'_{уз}$ в зависимости от отношения скоростей $\beta_\upsilon = \frac{\upsilon_{сл}}{\upsilon_{к.п}}$ для открытого прямоугольного отводящего канала (при работе одного сливного трубопровода).

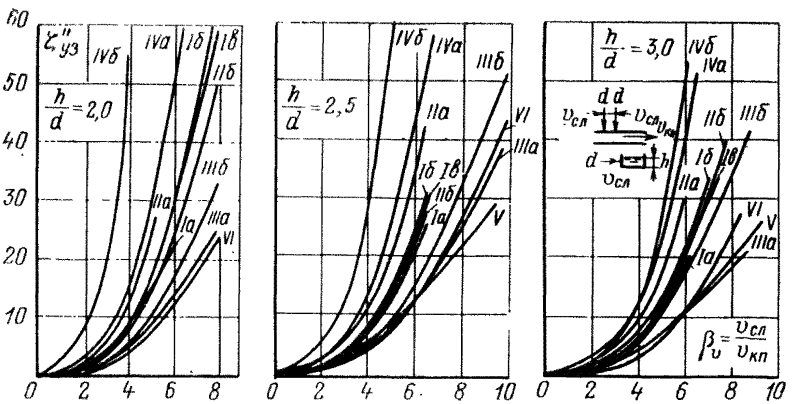


Рис. 35. Графики для определения $\zeta''_{уз}$ в зависимости от отношения скоростей $\beta_\upsilon = \frac{\upsilon_{сл}}{\upsilon_{к.п}}$ для открытого прямоугольного отводящего канала (при работе двух сливных трубопроводов).

гребня водосливной стенки сифонного колодца должна быть не менее чем на 0,3 м выше отметки потолка закрытых каналов или отметки верхних кромок выходных сечений сливных трубопроводов при сопряжении последних с открытым отводящим каналом.

Определение устойчивой высоты сифона

4.15. Под высотой сифона конденсатора подразумевается выраженная в метрах столба жидкости величина вакуума в самой верхней точке сливной линии конденсатора.

Высота сифона зависит от атмосферного давления, т. е. от высотной отметки расположения конденсатора над уровнем моря, от колебаний атмосферного давления, от положения уровня воды в сливном колодце, от потерь напора в сливной линии, от давления парообразования при данной температуре нагретой в конденсаторе охлаждающей воды и ряда других факторов.

4.16. Для назначения при проектировании ТЭС и АЭС устойчивой высоты сифона конденсатора следует определить предельную высоту сифона, при которой не происходит парообразования внутри жидкости при всех возможных условиях эксплуатации.

Для обеспечения устойчивости сифона необходимо, чтобы давление в самой верхней точке сливной линии конденсатора было несколько больше (на 20%), чем давление парообразования при данной температуре воды. При этом должны приниматься во внимание самые невыгодные условия эксплуатации, а именно:

а) минимальное значение атмосферного давления;

б) наивысшая температура нагретой в конденсаторе охлаждающей воды;

в) минимальный уровень воды в сливном колодце.

Минимальные значения параметра барометрического (атмосферного) давления $H_{б.м}$ для различной высоты местности над уровнем моря приведены в табл. 2, а в табл. 3 указаны значения параметра парообразования $H_п$ при различной температуре воды t.

4.17. Для ориентировочного гидравлического расчета сифона конденсатора может быть использована следующая формула:

$$z_{сл} = H_{б.м} + \Sigma h_l + \Sigma h_м - 1{,}2H_п + \frac{v_к^2}{2g} - \frac{v_{сл}^2}{2g}, \qquad (19)$$

где $z_{сл}$ — разность отметок наивысшей точки сливной линии конденсатора и наинизшего уровня воды в сливном колодце;

$H_{б.м} = \left(\frac{P}{\gamma}\right)_{б.м}$ — параметр, учитывающий абсолютное минимальное барометрическое (атмосферное) давление воздуха;

Σh_l и $\Sigma h_м$ — потери напора на трение и на местные сопротивления в сливном трубопроводе;

$H_п = \frac{P_{нас}}{\gamma}$ — параметр, учитывающий давление парообразования при максимально возможной температуре воды в сеточной камере;

$v_{сл}$ и $v_к$ — скорости воды в наивысшей точке сливной линии конденсатора и в сливном колодце;

g — ускорение свободного падения;

P — давление воздуха;

$P_{нас}$ — давление насыщенного водяного пара;
γ — удельный вес воды.

Примечания: 1. Вычисление потерь напора на местные сопротивления $\Sigma h_м$ следует выполнять в предположении полного открытия задвижки на сливном трубопроводе (при наличии таковой).

2. Более точное определение величины $z_{сл}$ может быть сделано на основе данных экспериментальных исследований, выполненных на действующих ТЭС и АЭС или в лаборатории.

4.18. Высота $z_{сл}$ зависит: от потерь напора $(\Sigma h_l + \Sigma h_м)$ в сливной линии конденсатора; от степени герметичности подводящей и сливной линий конденсатора; от условий эксплуатации.

Влияние первого фактора может проявиться в том, что с ростом потерь напора в сливной линии величина вакуума в сифоне понизится. Такой же эффект вызывает засасывание воздуха через неплотности соединений и арматуры напорного и сливного трубопроводов, причем попадание воздуха в зону вакуума приводит к срыву или к уменьшению последнего. Наличие того или иного фактора и степень его влияния на значение $z_{сл}$ зависят от схемы водоснабжения ТЭС или АЭС.

Так, при схеме водоснабжения с центральной насосной станцией на ответвлениях напорных трубопроводов и на сливных трубопроводах устанавливаются задвижки и другая арматура, вызывающие повышение потерь напора в трубопроводах и нарушающие герметизацию последних (из-за неплотности соединений труб и негерметичности самой арматуры).

При блочной схеме водоснабжения на напорных и сливных трубопроводах отсутствуют задвижки и другая арматура, вследствие чего потери напора в трубопроводах имеют минимальное значение и исключается возможность попадания воздуха в зону вакуума через неплотности в соединениях труб с арматурой и в самой арматуре.

На значение $z_{сл}$ и на устойчивость работы сифона оказывают влияние конструкция и компоновка сливных колодцев, а также степень подтопления последних со стороны отводящего канала. При этом чем меньше потери напора в узле сопряжения сливных труб конденсатора с отводящим каналом, тем больше величина вакуума в сифоне.

4.19. Определение критической скорости $v_{кр}$, при которой обеспечивается транспортирование водой пузырьков воздуха в нисходящей ветви сифона, может выполняться согласно рекомендациям, например [19, с. 51 — 56], а также на основе данных лабораторных и натурных гидравлических исследований.

Критическая скорость движения гидросмеси $v_{кр}$ в сливной линии конденсатора зависит от величины вакуума, диаметра воздушных пузырьков и других факторов. Так, согласно данным, приведенным в [19], при вакууме порядка 7—8 м, незначительной концентрации воздуха в воде и диаметре воздушных пузырьков $d_{пуз} = 0{,}008$ м критическая скорость потока $v_{кр}$ имеет величину порядка 0,7 — 0,8 м/с.

5. ОТВОДЯЩИЙ КАНАЛ И СООРУЖЕНИЯ НА НЕМ

Основные сведения

5.1. Отводящий канал обычно проектируется в виде открытого водовода, служащего для отвода циркуляционной воды от ТЭС и АЭС в источник водоснабжения или в охладитель.

5.2. Отводящие каналы обычно проектируются в земляном русле без крепления дна и откосов или в русле с различными типами облицовки (железобетонная, гравийная). Выбор типа канала должен обосновываться в проекте технико-экономическими расчетами.

5.3. В проекте отводящего канала могут предусматриваться следующие расположенные на канале гидротехнические сооружения:

а) водопроводящие сооружения (акведуки, дюкеры, трубы);

б) сопрягающие сооружения (перепады, быстротоки);

в) концевое сооружение (эжектирующее, водосливное, струераспределительное).

5.4. Водопроводящие сооружения на отводящем канале устраиваются на пересечениях трассы отводящего канала с естественными и искусственными препятствиями (река, канал, овраг, дорога и т. п.).

Водопроводящие сооружения могут быть следующих типов:

акведук — сооружение в виде моста или эстакады с лотком, проложенным над пересекаемым им препятствием (русло реки, овраг, канал, дорога и т. п.);

дюкер — сооружение в виде напорного водовода, проложенного под пересекаемым им препятствием (русло реки, канал, дорога и т. п.);

труба — сооружение для пропуска естественного или искусственного водотока под земляной насыпью, в которой расположено русло канала.

Выбор типа водопроводящего сооружения производится с учетом топографических, гидравлических и гидрологических характеристик препятствия (река, канал), геологических и гидрологических условий строительства сооружения и других условий.

Описание конструкций водопроводящих сооружений и указания для их проектирования приведены в [12].

5.5. Сопрягающие сооружения на отводящем канале устраиваются в местах крутого понижения рельефа местности для сопряжения двух смежных участков канала, расположенных на разных уровнях.

Сопрягающие сооружения могут быть следующих типов:

перепад — одно- или многоступенчатое сооружение с сосредоточенным падением воды, в пределах которого совершается гашение избыточной кинетической энергии водного потока;

быстроток — сооружение в виде лотка с продольным уклоном больше критического, в концевой части которого осуществляется гашение избыточной кинетической энергии водного потока.

Выбор типа сопрягающего сооружения производится с учетом топографических, геологических, гидрогеологических и других условий строительства и эксплуатации сооружений.

5.6. Концевые сооружения служат для сопряжения отводящих каналов с естественными водотоками и водоемами, а также с водохранилищами-охладителями.

Типы и конструкции концевых сооружений выбираются с учетом систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС и «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» [44], согласно которым выпуск нагретой воды в естественный водоток или водоем комплексного назначения не должен вызывать повышения температуры воды в нем более чем на 3° С летом и 5° С зимой. Соблюдение этих требований нарушает естественный биологический режим водоема в допустимых пределах [35].

Концевые сооружения могут быть следующих типов:

Эжектирующее сооружение — сооружение, в котором с целью резкого снижения температуры воды в прибрежной зоне водоема используется принцип эжекции для интенсификации процесса перемешивания нагретой в конденсаторах паровых турбин воды с более холодной водой водоема. Эжекция может создаваться путем устройства на конце отводящего канала водосливного порога [40] или путем выпуска нагретой воды в водоем через донные отверстия под напором [14, 34].

Водосливная стенка — сооружение на конце отводящего канала в виде водосливной стенки с развитым фронтом.

Струераспределительное сооружение — сооружение, возводимое на конце отводящего канала для обеспечения равномерного (без перемешивания) выпуска нагретой в конденсаторах паровых турбин воды в водохранилище-охладитель.

При выпуске нагретой воды в мелководную часть водоема растекание теплой воды по поверхности водоема (без перемешивания) может быть обеспечено путем простого расширения концевого участка отводящего канала.

Струераспределительное сооружение может выполняться в следующих вариантах:

а) фильтрующая дамба — сооружение в виде дамбы из каменной наброски;

б) сквозное заграждение — сооружение сквозной (гибкой или жесткой) конструкции (например, в виде подвешенного на поплавках перфорированного полотнища или в виде жесткой решетчатой стенки).

При определенных топографических и других природных условиях концевое сооружение может совмещаться с сопрягающим сооружением (перепад, быстроток). При этом циркуляционная вода будет насыщаться воздухом в пределах сооружения, что улучшит санитарное состояние естественного водотока или водоема в зоне выпуска в него циркуляционной воды.

При проектировании прямоточных и оборотных систем технического водоснабжения электростанций со сбросом нагретой циркуляционной воды в естественные водоемы и проточные водохранилища следует выбирать такой тип концевого сооружения, который может обеспечивать интенсивное перемешивание сбросной теплой воды с основной массой холодной воды в водоеме на возможно меньшем по длине и площади участке акватории, а при необходимости — охлаждение сбросной воды и обогащение ее кислородом до поступления в водоем [11]. Этим требованиям отвечают: эжектирующее сооружение; концевое сооружение, совмещенное с сопрягающим сооружением, и брызгальный водовыпуск.

При проектировании оборотных систем технического водоснабжения электростанций со сбросом нагретой циркуляционной воды в замкнутые и наливные водохранилища-охладители тип концевого сооружения следует выбирать с учетом того, что оно должно создавать условия для интенсивного охлаждения теплой воды за счет испарения ее с акватории, для чего выпуск нагретой циркуляционной воды следует осуществлять в поверхностные слои водохранилища без перемешивания ее с основной массой холодной воды в водохранилище [11]. Этим требованиям отвечают: выпуск на мелководье; водосливная стенка; струераспределительное сооружение (фильтрующая дамба, сквозное заграждение).

Рекомендации по гидравлическому расчету отводящего канала и сооружений на нем

5.7. Назначение продольного уклона дна отводящего канала, формы и размеров поперечного сечения канала производится на основе результатов экономических и гидравлических расчетов по определению максимальных скоростей воды в отводящем канале при всех возможных эксплуатационных режимах его работы.

При гидравлическом расчете каналов с бетонными стенками и с бетонной облицовкой, которые могут работать как в квадратичной, так и в переходной области гидравлического сопротивления, коэффициент Шези рекомендуется вычислять по формулам, приведенным в [3].

5.8. В зоне расположения водопроводящих, сопрягающих и концевого сооружений в отводящем канале устанавливается неравномерное течение воды, причем с изменением расхода воды

в канале кривые подпора могут переходить в кривые спада и наоборот.

Построение кривых свободной поверхности воды в канале при этом следует производить на основании расчетов по формулам и указаниям, приведенным в [53, с. 104 — 121].

При ориентировочных расчетах, построение кривых свободной поверхности водного потока в открытых призматических каналах можно выполнять на основании расчетов по следующей формуле [1]:

$$l = \frac{1}{i - i_f}\left[(h_2 - h_1)\left(1 - \frac{\alpha Q^2}{g b^3}\,\frac{j}{h_1 h_2}\right)\right], \qquad (20)$$

где $j = \dfrac{\beta_к + 2m}{(m\beta_к + 1)^3}$; $\beta_к = \dfrac{b}{h}$; $i_f = \dfrac{Q^2 n_ш^2}{b^3 \sqrt[3]{b}}\,\dfrac{1}{h^2 (m\beta_к + 1)^2}\left(\dfrac{\beta_к + m'}{m\beta_к + 1}\right)^{4/3}$; l — расстояние между двумя поперечными сечениями канала с глубинами воды h_1 и h_2; b — ширина канала по дну; m — коэффициент откоса; $m' = 2\sqrt{1+m^2}$; i — продольный уклон дна канала; i_f — уклон трения; Q — расход воды в канале; α — коэффициент кинетической энергии; g — ускорение свободного падения; $n_ш$ — коэффициент шероховатости; j — коэффициент формы поперечного сечения канала.

При вычислении по этой формуле значения коэффициента j и уклона трения i_f принимаются равными их среднеарифметическим значениям в начальном и конечном сечениях участка канала длиной l, т. е. $j = \dfrac{j_1 + j_2}{2}$ и $i_f = \dfrac{i_{\varphi_1} + i_{\varphi_2}}{2}$. Для построения всей кривой подпора или спада в канале вычисления следует начинать с сечения с известной глубиной (глубины воды: перед водосливом, нормальная, критическая) и идти от него вниз (по течению) или вверх (навстречу течению), задаваясь глубиной воды в смежном сечении и определяя по формуле (20) длину расчетного участка канала l. Выполнив последовательно эти операции несколько раз и просуммировав вычисленные значения l, получим длину всей кривой подпора или спада.

5.9. Основные расчеты водопроводящих сооружений (акведук, дюкер, труба) можно выполнять, руководствуясь указаниями, приведенными в [12, с. 346 — 352] и в справочной литературе.

Примечания: 1. В [12, с. 59 — 61] имеются указания о гидротехническом расчете сооружений на каналах, которыми можно руководствоваться при проектировании гидротехнических сооружений на отводящих каналах ТЭС и АЭС.

2. При гидравлических расчетах акведуков для построения кривых свободной поверхности в лотке акведука может использоваться формула (20).

---

[1] Формула (20) получена путем использования несколько видоизмененного метода приближенного интегрирования дифференциального уравнения установившегося неравномерного движения жидкости в открытом призматическом русле, изложенного в [29].

5.10. При выполнении гидравлических расчетов сопрягающих сооружений (перепады, быстротоки) можно руководствоваться указаниями, приведенными в [53, с. 153 — 158].

5.11. Гидравлический расчет быстротоков следует выполнять с учетом аэрации водного потока, которая начинается при скорости движения воды $v = 4$ м/с. Определение глубин аэрированного водного потока на быстротоке рекомендуется производить путем вычислений по формуле [41]:

$$h_a = \left(1 + \frac{v - 4}{0{,}626v - 1{,}291}\right) h, \qquad (21)$$

где h_a — глубина аэрированного водного потока на быстротоке; h и v — глубина и скорость неаэрированного водного потока в том же поперечном сечении быстротока, причем глубины h в различных поперечных сечениях быстротока могут вычисляться по формуле (20).

Формула (21) справедлива при коэффициенте шероховатости $n_ш = 0{,}011 — 0{,}017$ и $v = 4{,}1 — 18{,}6$ м/с.

5.12. При расчете каменных креплений рисберм перепадов и быстротоков для определения крупности камня, используемого для крепления, рекомендуется пользоваться формулой [1]:

$$v_{доп} = k_к d_к^{0,3} h^{0,2}, \qquad (22)$$

где $v_{доп}$ — допустимая средняя скорость воды на вертикали водного потока, м/с; $d_к$ — диаметр камня, м; h — глубина водного потока на участке крепления, м; $k_к$ — коэффициент, значения которого приведены в табл. 10.

Таблица 10

Значения коэффициента $k_к$ для различных типов каменного крепления

Тип крепления	$k_к$	Характеристика крепления
Каменная наброска	3,4	—
Каменная отмостка:		
расстроенная	5	Мостовая со слабым уплотнением камня и частичным отсутствием расклинивания.
исправная	10	Мостовая с хорошей расклинкой камня, ровной поверхностью и хорошей утрамбовкой камня на подстилающем слое.

Расчет устойчивости железобетонных плит рисберм перепадов и быстротоков рекомендуется выполнять руководствуясь указаниями, приведенными в [33].

5.13. Концевые сооружения рекомендуется проектировать на основе использования метода аналогов, т. е. путем назначения основных гидравлических параметров и геометрических размеров проектируемого сооружения по аналогии с каким-либо по-

[1] Формула (22) получена путем математической обработки данных экспериментальных исследований Н. А. Бакониной [10].

строенным или запроектированным сооружением, строительство и эксплуатация которого будут происходить в аналогичных условиях [14, 34]. При этом основные параметры и гидравлические характеристики проектируемого сооружения должны определяться экспериментальным путем, на основе результатов лабораторных гидравлических исследований на модели сооружения.

Примечание. При совмещении концевого сооружения с сопрягающим сооружением (перепад, быстроток) следует учитывать указания по гидравлическому расчету сопрягающих сооружений (пп. 5.10, 5.11).

6. НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОНАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Основные сведения

6.1. Проектирование насосных станций должно вестись в соответствии с требованиями «Норм технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей», ВНТП 80 [38] и главы СНиП II-58-75 «Электростанции тепловые» [51].

Проект должен содержать раздел по организации эксплуатации и ремонта, разрабатываемый в соответствии с «Правилами

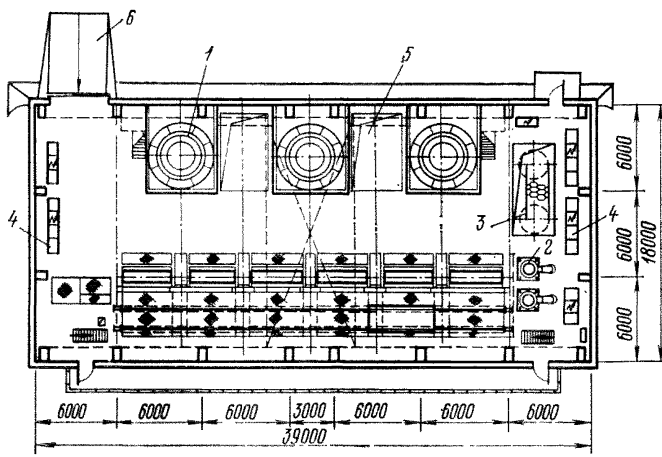


Рис. 36. Компоновка унифицированной насосной станции (горизонтальный разрез на отметке 0)

1 — электродвигатели циркуляционных насосов ДВДА 260/99-20-24У (3 шт.); *2* — насосы пожаротушения 20А—18Х3 (2 шт.); *3* — насосы неответственных потребителей 600В—1,6-100-0 (2 шт.); *4* — шкафы управления; *5* — монтажные проемы и хранилище затворов; *6* — въезд в насосную станцию.

технической эксплуатации тепловых электростанций и сетей» (в части эксплуатации) и «Инструкцией по проектированию организации и механизации ремонта оборудования, зданий и сооружений на тепловых электростанциях» (в части ремонта).

6.2. Циркуляционные насосные станции подачи охлаждающей воды в конденсаторы турбин АЭС следует относить ко второй категории сейсмостойкости.

6.3. При проектировании насосных станций, в целях сокращения капитальных затрат и площади застройки, следует стремиться к блокировке сооружений, т. е. к размещению в зданиях циркуляционных насосных станций насосных агрегатов систем

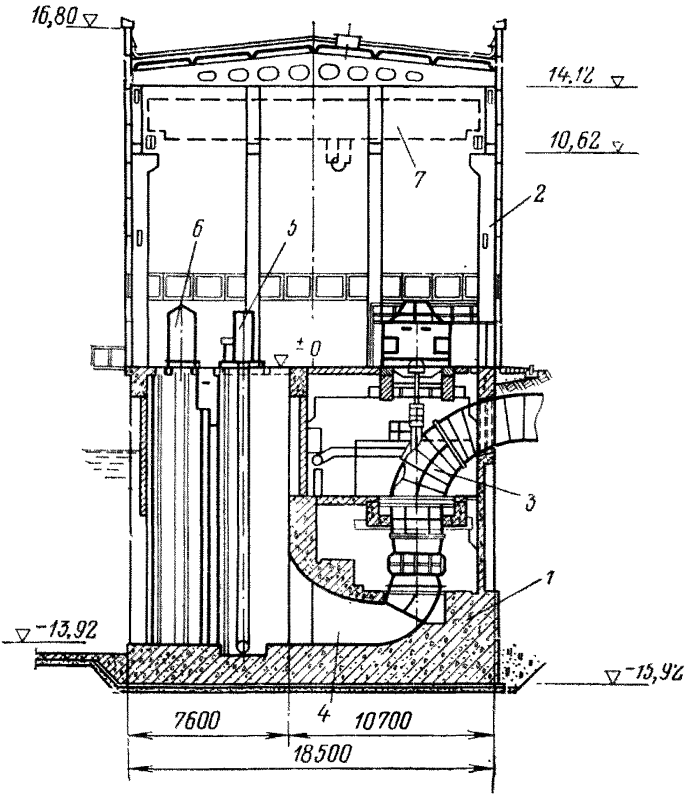


Рис. 37. Вертикальный разрез по оси насосного блока.
1 — подземная часть; *2* — надземное строение; *3* — циркуляционный насос ОПВ10—185ЭГ (3 шт.); *4* — всасывающая труба циркуляционного насоса; *5* — вращающаяся сетка ТЛ-3000 (6 шт.); *6* — решеткоочистная машина РВ-300 (1 шт.); *7* — кран мостовой грузоподъемностью 20/5 т (1 шт.).

технического водоснабжения неответственных потребителей (для АЭС), противопожарных насосов и другого насосного оборудования.

Пример размещения насосного оборудования различного назначения в циркуляционной насосной станции для энергоблока АЭС приведен на рис. 36 и 37.

6.4. Компоновка и конструкция насосной станции должны обеспечивать максимальную индустриализацию и минимум тру-

дозатрат при ее строительстве, а также нормальные условия обслуживания и ремонта.

6.5. Конструкция водоприемного сооружения должна обеспечивать равномерный подвод воды ко всем установленным в насосной станции агрегатам с минимальными гидравлическими потерями.

6.6. Следует, как правило, принимать водоприемники закрытого типа с обслуживанием их из машинного зала насосной станции одним мостовым краном.

6.7. Входная часть водоприемника должна быть оборудована двумя рядами пазовых конструкций с целью размещения грубых сороудерживающих решеток, обеспечения возможности отключения и осушения блока насосной станции в процессе эксплуатации для ремонта.

6.8. Определение плановых габаритов насосной станции следует производить с учетом монтажной площадки. Свободные промежутки между насосными агрегатами следует использовать в качестве монтажных проемов и хранилища затворов.

6.9. При проектировании надземного строения насосной станции следует стремиться к максимальному использованию типовых строительных конструкций, деталей и элементов.

6.10. Высоту надземного строения насосной станции следует определять из условия обеспечения вертикальной выемки вала насосного агрегата через шахту статора электродвигателя.

Электронасосные агрегаты

6.11. Тип и конструкция циркуляционных насосов, принимаемых к установке в насосной станции, должны при прочих равных условиях обеспечивать минимальный строительный объем здания и минимальное заглубление фундамента насосной станции.

6.12. При выборе насосного оборудования предпочтение следует отдавать, как правило, вертикальным насосным агрегатам.

6.13. При выборе насосных агрегатов предпочтение следует отдавать агрегатам, имеющим при прочих равных условиях, наибольший годовой средневзвешенный коэффициент полезного действия.

Годовой средневзвешенный коэффициент полезного действия определяется по формуле:

$$\eta_{год} = \frac{\eta_1 \cdot T_1 + \eta_2 \cdot T_2 + \ldots + \eta_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^{n} T_i}, \qquad (23)$$

где $\eta_{год}$ — годовой средневзвешенный коэффициент полезного действия насосного агрегата, %;

$\eta_1, \eta_2, \ldots, \eta_i$ — коэффициенты полезного действия при 1, 2, ..., i режимах работы насосного агрегата, %;

$T_1, T_2, \ldots, T_i$ — продолжительность работы насосного агрегата при 1, 2, ..., i режимах работы, ч;

$\sum_{i=1}^{n} T_i$ — общая продолжительность работы насосного агрегата за год, ч.

6.14. Насосные агрегаты, устанавливаемые в циркуляционной насосной станции, должны, как правило, обеспечивать регулирование подачи охлаждающей воды в зависимости от сезонных колебаний ее температур в водоисточнике и графика нагрузки турбоагрегатов.

6.15. Жестколопастные насосные агрегаты типа ОВ или ДВ при соответствующем технико-экономическом обосновании могут применяться в следующих случаях:

для теплофикационных электростанций с центральными насосными станциями при условии их работы в летний период с номинальными расходами пара в конденсатор или близкими к нему ($0{,}9Д^{ном}_{к} \leqslant Д_{к} \leqslant Д^{ном}_{к}$);

для конденсационных тепловых электростанций с прямоточными системами технического водоснабжения: при напорах циркуляционных насосов менее 15 м и минимальных температурах воды в источнике 6 — 8° С; при напорах циркуляционных насосов более 15 м и минимальных температурах воды в источнике 9 — 13° С;

для конденсационных тепловых и атомных электростанций с оборотными системами технического водоснабжения: при напорах циркуляционных насосов менее 15 м и минимальных температурах охлаждающей воды выше 13 — 15° С; при напорах циркуляционных насосов более 15 м и минимальных температурах охлаждающей воды выше 18 — 20° С.

6.16. При технико-экономическом сравнении вариантов систем технического водоснабжения с поворотно- и жестколопастными насосами следует учитывать различие в энергетических параметрах и эксплуатационной надежности насосов.

6.17. Для исключения влияния температурных деформаций напорного патрубка на насосный агрегат следует, по возможности, располагать последний как можно ближе к задней стене насосной станции. При невозможности выполнения этого условия, во избежание перекоса вала насосного агрегата, следует предусматривать установку температурного компенсатора на напорном патрубке насоса перед узлом его заделки в заднюю стену насосной станции.

6.18. В соответствии с «Нормами технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей» [38] комплектование механизмов собственных нужд электростанций, в том числе и циркуляционных насосов должно осуществляться, как правило, асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями закрытого исполнения (характеризуется степенью защиты оболочки), обдуваемыми или с замкнутым циклом вентиляции.

Степень защиты электродвигателей циркуляционных насосов должна соответствовать:

при установке электродвигателя насосного агрегата в надземном помещении — JP-44;

при установке в «камерах-колодцах» — JP-23.

При вынужденном применении электродвигателей с фазным ротором степень защиты колец следует принимать JP-54.

6.19. Все электродвигатели должны обеспечивать разворот механизма два раза подряд из «холодного» состояния или один раз из «горячего» состояния (после длительной работы с номинальной нагрузкой) при напряжениях на зажимах электродвигателей, равных 80% и 100% от номинального.

6.20. Электродвигатели насосных агрегатов мощностью 200 кВт и выше должны применяться на напряжение 6000 В.

6.21. Электродвигатели мощностью до 5000 кВт должны обеспечивать до 10000 пусков за срок службы; мощностью более 5000 кВт — до 7500 пусков за срок службы.

6.22. Кратность начального пускового момента электродвигателя ($M_{пуск}/M_{ном}$) должна быть не менее 0,6÷0,8.

Кратность максимального вращающего момента ($M_{макс}/M_{ном}$) должна быть не ниже 2,0÷2,5.

Величины моментов могут быть скорректированы с учетом реального момента сопротивления механизма при питающем напряжении $0{,}8u_{ном}$.

Учет гидромеханических переходных процессов

6.23. При проектировании насосных станций и систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС следует учитывать гидромеханические переходные процессы, сопровождающиеся резким увеличением гидродинамических нагрузок и вибраций, действующих на насосные агрегаты и элементы насосных станций и систем и в несколько раз превышающих свои значения в стационарных режимах, а иногда и свои допустимые значения.

6.24. Следует учитывать, что при эксплуатации насосных агрегатов систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС могут встречаться следующие виды основных переходных процессов. При пуске агрегатов:

трогание из состояния покоя, набор номинальной частоты вращения;

работа при пониженных напорах в процессе заполнения подводящего водовода;

повышение напора при заполнении водяного пространства конденсатора;

работа при повышенных напорах в процессе вытеснения воздуха из конденсатора;

работа при повышенных напорах на подтопленный обратный клапан (для центральных насосных станций при работе двух и более агрегатов на общий водовод);

понижение напора после вытеснения воздуха из конденсатора, зарядка сифонного устройства и выход на расчетный режим работы.

При остановке агрегатов:

отключение электродвигателя от сети и снижение частоты вращения в тормозном насосном режиме до момента смены направления движения воды;

режим противотока, в котором при насосном направлении вращения агрегата поток движется из напорной на всасывающую сторону насоса;

турбинный режим, в котором насос раскручивается в обратную сторону до момента достижения частоты вращения, соответствующей напору;

разгонный режим, при котором частота вращения агрегата в обратном направлении превышает номинальную и который сопровождается значительным увеличением нагрузки от центробежных сил, динамическими воздействиями небаланса вращающихся масс и динамическими воздействиями от нестационарных явлений, наблюдаемых в проточной части агрегата;

тормозной турбинный режим, заканчивающийся после полного стекания воды из системы.

6.25. Основное внимание при проектировании следует уделять таким видам переходных процессов, которые оказывают наиболее неблагоприятные воздействия на работу насосных агрегатов и систем технического водоснабжения. К таким видам переходных процессов в первую очередь относится работа насосных агрегатов при пониженных и повышенных напорах.

Под работой насосных агрегатов при пониженных напорах следует понимать их относительно продолжительную работу (более 15 — 20 с) с напорами, меньшими напоров, допускаемых техническими условиями (при пуске допускаемые напоры составляют, как правило, не менее 7 м).

Под работой насосных агрегатов при повышенных напорах следует понимать их работу в режимах, при которых режимная точка находится выше рабочей зоны характеристики насоса.

6.26. Сокращение времени работы насосных агрегатов при пониженных напорах может быть достигнуто применением следующих мероприятий.

А. Установка обратного клапана в начале горизонтального участка подводящего водовода для сохранения его постоянно заполненным водой или обеспечения возможности его заполнения перед пуском вспомогательными насосами (рис. 38). Следует учитывать, что установка обратного клапана, дающая значительное сокращение времени работы насосного агрегата при пониженных напорах, имеет и ряд недостатков, осложняющих условия работы системы технического водоснабжения, а именно:

усложнение системы, снижение надежности системы из-за недостаточной надежности самого клапана и гидравлических ударов, возникающих при его закрытии;

повышение гидравлического сопротивления системы за счет установки обратного клапана;

отрицательное влияние на условия пуска насоса инерционного напора массы воды в трубопроводе, который в сумме с геометрическим напором может превысить максимальный напор устойчивой характеристики насосного агрегата;

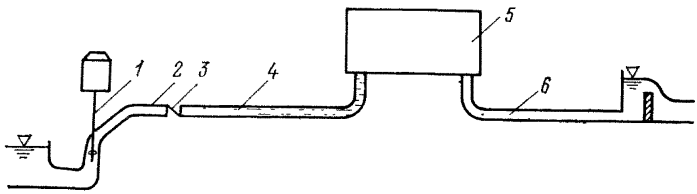


Рис. 38. Схема системы с обратным клапаном

1 — насосный агрегат; *2* — подводящий водовод; 3 — обратный клапан; *4* — заполненный участок подводящего водовода; *5* — конденсатор; *6* — сливной водовод.

наличие воздуха на участке между насосным агрегатом и обратным клапаном, требующего специальных устройств для его удаления при пуске; в противном случае поступление воздуха в конденсатор приведет к дополнительным динамическим нагрузкам на его конструкции, увеличению гидравлического сопротивления и усложнению работы отсасывающего эжектора;

отсутствие рекомендаций по выбору правильного месторасположения обратного клапана и необходимость сооружения камер для арматуры.

Б. Выполнение начального участка водовода приподнятым для форсированного повышения напора насоса сразу же после его пуска (рис. 39). Устройство приподнятого начального участка

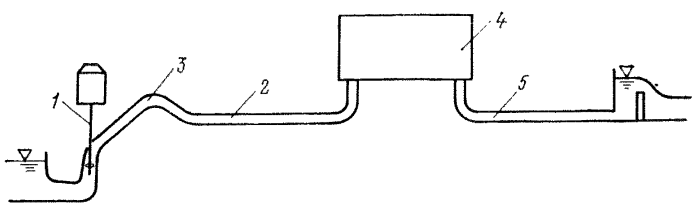


Рис. 39. Схема системы с приподнятым начальным участком подводящего водовода

1 — насосный агрегат; *2* — подводящий водовод; *3* — приподнятый участок подводящего водовода; *4* — конденсатор; *5* — сливной водовод.

водовода, рекомендуемое ВНИИгидромаш, может существенно облегчить условия пуска насосного агрегата благодаря быстрому повышению напора в начальный момент и переходу режим-

ной точки в рабочую область характеристики насоса уже через 10 — 12с после его пуска. Однако практическое использование этого решения существенно затрудняется из-за значительного усложнения пристанционного узла электростанции и проблем, возникающих при прокладке подъездных коммуникаций к насосной станции.

В. Предварительное заполнение горизонтального участка подводящего водовода с помощью эжектора водяного пространства конденсатора. Данное мероприятие осуществимо при следующих условиях:

если разность отметок низа конденсатора и уровня воды в сифонном колодце равна или больше разности отметок верха

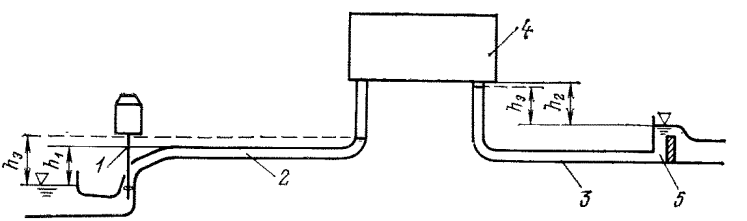


Рис. 40. Схема предварительного заполнения с помощью эжектора водяного пространства конденсатора

1 — насосный агрегат; *2* — заполненный участок подводящего водовода; *3* — заполненный участок сливного водовода; *4* — конденсатор; *5* — сифонный колодец.

подводящего водовода и уровня воды в водоприемной камере насосной станции, т. е. $h_2 \geqslant h_1$ (рис. 40);

если разность отметок верха подводящего водовода и уровня воды в водоприемной камере насосной станции меньше или равна величине вакуума, создаваемого эжектором водяного пространства конденсатора, т. е. $h_1 \leqslant h_э$ (рис. 40).

Если $h_1 > h_э$, следует оценить, насколько облегчатся условия пуска насосного агрегата при частичном заполнении подводящего водовода.

Если конструкция системы позволяет осуществлять предварительное заполнение подводящего водовода, то время воздействия на лопасти рабочего колеса насосного агрегата максимальных гидродинамических нагрузок при пуске резко сокращается и практически соответствует времени набора агрегатом номинальной частоты вращения, т. е. примерно 4 — 5 с.

Следует учитывать, что для систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС большой мощности характерны большие объемы заключенного в них воздуха, поэтому, в целях улучшения условий и сокращения времени заполнения водой подводящих водоводов, желательно предусматривать установку более мощных эжекторов водяного пространства.

Г. Комплектование циркуляционных насосов двухскоростными приводными электродвигателями для обеспечения возможности пуска на первой (пониженной) частоте вращения.

В данном случае заполнение опорожненного подводящего водовода осуществляется при работе насосного агрегата на первой частоте вращения с переходом после заполнения водовода на вторую (расчетную) частоту вращения. Работа насосного агрегата на пониженной частоте вращения позволяет значительно облегчить протекание переходных процессов во время его пуска.

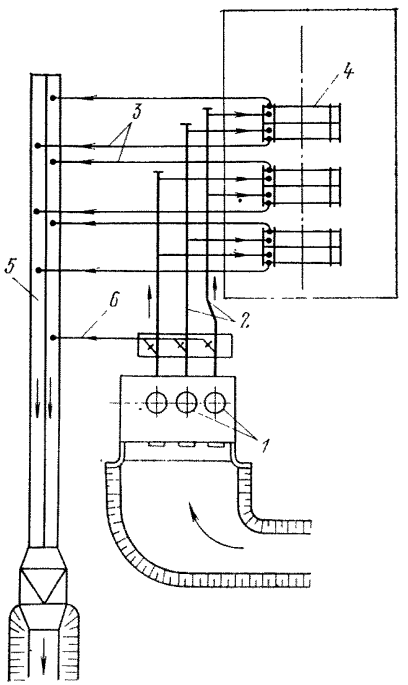


Рис. 41. Схема системы с холостым водовыпуском

1 — циркуляционные насосы; *2* — подводящие водоводы; *3* — сливные водоводы; *4* — конденсатор; *5* — закрытый отводящий канал; *6* — холостой водовыпуск.

6.27. Сокращение времени работы насосных агрегатов при повышенных напорах может быть достигнуто применением следующих мероприятий.

А. Устройство холостого водовыпуска (рис. 41). Применение холостого водовыпуска позволяет поддерживать устойчивый режим работы циркуляционного насоса в процессе его пуска. Гидравлическое сопротивление холостого водовыпуска подбирается таким образом, чтобы напор, развиваемый при параллельной работе на конденсатор и холостой водовыпуск, не выходил за пределы рабочей зоны характеристики насоса.

Б. Устройство клапанов выпуска воздуха из конденсатора турбины (рис. 42). Благодаря более быстому удалению воздуха из конденсатора время работы насосных агрегатов в неустойчивых режимах может быть сокращено в несколько раз. Площадь выходного сечения клапана определяется в зависимости от объема заключенного в системе воздуха и производительности циркуляционных насосов. Следует учитывать, что данный способ облегчения протекания переходных процессов при повышенных напорах практически не требует дополнительных капитальных вложений в систему технического водоснабжения и успешно может применяться в сочетании с другими мероприятиями.

В. Устройство вестовых труб для выпуска воздуха из подводящих водоводов (рис. 43). Это решение целесообразно применять для систем технического водоснабжения, имеющих подводящие водоводы большой протяженности и, соответственно, значи-

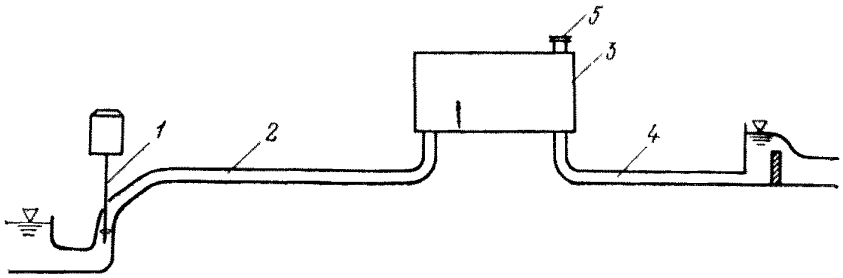


Рис. 42. Схема системы с клапаном выпуска воздуха из конденсатора турбины

1 — насосный агрегат; *2* — подводящий водовод; *3* — конденсатор; *4* — сливной водовод; *5* — клапан выпуска воздуха.

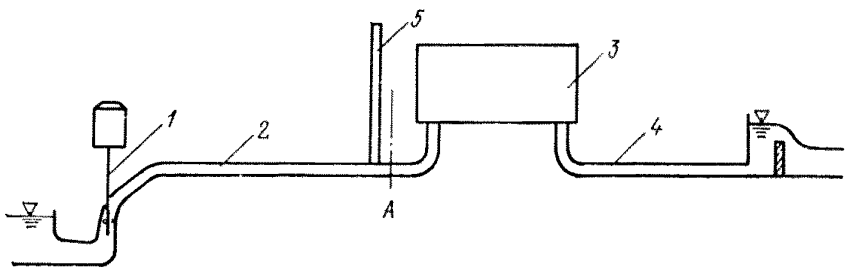


Рис. 43. Схема системы с вестовой трубой на подводящем водоводе

1 — насосный агрегат; *2* — подводящий водовод; *3* — конденсатор; *4* — сливной водовод; *5* — вестовая труба; *A* — ось машинного зала.

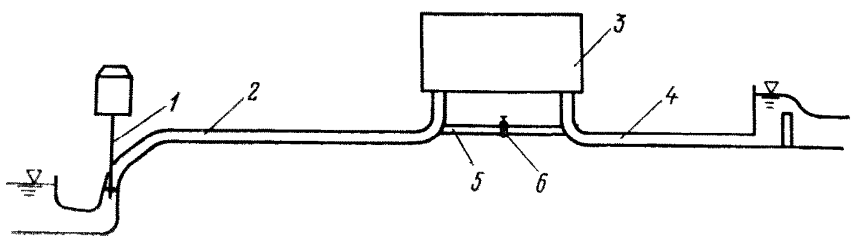


Рис. 44. Схема системы с пусковой перемычкой

1 — насосный агрегат; *2* — подводящий водовод; *3* — конденсатор; *4* — сливной водовод; *5* — пусковая перемычка; *6* — запорный орган.

тельные объемы заключенного в них воздуха. Вестовые трубы следует размещать, по возможности, вблизи оси *A* главного корпуса электростанции или энергоблока.

Г. Устройство пусковой перемычки между подводящим и сливным водоводами (рис. 44). Принцип пуска насоса с использова-

нием пусковой перемычки, предложенный ВНИИгидромаш, близок к принципу пуска на холостой водовыпуск. При заполнении конденсатора турбины часть расхода, подаваемого циркуляционным насосом, по пусковой перемычке с предварительно открытым запорным органом минуя конденсатор отводится в сливной водовод. Тем самым создаются условия для поддержания сопротивлений конденсатора и напора насоса в необходимых пределах, что будет способствовать облегчению режима работы насосов в процессе зарядки конденсатора и сифонного устройства. После выхода насоса на расчетный режим работы запорный орган на пусковой перемычке закрывается.

К недостаткам данной схемы можно отнести усложнение системы технического водоснабжения, трудности с размещением перемычки в пределах машинного зала и необходимость, в связи с этим, ее наружной подземной прокладки, а также увеличение по сравнению с устройством холостого водовыпуска дополнительных капитальных вложений.

Предварительное заполнение части объема системы с помощью эжектора водяного пространства конденсатора. Предварительное заполнение следует осуществлять с целью уменьшения объема воздуха в системе и, тем самым, сокращения времени протекания переходных процессов в насосном агрегате при зарядке конденсатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов Н. Н.** Водоснабжение. — М.: Стройиздат, 1974. — 480 с.

2. **Альтшуль А. Д., Казеннова В. В., Полякова Э. Н., Войнович А. П.** О расчете потерь напора на трение в напорных водоводах электростанций. — Материалы конференций и совещаний по гидротехнике/ ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1978, вып. 120, с. 122 — 131.

3. **Альтшуль А. Д., Казеннова В. В., Полякова Э. Н., Войнович А. П.** О расчете потерь напора на трение по длине в бетонных каналах. — Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева: Сборник научных трудов, 1980, т. 138, с. 35—42.

4. **Андрияшев М. М.** Гидравлические расчеты оборудования водоводов. — М.: Стройиздат, 1979. — 104 с.

5. **Аршеневский Н. Н., Поспелов Б. Б.** Переходные процессы крупных насосных станций. — М.: Энергия, 1980. — 112 с.

6. **А. с. 709904 (СССР).** Напорный криволинейный трубопровод/ В. Б. Дульнев. Опубл. в Б. И., 1980, № 2.

7. **А. с. 527580 (СССР).** Система отвода охлажденной воды от градирни/ Р. Г. Минасян, А. П. Васильев, Б. Т. Самодельников и др. Опубл. в Б. И., 1976, № 33.

8. **А. с. 618482 (СССР).** Рыбозащитное устройство/ Э. А. Нагобат, Л. М. Нусенбаум, В. Р. Мери и др. Опубл. в Б. И., 1978, № 29.

9. **А. с. 721500 (СССР).** Рыбозащитное устройство для водозаборных сооружений/ Э. А. Нагобат, Л. М. Нусенбаум, А. М. Лысов. Опубл. в Б. И., 1980, № 10.

10. **Баконина Н. А.** К вопросу о допустимых скоростях течения на рисбермах плотин. — Гидротехническое строительство, 1940, № 11, с. 31 — 33.

11. **Берман Л. Д.** Тепловые выбросы конденсационных турбоагрегатов тепловых электростанций и окружающая среда. — Теплоэнергетика, 1975, № 4, с. 25 — 31.

12. **Васильева И. А., Журавлев Г. И., Корюкин С. Н.** и др./ Под ред. Н. П. Розанова. Гидротехнические сооружения. — М.: Стройиздат, 1978. — 647 с.

13. **Винничек А. Н., Конвиз В. С., Новоженин В. Д., Осипов А. Д.** Напорные трубопроводы из сборного железобетона. — М.: Энергия, 1969. — 102 с.

14. **Дейнека В. И.** Эжекторные устройства для разбавления нагретой воды тепловых электростанций. — В сб.: Гидравлика и гидротехника, Киев, 1971, вып. 13, с. 46 — 49.

15. **Дмитриев В. Д.** Взаимное влияние отводов в сети. — Водоснабжение и санитарная техника, 1962, № 9, с. 28 — 31.

16. **Дульнев В. Б.** Борьба с сором и с засасыванием воздуха в циркуляционные насосы. — Электрические станции, 1975, № 7, с. 74 — 76.

17. **Дульнев В. Б.** Разработка конструктивно-компоновочных мероприятий по повышению пропускной способности насосных блоков и уменьшению гидравлических потерь в напорных трубопроводах. — Труды координационных совещаний по гидротехнике/ ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1977, вып. 115, с. 214 — 220.

18. **Дульнев В. Б., Деркач Н. И., Ищук Т. Б.** О влиянии устройства перепадных стенок на стоимость строительства циркуляционных насосных станций. — Энергетическое строительство, 1982, № 8, с. 31—35.

19. **Евреенко Ю. П.** Критическая скорость потока в нисходящей ветви сифона. — В сб.: Гидромелиорация и гидротехническое строительство: — Львов, 1979, вып. 7, с. 51 — 56.

20. **Захаров О. В., Эрдрайх В. С.** Учет переходных режимов работы крупных осевых, диагональных и центробежных насосов на стадии проектирования. — Экспресс-информ.: серия ХМ-4/ЦИНТИХимнефтемаш, М., 1979, № 4.

21. **Зисман С. Л.** Расчет режимов вращения осевых циркуляционных насосов при отключении электропитания. — Труды института Теплопроект, 1964, вып. 1, с. 14 — 19.

22. **Идельчик И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М.: Машиностроение, 1975. — 559 с.

23. **Ищук Т. Б.** Результаты лабораторных исследований по определению потерь напора при групповом расположении местных сопротивлений в водоводах большого сечения. — Труды координационных совещаний по гидротехнике/ ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1977, вып. 115, с. 251 — 257.

24. **Ищук Т. Б.** Местные потери напора в водоводах технического водоснабжения электростанций. — Электрические станции, 1980, № 6, с. 47—52.

25. **Кабан А. В., Панас С. И.** Повышение надежности работы конденсационной установки турбины К-500-65/3000. — Энергетик, 1981, № 5, с. 15.

26. **Карелин В. Я., Новодержкин Р. А.** Насосные станции гидротехнических систем с осевыми и диагональными насосами. — М.: Энергия, 1980 — 288 с.

27. **Кирш К. А.** Особенности эксплуатации блочных систем циркуляционного водоснабжения с осевыми насосами типа ОПВ. — Энергетик, 1979, № 10, с. 3 — 5.

28. **Клейн Г. К.** Расчет подземных трубопроводов. — М.: Стройиздат, 1969. — 240 с.

29. **Кожевников А. С.** Приближенное интегрирование уравнения неравномерного движения потока. — Известия АН УзССР. Сер. техн. наук, 1976, № 3, с. 59 — 61.

30. **Конвиз В. С., Аладинский А. В., Крашенинников Д. П.** Гидротехнические сооружения и особенности систем технического водоснабжения Курской и Чернобыльской АЭС. — В сб.: Энергетическое строительство, М., 1977, № 2, с. 5 — 12.

31. **Кривченко Г. И., Иванов И. С., Мордасов А. П.** Напорные водоводы гидроэлектрических и насосных станций. — М.: Энергия, 1969. — 109 с.

32. **Курганов А. М., Федоров Н. Ф.** Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. — Л.: Стройиздат, 1978. — 423 с.

33. **Лятхер В. М., Черных О. Н.** Оценка устойчивости креплений нижнего бьефа водосбросных сооружений. — Гидротехника и мелиорация, 1980, № 2, с. 18 — 20.

34. **Мери В. Р.** Экспериментальное определение основных параметров эжектирующего сооружения с донными выпусками на примере Чигиринской ГРЭС. — Труды координационных совещаний по гидротехнике/ ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1977, вып. 115, с. 233 — 237.

35. **Минасян Р. Г., Скалкин Ф. В.** Тепловые электростанции и охрана окружающей среды. — Электрические станции, 1974, № 4.

36. **Мошков Л. В.** Гидравлические модельные исследования камеры вращающихся сеток насосного блока. — В кн.: Аннотации законченных в 1962 г. н.-и. работ по гидротехнике. — Л., 1963, с. 303 — 305. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева.

37. **Насосы** осевого типа «О», «ОП» и центробежные вертикальные типа «В» (каталог-справочник)/ЦИНТИХимнефтемаш. — М., 1970. — 52 с.

38. **Нормы** технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей ВНТП-80. — М.: Минэнерго, 1980. — 178 с.

39. **Неугодов Г. И.** Гидравлические клапаны срыва вакуума в сифонах водовыпусков насосных станций. — Гидротехническое строительство, 1976, № 1, с. 45 — 47.

40. **Никитин И. К., Сливинская А. Г.** Повышение охлаждающей способности водохранилищ-охладителей. — Электрические станции, 1963, № 10, с. 45 — 47.

41. **Павлов Б. А.** О гидравлическом расчете аэрированных потоков на быстротоках. — Водные проблемы (НРБ), 1979, № 9, с. 29 — 40.

42. **Папшев В. Ф.** Опыт эксплуатации насосных станций технического водоснабжения тепловых электростанций. И. С. № Т-22/67/ОРГРЭС, 1967.

43. **Полонский Г. А.** Механическое оборудование гидротехнических сооружений. — М.: Энергия, 1974. — 344 с.

44. **Правила** охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами (Минздрав СССР, № 372—61), М., 1975.

45. **Пылаев Н. И., Эдель Ю. У.** Кавитация в гидротурбинах. — Л.: Машиностроение, 1974. — 256 с.

46. **Рекомендации** по гидравлическому расчету водосливов. Часть I. Прямые водосливы. — Л.: Энергия, 1974. — 58 с. Часть II. Косые, боковые, криволинейные и кольцевые водосливы. — Л.: Энергия, 1976. — 23 с.

47. **Рекомендации** по расчету потерь напора по длине водоводов гидроэлектростанций: П 91-80/ВНИИГ. Л., 1981. — 24 с.

48. **Роговой Т. Н., Кикиш О. В.** Оценка работы головных циркуляционных насосов типа ОПВ3-185 ЭГ энергоблока 800 МВт. — Электрические станции, 1981, № 5, с. 30 — 34.

49. **Скаличка И.** Течение жидкости в сварных отводах. — Водное хозяйство (ЧССР), 1975, т. 25, № 11 — 12, с. 289.

50. **СНиП II-31-74:** Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. — М.: Стройиздат, 1976. — 145 с.

51. **СНиП II-58-75:** Электростанции тепловые. — М.: Стройиздат. 1976. — 25 с.

52. **СНиП II-55-79:** Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. — М.: Стройиздат, 1980. — 41 с.

53. **Справочник** по гидравлическим расчетам/ Под ред. П. Г. Киселева. — М.: Энергия, 1974. — 312 с.

54. **Технические** условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений. Деривационные каналы гидроэлектростанций. ТУиН МОЭС-108-59. М. — Л.: Энергоиздат, 1960. — 175 с.

55. **Технические** указания по расчету и проектированию башенных противоточных градирен для тепловых электростанций и промышленных предприятий. ВСН 14-67. Л.: Энергия, 1971. — 99 с.

56. **Указания** по защите водоводов от гидравлического удара. — Госстройиздат, 1961. — 227 с.

57. **Указания** по проектированию рыбозащитного устройства типа плоской сетки с рыбоотводом/ ГОСНИОРХ., Л., 1973. — 44 с.

58. **Черткова Н. А., Бронштейн А. М.** О работе сифонов на ТЭС. — Труды координационных совещаний по гидротехнике/ ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1977, вып. 115, с. 237 — 241.

59. **Черткова Н. А.** Исследование сливных колодцев на открытых отводящих каналах. — Труды координационных совещаний по гидротехнике/ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1977, вып. 115, с. 242 — 250.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 5

2. НАСОСНЫЕ БЛОКИ 11

Основные сведения 11
Составные элементы насосных блоков 13
Конструкции и компоновки насосных блоков 19
Рекомендации по гидравлическому расчету насосных блоков . 25

3. НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ 32

Основные сведения 32
Компоновка напорных трубопроводов 32
Рекомендации по гидравлическому расчету напорных трубопроводов 36

4. УЗЛЫ СОПРЯЖЕНИЯ СЛИВНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ОТВОДЯЩИМ КАНАЛОМ 51

Основные сведения 51
Конструкция и компоновка узлов сопряжения сливных трубопроводов конденсатора с отводящим каналом 52
Рекомендации по гидравлическому расчету узлов сопряжения сливных трубопроводов с отводящим каналом 58
Определение устойчивой высоты сифона 65

5. ОТВОДЯЩИЙ КАНАЛ И СООРУЖЕНИЯ НА НЕМ 67

Основные сведения 67
Рекомендации по гидравлическому расчету отводящего канала и сооружений на нем 69

6. НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОНАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 72

Основные сведения 72
Электронасосные агрегаты 74
Учет гидромеханических переходных процессов 76

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 83

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ НАСОСНЫХ БЛОКОВ И ВОДНЫХ ТРАКТОВ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭС И АЭС БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ
П 06—82
ВНИИГ

Научный редактор *В. Б. Дульнев*
Редактор *Р. Н. Тиназова*

Технический редактор *Т. М. Бовичева*
Сдано в набор 22.03.83. Подписано к печати 13.06.83.
М-29097. Формат бумаги 60×90/16. Бумага типографская № 2.
Литературная гарнитура. Высокая печать.
Печ. л. 5,5. Уч.-изд. л. 6,2. Тираж 800. Заказ 152. Цена 95 к.

Типография Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники имени Б. Е. Веденеева.
195220, Ленинград, Гжатская ул., 21.

Список замеченных опечаток

Стр.	Строка, графа	Напечатано	Следует читать
62	Табл. 9: 6 графа, V — по гориз.	$0{,}630\ \beta^2_v + 0{,}122$	$0{,}630\ \beta^2_v + 0{,}128$
70	23 снизу	$i_f = \frac{i_{\varphi_1} + i_{\varphi_2}}{2}$	$i_f = \frac{i_{f_1} + i_{f_2}}{2}$

Заказ 152. Рекомендации по проектированию и гидравлическим расчетам насосных блоков...

Тип. ВНИИГ. Зак. 271. Тир. 800. 4.07.83.

gost.e-ecolog.ru