Э. В. ЗАЛУЦКИЙ, А. И. ПЕТРУХНО

НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Допущено Министерством
высшего и среднего
специального образования УССР
в качестве учебного пособия
для студентов вузов,
сбучающихся по специальности
«Водоснабжение и канализация»

КИЕВ
ГОЛОВНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ
«ВИЩА ШКОЛА»
1987

38.761я73
3-24

УДК 628.12(07)

Насосные станцин. Курсовое проектирование / Э. В. Залуцкий, А. И. Петрухно.— К. : Вища шк. Головное изд-во, 1987.— 167 с.

В учебном пособии применительно к курсовому проектированию рассмотрены устройство, методика расчетов и конструирования насосных станций. Особое внимание уделяется их компоновке. Приведены примеры рационального подбора насосного, энергетического и вспомогательного оборудования, а также выбора размеров и конструкций зданий насосных станций.

В пособие включены необходимые при курсовом проектировании справочные данные о современном насосном и подъемно-транспортном оборудовании, трубопроводной арматуре и т. п.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности «Водоснабжение и канализация».

Табл. 33. Ил. 99. Библиогр.: 23 назв.

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент В. Г. Скряга (Харьковский инженерно-строительный институт), кандидат технических наук, профессор В. В. Карасев (Брестский инженерно-строительный институт)

Редакция литературы по строительству и архитектуре
Зав. редакцией В. В. Гаркуша

3 $\frac{3206000000-063}{M211(04)-87}$ 252 87

© Издательское объединение «Вища школа», 1987

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава 1. **Типы насосных станций** 5

§ 1. Назначение насосных станций. Основные требования, предъявляемые к их оборудованию и работе 5
§ 2. Типы и конструкции насосных станций 8

Глава 2. **Основное и вспомогательное оборудование насосных станций** 11

§ 3. Типы основных насосов 11
§ 4. Выбор основных насосов, двигателей и их компоновка . . . 18
§ 5. Трубопроводы насосной станции 26
§ 6. Запорная арматура, обратные клапаны, водомеры 32
§ 7. Построение графика совместной работы насосов и водоводов 44
§ 8. Оборудование систем заливки насосов, технического водоснабжения, дренажа и осушения 48

Глава 3. **Проектирование здания насосной станции** 53

§ 9. Подъемно-транспортное оборудование 53
§ 10. Конструкции и стандартные размеры частей здания 60
§ 11. Электрическая часть насосных станций 65
§ 12. Организация работы над курсовым проектом насосной станции 70

Глава 4. **Проектирование водопроводной насосной станции I подъема** 73

§ 13. Выбор типа и определение подачи насосной станции I подъема 73
§ 14. Проектирование водоводов. Определение расчетного напора насосов I подъема 75
§ 15. Выбор основного насосного оборудования 79
§ 16. Размещение оборудования в машинном зале 80
§ 17. Проектирование водозаборной части насосных станций . . 86
§ 18. Подбор вспомогательного насосного оборудования насосных станций I подъема 87
§ 19. Порядок проектирования надземной части здания насосной станции I подъема 89

Глава 5. **Проектирование водопроводной насосной станции II подъема** 91

§ 20. Определение расчетной подачи насосной станции. Проектирование водоводов 91
§ 21. Определение расчетных напоров насосов II подъема. Выбор основного насосного оборудования 93
§ 22. Расчет режима работы насосных станций при подаче воды на тушение пожара 100
§ 23. Размещение оборудования в машинном зале 102
§ 24. Порядок проектирования здания насосной станции II подъема 105

Глава 6. **Проектирование насосных станций систем водоотведения (канализационных)** 108

§ 25. Определение расчетных расходов. Расчет напорных водоводов 108
§ 26. Определение расчетных напоров. Выбор насосов 110
§ 27. Размещение основного оборудования в машинном зале 112
§ 28. Приемный резервуар и его оборудование 117
§ 29. Проектирование систем технического водопровода и дренажа 121
§ 30. Порядок проектирования надземной части здания насосной станции водоотведения 124

Глава 7. **Технико-экономические расчеты при проектировании насосных станций** 126

§ 31. Определение стоимости насосной станции и водоводов . . . 126
§ 32. Определение эксплуатационных затрат 129
§ 33. Технико-экономические показатели насосных станций . . 131

Приложения 133

Список использованной литературы 164

ПРЕДИСЛОВИЕ

Задачи ускоренного социально-экономического развития нашего общества, поставленные на XXVII съезде КПСС, предусматривают обширную программу расширения и модернизации существующих и создания новых промышленных предприятий, дальнейшего развития энергетической базы, интенсификации сельскохозяйственного производства, расширения жилищного строительства.

Осуществление этой программы требует развития действующих и создания новых высокоэффективных систем промышленного, сельскохозяйственного и коммунального водоснабжения.

Одной из важнейших задач, связанных с интенсивным развитием народного хозяйства, является охрана окружающей среды. Увеличение отбора воды из природных источников, повышение степени ее загрязнения после использования в промышленности и в коммунальных системах увеличивают опасность загрязнения окружающих нас рек, озер, водохранилищ. Для усиления охраны природы народнохозяйственным планом предусмотрено строительство крупных систем канализации и совершенствование методов очистки сточных вод.

Насосные станции являются важнейшим элементом современных систем водопровода и канализации. Именно через них жидкости сообщается энергия, необходимая для поднятия ее на большую высоту или транспортирования на значительные расстояния. Насосные станции представляют собой сложный комплекс сооружений и оборудования. Правильный выбор технико-экономических параметров этого комплекса во многом определяет надежность и экономическую эффективность подачи или отведения воды.

Реализуя выдвинутый XXVII съездом КПСС курс на ресурсосбережение, при проектировании, строительстве и эксплуатации насосных станций необходимо добиваться снижения энергозатрат и материалоемкости систем водоснабжения и водоотведения.

Курс «Насосные и воздуходувные станции» входит в число профилирующих дисциплин специальности «Водоснабжение и канализация». При изучении его студенты должны приобрести навыки проектирования насосных станций. Являясь первым проектом по профилирующим дисциплинам, курсовой проект насосной станции представляет собой для студентов довольно сложную задачу.

При выполнении курсового проекта студенту кроме материалов основного курса «Насосные и воздуходувные станции» необходимо применять знания, полученные в курсах гидравлики, электротехники, архитектуры, черчения и т. д. Впервые в таком большом объеме студенту прийдется работать с многочисленной справочной литературой. Самостоятельное принятие объемно-планировочных решений по размещению оборудования и проектированию помещений насосной станции с параллельным ведением расчетов и вычерчиванием эскизов является, как показывает опыт, самым сложным элементом курсового проектирования. Особое внимание должно быть уделено технико-экономическому обоснованию проекта.

Настоящее пособие должно дать студенту представление о последовательности выполнения работ при курсовом проектировании, о решении отдельных задач и их взаимосвязи в проекте.

Курсовое проектирование, в отличие от реального, предполагает несколько упрощенную постановку задачи, сокращение исходных данных, менее детальную разработку ряда вопросов. Одной из особенностей курсового проектирования является ограничение видов рассматриваемых насосных станций. В пособие включены вопросы проектирования насосных станций I подъема с забором воды из открытых водоисточников, насосных станций II подъема и главных или районных станций отвода сточных вод города.

При работе над курсовым проектом студент сначала должен ознакомиться с содержанием глав 1—3 настоящего пособия, а затем перейти к главе, где рассматривается расчет насосной станции заданого варианта. При решении конкретных задач в проекте необходимо опять обращаться к соответствующим параграфам первых трех глав.

Завершается курсовое проектирование определением технико-экономических показателей насосной станции.

ТИПЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

§ 1. Назначение насосных станций. Основные требования, предъявляемые к их оборудованию и работе

Тип и число основных и вспомогательных насосов, состав помещений и набор вспомогательного оборудования, конструктивные особенности и предъявляемые к насосной станции технологические требования зависят от ее назначения.

В зависимости от перекачиваемой жидкости насосные станции подразделяются на водопроводные и станции систем водоотведения (канализационные).

По своему назначению и расположению в общей схеме водоснабжения водопроводные насосные станции подразделяются на станции I подъема, II и последующих подъемов, повысительные и циркуляционные (рис. 1, *а*, *б*, *в*, *г*).

Насосные станции I подъема забирают воду из источника и подают ее на очистные сооружения или, если не требуется очистка воды, в аккумулирующие емкости (резервуары чистой воды, водонапорные башни, гидропневматические баки), а в некоторых случаях непосредственно в распределительную сеть. Характерной особенностью насосных станций I подъема является более или менее равномерная подача в течение суток.

Насосные станции II подъема подают воду потребителям из резервуаров чистой воды, которые позволяют регулировать подачу. Подача насосных станций II подъема в течение суток неравномерна. Ее по возможности приближают к графику водопотребления.

Повысительные насосные станции (станции подкачки) предназначены для повышения напора на участке сети или в водоводе. Они забирают воду не из резервуара, а из трубопроводов и поэтому не могут самостоятельно регулировать подачу.

Циркуляционные насосные станции входят в замкнутые системы технического водоснабжения промышленных предприятий и тепловых электростанций. На этих станциях может устанавливаться несколько групп насосов: одна — для подачи отработанной воды на охлаждающие, другая — на

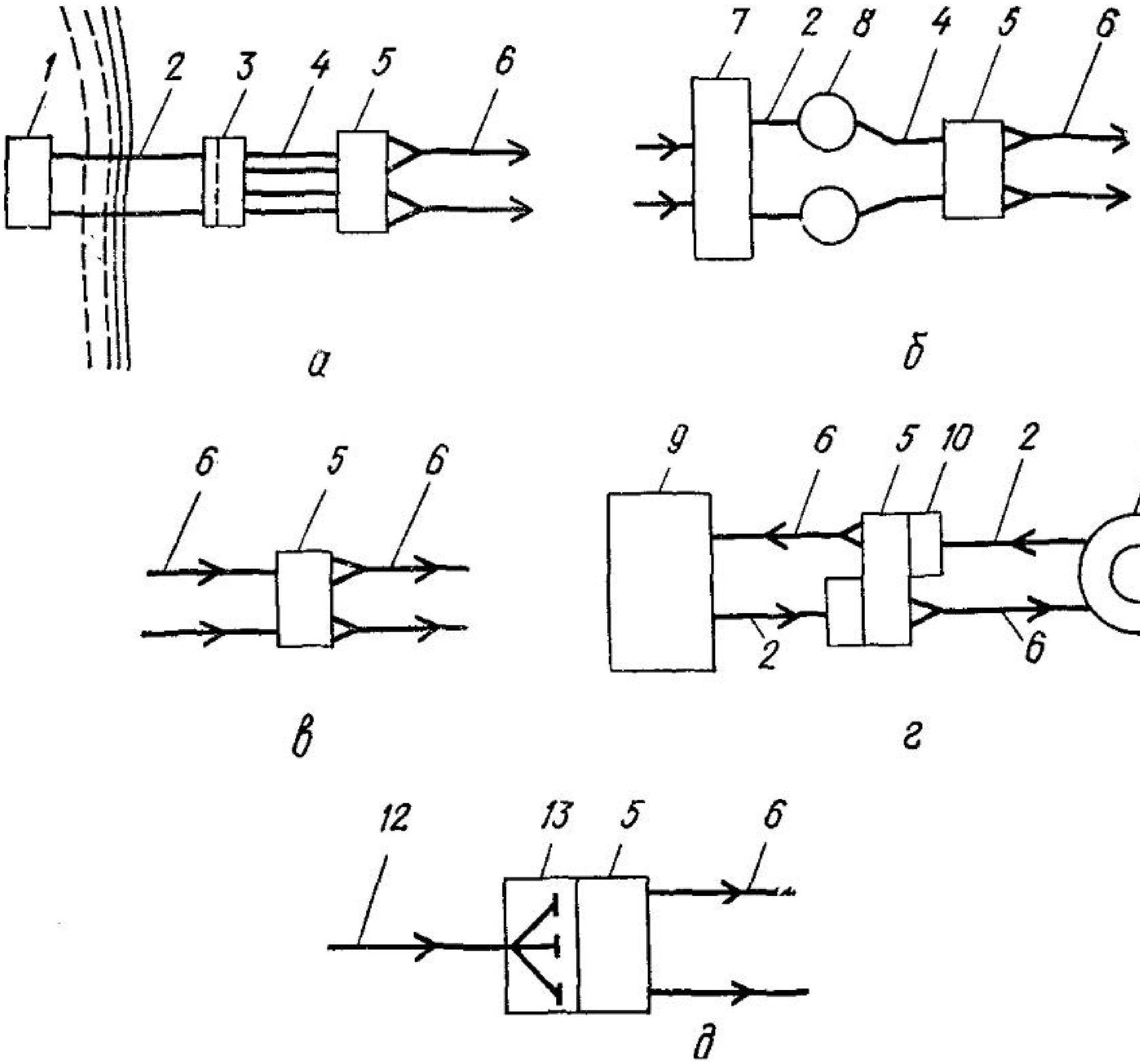


Рис. 1. Принципиальные схемы компоновки насосных станций различного назначения:

а — I подъема из открытого водоисточника; *б* — II подъема; *в* — повысительной; *г* — циркуляционной; *д* — водоотведения; *1* — водозабор; *2* — самотечные водоводы; *3* — водоприемно-сеточный колодец; *4* — всасывающие трубы; *5* — насосная станция; *6* — напорные водоводы; *7* — очистные сооружения; *8* — резервуары чистой воды; *9* — потребители технической воды; *10* — приемные камеры; *11* — охлаждающие или очистные сооружения; *12* — самотечный коллектор; *13* — помещение решеток

очистные устройства, третья — для возврата подготовленной воды к производственным установкам.

Насосные станции систем водоотведения (рис. 1, *д*) предназначены для подачи сточных вод на очистные сооружения. Районные насосные станции водоотведения часто перекачивают стоки не непосредственно на очистные сооружения, а из одного бассейна канализования в другой, когда соединение бассейнов самотечными коллекторами нецелесообразно.

Особый вид насосных станций представляют *станции для перекачивания атмосферных вод* (на сети ливневой канализации), *осадков и ила* (на канализационных и водопроводных очистных сооружениях), *агрессивных промышленных сточных вод.*

По степени обеспеченности подачи воды насосные станции подразделяются на три категории.

I категория допускает перерыв в подаче воды только на время (не более 10 мин), необходимое для выключения поврежденных и включения резервных элементов (оборудования, арматуры, трубопроводов), и снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более 30 % расчетного расхода и на производственные нужды до предела, установленного аварийным графиком работы предприятий, при длительности снижения не более 3 сут.

II категория допускает перерыв в подаче для проведения ремонта не более, чем на 6 ч, а на канализационных станциях — на время, обусловленное аккумулирующей вместимостью подводящих сетей, и соответствующее снижение подачи не более, чем на 10 сут.

III категория допускает перерыв в подаче не более, чем на 24 ч и соответствующее снижение подачи не более, чем на 15 сут.

К I категории относятся насосные станции, обслуживающие технический водопровод и системы водоотведения специальных производств; системы водоснабжения и водоотведения населенных пунктов с числом жителей свыше 50 000 чел. (ориентировочно, максимальное суточное водопотребление свыше 40 000 м^3); подающие воду непосредственно в сеть противопожарного и объединенного хозяйственно-противопожарного водопроводов.

Ко II категории относятся насосные станции, обслуживающие водопровод населенных пунктов с числом жителей от 5000 до 50 000 чел., если подача воды на пожаротушение возможна и при временной остановке этих станций; насосные станции систем водоотведения населенных пунктов с тем же числом жителей, если аккумулирующая вместимость подводящих сетей обеспечивает прием стоков на время отключения станции при ремонте; насосные станции водопроводов населенных пунктов с числом жителей до 500 чел. (ориентировочно, максимальное суточное водопотребление не более 3000 м^3) и других объектов, указанных в нормах (п. 2.11, примечание 1 [3]).

К III категории относятся насосные станции систем водоотведения, обслуживающие населенные пункты с числом жителей до 500 чел., и насосные станции поливочных водопроводов.

К насосным станциям различных категорий предъявляются соответствующие требования *по надежности энергообеспечения* (для насосных станций I и II категории под-

Таблица 1. **Число резервных агрегатов, устанавливаемых в водопроводных насосных станциях**

Количество рабочих агрегатов одной группы насосов	Число резервных агрегатов в насосных станциях		
	I категории	II категории	III категории
До 6	2	1	1
6—9	2	1	—
Свыше 9	2	2	—

ключение не менее, чем к двум независимым ЛЭП), *по капитальности сооружений, по резерву технологического оборудования.*

От категории насосной станции зависит число резервных агрегатов (табл. 1), число всасывающих и напорных линий и расчетные расходы для них, количество и размещение запорной арматуры на внутристанционных коммуникациях.

Наряду с обеспечением напора и подачи, предусмотренных графиком водопотребления или водоотведения, и удовлетворением требований по бесперебойности работы, при сооружении и оборудовании насосных станций необходимо при наименьших затратах на их строительство и эксплуатацию обеспечивать комфортные условия работы обслуживающего персонала, широкое применение автоматики и телемеханики.

Не следует допускать излишеств в составе и размерах сооружений, кубатуре зданий, основном и вспомогательном оборудовании, архитектурном оформлении. В то же время необходимо учитывать, что состав сооружений и оборудования, так же как и вся схема водоснабжения или водоотведения в целом, должны отвечать условиям будущей экспулатации при возрастающих объемах водопотребления. Конструкция насосной станции должна предусматривать возможность модернизации и расширения, замены установленного оборудования на более мощное, обеспечивающее увеличение подач и напоров.

§ 2. Типы и конструкции насосных станций

Строительство насосной станции должно выполняться в наиболее короткие сроки при возможно меньшей его стоимости с применением совершенного строительного оборудования и передовых методов труда. В связи с этим в конструкциях насосных станций должны применяться унифицированные строительные детали с размерами, кратными строительному модулю (6 м) или его частям.

В состав сооружений насосной станции кроме машинного зала, в котором размещаются насосы, могут входить:

для станции I подъема — водозаборные сооружения, водоприемники и камеры переключений;

для станций II подъема — резервуары чистой воды и камеры переключений;

для циркуляционных насосных станций — водоприемники и камеры переключений;

для насосных станций систем водоотведения — приемные резервуары с решетками.

Электрическое хозяйство и трансформаторная подстанция могут располагаться в одном помещении с машинным залом или быть вынесенными в отдельно стоящее здание.

В зависимости от природных и производственных условий некоторые из вышеперечисленных сооружений могут функционально объединяться или отсутствовать в схеме насосной станции.

Часто машинный зал насосной станции объединяется в одну строительную конструкцию с водоприемником (насосные станции I подъема) или с приемным резервуаром (насосные станции водоотведения). Такие насосные станции называются *совмещенными*.

В зависимости от типа насосного оборудования различают насосные станции с горизонтальными и вертикальными, центробежными и осевыми насосами.

По расположению насосов относительно уровня воды в водоеме, приемном резервуаре или резервуаре чистой воды различают станции: с насосами, установленными с положительной высотой всасывания; с насосами, установленными с подпором (под залив).

По расположению машинного зала относительно поверхности земли насосные станции бывают: наземные, частично заглубленные (полузаглубленные); заглубленные; подземные.

В наземных насосных станциях отметка пола машинного зала определяется планировочными отметками окружающей земли. В этих станциях при необходимости предусматривается въезд автомобиля в машинный зал, и насосы к месту установки могут быть поданы подъемно-транспортным оборудованием непосредственно с кузова автомобиля.

В полузаглубленных насосных станциях пол машинного зала заглублен по отношению к поверхности окружающей земли. Характерной особенностью таких станций является отсутствие перекрытия между первым этажом и машинным залом. Одно и то же подъемно-транспортное оборудование обслуживает монтажную площадку на уровне первого этажа и заглубленный машинный зал.

Особенностью *заглубленных насосных станций* является наличие перекрытия между машинным залом и первым этажом. Пространство над машинным залом в заглубленных насосных станциях используется для размещения вспомогательных помещений. При большом заглублении насосных станций (шахтный тип) между машинным залом и поверхностью земли могут устраиваться дополнительные подземные этажи, на которых располагается вспомогательное оборудование.

Подземные насосные станции расположены полностью под землей и, как правило, не имеют надземной части (верхнего строения). Они невелики и управление ими автоматизированно. Подземными, например, могут проектироваться станции забора подземных вод.

По форме подземной части в плане насосные станции могут быть: прямоугольными, круглыми, эллиптическими и сложной конфигурации. Прямоугольная форма обеспечивает лучшие условия для строительства как подземной, так и надземной части из унифицированных деталей. Круглая и эллиптическая формы позволяют легче воспринимать гидростатическое давление и давление грунта бетонными и железобетонными конструкциями подземной части, а также вести строительство опускным способом.

По характеру управления насосные станции могут быть:

с ручным управлением — все или часть операций по управлению агрегатами производятся обслуживающим персоналом;

автоматические — все операции по включению и выключению агрегатов производятся автоматически в зависимости от уровня воды в емкостях, давления или расхода воды в трубопроводах;

полуатоматические — насосный агрегат включается или выключается от единичной команды, заданной эксплуатационным персоналом, а вся дальнейшая работа выполняется автоматически;

с дистанционным управлением — управление насосной станцией производится из диспетчерского пункта, значительно удаленного от станции.

Приступая к проектированию, студент должен выбрать соответствующий тип насосной станции. Это решение может корректироваться в процессе проектирования. На практике тот или иной тип насосной станции обычно выбирают путем технико-экономического сравнения нескольких вариантов.

ОСНОВНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

§ 3. Типы основных насосов

В насосных станциях, разрабатываемых студентами в курсовом проекте, проектируются, в основном, центробежные насосы.

На водопроводных станциях обычно применяют насосы общего назначения, допускающие перекачивание воды с температурой до 85 °С и с содержанием твердых включений до 3 г/л, размером не более 0,1—0,2 мм.

На водопроводных насосных станциях чаще всего устанавливаются горизонтальные насосы двустороннего входа типа Д, а при подачах до 0,08 м³/с — консольные насосы типа К. На заглубленных насосных станциях I подъема, сооружение которых в условиях близкого залегания грунтовых вод затруднено, широко применяют вертикальные центробежные насосы типа В. Это позволяет уменьшить площадь машинного зала, удешевить строительство и улучшить условия эксплуатации вынесенных на первый этаж электродвигателей. При больших подачах (выше 1 м³/с) и при напорах от 4 до 25 м могут применяться осевые насосы.

В насосных станциях системы отведения бытовых стоков, как правило, устанавливаются насосы типа СД (сточные динамические) или СДВ (то же, вертикальные), предназначенные для перекачивания сточных вод с pH = 6... ...8,5, плотностью до 1050 кг/м³, температурой до 80 °С и содержанием абразивных частиц по объему до 1%. На насосных станциях систем водоотведения в некоторых случаях могут быть применены грунтовые насосы типа Гр и ГрУ.

Эксплуатационные свойства указанных насосов определяются их основными параметрами: подачей Q, напором H, КПД насоса η, мощностью насоса N, допустимой вакуумметрической высотой всасывания $H_{вак}^{доп}$ или допустимым кавитационным запасом $\Delta h^{доп}$. Важными характеристиками насосного агрегата являются частота вращения его рабочего колеса n и напряжение приводного электродвигателя U. Следует помнить, что параметры центробежных и осевых насосов H, η, N и $H_{вак}^{доп}$ ($\Delta h^{доп}$) даже при постоянной частоте вращения рабочего колеса переменны и зависят от подачи Q. Графики зависимости основных параметров насоса от

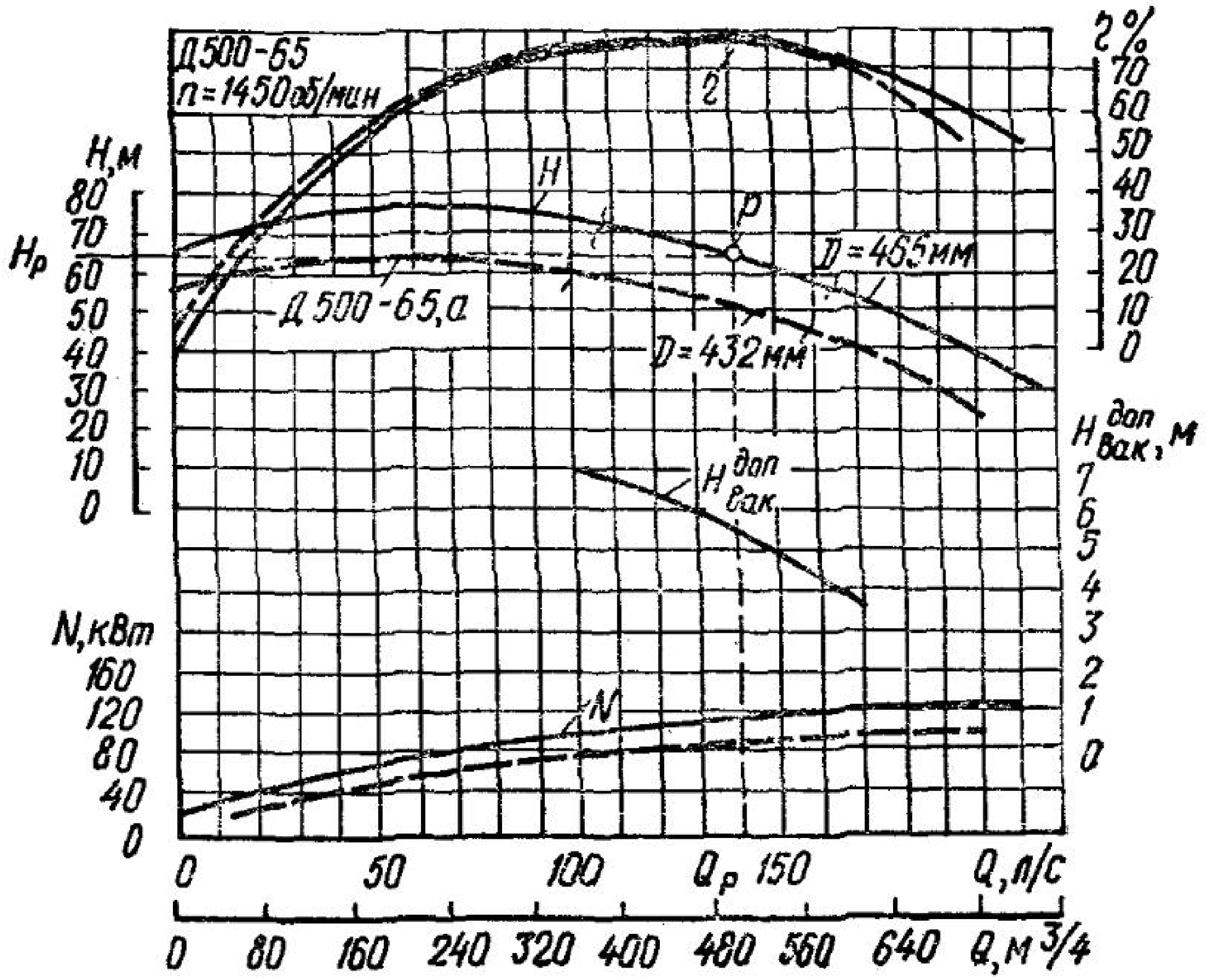


Рис. 2. Характеристики центробежного насоса

подачи называются *характеристиками насоса* (рис. 2). Центробежные и осевые насосы автоматически реагируют на изменение подачи, изменяя соответствующим образом напор. Характеристики насосов строятся по результатам натурных испытаний. Характеристики приводятся для определенной частоты вращения рабочего колеса. На графике часто приводятся характеристики для уменьшенных (обточенных) диаметров рабочего колеса, обозначаемые буквами а, б.

Точка характеристики $H = f(Q)$, отвечающая максимальному значению КПД, называется оптимальной режимной точкой. Соответствующие ей подача $Q_р$ и напор $H_р$ называются *оптимальными параметрами насоса* и с 1977 г. входят в обозначение насоса. Точка, соответствующая действительному режиму работы насоса,— рабочая точка, не всегда совпадает с оптимальной, но должна, по возможности, быть близка к ней. Исходя из допустимого уменьшения КПД на характеристиках часто выделяют рабочую часть, в пределах которой и должны находиться рабочие точки насоса.

Характеристики насосов приводятся заводами-изготовителями, как правило, для чистой воды температурой 20 °С при нормальном атмосферном давлении на отметке уровня мирового океана.

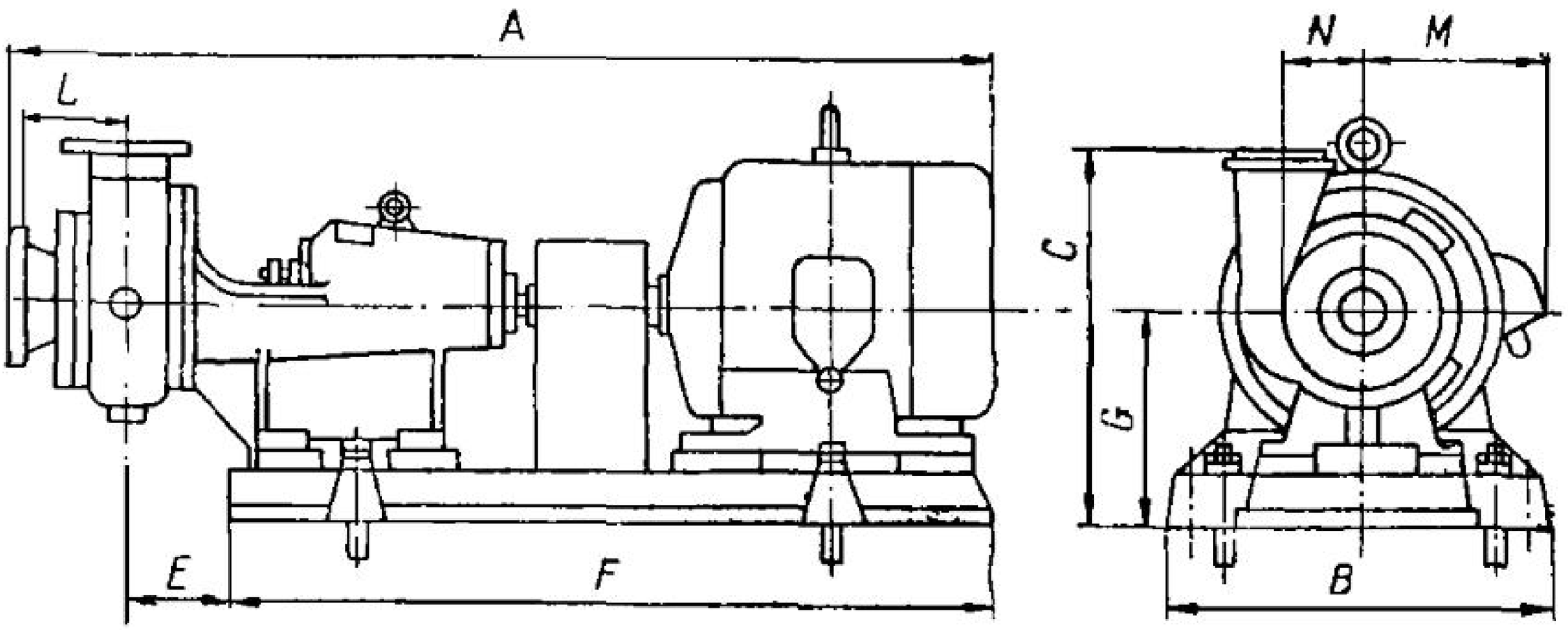


Рис. 3. Общий вид и габаритные размеры насосов типа К (СД, Гр) с электродвигателями

Центробежные консольные насосы типа К и КМ. Эти насосы — горизонтальные, одноступенчатые, с рабочим колесом одностороннего входа, консольно расположенным на конце вала насоса (рис. 3). Напорный патрубок может быть повернут на 90, 180 и 270° в зависимости от условий компоновки. Смазка подшипников — жидкая.

Консольные насосы выпускаются двух модификаций: собственно насос без двигателя — К, соединяемый с двигателем упругой муфтой, и в моноблочном исполнении — КМ.

Консольные насосы маркируются так: после букв К или КМ в числителе указана подача, м³/ч, а в знаменателе — напор, м, например, К-160/30. Сводный график полей $H = f(Q)$ насосов К и КМ приведен на рис. 4, размеры насосов — в прил. 4, а технические характеристики — в табл. 25 справочника [15].

Центробежные насосы с двусторонним подводом воды к рабочему колесу типа Д. Насосы этого типа — горизонтальные, одноступенчатые, с полуспиральным подводом воды.

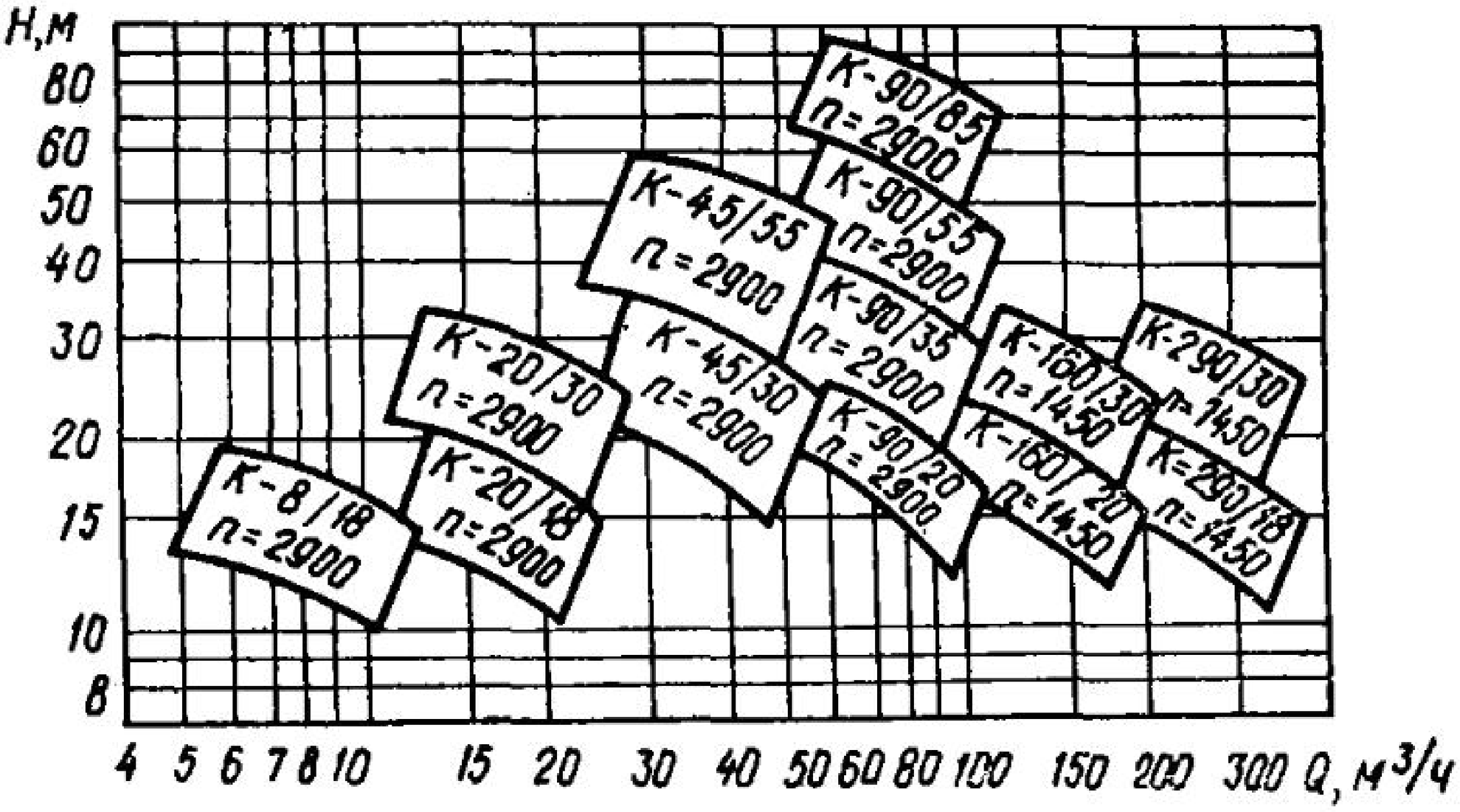


Рис. 4. Сводный график полей насосного типа К (КМ)

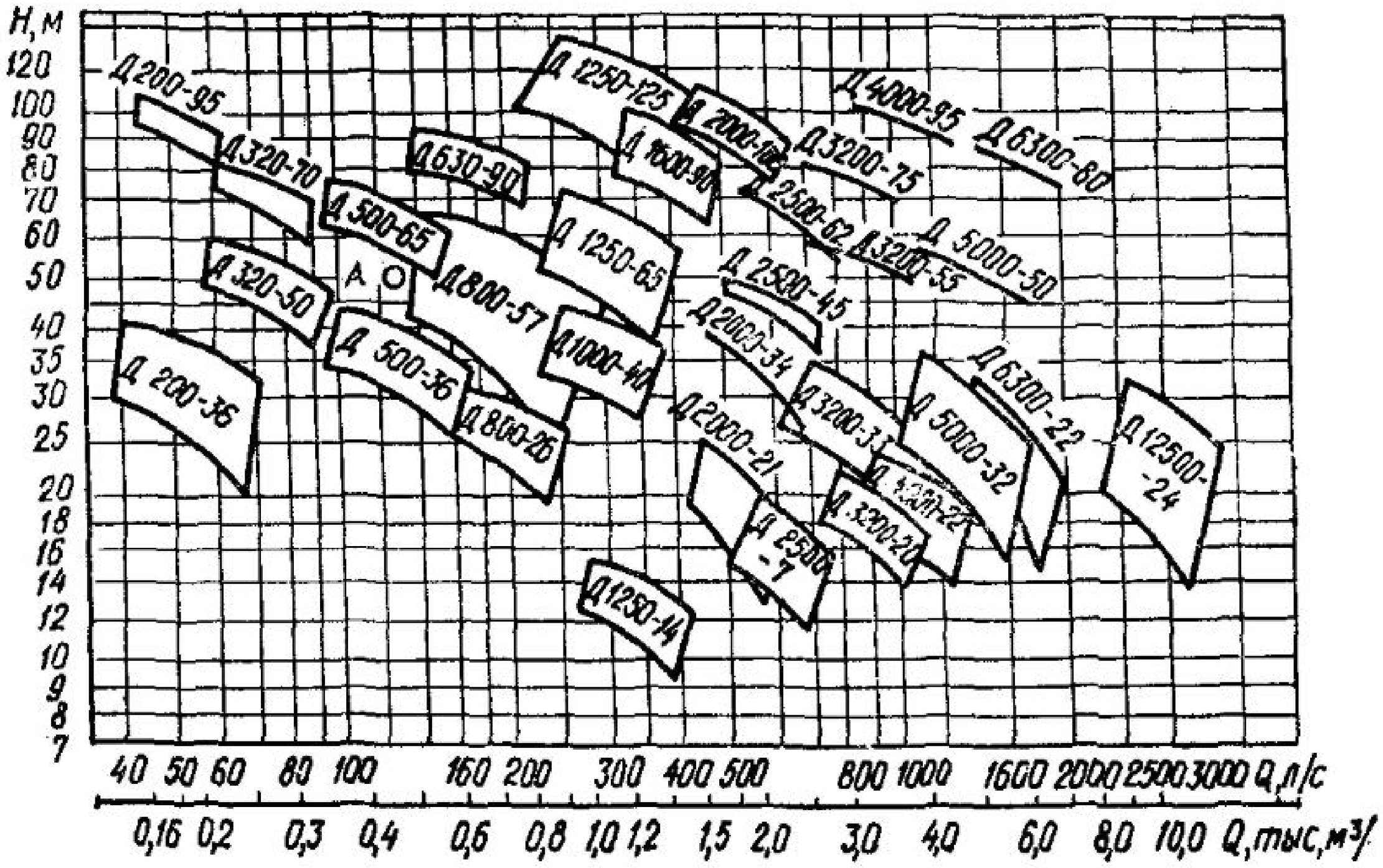


Рис. 5. Сводный график полей насосов типа Д

Корпус насоса чугунный, имеет горизонтальный разъем в плоскости расположения оси вала, что позволяет производить разборку и ремонт насоса без демонтажа трубопроводов.

Насосы с двусторонним подводом маркируются буквой Д, после буквы приводятся две цифры: первая указывает подачу, м³/ч, вторая — напор, например Д3200-75. Сводный график полей насосов типа Д приведен на рис. 5, их характеристики — в прил. 1, а габаритные размеры можно принимать по табл. 4 и 5 справочника [15].

Вертикальные центробежные насосы типа В. Своей конструкцией эти насосы напоминают консольные, расположенные вертикально (рис. 6). Приводные двигатели насосов устаналиваются на балках над насосами, что уменьшает потребную площадь пола машинного зала. Подшипники насосов типа В с резиновыми или лигнофолевыми вкладышами смазываются перекачиваемой водой, если содержание в ней взвешенных частиц не более 50 мг/л при допустимой их крупности и абразивности. При перекачивании загрязненной воды подшипники должны смазываться технически чистой водой из специальной системы водопровода.

Насосы типа В с подачей до 4 м³/с имеют на корпусе специальные лапы, с помощью которых они крепятся к фундаментным плитам, заанкеренным в бетон пола насосной станции. У более мощных насосов корпус до половины заливается бетоном. У насосов с подачей до 4 м³/с вода к входному патрубку подводится через всасывающее чугунное колено, у остальных насосов — по бетонной всасывающей

трубе. Отводится вода по напорному расположенному горизонтально патрубку.

Число, стоящее перед маркой В, указывает диаметр напорного патрубка, мм, а последующие две цифры означают: первая — подачу, $м^3/с$, вторая — напор, м. Сводный график полей насосов типа В приведен на рис. 7, характеристики отдельных насосов — в прил. 3, а размеры — в прил. 2.

Насосы для перекачивания сточной жидкости динамические типа СД. Это центробежные насосы с рабочим колесом одностороннего входа (ГОСТ 11379—80). Эти насосы выпускаются четырех видов: горизонтальные и вертикальные одноступенчатые, полупогружные и двухступенчатые. Так же, как в консольных насосах, напорный патрубок насосов может быть повернут на 90° в любую сторону.

Для охлаждения и гидравлического уплотнения сальников к этим насосам подводится техническая вода с напором на 2—3 м выше напора, развиваемого насосом. К крупногабаритным насосам техническая вода подводится с избыточным напором 10 м. Конструктивно одноступенчатые горизонтальные и вертикальные насосы серии СД напоминают, соответственно, насосы типов К и В (рис. 3 и 6).

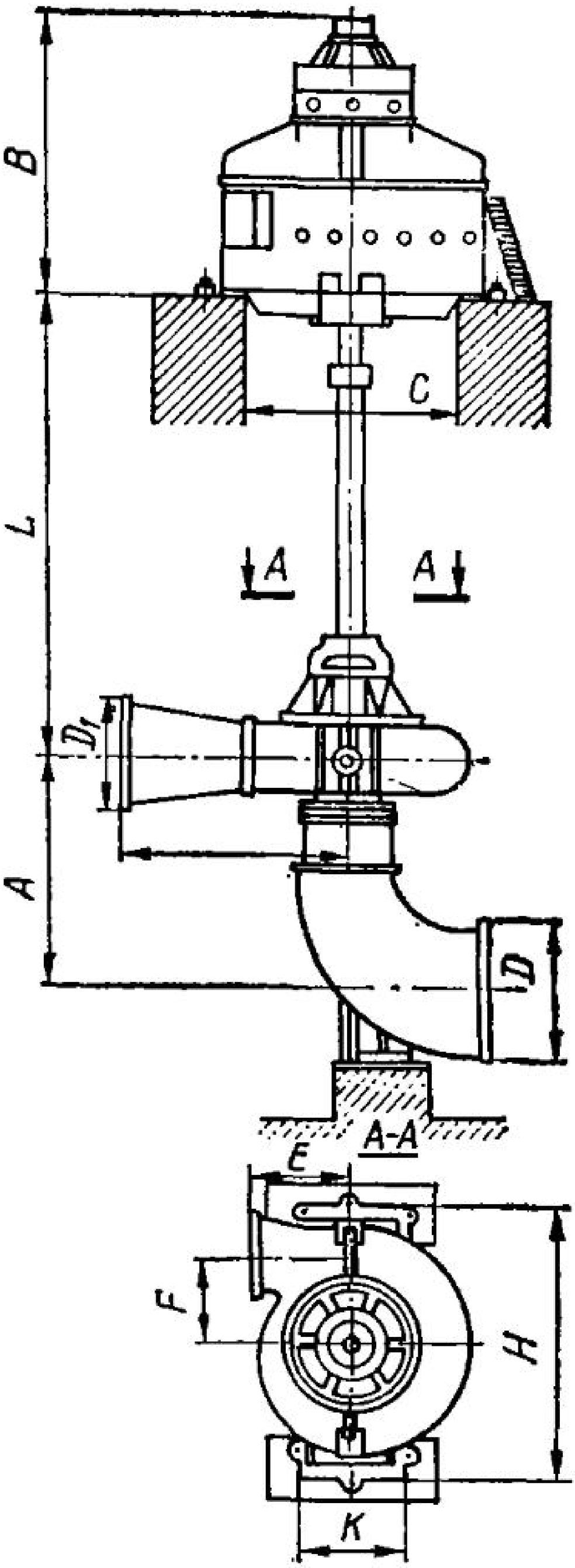


Рис. 6. Габаритные размеры вертикальных насосов типа В (СДВ) с электродвигателями

Буквы П и В, входящие в маркировку насоса, обозначают полупогружной или вертикальный тип, цифры в числителе — подачу, $м^3/ч$, в знаменателе — напор, м. Для двухступенчатых насосов к обозначению добавляется цифра 2. Например, горизонтальный двухступенчатый насос с подачей 540 $м^3/ч$ и напором 95 м обозначается СД 540/95-2. Сводный график полей насосов типа СД и СДВ приведен на рис. 8, характеристики отдельных насосов — в прил. 5, а разме-

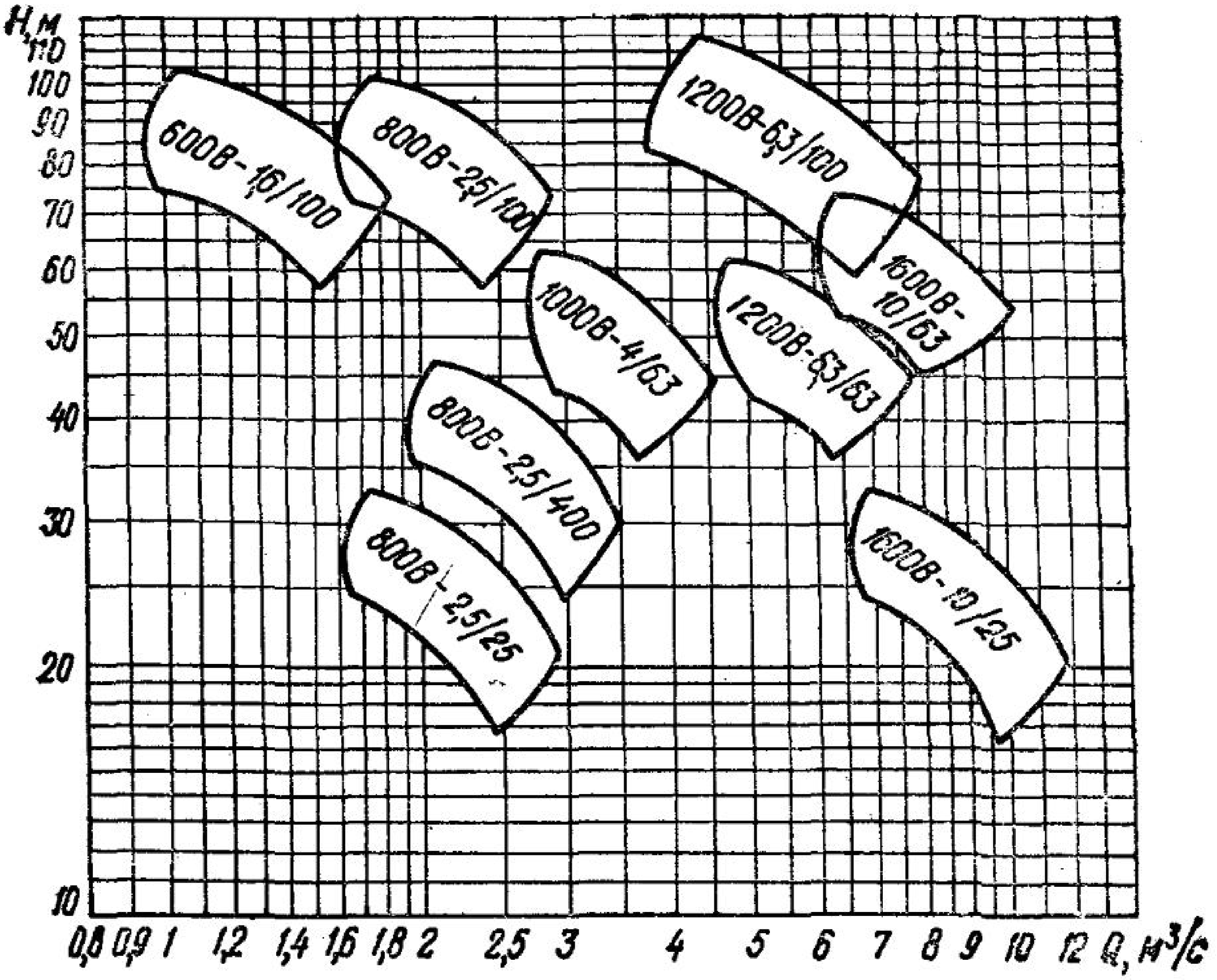


Рис. 7. Сводный график полей насосов типа В

ры — в прил. 4. Штриховыми линиями на рис. 8 показаны поля насосов, выпуск которых еще не освоен.

Вертикальные насосы СДВ применяются для перекачивания больших расходов сточной жидкости. Размеры насосов СДВ приведены в прил. 2.

Грунтовые насосы. Эти насосы можно, при необходимости устанавливать в насосных станциях систем отведения бытовых стоков. По совмещенным на рис. 9 графикам сводных полей грунтовых насосов (сплошные линии) и насосов типа СД (штриховые) видно, что в некоторых случаях грунтовые насосы перекрывают области, не охваченные полями насосов СД.

Грунтовые насосы типа Гр — центробежные консольные одноступенчатые, конструктивно напоминают насосы типа К (рис. 3). Грунтовые насосы предназначены для перекачивания гидросмесей (пульпы) с твердыми включениями частиц грунта. Характер перекачиваемой жидкости обусловливает некоторые конструктивные особенности, уменьшающие износ насоса: большие зазоры, упрощенный профиль лопастей рабочего колеса, меньшее их число Эти особенности приводят к снижению КПД, который у грунтовых

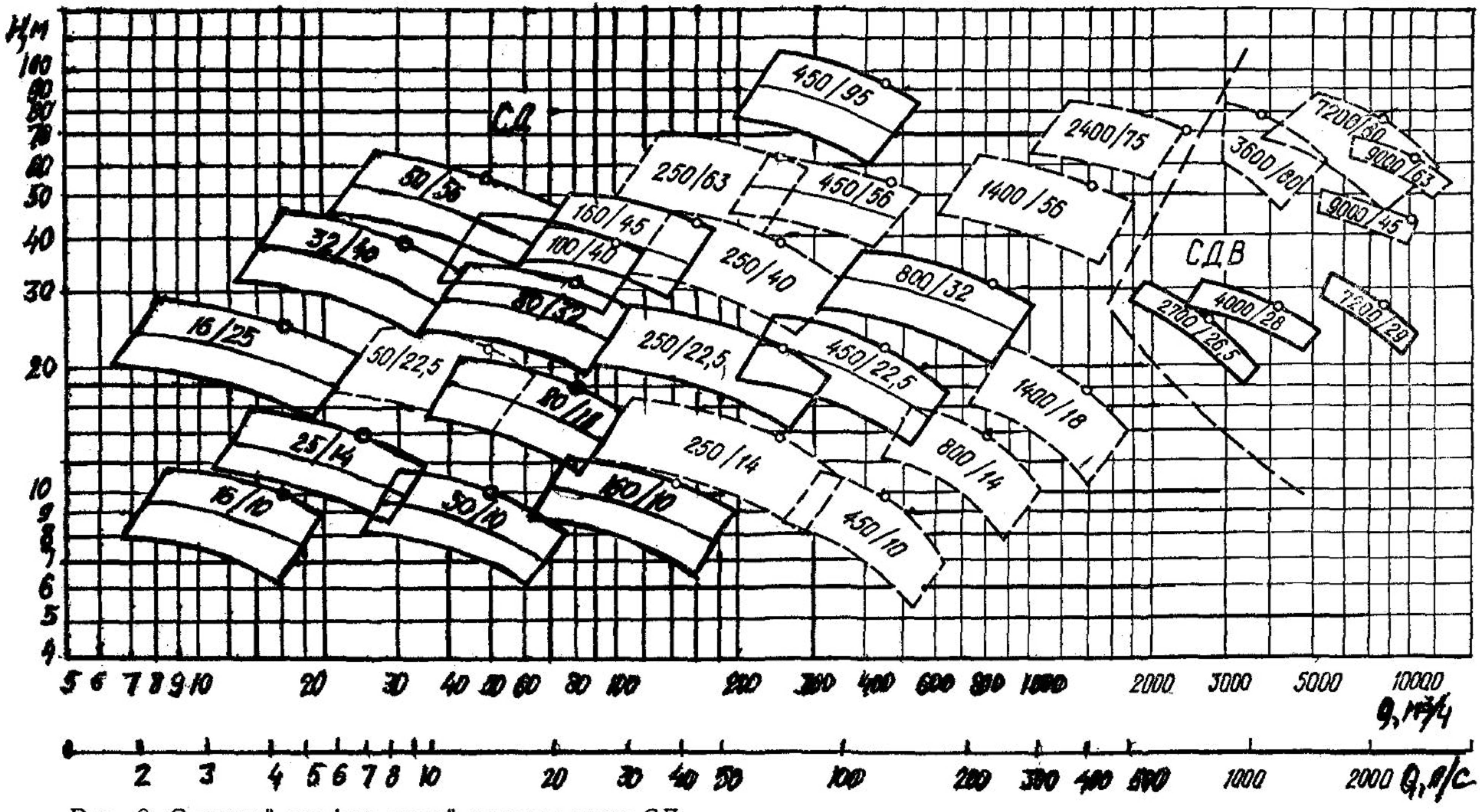


Рис. 8. Сводный график полей насосов типа СД

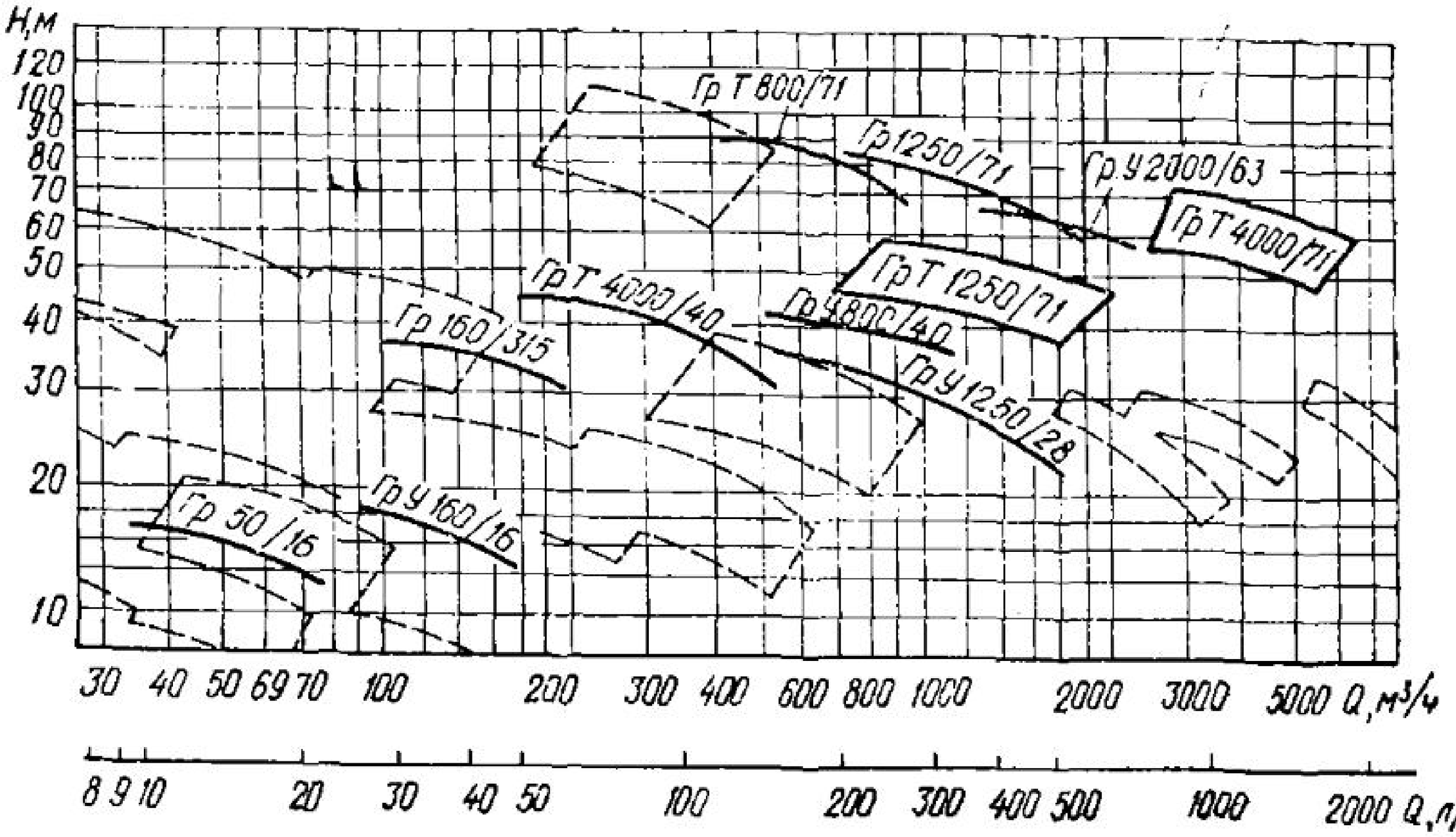


Рис. 9. Сводный график полей насосов типа Гр

насосов меньше, чем у насосов К или СД. Насосы типа ГрУ — грунтовые с увеличенным проходным сечением имеют динамические характеристики несколько хуже, чем насосы типа Гр.

Чистая вода, подводимая для охлаждения и уплотнения сальников, служит одновременно для промывки пространства между рабочим колесом и крышкой насоса. Напор технической воды должен быть на 5—10 м выше напора, развиваемого насосом.

Характеристики отдельных насосов приводятся в прил. 6, а размеры — в прил. 4.

§ 4. Выбор основных насосов, двигателей и их компоновка

Выбор насосов. Определив потребные (номинальные) расчетные напор и подачу насоса $H_н$ и $Q_н$, обращаются к сводным графикам полей насосов соответствующего типа (рис. 4, 5, 7, 8 и 9). Рабочие зоны каждого типоразмера насосов, выпускаемых отечественной промышленностью, представлены на этих графиках в виде криволинейных параллелограммов. Верхняя линия каждого поля — характеристика насоса с наибольшим, а нижняя — с наименьшим заводским диаметром рабочего колеса.

Определив марку насоса, более подробные сведения о нем и его характеристиках отыскивают в приложениях к настоящей работе, в каталогах, в справочной литературе [14, 15, 17, 18].

Характеристики насосов типа Д и В в прил. 1 и 3 приводятся в виде таблиц, выражающих основные технические показатели для трех значений подачи насоса. По этим данным строятся соответствующие графики.

Напор подобранного насоса при подаче $Q_н$ должен быть равен требуемому расчетному напору $H_н$ или превосходить его не более, чем на 10%. Если это условие не обеспечивается, прибегают к обточке рабочего колеса.

Допустимая величина обточки рабочего колеса и формулы для пересчета рабочих характеристик зависят от коэффициента быстроходности насоса

$$n_s = 3{,}65 \frac{n\sqrt{Q_р}}{H_р^{3/4}}, \qquad (1)$$

где n — частота вращения рабочего колеса насоса, об/мин; $Q_р$ — подача в оптимальной точке, м³/с (для насосов с двусторонним подводом принимается половина подачи); $H_р$ — напор в оптимальной режимной точке, м.

Допустимое максимальное значение обточки колеса центробежного насоса: для $n_s = 60...120$ 20—15 %, для $n_s = 120...200$ 15—10 %, для $n_s = 200...300$ 10—5 %.

Формулы для пересчета характеристик при обточенном колесе:

для $n_s \leqslant 150$

$$\left.\begin{aligned} \frac{Q_{об}}{Q} &= \frac{D_{об}}{D}; \\ \frac{H_{об}}{H} &= \left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2; \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

для $n_s > 150$

$$\left.\begin{aligned} \frac{Q_{об}}{H} &= \left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2; \\ \frac{H_{об}}{H} &= \left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2. \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

При обточке рабочего колеса с $n_s \leqslant 150$ соответствующие режимные точки смещаются по квадратичным параболам

$$H = kQ^2. \qquad (4)$$

При полном подобии насосов точки, лежащие на этих параболах, должны характеризоваться одинаковыми КПД. Практикой установлено, что для $n_s = 60...120$ КПД уменьшается на 1 % на каждые 10 % обточки, а для $n_s > 120$ — на каждые 4 % обточки рабочего колеса.

Пример. Выбрать насос типа Д, определить необходимый диаметр рабочего колеса и пересчитать его характеристику. Расчетные данные: $Q_н = 130$ л/с; $H_н = 50$ м.

По сводному графику (рис. 5) определяем, что рабочая точка A лежит вне рекомендуемых полей. Расчетные характеристики могут

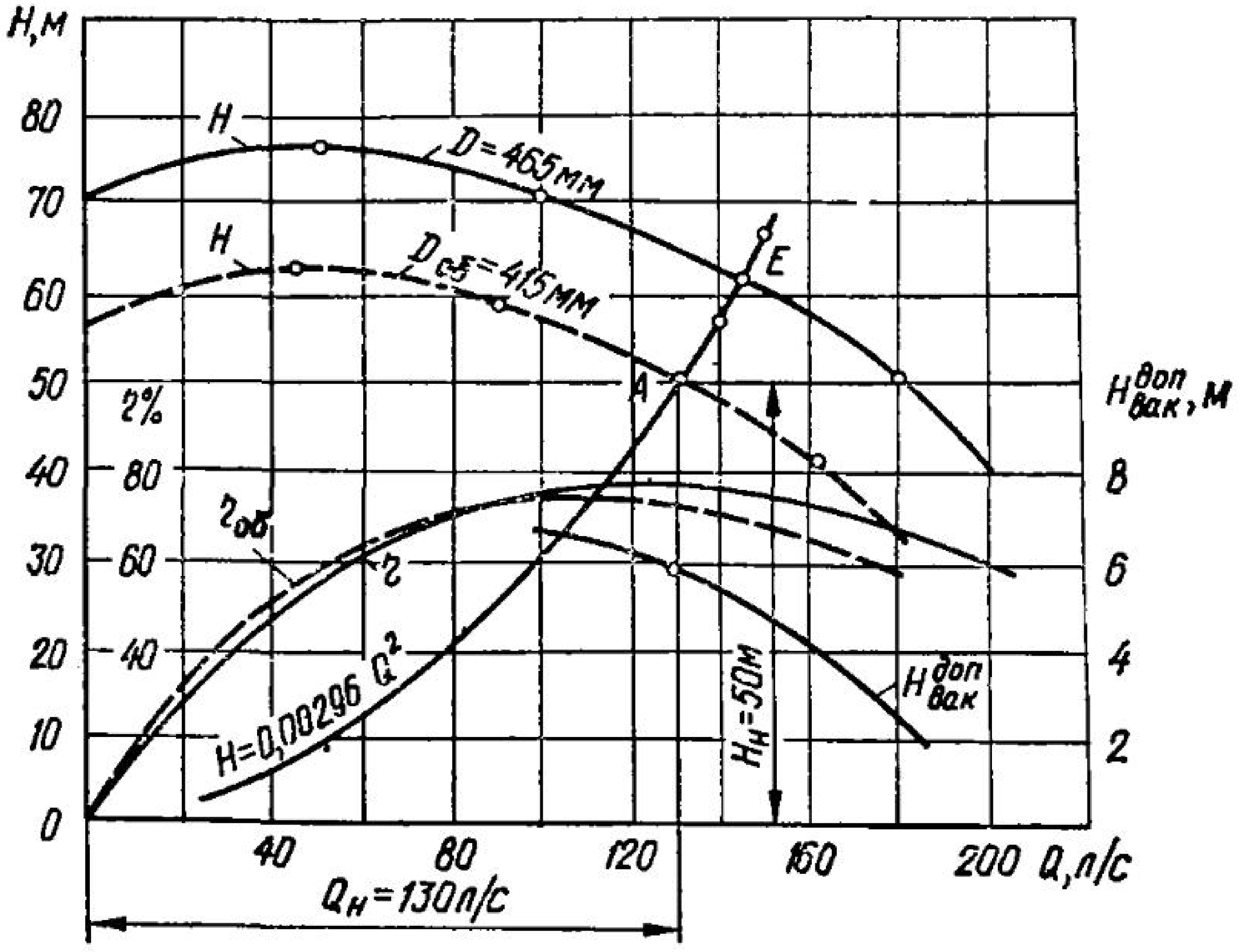


Рис. 10. Построение характеристик насоса с обточенным рабочим колесом

обеспечить: а) насос Д 800-57, работая за пределами рекомендуемого диапазона; б) насос Д 500-65 с диаметром рабочего колеса меньше заводского. Рассмотрим случай б.

По таблице прил. 1 строим характеристику насоса Д 500-65. На поле характеристики насоса наносим рабочую точку A, соответствующую $Q_н$ и $H_н$ (рис. 10). По формуле (1) определим значение коэффициента быстроходиости. Входящий в обозначение насоса оптимальный часовой расход пересчитываем в секундный и половину его подставляем в формулу. Напор $H_р$ принимаем по обозначению насоса — 65 м. Частота вращения насоса Д 500-65 равна 1450 об/мин. Тогда

$$n_s = 3{,}65 \cdot 1450 \cdot \sqrt{\frac{500}{2 \cdot 3600}} \cdot \frac{1}{65^{3/4}} = 60{,}92.$$

Для пересчета характеристик при обточением колесе следует применять формулы (2). Диаметр обточенного рабочего колеса можно иаходить простым подбором или определять путем построения кривой соответствия (4), проходящей через точку A:

$$k = H_н/Q_н^2 = 50/130^2 = 0{,}00296 \text{ м} \cdot \text{с}^2/\text{л}^2.$$

Задаваясь Q, определяем H и по точкам строим кривую соответствия $H = 0{,}00296Q^2$ от точки A до пересечения с характеристикой насоса (см. рис. 10):

Q, л/с	130	140	150
H, м	50	58	66,6

Находим точку E пересечения кривой соответствия с характеристикой $H = f(Q)$ при нормальном диаметре рабочего колеса $D =$

Таблица 2. **Пересчет характеристики насоса при обточке рабочего колеса**

$D = 465$ мм			$D_{об} = 417$ мм		
Q, л/с	H, м	η, %	$Q_{об}$, л/с	$H_{об}$, м	$\eta_{об}$, %
0	70	0	0	56,3	0
50	75	55	44,8	60,3	54
100	71	73	89,7	57,1	72
145	62	77	130	50	76
180	50	70	161,4	40,2	69

$= 465$ мм. Этой точке соответствует $Q_E = 145$ л/с, $H_E = 62$ м. Из соотношения (2) определяем диаметр обточенного рабочего колеса

$$D_{об} = D\frac{Q_{об}}{Q} = D\frac{Q_A}{Q_E} = 465\frac{130}{145} = 417 \text{ мм}.$$

Обточка колеса составляет $\frac{465 - 417}{465} \cdot 100 = 10\ \%$, что меньше 15—20 %, допустимых для данного насоса. Снимаем значения нескольких точек характеристики насоса с необточенным колесом и по формулам (2) пересчитываем их для диаметра 417 мм. Результаты пересчета приводим в табл. 2 и по ним на рис. 10 строим характеристику насоса с $D_{об} = 417$ мм.

Выбор электродвигателей. Электронасосные агрегаты (насосы и приводные двигатели к ним), как правило, поставляются заказчику заводом-изготовителем в комплекте. Поэтому при проектировании обязательно надо обращать внимание на напряжение электродвигателей, от которого существенно будет зависеть электрическая схема насосной станции.

При раздельной поставке или при частичной замене изношенного оборудования электродвигатель к насосу приходится подбирать. Электродвигатель подбирается по частоте вращения, рабочему положению (горизонтальный, вертикальный), мощности, напряжению и виду исполнения. В сухих отапливаемых помещениях устанавливают электродвигатели в защищенном исполнении с нормальной изоляцией, в неотапливаемых помещениях — с противосыростной изоляцией и в особо сырых (заглубленных) — закрытые электродвигатели.

При выборе типа электродвигателей основных насосов придерживаются примерно следующего принципа. До мощности 250 кВт устанавливают асинхронные электродвигатели

с короткозамкнутым ротором (напряжением 380 В при мощности до 100 кВт и 6000 В при больших мощностях). Если мощности превышают 250 кВт, устанавливают синхронные электродвигатели высокого напряжения (6000, 10 000 В).

Асинхронные двигатели — просты, компактны, но загружают сеть намагничивающим током ($\cos\varphi < 1$). У синхронных двигателей $\cos\varphi$ равен или больше единицы, что улучшает коэффициент мощности сети и экономит электроэнергию. Недостатком синхронных двигателей является их большая масса и большие (вместе с возбудителем) габариты.

Мощность, необходимая для привода насоса, определяется по формуле

$$P = k\frac{\rho g Q_м H_м}{1000\eta_м\eta_п}, \qquad (5)$$

где k — коэффициент запаса, учитывающий возможные перегрузки электродвигателя при эксплуатации, например, при запуске; определяется в зависимости от P:

Мощность электропривода P, кВт	<20	20—60	60—300	>300
Коэффициент запаса k	1,25	1,2	1,15	1,1

ρ — плотность перекачиваемой жидкости, кг/м^3; g — ускорение силы тяжести, м/с^2; $Q_м$ — подача насоса, максимально возможная в схеме проектируемой насосной станции, например, один насос на два водовода или работа насосов при снижении напоров во время пожара, м^3/с; $H_м$ — напор, соответствующий максимально возможной подаче $Q_м$, м; $\eta_м$ — КПД насоса, соответствующий $Q_м$; $\eta_п$ — КПД передачи (при соединении насоса с двигателем через упругую муфту $\eta_п = 1$).

Максимально возможная подача одного насоса при отключении остальных работающих определяется по графику совместной работы насосов и водоводов насосной станции. До построения такого графика ориентировочно максимально возможную подачу $Q_м$ можно определить по формуле

$$Q_м = k_м Q_н, \qquad (6)$$

где $Q_н$ — подача при включении всех рабочих агрегатов; $k_м$ — коэффициент, учитывающий увеличение подачи одного работающего насоса при отключении остальных; определяется в зависимости от числа рабочих насосов:

Число рабочих агрегатов	4	3	2	1
Коэффициент увеличения подачи $k_м$	1,25	1,18	1,11	1,00

Пример. Произвести ориентировочный расчет мощности для приводного электродвигателя к насосу Д 500-65, $n = 1450$ об/мин, $D = 465$ мм (характеристика приведена на рис. 2) с номинальной подачей $Q_н = 0{,}14$ м³/с. В насосной станции 4 рабочих насоса.

По формуле (6) ориентировочно определяем максимально возможную подачу насоса

$$Q_н = 1{,}25 \cdot 0{,}14 = 0{,}175 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По рабочим характеристикам насоса определяем $H_м = 52$ м и $\eta_м = 0{,}71$.

Предполагая, что $P \approx 100$ кВт, принимаем $k = 1{,}15$. Тогда

$$P = 1{,}15 \frac{1000 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}175 \cdot 52}{1000 \cdot 0{,}71 \cdot 1} = 144{,}5 \text{ кВт}.$$

Сверяясь с рекомендуемыми значениями коэффициента k, убеждаемся, что он принят правильно. Можно принять двигатель 4АН280М с синхронной частотой вращения 1500 об/мин, мощностью 160 кВт.

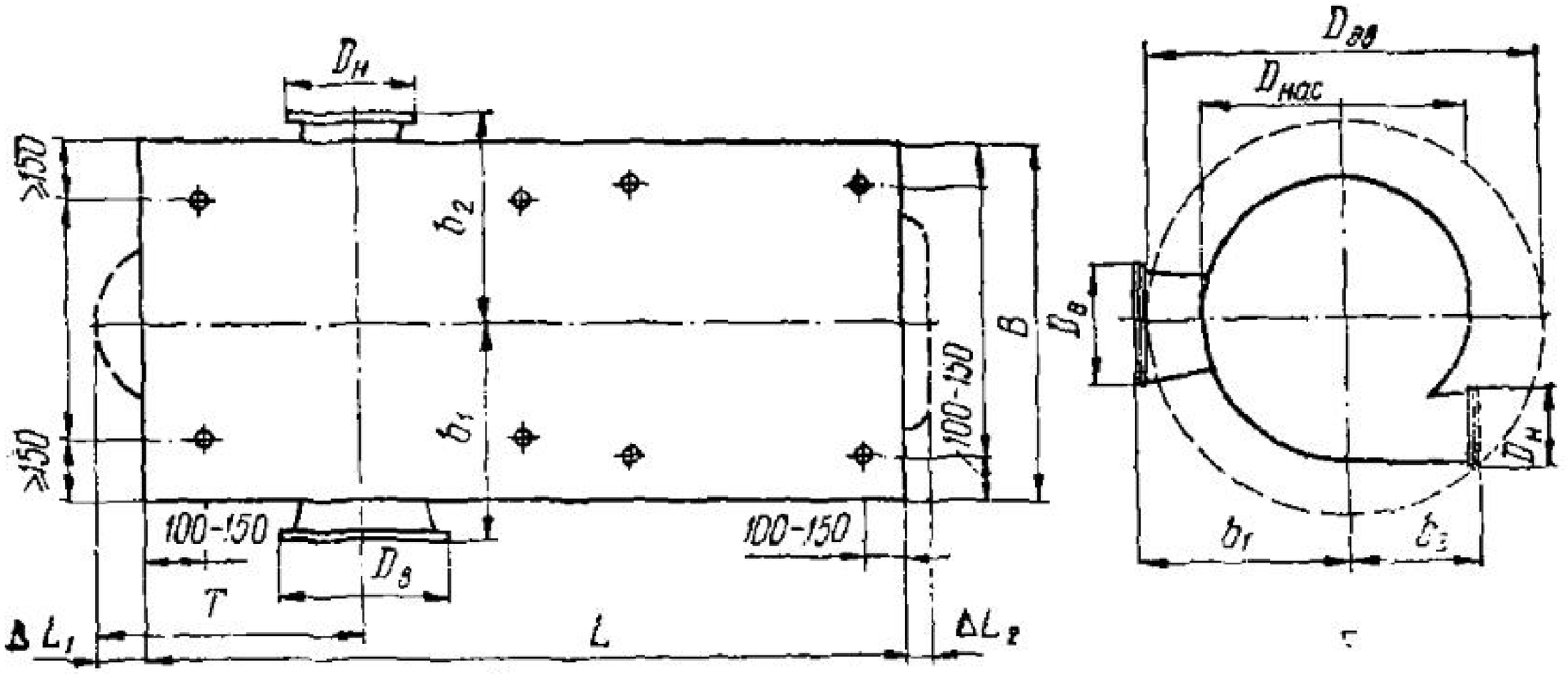
По характеристикам на рис. 2 можно определить мощность насоса, соответствующую $Q = 175$ л/с. Без учета коэффициента запаса $k = 1{,}15$ $N = 125$ кВт.

После построения графика совместной работы насосов и водоводов необходимо уточнить $Q_м$ и правильность выбора двигателя.

Конструирование рамы и определение размеров фундамента агрегата. Подобрав насос и электродвигатель, необходимо скомпоновать их в один агрегат, определить размеры этого агрегата, размеры и конструкцию фундамента, на котором он устанавливается, положение относительно фундамента всасывающего и напорного патрубков насоса.

Горизонтальные насосы типа К и небольшие насосы типа Д и СД монтируют с электродвигателями на общей чугунной плите заводского изготовления. Более мощные горизонтальные насосы монтируют на рамах, изготовляемых из прокатной стали. Насос и электродвигатель могут монтироваться как на общей, так и на раздельных рамах. Высота рамы принимается не менее 100 мм. Расстояние от края рамы до оси отверстий под крепежные болты должно составлять 50—100 мм, а расстояние от края рамы до края фундамента — не менее 50 мм.

При компоновке вычерчиваются фронтальная проекция насоса и электродвигателя, боковая проекция насоса и по ним — план расположения крепежных отверстий под насос и электродвигатель. Добавив по 100—150 мм к крайним отверстиям, можно получить минимальные размеры фундамента в плане. Форма фундамента в плане может быть в виде простого прямоугольника или более сложной. Определяются его длина L и ширина B.



а

Рис. 11. Монтажные пятна насосов:
а — горизонтального; *б* — вертнкального

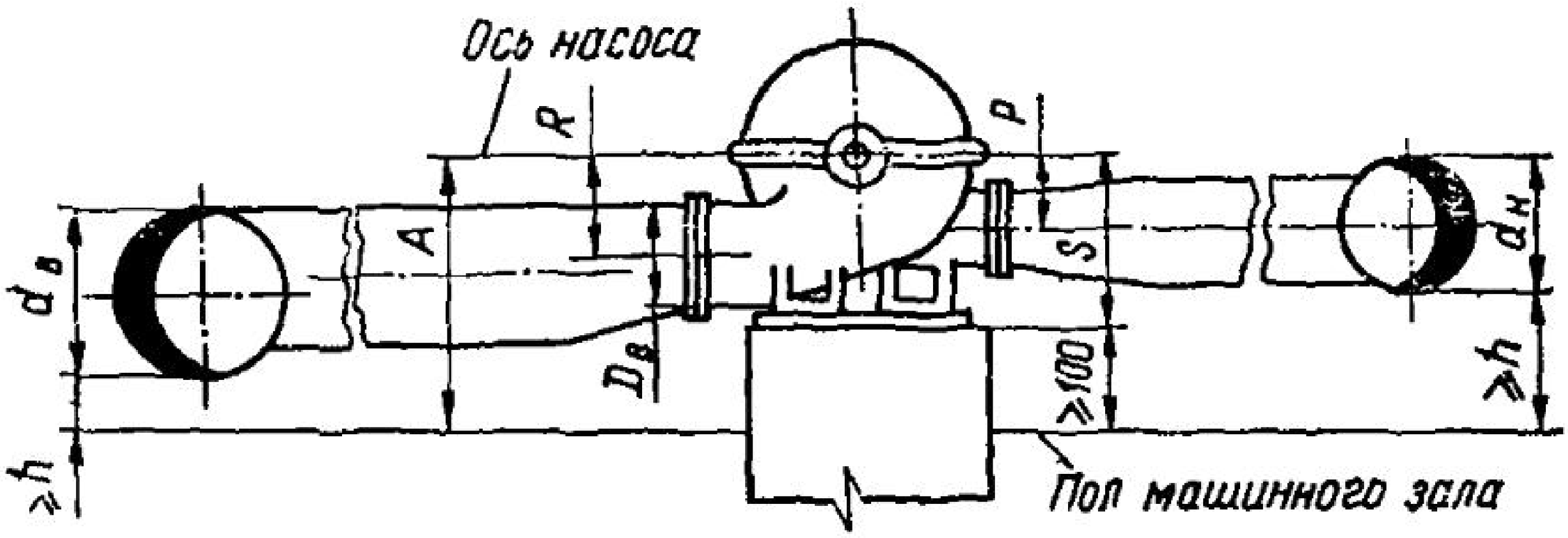


Рис. 12. Схема к определению возвышения фундамента насоса над полом

На план наносится ось, соответствующая положению рабочего колеса, и привязкой к ней определяется длиа выступающих за пределы фундамента частей агрегата ΔL_1 и ΔL_2. По размерам боковой проекции на расстояниях b_1 и b_2 наносится положение всасывающего диаметром $D_в$ и напорного диаметром $D_н$ патрубков насоса. План фундамента с нанесенными патрубками и выступающими за его пределы габаритами насоса называется «монтажным пятном» и служит основным элементом при компоновке оборудования и определении размеров машинного зала (рис. 11).

В курсовом проекте, при отсутствии у студента необходимых данных о расположении опорных лап насосов типа Д и электродвигателей к ним, допускается упрощенное определение «монтажного пятна». Длина фундамента принимается равной длине агрегата насос — электродвигатель, ширина — расстоянию от всасывающего до напорного патрубка. Ось агрегата должна совпадать с осью фундамента, поэтому один из патрубков может выходить за пределы фундамента.

Возвышение фундаментов над уровнем чистого пола машинного зала принимают не менее 100 мм. При прокладке внутристанционных трубопроводов над полом возвышение фундамента назначают с учетом допустимого размещения труб над полом (см. рис. 12). В этом случае от оси насоса до пола машинного зала принимается большее из расстояний A_1, A_2 или A_3:

$$A_1 = P + 0{,}5d_н + h; \tag{7}$$

$$A_2 = R - 0{,}5D_в + d_в + h; \tag{8}$$

$$A_3 = S + 100, \tag{9}$$

где P, R и S — конструктивные размеры насоса; $d_в$, $d_н$ и $D_в$ — диаметры всасывающего и напорного трубопроводов и всасывающего патрубка насоса; h — минимальное расстояние до пола, принимаемое по табл. 6.

В заглубленных и полузаглубленных насосных станциях для защиты от возможного затопления при аварии в пределах машинного зала электродвигатели насосов располагаются на высоте не менее 0,5 м от пола машинного зала.

В заглубленных и полузаглубленных насосных станциях блочного или камерного типа фундамент насоса опирается на монолитную конструкцию или железобетонную плиту, составляющие оенование здания.

В наземных и частично загубленных насосных станциях при низком уровне грунтовых вод глубина заложения фундаментов насосов зависит от расположения внутристанционных трубопроводов и определяется расчетом на устойчивость к вибрациям. В любом случае она должна быть не менее 500—600 мм. При этом учитывается глубина заложения соседних фундаментов насосной станции.

Приводные двигатели вертикальных насосов В, СДВ, ОВ и ОПВ устанавливаются над насосами на балках междуэтажного перекрытия.

При составлении «монтажного пятна» вертикального насоса упрощенно вычерчиваются его габариты в плане с нанесением положения всасывающего и напорного патрубков. Штриховой линией вычерчивается габарит расположенного над насосом электродвигателя.

Возможные схемы расположения насосных агрегатов в насосной станции представлены в учебнике [21]. Ширину проходов между выступающими частями насосов, трубопроводов и двигателей (рис. 13) следует принимать не менее: a — между агрегатами — 1 м; b — между агрегатами и стеной — 1 м, в заглубленных станциях — 0,7 м; c —

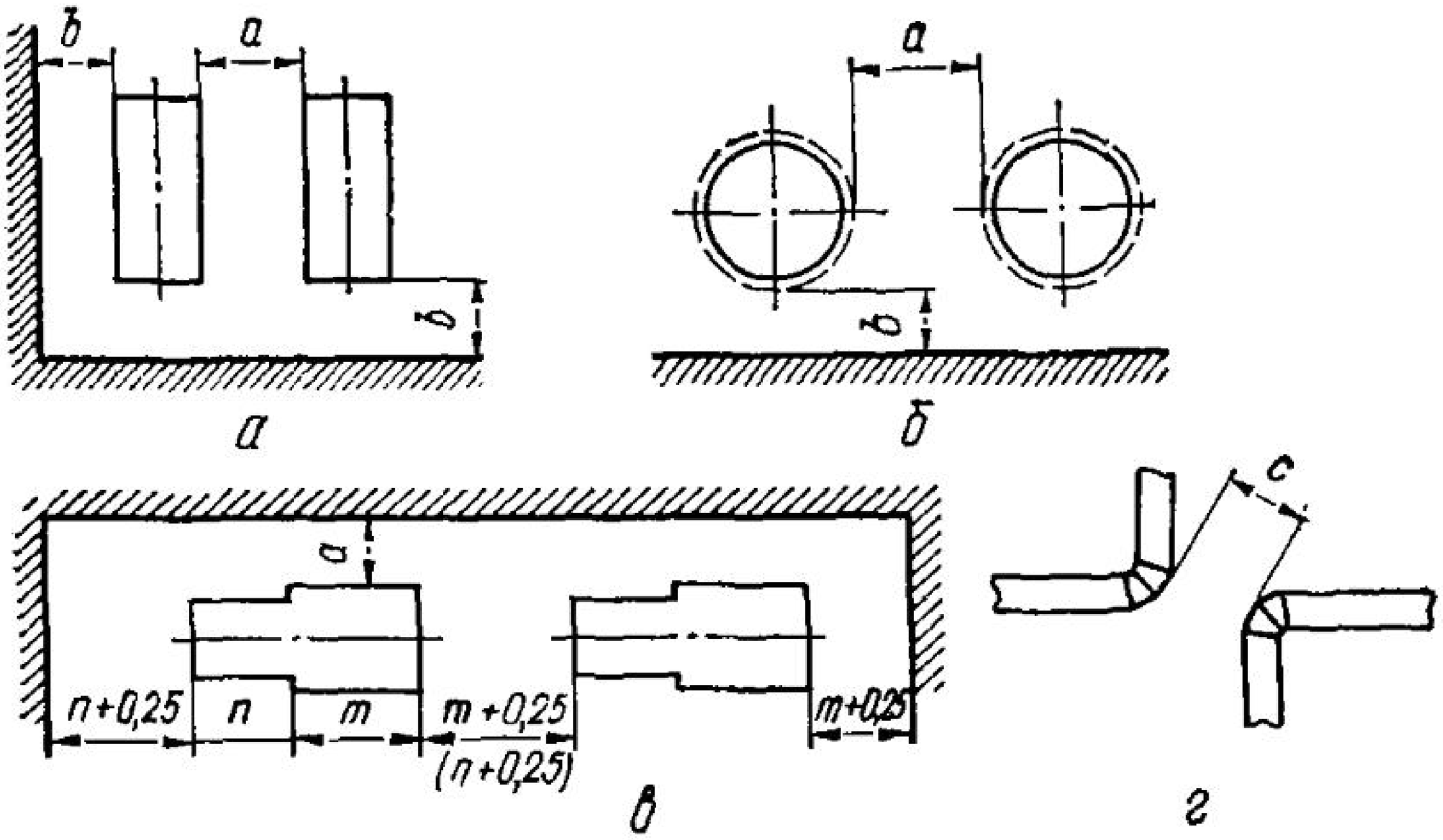


Рис. 13. Схема к определению ширины проходов в машинном зале:

а — с горизонтальными насосамн; *б* — с вертикальными насосами; *в* — с учетом демонтажа ротора электродвигателя; *г* — между трубопроводами

между неподвижными выступающими частями оборудования и трубопроводов — 0,7 м.

У насосов с торцевым разъемом и у большинства электродвигателей вал с рабочим колесом или вал с якорем электродвигателя при разборке выдвигается наружу по направлению оси агрегата. Длина вала приблизительно равна длине насоса или электродвигателя, соответственно. Для больших насосов, ремонт которых производится без демонтажа насоса или электродвигателя, расстояние между агрегатами или агрегатом и стенкой должно приниматься на 0,25 м больше длины вала насоса или электродвигателя.

§ 5. Трубопроводы насосной станции

Трубопроводы насосной установки подразделяются на всасывающие и напорные, внутристанционные и наружные. Разные условия работы заставляют по-разному проектировать всасывающие и напорные трубопроводы. Разными принципами руководствуются при выборе материала и экономически выгодного диаметра наружных и внутристанционных трубопроводов.

Наружные напорные водоводы. При выборе их материала в первую очередь следует ориентироваться на неметаллические трубы: асбестоцементные, пластмассовые и железобетонные. Асбестоцементные рекомендуется применять при диаметрах до 500 мм включительно и напорах, не превы-

Таблица 3. **Значения коэффициентов в формуле (11), зависящие от материала труб**

Трубы	m	k	α	b	R
Стальные	5,1	0,00179	1,4	53	4,6
Чугунные	5,1	0,00179	1,6	107	3,3
Асбестоцементные	4,89	0,00118	1,95	78	7,3
Железобетонные	4,89	0,00169	1,3	100	3,3
Пластмассовые	4,77	0,00105	1,95	150	4,6

шающих 120 м. При диаметрах свыше 500 мм и напорах до 90 м рекомендуется применять железобетонные трубы. При больших напорах, в условиях предприятий и населенных мест со сложными подземными коммуникациями, а также в других случаях при соответствующем технико-экономическом обосновании водоводы могут проектироваться стальными или чугунными.

Диаметры водоводов выбираются с учетом стоимости труб, производства работ и эксплуатационных затрат на электроэнергию, определяемых гидравлическим сопротивлением в трубопроводах. Чем меньше диаметр труб, тем меньше их строительная стоимость, однако, тем больше гидравлическое сопротивление и затраты на электроэнергию. Оптимальным считается вариант с наименьшими суммарными затратами.

Расчетный расход одного напорного водовода

$$Q_{н.в} = \frac{Q_{н.с}}{n_{н.в}}, \qquad (10)$$

где $Q_{н.с}$ — расчетная подача насосной станции; $n_{н.в}$ — число напорных водоводов.

Число напорных водоводов от станций I и II категории принимается не менее двух. Если при двух водоводах их диаметры оказываются более 1400 мм, то число водоводов увеличивают.

Для каждого диаметра при определенных условиях строительства и эксплуатации, характеризуемых так называемым экономическим фактором Э, существуют определенные расходы, при которых экономически оправдано применение именно этого диаметра.

Величину экономического фактора вычисляют по формуле

$$Э_ф = 85\,900 \frac{mk\sigma}{\alpha b\,(12{,}5 + R)}, \qquad (11)$$

Таблица 4. **Предельные экономические расходы, л/с, для трубопроводов из разных материалов при Э = 1**

Условный проход, мм	Трубы				
	стальные	чугунные	асбестоцементные	железобетонные	пластмассовые
100	10,6	8,4	9,2	—	9,2
150	19,8	22,4	19,9	—	19
200	42	40,6	40,7	—	32,6
250	65	65,3	65,3	—	61,5
300	93	96	95,6	—	81,5
350	128	132	133	—	121
400	167	175	201	—	162
450	213	227	—	—	222
500	286	313	361	329	294
600	402	461	—	380	491
700	537	642	—	541	—
800	705	857	—	731	—
900	897	1110	—	952	—
1000	1213	1532	—	1305	—
1200	1744	—	—	1714	—
1400	2231	—	—	2438	—
1500	2578	—	—	—	—
1600	2666	—	—	3052	—

где m и k — показатель степени при диаметре и коэффициент в формуле для гидравлического уклона (табл. 3); σ — стоимость электроэнергии, коп./(кВт · ч); α и b — показатель степени при диаметре и коэффициент в формуле для определения строительной стоимости водоводов (табл. 3); R — отчисления на амортизацию, % (табл. 3).

В табл. 4 для труб соответствующего материала и диаметра приводятся предельные наибольшие экономические расходы для условий, характеризуемых значением экономического фактора Э = 1.

Для выбора экономически выгодного диаметра по этой таблице вычисляют расход, приведенный к значению экономического фактора, равному единице

$$Q_{пр} = Q_{н.в} \sqrt[3]{Э_ф}. \qquad (12)$$

Пример. Определить диаметр стального водопровода при $Q_{н.в} = 800$ л/с и $\sigma = 1{,}2$ коп./(кВт · ч)

$$Э_ф = 85\,900 \frac{5{,}1 \cdot 0{,}00179 \cdot 1{,}2}{1{,}4 \cdot 53 \cdot (12{,}5 + 4{,}6)} = 0{,}74.$$

Определяем приведенный расход

$$Q_{пр} = 800 \cdot \sqrt[3]{0{,}74} = 725 \text{ л/с}.$$

Для расхода 725 л/с по табл. 4 принимаем трубопровод диаметром 900 мм.

Наружные всасывающие водоводы. Число линий таких водоводов на насосных станциях должно быть не менее двух. При выключении одной линии остальные должны быть рассчитаны на пропуск полного расчетного расхода для насосных станций I и II категории и 70 % расчетного расхода для III категории.

Расчетный расход одного всасывающего водовода определяется по формуле

$$Q_{в.в} = \frac{Q_{н.с}}{n_{в.в} - 1}, \qquad (13)$$

а для насосных станций III категории

$$Q_{в.в} = 0{,}7 \frac{Q_{н.с}}{n_{в.в} - 1}, \qquad (14)$$

где $Q_{н.с}$ — максимальная подача насосной станции; $n_{в.в}$ — число всасывающих водоводов.

Для водоводов, в которых возможен вакуум, рекомендуется принимать стальные трубы. Всасывающий трубопровод должен иметь непрерывный подъем к насосу с уклоном не менее 0,005. Диаметр всасывающего водовода выбирается с учетом рекомендуемых скоростей (табл. 5).

Внутренние трубопроводы насосных станций. Внутренние трубопроводы следует выполнять из стальных труб, соединенных на сварке. Диаметры труб внутри насосных станций принимаются несколько меньшими, чем для наружных водоводов, так как от размеров труб зависят размеры и стоимость здания насосной станции. Скорости движения воды, рекомендуемые СНиП для внутрисганционных трубопроводов, приводятся в табл. 5.

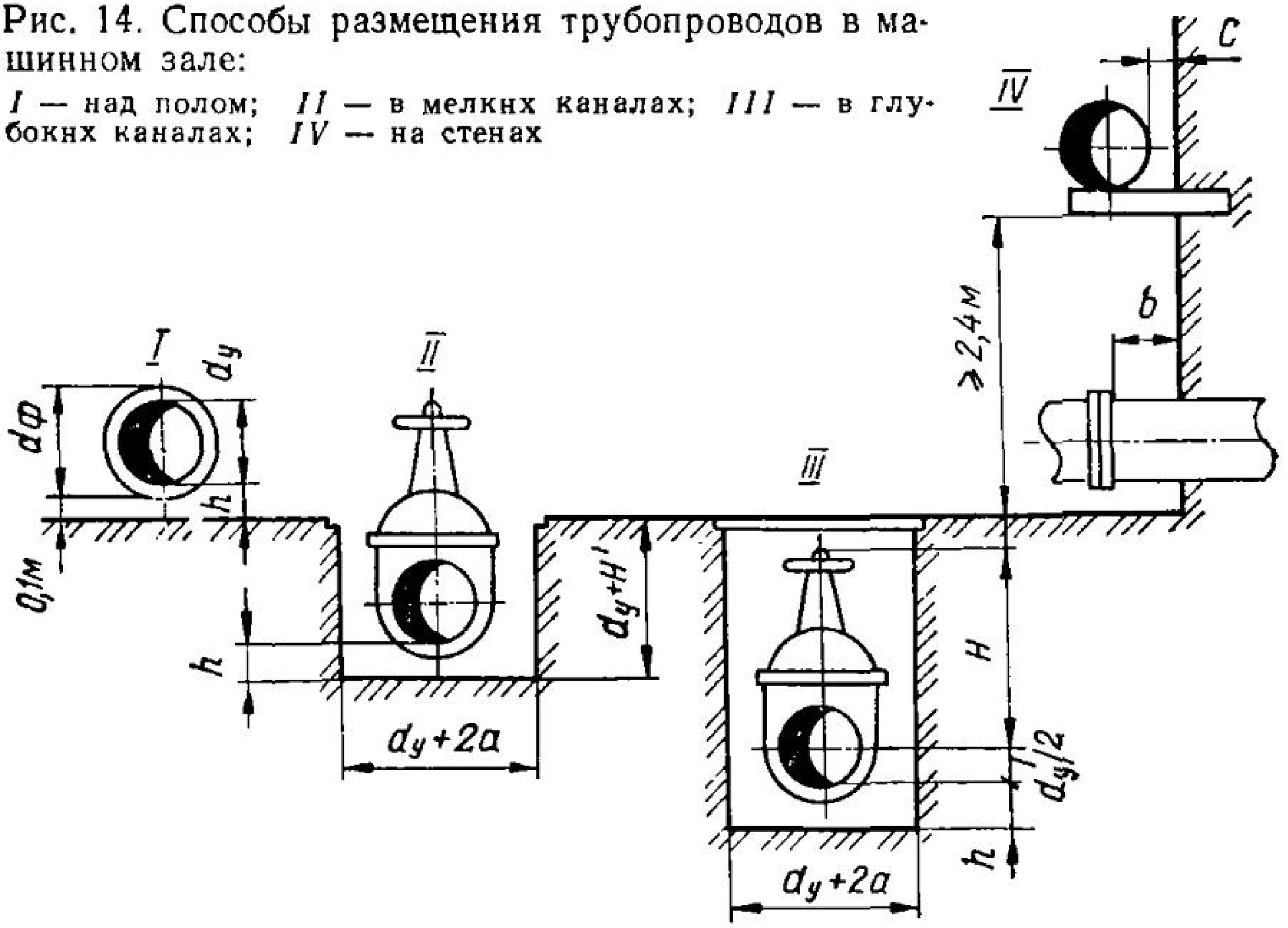
Диаметры внутристанционных трубопроводов должны соответствовать стандартным диаметрам выпускаемой арматуры (задвижек, обратных клапанов), которая размеща-

Таблица 5. **Скорости движения воды в трубопроводах насосных стаиций**

Диаметр труб, мм	Скорости движения воды в трубопроводах насосных станций, м/с	
	во всасывающем	в напорном
⩽250	0,6—1	0,8—2
300—800	0,8—1,5	1,0—3
>800	1,2—2	1,5—4

Рис. 14. Способы размещения трубопроводов в машинном зале:

I — над полом; *II* — в мелкнх каналах; *III* — в глубокнх каналах; *IV* — на стенах



ется на них. Диаметры труб, как правило, больше диаметров патрубков насосов и соединяются с ними переходами.

Трубопроводы внутри насосной станции могут располагаться (рис. 14) над поверхностью пола с устройством мостков над трубопроводами; в мелких каналах, когда маховик задвижки возвышается над полом; в глубоких каналах; на кронштейнах у стен машинного зала; в подвалах.

Размеры каналов и минимальное удаление труб от стен и пола назначаются из условия возможности монтажа и обслуживания арматуры по табл. 6.

Трубопроводы могут размещаться комбинированно: часть — над полом, часть — в каналах и т. п.

Таблица 6. **Рекомендуемые размеры к размещенню трубопроводов в машинном зале (см. рнс. 14)**

Размер, мм	$d_y \leqslant 400$	При наличии арматуры		При отсутствии арматуры	
		$d_y =$ = 450...600	$d_y > 600$	$d_y =$ = 450...600	$d_y > 600$
a	300	500	700	400	400
b	300	500	500	500	500
h	250	300	350	250	250
c	250	350	500	350	350
H	400	600	600	600	600

Фасонные части. Фасонные части на трубах внутри насосных станций, как правило, стальные сварные. Стандартные размеры и вес фасонных частей для спецификации следует брать по справочнику [14]. Ориентировочно при компоновке машинного зала их размеры можно принимать по рис. 15.

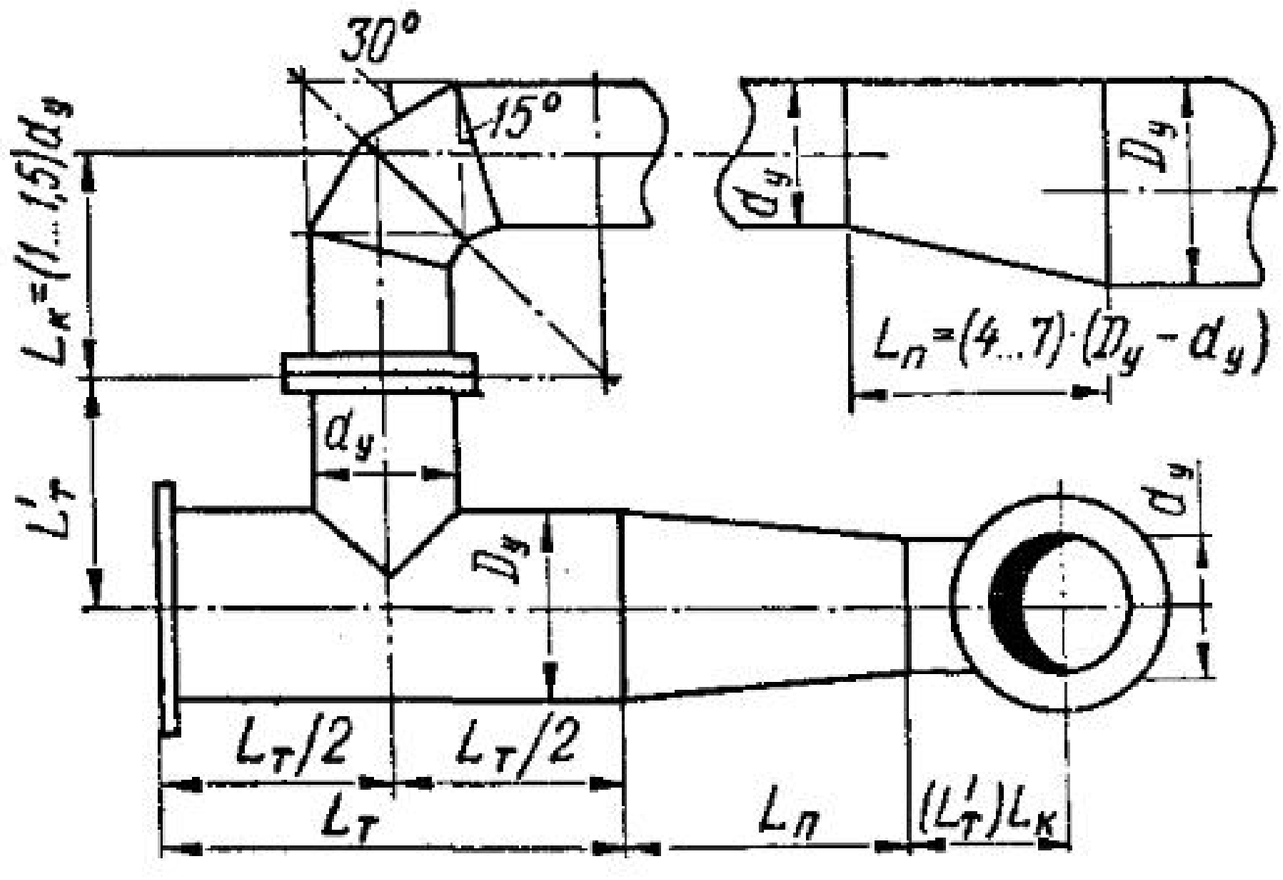


Рис. 15. Сварные фасонные части

Длина $L_к$ (радиус закругления) колена принимается равной $d_у$ или $1{,}5d_у$. Длина переходов принимается $L_п = (4...7) \cdot (D_у - d_у)$. У тройников $L_т = 2D_у + C$, где $C \geqslant 150$ мм при $D_у \leqslant 150$ мм и $C \approx 100$ мм при $D_у > 150$ мм.

Расстояние до фланца на боковом подключении $L'_т = 0{,}5\ D_у + b$, где $b = 150$ мм при $d_у \leqslant 300$ мм и $b = 200$ мм при $d_у > 300$ мм.

Фланцевые соединения применяются при соединении трубопроводов с насосами и в местах установки арматуры. Фланцы дороги и требуют постоянного внимания при эксплуатации, поэтому установка лишних фланцев недопустима.

Всасывающие трубопроводы, давление в которых меньше атмосферного, должны проектироваться так, чтобы исключить возможность образования в них воздушных мешков [21].

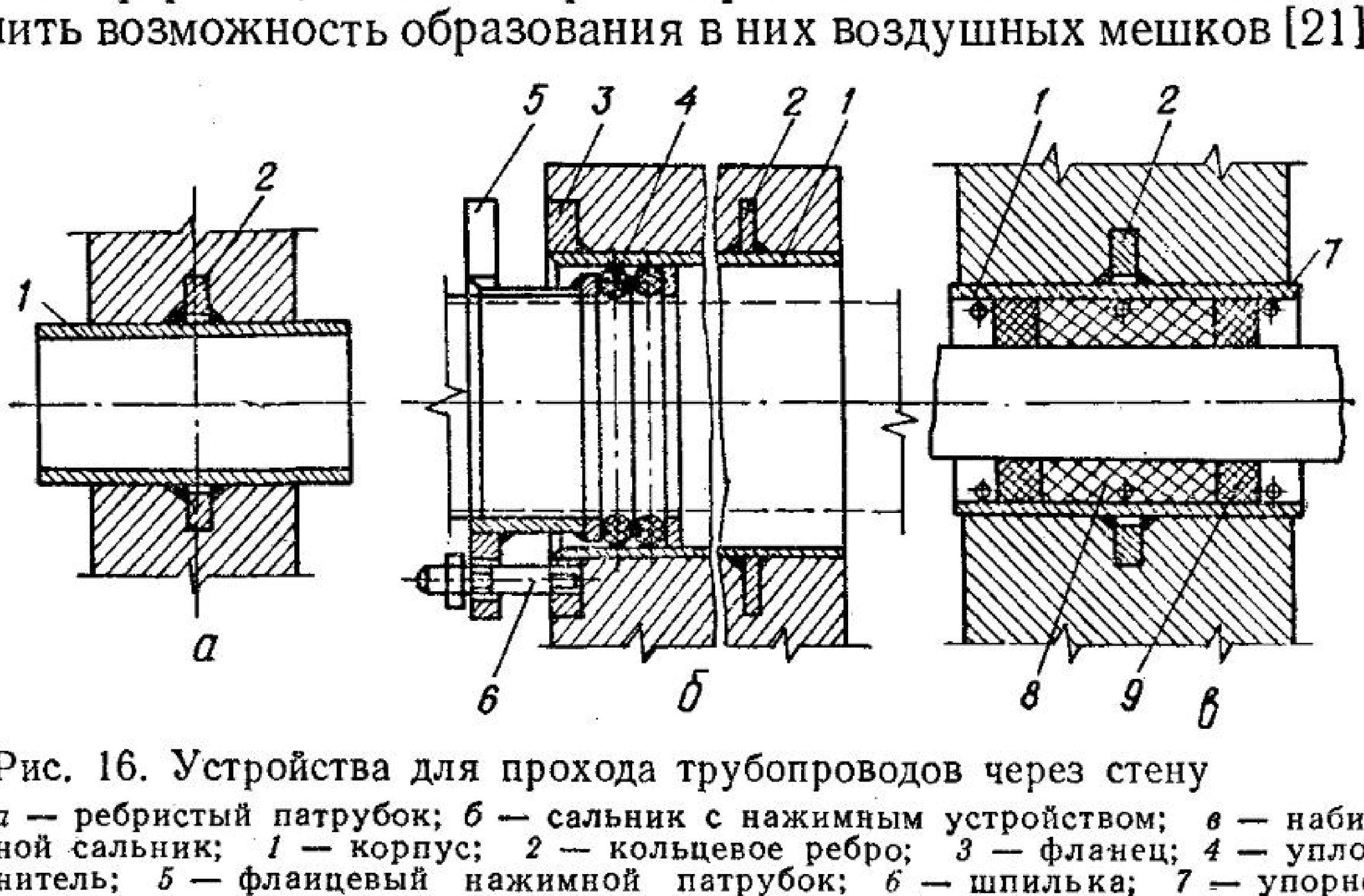


Рис. 16. Устройства для прохода трубопроводов через стену

а — ребристый патрубок; *б* — сальник с нажимным устройством; *в* — набивной сальник; *1* — корпус; *2* — кольцевое ребро; *3* — фланец; *4* — уплотнитель; *5* — флаицевый нажимной патрубок; *6* — шпилька; *7* — упорное кольцо; *8* — сальниковая набивка; *9* — зачеканка

Пропуск труб через стены зданий насосных станций. Жесткая заделка труб в стены осуществляется с помощью ребристого патрубка, который омоноличивается в нужном месте при бетонировании стены (рис. 16, *а*). Приварное ребро увеличивает прочность заделки и уменьшает фильтрацию вдоль трубы. Концы патрубка могут быть гладкими (под сварку) или с приварными фланцами. Жесткая заделка труб применяется, чаще всего, в стенах внутри станций водоотведения и насосных станций I подъема совмещенного типа.

Гибкая заделка применяется в тех случаях, когда возможно повреждение труб при осадке здания, тепловых расширениях, в сейсмических районах. Она облегчает разъем фланцевых соединений при монтажных работах. При гибкой заделке используются сальниковые уплотнения двух типов: с нажимным устройством и без него (рис. 16, *б*, *в*). В обоих случаях корпус сальника омоноличивают в стене сооружения до пропуска через нее трубы. Диаметр патрубка корпуса принимается приблизительно на 50 мм больше диаметра пропускаемой трубы. Уплотнения выполняют в виде резиновых колец или просмоленного пенькового жгута. Затяжку и периодическую подтяжку сальника производят с помощью нажимного фланцевого патрубка, располагаемого со стороны сухого помещения. Сальники с нажимным устройством обладают хорошей эластичностью, надежностью и водонепроницаемостью, но в изготовлении сложнее ребристых патрубков. Поэтому их применяют в наиболее тяжелых условиях: ниже устойчивого уровня грунтовых вод, в стенах, отделяющих машинный зал от приемного резервуара в совмещенных насосных станциях, если это вызвано условиями монтажных работ.

Значительно проще по конструкции сальник без нажимного устройства. В его корпусе отсутствует фланец, а внутри корпуса установлено упорное кольцо и два бурта.

Между упорным кольцом и буртом помещают набивку из просмоленной пеньковой пряди. Концы сальника зачеканивают асбестоцементной массой и заделывают битумной мастикой. Применяются такие сальники в маловлажных грунтах. В сухих грунтах в качестве набивки можно применять паклю и ветошь.

§ 6. Запорная арматура, обратные клапаны, водомеры

Напорная линия каждого насоса должна быть оборудована запорной арматурой и обратным клапаном, устанавливаемым между насосом и запорной арматурой. На всасы-

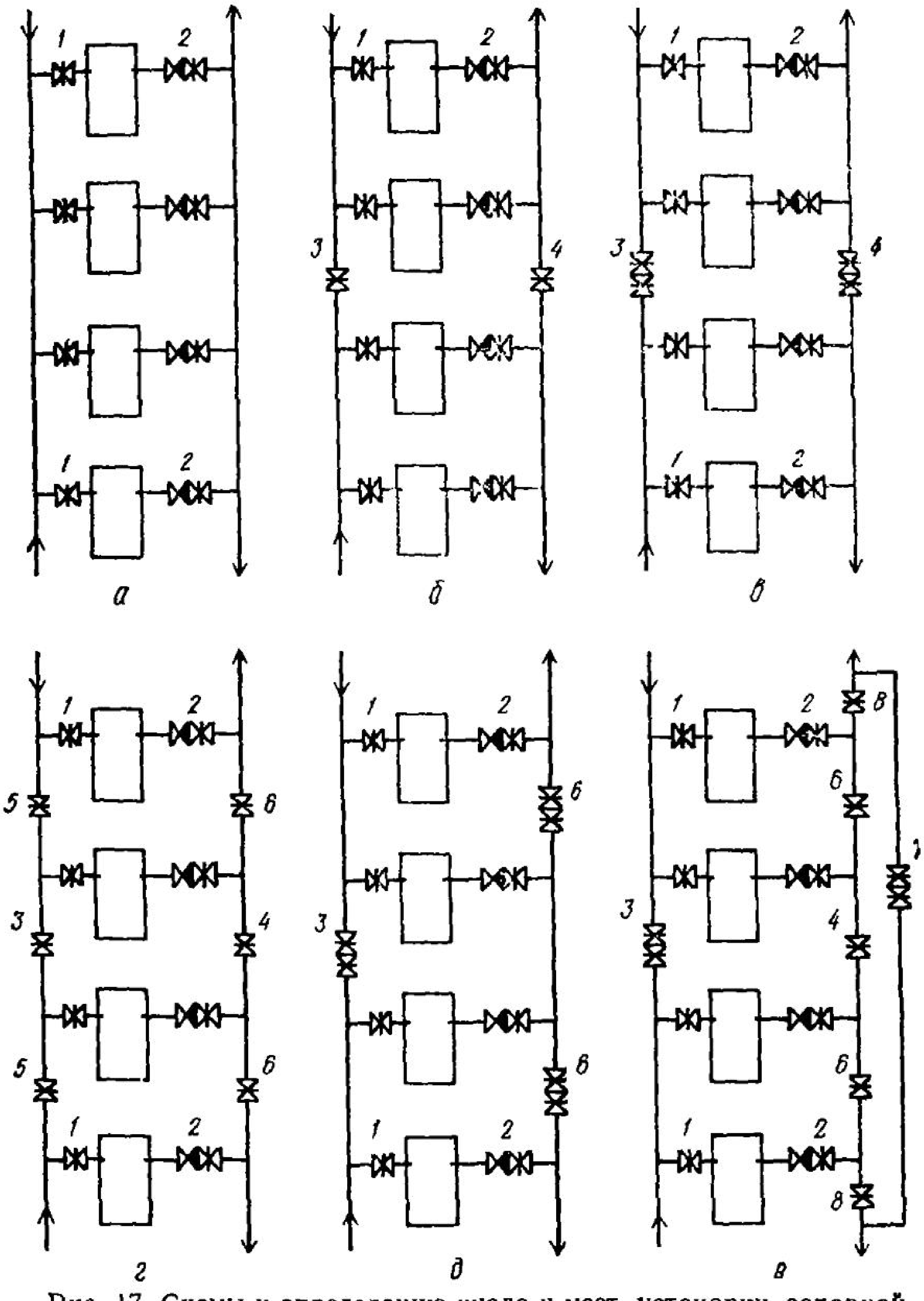


Рис. 17. Схемы к определению числа и мест установки запорной арматуры в насосной станции

вающих линиях запорную арматуру следует устанавливать у насосов, расположенных под залив, или в месте присоединения насосов к общей всасывающей линии.

Вывод в резерв любого насоса для его ремонта должен осуществляться без снижения расчетной подачи насосной станции.

На насосных станциях I и II категории при ремонте любой задвижки или затвора, обратного клапана или трубопровода должно обеспечиваться 70 % расчетной подачи на хозяйственно-питьевые нужды и по аварийному графику на производственные.

На станции III категории ремонт арматуры допускается производить при полном прекращении подачи, а ремонт водоводов (кроме станций с одним водоводом) — при снижении расхода до 70 % расчетного.

Выбор количества и мест установки запорной арматуры рассмотрим на примере насосной станции II подъема I категории с двумя рабочими и двумя резервными насосами, всасывающим и отводящим коллекторами (рис. 17).

На схеме рис. 17, *а* показана установка только обязательной для каждого агрегата запорной арматуры. Задвижки *2* используются как запорно-регулирующая арматура, так как с их помощью регулируют подачу насосов. Очевидно, что ремонт любой из задвижек или любого водовода возможен только при остановке всей насосной станции.

Установка задвижек *3* и *4* (схема рис. 17, *б*) позволяет ремонтировать любую из задвижек *1* или *2*, выводя в резерв два соответствующих насоса и по одной всасывающей и напорной линии. Однако ремонт задвижек *3* и *4* возможен только при остановке всей станции.

Сдвоенные задвижки на коллекторах (схема рис. 17, *в*) позволяют ремонтировать любую из линий и любую задвижку при выведении в резерв двух соответствующих насосов.

Каждый из двух всасывающих водоводов рассчитывается на пропуск 100 % расчетного расхода. Если работа двух насосов на один напорный водовод не обеспечивает подачу 70 % расчетного расхода, то, расставив задвижки по схеме рис. 17, *г* можно увеличить подачу, подключая третий (резервный) насос. Недостатком схемы рис. 17, *г* является необходимость отключения двух насосов при ремонте задвижки *6*. Этот недостаток устраняется установкой спаренных задвижек *6* (при этом можно убрать задвижку *4*) или установкой задвижек на выходе *8* и устройством обводной линии со спаренными задвижками *7*. Приведенные схемы не исчерпывают все возможные варианты расстановки запорной арматуры в машинном зале. Как правило, повышение степени обеспеченности подачи воды насосной станцией достигается установкой дополнительного числа запорной арматуры.

В качестве запорной арматуры, в основном, применяют задвижки и дисковые поворотные затворы. Задвижки и

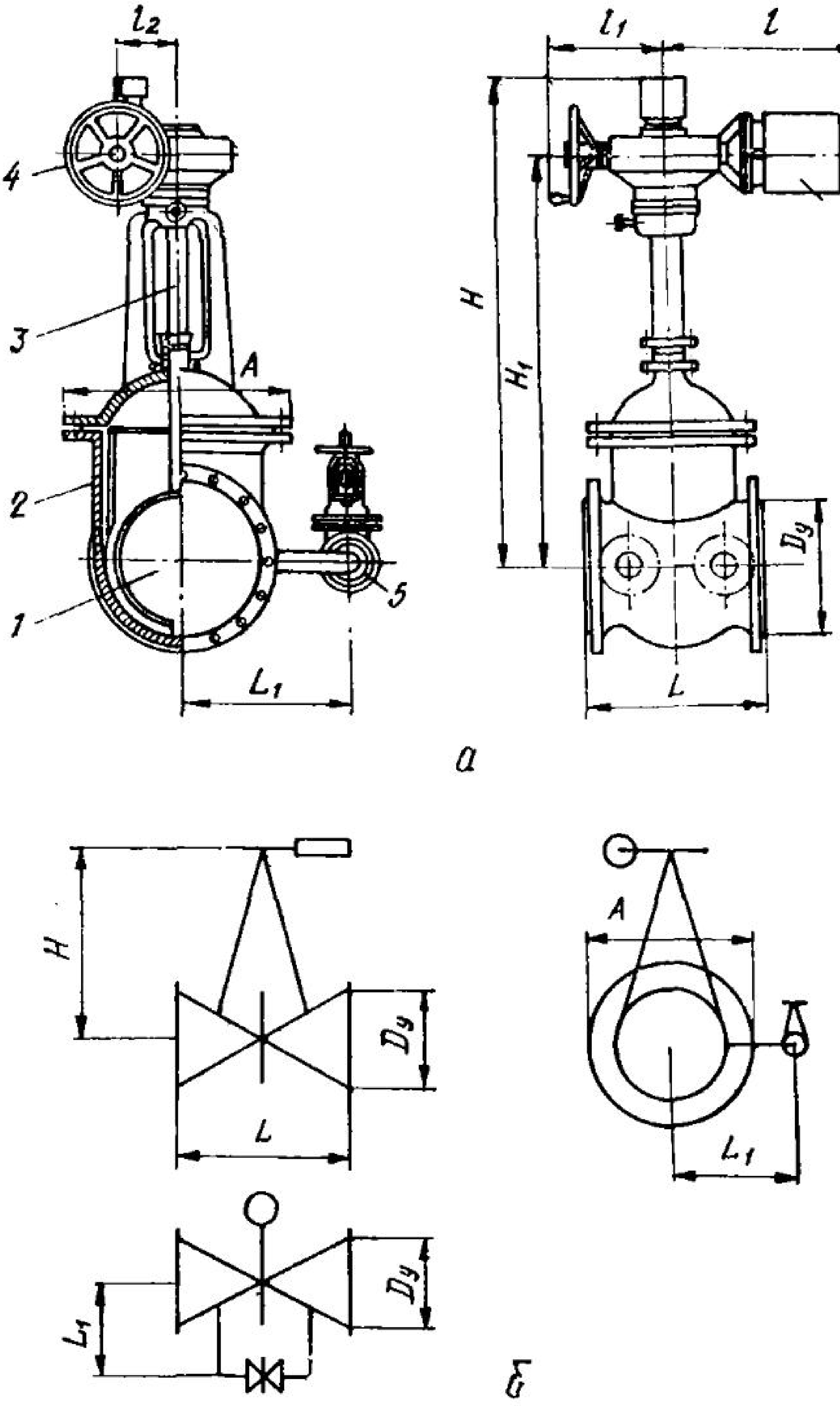


Рис. 18. Задвижка с электроприводом:

а — общий вид; *б* — схематическое изображение; *1* — запирающий диск; *2* — корпус; *3* — шпиндель; *4* — маховик ручного привода; *5* — задвижка на обводной трубе; *6* — электропривод

затворы подбираются по диаметру условного прохода и рабочему давлению.

Задвижки. Применяются для полного или частичного (с целью регулирования подачи насосов) перекрытия трубопроводов. В зависимости от конструкции запирающего устройства задвижки бывают двух типов: клиновые и параллельные. Задвижки могут быть с выдвижными и невыдвижными шпинделями. У первых — неподвижная гайка

в которой вращается шпиндель, расположена в крышке задвижки и при открытии шпиндель выходит наружу, увлекая за собой запорный диск. Задвижки с выдвижным шпинделем менее удобны, так как требуют большей высоты помещения и хуже удовлетворяют санитарным требованиям.

На насосных станциях применяют задвижки с ручным или электрическим приводом. Для облегчения управления в насосных станциях все задвижки диаметром 400 мм и более, а на автоматизированных насосных станциях независимо от диаметра, следует проектировать с электроприводом (рис. 18). Технические характеристики задвижек с электроприводом приведены в табл. 7.

Таблица 7. **Технические характеристики задвижек с электроприводом (рис. 18)**

Размеры, мм						$\frac{p_y, \text{МПа}}{t, °C}$	Условное обозначение, тип шпинделя	Мощность электродвигателя, кВт	Масса, кг
D_y	L	H	l	A	L_1				
100	230	685	405	262	—		Парал-	0,18	75
150	280	805	405	337	—		лельные;	0,18	112
200	330	1050	468	400	—	1	30ч906р;	0,6	183
250	450	1185	468	460	—	225	выдвижной	0,6	242
300	500	1340	468	508	—			1,3	310
400	600	1690	468	620	—			1,3	500
500	700				—		Парал-	—	899
600	800	1700	603	895	620		лельные;	1,6	1233
800	1000	2215	770	1185	710	1	30ч915р;	2,2	2880
1200	1400	3295	820	1595	970	100	невыдвижной	4,5	7810
200	230				—		Клиновые	—	186
400	310	1750	495		—	0,6	штампо-	1,3	300
500	350	2265	602		—	200	сварные;	2,2	495
600	390	2410	602		—	0,25	30ч914нж1;	2,2	625
800	470	3290	604			200	выдвижной	3	1049
1000	550	2540	605	1352	—		Клиновые	3	2245
1200	700	2930	820	1685	—	0,25	30ч925бр;	5,2	4668
1400	900	3290	820	1810	—	100	невыдвиж-	7,5	5126
1600	1000	3490	820	1930	—		ной	7,5	6225
1000	1200	2600	820	1390	1035		Клиновые;	5,2	3523
1200	1400	2900	820	1596	1082	1	30ч930брМ;	5,2	7327
1400	1900	3600	820	1850	1145	120	невыдвиж-	5,2	9109
1600	2200	3600	820	1850	1175		ной	5,2	9934

Продолжение табл. 7

Размеры, мм						p_y, МПа / t, °С	Условное обозначение, тип шпинделя	Мощность электродвигателя, кВт	Масса, кг
D_y	L	H	l	A	L_1				
200	400	1225	495	—	—	2,5 / 225	Клиновые 30ч964нж; выдвижной	1,3	264
300	500	1590	565	—	—			2,1	560
1000	1900	3835	820	1035	—			7,5	5060
500	700	1955	820	835	—	2,5 / 225	Клиновые; 30ч927нж; иевыдвижной	7,5	1383
600	800	1955	820	835	575			7,5	1433
800	1000	2770	820	1190	860			7,5	3671

На диск закрытой задвижки большого диаметра с напорной стороны действует большая сила давления. При этом требуются значительные усилия для ее открытия. Чтобы облегчить открытие основной задвижки, перекрываемые полости соединяют обводной трубой малого диаметра со своей задвижкой, что позволяет выравнивать давление на запорные диски перед открытием основной задвижки. Эту особенность следует учитывать при определении габаритов устанавливаемых задвижек.

Размеры, масса и стоимость задвижек зависят от того давления, на которое они рассчитаны. На всасывающей линии устанавливаются задвижки на давление $p_y = 0{,}25$ или $p_y = 0{,}6$ МПа, а на напорных — $p_y = 0{,}6$ ..2,5 МПа. Давление на напорных водоводах определяют по максимально возможному напору насосов (работа на закрытую задвижку).

Согласно паспортным данным, задвижки можно устанавливать на трубопроводе в любом положении, однако из соображений удобства монтажа и эксплуатации их лучше устанавливать шпинделем вверх.

Затворы. Поворотные дисковые затворы (рис. 19) в последнее время находят все большее распространение благодаря ряду положительных качеств: их габариты и масса значительно меньше, чем у задвижек.

Принцип работы дискового затвора состоит в том, что поворотный диск, развернутый поперек трубы и прижатый к уплотняющей поверхности седла внутри корпуса, перекрывает поток, а при повороте диска на 90° обеспечивается свободное прохождение потока.

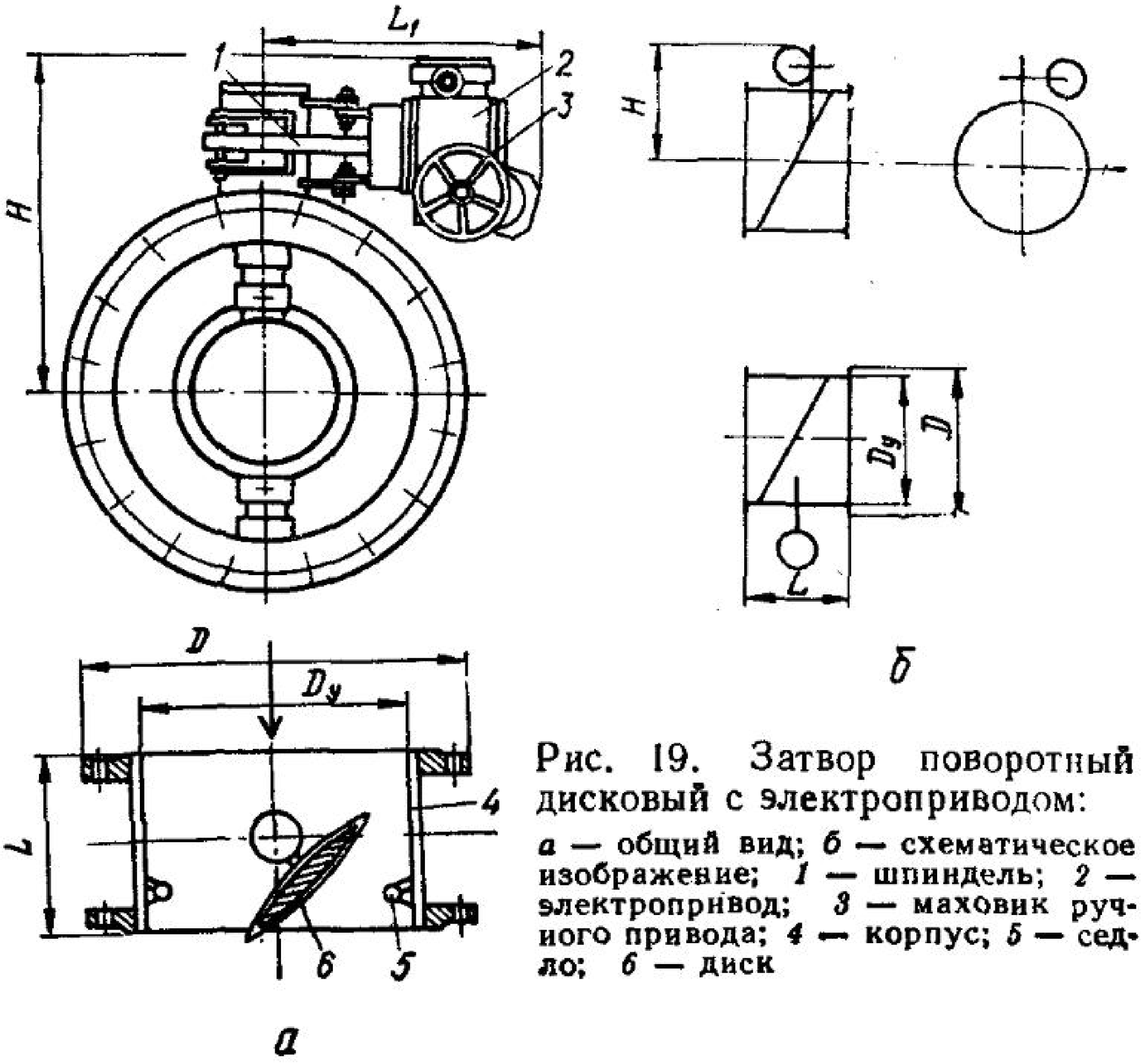


Рис. 19. Затвор поворотный дисковый с электроприводом:

а — общий вид; *б* — схематическое изображение; *1* — шпиндель; *2* — электропривод; *3* — маховик ручного привода; *4* — корпус; *5* — седло; *6* — диск

Как и задвижки, затворы выпускаются с ручным и электрическим приводом.

В рабочем положении большинство затворов либо полностью закрыто, либо полностью открыто. В последнее время выпускаются затворы пригодные и для дросселирования потока.

Хорошая герметичность в затворе обеспечивается при давлении воды лишь в одном направлении (указано стрелкой на корпусе затвора). К недостаткам затворов относятся большие, по сравнению с задвижками, гидравлические сопротивления. Для уменьшения сопротивления и во избежание кавитации перед затвором надо иметь прямой участок трубопровода, равный $1{,}5D_y$, а после затвора — $2D_y$. Затворы лучше работают при повышенных скоростях (3—4 м/с).

Технические характеристики дисковых поворотных затворов приведены в табл. 8.

Обратные клапаны. Применяются на насосных станциях для того, чтобы при аварийной остановке насоса воспрепятствовать обратному через насос течению воды из напорного трубопровода. Обратное течение может привести к опорожнению напорных водоводов и опасному обратному вращению насоса и электродвигателя.

Таблица 8. **Технические характеристики дисковых поворотных затворов (рис. 19)**

Размеры, мм				Мощность электродвигателя	$\frac{p_y, \text{ МПа}}{t, °C}$	Условное обозначение	Масса, кг
D_y	D	L	H				
100	—	52	—	—	$\frac{1}{30}$	МТР	7,5
150	—	62	—	—			13,5
200	—	90	—	—			29
300	400	220	500	0,18			180
400	565	240	515	0,6	$\frac{1}{80}$	ИА99044 (32с908р)	228,5
600	780	300	815	1,3			445,5
800	1010	400	833	2			943
1000	1220	450	1023	3			1338
1200	1455	450	800	3	$\frac{1}{80}$	МА99016.03	2235
1400	1675	500	905	5,2			3793
1600	1915	675	950	7,5			4987

Примечание. Все затворы фланцевые, ИА и МА — с электроприводом, МТР — с ручным приводом.

Размещение за каждым из насосов обратного клапана существенно упрощает автоматизацию включения и отключения насосов. Обратные клапаны могут устанавливаться и на напорных водоводах в камерах около насосных станций для предохранения от затопления машинного зала при разрушении внутристанционных трубопроводов.

Существует два основных вида обратных клапанов с верхней подвеской диска (типа «захлопка») и с эксцентрической подвеской («безударный») (рис. 20). Обычно рекомендуется применять «безударные» клапаны. Эти клапаны, по сравнению с клапанами типа «захлопка», имеют меньшие габариты, меньшую массу и более плавную «безударную» посадку диска на седло при закрытии клапана В открытом положении диск у обратного клапана удерживается подъемной силой, возникающей от скоростного на-

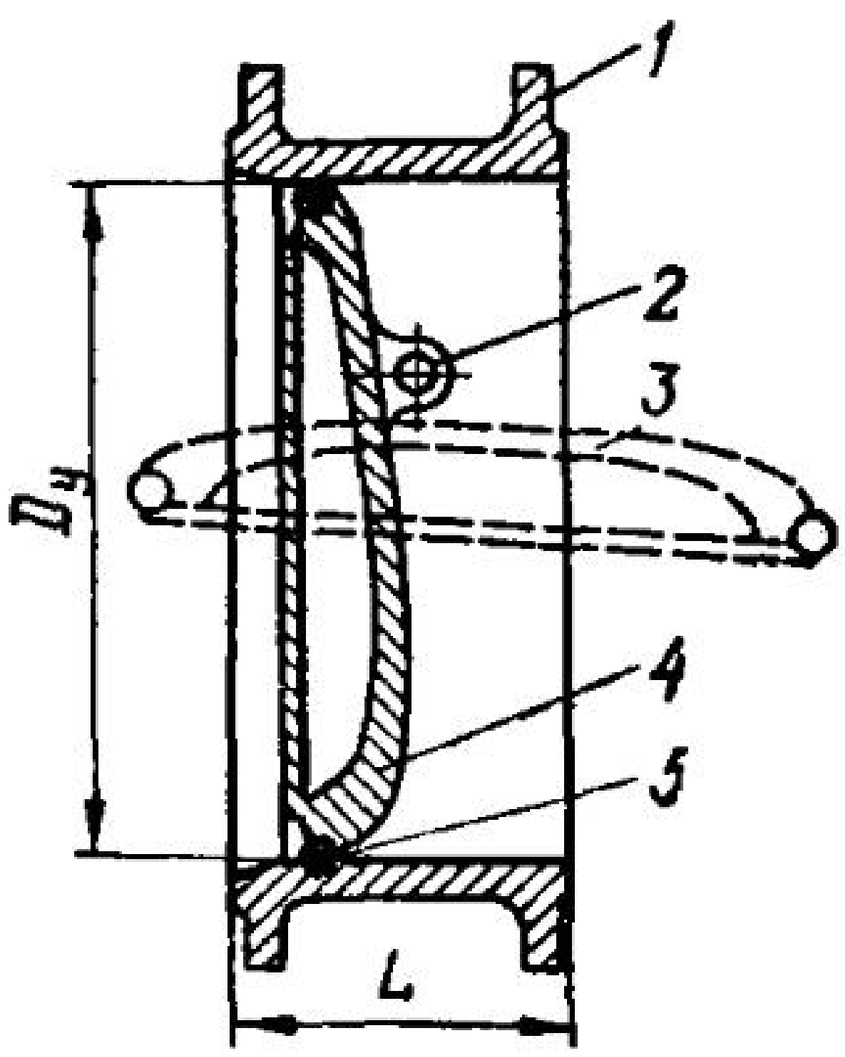


Рис. 20. Клапан обратный поворотный безударный:

1 — корпус; *2* — ось вращения диска; *3* — запорный диск в открытом положении; *4* — то же, в закрытом; *5* — уплотняющее резиновое кольцо

Таблица 9. **Технические характеристики обратных поворотных безударных клапанов (рис. 20).**

$D_у$, мм	Длина, мм	Вид клапана	$\frac{p_у, \text{МПа}}{t, °C}$	Условное обозначение	Масса, кг
50	60	Безударный фланцевый	1,6 / 50	КА 44075 (19ч16р)	9,1
80	70				15,7
100	80				17,7
150	100				31,2
200	110			Л 44075 (19ч16р)	41,4
250	120				52,5
300	130		1 / 80	К3 44067 (19ч16р5)	45
400	170				128
500	200				183
600	240				237
800	350	С противовесом фланцевый	1 / 120	ПФ 44003 (19ч19р)	808
1000	400				1176
300	450	Безударный сварной с концами под приварку	4 / 450	ИА 44078 (19с36нж)	78
400	500				130
600	650				360

Примечание. В скобках указано старое условное обозначение.

пора потока. Поэтому обратные клапаны так же, как и дисковые затворы лучше работают при повышенных скоростях (3—4 м/с).

Если насос работает с положительной геометрической высотой всасывания, то для удобства заливки его перед запуском в начале всасывающей трубы на станциях III категории может устанавливаться приемный обратный клапан. Приемные обратные клапаны могут устанавливаться на всасывающих линиях диаметром до 200 мм. При больших диаметрах резко возрастает масса захлопки клапана и сила удара при ее падении. Кроме того, возрастающие в приемных клапанах большого диаметра гидравлические сопротивления существенно снижают геометрическую высоту всасывания насоса. При оборудовании насосов с индивидуальными всасывающими линиями приемными клапанами можно не устанавливать обратных клапанов на напорных трубопроводах.

Технические характеристики обратных поворотных клапанов приведены в табл. 9.

Монтажные вставки. Вынуть, а тем более установить арматуру в ограниченном пространстве между фланцами смонтированного трубопровода довольно трудно. Эта операция

облегчается применением монтажных вставок, позволяющих увеличивать (или уменьшать) зазор между фланцами арматуры и трубопровода. В качестве монтажных вставок можно использовать сальниковые компенсаторы (рис. 21), размеры и масса которых приведены в табл. 10. Для облегчения монтажа можно использовать также разъем трубопроводов по коленам и отводам с фланцевыми соединениями, по косым (клиновым) вставкам-патрубкам.

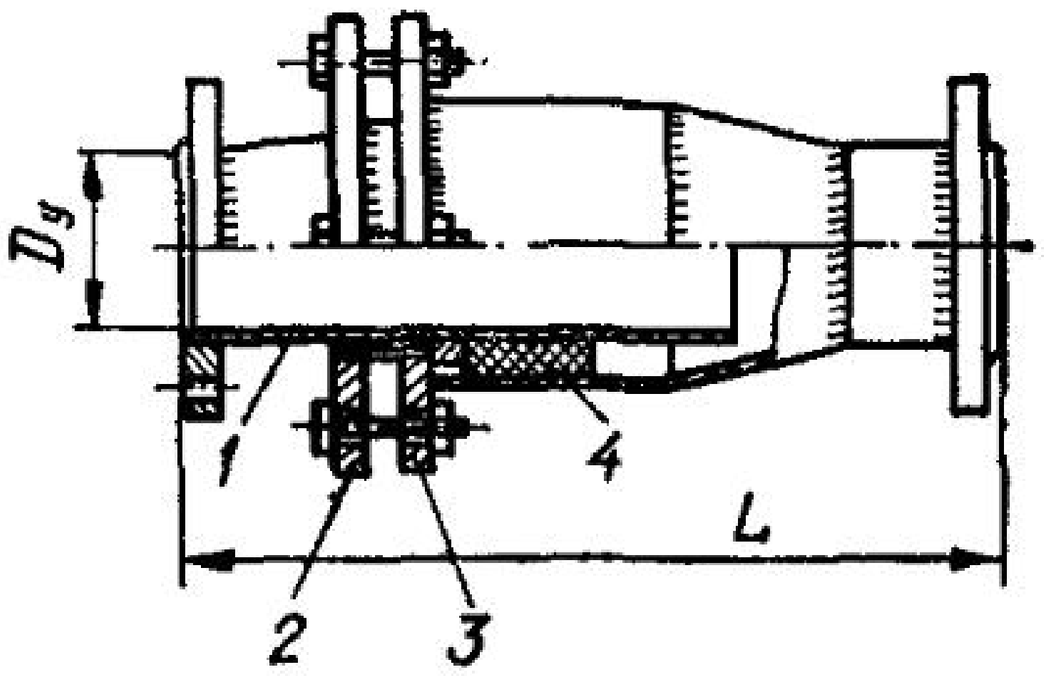


Рис. 21. Сальниковый компенсатор, используемый в качестве монтажной вставки:

1 — внутренний патрубок; *2* — фланцевый нажимной патрубок; *3* — наружный патрубок; *4* — сальниковая набивка

Водомеры. Водомеры (чаще всего, сужающие устройства: диафрагмы, сопла и трубы Вентури) устанавливаются на напорных водоводах.

Сужающие устройства характеризуются относительным сужением потока

$$m = \frac{d^2}{D^2},$$

где d и D — диаметры сужающего устройства и подводящего трубопровода.

Значения m выбирают из стандартных: для диафрагм — 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; для труб и сопел Вентури — 0,2 и 0,4. Трубы и сопла Вентури более сложны в изготовлении, чем диафрагмы. Они применяются на насосных станциях систем водоотведения, так как меньше подвержены износу, а также тогда, когда нет запаса напора и потери в водомере стремятся получить наименьшими.

Таблица 10. **Размеры и масса сальниковых компенсаторов (рис. 21)**

D_y, мм	Средняя длина L, мм	Масса, кг		D_y, мм	Средняя длина L, мм	Масса, кг	
		при p_y = =0,6 МПа	при p_y = = 1 МПа			при p_y = =0,6 МПа	при p_y = = 1 МПа
150	550	40	53	500	600	223	245
200	550	74	76	600	600	274	312
250	550	97	103	800	650	423	496
300	550	114	120	1000	650	528	649
400	550	159	179	1200	650	626	897

Перепад напора в сужающем устройстве можно определить по формуле

$$h = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{m^2} - 1\right), \qquad (15)$$

где v — скорость в трубе на подходе к водомеру.

Потери в водомерах в зависимости от типа сужающего устройства определяются по формулам:

для диафрагм

$$h_{\text{вдм}} = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{m^2} - 1\right)(1 - m); \qquad (16)$$

для сопел

$$h_{\text{вдм}} = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{m^2} - 1\right)(1 - 1{,}4m); \qquad (17)$$

для труб Вентури

$$h_{\text{вдм}} = 0{,}14\,\frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{m^2} - 1\right)(1 - m). \qquad (18)$$

При уменьшении m увеличиваются измеряемый перепад и точность, но увеличиваются и потери напора. Значения m принимают так, чтобы определенные по вышеприведенным формулам потери были: для диафрагм — 1—2 м, а для сопел и труб Вентури — 0,5—1,5 м. Чем больше диапазон изменения расходов, тем меньше следует принимать m и больше $h_{\text{вдм}}$.

Пример. В напорном водоводе $D = 900$ мм максимальный расчетный расход $Q = 1000$ л/с проходит со скоростью $v = 1{,}57$ м/с. Подобрать сужающее устройство и определить потери в водомере.

В качестве сужающего устройства принимаем диафрагму. Определяем измеряемый перепад напора h и потери:

при $m = 0{,}2$

$$h = \frac{1{,}57^2}{2 \cdot 9{,}8}\left(\frac{1}{0{,}2^2} - 1\right) = 3{,}03 \text{ м};$$

$$h_{\text{вдм}} = 3{,}03\,(1 - 0{,}2) = 2{,}42 \text{ м};$$

при $m = 0{,}3$

$$h = \frac{1{,}57^2}{2 \cdot 9{,}8}\left(\frac{1}{0{,}3^2} - 1\right) = 1{,}27 \text{ м};$$

$$h_{\text{вдм}} = 1{,}27\,(1 - 0{,}3) = 0{,}89 \text{ м}.$$

Из расчета видно, что рекомендуемые потери будут при промежуточном значении относительного сужения. Значения m следует принимать в зависимости от запаса напора и диапазона измеряемых расходов. Например, для станции I подъема с малым диапазоном изменения расходов можно принить $m = 0{,}3$ и $h_{\text{вдм}} = 0{,}89$ м.

Расходомеры следует устанавливать за прямолинейным участком трубопровода. Минимальная длина участка за-

висит от вида сужающего устройства, относительного сужения потока m, вида местных сопротивлений, возмущающих поток. В общем случае длины прямолинейного подводящего участка — (20...40)D и отводящего— 5D обеспечивают требуемую точность измерений.

В связи с этим сужающие устройства с первичными датчиками часто приходится устанавливать в камерах за пределами насосных станций. Температура в камерах должна поддерживаться не ниже + 5 °С.

Спецификация оборудования, трубопроводов, арматуры и фасонных частей. Составляются для предварительного заказа изготовляемого на заводах оборудования, для удобства чтения чертежей при строительстве станции, монтаже оборудования и его эксплуатации. Составляется спецификация одновременно с выбором оборудования, трубопроводов и арматуры.

В спецификацию включается основное и вспомогательное насосное оборудование и электродвигатели к нему, оборудование предварительной очистки (сетки, решетки, дробилки, решетки-дробилки), подъемно-транспортное оборудование. Данные по оборудованию приводятся в настоящей книге и в справочниках, например, в [15]. По справочнику [14] определяются характеристики труб, принятых для внешних и внутренних водоводов, и фасонных частей

СПЕЦИФИКАЦИЯ

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед., кг	Примечание
1	Ливгидромаш	Насос центробежный	4	529	2 раб.
		Д200-36 с электродви-			+2 рез.
		гателем А2-71-4,			насоса
		1450 об/мин, 22 квт			
4	ГОСТ 8696-74	Трубы стальные	20м	32,4	
		электросварные ф300,			
		325 × 4			
12	Справочник	Клапан обратный	4	41,4	
	под редакцией	поворотный фланцевый			
	А.С. Москвитина	Л44075 ф200, P_y =16			
20	60	60	10	15	20

Рис. 22. Образец оформления спецификации

на трубах внутри насосной станции. Данные по арматуре приведены в настоящей книге, а также в справочниках [14, 15, 17 и 18].

Спецификация приводится на чертеже или в пояснительной записке по определенной форме. Форма и образец составления спецификации представлены на рис. 22. В графе «Обозначение» в курсовом проекте можно ссылаться на ГОСТ завод-изготовитель, справочный материал или литературу, откуда взяты сведения об оборудовании и элементах трубопровода.

§ 7. Построение графика совместной работы насосов и водоводов

Фасонные части и арматура обусловливают гидравлические потери напора в насосной станции $h_{н.с}$. Эти потери вместе с потерями в водомерных устройствах $h_{вдм}$ и во всасывающих и напорных водоводах ($h_{в.в}$ и $h_{н.в}$) составляют общие потери напора в насосной установке и вместе со статическим напором определяют необходимый напор насосов

$$H = H_{ст} + h_{в.в} + h_{н.с} + h_{вдм} + h_{н.в} = H_{ст} + \Sigma h_{ш}. \quad (19)$$

Потери напора в насосной установке $\Sigma h_{ш}$ зависят от расхода, а подача (расход) насосов в свою очередь зависит от развиваемого ими напора, то есть и от $\Sigma h_{ш}$. Окончательные параметры (подача, напор) параллельно соединенных насосов, подающих воду по системе напорных водоводов, определяются после построения графика совместной работы насосов и водоводов. Для этого необходимо построить характеристику трубопровода— график, который показывает, какой напор должны развивать насосы для того чтобы подать через систему всасывающих водоводов, трубопроводов внутри насосной станции и напорных водоводов расход $Q_{н.с}$. На рис. 23 представлены схема трубопро-

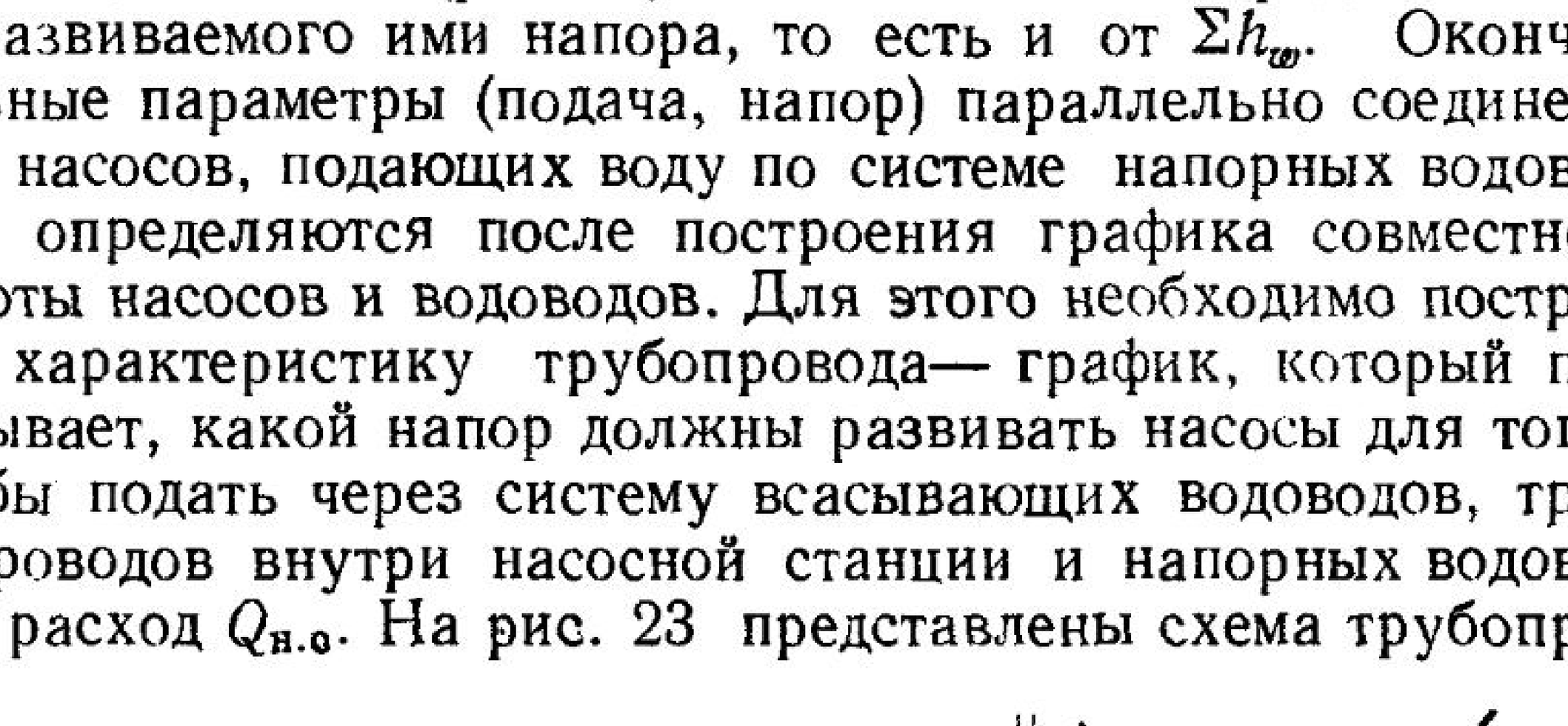


Рис. 23. К построению характеристики трубопровода:
а — высотная схема; *б* — характеристика трубопровода

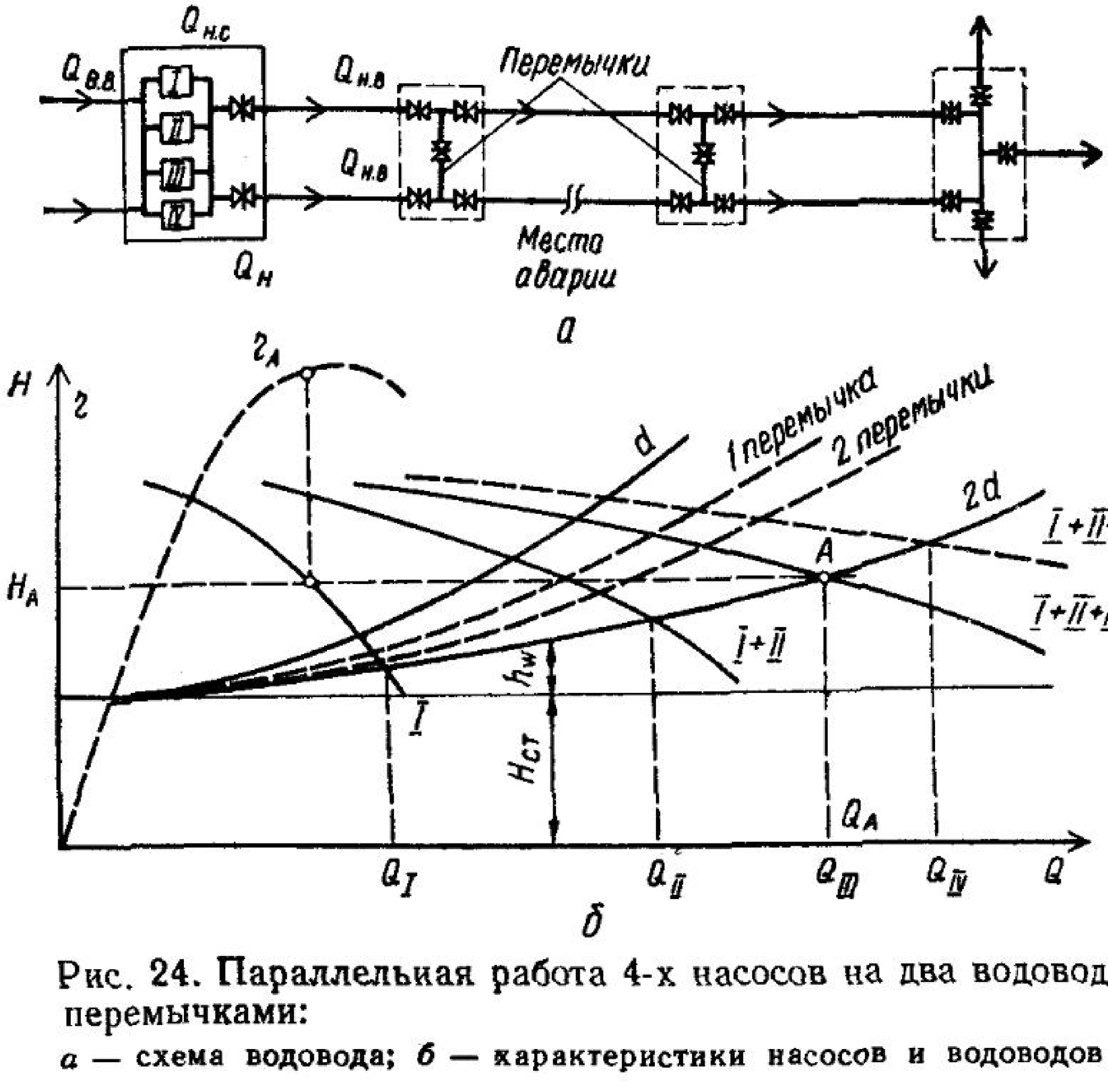


Рис. 24. Параллельная работа 4-х насосов на два водовода с перемычками:

а — схема водовода; *б* — характеристики насосов и водоводов

вода, положение пьезометрических линий при подаче разных расходов и характеристика трубопровода.

Пример графика совместной работы насосов и водоводов приведен на рис. 24. Как видно из схемы водоводов насосной станции на рис. 24, *а*, гидравлические потери в разных трубопроводах определяются разными расходами ($Q_{в.в}$, $Q_н$, $Q_{и.в}$), зависящими от числа водоводов и насосов.

Потери напора во всасывающем водоводе определяются по формуле

$$h_{в.в} = 1000 i L_{в.в} + \Sigma\zeta \frac{v^2}{2g}, \qquad (20)$$

где $1000i$ — потери напора на 1 км трубопровода в метрах водяного столба, определяемые для расчетного расхода $Q_{в.в}$ в трубах заданного диаметра и материала по таблицам Шевелевых [23]; $L_{в.в}$ — длина всасывающего водовода, км; $\Sigma\zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений; v — скорость во всасывающем водоводе, м/с.

Потери напора в насосных станциях $h_{н.с}$ рекомендуется определять в таком порядке:

на схеме трубопроводов в насосной станции указываются диаметры, арматура, фасонные части и расчетные расходы;

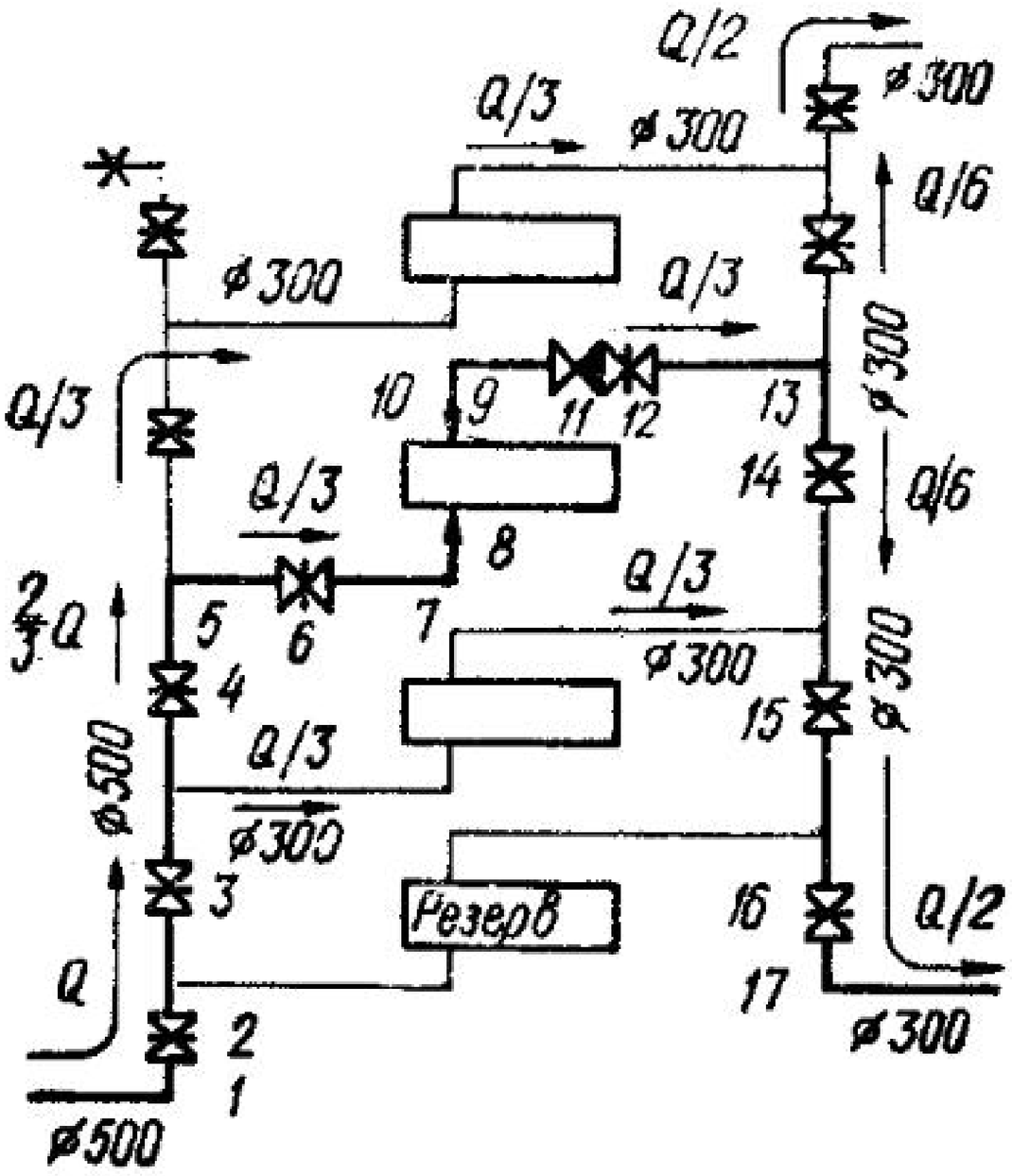


Рис. 25. Схема к определению потерь напора в насосной станции

определяется самый невыгодный для расчета потерь путь воды, на нем нумеруются местные потери; вычисление потерь сводится в таблицу.

Пример составления схемы для определения потерь представлен на рис. 25, а выполнения вычислений — в табл. 11. Графы 1, 2, 3 и 4 таблицы заполняются в соответствии со схемой. Коэффициенты сопротивлений принимаются по прил. 1 [21]. Для открытой запорной арматуры можно принимать $\zeta = 0{,}2$. Скорости удобно определять по таблицам Шевелевых [23].

Потери в водомере для расчетиого расхода $Q_{н.в}$ определяются по одной из формул (16), (17) или (18).

Потери во всасывающих трубопроводах, в насосной станции и в водомерном устройстве можно считать пропорциональными квадрату подачи насосной станции. Таким образом, для определения потерь при произвольном расходе

Таблица 11. **Определение потерь напора в насосной станции**

№№ позиций	Наименование местных сопротивлений	d, мм	Q, л/с	ζ	v, м/с	$v^2/2g$, м	$\zeta \frac{v^2}{2g}$, м
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Колено	500	300	0,6	1,43	0,105	0,06
2, 3	Задвижка	500	300	0,2×2	1,43	0,105	0,04
4	Задвижка	500	200	0,2	0,95	0,046	0,02
5	Тройник	300	100	1,5	1,32	0,089	0,13
6, 12	Задвижки	300	100	0,2×2	1,32	0,089	0,04
7, 10	Колена	300	100	0,6×2	1,32	0,089	0,1
8	Переход сужающийся	250	100	0,1	1,88	0,18	0,02
9	Переход расширяющийся	200	100	0,25	2,91	0,432	0,11
11	Обратиый клапан	300	100	1,7	1,32	0,089	0,15
13	Тройник	300	100	1,6	1,32	0,089	0,14
14	Задвижка	300	50	0,2	0,66	0,017	0
15, 16	Задвижки	300	150	0,2×2	1,97	0,198	0,08
17	Колено	300	150	0,6	1,97	0,198	0,12

$$h_{н.с} = \Sigma\zeta \frac{v^2}{2g} = 1{,}01 \text{ м}.$$

Таблица 12. **Расчеты для построения характеристики трубопроводов насосной станции**

№№	Значение потерь, м	Относительный расход $Q'_{н.с}/Q_{н.с}$				
		0	0,33	0,5	1	1,3
	Два водовода					
1	$H_{ст}$	20	20	20	20	20
2	$h_{в.в}$	0	0,04	0,1	0,4	0,68
3	$h_{н.с}$	0	0,11	0,25	1,01	1,71
4	$h_{вдм}$	0	0,1	0,22	0,89	1,5
5	$h_{н.в}$	0	1,37	3,14	12,57	21,26
6	$H_{2d} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$	20	21,62	23,71	34,87	45,15
	Один водовод					
7	$h_{н.в1}$	0	5,49	12,57	50,25	
8	$H_d = (1) + (2) + (3) + (4) + (7)$	20	25,74	33,14	72,58	
	Два водовода, одна перемычка. Авария					
9	$h_{н.в2}$	0	3,42	7,86	31,4	53,11
10	$H_{a1} = (1) + (2) + (3) + (4) + (9)$	20	23,67	28,43	53,7	77
	Два вывода, две перемычки. Авария					
11	$h_{н.в3}$	0	2,73	6,29	26,1	42,49
12	$H_{a2} = (1) + (2) + (3) + (4) + (11)$	20	22,98	26,86	47,4	66,38

$Q'_{н.с}$ можно пользоваться формулами:

$$h'_{в.в} = Kh_{н.в}, \quad h'_{н.с} = Kh_{н.с} \text{ и } h'_{вдм} = Kh_{вдм}, \tag{21}$$

где

$$K = (Q'_{н.с}/Q_{н.с})^2. \tag{22}$$

Потери напора в напорном водоводе для всех расходов определяются по формуле.

$$h_{н.в} = (1,1 \ldots 1,2)\, 1000 i L_{н.в}, \tag{23}$$

где $1000i$ — то же, что в формуле (20), но уже для труб и расходов напорных водоводов.

Местные потери в напорных водоводах учитываются в размере 10—20 % потерь напора по длине.

Пример подсчета по формуле (19) необходимых напоров для подачи расходов $0{,}33Q_{н.с}$, $0{,}5Q_{н.с}$, $Q_{н.с}$ и $1{,}3Q_{н.с}$,

где $Q_{н.с}$ расчетная подача насосной станции, приводится в табл. 12. По результатам расчетов строится характеристика водоводов (рис. 24, *б*).

Насосы водопроводных и водоотводных насосных станций чаще всего подают воду в водоводы, состоящие из двух линий (реже — из трех). При аварии на одной из линий вся подача насосной станции осуществляется по одному трубопроводу, то есть $Q_{н.в}$ принимается равным $Q_{н.с}$. При этом увеличиваются потери в напорном водоводе. Такой случай также рассчитывается в таблице и характеристика системы при одном водоводе строится на графике. Характеристика $2d$ соответствует работе водовода в две линии, характеристика d — в одну. Потери при водоводе в одну лиию приблизительно в 4 раза больше, чем при водоводе в две линии.

Для увеличения пропускной способности водоводов в случае аварии на них устраивают перемычки. Тогда при аварии водоводы работают в одну линию только на участке между перемычками. Если перемычки делят водоводы на равные участки, то при одной перемычке в случае аварии потери в напорном водоводе возрастают в 2,5 раза по сравнению с нормальной работой двух водоводов, а при двух перемычках — в 2 раза. При необходимости рассчитываются и строятся характеристики водоводов с одной, двумя и более перемычками.

На график с характеристиками водоводов переносится характеристика выбранного насоса. Затем, увеличивая в 2, в 3 раза и так далее подачу при соответствующих напорах, строят графики совместной работы двух, трех и так далее параллельно соединенных центробежных насосов. На графике строятся характеристики совместной работы всех, включая и резервные, насосов насосной станции. Точки пересечения соответствующих характеристик насосов и водоводов определяют режимные характеристики (подачу, напор, КПД) насосов. По этому графику определяется ступенчатая подача насосной станции, то есть подача при работе одного, двух и так далее насосов.

§ 8. Оборудование систем заливки насосов, технического водоснабжения, дренажа и осушения

Для обеспечения нормальных условий эксплуатации основного оборудования и сооружений насосной станции необходимо устройство различных вспомогательных систем, также использующих насосные и воздуходувные установки:

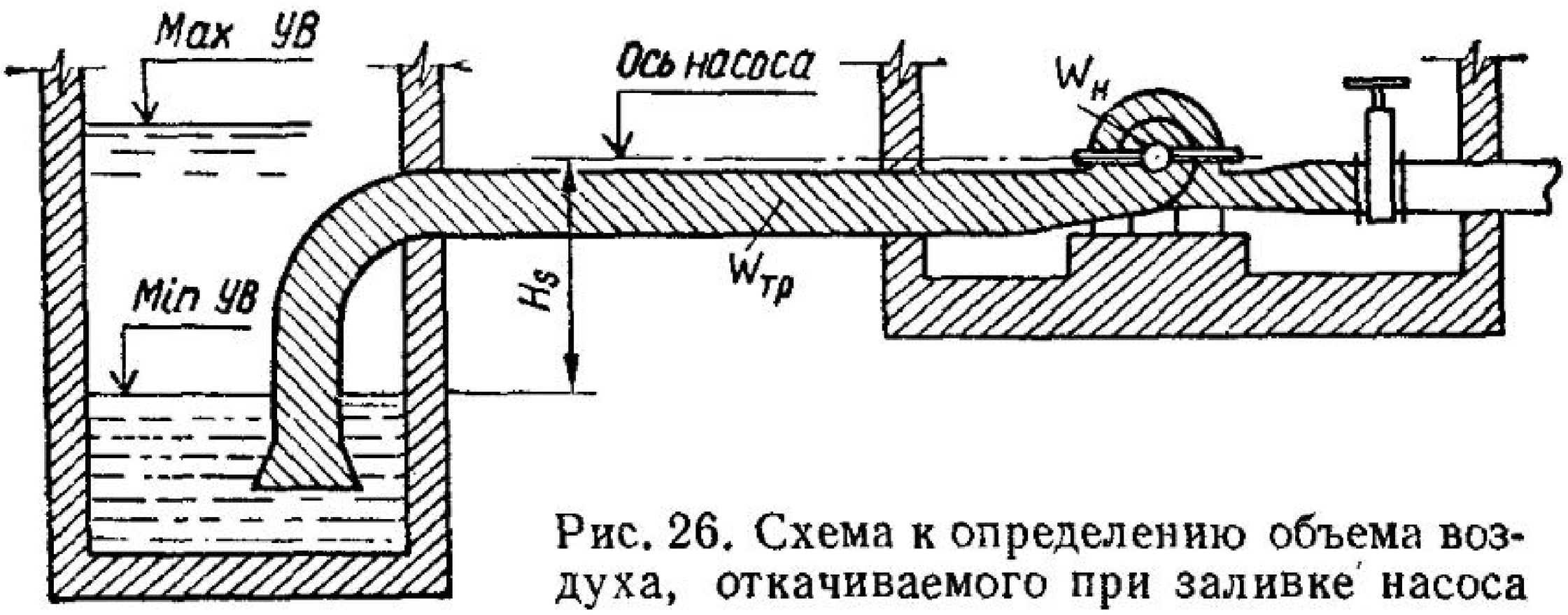


Рис. 26. Схема к определению объема воздуха, откачиваемого при заливке насоса

вентиляции, маслоснабжения, заливки насосов (вакуум-систем), дренажа, осушения, удаления осадка, технического водоснабжения. Рассмотрим некоторые из этих систем, разрабатываемые в курсовом проекте.

Система заливки насосов (вакуум-система). Используется в насосных станциях I подъема раздельного типа для уменьшения заглубления машинного зала и удешевления строительства. Как правило, в насосных станциях систем водоснабжения или водоотведения корпус насоса располагается под залив от расчетного уровня воды в водоеме или емкости. Это значительно упрощает запуск насосов. В насосных станциях II и III категорий допускается установка насосов не под залив. Изредка встречаются схемы запуска насосов, расположенных выше уровня воды, на насосных станциях II подъема. Согласно действующим нормам, в этих случаях следует предусматривать установку с вакуум-насосами и вакуум-котлом.

Требуемую подачу вакуум-насоса определяют исходя из времени, необходимого для заливки насоса, по формуле

$$Q_{в.н} = \frac{1000k\,(W_н + W_{тр})}{60t\,(1 - H_s/H_a)}\,, \qquad (24)$$

где $W_н + W_{тр}$ — объем воздуха в насосе и заливаемой части трубопровода (как правило, до задвижки на напорном трубопроводе, рис. 26), м³; k — коэффициент запаса, учитывающий возможность проникновения воздуха через неплотности (сальники, фланцевые соединения); принимается равным 1,05...1,1; t — время, требуемое для создания необходимого для заливки разрежения, мин; t = 3...10 мин; H_s — геометрическая высота всасывания насоса, считая от оси насоса до расчетного уровня воды в приемной камере (резервуаре) при запуске, м; H_a — напор, соответствующий барометрическому давлению; в обычных условиях принимается равным 10 м.

Таблица 13. **Технические характеристики вакуум-насосов**

Показатели	КВН-4	КВН-8	ВВН-0,75	ВВН-1,5	ВВН-3	РМК-1	РМК-2
Подача $Q_{вн}$, л/с	6,7	13,5	12,5	25	50	25	70
Максимальный вакуум $H_{вак}/H_a$	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,9	0,92
Мощность электродвигателя, кВт	1,7	2,8	1,2	4	7,5	4,5	10
Габариты, мм:							
длина	392	417	445	682	1085	575	575
ширина	240	240	240	450	510	360	360
высота	278	278	295	938	1102	390	390
Диаметр патрубка, мм	25	25	25	50	65	65	65
Масса насоса, кг	38	42	50	163	380	93	109

В качестве вакуум-насосов системы заливки чаще всего принимаются водокольцевые насосы: КВН — консольный вакуум-насос, ВВН — водокольцевой вакуум-насос, РМК — ротационная машина-компрессор (табл. 13).

Для того чтобы постоянно поддерживать резервные насосы в залитом состоянии, в вакуум-систему включают вакуум-котел (рис. 27). Создав определенный вакуум в системе и вакуум-котле, вакуум-насосы автоматически отключаются. Подсасываемый в систему через неплотные соединения воздух постепенно уменьшает вакуум. При определенных малых значениях вакуума в вакуум-котле вакуум-насосы автоматически включаются.

Расчетный объем вакуум-котла $W_{в.к}$ принимают исходя из условия, чтобы вакуум-насос, поддерживающий расчет-

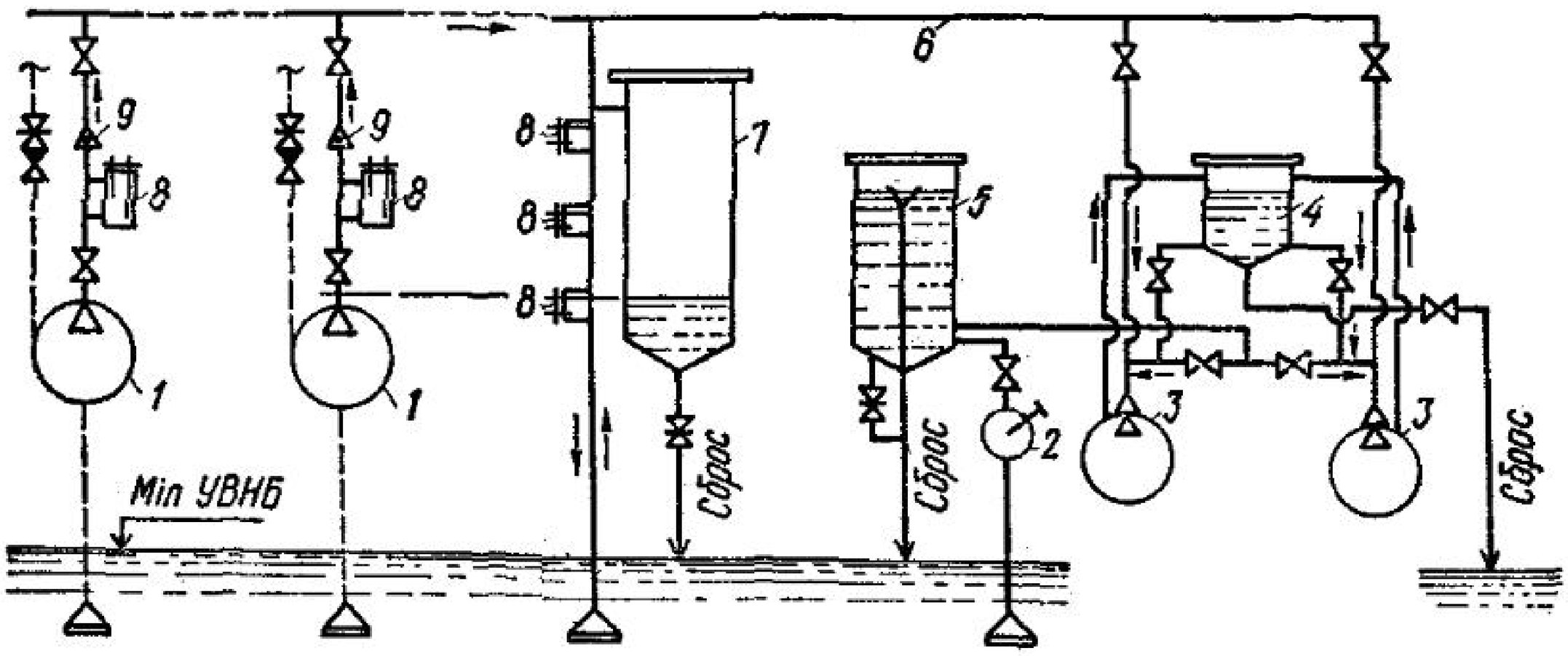


Рис. 27. Схема заливки основных насосов при помощи вакуум-котла:

1 — основные насосы; *2* — ручной насос; *3* — вакуум-насосы; *4* — водоотделитель вакуум-насосов; *5* — заливочный бачок-отстойник; *6* — воздушная магистраль; *7* — вакуум-котел; *8* — сигнализатор уровня; *9* — клапан выпуска воздуха или вентиль с электроприводом

ный уровень вакуума в котле, включался не более 4 раз в час:

$$W_{в.к} = 900Q_{п}(1 - Q_{п}/Q_{в.н}), \qquad (25)$$

где $Q_{п}$ — подсос воздуха, л/с; $Q_{в.н}$ — подача вакуумнасоса, л/с.

Подсос воздуха в систему принимают в зависимости от диаметра всасывающего патрубка заливаемого насоса:

Диаметр всасывающего патрубка, мм	До 150	150—300	300—600	600—1200
Подсос $Q_{п}$, л/с	0,014	0,028	0,056	0,112

Дренажные насосные установки. Эти установки предназначены для откачки из подземной части насосной станции грунтовых вод, фильтрующих через стены здания, утечек через сальники насосов и воды, изливающейся при ремонте оборудования. Для сбора дренажных вод в машинном зале устраивается дренажный колодец. Объем колодца принимают равным подаче дренажного насоса в течение 10—15 мин. Вода к колодцу подводится дренажными лотками, расположенными у стен. Пол делается с уклоном в сторону лотков (0,002—0,005).

В насосных станциях I подъема с забором из открытого водоисточника дренажная вода откачивается обратно в водоем, в насосных станциях водоотведения — в приемный резервуар, в насосных станциях II подъема — в наружную систему водоотведения. Глубина насосной станции определяет статический напор дренажных насосов, а гидравлические потери принимаются равными 2—4 м.

Подача дренажных насосов определяется по формуле

$$Q_{д} = (1{,}5 \ldots 2)(\Sigma q_1 + q_2), \qquad (26)$$

где Σq_1 — суммарные утечки через сальники, по 0,05... ...0,1 л/с на каждое сальниковое уплотнение; q_2 — фильтрационный расход через стены и пол здания, л/с.

Ориентировочно q_2, л/с, определяют по формуле

$$q_2 = 1{,}5 + 0{,}001W,$$

где W — объем части машинного зала, расположенной ниже максимального уровня грунтовых вод, м^3.

В качестве дренажных удобно применять вихревые консольные самовсасывающие насосы ВКС или погружной центробежный моноблочный канализационный насос

Таблица 14. **Технические характеристики насосов ВКС и ЦМК**

Марка	Подача, л/с	Напор, м	Мощность, кВт	Масса, кг	Габариты в плане, мм	$H_{вак}^{доп}$, м
ВКС 2/26	0,75—2,2	60—20	5,5	130	947×320	4
ВКС 4/24	1,58—4,3	70—20	7,5	166	1005×360	4
ВКС 5/24	2,38—5,4	70—20	10	180	1047×320	4
ВКС 10/45	5,0—11,1	85—30	30	315	1197×430	3
ЦМК 16/27	4,4	27	4	136	2000×200	—

ЦМК 16/27, технические характеристики которых приведены в табл. 14. Дренажных насосов устанавливают не менее двух (один — резервный). Запуск и выключение насосов производятся автоматически от поплавковых реле уровней в дренажном колодце. Насосы ВКС устанавливаются на фундаментах, а ЦМК опускаются в приямок.

Система осушения. Предназначается для откачки воды из всасывающих трубопроводов и приемных камер основных насосов и из машинного зала в случае его затопления при аварии.

Специальная система удаления осажденных наносов из камер водозаборных сооружений. Применяется на насосных станциях I подъема.

Расчет систем осушения и удаления осажденных наносов рассматривается в гл. 5, § 18.

Система технического водоснабжения разрабатывается в курсовых проектах насосных станций I подъема и водоотведения. Она проектируется для подачи воды на смазку и охлаждение подшипников и уплотнение сальников. Расход технической воды определяется по паспортным данным основных насосов. Ориентировочно можно принимать по 0,5—1 л/с на каждый рабочий агрегат. Напор в техническом водопроводе должен на 2—10 м превышать напор основных насосов.

В насосных станциях I подъема техническая вода перед подачей к насосам может очищаться на фильтрах. В насосных станциях систем водоотведения насосы технического водопровода забирают воду из хозяйственно-питьевого водопровода через бак разрыва струи. В системах технического водоснабжения чаще всего применяют насосы типа ВК, ВКС или К: один — рабочий, один — резервный.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

§ 9. Подъемно-транспортное оборудование

Количество комплектов подъемно-транспортного оборудования и схема его работы при монтаже (демонтаже) насосных агрегатов или арматуры зависят от расположения машинного зала относительно поверхности земли, от вида транспорта, на котором насосы и арматура подаются к насосной станции, от размеров монтажных площадок и проемов ворот.

При проектировании насосной станции желательно предусмотреть въезд транспорта (автомобиля) с монтируемым грузом непосредственно на монтажную площадку внутри насосной станции (рис. 28). Вокруг транспорта, на котором подается оборудование на монтажную площадку, должен быть обеспечен проход шириной не менее 0,7 м. Минимальные размеры монтажной площадки определяются маркой используемых автомобилей и приведены в табл. 15.

В незаглубленных и полузаглубленных насосных станциях монтируемый груз забирается подъемно-транспортным оборудованием с грузовой платформы кузова автомобиля и подается к месту монтажа или на промежуточную

Таблица 15. **Грузоподъемность и габариты грузовых автомобилей**

Марка автомобиля	УАЗ-451М	ГАЗ-51А	ЗИЛ-130	МАЗ-500	КрАЗ-257
Грузоподъемность, т	1	2,5	5	8	12
Размеры автомобиля, мм:					
длина	4360	5725	8675	7140	9660
ширина	1940	2250	2500	2500	2650
высота	2070	2130	2400	2650	2620
Размеры платформы, мм:					
длина	2730	3070	3752	4810	5770
ширина	1820	2070	2326	2480	2480
высота (погрузочная)	700	1200	1370	1500	1520
Минимальные размеры монтажной площадки, мм:					
длиа	3430	3770	4452	5510	6000
ширина	3220	3470	3726	3880	3880

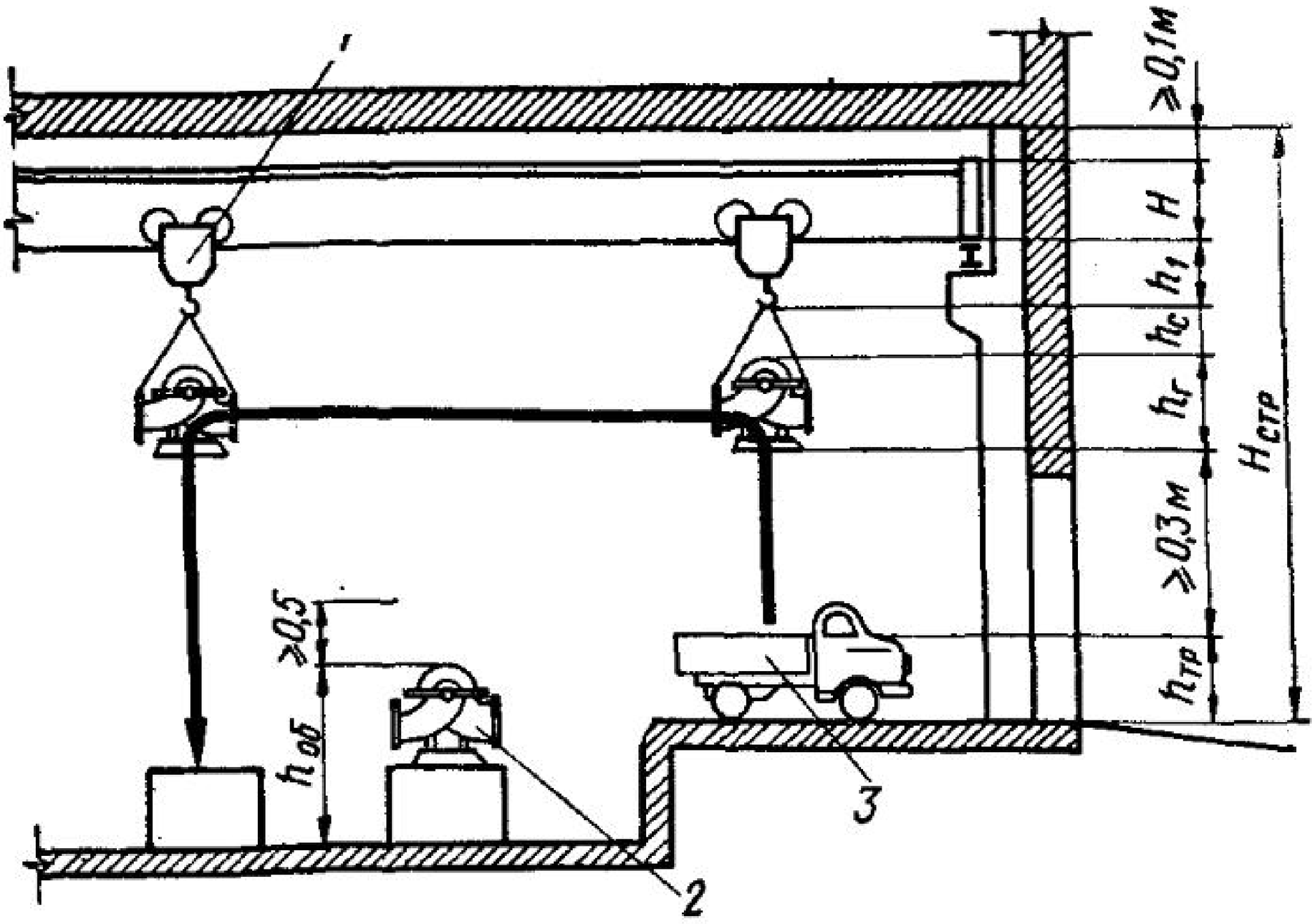


Рис. 28. Схема подъемно-транспортных операций в незаглубленных и полузаглубленных насосных станциях:

1 — грузовая тележка крана; *2* — установленный насос; *3* — автомобиль

монтажную площадку. В заглубленных насосных станциях подъемно-транспортным оборудованием верхнего помещения груз подается к монтажному люку и через него опускается на монтажную площадку заглубленного машинного зала. С этой площадки транспортным оборудованием машинного зала груз подается к месту монтажа (рис. 29).

Форма и размеры монтажного люка определяются габаритами проносимого оборудования с учетом запаса не менее 0,3 м. Проходы вокруг оборудования на монтажной площадке должны быть не менее 0,7 м.

При небольших массе и размерах монтируемого оборудования можно предусмотреть вкатывание его на монтажную площадку внутрь здания на инвентарной тележке с низко расположенной грузовой платформой. Это позволит уменьшить высоту верхнего строения и ворот. Груз с автомобиля на монтажную тележку может переноситься вне здания с помощью наружного монорельса (рис. 29).

Таким образом, в монтаже (демонтаже) основного технологического оборудования насосной станции может участвовать от одного до трех подъемно-транспортных механизмов.

Грузоподъемность подъемно-транспортного оборудования следует назначать по массе наибольшей монтажной единицы с учетом 10 % надбавки. За монтажную единицу можно принимать: ротор вертикального электродвигателя (если

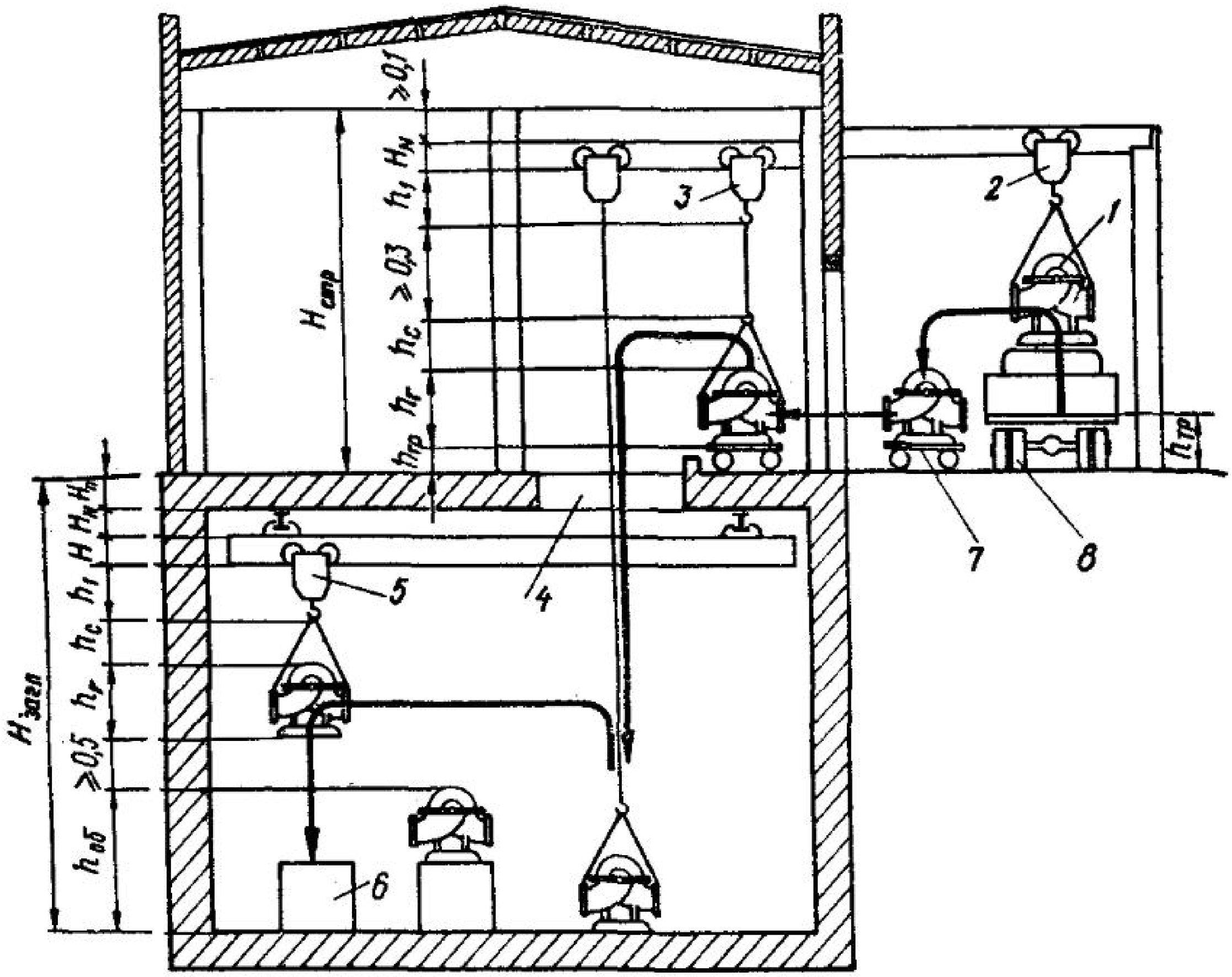


Рис. 19. Схема подъемно-транспортных операций в заглубленных насосных станциях:

1 — транспортируемый насос; *2* — тельфер; *3*, *5* — грузовые тележки крана; *4* — монтажный проем; *6* — фундамент под насос; *7* — нивентарная тележка; *8* — автомобиль

электродвигатель поставляется в разобранном виде), горизонтальный агрегат в сборе при наличии фундаментной плиты или общей рамы заводского изготовления, насос, электродвигатель или задвижку.

Вид подъемно-транспортного оборудования принимается в зависимости от массы монтируемых агрегатов и габаритов здания с учетом удобства эксплуатации: балки неподвижные (монорельсы) с кошками и талями — при массе груза до 1000 кг; краны подвесные (кран-балки) — при массе до 5000 кг; краны мостовые — при массе груза более 5000 кг.

Подъемно-транспортное оборудование может быть как с ручным, так и с электрическим приводом. Простота, безотказность в работе — основные преимущества оборудования с ручным приводом, особенно в помещениях с повышенной влажностью. Подъемники с электроприводом рекомендуется применять при высоте подъема более 6 м, длине машинного зала более 18 м, массе груза более 5000 кг, а также в крупных станциях с большим количеством насосных агрегатов.

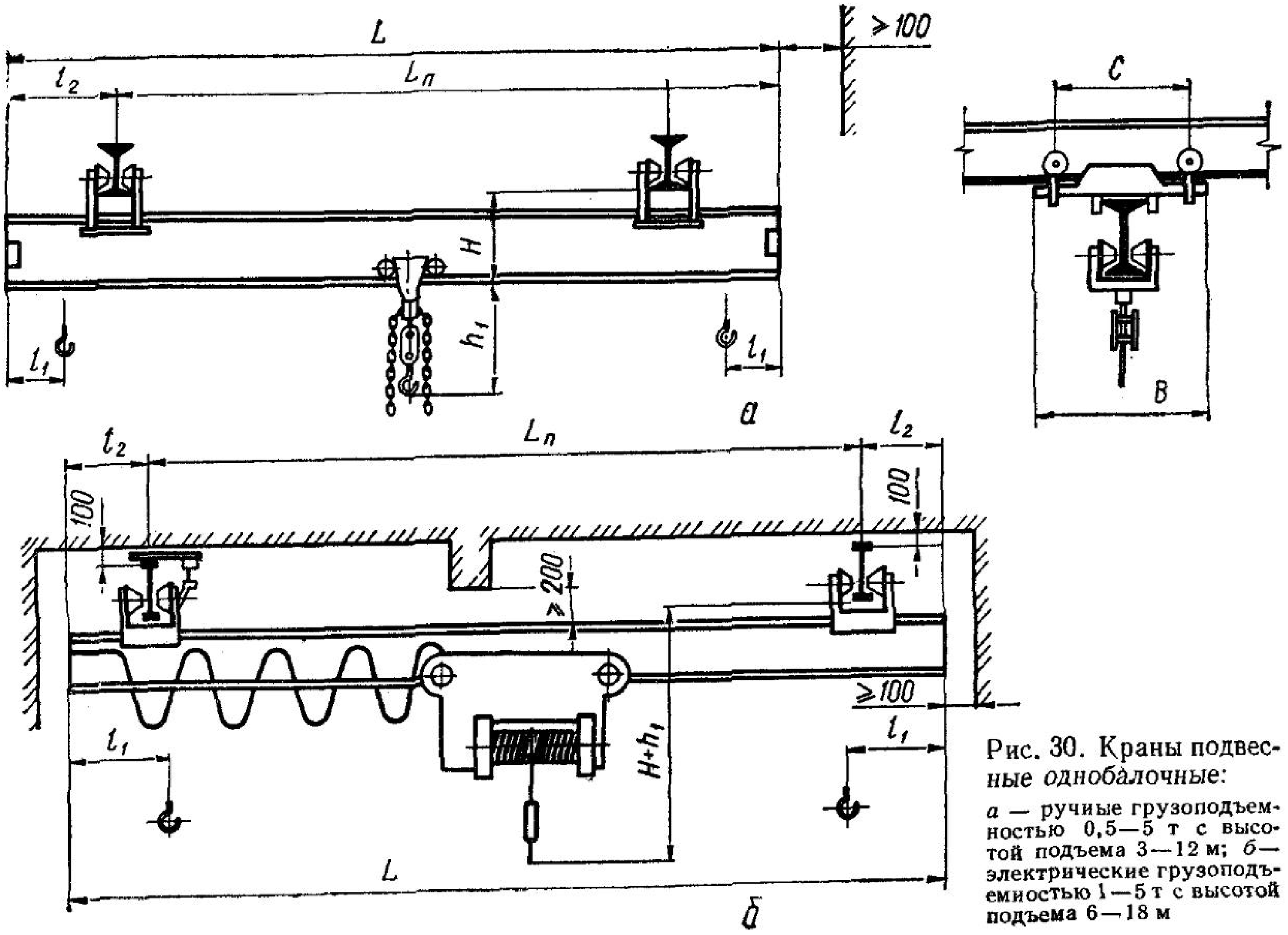


Рис. 30. Краны подвесные *однобалочные*:

а — ручные грузоподъемностью 0,5—5 т с высотой подъема 3—12 м; *б* — электрические грузоподъемностью 1—5 т с высотой подъема 6—18 м

Таблица 16. **Технические характеристики подвесных ручных кранов (рис. 30, *а*)**

Длина крана L, м	Грузоподъемность, т	Пролет $L_п$, м	Размеры, мм						Номер двутавра подкранового пути	Масса крана, кг
			h_1	H	l_1	l	C	B		
3,6	0,5	3	370	220	150	300	1000	1300	18	274
	1		370	220	150		1000	1300	18	274
	2		610	280	200		1000	1300	24	460
	3,2		610	280	200		1000	1300	24	469
	5		755	340	220		1500	2000	30	633
6,6	0,5	6	370	220	150	300	1500	1800	18	372
	1		370	220	150		1500	1800	18	372
	2		610	340	200		1500	1800	30	663
	3,2		610	340	200		1500	1800	30	679
	5		755	400	220		1800	2300	36	889
10,2	0,5	9	370	280	150	600	1800	2100	24	562
	1		370	280	150		1800	2100	24	562
	2		610	400	200		1800	2100	36	940
	3,2		610	400	200		1800	2100	36	961
	5		755	490	220		2100	2600	45	1271

Монорельсы следует применять при однорядном расположении агрегатов параллельно продольной оси здания, когда все насосы и двигатели будут находиться под монорельсом. При других схемах расположения агрегатов монорельсы применяются при малой массе монтажной единицы (до 100 кг). Для разгрузки оборудования монорельсы используются при массе груза до 5000 кг.

Та часть подъемного устройства, с помощью которой оно удерживается на балке и перемещается по ней, называется *кошкой,* а та, с помощью которой производится подъем груза,— *талью*. Тали грузоподъемностью 1, 2, 3 и 5 т крепятся на двутавровых балках 24М, 30М, 36М и 45М, соответственно. Минимальное расстояние от монорельса до крюка для талей грузоподъемностью 1, 2 и 3 т составляет 1310 мм, а грузоподъемностью 5 т — 1520 мм.

Подвесные кран-балки применяют для обслуживания прямоугольного в плане помещения или его части. Подвижная балка с расположенными на ней кошкой и талью перемещается по двум неподвижным балкам-двутаврам, подвешенным к конструкциям перекрытия. Неподвижные балки располагаются вдоль длинной стороны помещения. Длина подвижных балок изменяется в широких пределах и принимается в зависимости от ширины помещения. Кран-балки с электроприводом выпускаются с пролетами до 17 м.

Таблица 17. **Технические характеристики подвесных кранов с электроприводом (рнс. 30, *б*)**

Длина крана L, м	Грузоподъемность, т	Пролет $L_п$, м	Размеры, мм					Мощность электродвигателя, кВт	Номер двутавра подкранового пути	Масса крана, кг
			$H+h_1$	l_1	l	C	B			
3,6	1	3	1120	660	300	1000	1350	1,7	18	590
	2		1350	710		1000	1350	2,8	24	785
	3,2		1635	750		1000	1365	4,5	30	1060
	5		1910	900		1500	2095	7	30	1470
5,1	1	4,5	1125	660	300	1000	1350	1,7	18	695
	2		1360	710		1000	1350	2,8	24	895
	3,2		1645	750		1000	1365	4,5	30	1180
	5		2010	900		1500	2095	7	30	1745
8,4	1	6	1125	660	1200	1500	1850	1,7	24	890
	2		1360	710		1500	1850	2,8	30	1135
	3,2		1705	750		1500	1865	4,5	36	1500
	5		2010	900		1800	2395	7	36	2070
11,4	1	9	1245	660	1200	1800	2150	1,7	30	1070
	2		1545	710		1800	2150	2,8	30	1465
	3,2		1955	750		1800	2165	4,5	36	1995
	5		2170	900		2100	2695	7	36	2530

Технические характеристики подвесных кранов приведены в табл. 16 и 17, а общий вид — на рис. 30.

Мостовые краны (табл. 18 и рис. 31) передвигаются вдоль машинного зала по рельсам, уложенным на подкрановые балки, которые опираются на консоли несущих колон или выступы стен (пилястры). Мостовые краны — оборудова-

Таблица 18. **Технические характеристики мостовых кранов с электроприводом (рис. 31)**

Грузоподъемность, т	Пролет, $L_п$, м	Размеры, мм						Мощность электродвигателя, кВт	Масса крана, т
		H	h_1	l_1	l	B	C		
5	11—32	1650	50	1100	300	5000—6500	3500—5000	2,7	13,6—33,3
10	10,5—34,5	1900	500	1200	1100	5508—5802	4400—5000	7,5	17—34,9
15/3	11—26	2300	600/100	2000/1000	1880/1120	5600	4400	5	20,5—34,4
20/5	10,5—25,5	2400	600/50	2250/1250	1950/1300	5600	4400	7,5	23—40,5
30/5	10,5—31,5	2750	400/300	2560/1600	1910/950	6300	5100	16	33,5—66

Примечание. В знаменателе указаны параметры вспомогательного крюка.

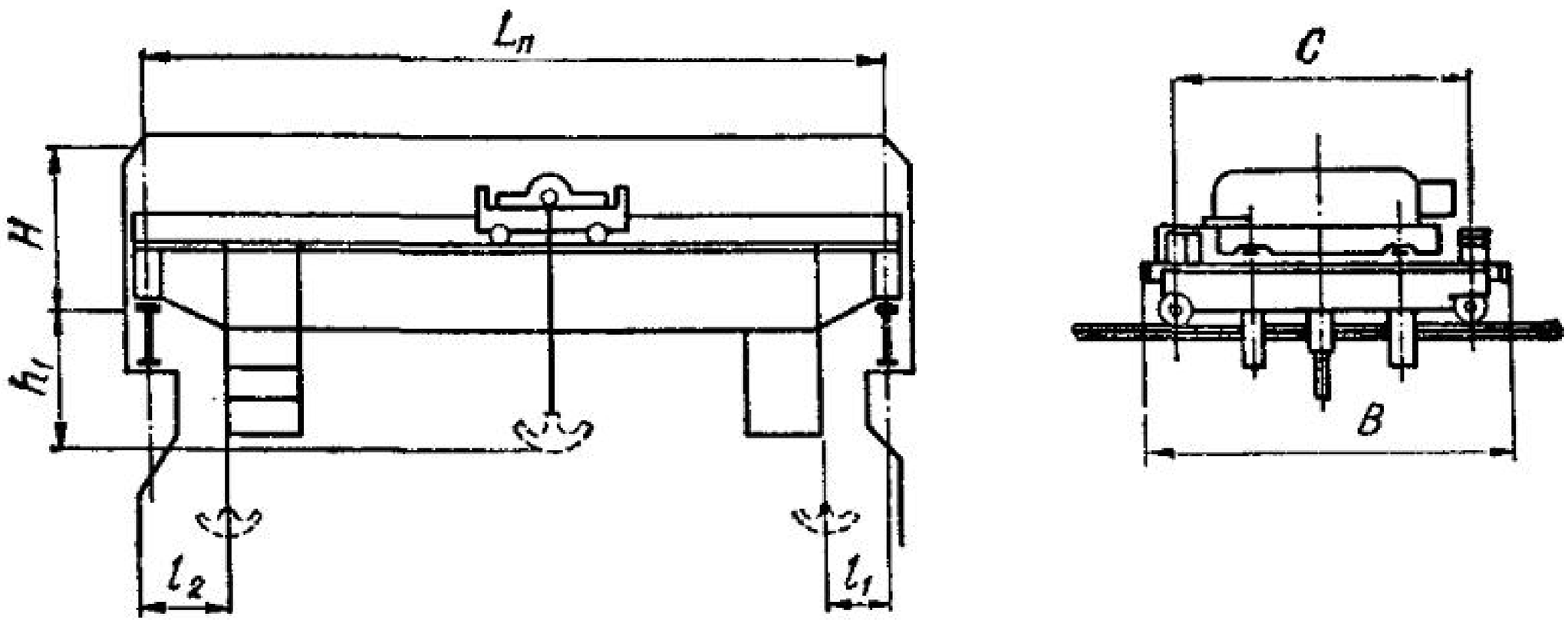


Рис. 31. Кран мостовой электрический грузоподъемностью 5—30 т

ние более громоздкое, чем подвесные кран-балки и требуют большей высоты помещения. Их крюки не могут так близко подходить к стенам помещения, как крюки кран-балок. Мостовые краны применяются при больших массах монтируемого оборудования.

Специально для круглых насосных станций выпускаются радиальные мостовые краны. Несущая балка такого крана одним концом опирается на опору в виде центральной цапфы с радиально-сферическим подшипником, а другим — на торцовую балку с колесами, передвигающуюся по кру-

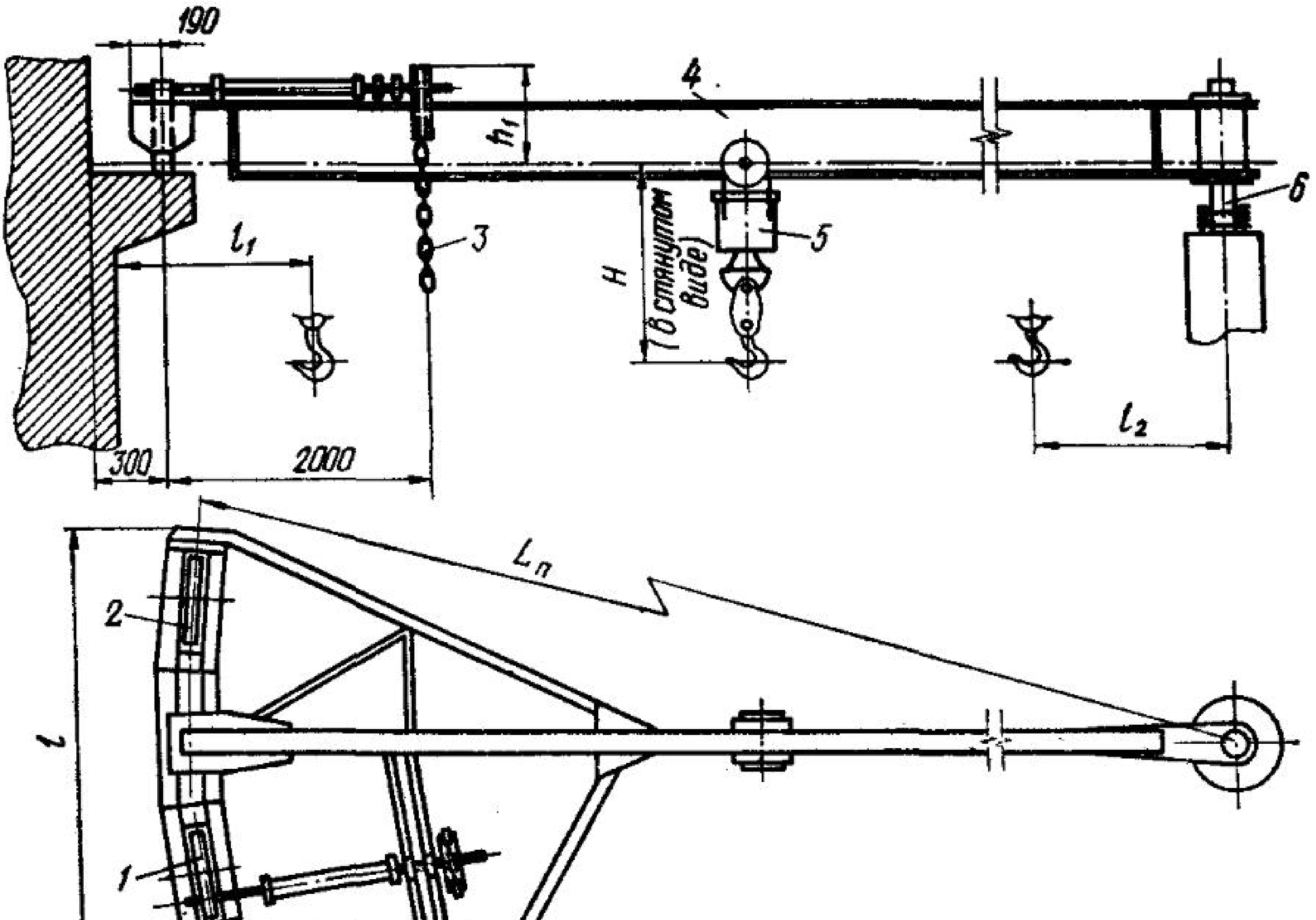


Рис. 32. Кран мостовой радиальный:

1 — приводное колесо; *2* — холостое колесо; *3* — тяговая цепь ручного привода; *4* — несущая балка; *5* — таль; *6* — центральная цапфа

Таблица 19. **Технические характеристики мостовых кранов радиальных (рис. 32)**

Грузоподъемность, т	Радиус—пролет, $L_п$, м	Размеры, мм					Вид привода	Масса крана, т
		H	h_1	l_1	l_2	l		
5	7,5	780	555	700	706	2290	Ручной	1171
8	10	1100	705	700	706	2850	Ручной	2175
10	9	2010	705	1150	2020	2850	Электрический $P = 2 \cdot 75$ кВт	4579

говому рельсу, уложенному по выступу стены. Характеристики этих кранов приводятся в табл. 19, а общий вид — на рис. 32.

§ 10. Конструкции и стандартные размеры частей здания

Подземная часть. В подземной части могут размещаться: машинный зал, водоприемно-сеточные камеры, приемные резервуары насосных станций водоотведения. Если максимальный уровень грунтовых вод расположен ниже уровня пола машинного зала, то подземиая часть насосных станций (кроме станций водоотведения) выполняется как у обычных промышленных зданий: с раздельными фундаментами под насосное оборудование и под строительные конструкции (рис. 33, *а*). При грунтовых водах выше уровня пола подземная часть может быть блочной или камерной.

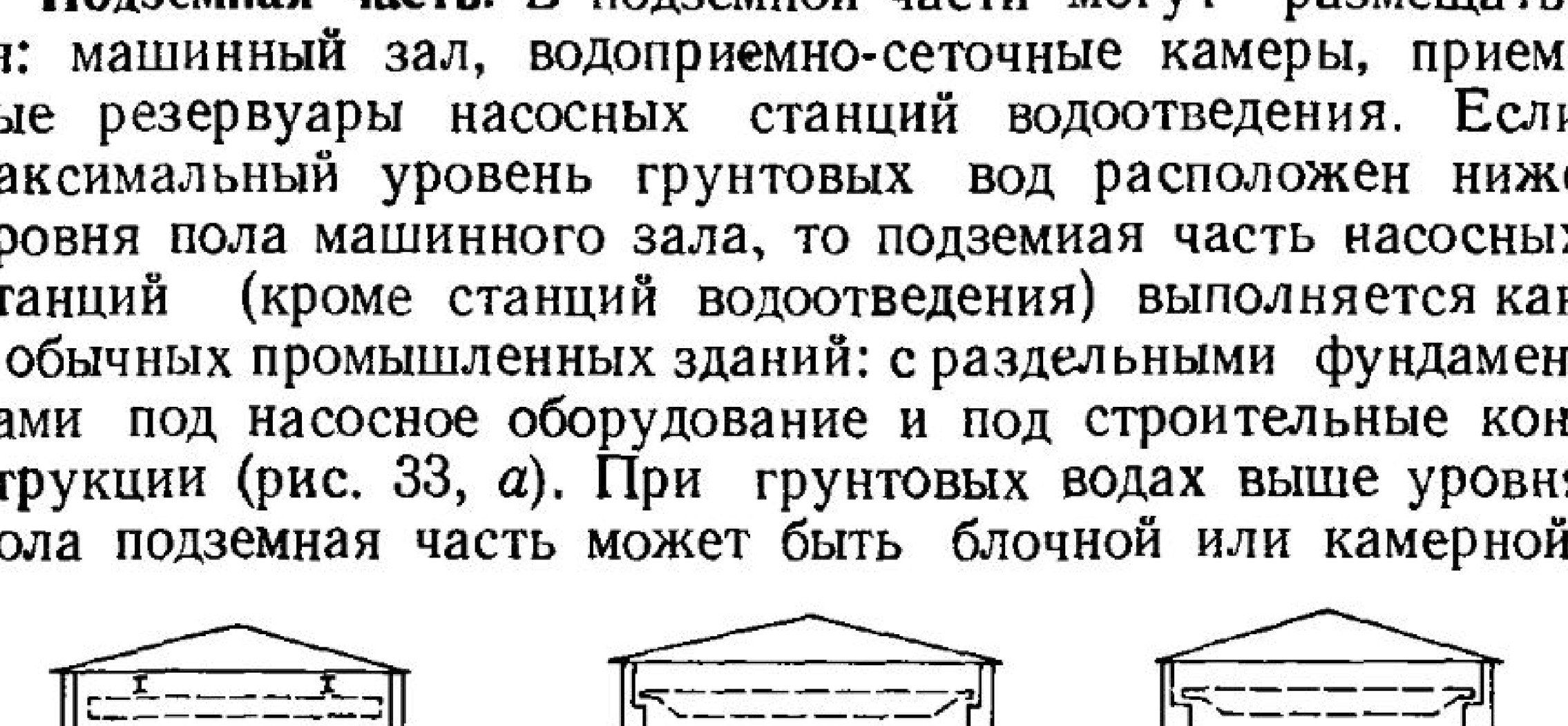


Рис. 33. Типы конструкций подземной части насосных станций:
а — с раздельными фундаментами под оборудование и строительные конструкции; *б* — блочная; *в* — камерная

Блочная конструкция представляет собой массивный бетонный блок в основании насосной станции, в котором устроены имеющие сложную пространственную форму всасывающие трубы насосов (рис. 33, *б*). Блочная конструкция применяется при определенных высокопроизводительных вертикальных центробежных и осевых насосах (серий О, ОП и В).

При камерном типе здания его подземная часть выполняется в виде относительно тонкостенной доковой конструкции — камеры. Фундаменты насосов опираются на несущее днище камеры (рис. 33, *в*).

Толщину стен и днища камеры в первом приближении следует принимать равной 0,1 максимального напора воды или грунта, действующего на конструкцию в рассматриваемом сечении.

Подземную часть зданий выполняют из гидротехнического бетона соответствующей марки и водонепроницаемости. Если позволяют условия производства работ, наружную поверхность стен подземной части насосной станции покрывают битумной гидроизоляцией до отметки на 0,5 м выше уровня грунтовых вод.

Объем подземной части должен быть минимальным. Заглубление и размеры в плане подземной части определяются компоновкой насосного оборудования. Размеры подземной части больших насосных станций в плане следует принимать кратными 3 м. При длине стороны или диаметре подземной части сооружения до 9 м допускается принимать размеры прямоугольных сооружений кратными 1,5 м, круглых — 1 м.

Если глубина подземной части позволяет разместить технологическое и подъемно-транспортное оборудование, над ней сооружают перекрытие, то есть проектируют заглубленный тип насосной станции. Минимально допустимое заглубление, при котором возможно такое решение, определяется из рис. 29:

$$H_{\text{загл}} \geqslant h_{\text{об}} + 0{,}5 + h_{\text{г}} + h_{\text{с}} + h_1 + H + H_N + H_{\text{п}}, \quad (27)$$

где $h_{\text{об}}$ — высота установленного оборудования, через которое надо переносить груз; 0,5 м — расстояние между грузом и оборудованием; $h_{\text{г}}$ — высота переносимого груза; $h_{\text{с}}$ — высота строповки; принимается 0,5—1 м; при этом угол между стропами должен быть не более 90°; $h_1 + H$ — размеры подъемно-транспортного оборудования при максимальном поднятии крюка; H_N — высота подкранового пути, например, для двутавра № 30М $H_N = 0{,}3$ м; $H_{\text{п}}$ — вы-

сота перекрытия; высота балок перекрытия принимается порядка 0,1 их пролета, толщина плиты 0,1—0,2 м.

Если заглубление машинного зала не удовлетворяет соотношению (27) и разместить подъемное оборудование в подземной части нельзя, то принимают полузаглубленный тип здания.

Заглубленные помещения должны сообщаться с надземными частями здания лестницами шириной не менее 0,9м с углом наклона не более 45°, из помещений длиной 12 м — не более 60°.

В заглубленных насосных станциях, работающих в автоматическом режиме, при заглублении машинного зала 20 м и более, а также в насосных станциях с постоянным обслуживающим персоналом при заглублении 15 м и более следует предусматривать устройство пассажирского лифта.

Для подъема на площадки обслуживания ширина лестниц должна быть не менее 0,7 м, угол наклона — не более 60°. Для одиночных переходов через трубы и для подъема к отдельным задвижкам и затворам допускается применять *лестницы шириной 0,5 м с углом наклона более 60° или стремянки.*

Высоту верхнего строения обычно определяют отдельно для машинного зала и для вспомогательных помещений Высоту верхнего строения над машинным залом или в перевалочном помещении монтажной площадки определяют согласно схемам рис. 28 или рис. 29 по формулам:

$$H_{\text{верх}} \geqslant h_{\text{тр}} + 0{,}5 + h_{\text{г}} + h_{\text{с}} + H + 0{,}1, \qquad (28)$$

или

$$H_{\text{верх}} \geqslant h'_{\text{тр}} + 0{,}5 + h_{\text{г}} + h_{\text{с}} + h_1 + H + H_N, \qquad (29)$$

где $h_{\text{тр}}$ — погрузочная высота платформы автомобиля, принимаемая по табл. 15; $h'_{\text{тр}}$ — высота инвентарной тележки принимаемая 0,15—0,3 м; остальные обозначения — те же что в формуле (27).

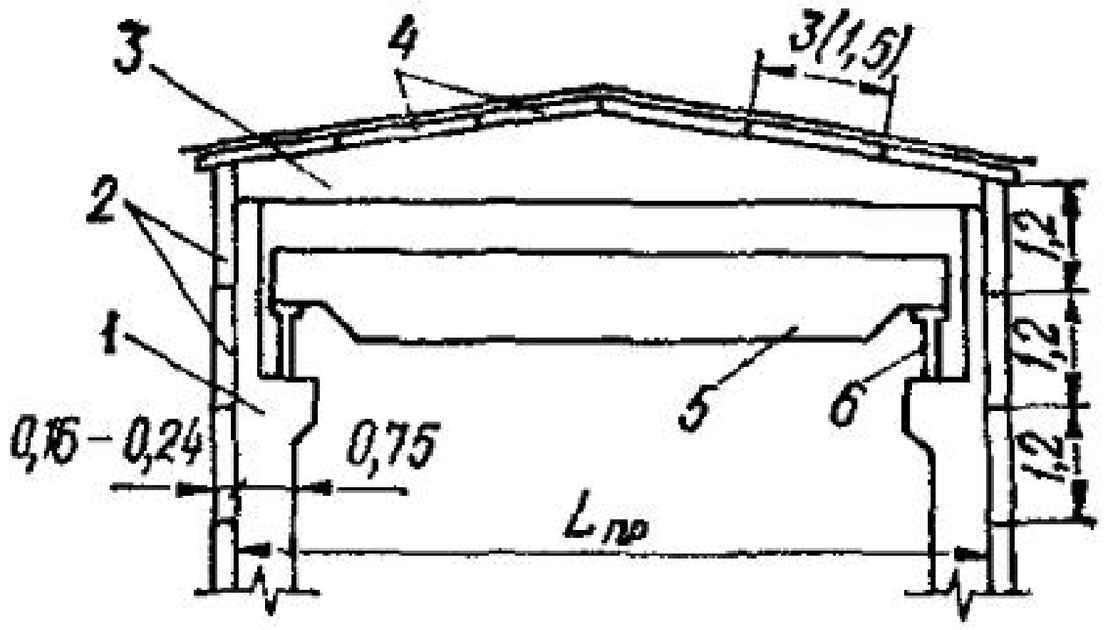
Высоту верхнего строения $H_{\text{верх}}$ округляют до ближайшей стандартной: 3; 3,6; 4,2; 4,8; 5,4; 6; 7,2; 8,4; 9,6; 10,8; 12,6; 14,4; 16,2 и 18 м.

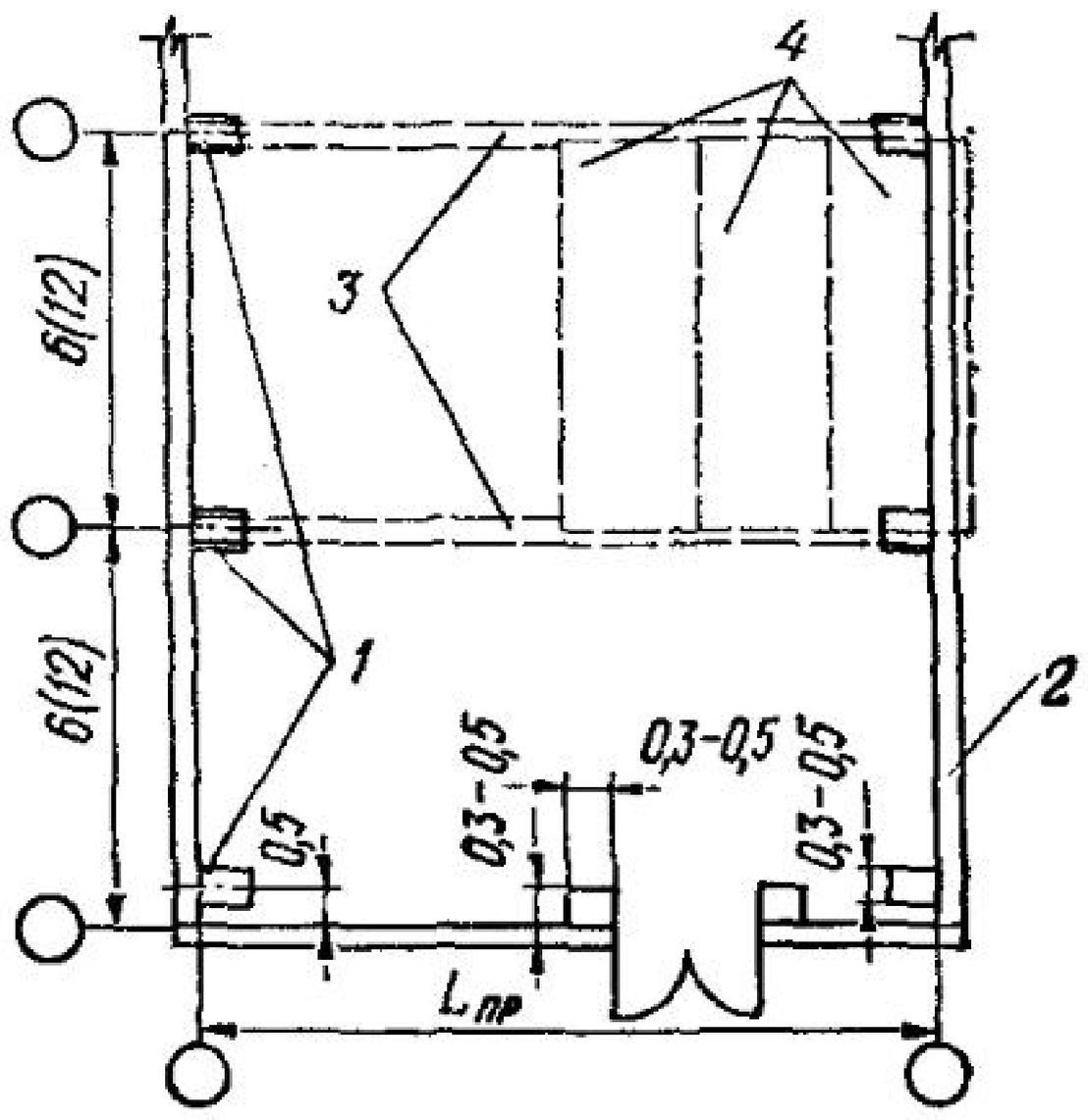
При высоте машинного зала более 4,8 м служебные помещения и электрическая часть, вынесенные в пристройку, могут иметь меньшую высоту. Высота пристройки обычно определяется высотой ячеек распределительного устройства или камер трансформаторов (см. § 11).

При наличии мостового крана в машинном зале или высоте несущих стен более 6 м рекомендуется применять кар

Рис. 34. Верхнее строение здания насосной станции каркасной конструкции:

1 — колонны; *2* — стеновые панели; *3* — фермы (балки) перекрытия; *4* — плиты покрытия; *5* — мостовой кран; *6* — подкрановые балки





касную конструкцию здания. В остальных случаях возможны каркасные и бескаркасные конструкции с несущими стенами из кирпича. Часто машинный зал выполняют каркасным, а пристройку со вспомогательными помещениями — бескаркасной.

Пролеты зданий $L_{пр}$ назначают равными 6, 9, 12, 15, 18, 21 и 24 м при шаге колонн 6 (12) м. В бескаркасных зданиях длина здания может быть кратна 1,5 м. Размеры и привязка колонн и наружных стен к разбивочным осям показаны на рис. 34 и 35. Оси торцевых колонн смещают на 0,5 м внутрь здания. Внутренние поверхности торцевых стен должны совпадать с поперечными осями.

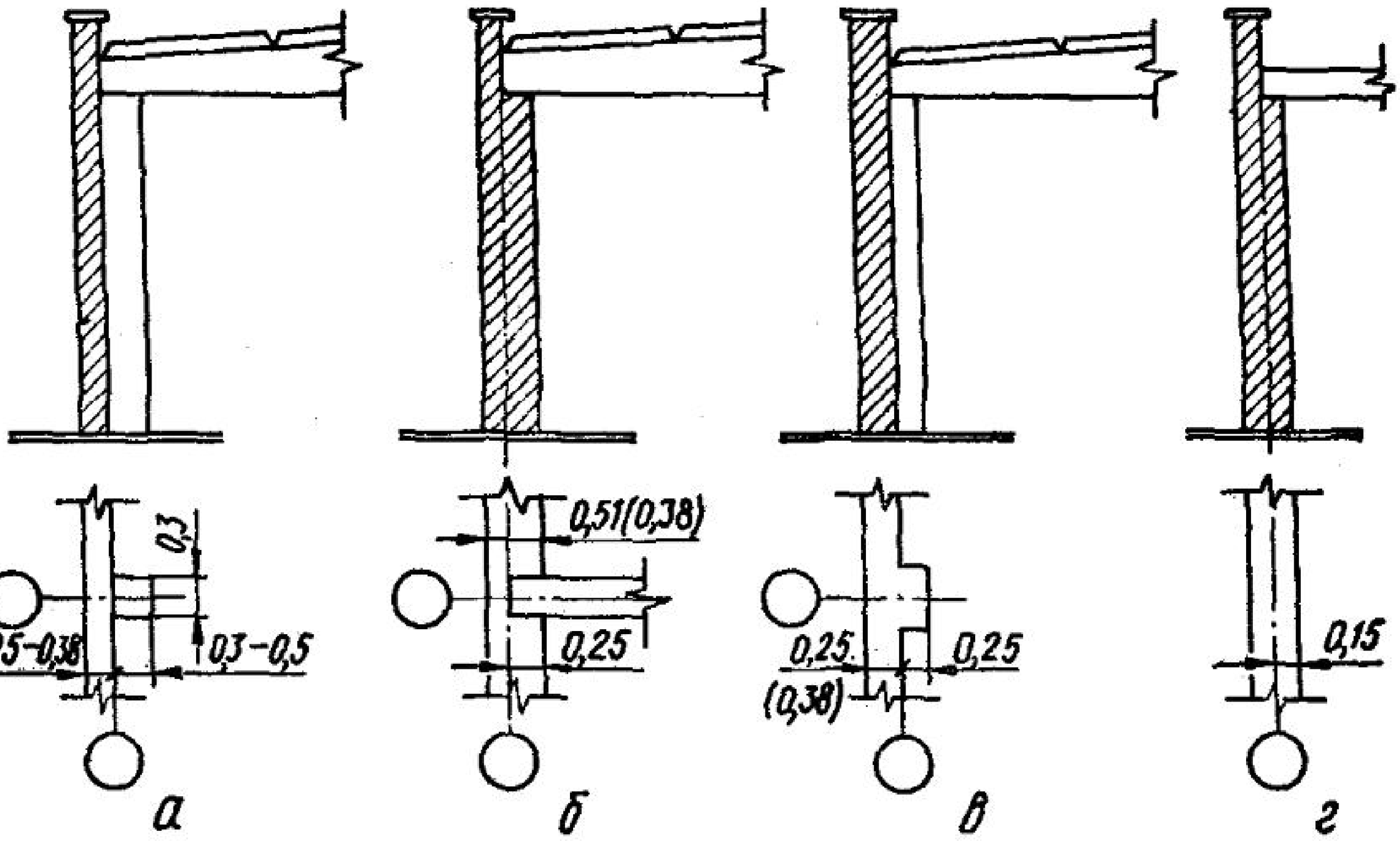


Рис. 35. Схемы привязки наружных стен к продольным разбивочным осям:

а — каркасная конструкция; *б* — опирание балки на стенку; *в* — стена с пилястрой; *г* — опирание плиты на стену

Для покрытия зданий рекомендуется применять сборные железобетонные плиты размером 3 × 6 и 3 × 12 м (доборные плиты 1,5 × 6 и 1,5 × 12 м), которые укладываются на фермы, пролетные железобетонные балки или на несущие стены верхнего строения.

Кровлю верхних строений выполняют из рулонных материалов по слою утеплителя (засыпка шлака или сборные пенобетонные плиты). Для защиты от солнца кровлю засыпают небольшим слоем щебня светлых тонов.

Площадь окон в помещении с естественным освещением принимается не менее 12,5 % площади пола. В помещениях камер трансформаторов и распределительных устройств окна могут не предусматриваться. Ширину оконных проемов в машинном зале можно принимать 300 см при высоте каждой секции окна 120 или 180 см. Ширину окон во вспомогательных помещениях можно принимать 90, 120 и 150 см.

Габариты провозимого оборудования и автомобиля (см. табл. 15) определяют размеры ворот: 3 × 3; 3,6 × 3; 4 × 3; 4 × 4,2; 4,8 × 5,4 и 4,7 × 5,6 м.

Типовые двери имеют высоту 240 см при ширине 100, 150 и 200 см.

Внутренние перегородки вспомогательных помещений принимаются толщиной 0,06—0,16 м. Камеры трансформаторов и распределительные устройства от остальных помещений отделяются капитальными стенами толщиной 0,25—0,51 м.

На плане здания насосной станции вдоль наружных стен приводятся три нитки размеров: размеры проемов и простенков, начиная с наружного угла здания; осевые размеры с привязкой первой и последней осей к наружным углам здания; контурные размеры здания.

Кроме этих трех могут быть показаны цепочки привязки оборудования и наружных трубопроводов. Указывается толщина капитальных стен. В плане здания с мелкими помещениями, разделяемыми перегородками, через все здание проводят внутреннюю размерную линию и указывают размеры помещений.

Оси технологического оборудования и трубопроводов привязываются к строительным осям и внутренним стенам здания. Указываются размеры проходов и расстояния между оборудованием.

В разрезы сооружения выносятся проемы и конек здания. На разрезах проставляются разбивочные оси и оси технологического оборудования. Основные размеры разрезов могут дублировать размеры плана. Отметки строительных

конструкций даются относительно пола первого этажа. Отметки пола первого этажа, пола машинного зала, осей основных насосов и внешних трубопроводов дублируются (в скобках) абсолютными значениями.

Конструкции кровли, междуэтажных перекрытий и полов обозначаются при помощи вертикальных линий (флажков), перепендикулярно которым указываются примененные материалы и размеры всех слоев конструкции.

Материал конструкций, попавших в сечение, показывается с помощью условных обозначений или условным установленным цветом. Образцами при конструировании здания насосной станции могут служить чертежи, приведенные в литературе [6, 7, 12, 21].

§ 11. Электрическая часть насосных станций

В курсовом проекте разрабатывается принципиальная схема электрических соединений и проектируются помещения электрохозяйства.

Насосные станции, как правило, подключаются к линиям электропередач (ЛЭП) с напряжением 6,3—35 кВт. Станции I категории надежности подключаются не менее чем к двум ЛЭП. Приводные двигатели основных насосов, в зависимости от их напряжения, подсоединяются к ЛЭП через понизительные трансформаторные подстанции (рис. 36, *а*, *в*, *г*) или без них (рис. 36, *б*).

Для включения и отключения приводных электродвигателей основных насосов мощностью свыше 75 кВт или при напряжении свыше 3 кВ устанавливаются масляные выключатели. Они также применяются для отключения трансформаторов и на присоединениях к ЛЭП. В них соединение и разъединение контактов цепи, по которой идет ток, происходит в емкостях, заполненных маслом, что при размыкании предотвращает образование электрической дуги. Когда сеть высокого напряжения разомкнута, отдельные приборы или участки ее можно отключать с помощью разъединителей. Например, разъединители устанавливаются до и после масляного выключателя для возможности его осмотра и ремонта.

Трансформаторы и масляные выключатели, как пожароопасное и находящееся под высоким напряжением оборудование, размещают в отдельных помещениях с капитальными стенами и ограниченным доступом обслуживающего персонала. Привод подвижных контактов масляных выключателей электромагнитный, что позволяет производить включе-

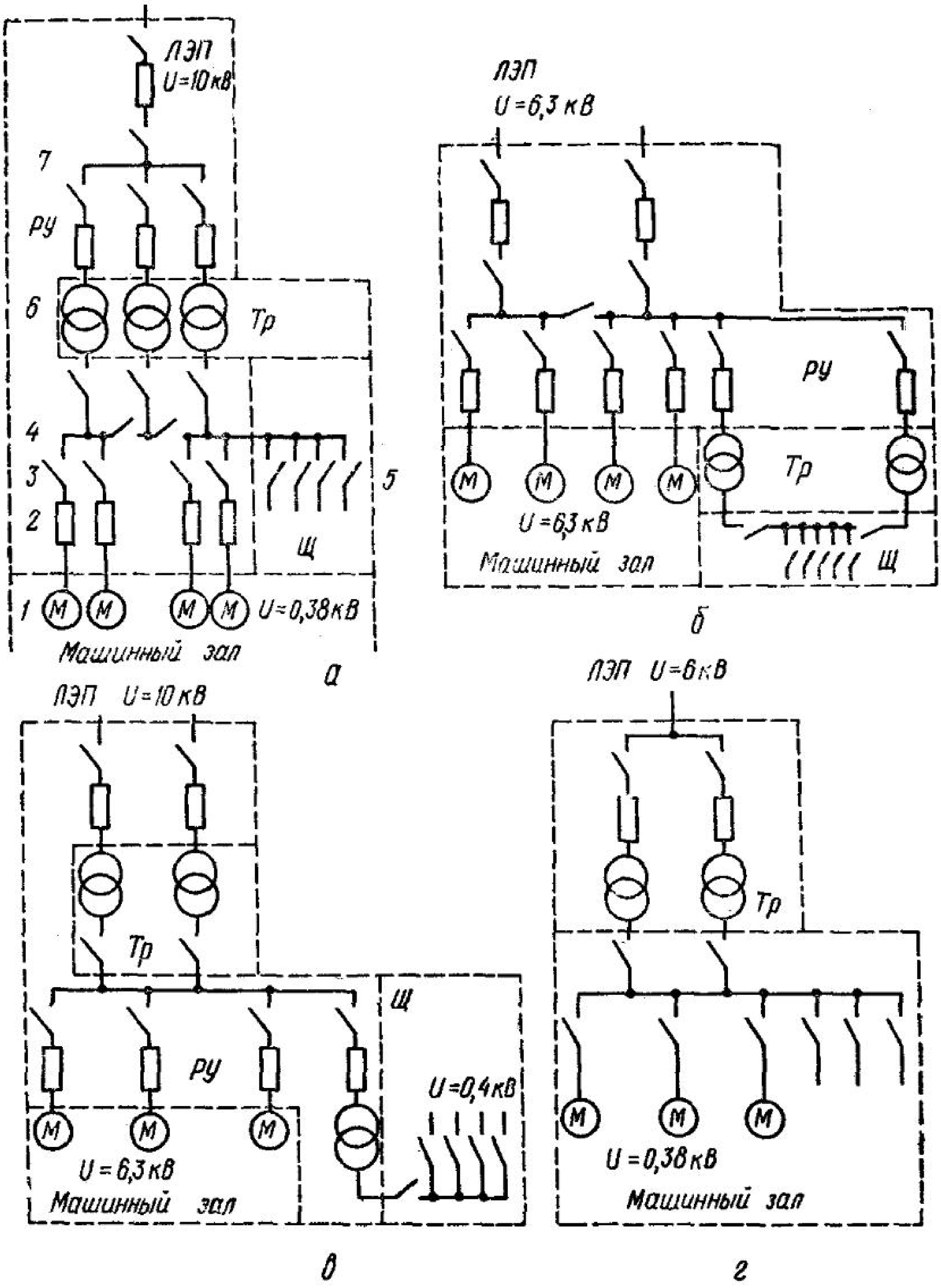


Рис. 36. Схемы электрических соединений насосиых станций:

а, б, в, г — различные варианты электрических соединений;
1 — электродвигатель иасоса; *2* — масляный выключатель; *3* — разъединитель; *4* — шины низкого напряженя; *5* — щит низкого напряжения; *6* — силовой траисформатор; *7* — шины высокого напряженя; РУ — помещение распределительиых устройств; Тр — камеры трансформаторов; *Щ* — щитовое помещение

ние и выключение высоковольтного оборудования из щитовой — помещения, где располагается оборудование низкого напряжения: щит управления, щит измерения и сигнализации, щиты низкого напряжения. Через щиты низкого напряжения подключается вспомогательное оборудование.

Примеры возможных схем электрических соединений насосных станций приводятся на рис. 36. Схема с подсоединением к одной ЛЭП (рис. 36, *а, г*) возможна для насосных станций III категории надежности. Если напряжение электродвигателей основных насосов высокое, то щит низкого напряжения подключается к шинам высокого напряжения через трансформатор собственных нужд (рис. 36, *б, в*). В насосных станциях I категории предусматривается не менее двух таких трансформаторов (рис. 36, *б*). Электродвигатели низкого напряжения мощностью до 75 кВт могут подключаться не через масляные выключатели, а через магнитные пускатели (рис. 36, *г*).

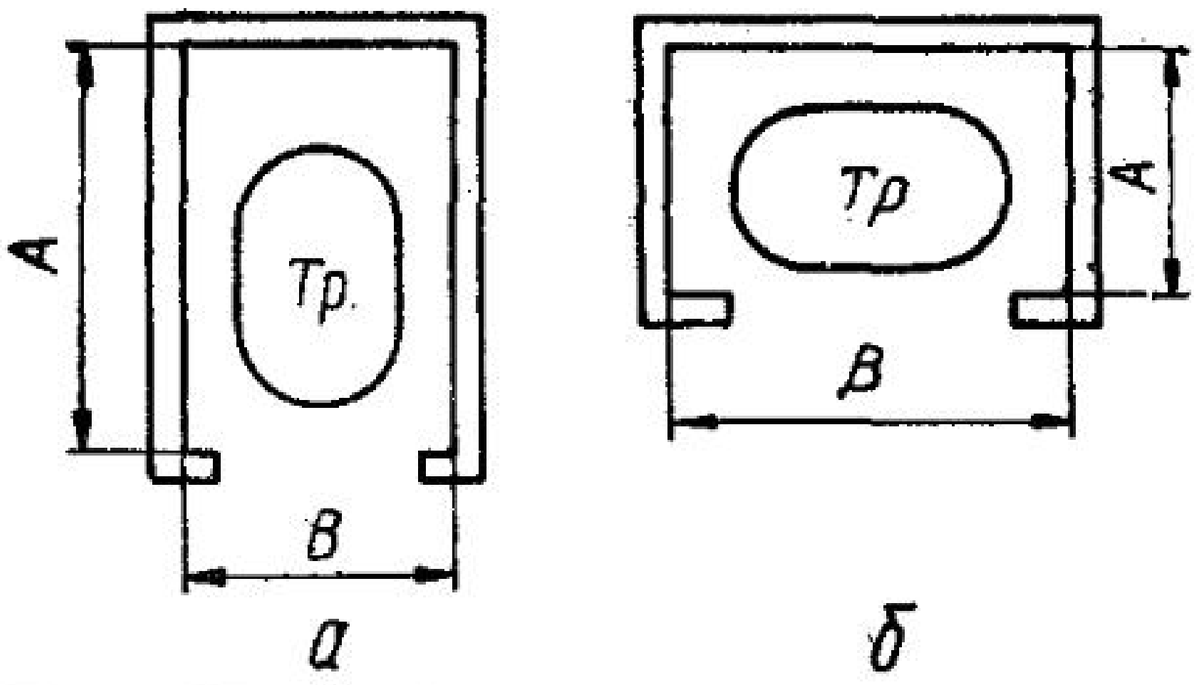
На рис. 36, *а* показано размещение электрического оборудования по помещениям. Распределительные устройства (РУ), камеры трансформаторов (Тр) и щиты управления (Щ) следует размещать во встраиваемых или пристраиваемых к машинному залу помещениях. Допускается установка щитов в машинном зале. Трансформаторные камеры и распределительные устройства проектируются с выходом наружу. Допускается трансформаторы собственных нужд и распределительные устройства размещать в одном помещении.

Необходимая для насосной станции мощность трансформаторов S, кВ·А, определяется мощностью приводных электродвигателей основной группы насосов, мощностью электроприводов других механизмов (задвижек, подъемного оборудования, вспомогательных насосов и др.) и мощностью электроосветительных и электроотопительных устройств:

$$S = k_c \sum \frac{P_н}{\eta_{дв} \cos \varphi} + (10 \ldots 50), \qquad (30)$$

где k_c — коэффициент спроса по мощности, зависит от числа работающих электродвигателей: при двух двигателях — 1, при трех — 0,9, при четырех — 0,8, при пяти и более — 0,7; $P_и$ — номинальная (паспортная) мощность электродвигателей основных насосов (без резервных); $\eta_{дв}$ — коэффициент полезного действия электродвигателя; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности электродвигателя; 10—50 — принимаемая в курсовом проекте нагрузка от вспомогательного оборудования, отопительных и осветительных приборов, кВт.

Значения η и $\cos \varphi$ берутся из технических характеристик электрооборудования. В зависимости от типоразмера электродвигателя $\cos \varphi = 0{,}80 \ldots 0{,}92$, а $\eta_{дв} = 0{,}9 \ldots 0{,}93$.



а *б*

Рис. 37. Габариты трансформаторных камер:

а — с катанием узкой стороной; *б* — то же, широкой

Трансформаторы собственных нужд рассчитываются на мощность вспомогательного оборудования, отопительных и осветительных приборов.

В зависимости от расположения ворот в короткой или длинной стене камеры трансформатора, камеры бывают двух типов: с катанием узкой стороной и с катанием широкой стороной. Минимальные размеры камер, м (рис. 37) приводятся в табл. 20.

Количество трансформаторов принимается по схеме электрических соединений (обычно не менее двух). При выходе из строя одного из установленных трансформаторов допускается перегрузка оставшихся в работе. Временная перегрузка не должна превышать 20—40 % номинальной мощности трансформатора.

Распределительное устройство высокого напряжения состоит из ячеек, в которых размещается высоковольтная аппаратура: масляные выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы тока и напряжения, сборные шины и реле защиты. Ячейки РУ выполняются в виде шкафов КРУ (комплектное распределительное устройство) или КСО (камеры стационарные одностороннего обслуживания). Размеры КРУ: 900 мм — по фронту обслуживания, 1660 мм — в глубину (перпендикулярно фронту обслуживания), 2380 мм — по высоте. Размеры КСО: 1300 мм — по фронту обслуживания, 1300 мм — в глубину, 4600 мм — по высоте. Ширина коридора одностороннего обслуживания принимается не менее 2000 мм, а двустороннего — не менее 2400 мм.

Таблица 20. **Размеры камер трансформаторов**

Мощность трансформатора, кВ · А	Высота, м	Катание узкой стороной		Катание широкой стороной	
		глубина камеры *A*, м	ширина камеры *B*, м	глубина камеры *A*, м	ширина камеры *B*, м
160—250	3,6	3	2,3	2,4	2,9
400—630	3,6	3,5	2,9	3	3,5
750—1000	4,2	3,7	2,9	3	3,9
1350—1800	4,8	5,1	3,5	4	4,6

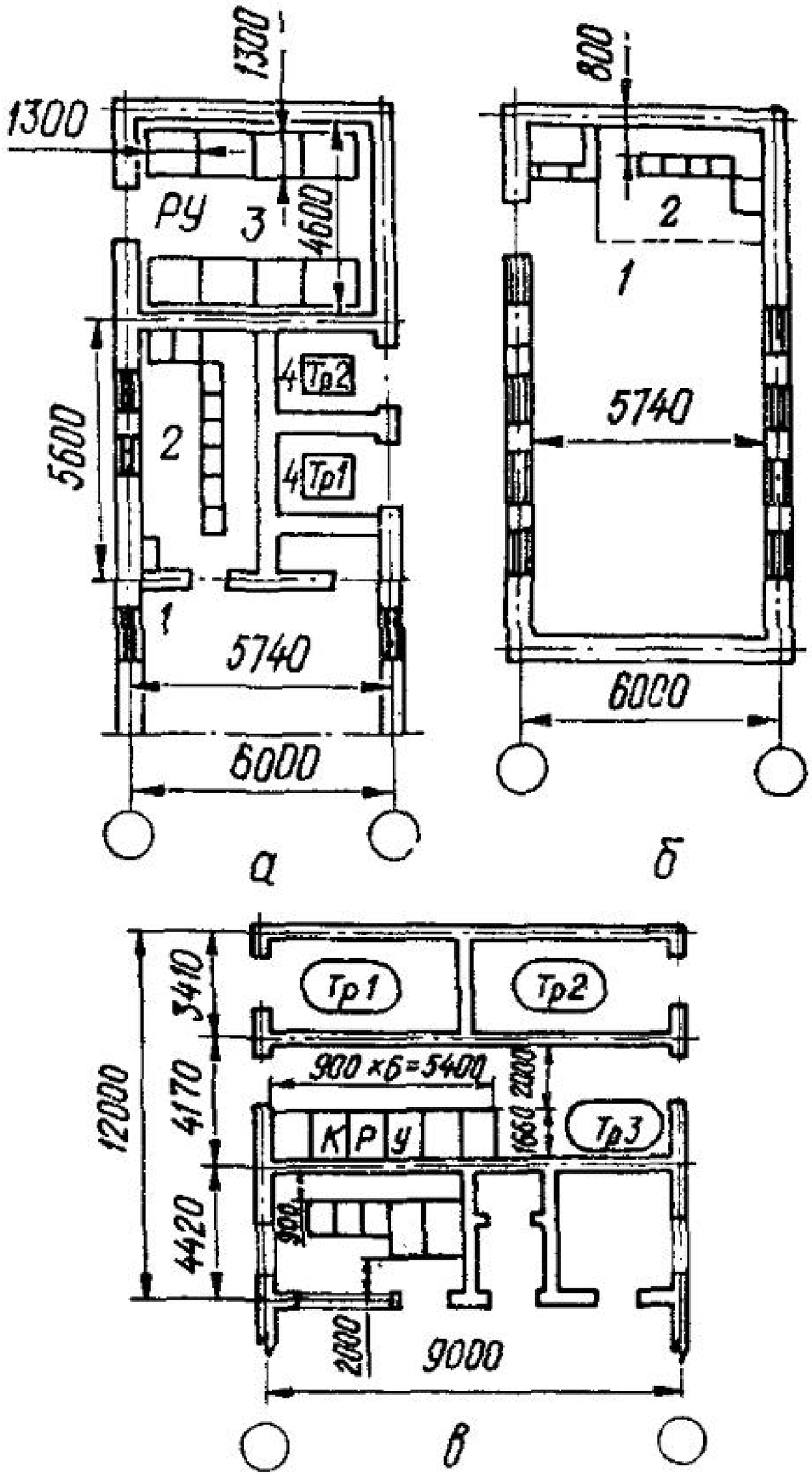


Рис. 38. Схемы компоновки электрической части в насосных станциях:

а, б, в — различные варианты компоновки; *1* — машинный зал; *2* — щитовое помещение; *3* — распределительные устройства; *4* — камеры трансформаторов

Размеры помещения РУ зависят от числа имеющихся в электрической схеме масляных выключателей.

В помещении главного щита управления или «щитовой» располагаются низковольтные распределительные щиты управления. Это помещение, где постоянно находится обслуживающий персонал, должно иметь естественное освещение, выход в машинный зал и, желательно, внутреннее окно в сторону машинного зала. Площадь щитовой приближенно можно назначать из условия 4—6 м² на один установленный насос — для насосных II подъема, 4—5 м² — для насосных I подъема, 3—4 м² — для насосных станций водоотведения.

Варианты компоновки помещений электрической части приведены на рис. 38.

Пример. Насосная станция оборудована тремя насосами (два — рабочих, один — резервный). Характеристики электродвигателей: $P_н = 400$ кВт, $U = 6$ кВ, $\eta_{дв} = 0{,}96$, $\cos\varphi = 0{,}9$. Напряжение ЛЭП — 10 кВ. Подобрать трансформаторы.

Определяем необходимую мощность трансформаторов:

$$S = 1 \cdot 2 \frac{400}{0{,}96 \cdot 0{,}9} + 30 = 956 \text{ кВ·А}.$$

Принимаем к установке два трансформатора, понижающих напряжение с 10 до 6,3 кВ, мощностью 750 кВ·А каждый. При выходе из строя одиого трансформатора перегрузка другого составит:

$$\frac{956}{750} = 1{,}27.$$

Для нужд станции принимаем один трансформатор мощностью 160 кВ·А, понижающий напряжение с 6,3 до 0,4 кВ. Основные трансформаторы размещаем в отдельных камерах, а трансформатор собственных

нужд — в помещении РУ (рис. 38, *в*). Схема электрических соединений станции соответствует приведенной на рис. 36, *в*.

При проектировании насосной станции помещения электрической части следует компоновать совместно с другими служебными и бытовыми помещениями. Во всех насосных станциях должны быть: санитарный узел (унитаз и раковина) площадью 3 м^2 и остекленное помещение для обслуживающего персонала со шкафчиками для хранения одежды (8—25 м^2). В отдельно стоящих станциях производительностью более 40 000 м^3/сут может предусматриваться механическая мастерская (10—30 м^2). На всех станциях водоотведения и на крупных водопроводных насосных станциях с подачей свыше 40 000 м^3/сут следует предусматривать душ (4—6 м^2) и гардероб (6—9 м^2). Кроме того, на насосных станциях могут быть; кабинет начальника (12—15 м^2) и кладовые (6—10 м^2).

§ 12. Организация работы над курсовым проектом насосной станции

Основной задачей при выполнении курсового проекта является усвоение методики проектирования водопроводных насосных станций и насосных станций водоотведения.

Задание на выполнение курсового проекта должно включать:

характеристику обслуживаемой системы водоснабжения, достаточную для определения категории надежности подачи воды;

расчетное суточное водопотребление или водоотведение и его распределение по часам;

пожарный расход;

пьезометрическую отметку в конце напорных водоводов или отметку максимального уровня воды в водонапорной башне (резервуаре), расположенной в конце водоводов;

отметки характерных максимальных и минимальных уровней перекачиваемой воды: в водоприемно-сеточном колодце для насосной станции I подъема; в резервуаре чистой воды для насосной станции II подъема; в приемном резервуаре для насосной станции водоотведения;

длину напорных и всасывающих водоводов;

отметки поверхности земли у насосной станции;

максимальную отметку уровня грунтовых вод;

геологическую характеристику грунтов на глубину до 10—15 м;

стоимость электроэнергии в районе проектирования

Разрабатывая насосную станцию в составе дипломного

проекта, большую часть исходных данных студент определяет сам:

по принятой схеме водоснабжения или водоотведения определяется место и назначение проектируемой насосной станции;

по числу и характеру объектов водоснабжения или водоотведения устанавливаются расчетные часовые подачи;

по плану местности определяется положение насосной станции и связанных с ней сооружений (станция очистки и подготовки воды, станция очистки сточных вод, водонапорная башня, резервуары и т. п.), соответствующие отметки земли и длина напорных водоводов;

с учетом высоты очистных сооружений (4—6 м над поверхностью земли) устанавливается геометрическая отметка подачи (для насосных станций II подъема в результате гидравлического расчета сети — пьезометрические отметки в конце напорных водоводов);

на основании данных запроектированного водозабора определяются уровни в водоприемно-сеточном колодце, в зависимости от принятого типа и посадки на местности резервуаров чистой воды — уровни в них; по расчету сети водоотведения — уровни в приемном резервуаре;

определяется источник энергоснабжения.

В курсовом проекте должны быть решены следующие задачи:

определены расчетные подачи, выбраны диаметры водоводов и рассчитаны напоры насосной станции;

в результате технико-экономического сопоставления вариантов выбраны основные насосы и подобраны к ним электродвигатели;

составлена схема расположения агрегатов, определены диаметры внутристанционных трубопроводов, подобрана необходимая арматура;

подобрано вспомогательное насосное и другое технологическое оборудование;

произведена компоновка оборудования станции;

составлена схема электрических соединений;

определены габариты машинного зала, вспомогательных помещений и помещений для размещения электрооборудования; приняты основные решения по конструкции здания;

подобраны водомеры, уточнены гидравлические потери в насосной станции, построен график совместной работы насосов и водоводов;

установлены технико-экономические показатели работы станции;

составлена спецификация материалов и технологического оборудования станции.

Расчеты с необходимыми схемами, графиками, таблицами сводятся в расчетно-пояснительную записку. Конструкция насосной станции представляется в виде чертежей на листе формата 24.

Расчетно-пояснительная записка и чертежи выполняются с соблюдением требований ЕСКД и действующих ГОСТ. Записка пишется чернилами на одной стороне стандартных листов формата 11 (210 × 297 мм). Схемы, выкопировки и графики в записке приводятся на листах кальки, миллиметровки или бумаги того же размера (чертежи, выполненные на форматах меньшего размера, наклеиваются на стандартные листы формата 11).

В начале записки помещается титульный лист, затем приводится задание на курсовой проект. В число приводимых схем и графиков обычно включаются: суточный график водопотребления или притока сточных вод с нанесенным на него графиком подачи насосной станции; характеристики насосов сопоставляемых вариантов с нанесением на них рабочих точек; чертежи с габаритными размерами принятых к установке насосов и электродвигателей; вертикальная схема насосной станции; схема расположения агрегатов и трубопроводов в плане; схема электрических соединений; схема к уточнению гидравлических потерь в насосной станции; график совместной работы насосов и водоводов и прочие эскизы и схемы, поясняющие принятые решения. В записке приводятся ссылки на нормативные и литературные источники, справочные материалы, а в конце ее перечень использованной литературы. Записка должна быть полной, конкретной, краткой. Не следует приводить в записке общие теоретические и инженерные положения.

На чертежном листе в масштабе 1 : 50 или 1 : 100 обязательно приводятся продольный и поперечный разрезы насосной станции и план машинного зала, а для заглубленных насосных станций и первого этажа. Для насосных станций I и II подъема приводятся схемы, обосновывающие вертикальную компоновку оборудования. Насыщенность листа деталями технологического оборудования и строительных конструкций насосной станции определяет глубину проработки студентом проекта. Спецификацию, составленную по установленной форме, можно размещать на листе или в пояснительной записке.

Распространенная ошибка студентов — работа над пояснительной запиской в отрыве от работы над чертежом.

Расчеты и конструирование насосной станции следует вести параллельно. Принимаемые решения студент должен представлять в пространстве, вычерчивая по ходу расчетов необходимые схемы. Сразу же после компоновки оборудования необходимо приступать к работе над листом, производя дальнейшие расчеты одновременно с завершением графической части проекта.

Студенту, приступающему к проектированию, следует ознакомиться с образцами решений подобных насосных станций, уточняя и ограничивая круг образцов-аналогов по мере проектирования.

ГЛАВА 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОВОДНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ I ПОДЪЕМА

§ 13. Выбор типа и определение подачи насосной станции I подъема

Насосные станции I подъема, как правило, подают воду на сооружения водоочистки, а не непосредственно в сеть противопожарного или объединенного противопожарного водопровода. Если вода подается в основном для хозяйственно-питьевого водопотребления, то категорию насосной станции следует назначать в зависимости от числа жителей в населенном пункте.

Согласно положениям СНиП 2.04.02-84, приведенным в § 1 настоящего пособия, к I категории следует отнести станции I подъема при числе жителей в населенном пункте более 50 тыс. чел. (максимальная суточная подача более 40 000 м^3), ко II категории — все остальные. Насосные станции, обслуживающие небольшие поселки с числом жителей менее 5 тыс. чел. (максимальная суточная подача менее 3000 м^3), подающие воду по одному водоводу, можно относить к III категории. В последнем случае предполагается, что наружное пожаротушение осуществляется из противопожарных емкостей или резервуаров.

В комплекс сооружений, забирающих воду из открытого источника (рис. 39), кроме здания насосной станции с машинным залом входят водозаборное сооружение и водоприемно-сеточный колодец.

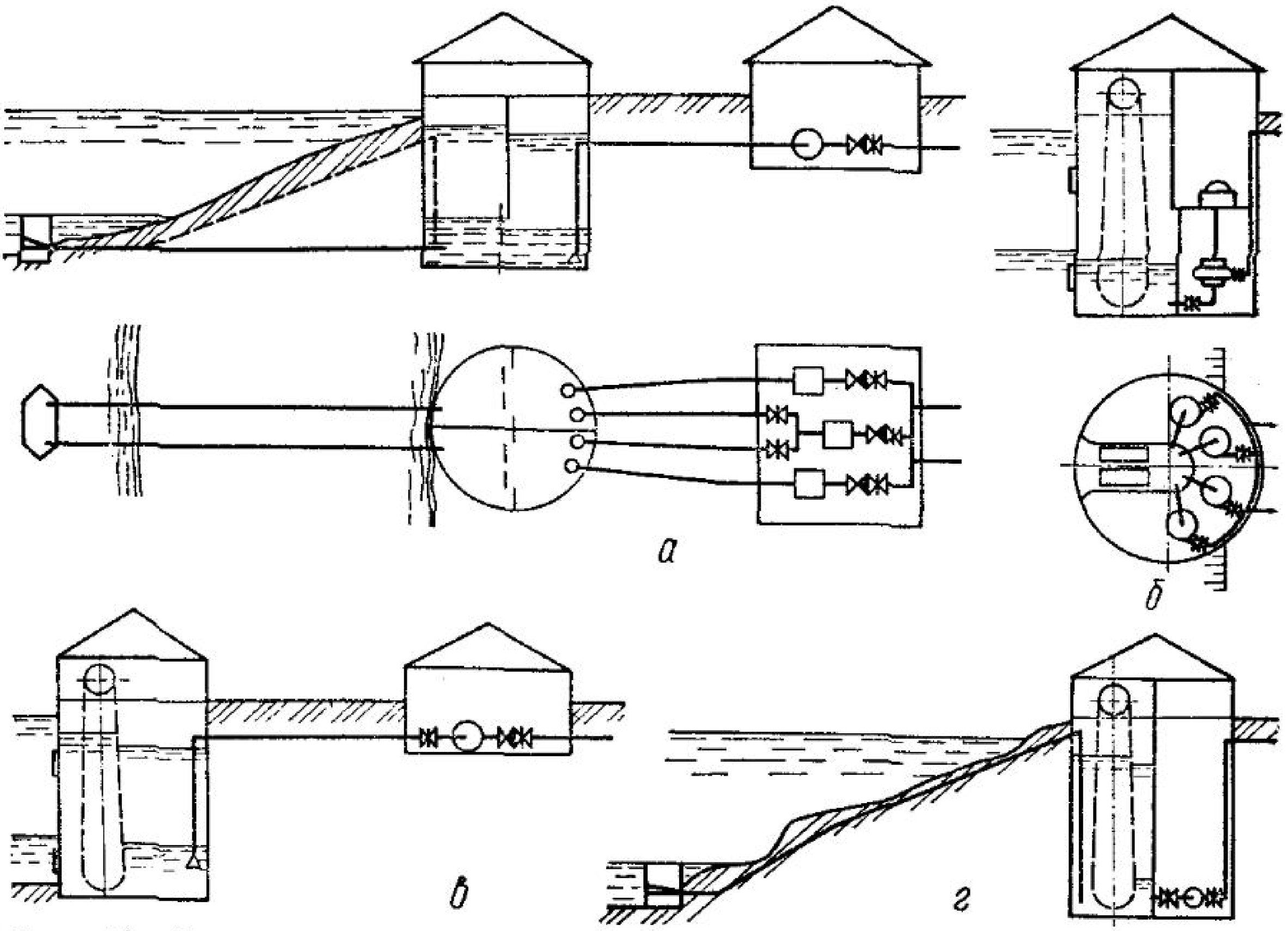


Рис. 39. Схемы насосных станций I подъема:

а — русловая раздельная; *б* — береговая совмещенная; *в* — береговая раздельная; *г* — совмещенная с водоприемно-сеточной камерой и раздельным русловым водозабором

Водозаборное сооружение располагается непосредственно в водоисточнике и предназначено для забора воды и защиты насосной станции от попадания в нее относительно крупных плавающих предметов. В водоприемно-сеточном колодце на сороудерживающих сетках происходит первичная очистка воды от взвеси. От него берут начало всасывающие трубы насосной станции.

Водозаборное сооружение располагается обычно вблизи уреза минимального горизонта воды, а водоприемно-сеточный колодец, к которому должен быть обеспечен подъезд,— вблизи уреза максимального горизонта воды. Если берег крутой, а колебание уровней не более 5—8 м, то водозаборное и водоприемное сооружения целесообразно совмещать с насосной станцией (рис. 39, *б*). Заглубление насосной станции и способ производства строительных работ зависят от того, сооружается она совмещенно или раздельно с водоприемно-сеточным колодцем.

Выбор раздельного или совмещенного типа насосной станции зависит от гидрологических и геологических условий в месте сооружения ее. Выбирая тип станции, в курсовом проекте можно руководствоваться следующими соображениями. При крутых берегах или при вертикальных

насосах насосную станцию проектируют, как правило, совмещенного типа, принимая ее заглубление равным заглублению водоприемника. Для пологого берега удобно применять раздельную схему, при которой для станций II и III категории, используя положительную высоту всасывания насосов, можно уменьшить заглубление здания станции. При колебании уровней 2—4 м это особенно целесообразно, так как пол машинного зала удается поднять выше затопляемых отметок. Расстояние между зданием насосной станции и водоприемником принимают не менее 20 м.

Для обеспечения оптимального режима работы очистных сооружений водопровода подачу насосной станции I подъема в течение суток назначают равномерной, что позволяет также уменьшить мощности насосного оборудования и сократить размеры насосной станции.

Средняя часовая подача насосной станции, м³/ч, определяется по формуле

$$Q_{ч} = \frac{\alpha Q_{сут.max}}{T}, \qquad (31)$$

где α — коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды насосной и очистной станции и зависящий от качества воды в водоисточнике, конструкции фильтров, принятой интенсивности промывки и схемы отвода промывной воды; принимается равным 1,04—1,1 при подаче воды на очистные сооружения или 1,01—1,02 при подаче воды без очистки в резервуары; $Q_{сут.max}$ — максимальный суточный расход, м³; T — продолжительность работы насосной станции; обычно принимается равной 24 ч.

Полученную по формуле (31) часовую подачу насосной станции переводят в секундную

$$Q_{н.с} = \frac{1000 Q_{ч}}{3600}, \text{ л/с.} \qquad (32)$$

Расчетный расход насосной станции I подъема не учитывает подачу воды на пополнение пожарного запаса. На период пополнения пожарного запаса допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые и производственные нужды.

§ 14. Проектирование водоводов. Определение расчетного напора насосов I подъема

После принятия схемы компоновки и определения подачи насосной станции необходимо составить схему для определения расчетного напора насосов (рис. 40). Как видно

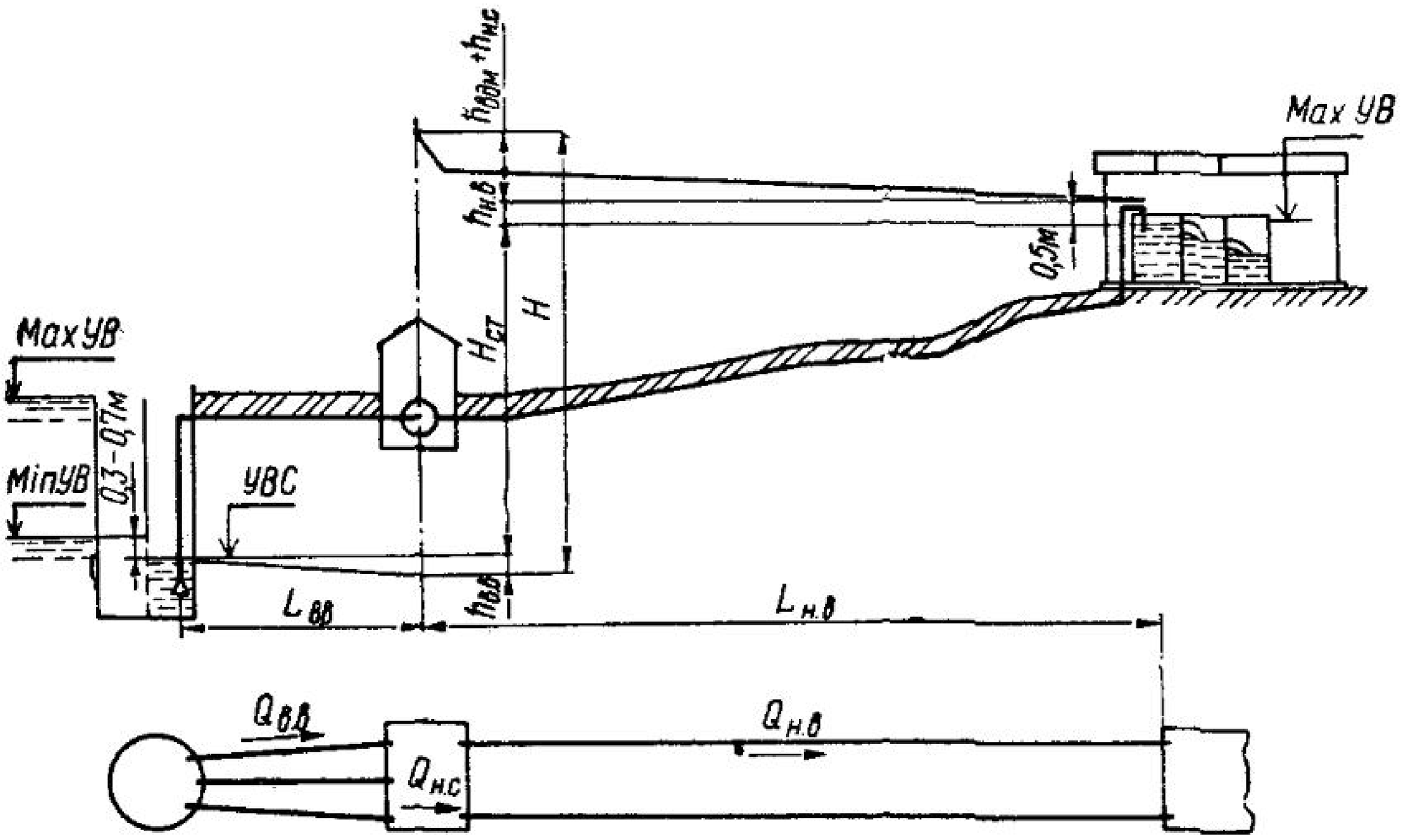


Рис. 40. К определению расчетного напора насосов I подъема:
УВС — уровень воды в водоприемно-сеточном колодце

из схемы, напор насосов, м,

$$H = H_{ст} + h_{в.в} + h_{н.с} + h_{вдм} + h_{н.в} + h_{из}, \qquad (33)$$

где $H_{ст}$ — статический напор, то есть разность отметок уровней воды в смесителе очистных сооружений (резервуаре) и у всасывающих водоводов в водоприемно-сеточном колодце; $h_{в.в}$ — потери напора во всасывающем водоводе; на насосных станциях совмещенного типа эти потери не выделяются, а учитываются в $h_{н.с}$; $h_{н.с}$ — потери напора во всасывающих и напорных трубопроводах внутри насосной станции; предварительно принимаются равными 1,5—2 м; $h_{вдм}$ — потери напора на водомере (сужающем устройстве); предварительно принимаются равными 0,5—1,5 м; $h_{н.в}$ — гидравлические потери в напорном водоводе; $h_{из}$ — запас напора на излив, учитывающий потери при выходе из трубы в резервуар; принимается $h_{из} \approx 0{,}5$ м.

Статический напор $H_{ст}$ определяют при минимальном расчетном уровне воды в водоисточнике. Уровень воды в приемной камере водоприемно-сеточного колодца устанавливается ниже уровня воды в водоеме на сумму гидравлических потерь на решетке, в самотечных водоводах и на сетке. В курсовом проекте насосной станции отметка уровня воды в приемной камере назначается на 0,3—0,7 м ниже минимального расчетного уровня в водоисточнике.

В насосных станциях I категории насосы устанавливаются под залив. В насосных станциях II и III категории следует стремиться к установке насосов с максимальным ис-

пользованием высоты всасывания. При этом насосы соединяются с приемной камерой индивидуальными или групповыми всасывающими трубопроводами (рис. 41). Вертикальные насосы проектируются, как правило, с индивидуальными всасывающими трубопроводами. Если горизонтальные насосы располагаются выше максимального уровня в водоисточнике, то предпочтение также отдают индивидуальным всасывающим трубопроводам. Задвижки на таких трубопроводах не устанавливаются, и отсутствие фланцевых соединений уменьшает опасность попадания воздуха в насос.

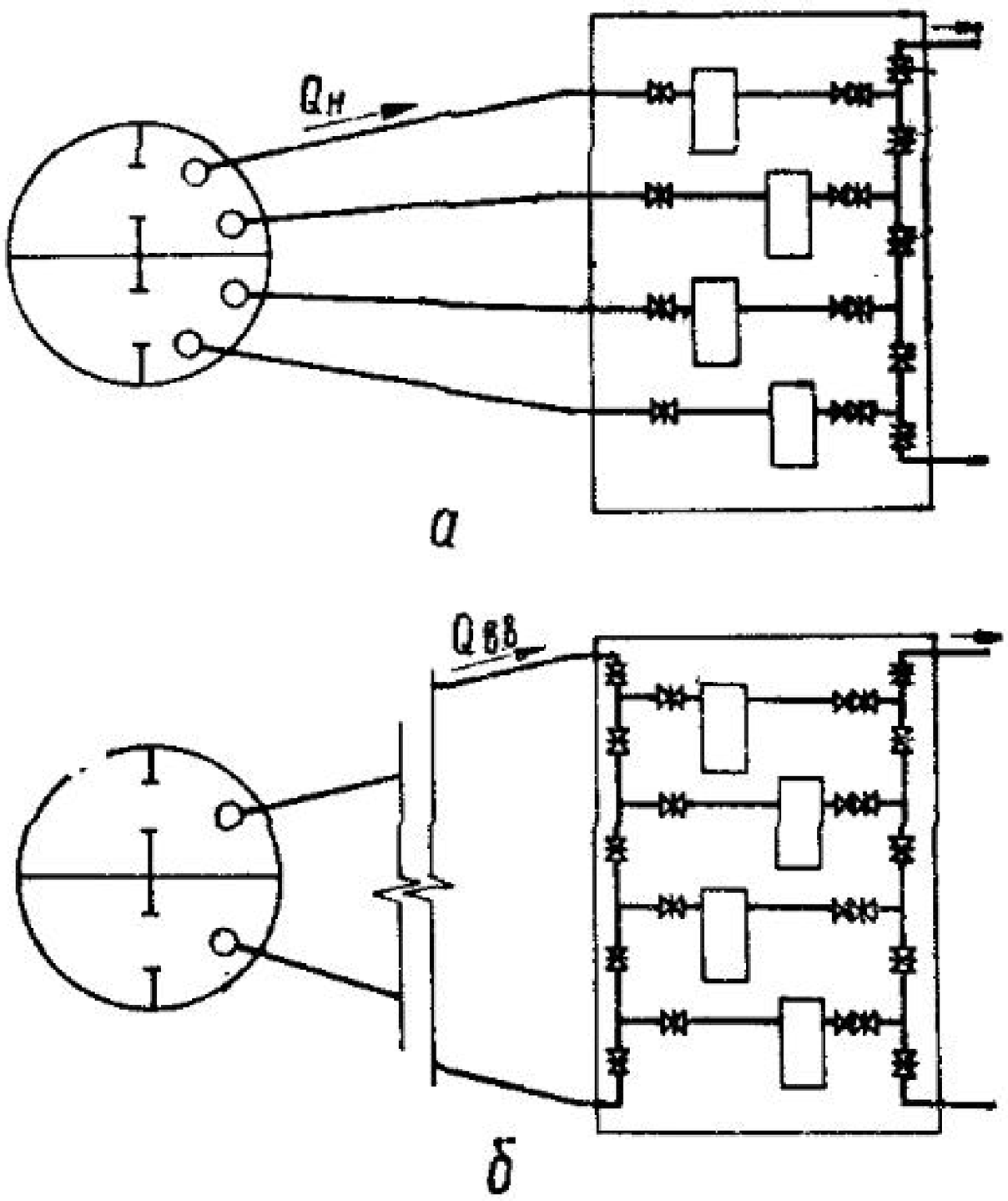


Рис. 41. Насосные станции:
а — с индивидуальными всасывающими водоводами; *б* — с групповыми всасывающими водоводами

Расчетный расход для групповых всасывающих водоводов определяется по формулам (13) или (14). Трубы принимаются стальными. Их диаметр с учетом рекомендуемых скоростей (табл. 5) удобно подбирать по таблицам Шевелевых [23].

Потери напора во всасывающем водоводе определяют по формуле (20). Длина всасывающего трубопровода в *станциях раздельного типа определяется расстоянием от водо*приемно-сеточного колодца до насосной станции. Если это расстояние не задано, его назначают равным 0,02—0,05 км.

В насосных станциях III категории допускается установка приемных клапанов на всасывающих трубопроводах диаметром до 200 мм. В этом случае сумма коэффициентов местных сопротивлений возрастает до 6—7.

Количество напорных водоводов должно быть не менее двух. Расход одного водовода определяется по формуле (10). *При выборе материала предпочтение отдается* неметаллическим трубам. С помощью формул (11) и (12) и табл. 3 и 4 определяется экономически выгодный диаметр.

Потери напора в напорном водоводе определяются по формуле (23).

Пример. Определить расчетный напор насосов для станции I подъема населенного пункта с максимальным суточным водопотреблением

$Q_{\text{сут.max}} = 40\,000$ м³. Длина напорных водоводов $L_{\text{н.в}} = 1710$ м, отметка уровня воды в смесителе — 73,2 м, отметки уровней в водоприемно-сеточном колодце: минимальная — 45,7 м, максимальная — 50,2 м, стоимость электроэнергии $\sigma = 1{,}2$ коп./(кВт·ч), берег — пологий.

1. По суточной подаче относим насосную станцию ко II категорни надежности.

2. Так как колебание уровней составляет $50{,}2 - 45{,}7 = 4{,}5$ м и берег пологий, то схему насосной станции целесообразно принять раздельной.

3. Приняв $\alpha = 1{,}08$, по формуле (31) определяем среднюю часовую подачу

$$Q_{\text{ч}} = \frac{1{,}08 \cdot 40\,000}{24} = 1800 \text{ м}^3/\text{ч}, \text{ тогда } Q_{\text{н.с}} = \frac{1800}{3{,}6} = 500 \text{ л/с}.$$

4. Определяем статический напор

$$H_{\text{ст}} = 73{,}2 - 45{,}7 = 27{,}5 \text{ м}.$$

5. Принимаем два всасывающих стальных водовода ($n_{\text{в.в}} = 2$). Расчетный расход одного водовода составит

$$Q_{\text{в.в}} = \frac{500}{2-1} = 500 \text{ л/с}.$$

По таблицам Шевелевых [23] принимаем диаметр всасывающего водовода $d_{\text{в.в}} = 700$. При этом диаметре скорость течения в трубах оказывается в рекомендуемом диапазоне $1 < 1{,}28 < 1{,}5$ м/с, $1000i = 2{,}74$. Принимаем $\Sigma\zeta_{\text{в.в}} = 2$ и длину всасывающего водовода $L_{\text{в.в}} = 30$ м.

По формуле (20) вычисляем потери во всасывающем водоводе

$$h_{\text{в.в}} = 2{,}74 \cdot 0{,}03 + \frac{1{,}28^2}{2 \cdot 9{,}8} = 0{,}25 \text{ м}.$$

6. Принимаем два асбестоцементных напорных водовода ($n_{\text{н.в}} = 2$). Тогда $Q_{\text{н.в}} = \frac{500}{2} = 250$ л/с.

Используя материалы табл. 3, по формуле (11) определяем экономический фактор:

$$Э_{\text{ф}} = 85\,900 \frac{4{,}89 \cdot 0{,}00118 \cdot 1{,}2}{1{,}95 \cdot 78 \cdot (12{,}5 + 7{,}3)} = 0{,}198.$$

Определяем приведенный расход

$$Q_{\text{пр}} = 250 \sqrt[3]{0{,}198} = 146 \text{ л/с}$$

и по нему из табл. 4 находим $d_{\text{н.в}} = 400$ мм. Для этого диаметра из таблиц [23] определяем $1000\,i = 12{,}3$ и $v_{\text{н.в}} = 2{,}37$ м/с.

По формуле (23) определяем потери в напорном водоводе

$$h_{\text{н.в}} = 1{,}05 \cdot 12{,}3 \cdot 1{,}71 = 22{,}09 \text{ м}.$$

7. Приняв $h_{\text{н.с}} = 2$ м и $h_{\text{вдм}} = 1$ м, по (33) вычисляем

$$H = 27{,}5 + 0{,}25 + 2 + 1 + 22{,}09 + 0{,}5 \approx 53{,}3 \text{ м}.$$

§ 15. Выбор основного насосного оборудования

При выборе насосов рассматриваются варианты с одним, двумя и большим числом $n_н$ рабочих агрегатов (для станций I категории принимают $n_н \geqslant 2$).

Подача одного насоса составляет

$$Q_н = \frac{Q_{н.с}}{n_н}. \qquad (34)$$

По вычисленным H и $Q_н$ необходимый насос выбирают из сводных графиков характеристик насосов Д, В или К. Напор $H_н$, определенный по графику при подаче $Q_и$, должен быть равен или не более, чем на 10 % превышать напор, рассчитанный по формуле (33). При необходимости, рассчитывают обточку рабочего колеса (см § 4). Характеристики возможных вариантов насосов приводятся в пояснительной записке.

Выбор горизонтальных насосов, в частности насосов с большей высотой всасывания, позволяет уменьшить заглубление насосной станции.

При сопоставлении предпочтение отдается тем насосам, у которых КПД в рабочей точке оказывается выше. Учитывая, что при избыточной подаче насоса ее придется уменьшать прикрытием задвижки, принимать следует те насосы, у которых будет большим приведенный КПД насосной установки:

$$\eta_{н.у} = \eta \frac{H}{H_н}, \qquad (35)$$

где η — КПД насоса при подаче $Q_н$; H — напор насосов, рассчитанный по формуле (33); $H_н$ — напор, снятый с характеристики при подаче $Q_н$.

При больших колебаниях уровня воды в водоисточнике желательно устанавливать насосы с крутопадающей характеристикой, у которых при изменении напоров подача изменяется относительно мало.

Подобрав насос, делают выкопировку его чертежа, строят график совместной работы насосов и водоводов, и согласно методике, приведенной в § 4, подбирают к насосу электродвигатель.

Пример. Подобрать основные насосы для станции I подъема с суммарной подачей $Q_{н.с} = 1000$ л/с с напором 36,5 м.

Проектируя насосную станцию раздельного типа, выбираем горизонтальные насосы марки Д.

Выписываем характеристики возможных к применению насосов (табл. 21) и производим сравненне вариантов.

Таблица 21. **Варианты насосного оборудования проектируемой станции 1 подъема**

Вариант	Марка насоса	Число насосов	Подача насоса $Q_н$, л/с	Напор $H_н$, м	КПД η, %	$H^{доп}_{вак}$, м
а	Д5000-32	1	1000	37	74	4,5
б	Д6300-27	1	1000	37	67	3,8
в	Д3200-33	2	500	38	68	4,9
г	Д2000-34	2	500	35	88	4,8
д	Д2500-45	2	500	47	80	4,2
е	Д1000-40	3	333	37	87	4,8

В примере не задана категория насосной станции, поэтому в рассмотрении участвуют варианты и с одним рабочим насосом.

Вариант *б* по КПД, очевидно, лучше варианта *а*. Вариант *г* отклоняем, так как он не обеспечивает требуемого напора, а вариант *д* — так как при нем напор более чем на 10 % превышает расчетный.

Сопоставляя вычисленные по зависимости (35) приведенные КПД для вариантов *б, в* и *е*:

$$\eta_{н.уб} = 0{,}67\,\frac{36{,}5}{37} = 0{,}66;$$

$$\eta_{н.ув} = 0{,}68\,\frac{36{,}5}{38} = 0{,}65;$$

$$\eta_{н.уе} = 0{,}87\,\frac{36{,}5}{37} = 0{,}86,$$

останавливаем свой выбор на варианте *е*. Принимаем три рабочих насоса марки Д1000-40.

§ 16. Размещение оборудования в машинном зале

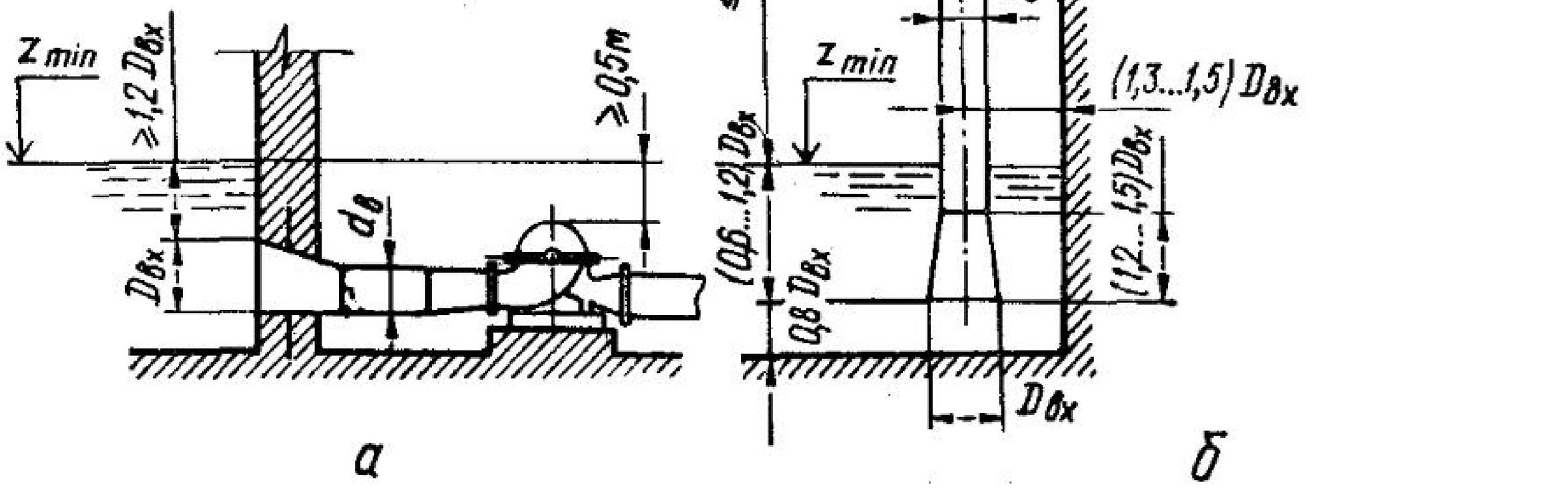
Отметка оси насоса определяется в зависимости от принятой схемы его расположения: под залив или с положительной высотой всасывания.

Насосы, расположенные под залив (рис. 42, *а*), устанавливаются так, чтобы верх корпуса находился на 0,3—0,5 м ниже минимального уровня воды в водоприемно-сеточном колодце. Такое расположение обеспечивает простоту и надежность запуска насоса.

При горизонтальном расположении оси входного сечения всасывающей трубы необходимо проверить, чтобы верх трубы был заглублен под минимальный уровень в водоприемно-сеточном колодце не менее, чем на $1{,}2D_{вх}$. Диаметр входного сечения $D_{вх}$ принимают обычно в 1,25—1,5 раза больше диаметра всасывающей трубы $d_в$.

Рис. 42. Расположение насосов:

а — под залив; *б* — с положительной высотой всасывания



При схеме расположения с положительной высотой всасывания (рис. 42, *б*) предельное превышение оси насоса над минимальным уровнем в колодце определяется по формуле

$$H_s^{\text{доп}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - h_{\text{в.в}}, \qquad (36)$$

где $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ — допустимая вакуумметрическая высота всасывания насоса при подаче $Q_{\text{н}}$ (принимается по характеристике насоса); $h_{\text{в.в}}$ — потери во всасывающем водоводе, определенные по формуле (20) после уточнения местных потерь.

В характеристике насоса $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ приводится обычно для нормального атмосферного давления на уровне мирового океана при температуре воды 20 °С: при давлениях и температурах, отличных от упомянутых, вместо формулы (36) удобнее пользоваться выражением

$$H_s^{\text{доп}} = \frac{p_{\text{а}}}{\rho g} - \frac{p_{\text{пар}}}{\rho g} - \Delta h^{\text{доп}} - h_{\text{в.в}}, \qquad (37)$$

здесь $p_{\text{а}}$ — атмосферное давление в месте сооружения насосной станции, например, в горах, Па; $p_{\text{пар}}$ — давление насыщающих паров при температуре перекачиваемой жидкости, Па; $\Delta h^{\text{доп}}$ — допустимое значение кавитационного запаса, приводимое в характеристике насоса.

После определения отметки оси насоса по методике, изложенной в § 4 (см. рис. 12), определяют отметку пола машинного зала с учетом размещения трубопроводов и арматуры.

Отметка порога у входа в здание насосной станции должна быть не менее чем на 0,5 м выше нагона волны при максимальном уровне воды в водоеме. Если отметка пола машинного зала, рассчитанная при допустимой вакуумметрической высоте всасывания, оказалась выше отметки порога,

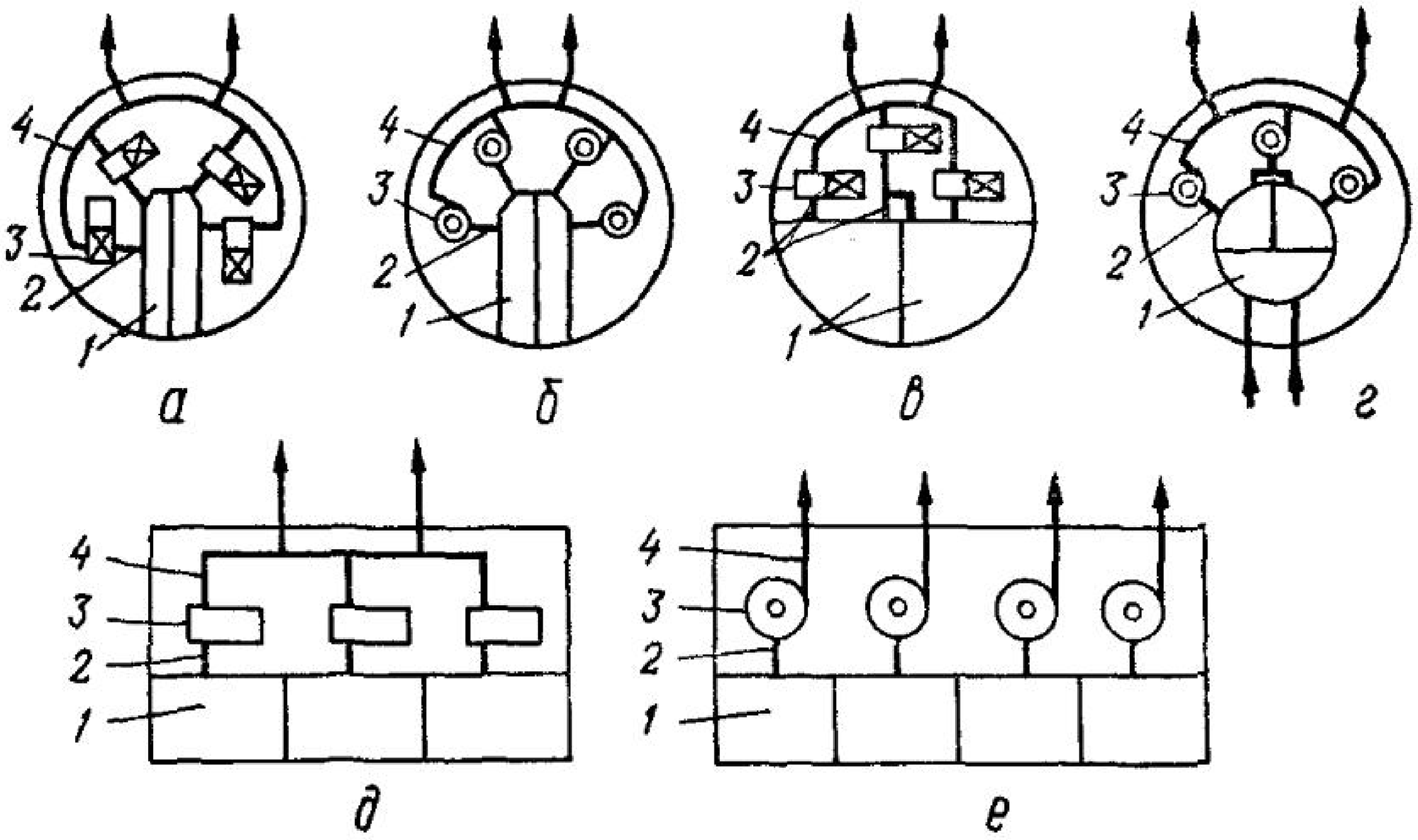


Рис. 43. Схемы размещения оборудования в совмещенных насосных станциях I подъема:

а, б, в, г, д, е — варианты размещения оборудования; *1* — водоприемная камера; *2* — всасывающий трубопровод; *3* — насос; *4* — напорный трубопровод

то пол следует принять на отметке порога, а отметку оси насоса соответственно понизить.

Расположение агрегатов в насосной станции зависит от совмещенной или раздельной схемы исполнения, формы насосной станции в плане, типа и числа насосов.

При глубине насосной станции более 7—8 м, ее следует проектировать круглой и строить методом опускного колодца. Если понижение уровня грунтовых вод (уровня воды в водоисточнике в межень) допускает строительство насосной станции в открытом котловане, ее удобнее проектировать прямоугольной.

Несколько возможных схем размещения оборудования в совмещенных насосных станциях приведено на рис. 43. Для насосных станций раздельного типа характерны более простые схемы, такие же, как для станций II подъема. Консольные насосы располагаются в один ряд перпендикулярно продольной оси здания. Насосы типа Д при числе агрегатов до трех располагаются в один ряд параллельно продольной оси здания, а при большем числе агрегатов — в два ряда параллельно или в один ряд перпендикулярно оси здания. При параллельном расположении потери напора в насосной станции меньше.

На схеме размещения насосов (рис. 44) намечают всасывающие и напорные внутристанционные трубопроводы и, согласно требованиям, изложенным в § 6, располагают на

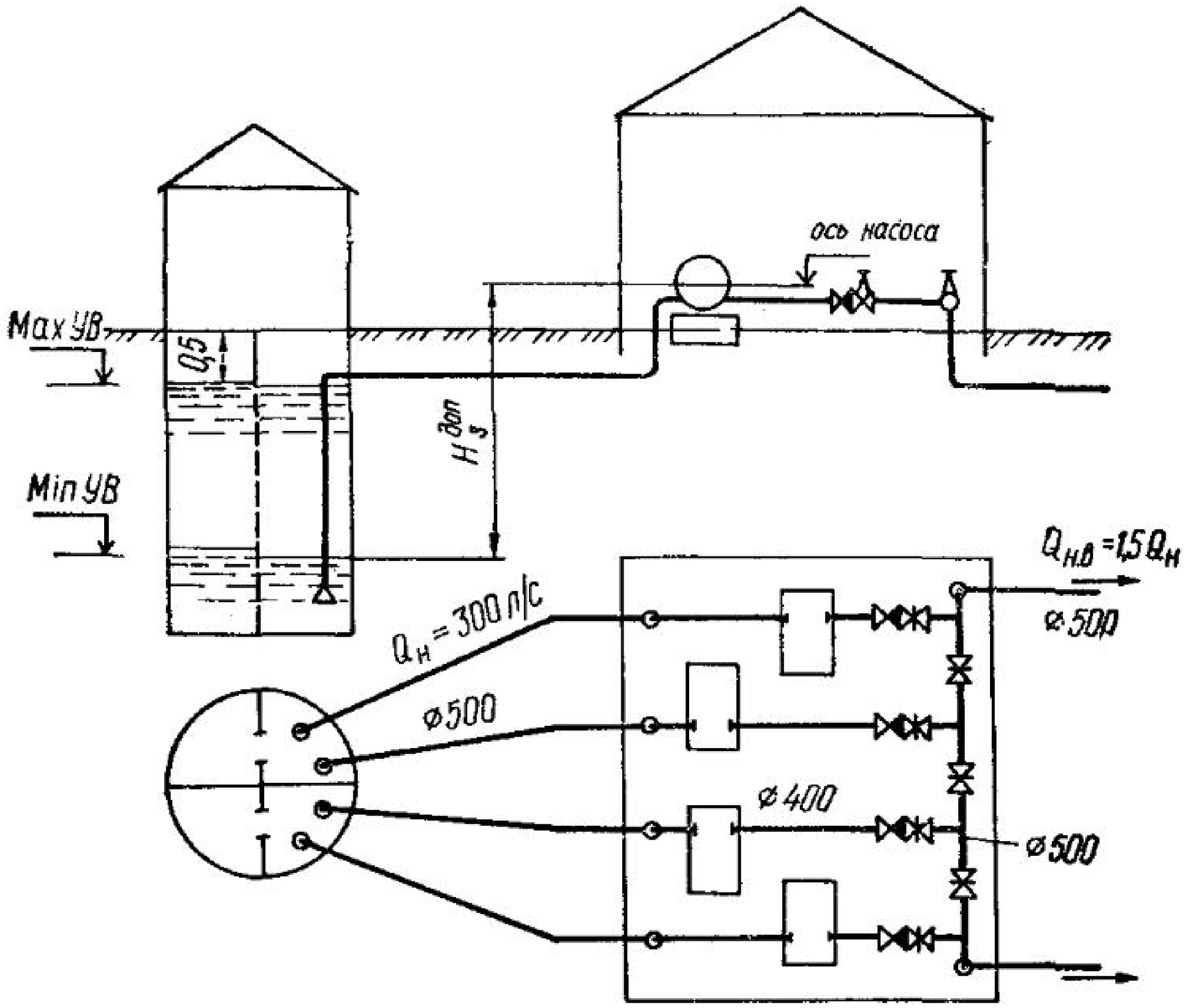


Рис. 44. Схема размещения насосов, трубопроводов и арматуры в насосной станции I подъема

них запорную арматуру и обратные клапаны. Если насосы имеют индивидуальные всасывающие трубопроводы и эти трубопроводы выведены выше максимального уровня воды в водоисточнике, то задвижки на них можно не устанавливать.

Коллектор с запорной арматурой, к которому присоединяются напорные трубопроводы от насосов и внешние напорные водоводы, может располагаться как в машинном зале, так и вне его — в камере переключений.

Напорные водоводы выводятся из насосных станций на уровне их нормального заглубления — 1—1,5 м от поверхности земли до верха трубы. С трубами внутри заглубленных станций они соединяются вертикальными стояками. Стояки не должны мешать передвижению подъемно-транспортного оборудования. При глубине насосной станции до 5 м возможен вывод труб без устройства стояков. За пределами станции такие выпуски соединяются с наружными водоводами участками трубопровода с углом наклона до 30°.

Построив окончательную схему насосной станции и выбрав водомеры, уточняют потери напора в насосной станции и на водомерах (см. § 6) и строят график совместной работы насосов и водоводов (см. § 7).

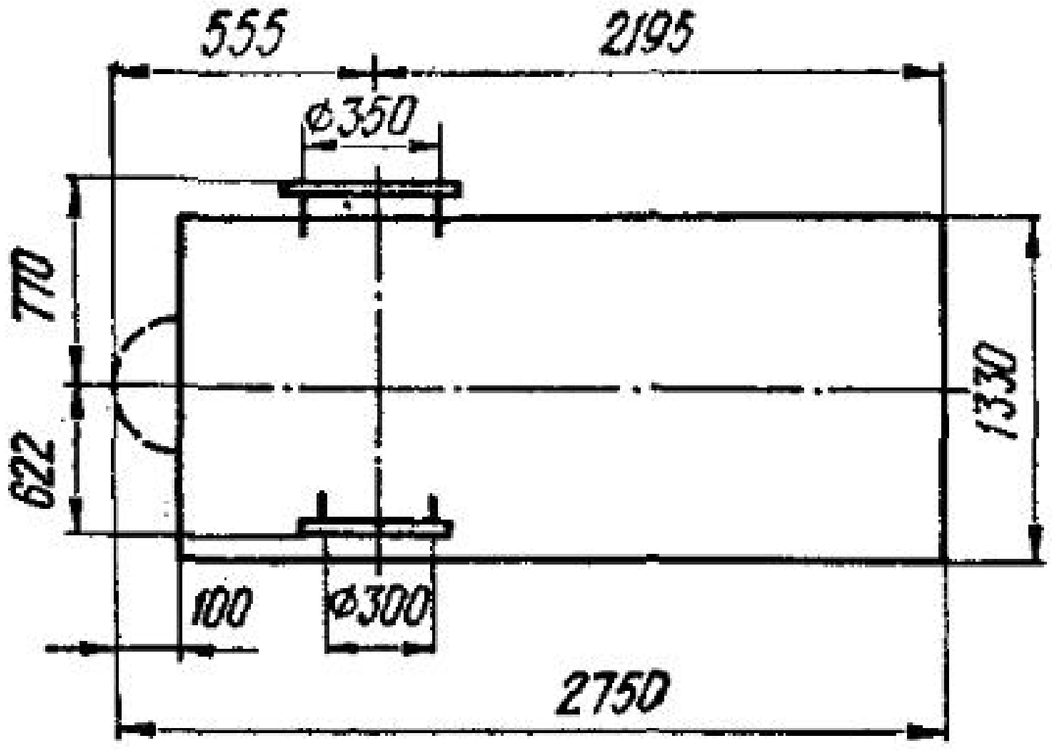


Рис. 45. Монтажное пятно иасоса Д1250-65 с электродвигателем

Пример. Построить план машинного зала наземной насосной станции раздельного типа с насосами Д1250-65 (три рабочих и одни резервный) с подачей по 300 л/с каждый. Категория надежности станции — II. Монтажное пятно агрегата приведено на рис. 45.

Составляем в первом приближении схему плаиа и схему вертикального размещения иасосов и трубопроводов в насосной станции и в водоприемно-сеточном колодце (рис. 44). Станцию принимаем прямоугольной в плане, расположение иасосов — в шахматном порядке, в два ряда. Попарно размещаем насосы с разным иаправлением вращения — это позволяет уменьшить размеры машинного зала.

Для каждого насоса проектируем самостоятельный всасывающий трубопровод. Так как насосы расположены выше максимального уровня воды в водоприемно-сеточном колодце, такое решенне позволяет не устанавливать на иих запорную арматуру.

Напорные трубопроводы от всех насосов объединяем в напорный коллектор, к которому подключаются два напорных водовода. Трубы в насосной станции располагаем над полом, с заглубленными под поверхность земли наружными водоводами они соединяются вертикальными стояками.

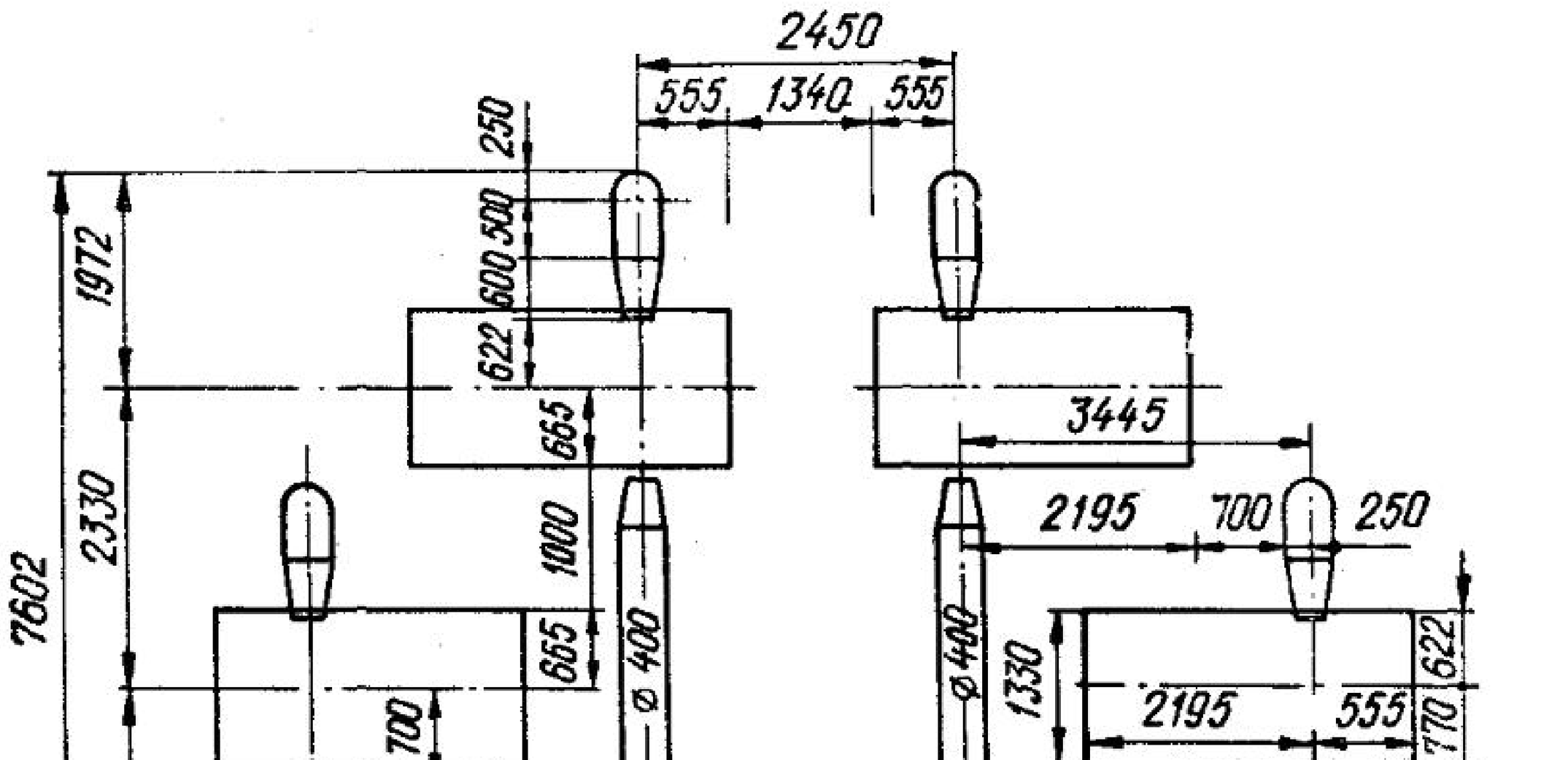


Рис. 46. Схема к определению минимальных размеров площадки размещения оборудования в иасосной станции

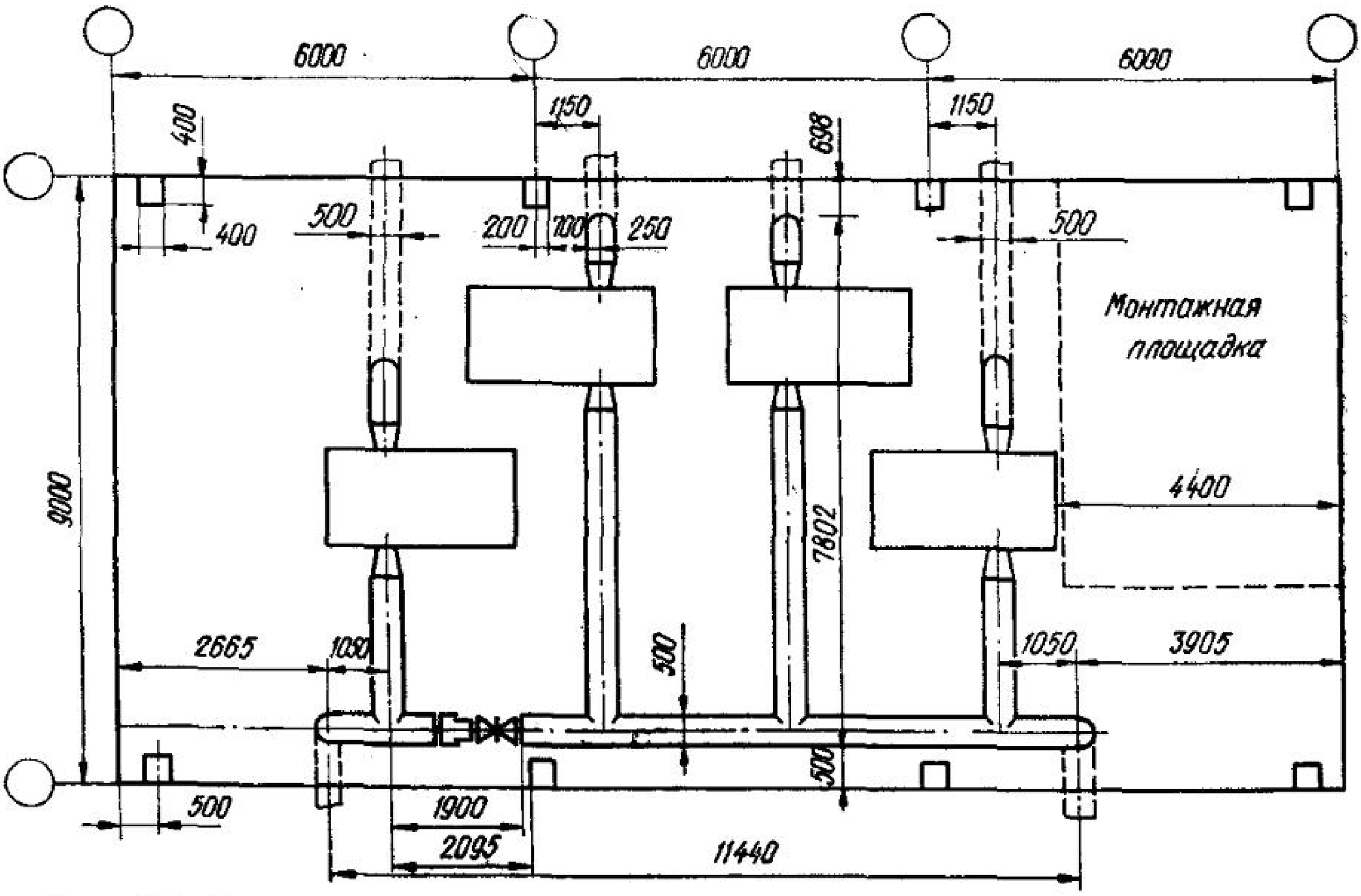


Рис. 47. Схема к определению размеров машиниого зала с учетом сетки колонн

Легко видеть, что расчетиый расход каждого из трубопроводов — подача одного насоса ($Q_н = 300$ л/с).

Всасывающие трубопроводы прииимаем диаметром 500 мм. Скорость в трубах ($v_{н.в} = 1{,}47$ м/с) находится в пределах, рекомендуемых СНиП (0,8—1,5 м/с). На трубопроводах за иасосами устанавливаем укорочеиные обратные клапаны КЗ 44067 (см. табл. 9) и дисковые поворотные затворы с электроприводом 32с908р (см. табл. 8). Эта арматура хорошо работает при повышениых скоростях. Принимаем диаметр арматуры 400 мм, тогда скорость 2,23 м/с находится в пределах, которые рекомендует СНиП (1—3 м/с). С патрубками насосов трубопроводы соединяются переходами стандартных размеров (рис. 15).

При различных комбинациях включения насосов иа отдельных участках коллектора может меняться направлеиие течеиия. Дисковые затворы в таких условиях работают плохо. Размещаем на коллекторе три задвижки. С помощью этих задвижек можно отключить для ремонта любой дисковый затвор, любой напорный трубопровод и любую задвижку иа коллекторе, обеспечивая 70 или все 100 % расчетной подачи насосной станции (три насоса, работая иа один водовод, должны обеспечить подачу 70 % расчетиого расхода).

Учитывая рекомендуемые СНиП скорости, принимаем диаметр коллектора 500 мм и задвижки 30ч915бр с допустимым давлением 1 МПа. В качестве монтажных вставок рядом с арматурой размещаем сальниковые компенсаторы.

По размерам монтажиого пятна, стандартиой арматуры и фасонных частей определяем миимальные размеры пространства, которое может занимать проектируемое оборудование (рис. 46). Расстояние между агрегатами прииимаем 1200 мм, проходы между агрегатами и незаглубленными трубопроводами — 1000 мм. Расстояние между средними агрегатами определяется размерами задвижки и сальникового компенсатора на напорном коллекторе.

Так как здание сооружается из сборных железобетонных конструкций, назначаем размеры машинного зала 9 × 18 м. Оборудование и трубопроводы размещаем так, чтобы трубы не пересекали колонн, чтобы проходы между незаглубленными трубами и колоннами были не менее 0,7 м и чтобы колонны не мешали установке арматуры на напорном коллекторе (рис. 47). Свободную площадь в правой части машинного зала используем как монтажную площадку, на которую автомобилем будет подаваться оборудование.

§ 17. Проектирование водозаборной части насосных станций

Проектирование водоприемных сооружений подробно рассматривается в курсе «Водозаборные сооружения». В курсовом проекте насосной станции I подъема раздельного типа элементы водозаборных сооружений можно не проектировать.

В реальных и дипломных проектах насосная станция I подъема проектируется одновременно с водоприемными сооружениями. Подробный расчет водоприемных сооружений дается в [19, 20] и сводится к выбору размеров сороудерживающих решеток, сеток, самотечных или сифонных водоводов и определению гидравлических потерь в них.

Сороудерживающие решетки в водоприемных отверстиях устанавливают для защиты насосов от попадания в них крупных плавающих предметов. Применяются съемные решетки или стационарные с механической очисткой.

Необходимая площадь водоприемных отверстий определяется по формуле

$$\Omega_{бр} = 1{,}25K\frac{Q_{н.с}}{v} \qquad (38)$$

где $\Omega_{бр}$ — площадь отверстий (брутто), м²; 1,25 — коэффициент, учитывающий засорение отверстий; $Q_{н.с}$ — подача насосной станции, м³/с; v — средняя скорость течения воды в отверстиях решетки, с учетом требований рыбозащиты принимается для рек не более 0,25 м/с, а для водохранилищ — не более 0,1 м/с; K — коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решеток, $K = 1{,}15...1{,}5$.

Размеры стандартных съемных сороудерживающих решеток 400 × 600, 800 × 1000, 1000 × 1250, 1250 × 1500, 1500 × 2000, 2000 × 2500, 2500 × 3000 мм. Решетки принимаются со стопроцентным резервом.

Потери в решетках зависят от скорости течения, формы и частоты расположения стержней, от засорения решеток. Для практических расчетов потери в решетке следует принимать 0,1—0,2 м.

Для задержания находящихся в воде мелких взвешенных и плавающих тел предназначаются съемные и вращающиеся ленточные сетки (гл. 1.2 [15]). Пропускная способность вращающихся сеток приводится в их характеристиках. Рабочую площадь плоских или вращающихся сеток следует определять при минимальном уровне воды в сеточном колодце и скоростях в отверстиях сетки не более 1 м/с. Потери на сетках в практических расчетах принимаются равными 0,1...0,2 м.

При раздельном устройстве русловой затопленный водоприемник соединяется с водоприемно-сеточным колодцем самотечными или сифонными водоводами. На насосных станциях I категории надежности сифонные водоводы допускается применять только при специальном обосновании. Скорость в водоводах принимается 0,7—1,5 м/с. Потери в водоводе учитываются при определении расчетной отметки поверхности воды в водоприемно-сеточном колодце. Вакуум в верхней точке сифона должен быть не более 7 м [8].

§ 18. Подбор вспомогательного насосного оборудования насосных станций I подъема

1. Для заливки насосов перед запуском, а также для зарядки сифонных водоводов применяют вакуум-насосы (см. § 8).

Пример. Подобрать вакуум-насосы. Длина всасывающего трубопровода 25 м, диаметр 500 мм, превышение оси насоса над минимальным уровнем воды в водоприемно-сеточном колодце — 4,5 м.

Объем внутри насоса и участка напорной трубы до задвижки оцениваем как объем дополнительных 3 м всасывающей трубы. Определяем объем воздуха в насосе и заливаемой части трубопровода:

$$W_{н} + W_{тр} = \pi \frac{0.5^2}{4} (25 + 3) = 5{,}5 \text{ м}^3.$$

Назначив время заливки 7 мин (допускается 3—10 мин), по формуле (24) определяем необходимую подачу вакуум-насоса:

$$Q_{ви} = \frac{1000}{60} \cdot \frac{5{,}5}{7 \cdot (1 - 0{,}45)} \cdot 1{,}1 = 26{,}2 \text{ л/с}.$$

По табл. 13 принимаем один рабочий и один резервный вакуум-насос ВВН-1,5 с подачей 25 л/с и максимальным относительным вакуумом 0,8 (0,8 > 0,45). Вакуум-насосы располагаем на отдельном фундаменте в машинном зале.

2. В насосных станциях, у которых пол машинного зала расположен ниже максимального уровня воды в водоисточнике, должны предусматриваться дренажные насосы. Подбор дренажных насосов описан в § 8.

3. Для осушения машинного зала в случае его затопления при выходе из строя насоса, запорной арматуры или трубопровода, для опорожнения всасывающих водоводов и приемных камер при ремонте предусматривается система осушения.

Возможны следующие схемы систем осушения:

откачка воды из приямка основными насосами производственного назначения;

осушение моноблочными погружными насосами типа ГНОМ или ЦМК 16/27, которые опускаются в затопленный машинный зал или в опорожняемую камеру водоприемно-сеточного колодца;

использование в качестве осушительного погружного скважинного насоса типа ЭЦВ (насос размещается в колодце необходимой глубины, в который из машинного зала и водоприемных камер выводятся самотечные трубопроводы, оборудованные запорной арматурой);

при достаточно большой подаче дренажных насосов, включая резервные, их можно использовать и для опорожнения водоприемных камер, соединив насосы с камерами системой труб с необходимой запорной арматурой.

Производительность аварийных осушительных насосов следует определять при условии откачки воды из машинного зала слоем 0,5 м в течение не более 2 ч и предусматривать один резервный агрегат.

$$Q_{ав} = \frac{0{,}5F}{3{,}6t}, \qquad (39)$$

где $Q_{ав}$ — производительность аварийных насосов, л/с; F — площадь машинного зала, м^2; t — время откачки в часах (не более 2 ч).

Напор осушительных насосов принимается на 2—4 м больше заглубления насосной станции.

4. Применение в качестве осушительных насосов типа ГНОМ или ЦМК одновременно решает задачу грязеудаления. В остальных случаях для удаления осевших в водоприемно-сеточном колодце наносов в качестве грязевых применяют насосы для сточных жидкостей типа СД 25/14 или СД 16/25. Дно камер водоприемно-сеточных колодцев выполняют с уклоном 0,05—0,1 к приямку, к которому подводятся всасывающие трубы грязевых насосов. Для удаления осадка можно также применять водоструйные насосы.

5. В курсовом проекте следует предусматривать насосы технического водопровода для насосных станций, оборудованных насосами типа В. В этих насосах к подшипникам с

лигнофолевыми вкладышами подводится чистая вода под напором на 7—10 м выше рабочего с расходом 0,5—1 л/с на каждый насос. В качестве насосов технического водоснабжения обычно применяют насосы типа ВК с требуемыми подачей и напором (один рабочий и один резервный).

После подбора вспомогательного насосного оборудования составляется спецификация оборудования труб, фасонных частей и арматуры. Затем выполняется раздел «Электрическая часть насосной станции» (§ 11).

§ 19. Порядок проектирования надземной части здания насосной станции I подъема

Проектирование здания насосной станции производят в такой последовательности:

1. При раздельной схеме насосные станции I подъема, как правило проектируют наземными или полузаглубленными. При большом заглублении необходимо проверить по формуле (27) возможность устройства перекрытия на уровне первого этажа.

2. Подбирается подъемно-транспортное оборудование (см. § 9).

3. Вычерчивается схема подъемно-транспортных операций. По формулам (28) или (29) вычисляется минимально допустимая высота верхнего строения машинного зала. Принимается ближайшая большая стандартная высота.

4. Выбирается конструкция верхнего строения: каркасная или бескаркасная. Размеры здания каркасной конструкции назначают, учитывая стандартные пролеты и шаг колонн — 6 м. Длина здания с несущими стенами принимается кратной 1,5 м.

Монтажную площадку на отметке пола первого этажа предусматривают на балконе над заглубленным машинным залом или в незаглубленной части здания, поэтому размеры в плане верхнего строения могут быть больше размеров подземной части. Колонны и наружные стены привязывают к разбивочным осям. Назначают проемы ворот, дверей и окон.

5. Вспомогательные помещения (электрическая часть, включая помещение главного щита управления, кабинет начальника станции, комнату обслуживающего персонала. мастерскую, кладовую, туалет) в незаглубленных и полузаглубленных насосных станциях выносят в пристройку. В заглубленных станциях эти помещения стремятся разместить на перекрытии машинного зала. Пристройку

проектируют с несущими стенами толщиной 0,38—0,25 м с ленточными фундаментами.

Высоту пристройки определяют по высоте камер трансформаторов или КСО. Число и размеры траисформаторных камер принимают согласно расчету (§ 11). По электрической схеме определяется число масляных выключателей. В качестве ячеек распределительного устройства принимаются шкафы КРУ или камеры КСО и по ним определяются размеры помещения РУ. Согласно рекомендациям § 11 назначаются размеры «щитовой» и вспомогательных помещений.

6. План пристройки компонуют, привязывая ее к разбивочным осям. Размеры пристройки должны быть кратны 1,5 м. При этом необходимо учитывать следующее: ворота трансформаторных камер должны выходить наружу здания; помещение РУ длиной свыше 7 м должно иметь два выхода; щитовая, кабинет начальника и комната обслуживающего персонала должны иметь естественное освещение; щитовая должна примыкать к машинному залу и в разделяющей стене иметь остекленный проем в сторону машинного зала.

7. Графическое оформление проекта выполняется согласно рекомендациям § 10. Для наземных и полузаглубленных насосных станций вычерчиваются: план насосной станции на отметке 0,000 с изображением оборудования в машинном зале, два разреза в перпендикулярных плоскостях, высотная схема и ситуационный план.

8. На ситуационном плане показывают размещение водоприемного оголовка, водоприемно-сеточного колодца, здания насосной станции, трансформаторной подстанции (если она располагается в отдельном здании). На планах зданий показывают расположение ворот и дверей и крайние разбивочные оси. Проектируют подъезды к зданиям с искусственным покрытием шириной не менее 3 м. Наружные трубопроводы показывают с привязкой к углам здания с указанием их диаметра и длины. На трубопроводах, если нужно, указывают камеры переключений и колодцы водомерных устройств.

9. Проект завершается разделом «Технико-экономические расчеты насосной станции» (см. гл. 7).

ГЛАВА 5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОВОДНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ II ПОДЪЕМА

§ 20. Определение расчетной подачи насосной станции. Проектирование водоводов

Вопросы, которые необходимо решить в проекте, перечислены в § 12.

Насосная станция II подъема подает воду из резервуаров чистой воды, расположенных после очистных сооружений водопровода, в разводящую сеть населенного пункта.

В курсовом проекте рассматривается насосная станция на объединенном водопроводе, обеспечивающем и пожаротушение, поэтому ее следует относить к I категории. На водопроводах, обслуживающих населенные пункты с числом жителей до 5000 чел. (максимальный суточный расход до 3000 м³/сут), при расходе воды на наружное пожаротушение не более 10 л/с допускается противопожарное водоснабжение предусматривать из резервуаров или водоемов и насосную станцию II подъема относить ко II категории.

В курсовом проекте насосное оборудование подбирается на подачу расчетного расхода в час максимального водоразбора и проверяется на подачу пожарного расхода, транзитного расхода в башню (при схеме с контррезервуаром), расчетного расхода при аварии на одной из ниток водоводов.

В дипломном проекте следует учитывать, что в насосной станции II подъема могут устанавливаться насосы для подачи воды на промывку фильтров.

Расчеты начинают с построения графика почасового водопотребления (рис. 48). Почасовое водопотребление в процентах от суточного обычно приводится в задании на курсовой проект. Расчет ординат графика производится в табличной форме аналогично примеру, приведенному в табл. 23.

При безбашенной схеме расчетная максимальная подача насосной станции равна максимальному часовому расходу:

$$Q_{н.с} = q_{ч.max} \qquad (40)$$

При наличии башни расход $q_б$ в час максимального водоразбора может поступать в сеть из башни, что позволяет уменьшить расчетную максимальную подачу насосной станции

$$Q_{н.с} = q_{ч.max} - q_б. \qquad (41)$$

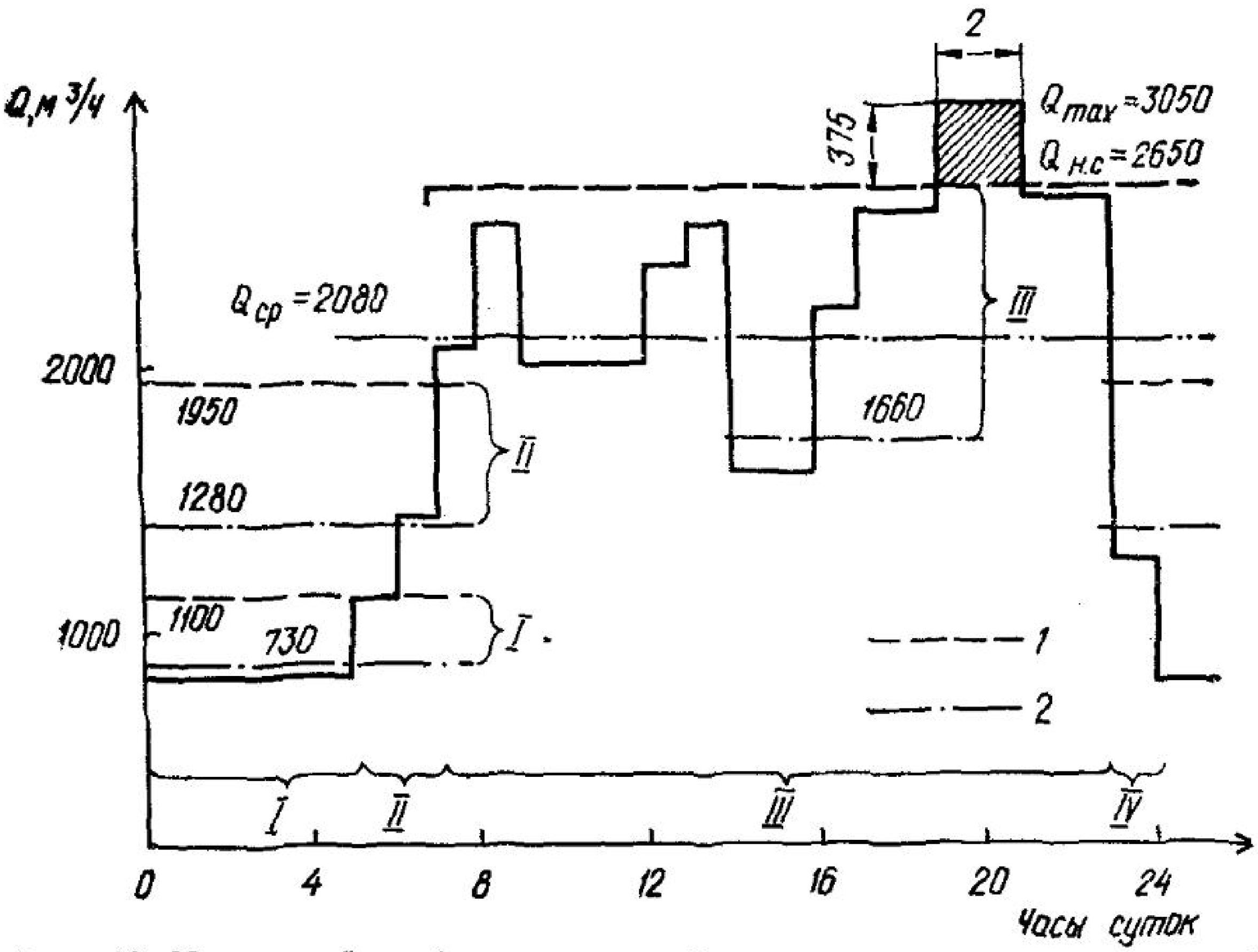


Рис. 48. Почасовый график водопотребления города и подачи насосной станцин II подъема:

1 — производительность насосной станцни при подаче в диктующую точку;
2 — то же, прн подаче в контррезервуар

Регулирующий объем башни принимается равным 2,5—6 % суточного водопотребления. Максимальный объем резервуара типовой водонапорной башни 800 м³. Так как резервуар должен быть рассчитан на десятиминутный пожарный и регулирующий объем воды, регулирующий объем следует принимать не более 700—750 м³. Расчетная подача насоснсй станции определяется подбором: линия, соответствующая $Q_{н.с}$, подбирается на графике часового водопотребления таким образом, чтобы площадь графика, расположенная выше этой линии и представляющая собой регулирующий объем, соответствовала объему 700—750 м³ (рис. 48).

От насосной станции в сеть вода, как правило, подается по двум напорным водоводам. При равных длине и диаметре водоводов, по каждому из них идет половина подачи насосной станции. Водоводы могут подключаться к разным точкам сети и при этом иметь разные длины и диаметры. В таком случае водоводы образуют дополнительное кольцо водопроводной сети, а расходы $Q_{н.в}$ и потери напора в водоводах $h_{н\,в}$ определяются в результате гидравлического расчета кольцевой сети.

В курсовом проекте предполагается, что длина, диаметр и пьезометрический напор в конце каждого водовода одинаковы.

Водоводы рекомендуется проектировать из металлических труб. В результате технико-экономического расчета выбирается диаметр напорных водоводов (см. § 5). При продолжительности максимальной расчетной подачи насосной станции менее 6 ч в сутки выбор экономически выгодного диаметра напорных водоводов можно производить для уменьшенного расхода $(0{,}9...0{,}95)\ Q_{н.в}$.

§ 21. Определение расчетных напоров насосов II подъема. Выбор основного насосного оборудования

Режим работы насосной станции и расчетные напоры существенно зависят от наличия и места расположения водонапорной башни на водопроводной сети. Различают следующие системы: с башней в начале сети, безбашенная и с башней в конце сети (с контррезервуаром). Система водопровода указывается в задании на курсовое проектирование.

Система с башней в начале сети (рис. 49). При этой системе расчетной отметкой z для определения статического напора в час максимального водопотребления является максимальная отметка поверхности воды в водонапорной башне.

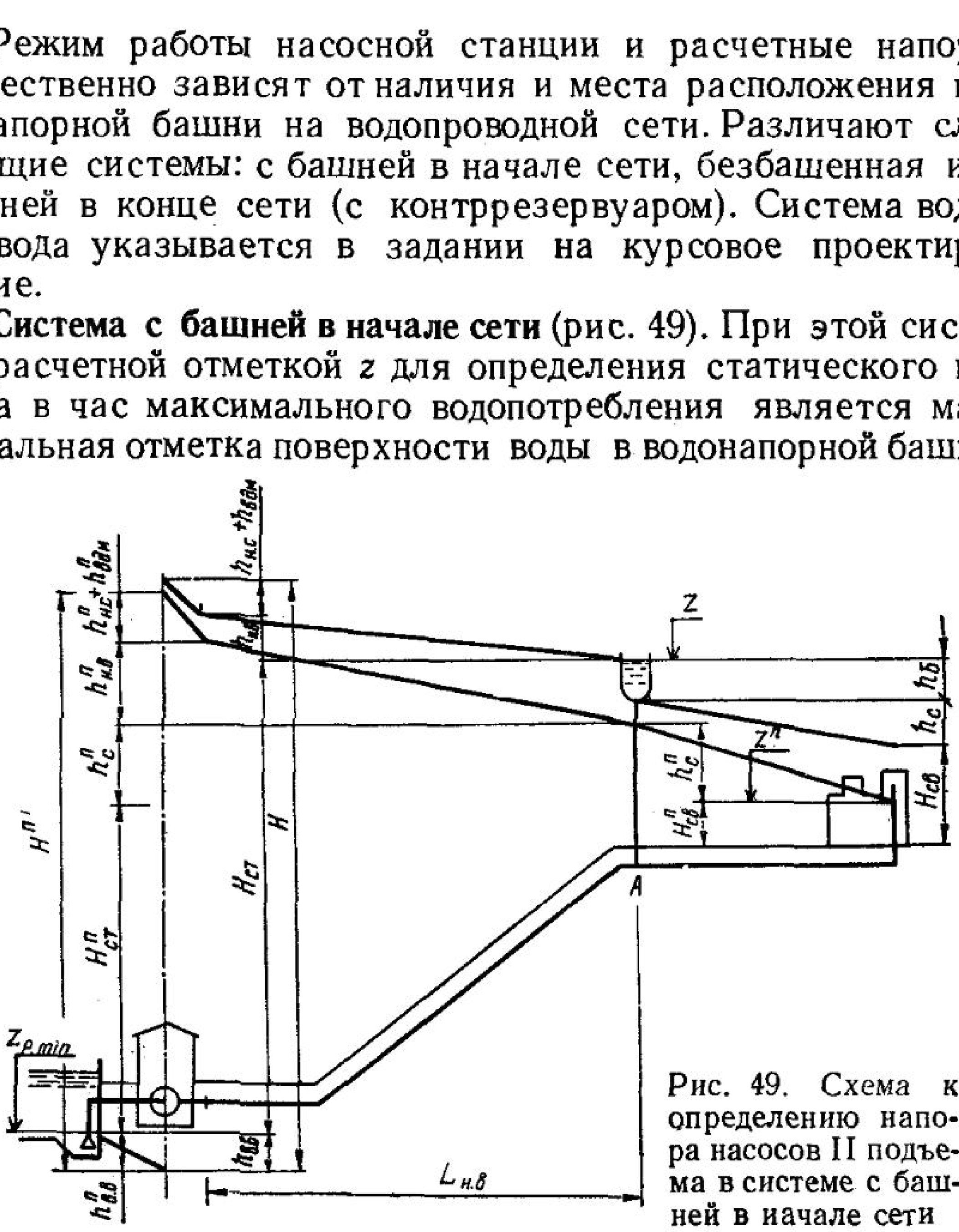


Рис. 49. Схема к определению напора насосов II подъема в системе с башней в начале сети

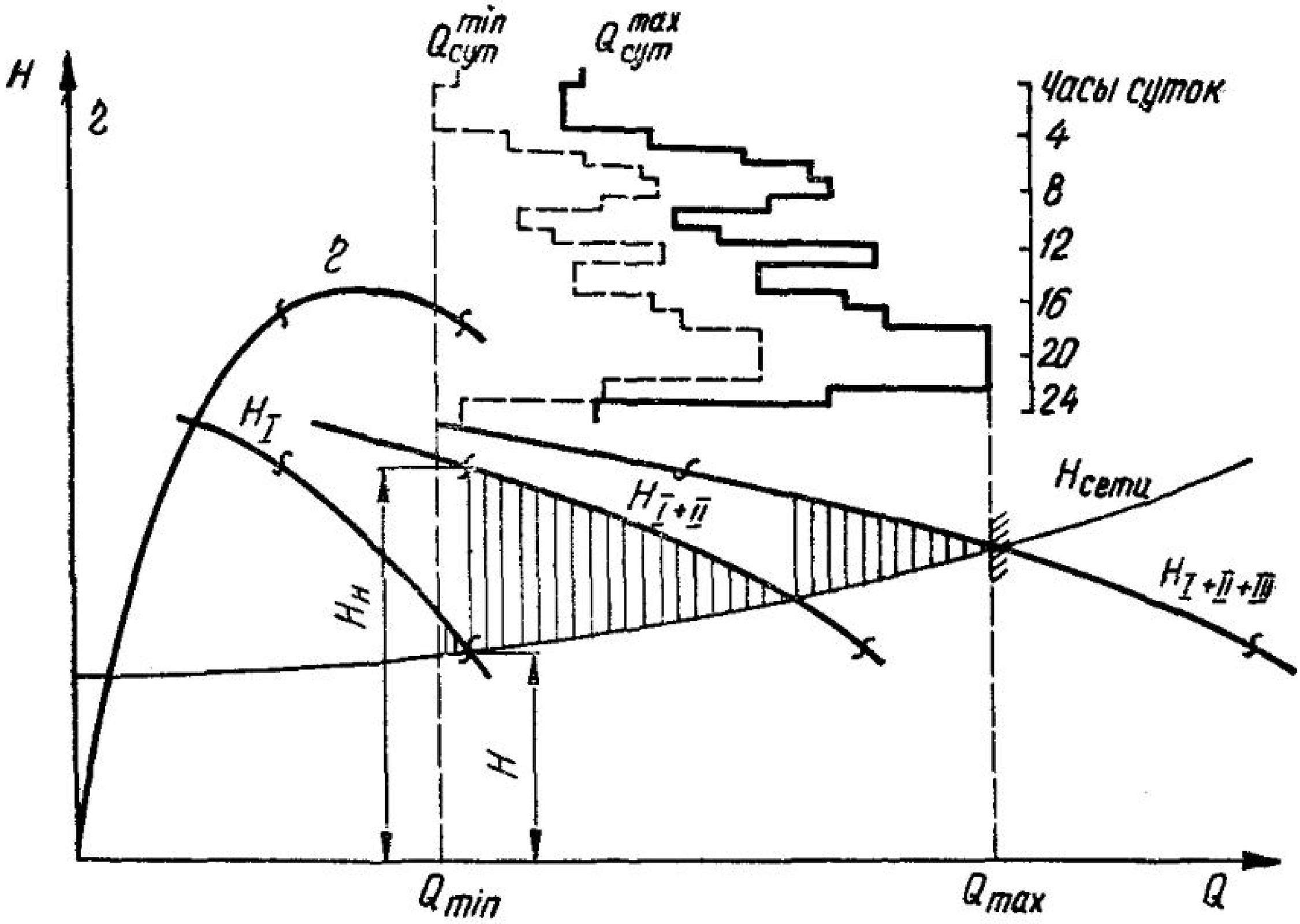


Рис. 50. График работы насосов II подъема в безбашенной системе водопровода

Потребный напор определяется суммой величин

$$H = H_{ст} + h_{в.в} + h_{н.с} + h_{вдм} + h_{н.в}, \qquad (42)$$

где $H_{ст}$ — статический напор, равный разности отметок подачи и минимального уровня в резервуаре чистой воды $z_{р.min}$:

$$H_{ст} = z - z_{р.min}; \qquad (43)$$

$h_{в.в}$ — потери во всасывающих трубопроводах от резервуаров чистой воды до насосной станции; определяются по формуле (20);

$h_{н.с}$ и $h_{вдм}$ — потери в насосной станции и в водомере: в первом приближении $h_{н.с} = 1...2{,}5$ м, $h_{вдм} = 1...1{,}5$ м; уточняются по методике, изложенной в § 7; $h_{н.в}$ — потери в напорных водоводах, определяемые по формуле (23) при расходе $Q_{н.в}$.

Безбашенная система. Здесь расчетный напор насосов определяется по той же формуле (42), только в качестве расчетной отметки z принимают пьезометрическую отметку в конце напорных водоводов, определенную гидравлическим расчетом сети для часа максимального водопотребления.

Безбашенная система является закрытой и создаваемый в ней насосами напор будет зависеть от подачи насосов, то есть от водоразбора. При уменьшении водоразбора напор в

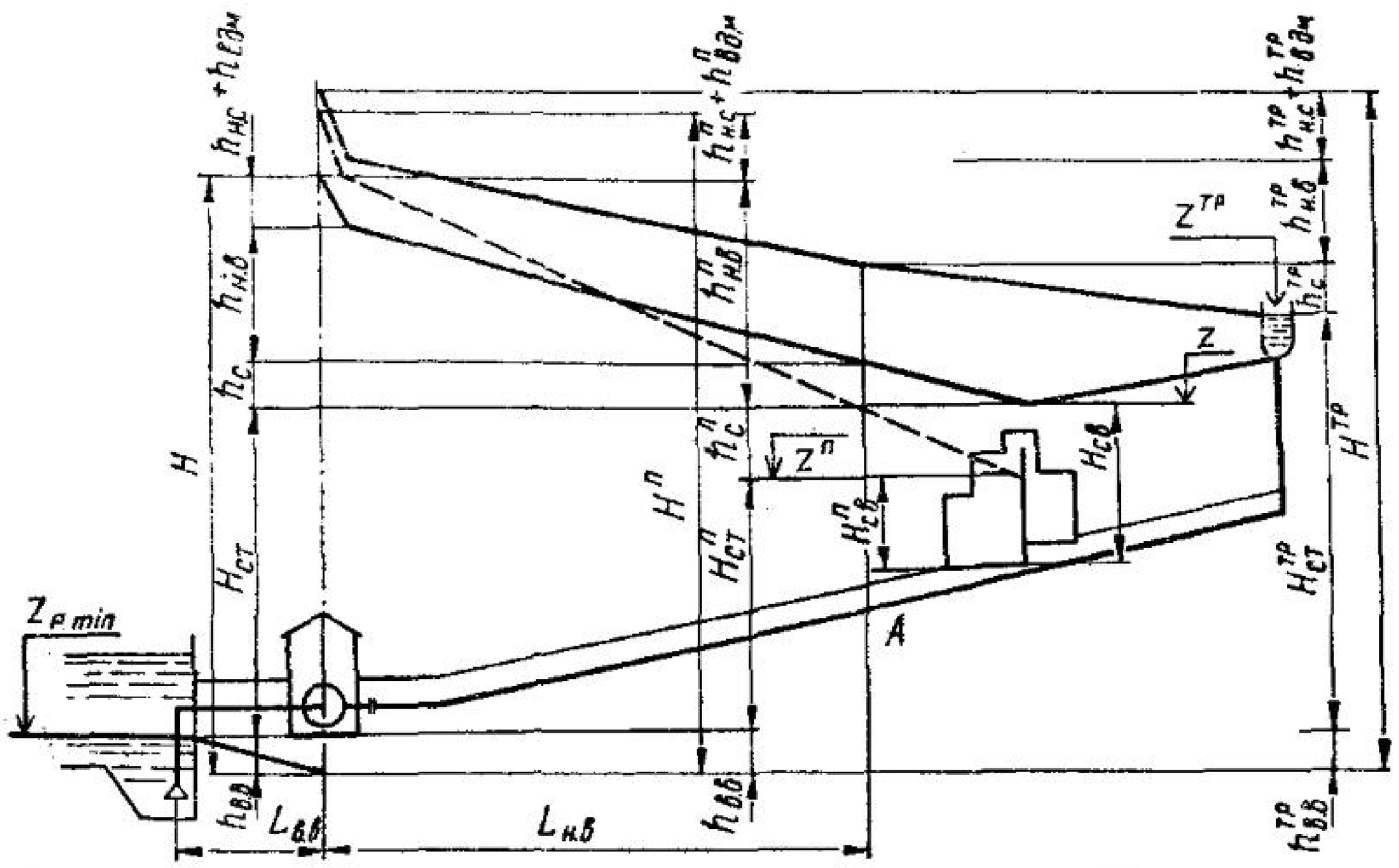


Рис. 51. Схема к определению напора насосов II подъема в системе с контррезервуаром

сети будет повышаться, при увеличении — снижаться. При расходах меньше максимального в сети возникают избыточные напоры, существенно снижающие КПД насосной установки (см. формулу (35)) и увеличивающие энергозатраты на подачу воды.

Максимальные избыточные напоры наблюдаются в безбашенной системе, оборудованной одним насосом. При увеличении числа рабочих насосов средний избыточный напор уменьшается.

На рис. 50 приведен пример работы трех насосов станции II подъема, подающих воду в безбашенную систему. Насосы подбирают так, чтобы режимные точки по возможности не выходили за пределы рабочей зоны. Для этого режимная точка при работе всех насосов в час максимального водоразбора должна находиться в левой части рабочей зоны характеристики.

Система с башней в конце сети (с контррезервуаром). При системе с контррезервуаром (рис. 51) в качестве расчетной отметки z принимают отметку на высоте свободного напора в диктующей точке сети. Напор насосов вычисляют по формуле

$$H = H_{ст} + h_{в.в} + h_{н.с} + h_{вдм} + h_{н.в} + h_c, \qquad (44)$$

где h_c — потери в сети при подаче максимального хозяйственного расхода; остальные обозначения — те же, что и в формуле (42).

В насосных станциях II подъема чаще всего устанавливают насосы типа Д. Число рабочих насосов $n_н$ принимают

2—4, исходя из формы графика суточного водопотребления и характеристик выпускаемого насосного оборудования.

Методика выбора основных насосов описана в § 15. Назначив число насосов, подачу одного насоса определяют по формуле (34). При этой подаче напор выбранного по сводному графику полей (Q—H) насоса должен быть (1... ...1,15) H, где H — требуемый напор, определяемый по формулам (42) или (44). В схемах с контррезервуаром для обеспечения режима транзитной подачи воды в башню желательно, чтобы рабочая точка в час максимального водопотребления лежала в правой части рабочей зоны характеристики насоса. При сопоставлении вариантов КПД насосной установки определяется по формуле (35) для режима подачи в час максимального водоразбора.

Водопотребление населенного пункта, обеспечиваемое насосными станциями II подъема, постоянно меняется: в течение суток, в течение недели в зависимости от рабочих и выходных дней, в течение года в зависимости от температуры воздуха и периода отпусков, от года к году в зависимости от роста населения и повышения уровня благоустройства жилищ. В связи с этим доводить путем обточки рабочих колес характеристики насосов точно до расчетных расходов и напоров не обязательно, так как время, в течение которого эти расходы будут иметь место,— не продолжительно.

Выбрав типоразмер насоса, делают выкопировку его чертежа и характеристики. По формуле (5) определяют требуемую мощность и выбирают или проверяют пригодность поставляемого с насосом электродвигателя.

По табл. 1 назначают необходимое число резервных насосов.

Подача транзитного расхода в водонапорную башню. В схеме с контррезервуаром максимальный напор насосов может потребоваться не в час максимального водоразбора, а при максимальном транзите воды в башню. Заполнение водонапорной башни желательно производить в часы малого водоразбора при уменьшенной подаче насосной станции. Подачу при транзите $Q^{тр}_{н.с}$ назначают, учитывая график водопотребления, количество и характеристику насосов, а затем уточняют при построении графика совместной работы насосов и водоводов.

Напор насосов при транзите вычисляется, согласно схеме рис. 54, по формуле

$$H^{тр} = H^{тр}_{ст} + h^{тр}_{в.в} + h^{тр}_{н.с} + h^{тр}_{вдм} + h^{тр}_{н.в} + h^{тр}_{с}, \qquad (45)$$

где $H_{ст}^{тр}$ определяется из условия подачи воды в водонапорную башню: $H_{ст}^{тр} = z^{тр} - z_{р.min}$, $h_{н.в}^{тр}$ — определяется по формуле (23) при расходе $Q_{н.в}^{тр}$; $h_{с}^{тр}$ — потери напора в сети при транзите приводятся в исходных данных.

Следует отметить, что потери $h_с$ и $h_с^{тр}$ различаются не только по определяющим их расходам, но и учитываются на разных участках сети.

Сумму остальных потерь принимают пропорциональной квадрату расходов:

$$h_{в.в}^{тр} + h_{н.с}^{тр} + h_{вдм}^{тр} = \left(\frac{Q_{н.с}^{тр}}{Q_{н.с}}\right)^2 (h_{в.в} + h_{н.с} + h_{вдм}). \quad (46)$$

При расчете характеристик напорных водоводов при водонапорной башне в начале сети можно пользоваться примером расчета водоводов насосной станции (табл. 12).

В системах с контррезервуаром строятся две характеристики водоводов и сети: в час максимального водопотребления и при транзите расхода в водонапорную башню. Так как суммарные гидравлические потери предполагаются пропорциональными квадратам расходов

$$\frac{\Sigma h_{w1}}{\Sigma h_{w2}} = \frac{Q_1^2}{Q_2^2}, \quad (47)$$

то зависимость потерь напора в водоводах от подачи рекомендуется строить следующим образом.

По формуле (44) для расхода $Q_{н.с}$ в час максимального водопотребления рассчитываются полные гидравлические потери Σh_w. Для расходов, составляющих 0,25, 0,5, 0,75 и 1,2 от $Q_{н.с}$, соответствующие относительные потери будут равны 0,063, 0,25, 0,56 и 1,44 от потерь при максимальном водопотреблении. В табличной записи (табл. 22) выделяют потери в напорных водоводах $h_{н.в}$, в сети $h_с$ и сумму остальных потерь $(h_{в.в} + h_{н.с} + h_{вдм})$. Такое разделение удобно для производства расчетов характеристик системы при авариях на водоводах, транзите расхода в башню и при пожаре.

Пример. Подобрать насосы для насосной станции II подъема, работающей на сеть с контррезервуаром. График водопотребления города представлен на рис. 48. Расчетное максимальное суточное водопотребление 50 000 м³/сут. Максимальный статический напор при подаче воды на хозяйственно-питьевые нужды $H_{ст} = 27{,}5$ м, максимальный статический напор при подаче воды в контррезервуар $H_{ст}^{тр} = 45$ м. Из гидравлического расчета сети известно: потери в сети в час максимального водоразбора $h_с = 4$ м, при подаче насосной станцией

2080 м³/ч и транзите в башню $h_c^{тр} = 3$ м. Напорные водоводы — два стальных трубопровода диаметром 600 мм и длиной 1150 м каждый.

Определяем возможный регулирующий объем башни.

$$W = (0{,}025. . .0{,}06)\ 50\,000 = (750. . .3000)\ м^3.$$

Ориентируясь на типовые башни, принимаем $W = 750$ м³.

Назначаем подачу насосной станции по графику водопотребления (рис. 48) так, чтобы регулирующий объем в баке водонапорной башни (площадь графика выше линии $Q_{н.с}$) был равен 750 м³. $Q_{н.с} = 2650$ м³/ч.

Вычисляем потери в водоводах. Расход в одном водоводе $Q_{н.в} = \frac{2650}{2 \cdot 3{,}6} = 368$ л/с.

По таблицам Шевелевых [23] 1000 $i = 3{,}06$.

Погери напора в напорных водоводах по формуле (23):

$$h_{н.в} = 1{,}05 \cdot 3{,}06 \cdot 1{,}15 = 3{,}7\ м.$$

Таблица 22. **Пример расчета характеристик напорных водоводов и сети системы с коитррезервуаром**

№№ п/п	Параметры	Отношение $Q/Q_{н.с}$						
		0	0,25	0,5	0,75	1	1,2	0,79
		Расход Q, л/с						
		0	184	368	552	736	883	$Q_{н.с}^{тр} = 578$
	Подача к диктующей точке при двух водоводах							
1	$h_{в.в} + h_{н.с} + h_{вдм}$	0	0,19	0,75	1,68	3	4,32	—
2	$h_{н.в}$	0	0,23	0,92	2,07	3,7	5,32	—
3	$h_с$	0	0,25	1	2,24	4	5,76	—
4	$H_{ст}$	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	—
5	$H = (1) + (2) + (3) + (4)$	27,5	28,17	30,17	33,49	38,2	42,9	—
	Подача при транзите в башню							
6	$h_c^{тр}$	0	0,3	1,2	2,7	4,82	—	3
7	$H_{ст}^{тр}$	45	45	45	45	45	—	45
8	$H^{тр} = (1) + (2) + (6) + (7)$	45	45,72	47,87	51,45	56,52	—	52,16
	Подача к диктующей точке при одном водоводе							
9	$h'_{н.в}$	0	0,92	3,68	8,28	14,8	—	—
10	$H^1 = (1) + (3) + (4) + (9)$	27,5	28,86	32,93	39,7	49,3	—	—

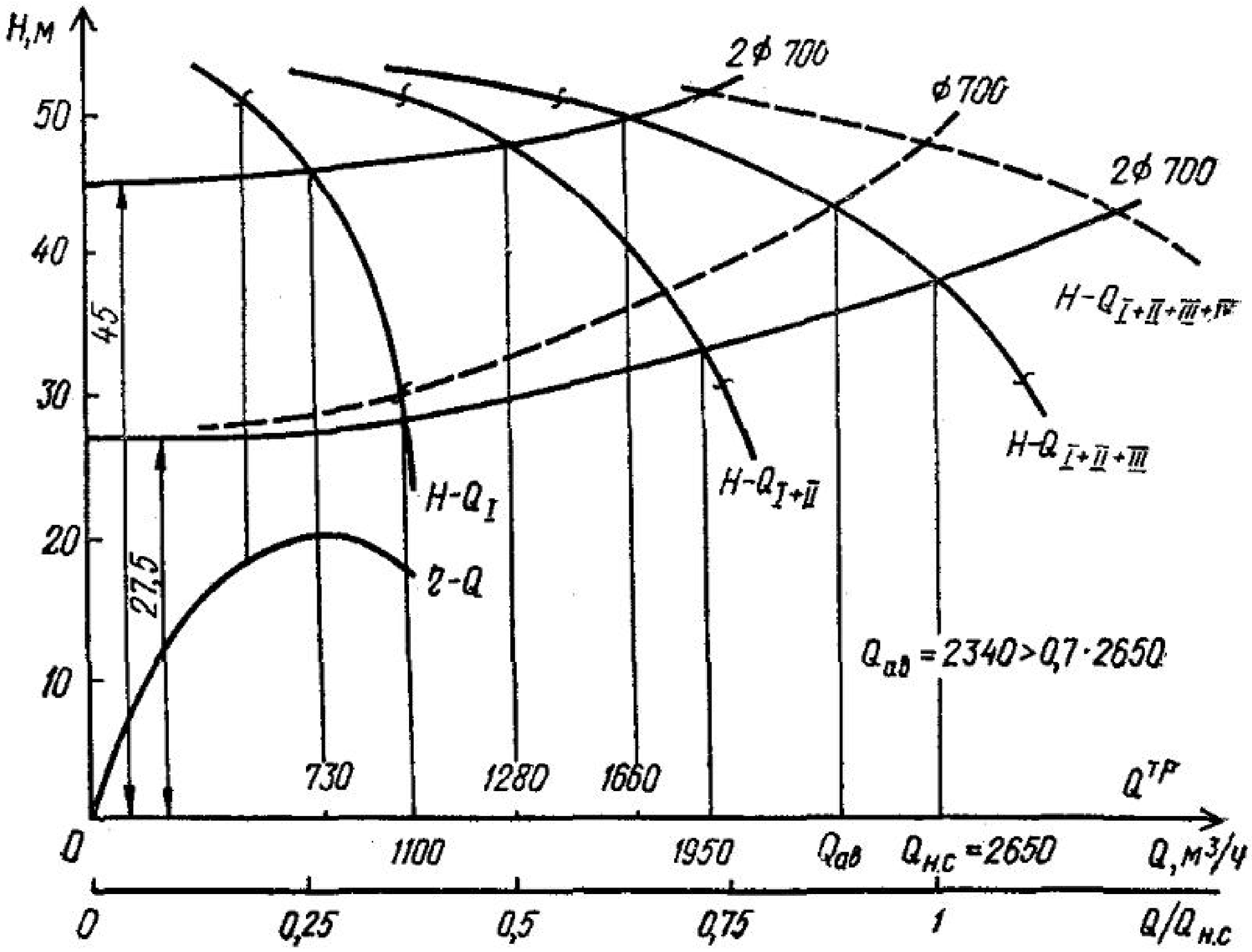


Рис. 52. График работы насосов II подъема в системе с контрезервуаром

Приняв $h_{в.в} = 0{,}5$ м, $h_{н.с} = 1{,}25$ м, $h_{вдм} = 1{,}25$ м, по формуле (44) определяем требуемый напор насосов в час максимального водопотребления:

$$H = 27{,}5 + 0{,}5 + 1{,}25 + 1{,}25 + 3{,}7 + 4 = 38{,}2 \text{ м}.$$

По сводному графику полей насосов типа Д (рис. 5) выбираем 3 рабочих насоса Д 800-57-а, каждый с подачей

$$Q_н = \frac{2650}{3} = 884 \text{ м}^3/\text{ч} = 245 \text{ л/с}$$

и напором 38,5 м. Эти насосы еще в пределах рабочей части характеристики при меньших расходах способны развивать напоры от 45 до 52 м, то есть способны подавать воду в контррезервуар.

Для уточнения режима работы насосной станции строим график совместной работы насосов, водоводов и сети. Расчеты сводим в табл. 22. Рассчитываем напоры по схеме, соответствующей подаче к диктующей точке в час максимального водопотребления. Заполняем значение потерь напора в колонке, соответствующей $Q'/Q_{н.с} = 1$. Пропорционально квадрату расходов определяем потери и вычисляем требуемые напоры для других относительных расходов. Строим график $Q — H$.

Рассчитываем напоры по схеме подачи воды в контррезервуар. Потери в сети при транзите приводим к расходу $Q_{н.с}$:

$$h_c^{тр} = h_c^{тр}\left(\frac{Q_{н.с}}{Q_{н.с}^{тр}}\right)^2 = 3\left(\frac{2650}{2080}\right)^2 = 4{,}82 \text{ м}.$$

Пропорцнонально $(Q/Q_{н.с})^2$ определяем потери в сети при транзнте для других относительных расходов (строка 6 табл. 22). По формуле

(45) определяем требуемые напоры при транзите. Потери $h^{тр}_{в.в}$, $h^{тр}_{н.с}$ и $h^{тр}_{вдм}$ для соответствующих расходов принимаем такими же, как при подаче к диктующей точке в час максимального водопотребления. По расчетным точкам строим график характеристик $Q—H$ (рис. 52). На график характеристик водоводов и сети наносим характеристики параллельной работы насосов, в том числе резервных. В точках пересечения характеристик насосов и водоводов для обоих режимов определяем подачи, соответствующие I, II и III ступеням работы насосной станции. Значение подачи для каждой ступени указываем на графике почасового водопотребления. Насосная станция может подавать воду в башню от 0 до 5 часов, работая одним насосом, от 0 до 6 и от 23 до 24 часов — двумя, от 23 до 7 и от 14 до 16 — тремя насосами.

На рис. 52 приводим график характеристики одного водовода и сети (аварийная ситуация). При вычислении ординат этого графика для соответствующих относительных подач насосной станции потери в напорных водоводах увеличиваются в 4 раза (см. § 7):

$$h'_{н.в} = 4h_{н.в}$$

В приведенном примере при аварии на одном из водоводов насосная станция обеспечивает подачу 70 % расчетного расхода.

§ 22. Расчет режима работы насосной станции при подаче воды на тушение пожара

Подачу расчетного расхода воды на тушение пожара $q_п$ следует предусматривать в час максимального водопотребления.

При тушении пожара свободный напор в диктующей точке сети может снижаться до 10 м. В то же время пропуск увеличенного при пожаре расхода сопровождается увеличением гидравлических сопротивлений в сети. При схеме с водонапорной башней в начале сети, если пьезометрическая линия у башни окажется выше дна башни, при опорожненном баке часть пожарного расхода может поступать во время пожара в башню, а не к месту пожара. Во избежание этого башню приходится отключать (рис. 53).

Подача насосной станции при пожаре с отключенной водонапорной башней определяется по формуле

$$Q^{п}_{н.с} = q_{ч.max} + q_п, \qquad (48)$$

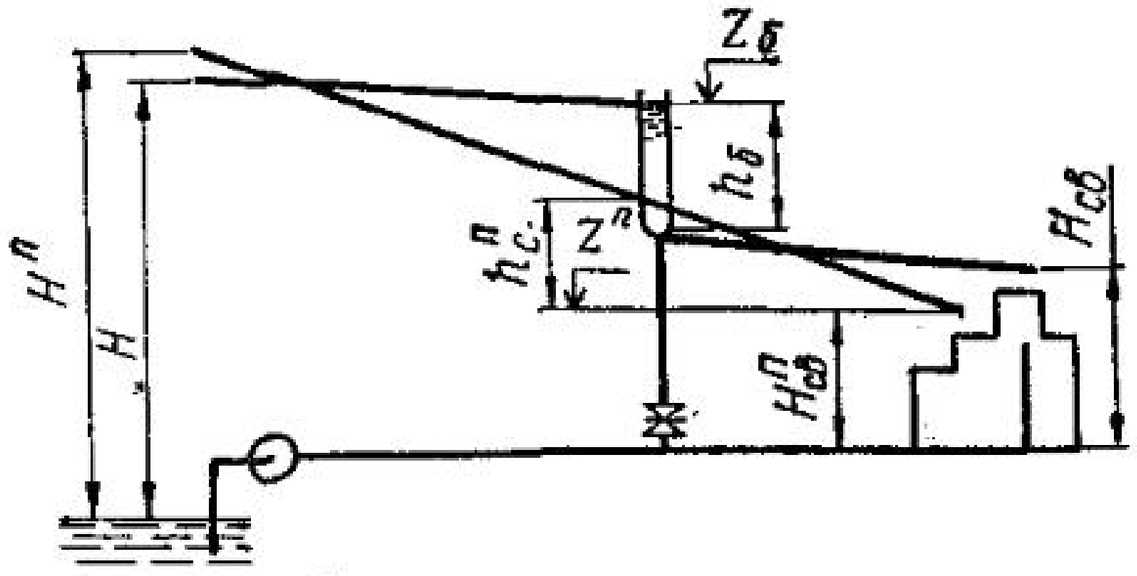


Рис. 53. Схема отключения водонапорной башни при пожаре

а без отключения башни

$$Q^{п}_{н.с} = Q_{н.с} + q_п. \qquad (49)$$

Башня в начале сети должна отключаться при условии

$$z^п + h^п_с > z_б - h_б, \qquad (50)$$

где $z^{п}$ — пьезометрическая отметка в диктующей точке сети при пожаре; $h_{с}^{п}$ — гидравлические потери в городской водопроводной сети при пожаре; $z_{б}$ — отметка максимального уровня воды в башне; $h_{б}$ — высота бака башни; обычно принимается 4—6 м. Требуемый напор насосов при пожаре определяют по формуле

$$H^{п} = H_{ст}^{п} + h_{в.в}^{п} + h_{н.с}^{п} + h_{вдм}^{п} + h_{н,в}^{п} + h_{с}^{п}, \qquad (51)$$

где

$$H_{ст}^{п} = z^{п} - z_{р.min},$$

здесь $z_{р.min}$ — минимальный уровень в резервуаре чистой воды; остальные обозначения — те же, что и в формуле (44), но при подаче пожарного расхода.

Потери в напорных водоводах находят по формуле (23) при расходе $Q_{н.в}^{п}$, а сумму остальных потерь принимают пропорциональной квадрату расходов.

При башне в начале сети принимают

$$h_{в.в}^{п} + h_{н.с}^{п} + h_{вдм}^{п} = \left(\frac{Q_{н.с}^{п}}{Q_{н.с}}\right)^{2} (h_{в.в} + h_{н.с} + h_{вдм}), \qquad (52)$$

а потери в сети $h_{с}^{п}$ — по заданию.

При контррезервуаре

$$h_{в.в}^{п} + h_{н.с}^{п} + h_{вдм}^{п} + h_{с}^{п} = \left(\frac{Q_{п.с}^{п}}{Q_{н.с}}\right)^{2} (h_{в.в} + h_{н.с} + h_{вдм} + h_{с}). \qquad (53)$$

Режим работы насосной станции при пожаротушении следует устанавливать по графику совместной работы насосов и трубопроводов. Характеристика трубопроводов строится путем определения требуемых напоров по формуле (51). Для систем с контррезервуаром приближенно ее можно построить параллельным смещением графика характеристики водоводов при подаче хозяйственно-питьевого расхода к диктующей точке на величину

$$\Delta H = H_{ст}^{п} - H_{ст}.$$

Возможны три варианта режимов работы насосной станции при подаче воды на пожаротушение:

1. Необходимый расход $Q_{н.с}^{п}$ подается основными рабочими насосами за счет снижения напоров в сети (рис. 54, *а*). Снижение статического напора в диктующей точке сети при пожаре ΔH определяют параллельным переносом характеристики трубопроводов.

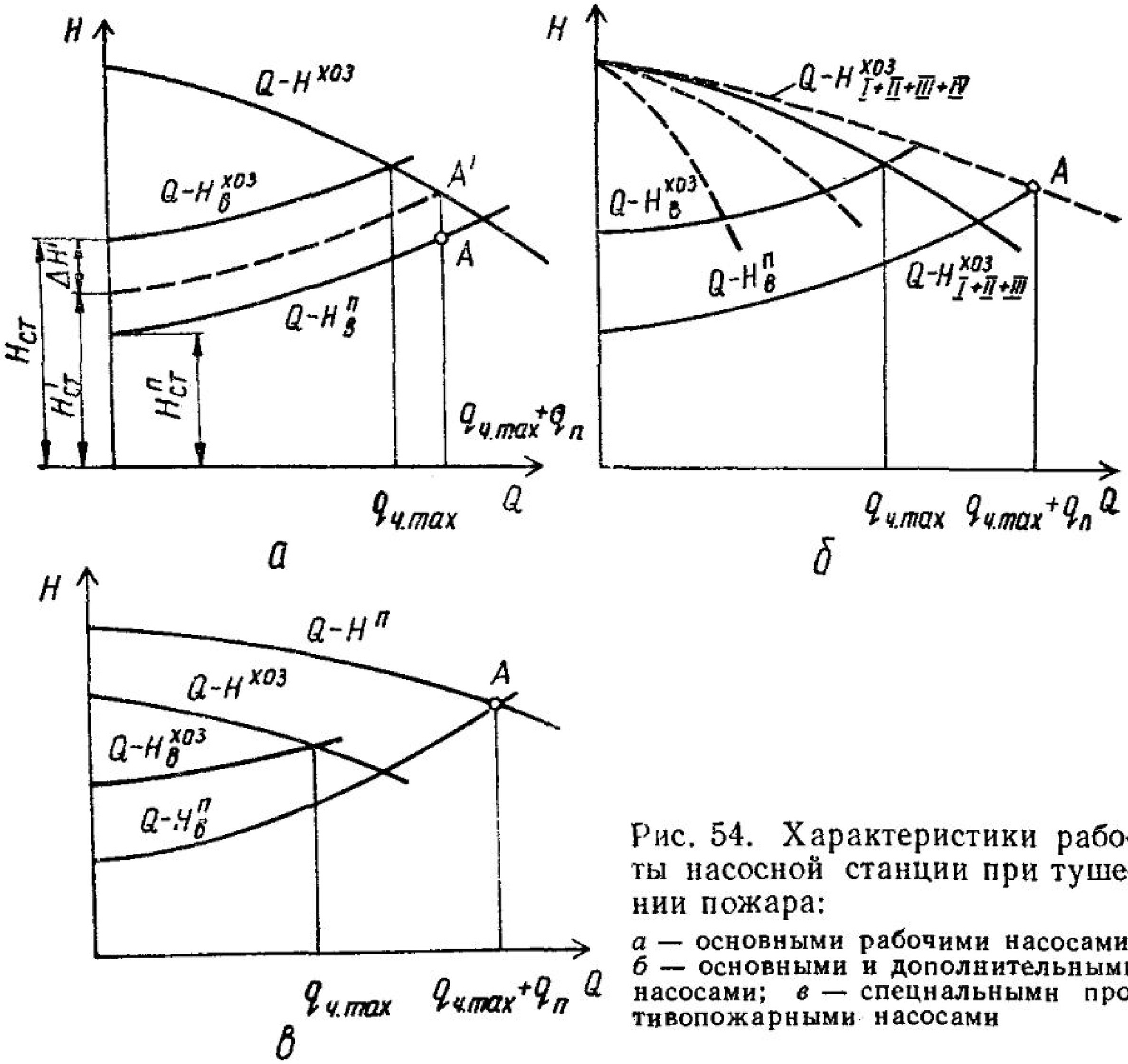


Рис. 54. Характеристики работы насосной станции при тушении пожара:

а — основными рабочими насосами; *б* — основными и дополнительными насосами; *в* — спецнальнымн противопожарными насосами

2. Расход $Q^{п}_{н.с}$ подается включением дополнительных одного-двух насосов того же типоразмера, что и хозяйственные. При этом соответственно увеличивается число насосов в насосной станции. Число резервных насосов принимается в соответствии с нормами [3].

3. Если необходимый напор для пожаротушения больше напора, развиваемого хозяйственными насосами, и невозможно решить задачу включением дополнительных насосов, следует устанавливать пожарные насосы требуемого напора $H^{п}$ с суммарной подачей $Q^{п}_{н\,с}$ (рис. 54, *в*). При работе пожарных насосов хозяйственные отключают. Для группы пожарных насосов предусматривается один резервный.

§ 23. Размещение оборудования в машинном зале

В насосных станциях II подъема основные насосы, как правило, устанавливаются под залив. Это облегчает их запуск и упрощает схему автоматизации насосной станции. У насосов, установленных под залив, верх корпуса должен

быть расположен не менее чем на 0,3—0,5 м ниже расчетного уровня в резервуарах чистой воды (РЧВ): для объединенной хозяйственно-пожарной или пожарной группы насосов — ниже уровня пожарного запаса, для хозяйственно-питьевой группы — ниже среднего уровня воды в резервуарах. Последнее вызвано тем, что нет смысла включать дополнительные насосы и увеличивать подачу насосной станции, когда в РЧВ запас воды на исходе. Если данные о расчетных уровнях и хранении пожарного запаса отсутствуют, уровень хранения пожарного запаса принимают на 1 м выше минимального уровня воды в резервуаре, а средний уровень — на 2,4 м выше минимального (рис. 55). Отметка пола машинного зала и заглубление насосной станции (рис. 12), как правило, определяются посадкой пожарных насосов.

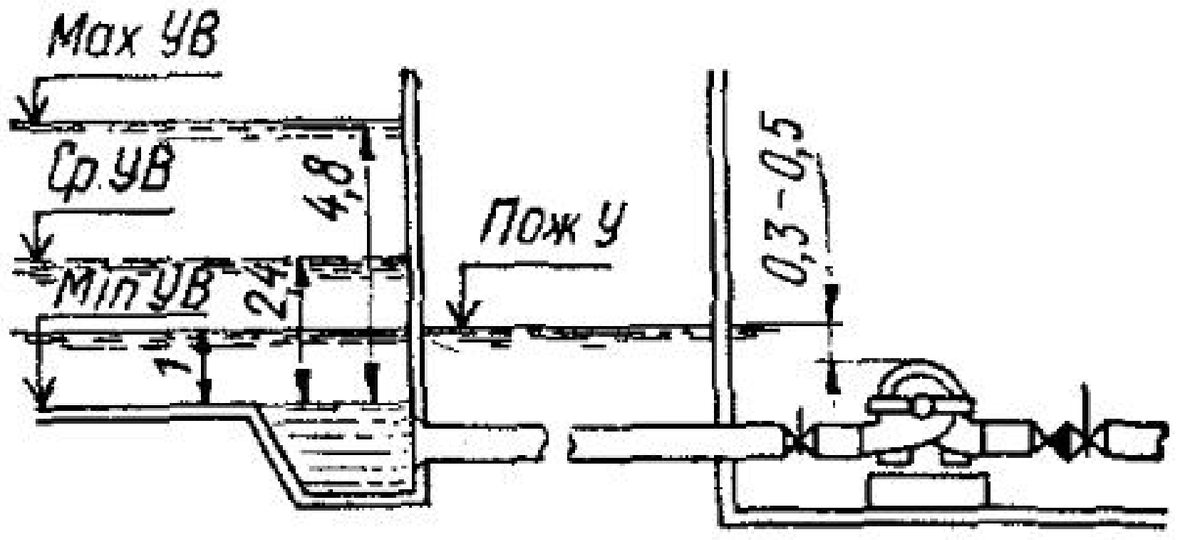


Рис. 55. Схема высотного расположения насосов на станции II подъема

Всасывающие и напорные трубы станции II подъема выполняют те же функции, что и на станциях I подъема. При проектировании к ним предъявляют такие же требования (см. § 5). Стальные трубы внутри насосной станции соединяются сваркой. Фланцевые соединения используют только для подключения к насосам и арматуре. Диаметры труб определяют по допустимым скоростям (табл. 5).

Внутри станции трубы укладываются на полу на подставках с устройством над ними переходных мостиков, или в каналах. Габариты каналов приводятся на рис. 14 и в табл. 6. На рис. 56 приведены возможные схемы размещения трубопроводов на станциях II подъема. При размещении всасывающего и напорного коллекторов один над другим желательно смещать их оси для облегчения монтажа и демонтажа арматуры на нижнем коллекторе.

Насосные станции II подъема, как правило, выполняются прямоугольными в плане и оборудуются горизонтальными насосами типа Д или К. В практике проектирования этих станций наиболее часто встречаются три вида размещения насосных агрегатов: однорядное, параллельное продольной оси здания (рис. 57, *а*); двухрядное шахматное (рис. 57, *б*); однорядное, перпендикулярное продольной оси здания (рис. 57, *в*).

Вид размещения насосов определяется их типом и числом, удобством прокладки всасывающих и напорных

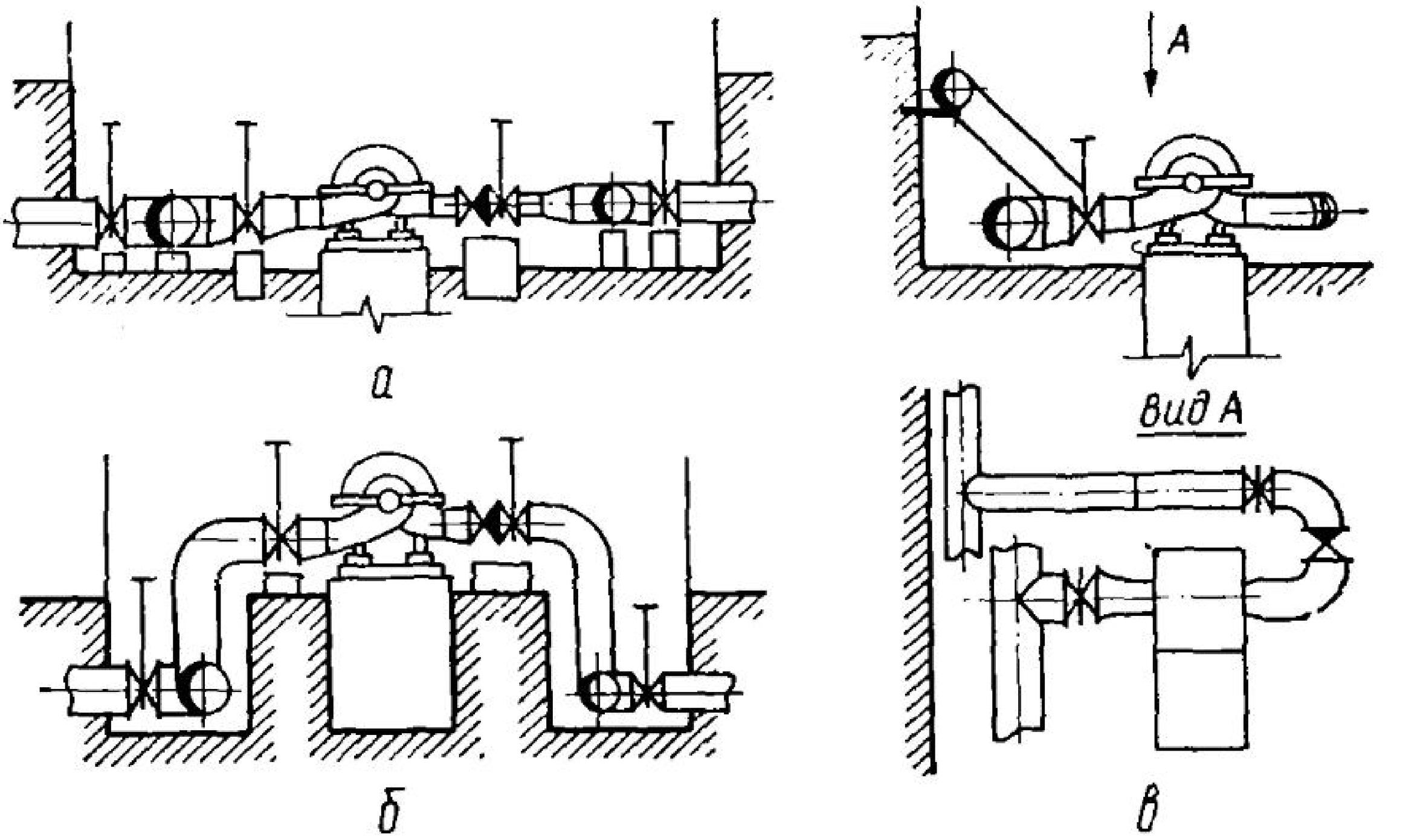


Рис. 56. Основные схемы размещения трубопроводов на станциях II подъема:

а — над полом; *б* — в каналах; *в* — на стене

трубопроводов с наименьшим числом их поворотов, стандартными размерами строительных конструкций здания насосной станции. Расстояние между насосами, трубопроводами и стенами здания следует принимать согласно рис. 13.

Для уменьшения размеров здания насосной станции часть запорной арматуры можно выносить в отдельные камеры переключений, устраиваемые так же, как колодцы на

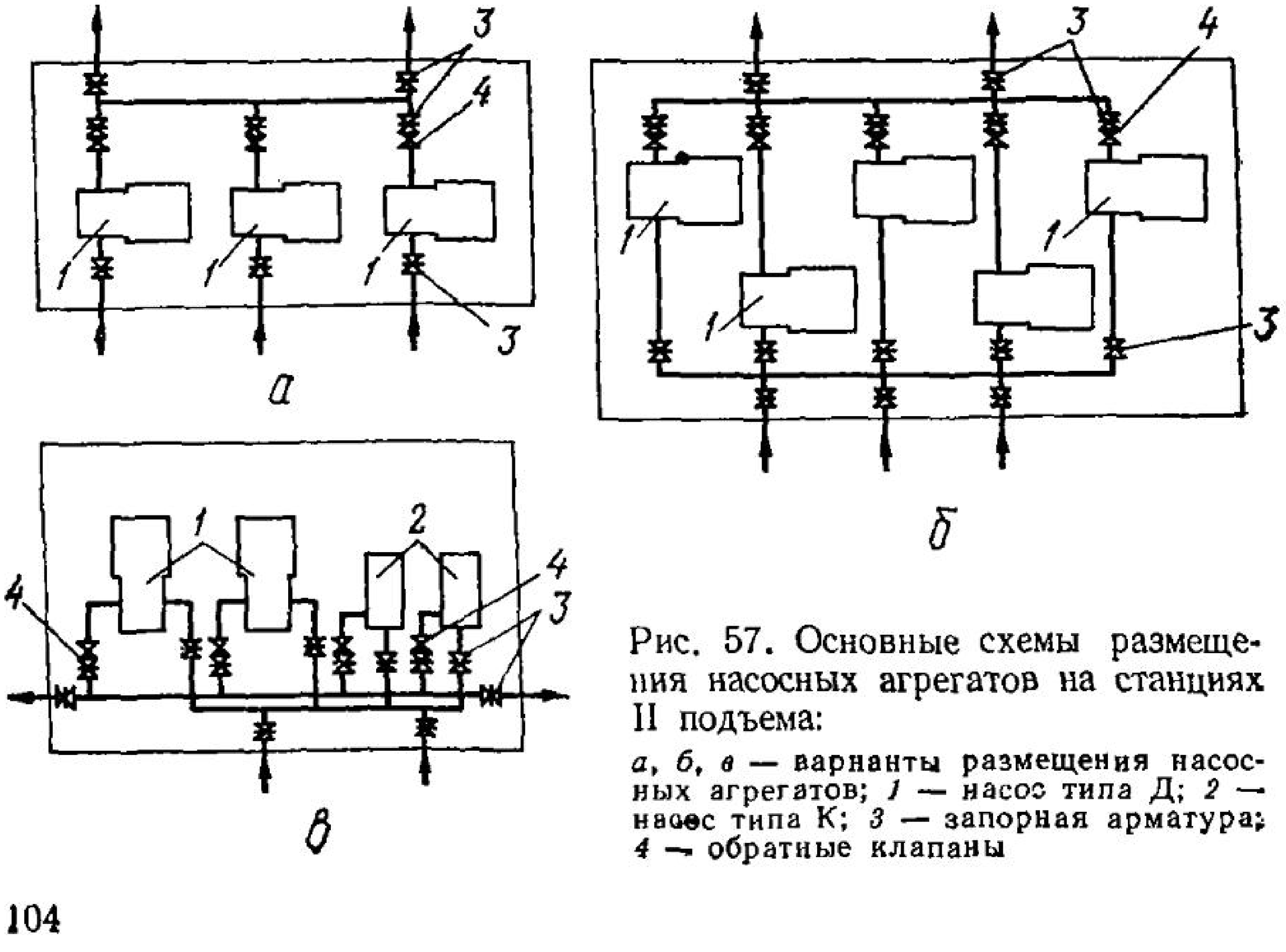


Рис. 57. Основные схемы размещения насосных агрегатов на станциях II подъема:

а, *б*, *в* — варианты размещения насосных агрегатов; *1* — насос типа Д; *2* — насос типа К; *3* — запорная арматура; *4* — обратные клапаны

водопроводной сети. Высота рабочей части камер определяется высотой установленных в них задвижек и в любом случае должна быть не менее 1,5 м. Высоту засыпки от верха покрытия камеры до поверхности земли следует принимать не менее 0,5 м.

Проектирование ведется в такой последовательности:

1. Вычерчивается план и разрез машинного зала (см. пример в § 16).

2. По вычерченному плану насосной станции уточняются потери напора во внутренних коммуникациях насосной станции $h_{н.с}$ (см. табл. 11) и в водомере $h_{вдм}$ (см. § 6).

В связи с уточнением потерь уточняется требуемый напор насосов. При этом проверяется обеспечивают ли требуемые напоры предварительно выбранные насосы.

3. Дополнительным насосным оборудованием на станциях II подъема являются дренажные насосы, подбор которых описан в § 8.

4. Составляется спецификация оборудования, фасонных частей и арматуры (рис. 24).

5. После выбора насосного оборудования проектируется электрическая часть насосной станции (§ 11):

по формуле (30) определяется мощность понизительных трансформаторов;

по табл. 20 выбираются число и размеры камер трансформаторов;

составляется схема электрических соединений.

§ 24. Порядок проектирования здания насосной станции II подъема

Насосные станции II подъема с оборудованием, установленным под залив, обычно проектируются полузаглубленными. В некоторых случаях при достаточно большом уклоне местности резервуары чистой воды могут оказаться выше насосной станции и тогда она будет незаглубленной. Порядок проектирования следующий:

1. Назначается пол первого этажа на 0,1—0,15 м выше планировочных отметок поверхности земли. На отметках первого этажа в машинном зале проектируются монтажная площадка и вход в насосную станцию. Монтажная площадка может быть балконом, размещенным на колоннах над машинным залом, или располагаться вне заглубленной части насосной станции.

2. Проектируется подземная часть насосной станции. В зависимости от положения уровня грунтовых вод отно-

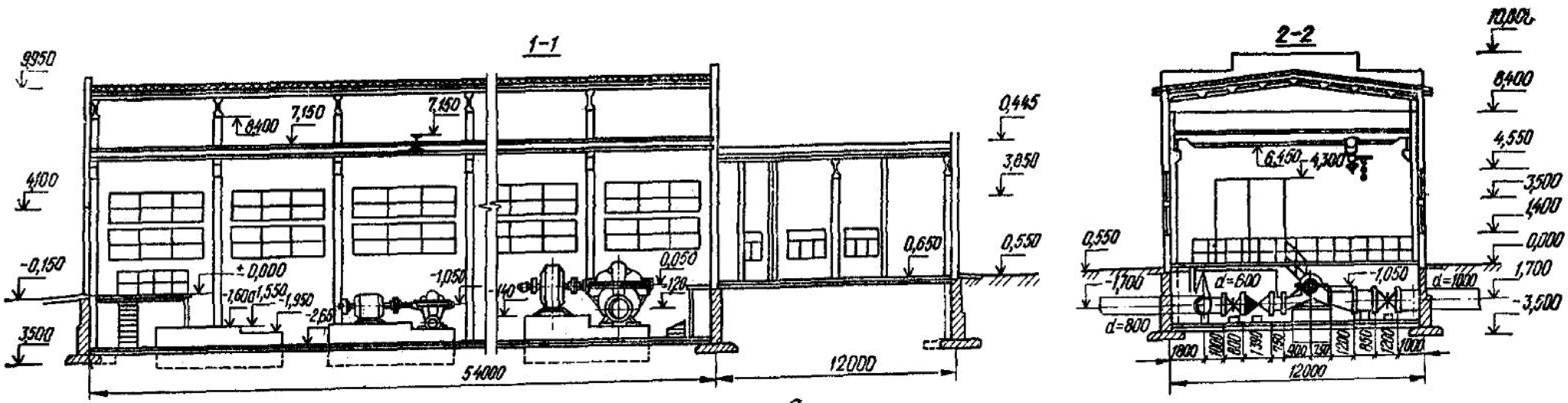


Рис. 58. Насосная станция II подъема

сительно пола машинного зала она выполняется с раздельными фундаментами под насосное оборудование и строительные конструкции (рис. 33, *а*) или в виде железобетонной камеры (рис. 33, *в*).

3. Подбирается подъемно-транспортное оборудование (см. § 9). Предполагается, что автомобиль с грузом будет въезжать на монтажную площадку внутрь насосной станции.

4. Вычерчивается в записке схема подъемно-транспортных операций, и по формуле (28) вычисляется минимально допустимая высота верхнего строения.

5. Выбирается каркасная или бескаркасная конструкция верхнего строения. С учетом стандартных пролетов, шага колонн, ширины плит покрытия (см. § 10) назначаются размеры здания.

6. Электрическая часть и вспомогательные помещения выносятся в пристройку. Состав и размеры помещений назначаются согласно расчетам, приведенным в § 11. Высоту пристройки определяют по высоте камер трансформаторов или КСО.

7. План пристройки компонуется с учетом привязки к разбивочным осям машинного зала так, чтобы ее размеры были кратными 1,5 м. Должны выдерживаться следующие условия: ворота трансформаторных камер должны выходить наружу здания; два выхода из помещения РУ длиной более 7 м; естественное освещение щитовой, кабинета начальника и комнаты обслуживающего персонала; примыкание щитовой к машинному залу и остекленный проем в разделяющей их стене.

8. Графическое оформление проекта выполняется согласно рекомендациям § 10. На листе вычерчиваются: план насосной станции на отметке 0,000 с изображением оборудования, трубопроводов и арматуры, два разреза во взаимно перпендикулярных плоскостях, высотная схема и ситуационный план.

9. На ситуационном плане показывается размещение здания насосной станции и резервуаров чистой воды, трубопроводы, камеры переключений и водомерных устройств, подъездные пути с искусственным покрытием шириной 3 м.

Ориентировочно размеры резервуаров чистой воды для ситуационного плана можно определить так. Объем РЧВ составляет 8—15 % суточного объема водопотребления. Высота резервуаров — 4,8 м. Таким образом, площадь, занимаемая резервуарами,

$$F = \frac{(0{,}08\ldots0{,}15)}{4{,}8} Q_{\text{сут.max}}.$$

Размеры резервуаров в плане должны быть кратны 6 м. Расстояние между резервуарами и зданием насосной станции — 30—50 м. Длина всасывающих водоводов принимается по заданию или по схеме.

Наружные трубопроводы привязываются к углам здания. Указывается их диаметр и длина. На трубопроводах размещают камеры переключений и установки водомеров.

10. Завершается проект разделом «Технико-экономические расчеты насосных станций» (см. гл. 7).

ГЛАВА 6

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ (КАНАЛИЗАЦИОННЫХ)

§ 25. Определение расчетных расходов. Расчет напорных водоводов

Вопросы, которые необходимо решить в проекте, перечислены в § 12.

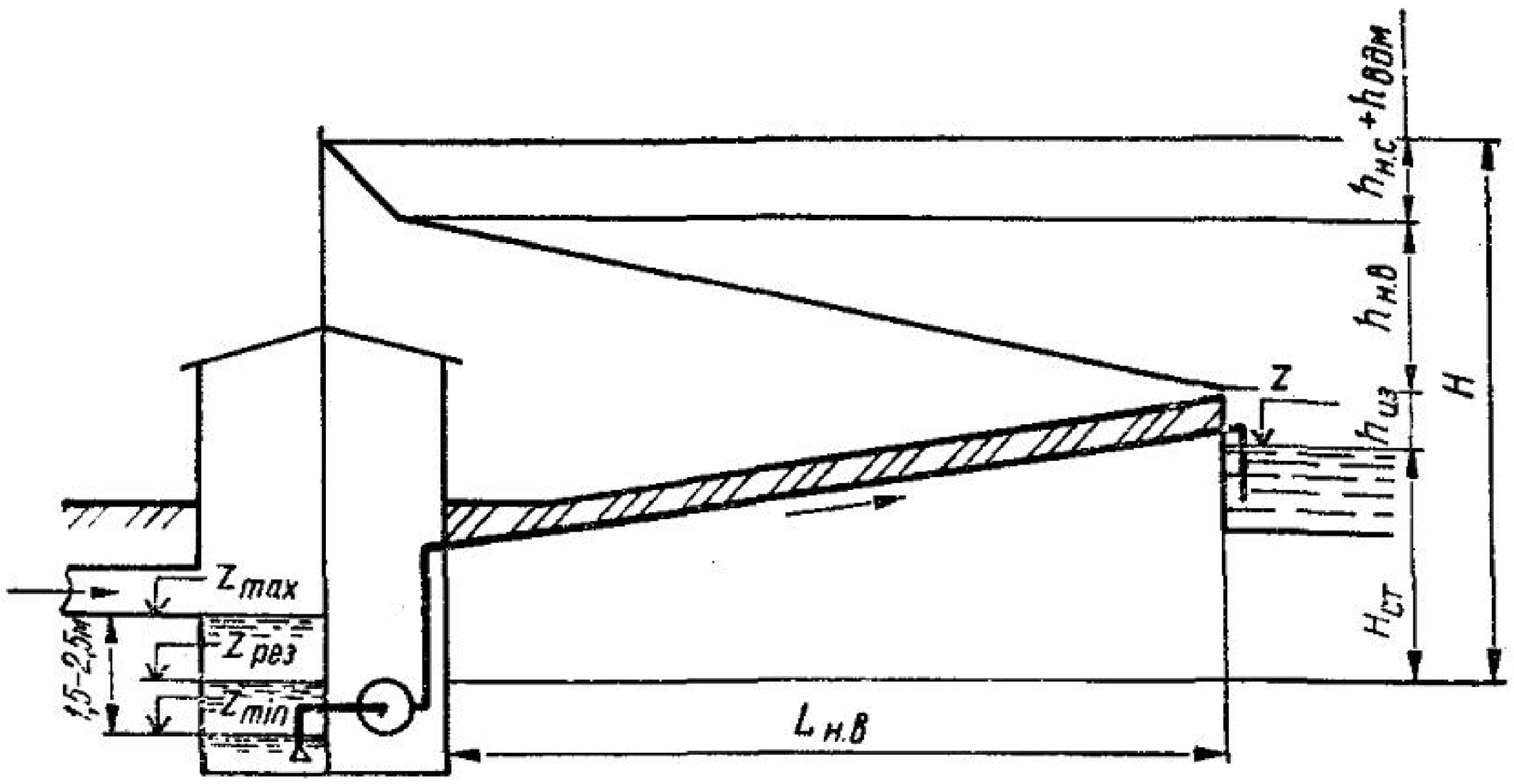
Насосные станции водоотведения, как правило, совмещаются с приемными резервуарами, в которые поступают стоки от населенных пунктов или предприятий. Насосные станции могут перекачивать сточную воду на очистные сооружения, из одного бассейна канализования в другой, или из нижележащего самотечного коллектора в вышележащий, если дальнейшее заглубление коллектора экономически не целесообразно.

В приемных резервуарах устанавливается оборудование (решетки, решетки-дробилки) для задерживания и удаления из перекачиваемой жидкости крупных плавающих предметов.

Расчет насосной станции начинают с построения графика почасового притока сточных вод (в сутки максимального водопотребления). В задании на курсовой проект приводится почасовое распределение притока сточных вод в процентах от суточного. Пример расчета для построения графика показан в табл. 23. Переход от часового расхода к секундному осуществляется по формуле

$$Q,\ л/с = Q,\ м^3/ч/3{,}6. \qquad (54)$$

Расчетная подача насосной станции должна быть равна или несколько превосходить максимальный секундный



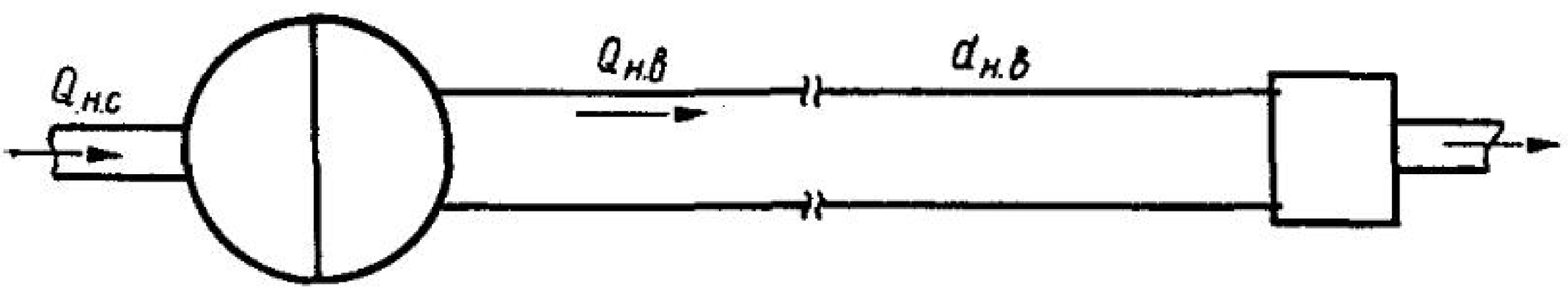


Рис. 59. Схема к определению расчетного напора насосов станции водоотведения

При двух водоводах и аварийном выпуске во время аварии на одном водоводе второй должен обеспечить 70% расчетной подачи. Расчетный расход одного напорного водовода вычисляется по формуле (10), в которую $Q_{н.с}$ подставляют из зависимости (55).

Для напорных водоводов рекомендуется применять асбестоцементные или железобетонные трубы. Чугунные или стальные водоводы могут проектироваться только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Диаметр напорных водоводов определяется по расчету с помощью экономического фактора (см. § 5).

§ 26. Определение расчетных напоров. Выбор насосов

Предварительное значение требуемого напора насосов станции водоотведения определяют по схеме (рис. 62)

$$H = H_{ст} + h_{н.с} + h_{вдм} + h_{н.в} + h_{из}, \qquad (56)$$

где H — требуемый напор насосов, м; $H_{ст}$ — статический напор насосов,

$$H_{ст} = z - z_{рез},$$

здесь z — отметка максимального уровня в приемной камере очистных сооружений или в приемном колодце вышеле-

жащего коллектора; $z_{рез}$ — отметка среднего уровня сточных вод в приемном резервуаре; $h_{н.с}$ — потери напора во внутренних коммуникациях насосной станции, предварительно принимаемые равными 2—2,5 м; впоследствии уточняются по методике, изложенной в § 7; $h_{вдм}$ — потери в водомере, предварительно принимаемые равными — 1,5 м; уточняются по методике, изложенной в § 7; $h_{н.в}$ — потери напора в наружных напорных водоводах, определяемые по формуле (23); $h_{из}$ — потери напора на излив в приемную камеру, принимаемые равными 0,5 м.

Обычно в исходных данных на проектирование насосной станции водоотведения приводится отметка лотка подводящего коллектора. Верхний расчетный уровень воды в приемном резервуаре принимается равным этой отметке. Глубина приемного резервуара зависит от проектируемой регулирующей емкости, но, в общем, принимается 1,5—2,5 м. В первом приближении для насосных станций с производительностью до 25 000 м³/сут глубину приемного резервуара можно принимать 1,5 м. Таким образом, отметка среднего уровня сточных вод в рабочем объеме приемного резервуара $z_{рез}$ принимается на 0,75—1,25 м ниже отметки лотка подводящего коллектора.

Выбор марки насосов производят по сводным графикам полей насосов для сточной жидкости типа СД (СДВ) (рис. 8). На крупных насосных станциях водоотведения с заглублением более 5 м желательно использовать вертикальные насосы, так как они требуют значительно меньших размеров здания станции в плане.

В первом приближении стараются подобрать два или три одинаковых рабочих насоса так, чтобы развиваемый ими напор соответствовал напору, определенному по формуле (56), а суммарная подача — расчетной подаче $Q_{н.с}$. При отсутствии насосов с необходимыми характеристиками проверяют возможность перекачивания стоков одним или четырьмя насосами СД (СДВ) или подбирают насосы типа Гр (рис. 9).

В курсовом проекте необходимо произвести выбор двух-трех вариантов насосного оборудования. Выкопировки рабочих характеристик этих насосов с нанесенными рабочими точками должны быть приведены в пояснительной записке.

Предпочтение отдается насосам с более высоким КПД в рабочей точке. Действительную рабочую точку (подачу и напор насоса) можно установить только при решении задачи совместной работы насосов и водоводов. Для этого необ-

ходимо построить графики совместной работы насосов и водоводов сравниваемых вариантов (см. § 7). В курсовом проекте оценку вариантов можно производить, сопоставляя КПД насосов при максимальной подаче насосной станции, то есть при включении всех рабочих насосов.

При необходимости определяется число перемычек на водоводах, чтобы за счет перемычек и включения резервных насосов обеспечить 100 % расчетной подачи насосной станции.

По числу выбранных насосов определяется число ступеней работы насосной станции. Снятые с графика совместной работы подачи соответствующих ступеней указываются на графике почасового притока к насосной станции.

Окончательно выбрав насосы, по формуле (5) определяют мощность привода и подбирают марку электродвигателя. Плотность перекачиваемой сточной жидкости практически мало отличается от плотности воды, с запасом принимают ее равной 1050 кг/м^3. После этого снимают на кальку и приводят в пояснительной записке установочные чертежи насоса и электродвигателя, компонуют насосный агрегат, составляют «монтажное пятно» (см. § 4).

Количество резервных насосов в соответствии [4] следует принимать в зависимости от категории надежности действия насосной станции. Например, для станций II категории следует предусматривать установку резервных насосов: одного — при одном или двух рабочих насосах, двух — при трех и более рабочих насосах. При трех рабочих насосах с подачей до 100 л/с каждого (станция III категории) допускается установка одного резервного агрегата при условии хранения второго резервного на складе.

§ 27. Размещение основного оборудования в машинном зале

При проектировании насосных станций бытовой системы водоотведения приемный резервуар, помещение решеток, машинный зал, подсобно-производственные и бытовые помещения обычно размещаются в одном здании.

Подземная часть здания разделяется водонепроницаемой глухой стенкой. По одну сторону стенки размещается приемный резервуар и расположенное над ним помещение решеток, по другую — машинный зал. Каждый насос самостоятельным всасывающим трубопроводом соединяется с приемным резервуаром Так как в насосных станциях водоотведения применяются насосы с осевым входом, то их

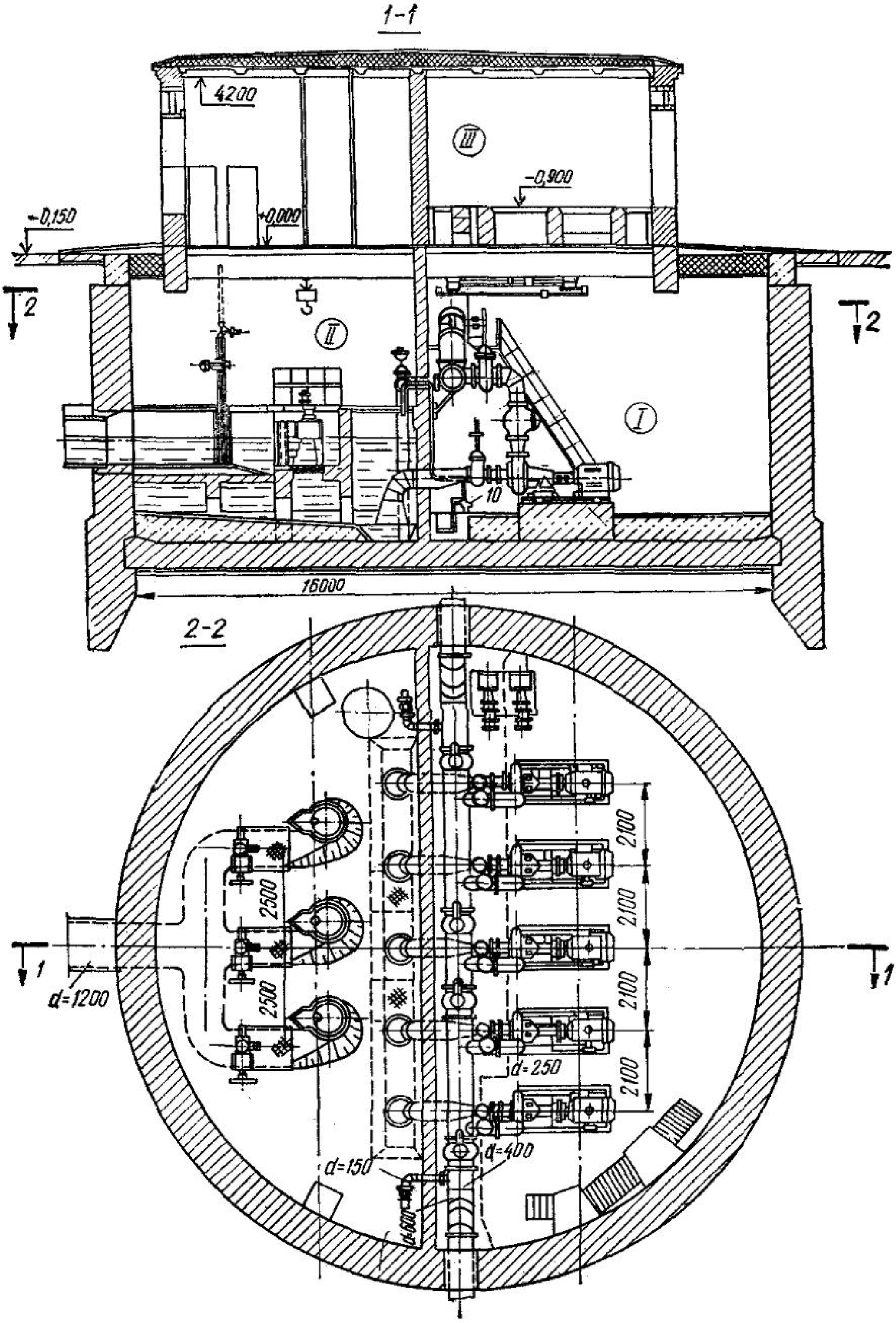


Рис. 60. Насосная станция водоотведения с горизонтальными насосами и решетками-дробилками:

I — машинное отделение; *II* — приемный резервуар; *III* — верхнее строение

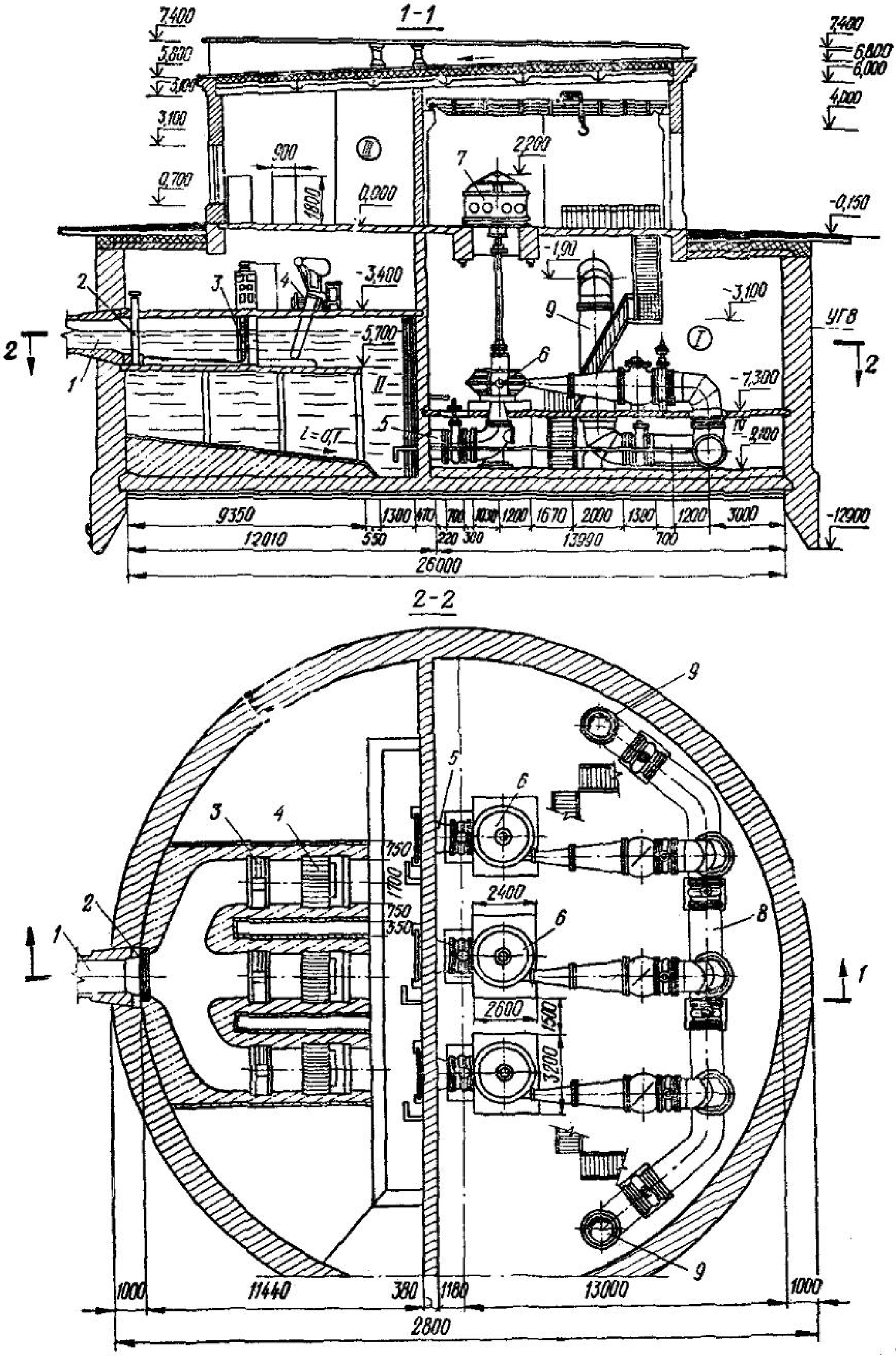


Рис. 61. Насосная станция водоотведения с вертикальными насосами и механизированными решетками:

I — машинное отделение; *II* — приемный резервуар; *III* — верхнее строение; *IV* — помещение трубопроводов; *1* — подводящий коллектор; *2* — ремонтно-аварийный затвор; *3* — рабочий затвор; *4* — механизированная решетка; *5* — всасывающая труба; *6* — насос СДВ 7200/29, *7* — электродвигатель; *8* — напорный коллектор; *9* — напорный водовод

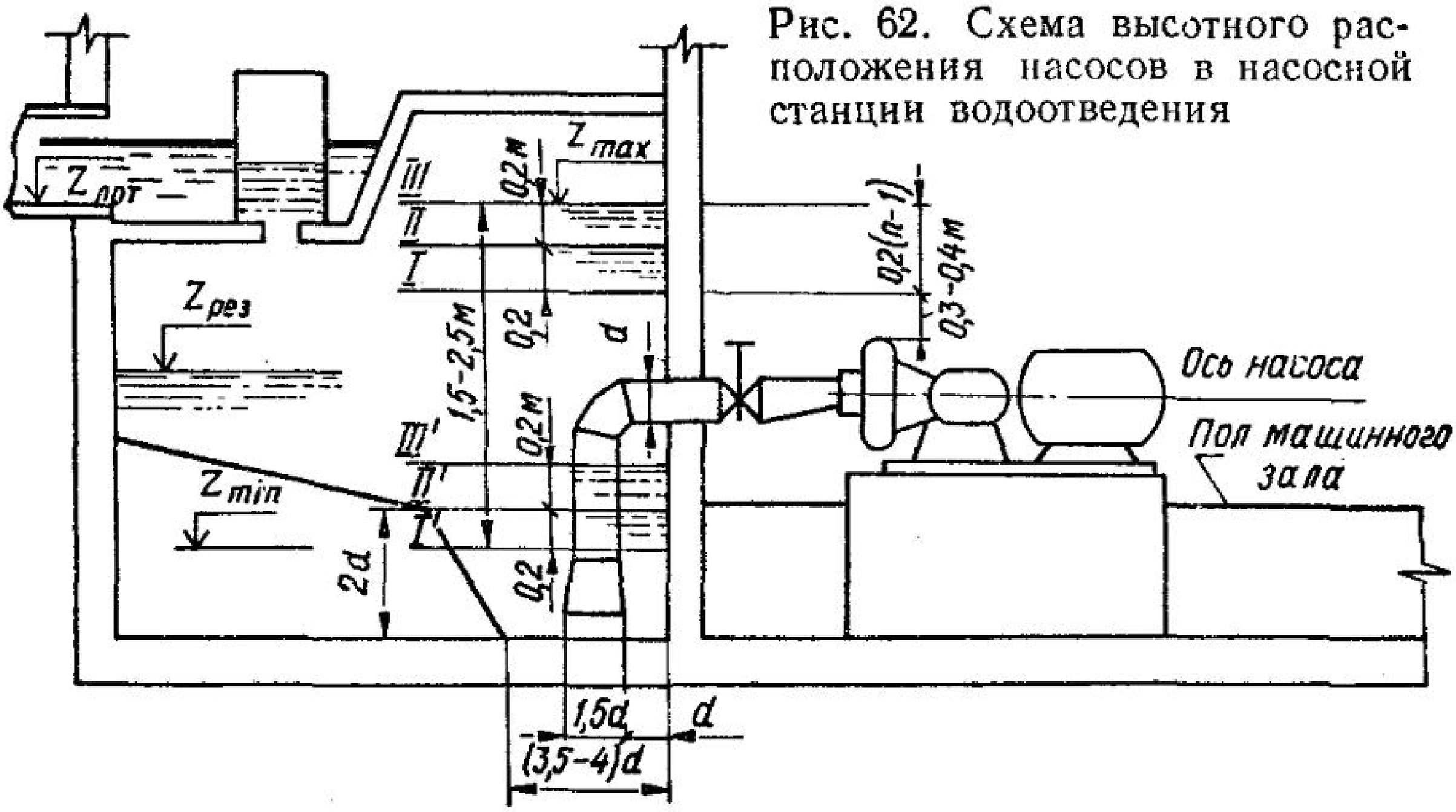


Рис. 62. Схема высотного расположения насосов в насосной станции водоотведения

обычно располагают в один ряд вдоль стенки, отделяющей машинный зал от приемного резервуара (рис. 60 и 61).

Включение насосов проектируется автоматическим в зависимости от притока сточной жидкости. Если после включения одного (первого) насоса уровень воды в резервуаре повышается, включается второй насос и т. д.

Уровни включения и отключения первого, второго и n-го насосов (ступеней) располагаются на 0,2 м один выше другого (рис. 62). Таким образом, минимальный уровень воды в приемном резервуаре при включении насосов

$$z_{вкл} = z_{max} - 0{,}2\,(n - 1), \qquad (57)$$

где $z_{вкл}$ — отметка включения в работу первой ступени откачки; z_{max} — отметка максимального уровня воды в приемном резервуаре (принимается равной отметке лотка подводящего коллектора); n — число рабочих насосов.

Нормами [4] рекомендуется устанавливать насосы в насосных станциях водоотведения под залив. Это облегчает запуск насосов и упрощает схему автоматизации насосной станции. Для этого корпуса насосов располагают на 0,3—0,4 м ниже отметки уровня жидкости в приемном резервуаре, при котором включается в работу первый насос.

После этого, пользуясь установочными чертежами насосов, определяют предварительную отметку оси горизонтальных насосов, отметки всасывающего и напорного патрубков, отметку фундамента, отметку пола машинного зала. Окончательно отметка пола машинного зала и высотное положение насосов уточняются при совместном рассмотрении машинного зала и приемного резервуара насосной станции.

Перекрытие можно устраивать, если заглубление насосной станции превышает величину, определенную по формуле (27).

Если напорный коллектор размещается на кронштейнах на стене, то при определении возможности устройства перекрытия над машинным залом необходимо учитывать доступ к задвижкам, расположенным на этом коллекторе, и условия их демонтажа.

После определения размеров фасонных частей в масштабе строится план расположения оборудования и трубопроводов с арматурой в машинном зале. На плане следует предусмотреть место для монтажной площадки (см. § 9) и лестниц, ведущих с первого этажа в машинный зал (см. § 10).

Построенный в масштабе план позволяет определить форму и размеры подземной части насосной станции. Подземную часть малых и средних станций принимают, как правило, в виде круглой шахты, которую строят опускным способом. При малом заглублении подводящего коллектора (до 3 м) и отсутствии грунтовых вод более целесообразна прямоугольная форма, поскольку в прямоугольном помещении удобнее располагать оборудование. Форма подземной части крупных станций (диаметр шахты больше 18 м) принимается на основании технико-экономического сравнения вариантов и может быть как круглой, так и прямоугольной.

При длине или диаметре подземной части насосной станции до 9 м допускается принимать размеры в плане прямоугольных сооружений кратными 1,5 м, а круглых — 1 м. Для больших насосных станций размеры следует принимать кратными 3 м.

Машинный зал обычно проектируется несколько больше помещения решеток, и разделительная стенка может проходить не через середину колодца.

После окончательного решения схемы насосной станции уточняют потери напора $h_{н.с}$ (см. § 7).

Для учета количества перекачиваемой воды за пределами насосной станции в камерах на напорных водоводах устанавливаются водомеры (трубы или сопла Вентури). По формулам (17) или (18) определяют потери в водомерах и назначают относительное сужение потока в водомерном устройстве.

§ 28. Приемный резервуар и его оборудование

Приемный резервуар представляет собой регулирующую емкость, которая позволяет обеспечить продолжительную равномерную работу насосов в наиболее экономичном режиме при неравномерном притоке сточных вод. Насосы

автоматически включаются и отключаются при достижении уровнем воды в резервуаре определенных отметок (рис. 62). Например, в начальный момент работы насосной станции резервуар пуст, насосы — отключены. Поступающие из коллектора стоки аккумулируются в резервуаре. При заполнении резервуара до уровня, обозначенного I, включается насос I. Если его подача больше расхода поступающих стоков, уровень в резервуаре будет снижаться и при достижении уровня I′, насос отключится. Если подача насоса меньше расхода поступающих стоков, уровень в резервуаре будет повышаться, и при достижении уровня II включится насос II, отключение которого произойдет при снижении уровня до II′, и так далее.

Минимальная вместимость приемного резервуара должна приниматься не менее максимальной подачи одного из насосов в течении 5 мин, что соответствует включениям насоса не более трех раз в час. Максимальная подача насоса определяется по графику совместной работы одного насоса и двух водоводов.

Размеры приемного резервуара в плане назначают обычно после разработки схемы и определения размеров машинного зала. Вместимость резервуара определяют приближенно как произведение площади на глубину резервуара, которую принимают в пределах 1,5—2,5 м.

В приемных резервуарах насосных станций с подачей более 100 тыс. $м^3$/сут необходимо предусматривать два отделения без увеличения общего объема.

Всасывающие трубы диаметром до 500 мм устраивают с коленом, разворачивая приемные отверстия ко дну приямка. Всасывающие трубы диаметром более 500 мм начинают без колена непосредственно от вертикальной стены, разделяющей машинный зал и приемный резервуар; при этом со стороны резервуара устраивают щитовые затворы для перекрытия приемных отверстий при ремонте задвижек на всасывающих трубах.

Приямки у всасывающих труб устраиваются для того, чтобы можно было максимально использовать регулирующую вместимость приемного резервуара. При больших размерах приямков в них будет оставаться много не откачанных стоков, а малые скорости приведут к отложению осадка; при малых размерах — увеличиваются гидравлические сопротивления на подходе жидкости к всасывающим трубам. Рекомендуемые размеры приведены на рис. 62: глубина — $2d$ (d — диаметр всасывающей трубы), ширина по дну — (3,5...4) d. Наклон стенки со стороны резервуара — 60°.

Дно резервуара устраивают с уклоном не менее 0,1 в сторону приямков всасывающих труб.

В приямке у всасывающих труб неработающих насосов возможно выпадение осадка. Для поддержания всех насосов в постоянной готовности к запуску, к всасывающей трубе каждого насоса подводят трубопроводы для взмучивания осадка. Вода в систему взмучивания забирается от напорных линий основных насосов. Для того чтобы через систему взмучивания можно было опорожнять трубопроводы при ремонте, трубы системы взмучивания должны быть подключены к каждому напорному водоводу и оборудованы задвижками. Диаметр трубопроводов взмучивания принимается не менее 50 мм. Взмучивание осадка можно производить по всему периметру приемного резервуара.

Над приемным резервуаром не менее, чем на 0,5 м выше уровня воды в подводящем самотечном коллекторе устраивают перекрытие из железобетонных плит. На этом перекрытии располагают помещение решеток. Против всасывающих труб перекрытие выполняют из съемных плит или оставляют в нем отверстие. Для того чтобы при необходимости из помещения решеток можно было спуститься в приемный резервуар, предусматривают один или несколько люков диаметром 0,7 м, располагаемых у стены. В резервуаре в стены против люков заделывают скобы.

В станциях водоотведения стоки перед попаданием в насосы должны пройти через специальные сороудерживающие решетки. Задержанный на решетках крупный мусор измельчается на дробилках и опять сбрасывается в лоток со сточной жидкостью. В настоящее время наиболее прогрессивным решением для предварительной очистки сточных вод считается установка решеток-дробилок — механизмов, совмещающих в себе задержание и измельчение крупного

Таблица 24. **К определению числа резервных решеток (решеток-дробилок)**

Наименование агрегатов		Число агрегатов	
		рабочих	резервных
Решетки с механизированными граблями:			
перед насосами СД 100/40 и меньшими (прозоры решеток 16—20 мм)	⩽3		1
	>3		2
перед большими насосами (прозоры решеток больше 20 мм)	Любое		1
Решетки-дробилки	⩽3		1
	>3		2

Таблица 25. **Технические данные для подбора решеток-дробилок типа РД**

Суточная подача насосной станции, м³/сут	Максимальный расход сточной жидкости, л/с	Марка решетки-дробилки	Суммарная площадь проходного сечения щелей в барабане, м²	Число решеток-дробилок			Скорость движения сточной жидкости в щелях решетки-дробилки, м/с
				рабочих	резервных	общее	
12	0,4	РД-100	0,0076	1	1	2	0,058
250	8,7			1	1	2	1,14
400	12			1	1	2	0,63
700	18	РД-200	0,019	1	1	2	0,94
1400	33			2	1	3	0,87
2700	59			3	1	4	1,03
4200	92			1	1	2	0,77
7000	147			1	1	2	1,23
10 000	194	РД-400	0,119	2	1	3	0,815
17 000	315			3	1	4	0,885
25 000	445			1	1	2	0,98
32 000	556			1	1	2	1,22
50 000	720			2	1	3	0,79
64 000	903	РД-600	0,455	2	1	3	0,99
80 000	1100			3	1	4	0,81
100 000	1330			3	1	4	0,975
130 000	1730			2	1	3	1
160 000	2130			3	1	4	0,89
220 000	2920			3	1	4	1,2
280 000	3720	РД-900	0,8	4	2	6	1,16
400 000	5340			6	2	8	1,1
500 000	6660			7	2	9	1,19

мусора. Решетки, дробилки, решетки-дробилки подробно описаны в [15, 21].

Типоразмеры и количество решеток или решеток-дробилок назначают исходя из рекомендуемых скоростей движения сточных вод. Скорость движения сточных вод в прозорах решеток при максимальном притоке надлежит принимать: для механизированных решеток — 0,8—1 м/с, для решеток-дробилок — 1,2 м/с. Число резервных решеток или решеток-дробилок в соответствии со СНиП необходимо принимать по табл. 24.

Для насосных станций с подачей до 25 000 м³/сут допускается установка резервной решетки с ручной очисткой.

Таблица 26. **Технические данные решеток-дробилок типа РД**

Марка решетки-дробилки	Размеры, мм				Мощность электродвигателя, кВт	Общая масса, кг	Оптовая стоимость, руб.
	наибольшая высота *H*	наибольшая ширина *B*	наружный диаметр барабана *D*	ширина щели			
РД-100	800	350	100	8	0,4	85	600
РД-200	1485	950	180	8	0,8	405	920
РД-400	1590	920	400	10	0,8	665	1450
РД-600	2170	1250	635	10	1,5	1800	2800
РД-900	2675	1820	900	10	3	4000	—

При подборе решеток-дробилок можно пользоваться табл. 25. Габариты и технические данные решеток-дробилок типа РД приведены в табл. 26.

Для монтажа решеток-дробилок предусматривают необходимое подъемно-транспортное оборудование.

Зная отметку пола помещения решеток и габариты оборудования, по формуле (27) проверяют, можно ли устроить на отметке пола первого этажа перекрытие над помещением решеток или его следует проектировать по полузагубленной схеме.

При проектировании необходимо решить вопрос подачи в помещение решеток монтируемого оборудования и соединить помещение лестницей с первым этажом. В помещении решеток следует предусмотреть принудительную приточную вентиляцию.

§ 29. Проектирование систем технического водопровода и дренажа

В насосных станциях водоотведения кроме основных насосов, как правило, устанавливаются еще две группы вспомогательных насосов: системы технического водоснабжения и откачки дренажных вод.

Насосные станции водоотведения оборудуют двумя системами холодного водопровода: хозяйственно-питьевой и технической. Вода для обеих систем подается в насосную станцию из сети хозяйственно-питьевого водопровода близлежащего населенного пункта или предприятия. В больших насосных станциях с подачей свыше 100 000 м³/сут предусматривается два ввода водопровода.

Хозяйственно-питьевой водопровод разрабатывается в дипломном проекте). Этот водопровод предусматривают из

труб диаметром 15—20 мм с подключением к нему приборов в санузле, в душевой и кранов для мойки пола в помещении решеток и в машинном зале. Предполагается, что горячая вода для душевой поступает из центрального теплового пункта или приготовляется на индивидуальных водонагревателях. Сточная вода от санитарных приборов отводится в приемный резервуар.

Технический водопровод. Подает воду на охлаждение и гидроуплотнение сальников основных насосов и к дробилкам для смыва раздробленного осадка.

Существует опасность попадания сточных вод в систему технического водопровода. Например, при аварийном снижении давления в техническом водопроводе чистая вода уже не будет подаваться по его трубам к сальникам фекальных насосов; при этом сточная вода от насосов может попадать в трубопроводы системы водопровода.

Для защиты сети хозяйственно-питьевого водопровода от возможного загрязнения, технический водопровод подключается к хозяйственно-питьевому через бак «разрыва струи» (рис. 63).

Требуемый напор технической воды, подаваемой к сальникам насосов, перекачивающих сточную жидкость, должен быть несколько выше напора, развиваемого этими насосами. Для создания такого напора в системе технического водопровода между баком «разрыва струи» и насосами сточной жидкости устанавливают насосы-повысители: один рабочий и один резервный.

Бак «разрыва струи» стремятся расположить как можно выше (на полу первого или второго этажа или на кронштейнах на стене в надземной части насосной станции) с тем, чтобы максимально использовать напор питающей сети.

Вместимость бака для небольших насосных станций, оборудованных основными насосами с подачей до 150 м³/ч, прини-

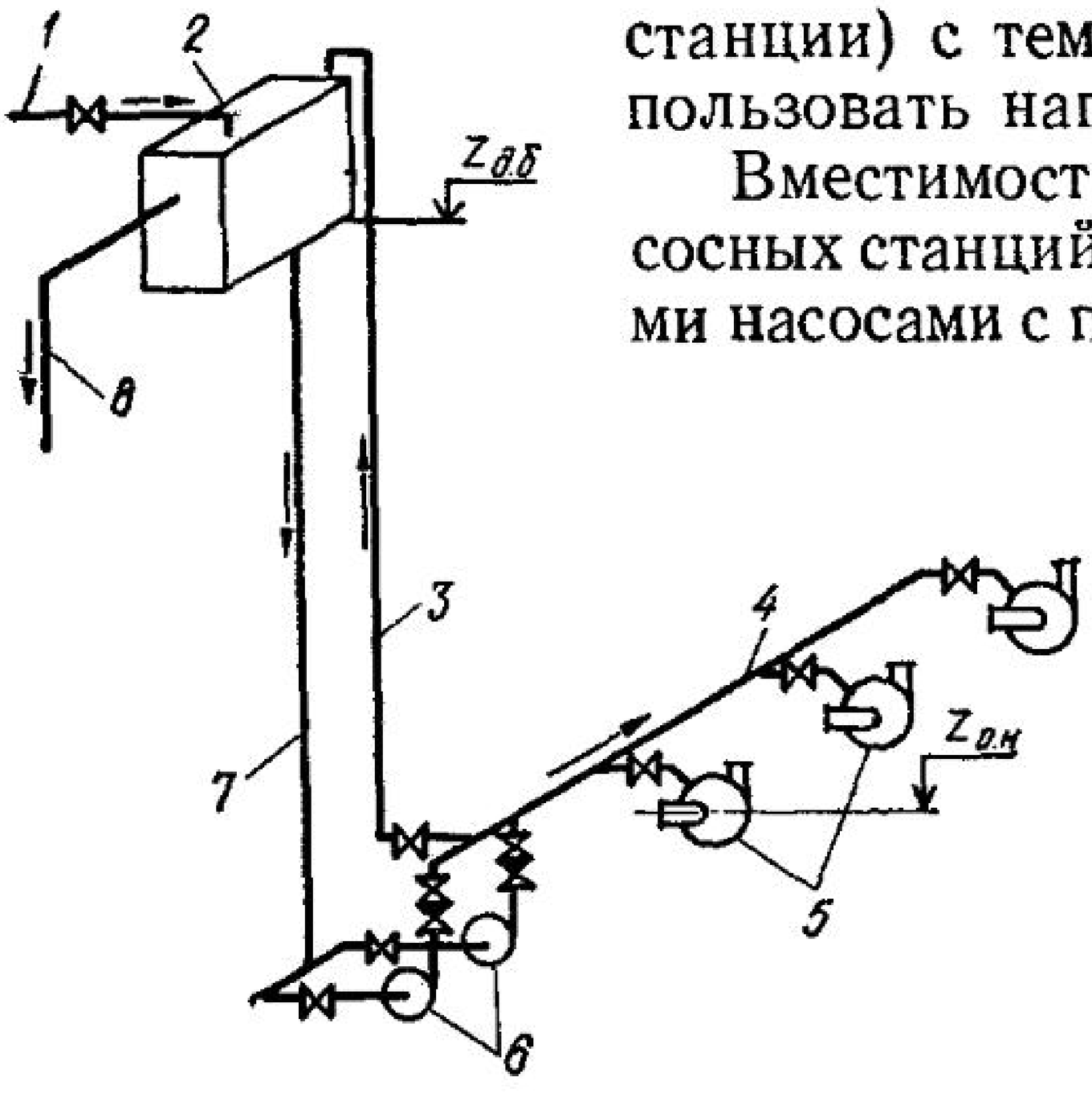


Рис. 63. Схема подачи воды для охлаждения и гидроуплотнения сальников канализационных насосов:

1 — хозяйственно-питьевой водопровод; *2* — бак «разрыва струи»; *3* — перепускной трубопровод; *4* — напорный трубопровод; *5* — основные канализационные насосы; *6* — насосы-повысители напора; *7* — подводящая линия к насосам-повысителям; *8* — переливной трубопровод

мают 0,5 м³, для средних 1—1,5 м³, для крупных, оборудованных насосами с подачей свыше 1000 м³/ч — 4—6 м³. Переливная труба диаметром 50 мм выводится из бака в приемный резервуар.

При определении расчетной подачи насоса-повысителя учитывают, что потребление технической воды каждым рабочим насосом, перекачивающим сточную жидкость, составляет 0,3—0,5 л/с.

Напор насосов технического водопровода определяют по формуле

$$H_{т.в} = H - (z_{д.б} - z_{о.н}) + \Delta H, \qquad (58)$$

где H — напор, развиваемый основными насосами, м; $z_{д.б}$ — отметка дна бака разрыва струи, м; $z_{о.н}$ — отметка оси основного насоса, м; ΔH — рекомендуемое превышение напора в сети технического водопровода над напором, развиваемым основными насосами; определяется по паспортным данным основных насосов (может приниматься равным 2—3 м, а для насосов с подачей свыше 1000 м³/ч — 10 м).

Чаще всего требуемым параметрам удовлетворяют вихревые насосы ВК (ВКС) — 1/16, 2/26 и 4/24 [15].

Насосы технического водопровода устанавливаются обычно в машинном зале сдвоенными на одном фундаменте.

Схему технического водопровода, аналогичную приведенной на рис. 63, студент должен представить на чертеже или в пояснительной записке.

Пример. Насосная станция оборудована двумя рабочими и одним резервным иасосами СД 100/40 с расчетным напором 44 м. Оси насосных агрегатов иа 5 м заглублены отиосительно пола первого этажа. Подобрать иасосы-повысители системы технического водопровода.

Подача насосов СД 100/40 меньше 150 м³/ч, поэтому вместимость бака «разрыва струи» принимаем 0,5 м³. Бак размещаем на кронштейнах на стене иадземной части здаиия иасосной стаиции на высоте 2 м под полом.

Напор насосов технического водопровода определяем по формуле (58)

$$H_{т.в} = 44 - (2 + 5) + 3 = 40 \text{ м}.$$

Подача технической воды к двум основным рабочим насосам

$$Q_{т.в} = 0{,}5 \cdot 2 = 1 \text{ л/с} = 3{,}6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Требуемым условиям удовлетворяет иасос ВК-2/26 с подачей 2,7—8 м³/ч и с иапором 60—20 м.

Система откачки дренажных вод. Такая система должна предусматриваться в машинных залах всех насосных станций водоотведения. Подбор дренажных насосов описан в § 8 и производится с помощью формулы (26), в которой не учитываются утечки через сальники, и табл. 14.

В малых не автоматизированных насосных станциях дренажные воды можно откачивать основными насосами. Для этого к всасывающему патрубку одного из насосов подсоединяют трубу диаметром 15—20 мм с вентилем, которая свободным концом опускается в дренажный колодец (приямок). Основные насосы устанавливаются под залив от максимальных уровней в приемном резервуаре, поэтому необходимый вакуум во всасывающей трубе может возникать только при малых уровнях в приемном резервуаре или после прикрытия задвижки на всасывающей трубе насоса. После откачки дренажных вод из колодца во избежание попадания воздуха в насос перекрывают вентиль на малой трубе. Эту же схему можно предусматривать для откачки воды из машинного зала при аварии на трубопроводах внутри насосной станции.

§ 30. Порядок проектирования надземной части здания насосной станции водоотведения

В надземной части насосной станции располагаются перевалочные помещения для приема оборудования, монтируемого в машинном зале и в помещении решеток, электрическая часть (щитовая низкого напряжения, камеры для установки трансформаторов, помещение распределительного устройства), бытовые и подсобные помещения (туалет, душевая, служебное помещение, мастерская, кладовая, гардероб).

Метод определения основных размеров помещений электрочасти изложен в § 11.

Состав и размеры бытовых и подсобных помещений принимают в соответствии с рекомендациями [4] в зависимости от производительности насосной станции и степени ее автоматизации. Гардероб в крупных насосных станциях следует предусматривать с двумя отделениями: мужским и женским.

Помещения для приема оборудования и электрическая часть располагаются, как правило, на уровне первого этажа; бытовые и подсобные помещения могут располагаться как на первом, так и на втором этажах здания насосной станции.

Планировка первого этажа насосной станции существенно зависит от того, заглубленными или полузаглубленными приняты машинный зал и помещение решеток.

В полузаглубленных насосных станциях над основными насосами и решетками в перекрытии первого этажа оставляют проемы, чтобы монтажная площадка на уровне первого этажа и машинный зал (помещение решеток) обслуживались одним

подъемно-транспортным устройством. В этом случае над машинным залом и над помещением решеток меньше остается места для размещения электрической части и подсобных помещений. Если невозможно разместить электрическую часть в здании насосной станции, камеры для установки трансформаторов и помещение распределительного устройства выносят в отдельно сооружаемый павильон трансформаторной подстанции.

В заглубленных насосных станциях электрическую часть, вспомогательные и подсобные помещения располагают на перекрытии над машинным залом и помещением решеток.

Перевалочные помещения, в которые в кузове автомобиля или на инвентарной тележке может быть подано монтируемое оборудование, обычно проектируются отдельно для машинного зала и для помещения решеток. В этих помещениях с помощью монорельса или кран-балки оборудование снимается с автомобиля или тележки и через монтажный проем подается на монтажную площадку в машинный зал (помещение решеток). От монтажных площадок к месту установки насосы или решетки-дробилки подаются подъемно-транспортным оборудованием, расположенным в подземной части здания (см. § 9).

Планы первого этажа и подземной части увязываются в соответствии со стенами, монтажными площадками, проемами и лестницами, соединяющими первый этаж с машинным залом и помещением решеток.

Надземную часть здания насосной станции чаще всего выполняют прямоугольной в плане из кирпича или сборного железобетона с соблюдением требований, описанных в § 10. Стены сооружаются на балках, опирающихся на железобетонную конструкцию подземной части. При необходимости, можно выносить консоли этих балок на 1—1,5 м за пределы колодца подземной части.

Минимальная высота помещений с подъемно-транспортным оборудованием определяется по формулам (28) или (29). Высота помещений электрической части определяется наибольшей высотой устанавливаемого электрического оборудования (см. § 11).

Схемы с обоснованием принятых в проекте высот помещений необходимо привести в пояснительной записке.

На чертеже в курсовом проекте для полузаглубленных насосных станций водоотведения изображаются два разреза и один план насосной станции — на уровне первого этажа, так как технологическое оборудование достаточно

хорошо просматривается с первого этажа. Для заглубленных станций добавляется план подземной части.

При проектировании павильона трансформаторной подстанции необходимо показать ситуационный план с изображением насосной станции, павильона, наружных трубопроводов и подъездных путей.

При наличии второго этажа здания на чертеже или в пояснительной записке необходимо привести его план. Требования к оформлению чертежей приведены в § 11.

Заканчивают проект технико-экономическими расчетами.

ГЛАВА 7

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

§ 31. Определение стоимости насосной станции и водоводов

Строительные стоимости насосной станции, вспомогательных сооружений и водоводов в реальном проектировании определяются на основании сметной документации, учитывающей все затраты, связанные с возведением насосной станции и вводом в действие ее основных фондов, а также плановые накопления строительно-монтажных организаций.

На ранних стадиях проектирования при выборе вариантов определение строительных стоимостей насосных станций производится по укрупненным показателям, представляющим собой сметные стоимости станций, сооружаемых по типовым проектам.

В связи с возможными изменениями стоимости строительных материалов, механизмов, горюче-смазочных материалов и т. п., укрупненные показатели, определенные по справочной литературе [22, 17, 18], требуют постоянной корректировки.

Для приближенного определения капитальных затрат в курсовом или дипломном проектах предлагается упрощенный способ, использующий удельные стоимости оборудования и строительных объемов.

1. Стоимость оборудования насосной станции определяют, исходя из удельной стоимости, приходящейся на

1 кВт установленной мощности основного насосного оборудования,

$$K_{об} = K'_{об} \Sigma P_н, \qquad (59)$$

где $K'_{об}$ — удельная стоимость, включающая стоимость монтажных работ, основного и вспомогательного насосного оборудования, электрооборудования, подъемно-транспортных механизмов, арматуры и трубопроводов внутри станции, оборудования водоприемно-сеточных камер и приемных резервуаров с учетом начислений и транспортных расходов, руб./кВт; $\Sigma P_н$ — суммарная мощность приводных двигателей основных насосов, включая резервные, кВт.

Обработка данных, приведенных в [17, 18, 22], позволила получить для различных по мощности насосов некоторые осредненные значения $K'_{об}$ (табл. 27).

2. Приближенно стоимость здания насосной станции можно определить по формуле

$$K_{н.с} = K'_{нз} W_{нз} + K'_{пз} W_{пз}, \qquad (60)$$

где $W_{нз}$ и $W_{пз}$ — объемы надземной и подземной частей здания, м^3; $K'_{нз}$ и $K'_{пэ}$ — соответственно, удельные стоимости надземной и подземной частей здания, руб./м^3.

Величины $K'_{пз}$ и $K'_{пз}$ зависят от конструкции здания, способа производства работ, общих размеров здания, геологических и климатических условий. Ориентировочно удельные показатели стоимости здания можно принимать по табл. 28, в зависимости от объема соответствующей надземной или подземной частей здания.

Этим же способом можно определить строительную стоимость отдельно стоящих трансформаторной подстанции или водоприемно-сеточного колодца.

Таблица 27. **Удельные стоимости оборудования насосных станций, руб./кВт**

Удельные стоимости	Мощность одного основного насоса, кВт						
	25	50	100	200	300	500	1000 и более
$K'_{об}$ при горизонтальных насосах	190	160	110	75	58	51	40
$K'_{об}$ при вертикальных насосах	—	—	—	100	110	142	145

Таблица 28. **Стоимость 1 м³ здания насосной станции, руб/м³**

Объем здания, м³	Для надземной части $K'_{нз}$		Для подземной части $K'_{пз}$	
	при налнчии подземной части	при отсутствии подземной части	при производстве работ открытым способом	при опускном колодце (для круглых в плане)
50	41,1	67,8	112,1	—
100	37,5	67,8	112,1	123,4
200	31,9	51,9	89,9	117,5
500	24,7	42,1	52,9	88,1
1000	21,6	35	47	70,5
2000	17,5	28,3	40,2	51,5
3000	14,9	24,7	35,7	38

3. Стоимость устройства водоводов зависит от длины, диаметра и материала укладываемых труб, их конструкции, заглубления трубопровода, наличия грунтовых вод, вида грунта, района страны, времени года и т. п. В курсовом проекте стоимость водоводов определяют по формуле

$$K_в = K'_{в.в} n_{в.в} L_{в.в} + K'_{н.в} n_{н.в} L_{н.в}, \qquad (61)$$

где $K'_{в.в}$ и $K'_{н.в}$ — стоимости прокладки всасывающего и напорного водовода, руб/м, ориентировочно определяемые по табл. 29; $n_{в.в}$ и $n_{н.в}$ — число ниток всасывающего и напорного водоводов; $L_{в.в}$ и $L_{н.в}$ — длины всасывающего и напорного водоводов, м.

Таблица 29. **Показатели стонмости прокладки 1 м водоводов в сухих грунтах при глубнне заложения 2 м, руб./м**

Диаметр условного прохода, мм	Трубы			
	стальные	чугунные	железобетонные	асбестоцементные, ВТ-6
100	6	7,7	—	4,2
125	6,7	9,1	—	4,6
150	8,1	10,6	—	5,3
200	10,6	13,7	—	6,4
250	12,9	17,4	—	7,7
300	15,5	21,4	—	9,1
400	24,7	32,1	—	10,6
500	33	41,7	51,5	18,5
600	39,6	54,5	55,5	26
700	44,7	68	60,5	33,6
800	56	81,5	69,5	42,2
900	66,5	97,5	81	52
1000	70,5	115	91	60
1200	89	—	114	—
1400	102	—	142	—

4. Полные капитальные затраты определяются как сумма стоимости оборудования, сооружений насосной станции и водоводов:

$$K = K_{об} + K_{н.с} + K_{в}. \qquad (62)$$

§ 32. Определение эксплуатационных затрат

Суммарные годовые эксплуатационные затраты включают прямые расходы (стоимость электроэнергии, содержание обслуживающего и административно-управленческого персонала, расходы на смазку и обтирочный материал, на текущий ремонт и другие) и отчисления на капитальный ремонт и амортизацию оборудования.

Стоимость электроэнергии. Для определения фактического расхода электроэнергии в сутки максимального водопотребления необходимо располагать ступенчатым графиком работы насосной станции и знать напоры и КПД насосов для режимов соответствующих ступеней.

Принимая для простоты расчетов КПД электродвигателя при всех ступенях постоянным, потребление электроэнергии в сутки максимального водопотребления при одинаковых насосах определяют по формуле

$$A = \frac{\rho g}{1000\eta_{дв}} \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i H_i}{\eta_i} t_i, \qquad (63)$$

где ρ — плотность воды, $\rho = 1000$ кг/м^3; $\eta_{дв}$ — КПД электродвигателя, принимаемый при мощности электродвигателя: до 10 кВт — 0,85; до 50 кВт — 0,9 и более 50 кВт — 0,92; Q_i, H_i и η_i соответственно, суммарная подача, м^3/с, напор, м, и КПД насосов при i-й ступени; t_i — время работы в течение суток в режиме i-й ступени, ч.; n — число ступеней.

Годовой расход электроэнергии с учетом того, что насосная станция не каждый день работает с максимальной подачей, определяют по формуле

$$A_{год} = 0{,}85 \cdot 365A. \qquad (64)$$

Стоимость электроэнергии, потребляемой насосной станцией, определяется по действующему для данной энергоснабжающей организации тарифу двумя способами:

если общая присоединенная мощность электродвигателей менее 100 кВ·А, то оплата производится по одноставочному тарифу (по счетчику):

$$C_э = \sigma A_{год}, \qquad (65)$$

где σ — стоимость электроэнергии по одноставочному тарифу, руб./(кВт·ч);

если присоединенная мощность электродвигателей больше 100 кВ·А, то оплата электроэнергии производится по двухставочному тарифу:

$$C_э = MS + \sigma_1 A_{год}, \qquad (66)$$

где M — основная плата за год за 1 кВ · А оплачиваемой мощности, руб./кВ·А; S — суммарная установленная мощность (номинальная) трансформаторов или высоковольтных двигателей и трансформаторов (если напряжение двигателей совпадает с напряжением ЛЭП), кВ·А; σ_1 — стоимость электроэнергии по двухставочному тарифу, руб./(кВт·ч).

При расчетах по двухставочному тарифу за мощность установленных резервных трансформаторов и высоковольтных электродвигателей, одновременная работа которых с основными трансформаторами и электродвигателями исключена, плата не взимается.

Тарифы на электроэнергию зависят от энергообеспеченности района и могут меняться от года к году. Ориентировочно для Европейской части СССР в курсовом проекте можно принимать $\sigma = 0{,}025...0{,}035$ руб./(кВт·ч) $\sigma_1 = 0{,}004...0{,}015$ руб./(кВт·ч) и $M = 12{,}8...35$ руб./(кВ·А).

Расходы на смазку и обтирочный материал. Эти расходы принимаются в размере 3 % стоимости электроэнергии:

$$C_{см} = 0{,}03 C_э. \qquad (67)$$

Стоимость текущего ремонта. Определяется в виде отчислений от стоимости капитальных затрат и принимается для зданий насосных станций 2,2 %, для оборудования — 3,8 % и для трубопроводов — 1 %.

Таким образом, стоимость текущего ремонта

$$C_{тр} = 0{,}038 K_{об} + 0{,}022 K_{н.с} + 0{,}01 K_в. \qquad (68)$$

Затраты на содержание обслуживающего и административно-управленческого персонала. Эти затраты включают основную и дополнительную заработную плату рабочих, непосредственно участвующих в обслуживании насосной станции, затраты на работу, выполняемую ремонтными рабочими, долю затрат на заработную плату административно-управленческого персонала и отчисления на социальное страхование. В курсовом проекте эти затраты $C_з$ принимаются в зависимости от производительности насосной станции, то есть от размеров производства.

Подача насосной станции, тыс. м³/сут	16	16—50	50—150	>150
$C_з$, тыс. руб.	10	15	20	25

Мелкие и неучтенные расходы. Это расходы, отдельный подсчет которых нецелесообразен ввиду их малого размера или затруднителен, а именно: оплата услуг нанимаемого транспорта, оплата отопления, освещения и вентиляции помещений, расходы на содержание участков, на приобретение инвентаря, расходы по технике безопасности и охране труда, расходы на командировки и т. п. Эти расходы принимаются в среднем в размере 6 % общей суммы эксплуатационных расходов (без учета амортизационных отчислений)

$$C_{м.н} = 0{,}06\,(C_э + C_{см} + C_{т.р} + C_з). \qquad (69)$$

Амортизационные отчисления. Эти отчисления идут на полное (или частичное при капитальном ремонте) возмещение затрат, связанных с износом сооружений и оборудования. Усредненные амортизационные отчисления для насосных станций от стоимости капитальных вложений принимают для зданий 3,5 %, для оборудования — 12 %, для трубопроводов — R в зависимости от материала труб (табл. 3):

$$C_а = 0{,}12K_{об} + 0{,}035K_{н.с} + 0{,}01RK_в. \qquad (70)$$

Суммарные годовые эксплуатационные затраты

$$C = C_э + C_{см} + C_{т.р} + C_з + C_{м.н} + C_а. \qquad (71)$$

§ 33. Технико-экономические показатели насосных станций

При выборе варианта любого технического решения необходимо учитывать стоимость сооружений и механизмов, эксплуатационные и энергетические затраты, срок окупаемости.

При сопоставлении вариантов проектных решений учитываются технико-экономические показатели насосной станции.

Технико-экономические оценки уже учитывались при решении отдельных задач в курсовом проекте, например, при выборе диаметра напорных водоводов с помощью экономического фактора, при выборе насосного оборудования с помощью коэффициента полезного действия насосной установки.

Приведенные затраты. В общем случае при сопоставлении вариантов оценка проектного решения системы в целом или отдельных сооружений производится по приведенным затратам:

$$З = K/\tau + C, \qquad (72)$$

или

$$З = EK + C, \qquad (73)$$

где K — сумма капитальных вложений; C — годовые эксплуатационные затраты; τ — нормативный срок окупаемости (для насосных станций $\tau = 7...10$ лет); $E = \frac{1}{\tau}$ — нормативный коэффициент эффективности.

Наиболее экономичным считается вариант с наименьшими приведенными затратами

Себестоимость 1 м³ перекачиваемой воды. Этот показатель определяется по формуле

$$c = \frac{C}{W}, \tag{74}$$

где C — суммарные годовые эксплуатационные затраты, руб.; W — объем воды, перекачиваемой насосной станцией за год, м³,

$$W = 365 \frac{Q_{\text{сут.max}}}{K_{\text{сут.max}}}, \tag{75}$$

здесь $Q_{\text{сут. max}}$ — расчетный расход воды в сутки наибольшего водопотребления, м³/сут (приводится в исходных данных); $K_{\text{сут. max}}$ — коэффициент суточной неравномерности водопотребления, учитывающий уклад жизни населения, режим работы предприятий, степень благоустройства зданий, изменение водопотребления по сезонам года и дням недели; принимается равным 1,1—1,3.

Коэффициент полезного действия насосной станции. Этот показатель представляет собой отношение полезной энергии, передаваемой перекачиваемой жидкости, к энергии, потребляемой электродвигателями всех агрегатов.

Определяется этот коэффициент по суточной работе насосной станции

$$\eta_{\text{н.с}} = \frac{A_{\text{плз}}}{A}, \tag{76}$$

где A — фактическое потребление электроэнергии в сутки, определяемое по формуле (63); $A_{\text{плз}}$ — полезная энергия, передаваемая перекачиваемой жидкости за сутки,

$$A_{\text{плз}} = \frac{\rho g}{1000} \sum_{i=1}^{n} Q_i H_i t_i. \tag{77}$$

Величины, входящие в формулу (77), рассмотрены в формуле (63).

Таким образом, курсовой проект завершается определением приведенных затрат, себестоимости 1 м³ перекачиваемой воды и коэффициента полезного действия насосной станции.

Приложение 1. **Характеристики насосов типа Д (при максимальном диаметре рабочего колеса)**

Марка насоса	Подача, м³/ч	Подача, л/с	Напор, м	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД насосов, %	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м	Диаметр рабочего колеса, мм
Д200-95	150	42	104		63,5	68	3,3	
	180	50	97	2950	68,5	70	2	280
	216	60	90		72	67	0,3	(265)
	216	60	80		62	76	5,3	
Д320-70	250	70	77,5	2950	68,6	78	5	242
	300	84	70		73,6	80	4	(230)
	330	92	64		77,4	76	3	
	150	42	40		24,3	68	7	
Д200-36	180	50	38	1450	26,5	70	6,8	350
	216	60	34		28,0	72	5,8	(300)
	250	70	31		31,6	68	4,6	
	250	70	54		50,8	73	5	
Д320-50	325	90	49	1450	56,6	76	5	405
	360	100	46		60,5	75	4	(360)
	400	111	70		102	75	6,4	
Д500-65	500	139	65	1450	115	76,5	5,7	465
	600	167	57		130	74	3,8	(432)
	540	150	94		178	78	4	525
Д630-90	720	200	89	1450	216	81	1,4	(470)
	576	160	62		129	77,5	7,2	
Д800-57	828	230	56	1450	152	82	6,2	432
	972	270	48		170	77,5	5,1	(355)
	900	250	70		206	83	5	
Д1250-65	1080	300	68	1450	230	87	4,8	460
	1260	350	64		260	88	3,6	(400)

Марка насоса	Подача, м³/ч	Подача, л/с	Напор, м	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД насов, %	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м	Диаметр рабочего колеса, мм
Д1250-125	1008	280	135	1450	520	72	4,2	625 (575)
	1296	360	123		580	76	3,1	
	1728	480	96		620	69	1,1	
Д500-36	400	110	42	960	59	78	6,5	525 (470)
	500	140	39		66	81	5,5	
	600	165	35		72	79	3,8	
Д800-28	650	180	30	960	63,4	84	6	460 (400)
	800	220	28		70	87	6	
	1000	280	24		79	85	5	
Д100-40	810	225	43,5	960	110	82	4,8	540 (480)
	1170	325	37,0		137	86	4,8	
	1350	375	34,5		150	83,5	1,8	
Д2000-21	1260	350	25	960	130	72	6,1	460 (410)
	1980	550	20		140	83	5	
	2160	600	17		120	80	3,5	
Д2000-100	1440	400	107	970	600	70	4	855 (745)
	1980	550	100		700	77	4	
	2360	650	86		760	72	4	
Д2500-62	1944	540	66	960	400	84	4,8	700
	2448	680	62		420	90	3,2	
	2808	780	57		430	90	1	
Д3200-33	1340	680	44	960	290	80	4,2	550 (490)
	3060	850	33		300	90	3,2	
	3600	1000	28		300	86	0,8	
Д3200-75	1340	650	81	960	600	82	5	765
	3060	850	75		650	90	3	
	3600	1000	67		700	91	0,1	
Д4000-95	3600	1000	100	960	100	85	3,6	860
	4700	1300	90		1350	92	0,5	
	5040	1400	84		1450	91	1	
Д1250-14	1170	325	17	750	42	79	7	460 (410)
	1350	375	16		45	82	6,5	
	1530	425	15		50	82	6	

Марка насоса	Подача, м³/ч	Подача, л/с	Напор, м	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД насосов, %	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м	Диаметр рабочего колеса, мм
Д2000-34	1512	420	37	730	180	85	5	700
	2016	560	33		200	91	4,9	
	2304	640	28		250	85	2	
Д2500-17	1800	500	20	730	140	78	6,8	550 (490)
	2520	700	17,5		170	90	5,5	
	2790	775	16		200	84	4,5	
Д2500-45	1980	550	45	730	290	84	4,9	765
	2600	750	39		320	90	4,5	
	2970	825	34		350	87	1	
Д3200-55	2736	760	57	730	500	85	5	850
	3600	1000	52		550	91	4,2	
	4320	1200	44		600	84	0	
Д5000-32	3960	1100	31	730	370	85	4,5	690 (615)
	4680	1300	27,5		400	90	3,5	
	5400	1500	25		500	87	2	
Д6300-27	4680	1300	33	730	540	77	6	740 (680)
	6120	1700	27,5		570	82	4,4	
	7020	1950	22,5		600	78	0,7	
Д6300-80	4320	1200	88	750	1200	85	4,5	990
	6480	1800	79		1500	92	2	
	7200	2000	70		1750	90	0	
Д3200-20	3240	900	21	585	180	87	6	690 (615)
	3600	1000	18		190	90	6	
	4320	1200	16		220	87,5	4	
Д4000-22	3780	1050	23	585	275	78	7	740 (680)
	4680	1300	18		300	82	6	
	5580	1550	15		300	78	3	
Д5000-50	3600	1000	56	600	650	84	5,2	990
	5040	1400	52		900	90	4,8	
	6120	1700	47		900	84	2,2	
Д12500-24	9 000	2500	36	485	850	80	4,3	985 (912)
	12 240	3400	23,5		950	87	3,3	
	14 280	3800	22		950	84	2,3	

Примечание. В скобках указаны минимальные диаметры рабочего колеса заводского изготовления.

Приложение 2. **Размеры насосов типа В и СДВ с электродвигателями (см. рис. 6)**

Марка насоса	*A*	*L*	*B*	*C*	*E*	*F*	*H*	*K*	*D*	D_1	Масса насоса, кг
600В-1,6/100	2320	3210	3200	1900	1000	925	2340	1270	1200	600	10 260
800В-2,5/100	2328	3650	2970	2200	1550	1175	2780	1230	1200	800	11 200
1200В-6,3/100	2018	5000	3650	2500	2000	1680	4250	—	—	1200	38 000
1000В-4/63	2068	3800	2050	2200	1670	1090	2760	1210	1200	1000	12 700
1200В-6,3/63	1890	6000	3010	2500	1400	—1350	3675	—	—	1200	23 800
1600В-10/63	2058	5000	3650	2500	1584	—1485	4042	—	—	1600	34 100
800В-2,5/40	2325	2800	1890	1940	1050	390	2660	—	1200	800	13 800
800В-2,5/25	2325	2800	1750	1940	1050	890	2660	—	1200	800	13 800
1600В-10/25	2565	7000	3010	2500	2100	—1800	485	—	—	1600	34 000
СДВ 2700/26,5	2280	3620	2105	1100	1960	337	1470	630	700	500	3900
СДВ 4000/28	2075	4570	1870	1500	2200	513	2370	1200	800	600	8000
СДВ 7200/29	2525	5700	1950	1900	2870	516	2340	1200	1200	800	8750
СДВ 9000/45	2500	4760	3010	2200	1000	930	2900	1200	1200	1000	10 300

Приложение 3. **Характеристики центробежных вертикальных насосов типа В**

Марка насоса	Подача, м³/с	Напор, м	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД насоса, %	Допустимый кавитационный запас насоса, м	Диаметр рабочего колеса, мм
600В-1,6/100	1	103	750	1280	79,5	10,9	1100 (960)
	1,5	90		1520	88	13,7	
	1,9	68		1620	77	16	
800В-2,5/100	1,7	107	600	2080	81,5	11	1375 (1200)
	2,4	90		2400	88	14	
	2,8	75		2520	81	15,3	
1200В-6,3/100	4,25	113	375	6000	80	11	2310 (1980)
	6,5	95		7100	86	14,2	
	8	78		7500	82	15,5	
1000В-4/63	2,8	63	500	2150	80	12,7	1365 (1220)
	3,7	56		2320	84	11,5	
	4,5	44		2430	80	12,7	
1200В-6,3/63	4,5	63	375	3500	80	13	1800 (1610)
	6,5	53		4000	86	11,3	
	8	40		4200	78	12,5	
1600В-10/63	5,8	76	375	5600	80	15,7	1980 (1770)
	8,5	65		6500	86	13,8	
	10,5	50		6700	80	15	
800В-2,5/40	2	45	600	1120	80	14,7	1010 (940)
	2,6	40		1190	87	12,4	
	3,4	29		1210	80	15,4	
800В-2,5/25	1,7	33	500	700	80	10	1030 (940)
	2,3	28		730	86	8,5	
	2,9	21		750	79	11,1	
1600В-10/25	6,75	31,2	250	2580	80	10,2	2010 (1870)
	8,75	27,6		2750	86	8,6	
	11,2	20		2770	80	10,8	

Примечание. В скобках указаны минимальные диаметры рабочего колеса заводского изготовления.

Приложение 4. **Размеры насосов типа К, СД, Гр и ГрУ с электродвигателями на общей плите или раме (см. рис. 3)**

Марки		Размеры, мм									Диаметры патрубков, мм		Масса, кг
насоса	электродвигателя	*A*	*B*	*C*	*E*	*F*	*G*	*L*	*M*	*N*	всасывающего	напорного	
						Насосы К							
К-8/18	АОЛ2-21-2	795	286			535			150				63
К-8/18а	АОЛ2-21-2	795	286	310	89	535	185	120	150	75	40	32	63
К-8/18б	АОЛ2-12-2	784	261			530			146				60,4
К-20/18	АОЛ2-22-2	823				560							75
К-20/18а	АОЛ2-21-2	795	286	310	89	535	185	120	150	80	50	40	71,4
К-20186	АОЛ2-21-2	795				535							71,4
К-20/30	АО2-32-2	867	326			585			185				98
К-20/30а	АО2-31-2	841	326	335	89	560	185	120	185	98	50	40	90
К-20/30б	АОЛ2-22-2	823	286			560			150				75
К-45/30	АО2-42-2	1084	361	375	95	725	225	150	222	105	80	50	133
К-45/30а	АО2-41-2	1046				690							120,7
К-45/55	АО2-62-2	1415	543	510		1055	510		275				350
К-45/55а	АО2-51-2	1310	500	480	130	924	270	160	238	125	80	50	272
К-90/20	АО2-42-2	1084	361	375	95	725	225	150	222	108	100	80	136,5
К-90/20а	АО2-41-2	1046				690							124

K-90/35	AO2-62-2	1415	543	500	130	1055	300	160	275	120	100	80	360
K-90/35a	AO2-52-2	1310	500	470		924	270		238				275
K-160/30	AO2-72-4	1545											490
K-160/30a	AO2-71-4	1485	525	580	160	1090	300	170	313	200	150	100	465
K-160/306	AO2-71-4	1485											465
K-100/20	AO2-71-4	1420	520	550	150	1055	300	170	260	180	150	100	375
K-100/20a	AO2-52-4	1370	500	520		924	270		238				325
K-290/30	AO2-81-4	1700	690	645	160	1270	355	190	355	200	200	125	600
K-290/30a	AO2-71-4	1565	525	590		1090	300		313				510
K-290/18	AO2-71-4	1500	525	580	160	1090	561	190	313	200	200	150	475
K-290/18a	AO2-62-4	1520				1055	535		260				430
					Насосы СД								
СД 16/25	4A100S2У3	1015											135
СД 16/25а, б	4A90L2У3	1110	160	410	115	675	250	150	132	—94	40	32	130
СД 16/10	4A80B4У3	980											150
СД 16/10а, б	4A80A4У3	960	240	440	115	675	250	150	146	—112	50	40	145
СД 25/14	4A100S4У3	1015	240	480	115	675	250	150	168	—134	65	50	150
СД 25/14а, б	4A90L4У3	1000											145
СД 32/40	4A132M2У3	1180				762							195
СД 32/40а	4A112M2У3	1100	240	440	115	744	250	150	146	—112	50	40	165
СД 32/40б	4A100L2У3	1045				875							140

Продолжение прил. 4

Марки		Размеры, мм									Диаметры патрубков, мм		Масса, кг
насоса	электродвигателя	*A*	*B*	*C*	*E*	*F*	*G*	*L*	*M*	*N*	всасывающего	напорного	
СД 50/56	4А180S2У3	1315	340	520	115	880	290	150	168	—134	65	50	290
СД 50/56а	4А160М2У3	1320				840							265
СД 50/56б	4А160S2У3	1275				840							250
СД 50/10	4А100L4У3	1040	240	475	115	675	250	145	175	—150	80	80	145
СД 50/10а, б	4А100S4У3	1010											140
СДС 80/32	4А180L4У3	1600	340	540	167	940	280	125	198	—160	80	65	325
СД 80/32	4А160М4У3	1420	340	600	145	940	290	176	233	—194	100	65	365
СД 80/32а	4А160S4У3	1375				940							340
СД 80/32б	4А132М4У3	1285				817							295
СД 80/18	4А132М4У3	1250	340	540	150	817	290	160	200	—165	100	80	270
СД 80/18а, б	4А132S4У3	1210											255
СД 100/40	4А180М2У3	1350	340	515	115	880	290	145	175	—150	80	80	300
СД 100/40а	4А180S2У3	1310				880							280
СД 100/40б	4А160М2У3	1315				840							255

СД 160/45	4А200М4УЗ	1900	465	743	90	1460	413	185	270	—232	125	80	745
СД 160/45а	4А180М4УЗ	1810				1330							665
СД 160/45б	4А180S4УЗ	1770				1330							645
СД 160/10а	4А160S6УЗ	1755	465	763	98	1245	413	195	262	—236	150	125	542
СД 160/10б	4А152М6УЗ	1655											500
СД 250/22,5	4А200М4УЗ	1915	465	763	98	1460	413	195	262	—236	150	125	665
СД 250/22,5а	4А180М4УЗ	1830				1330							585
СД 250/22,5б	4А180S4УЗ	1790				1330							565
СД 450/56	4А280М4УЗ	2573	540	908	139	1820	502	240	345	—292	200	125	1755
СД 450/56а	4А280S4УЗ	2495				1820							1705
СД 450/56б	4А250М4УЗ	2280				1655							1455
СД 450/22,5	4А280S6УЗ	2360	475	962	100	1638	502	250	368	—345	200	175	1455
СД 450/22,5а	4А250М6УЗ	2145		913		1616	453						1185
СД 450/22,5б	4А250S6УЗ	2105		913		1618	453						1140
СД 800/32	4А355S6УЗ	2745	715	1086	154	1942	596	262	488	—418	250	200	2425
СД 800/32, а	4А315М6УЗ	2660		1046		1810	556						2155
СД 800/32, б	4А315S6УЗ	2630		1046		1810	556						1930
					Насосы Гр								
Гр 50/16	АО2-52-4	1308	425	535	152	910	280	140	225	115	80	75	346
Гр 160/16	АО2-71-4	1650	470	725	194	1165	475	155	322	202	125	100	610
Гр 160/31,5	АО2-81-4	1832	800	770	165	1350	410	160	372	215	125	100	900
Гр 400/40	АО102-6	2845	775	1190	215	2405	720	225	607	270	200	150	2555
Гр 800/40	АО104-8м	3285	1040	1280	—150	2990	820	400	600	—460	250	200	4155

Продолжение прил. 4

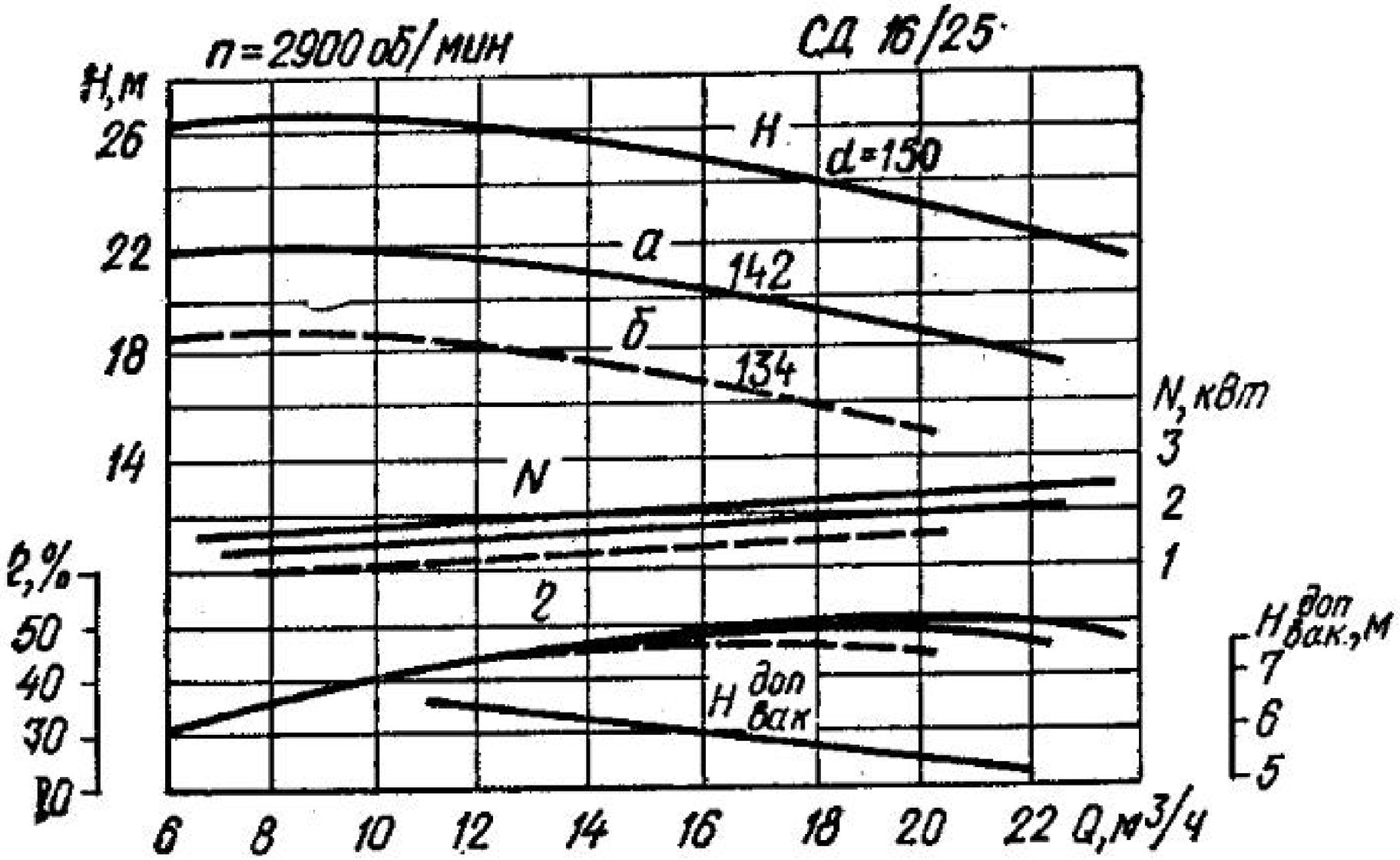
Марки		Размеры, мм									Диаметры патрубков, мм		Масса, кг
насоса	электродвигателя	*A*	*B*	*C*	*E*	*F*	*G*	*L*	*M*	*N*	всасывающего	напорного	
Гр 800/71	А12-49-6 *	3985	1160	1830	—200	3585	930	400	790	440	250	225	5090/2960
ГрУ 1250/28	А12-42-8 *	3460	1100	1460	—180	2840	820	620	789	516	250	300	2212/2660
Гр 1250/71	А13-46-6 *	4770	1280	1880	—220	3970	925	531	850	513	300	250	5000/4920
ГрТ 1250/71	АК13-52-8 *	3895	1100	1830	0	2945	1030	315	865	—420	300	300	3448/3950
ГрТ 1250/71а	А12-42-8 *	3274	1100	1830	0	2845	1030	315	790	—420	300	300	3388/2542
ГрУ 2000/63	АКН-14-46-10 *	5640	1835	2060	—420	5143	1060	975	840	—705	400	350	6330/6450
ГрТ 4000/71	СДН316-51-12 *	7825	2070	2310	—485	7257	1245	713	—1365	—1235	500	250	12 100/16 000
Гр 4000/71а	СДН316-41-12 *	7625	2070	2310	—485	7157	1245						13 900/14 600

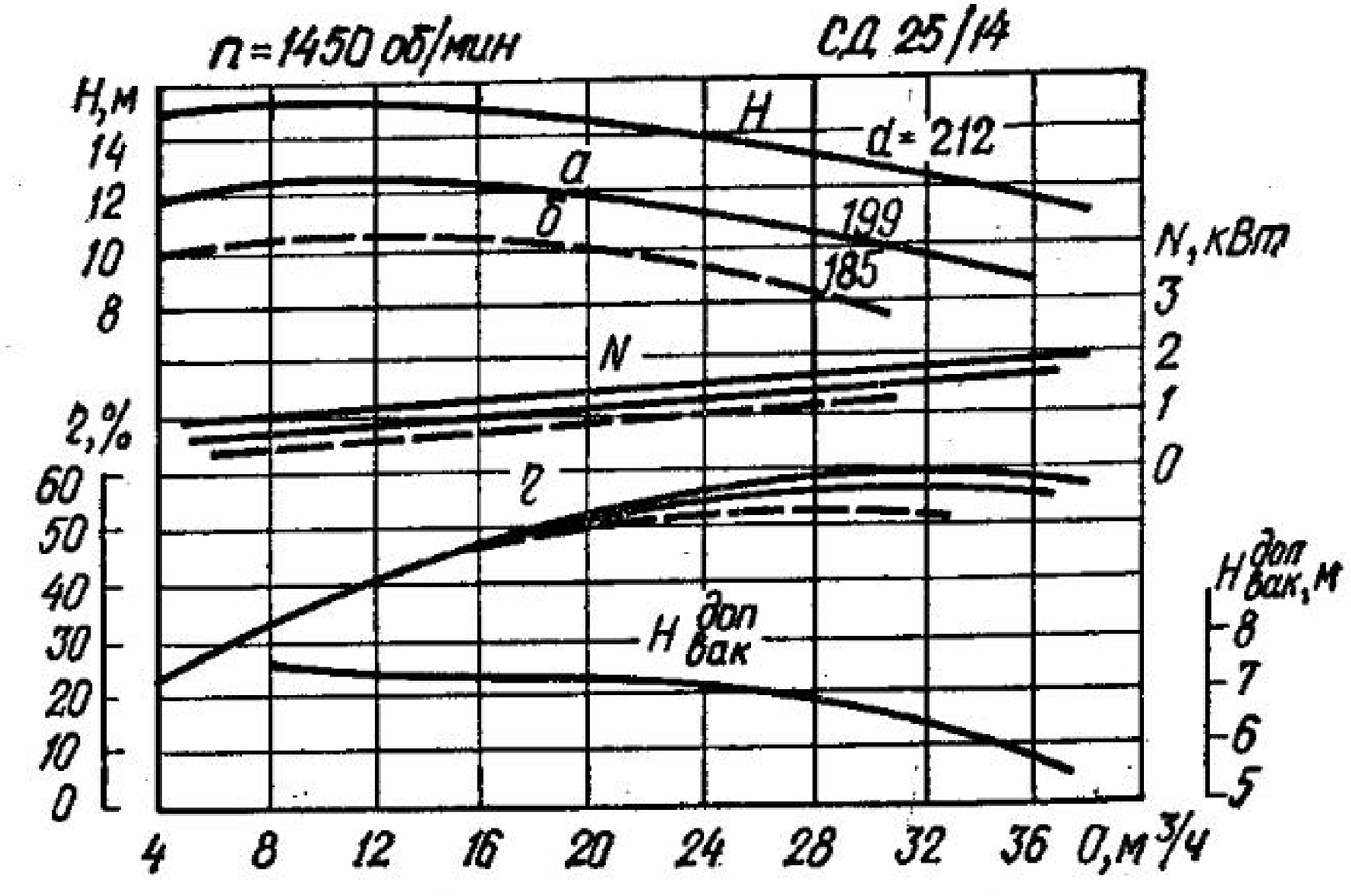
Примечания: 1. Электродвигатели, отмеченные звездочками, имеют напряжение 6 кВ, остальные — 0,35 кВ.

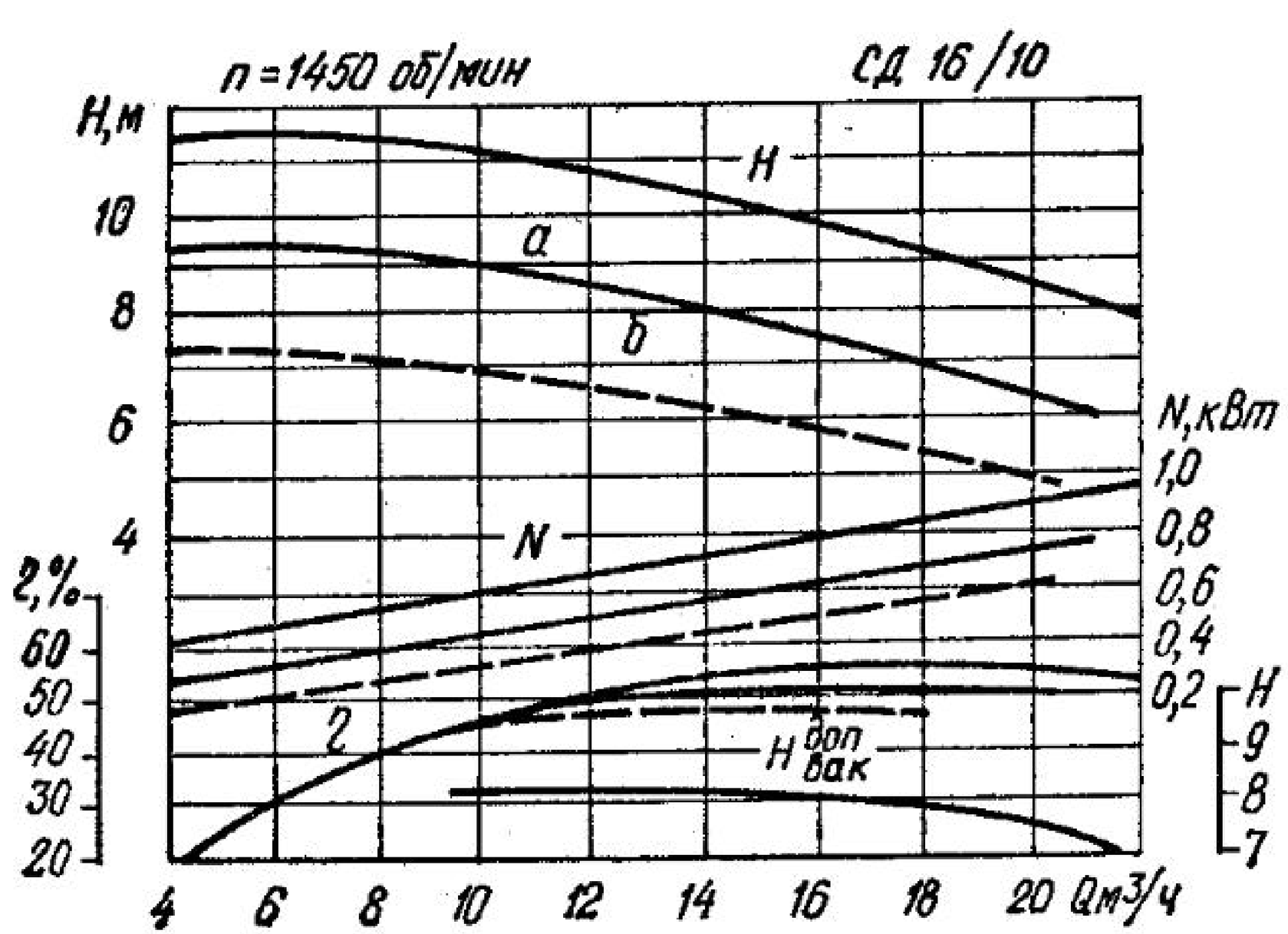
2. Знак минус указывает, что размер следует откладывать от оси насоса в сторону, противоположную изображенной на рисунке.

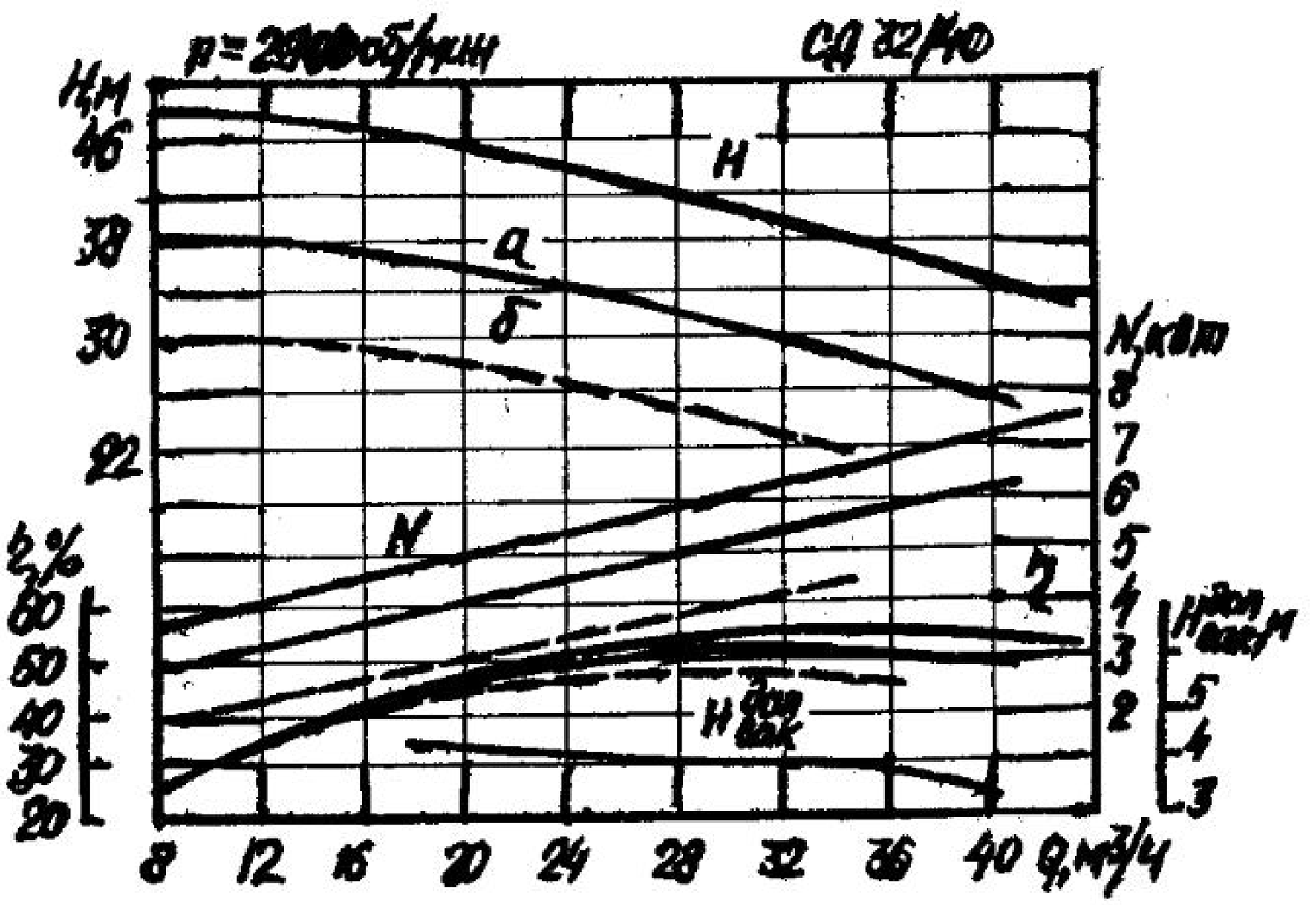
3. Масса указана: в числителе — насоса, в знаменателе — электродвигателя, без дроби — агрегата в целом.

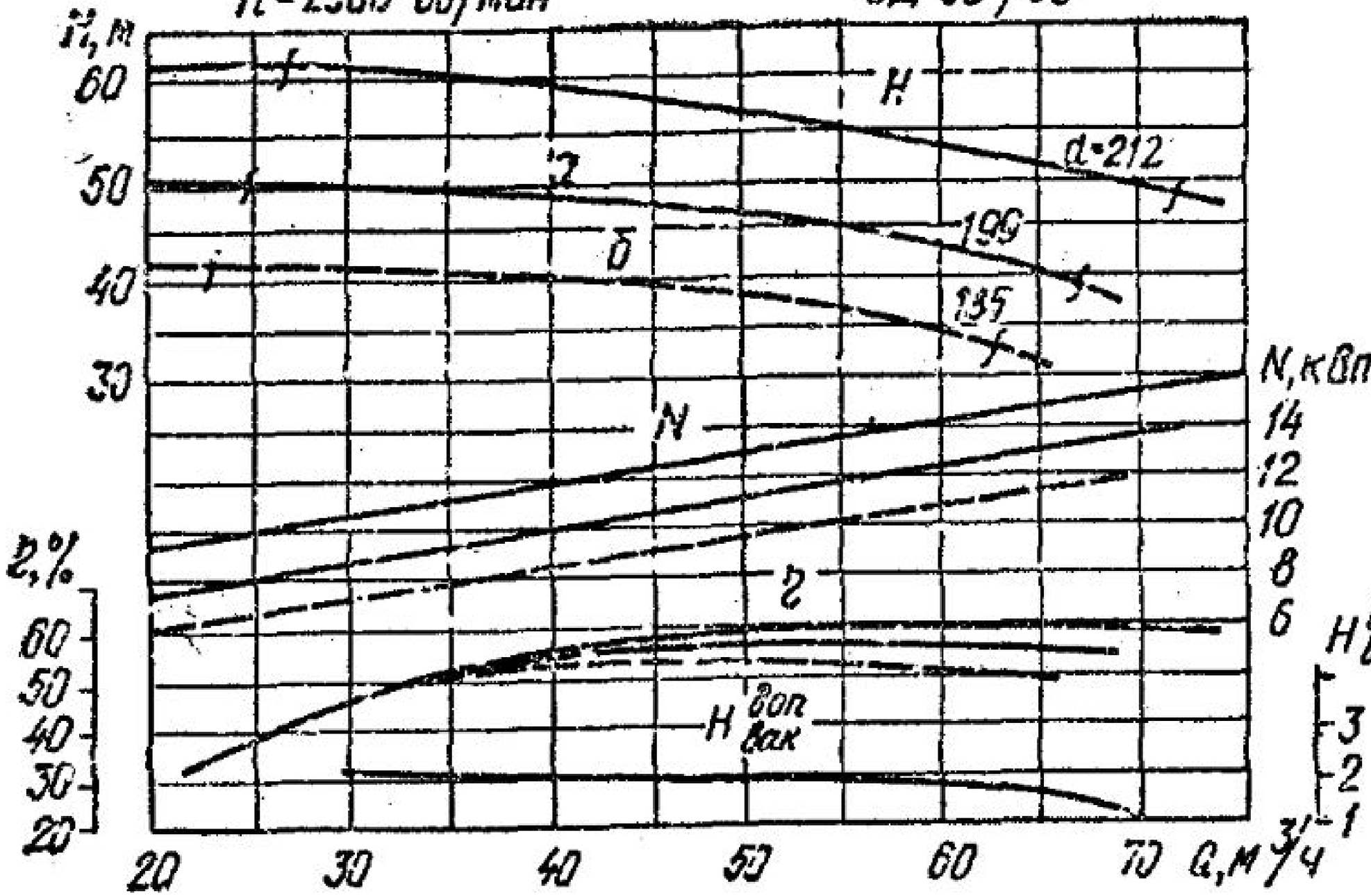
Приложение 5. **Характеристики насосов типа СД**

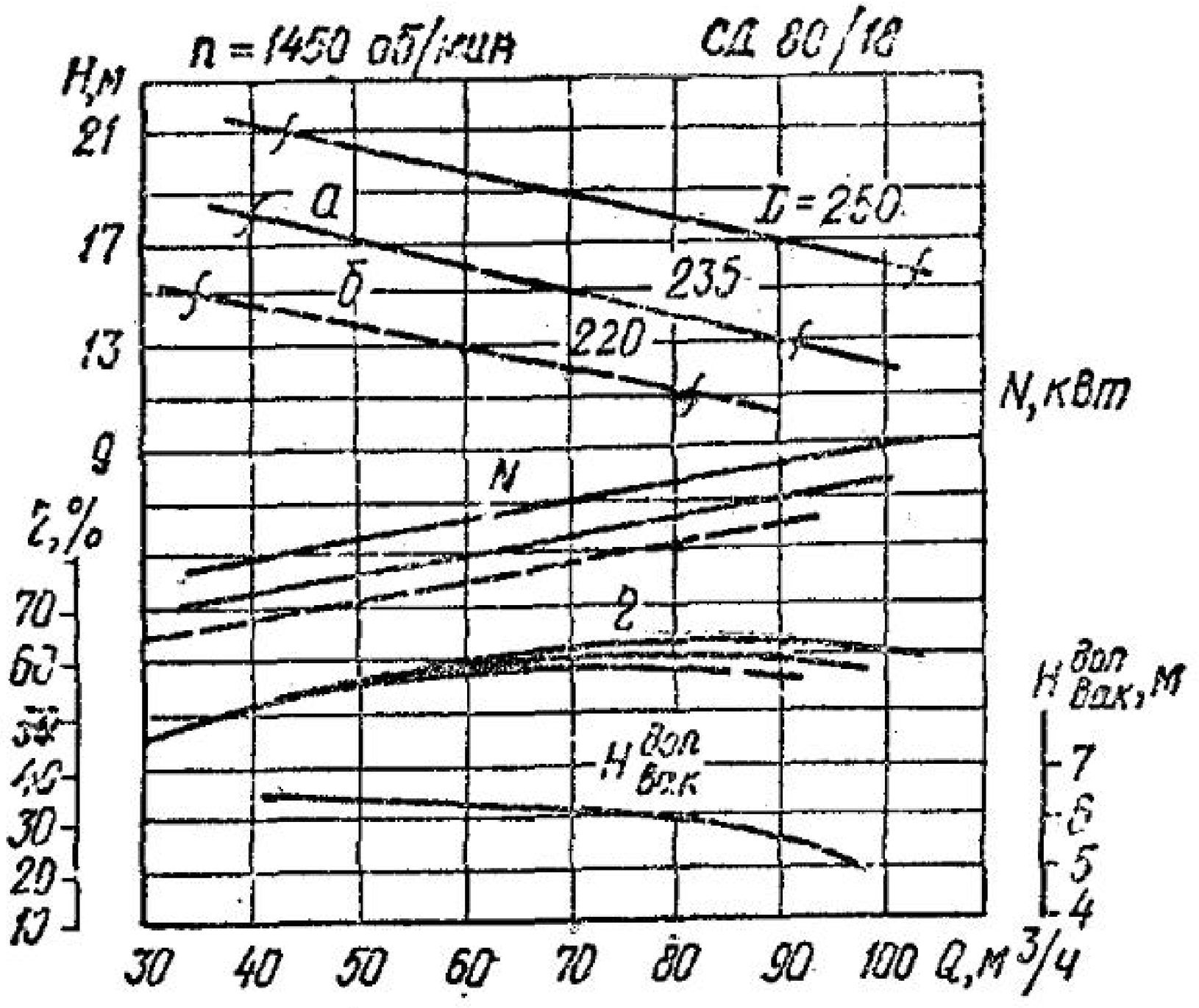


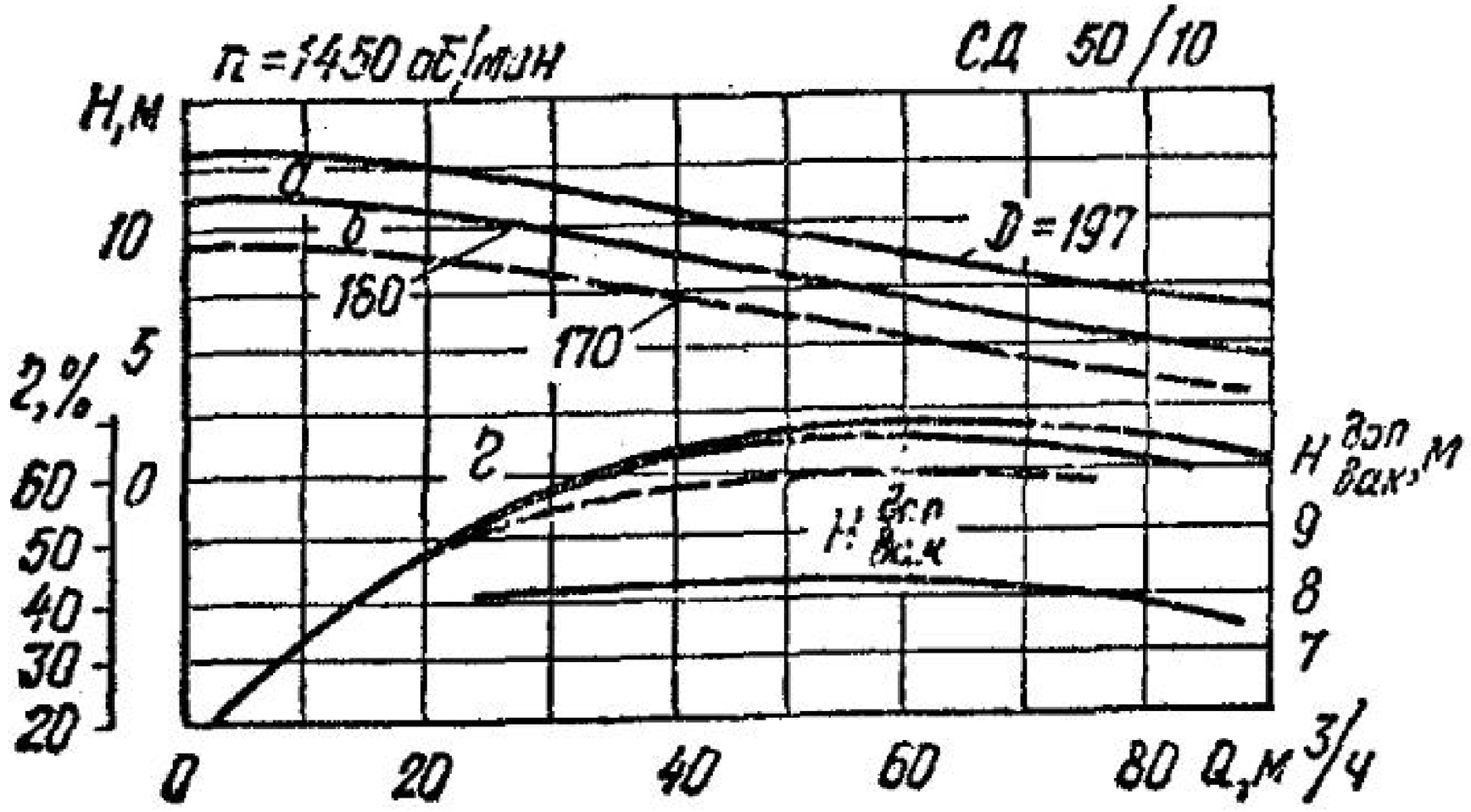


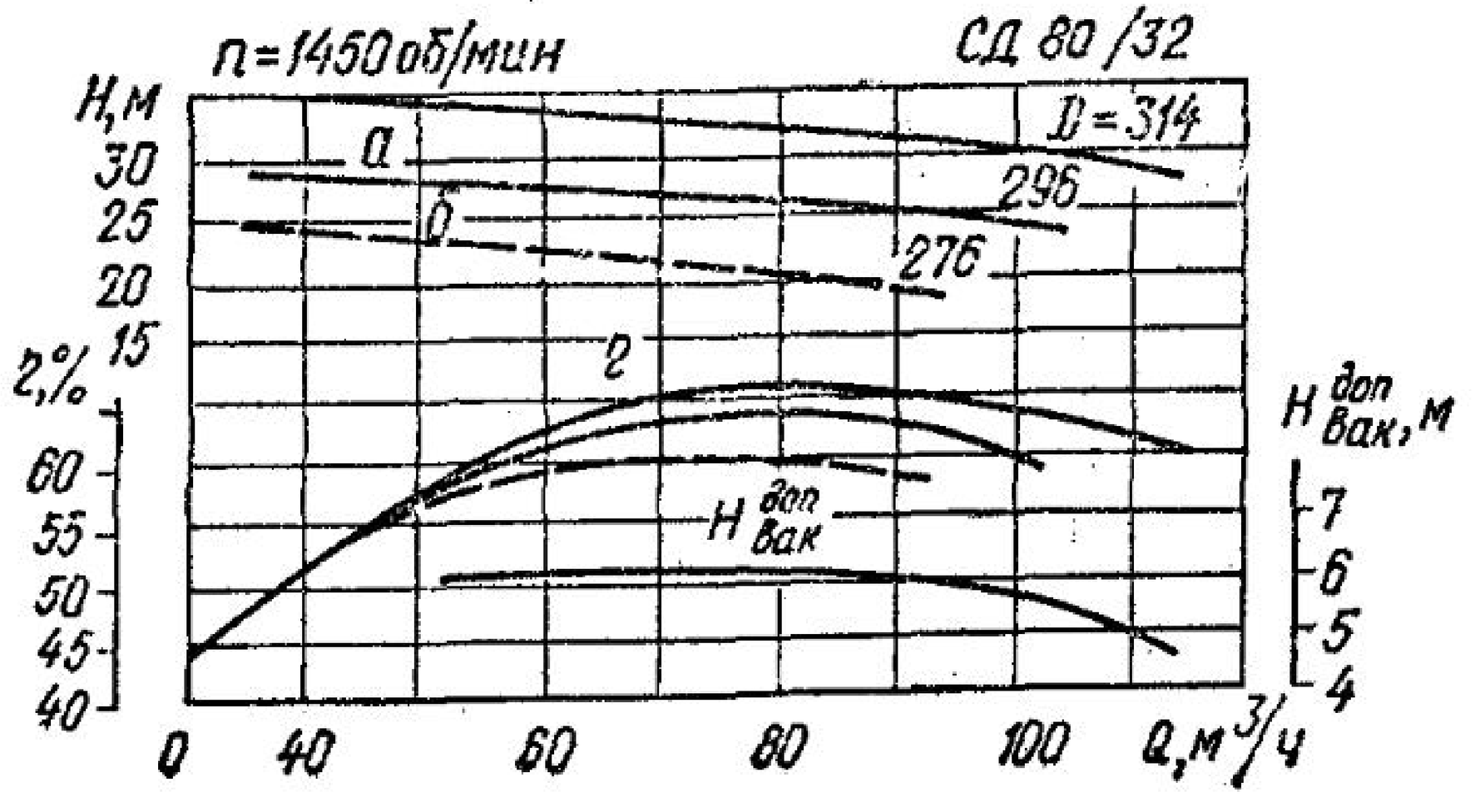


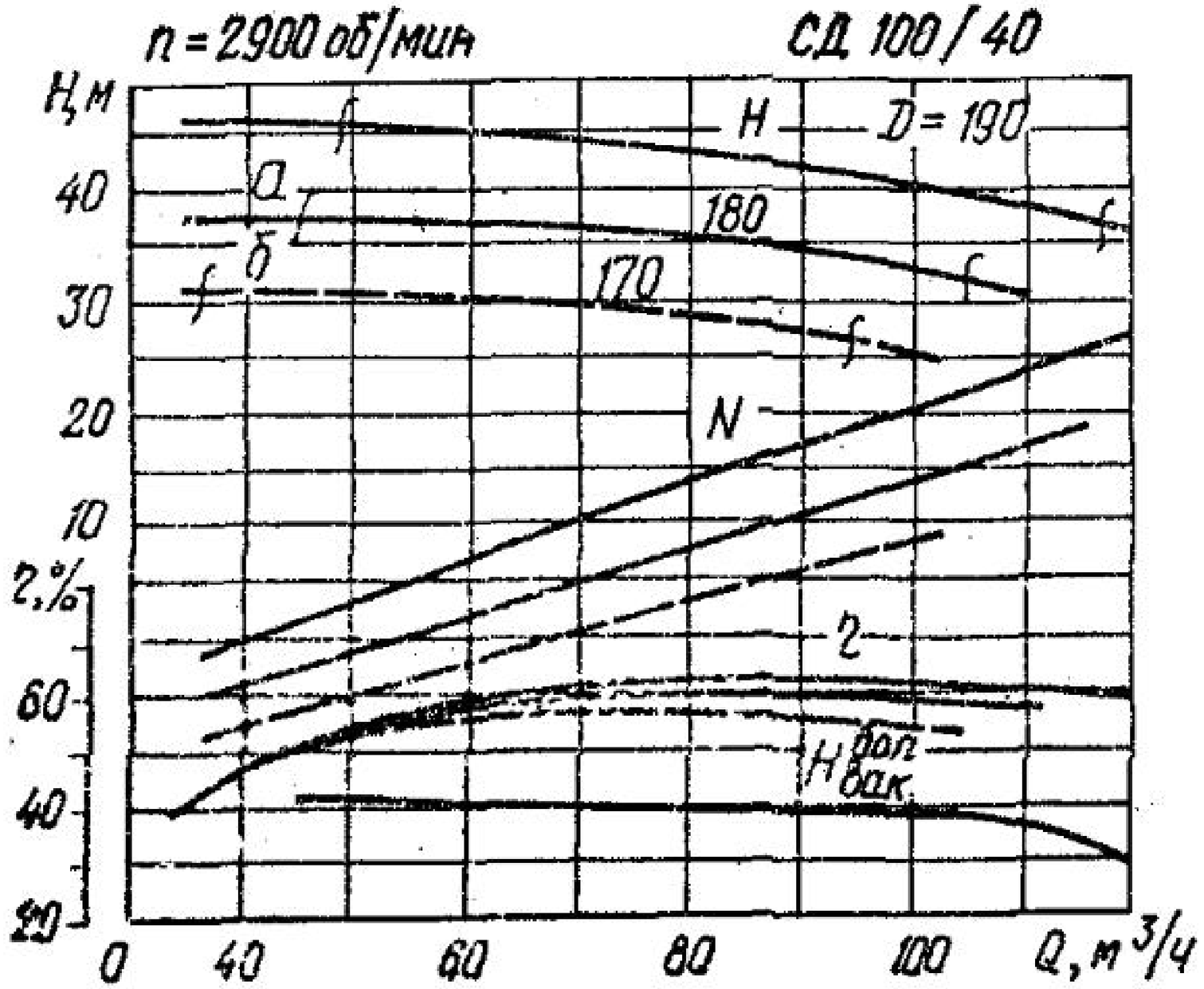


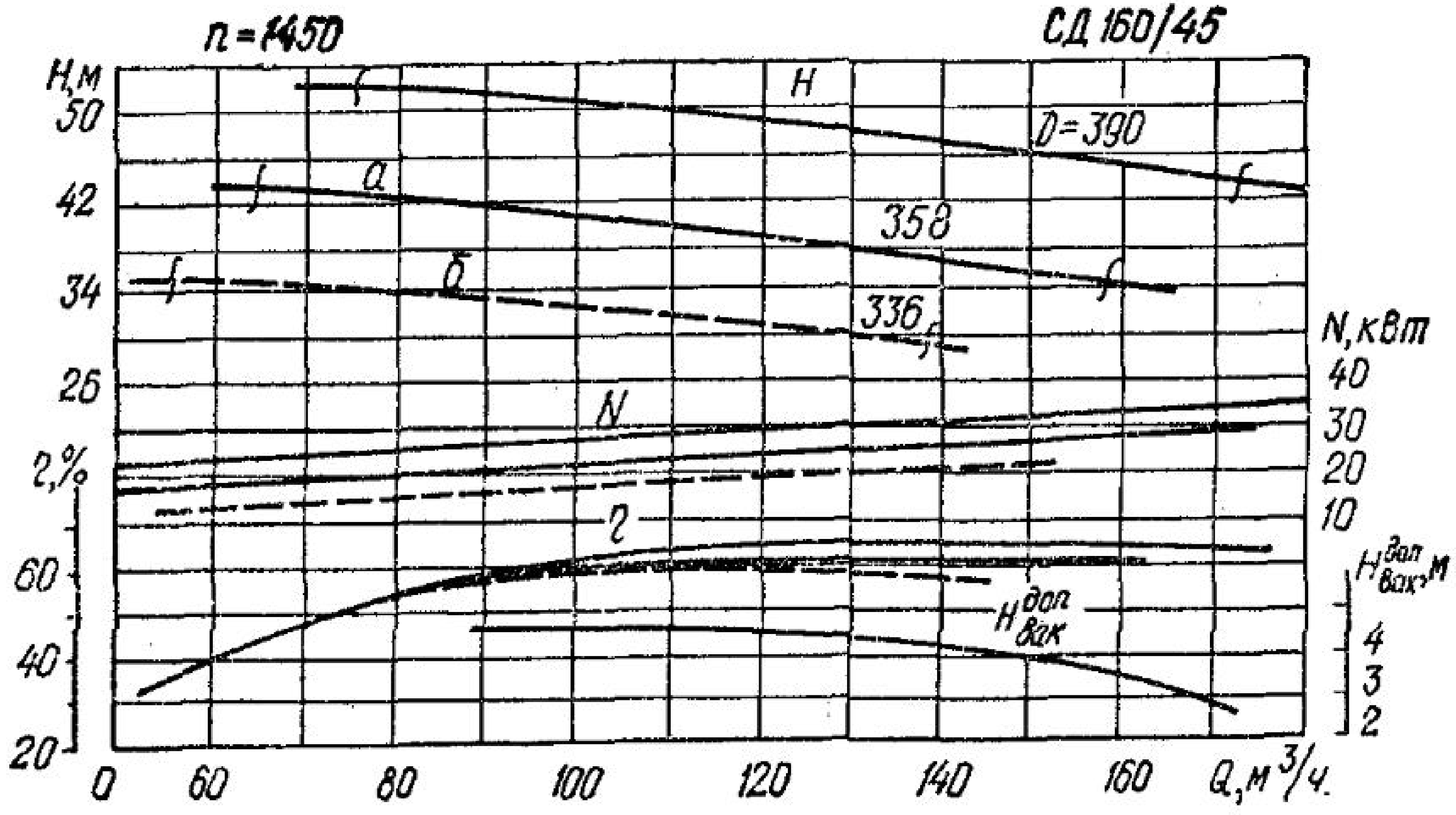

n = 2900 об/мин
СД 50/56
H,м
60
50
40
30
d=212
199
185
N,кВт
14
12
10
8
6
η,%
60
50
40
30
20
H доп вак,м
3
2
1
20
30
40
50
60
70
Q,м³/ч

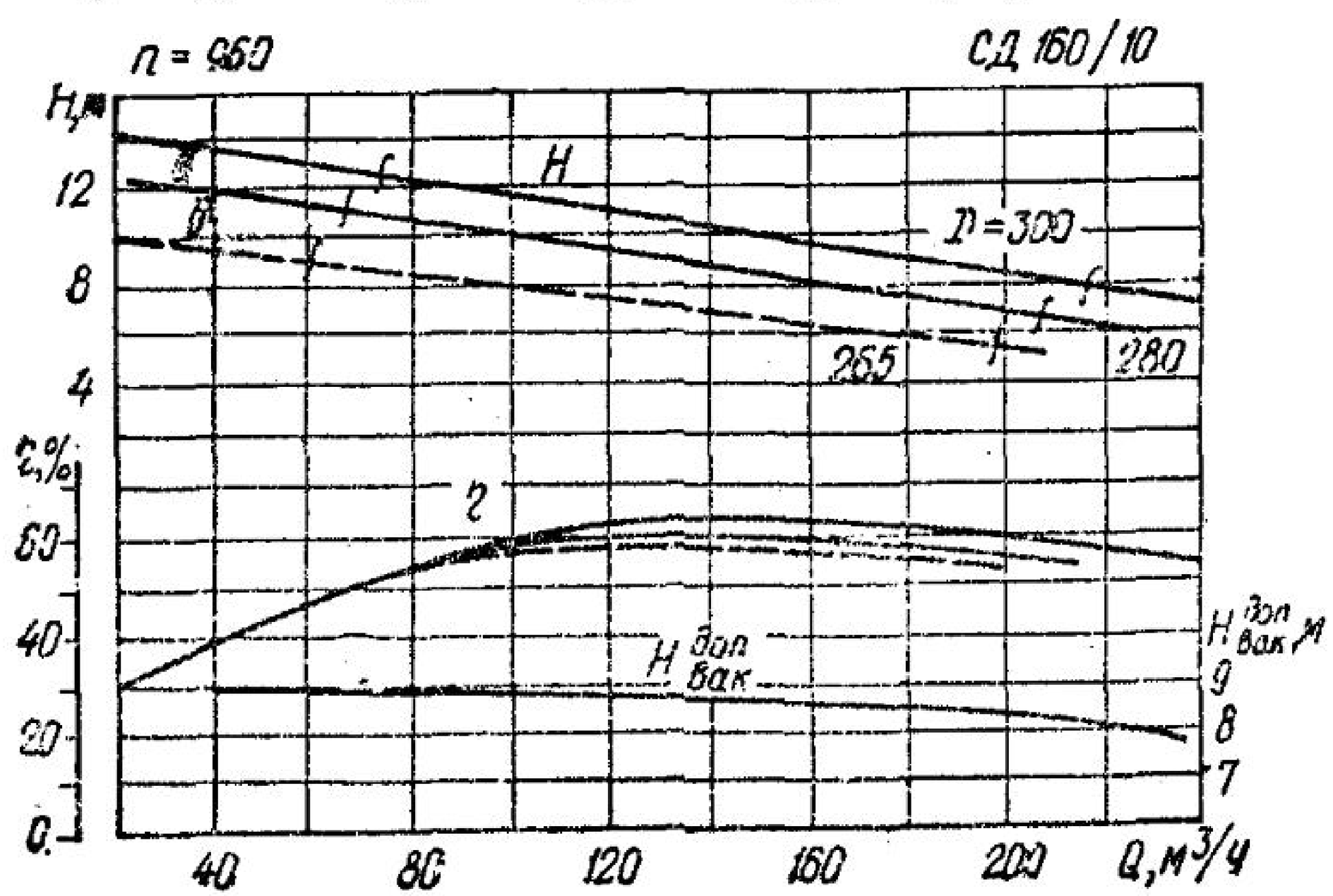

n = 1450 об/мин
СД 80/18
H,м
21
17
13
9
D=250
235
220
N,кВт
η,%
70
60
50
40
30
20
10
H доп вак
H доп вак,м
7
6
5
4
30
40
50
60
70
80
90
100
Q,м³/ч

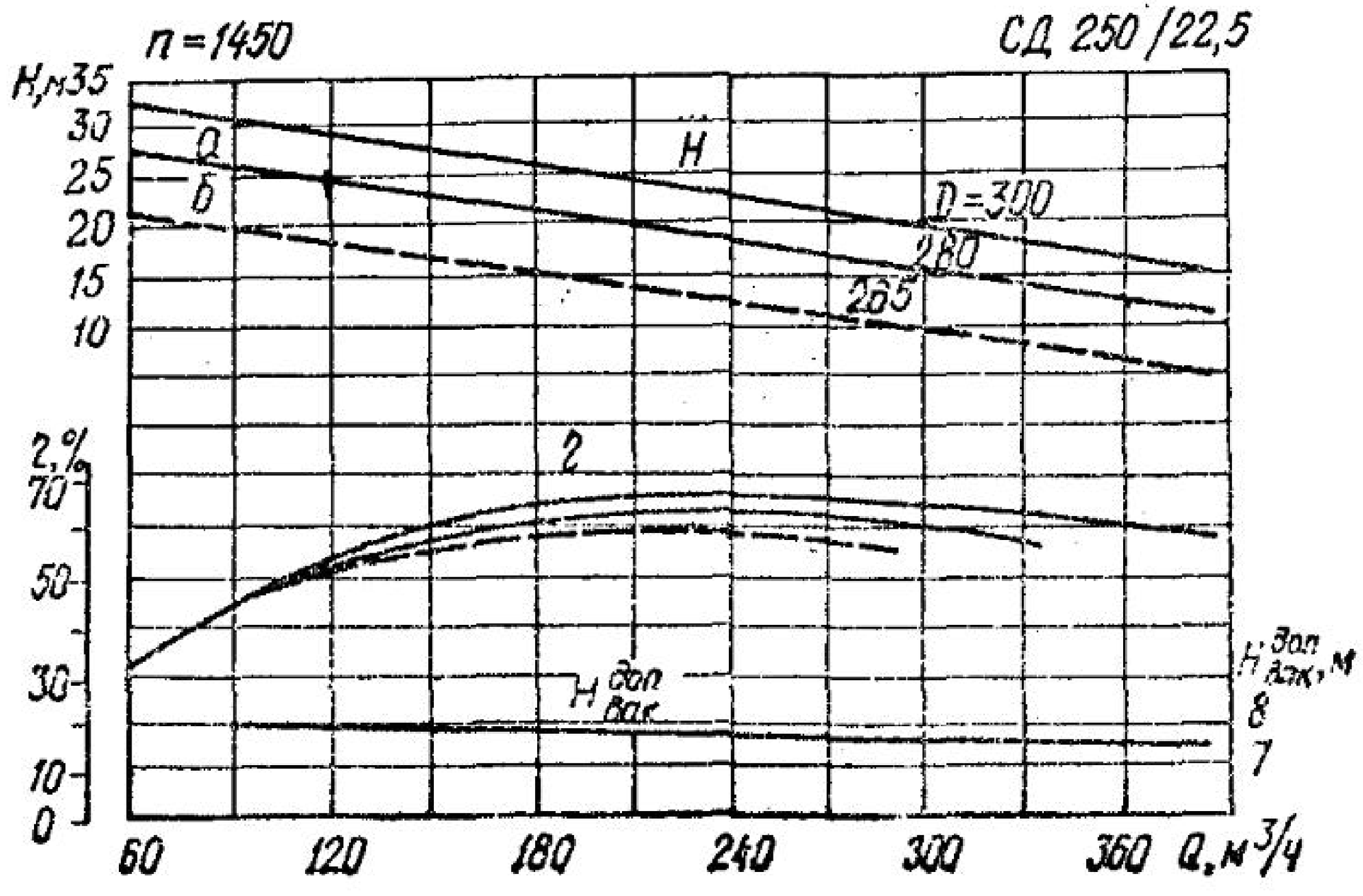

n = 1450 об/мин
СД 50/10
H,м
10
5
0
D=197
180
170
η,%
60
50
40
30
20
H доп вак,м
9
8
7
0
20
40
60
80
Q,м³/ч

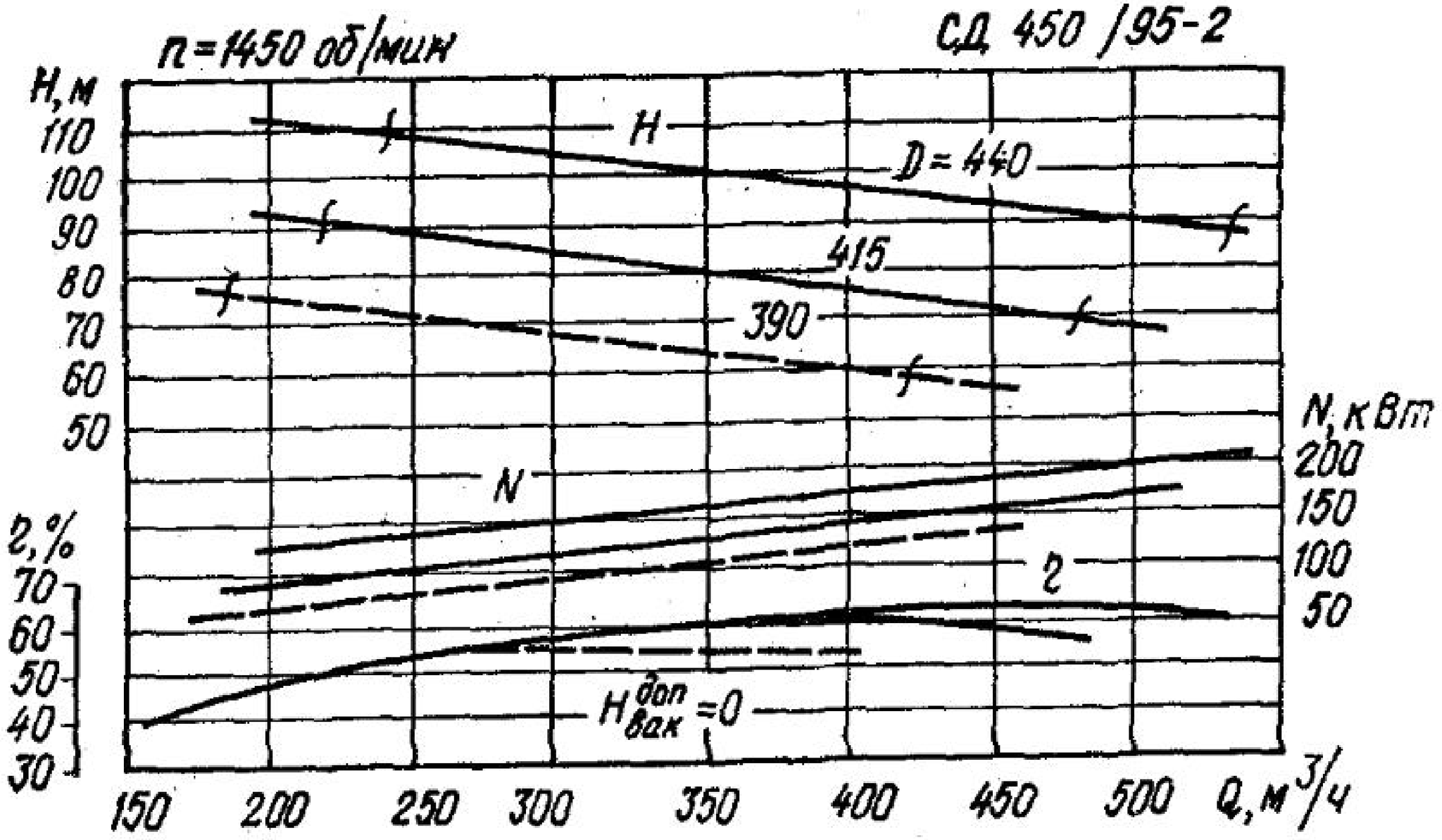

n = 1450 об/мин
СД 80/32
H,м
30
25
20
15
D=314
296
276
η,%
60
55
50
45
40
H доп вак
H доп вак,м
7
6
5
4
0
40
60
80
100
Q,м³/ч

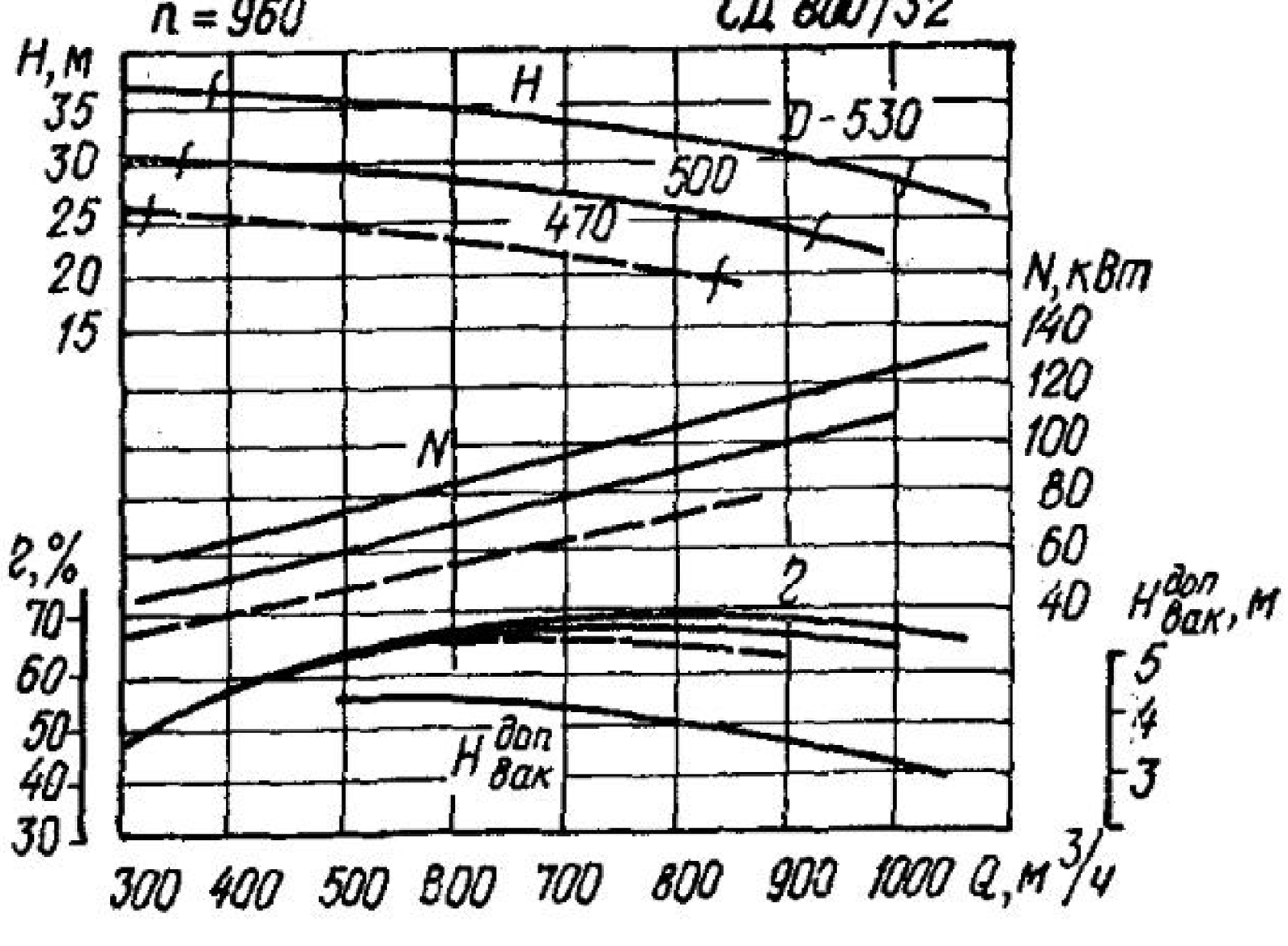

n = 2900 об/мин
СД 100/40
H,м
H
D = 190
а
180
б
170
N
η
η,%
H доп вак
Q, м³/ч

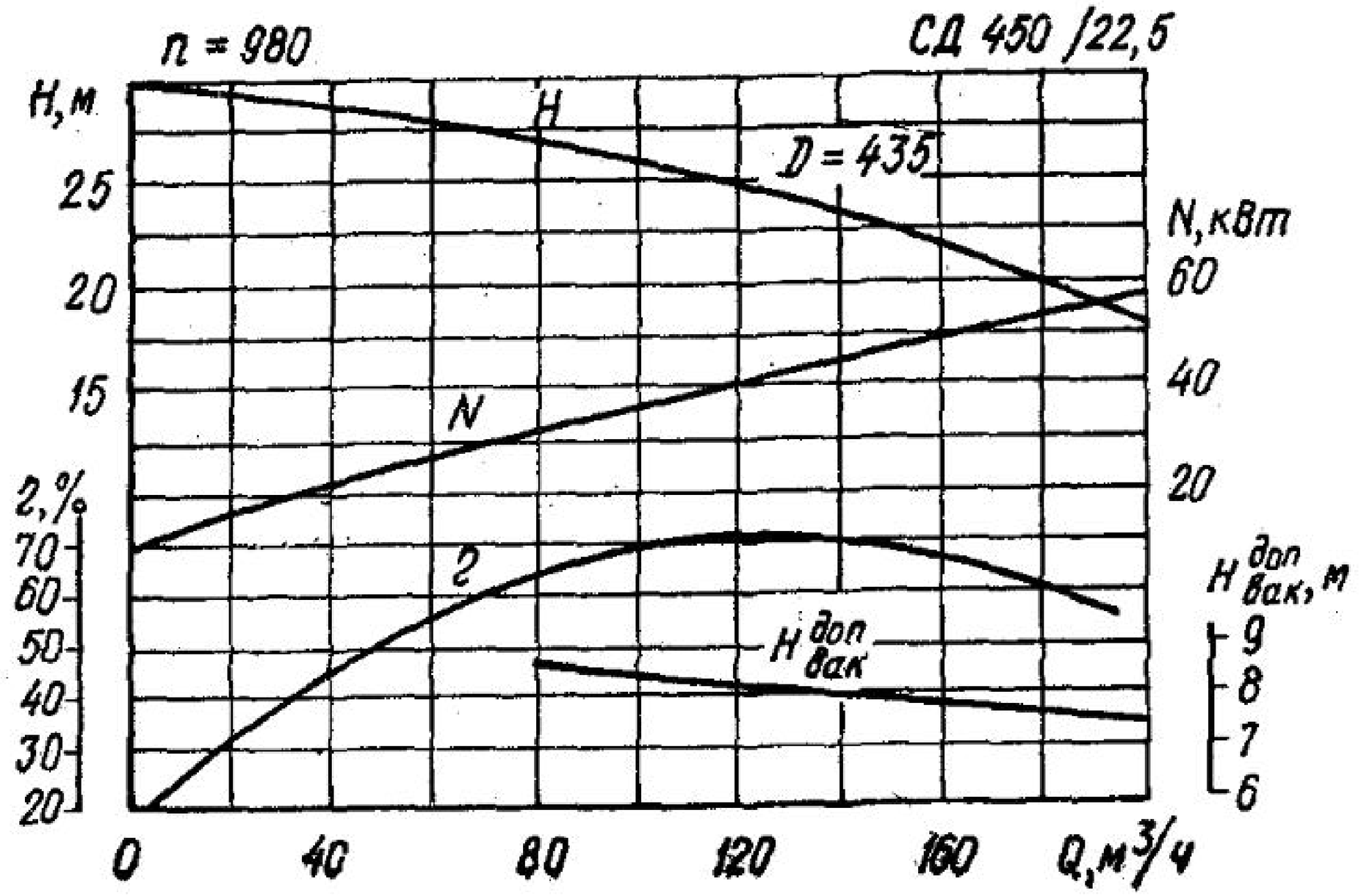

n = 1450
СД 160/45
H,м
H
D = 390
а
358
б
336
N
η
η,%
H доп вак
N, кВт
H доп вак, м
Q, м³/ч

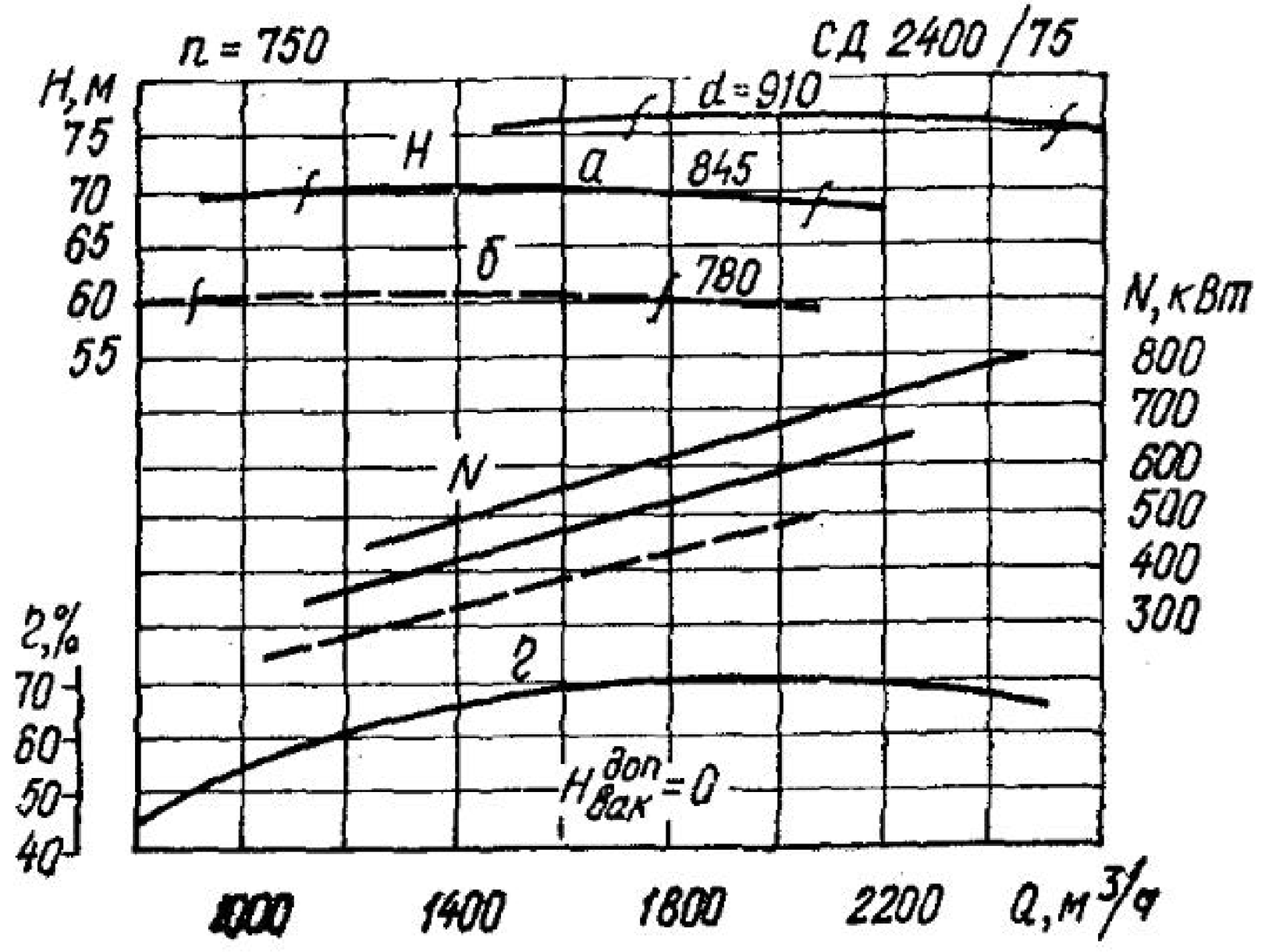

n = 960
СД 160/10
H,м
H
D = 300
280
265
η
η,%
H доп вак
H доп вак, м
Q, м³/ч

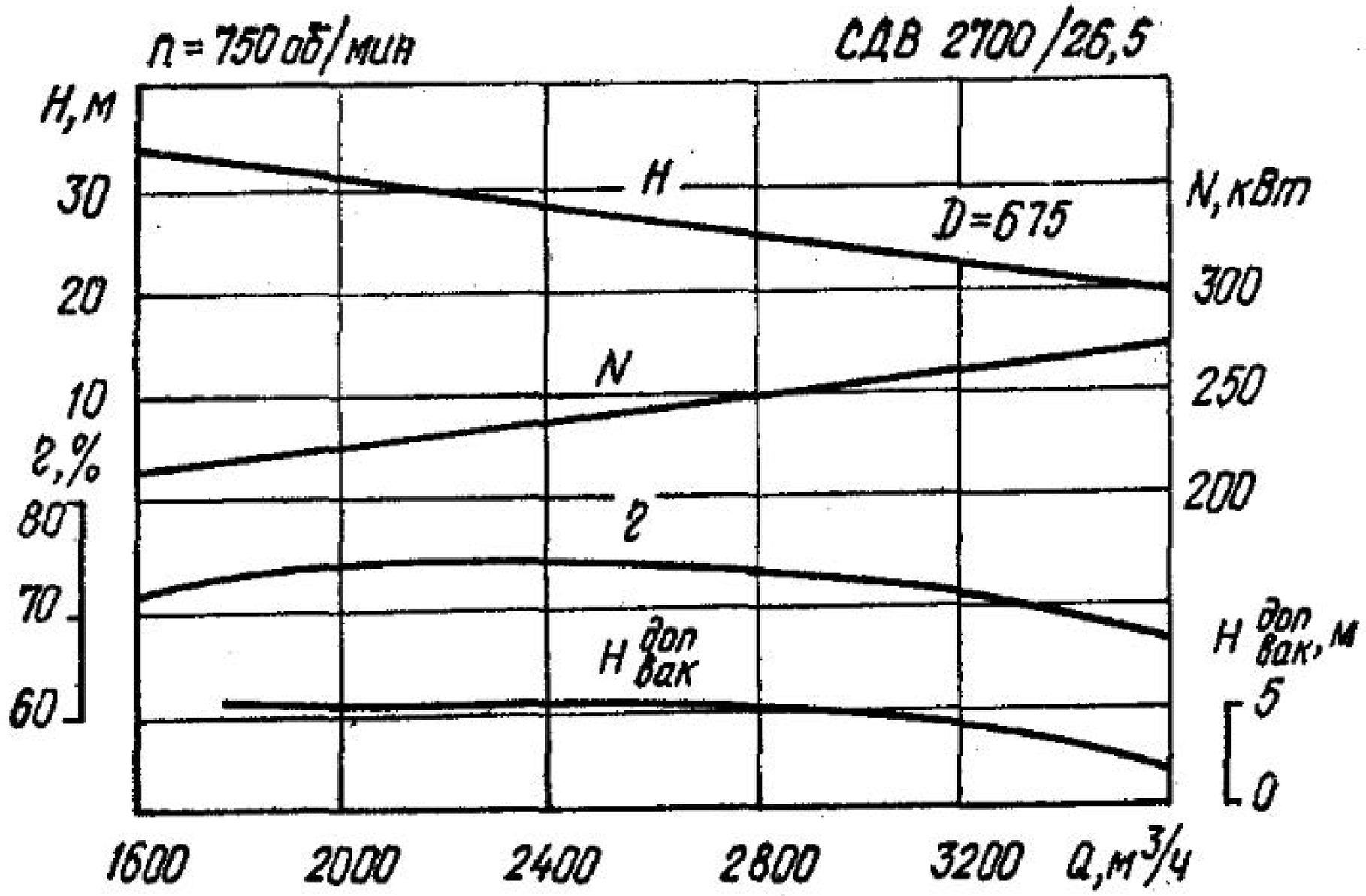

n = 1450
СД 250/22,5
H,м
H
D = 300
280
265
а
б
η
η,%
H доп вак
H доп вак, м
Q, м³/ч

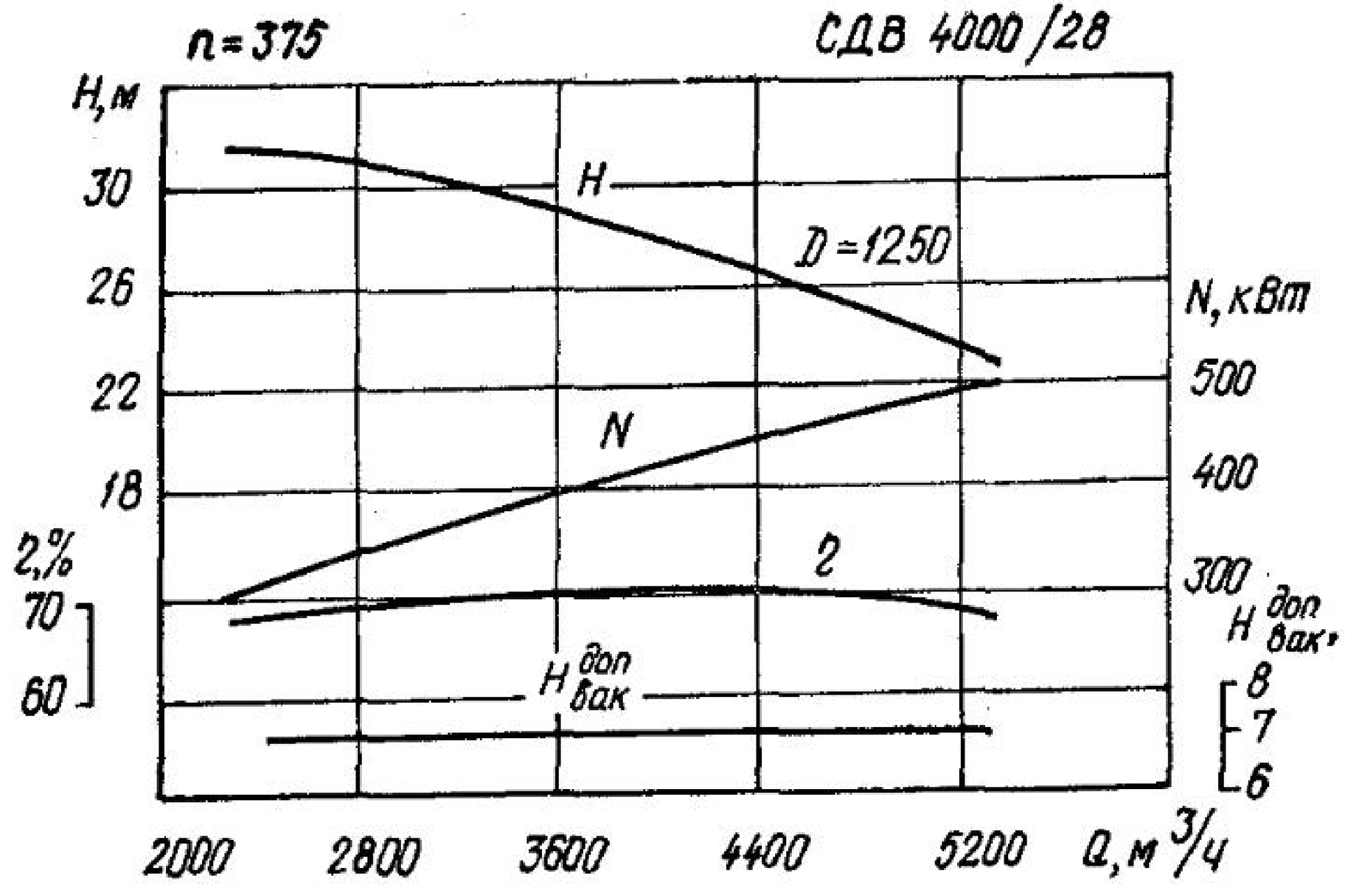

n = 1450 об/мин
СД 450 /95-2
H, м
110
100
90
80
70
60
50
H
D = 440
415
390
N
2
2, %
70
60
50
40
30
N, кВт
200
150
100
50
$H^{доп}_{вак}$ = 0
150
200
250
300
350
400
450
500
Q, м³/ч

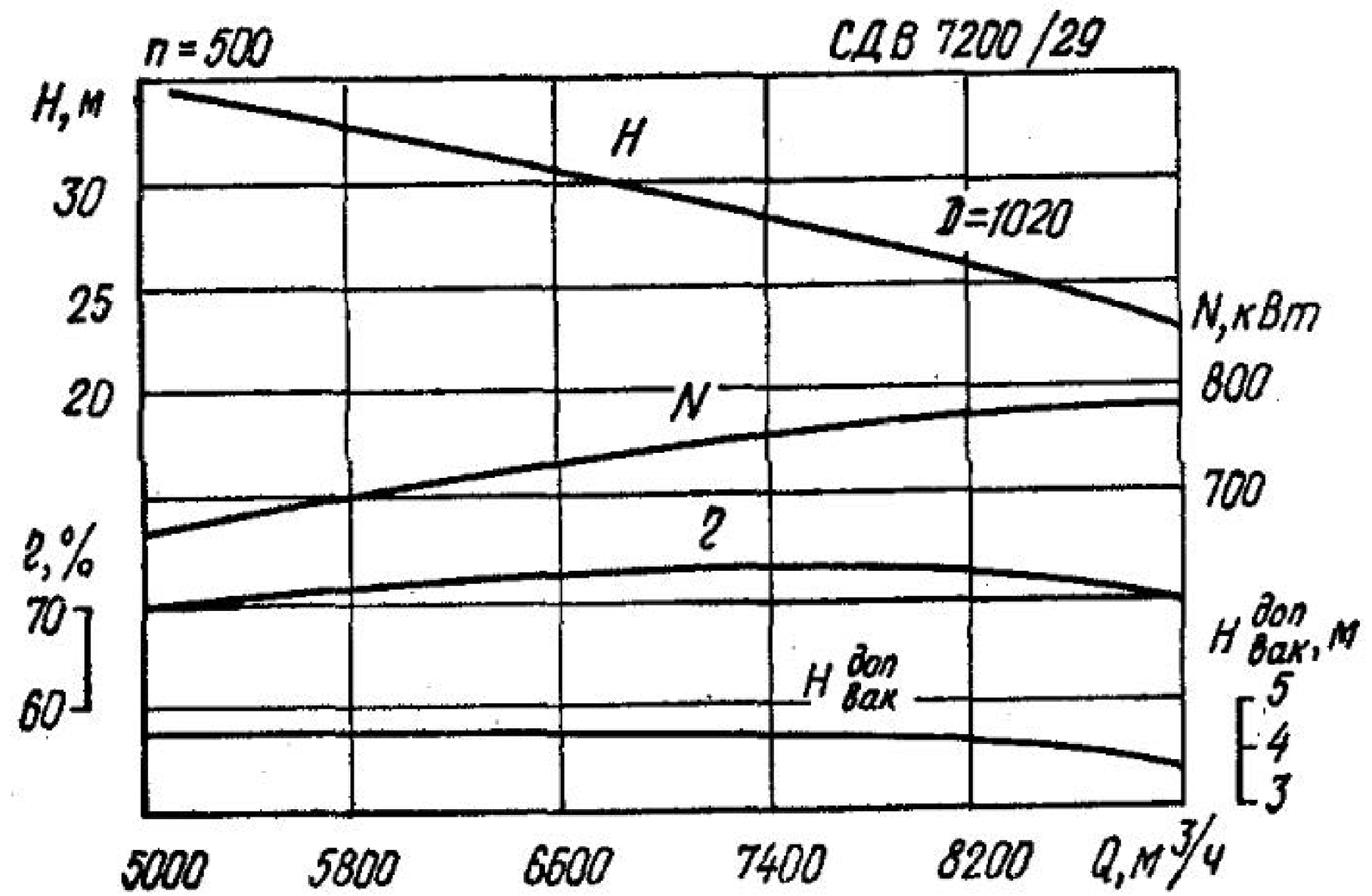

n = 960
СД 800/32
H, м
35
30
25
20
15
H
D - 530
500
470
N
2
2, %
70
60
50
40
30
N, кВт
140
120
100
80
60
40
$H^{доп}_{вак}$, м
5
4
3
$H^{доп}_{вак}$
300
400
500
600
700
800
900
1000
Q, м³/ч

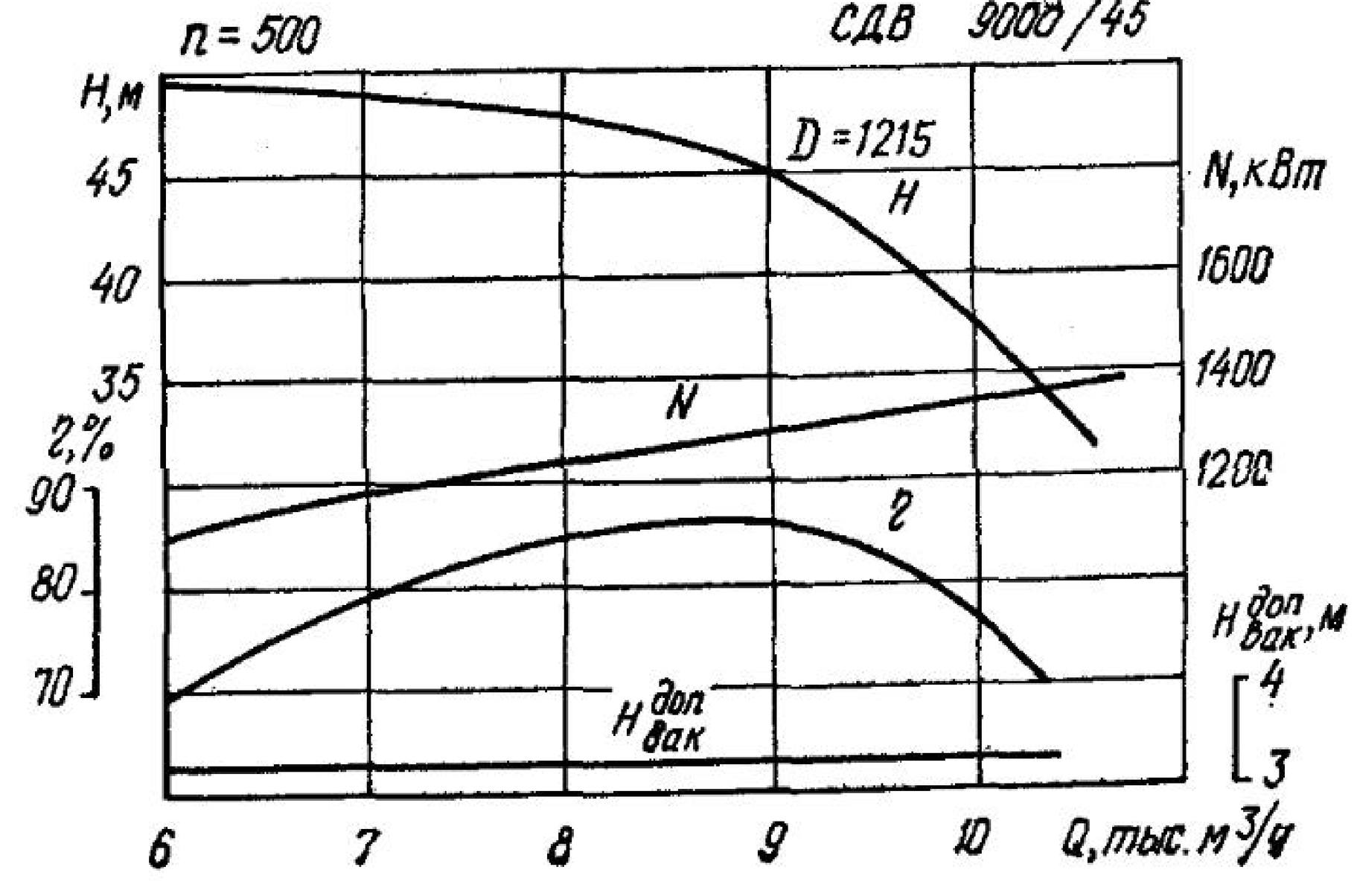

n = 980
СД 450 /22,5
H, м
25
20
15
H
D = 435
N
2
2, %
70
60
50
40
30
20
N, кВт
60
40
20
$H^{доп}_{вак}$, м
9
8
7
6
$H^{доп}_{вак}$
0
40
80
120
160
Q, м³/ч

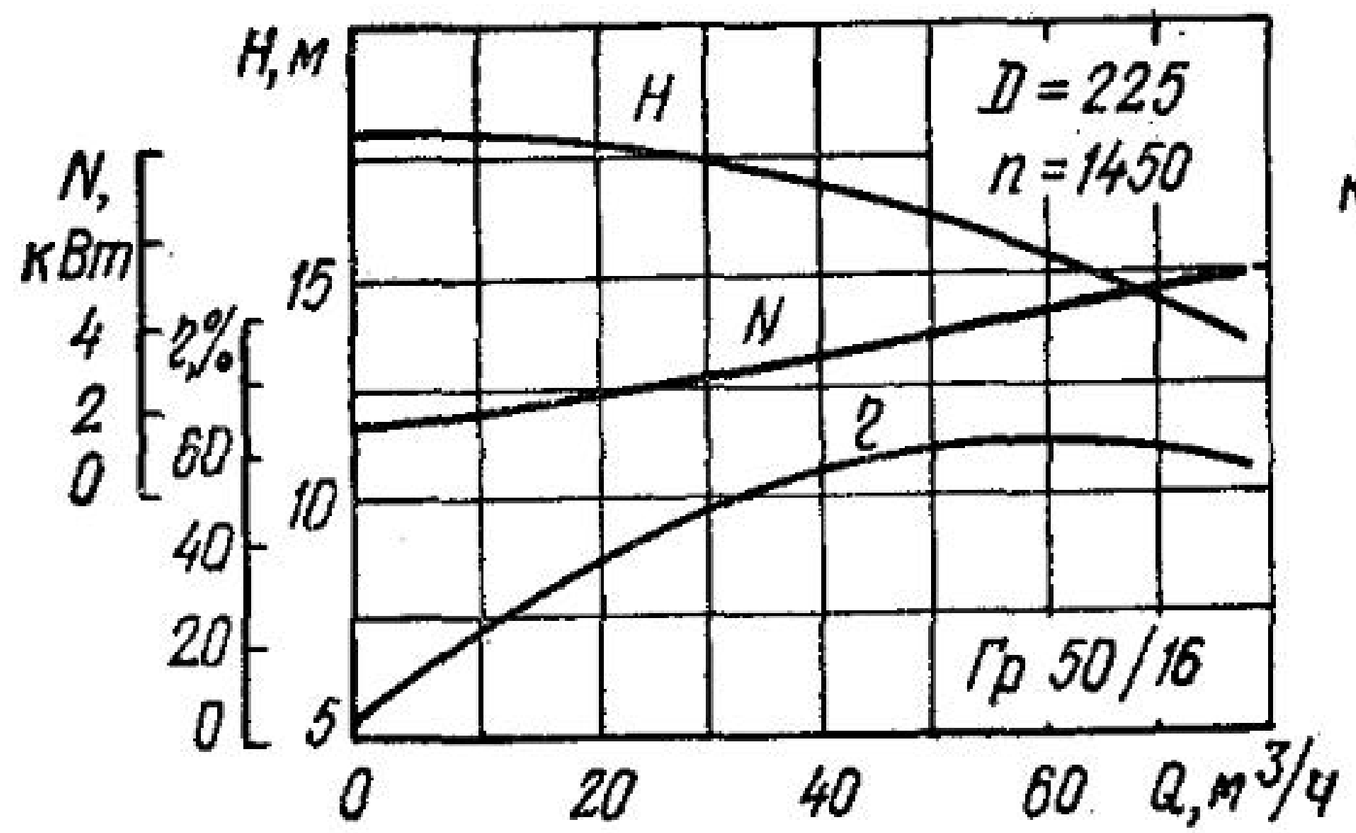

n = 750
СД 2400 /75
H, м
75
70
65
60
55
H
d = 910
Q
845
б
780
N
2
2, %
70
60
50
40
N, кВт
800
700
600
500
400
300
$H^{доп}_{вак}$ = 0
1000
1400
1800
2200
Q, м³/ч

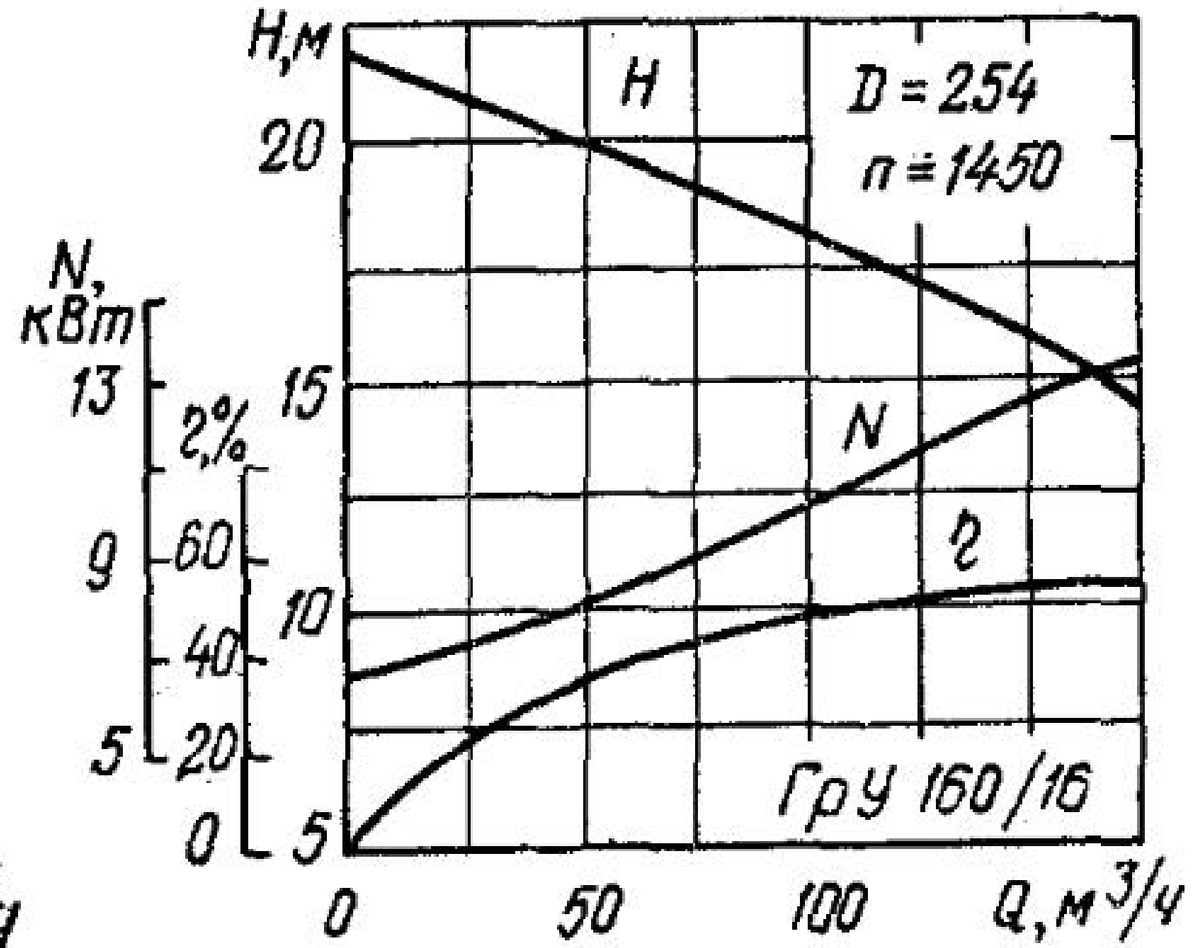

n = 750 об/мин
СДВ 2700/26,5
H, м
30
20
10
H
D=675
N
η
η, %
80
70
60
N, кВт
300
250
200
H доп вак, м
5
0
1600
2000
2400
2800
3200
Q, м³/ч

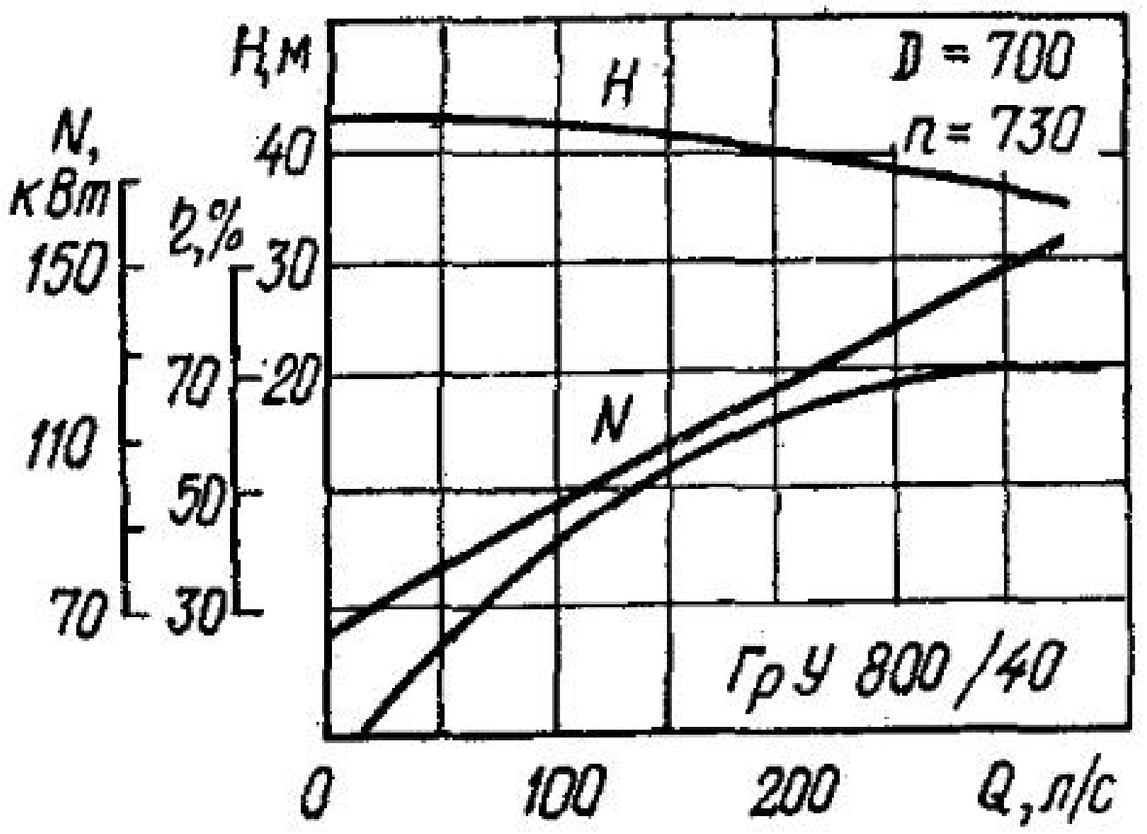

n = 375
СДВ 4000/28
H, м
30
26
22
18
H
D=1250
N
η
η, %
70
60
N, кВт
500
400
300
H доп вак, м
8
7
6
2000
2800
3600
4400
5200
Q, м³/ч

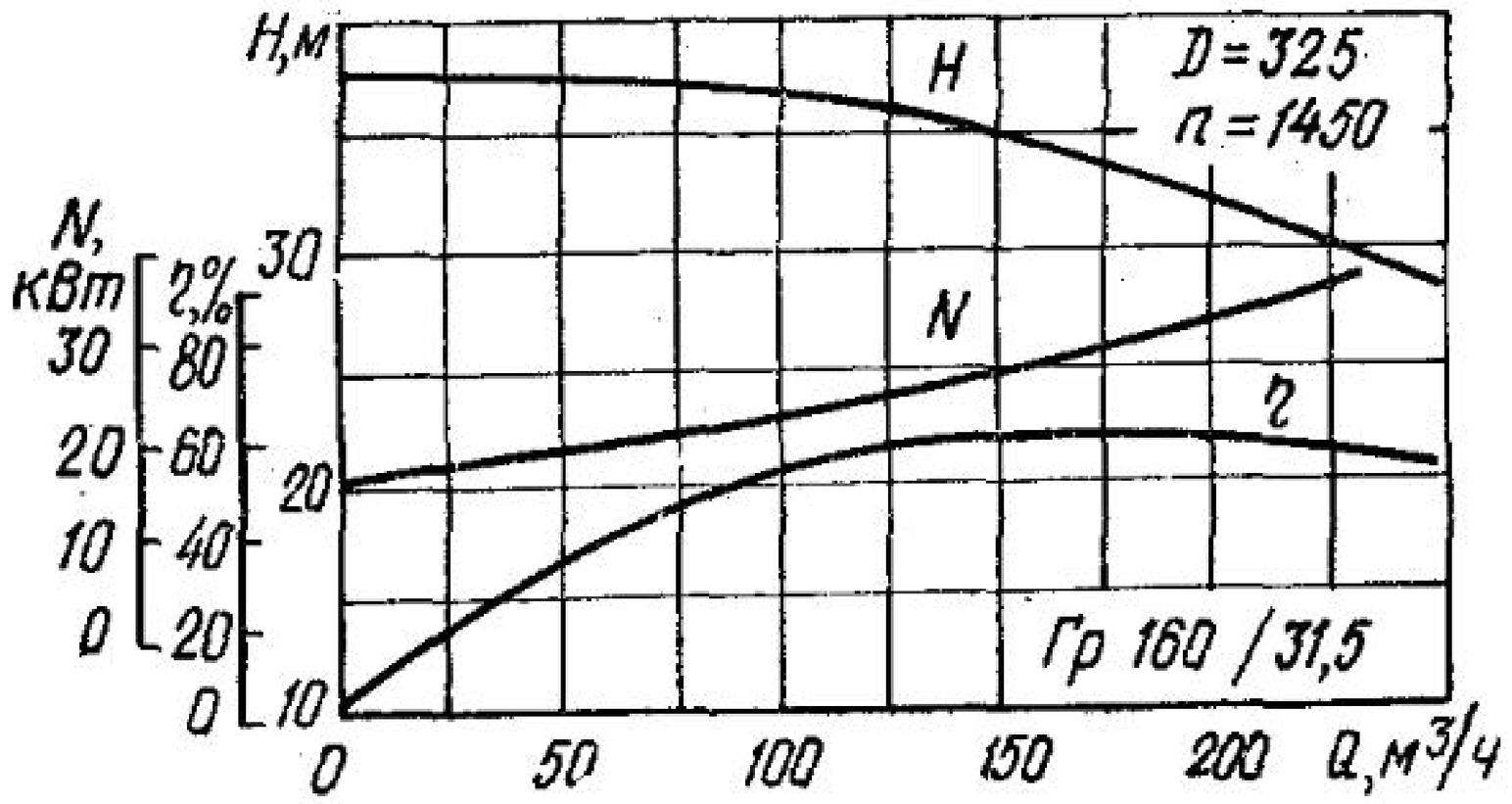

n = 500
СДВ 7200/29
H, м
30
25
20
H
D=1020
N
η
η, %
70
60
N, кВт
800
700
H доп вак, м
5
4
3
5000
5800
6600
7400
8200
Q, м³/ч

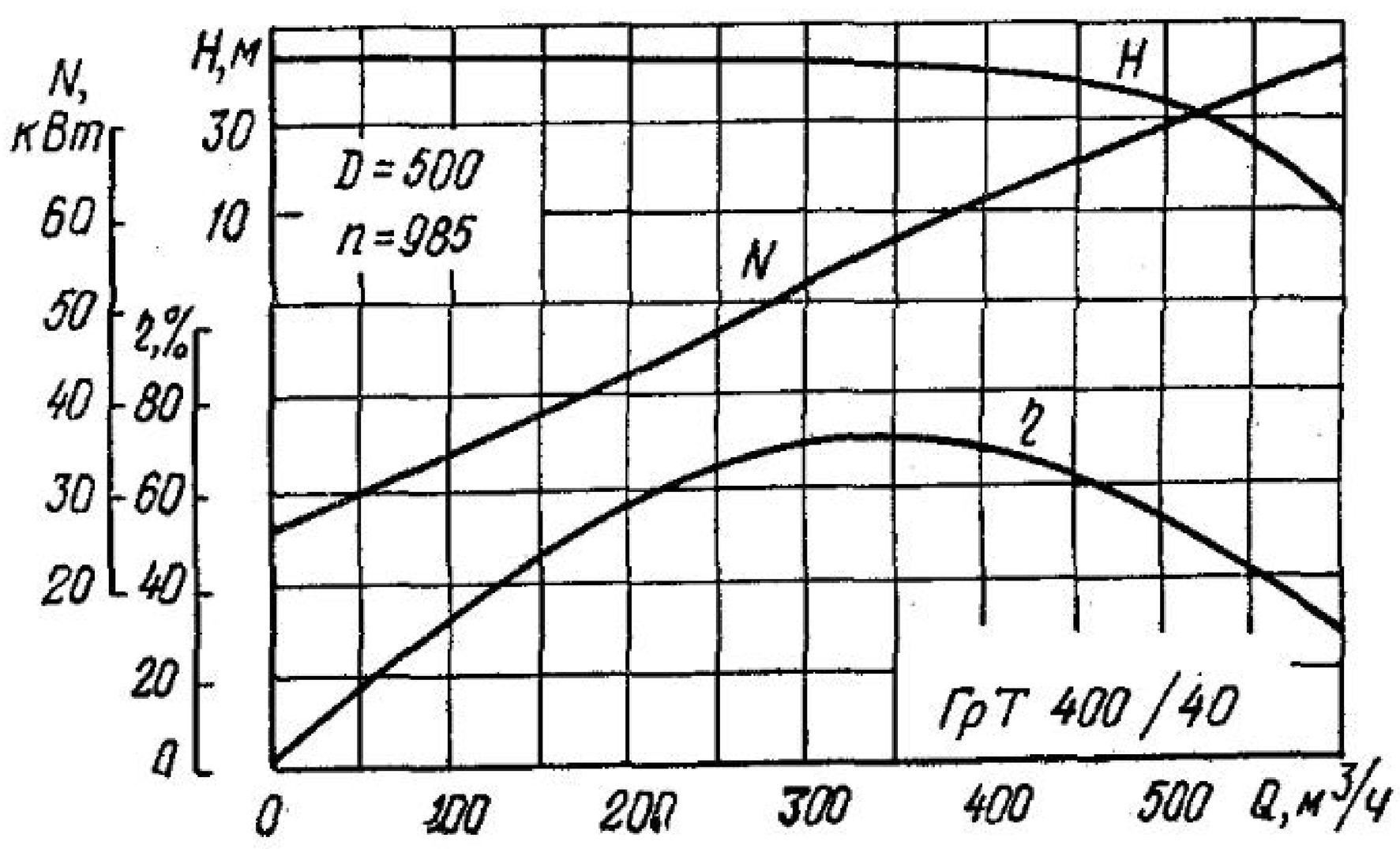

n = 500
СДВ 9000/45
H, м
45
40
35
D=1215
H
N
η
η, %
90
80
70
N, кВт
1600
1400
1200
H доп вак, м
4
3
6
7
8
9
10
Q, тыс. м³/ч

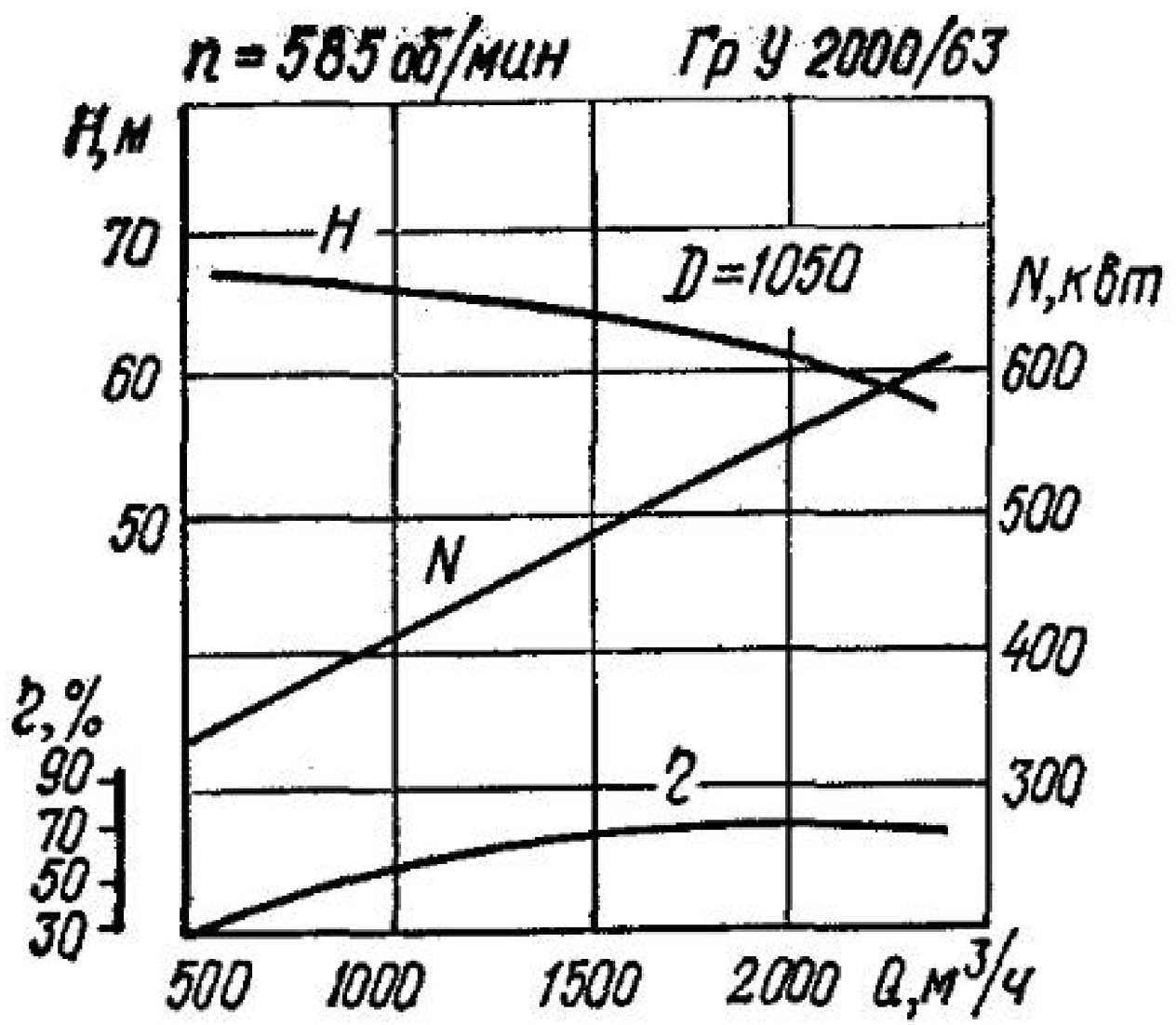

H,м
N,
кВт
η,%
H
N
η
D = 225
n = 1450
Гр 50/16
Q,м³/ч

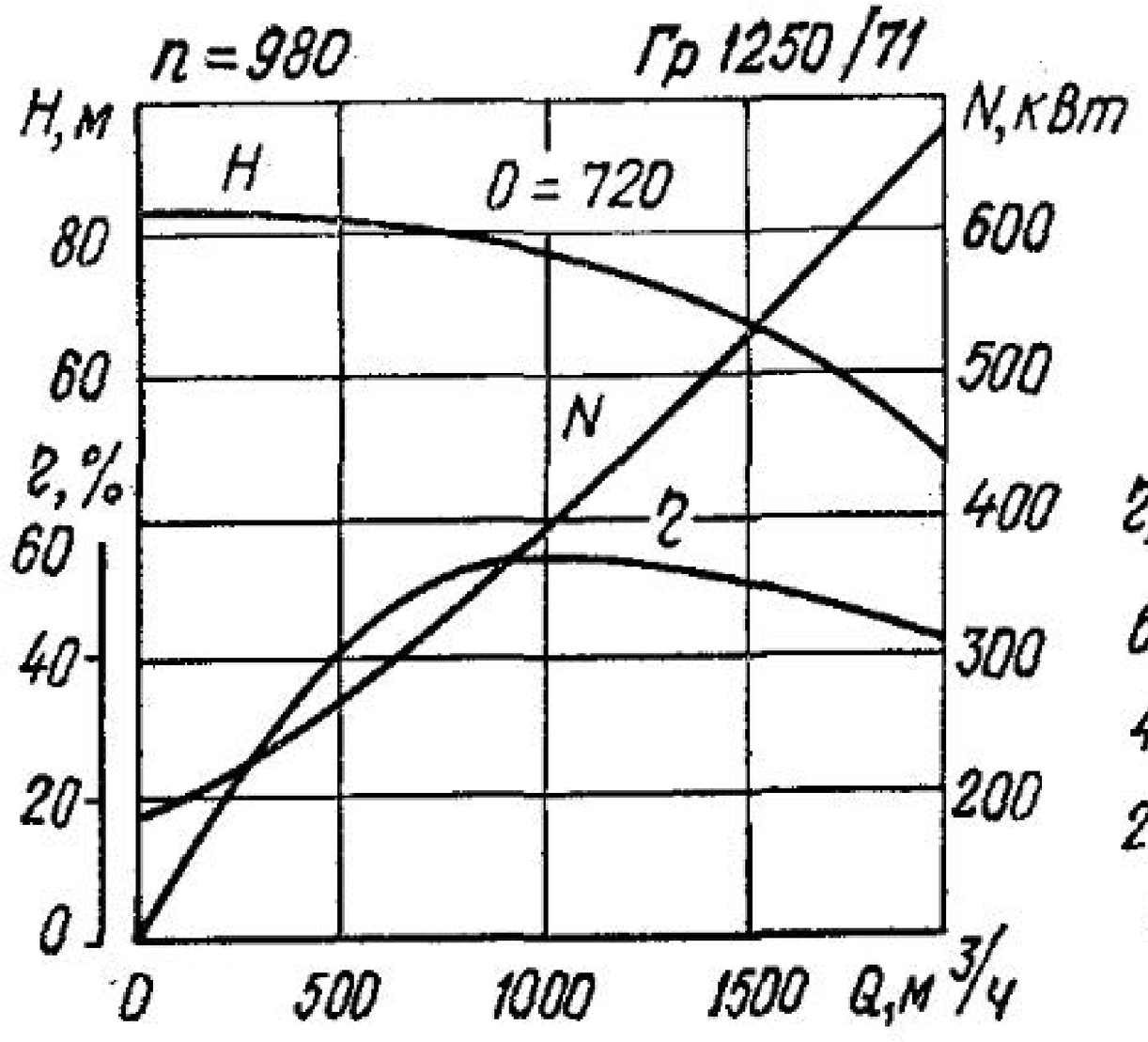

H,м
N,
кВт
η,%
H
N
η
D = 254
n = 1450
Гр У 160/16
Q,м³/ч

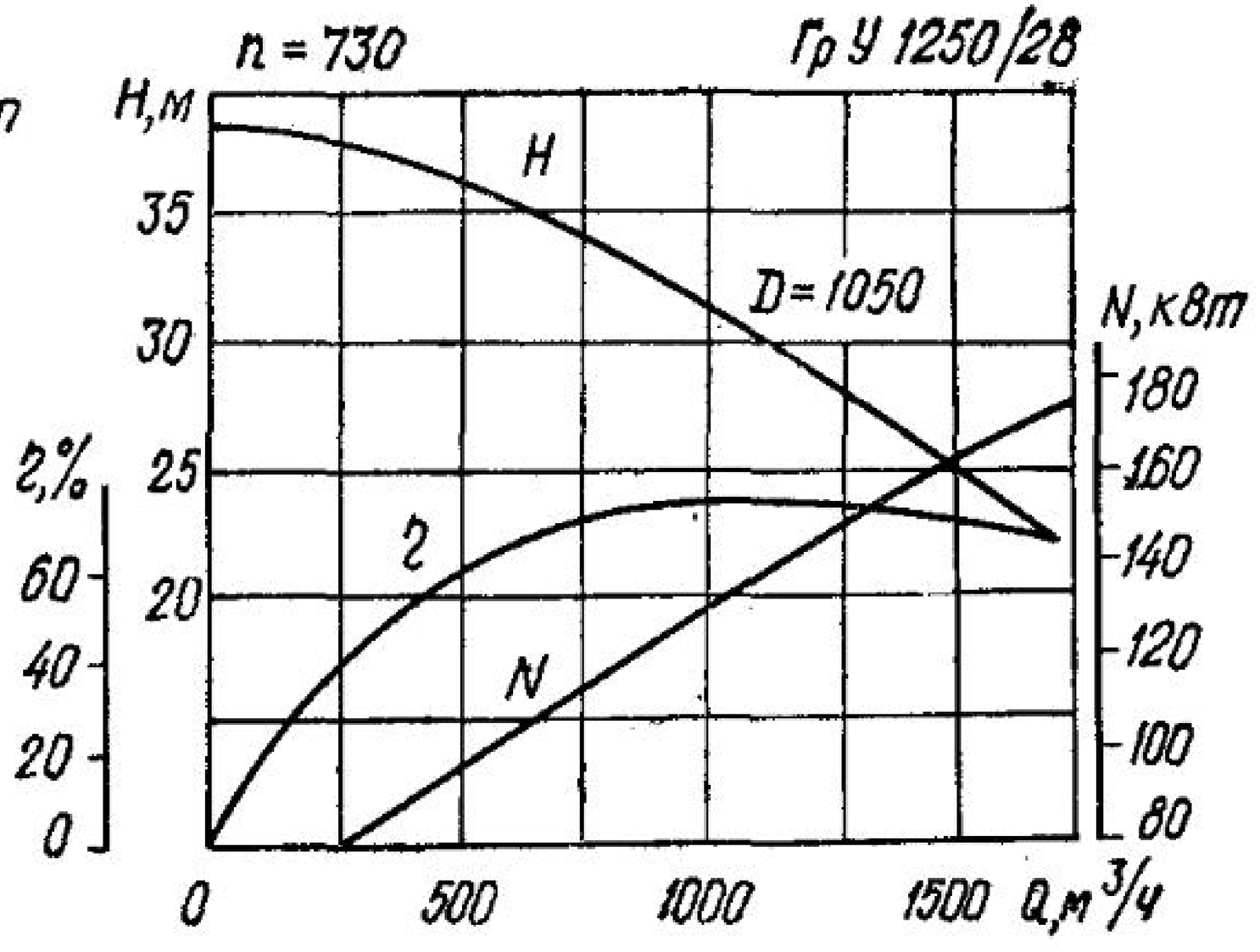

H,м
N,
кВт
η,%
H
N
D = 700
n = 730
Гр У 800/40
Q,л/с

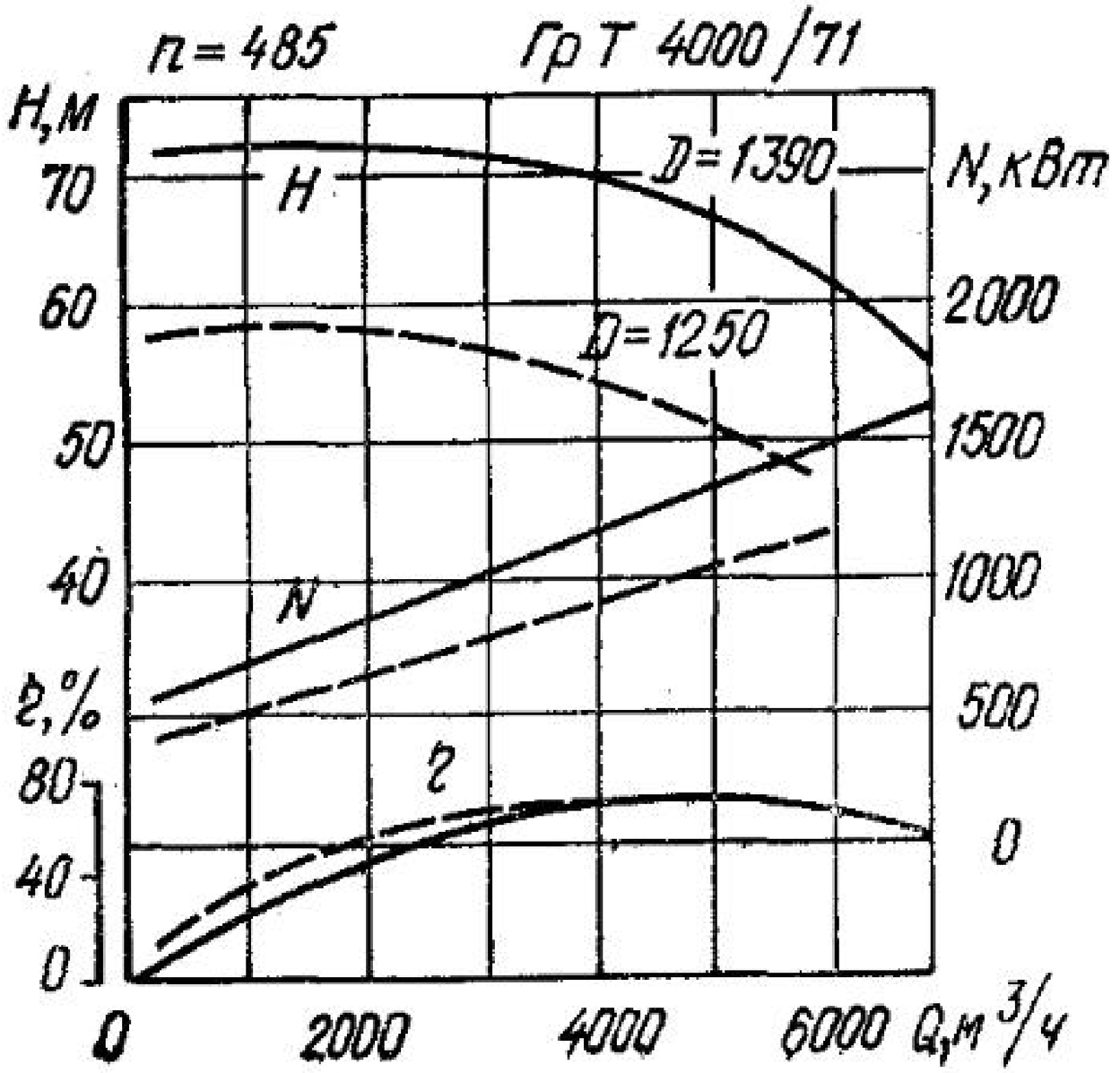

H,м
N,
кВт
η,%
H
N
η
D = 325
n = 1450
Гр 160/31,5
Q,м³/ч

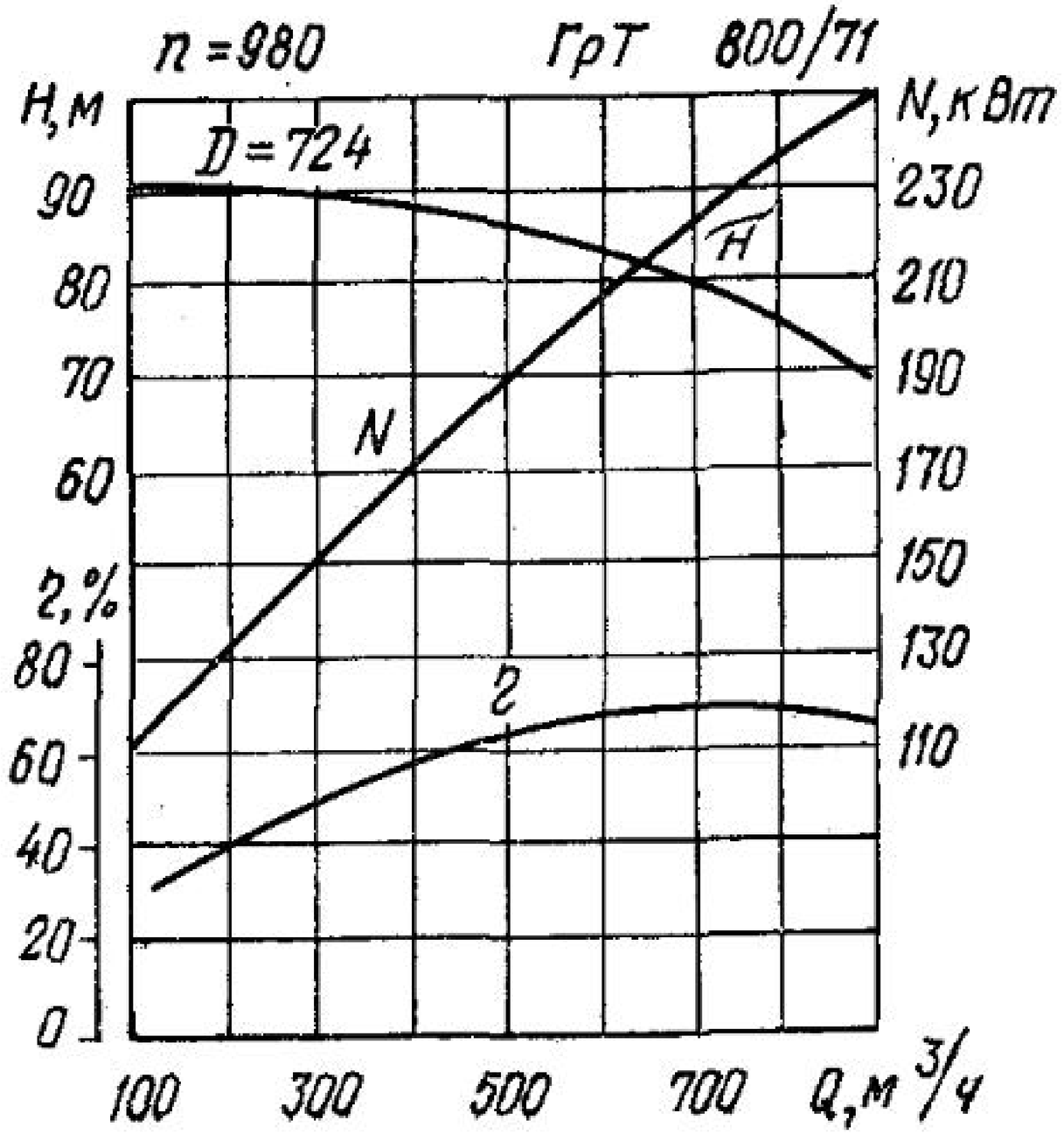

H,м
N,
кВт
η,%
H
N
η
D = 500
n = 985
Гр Т 400/40
Q,м³/ч

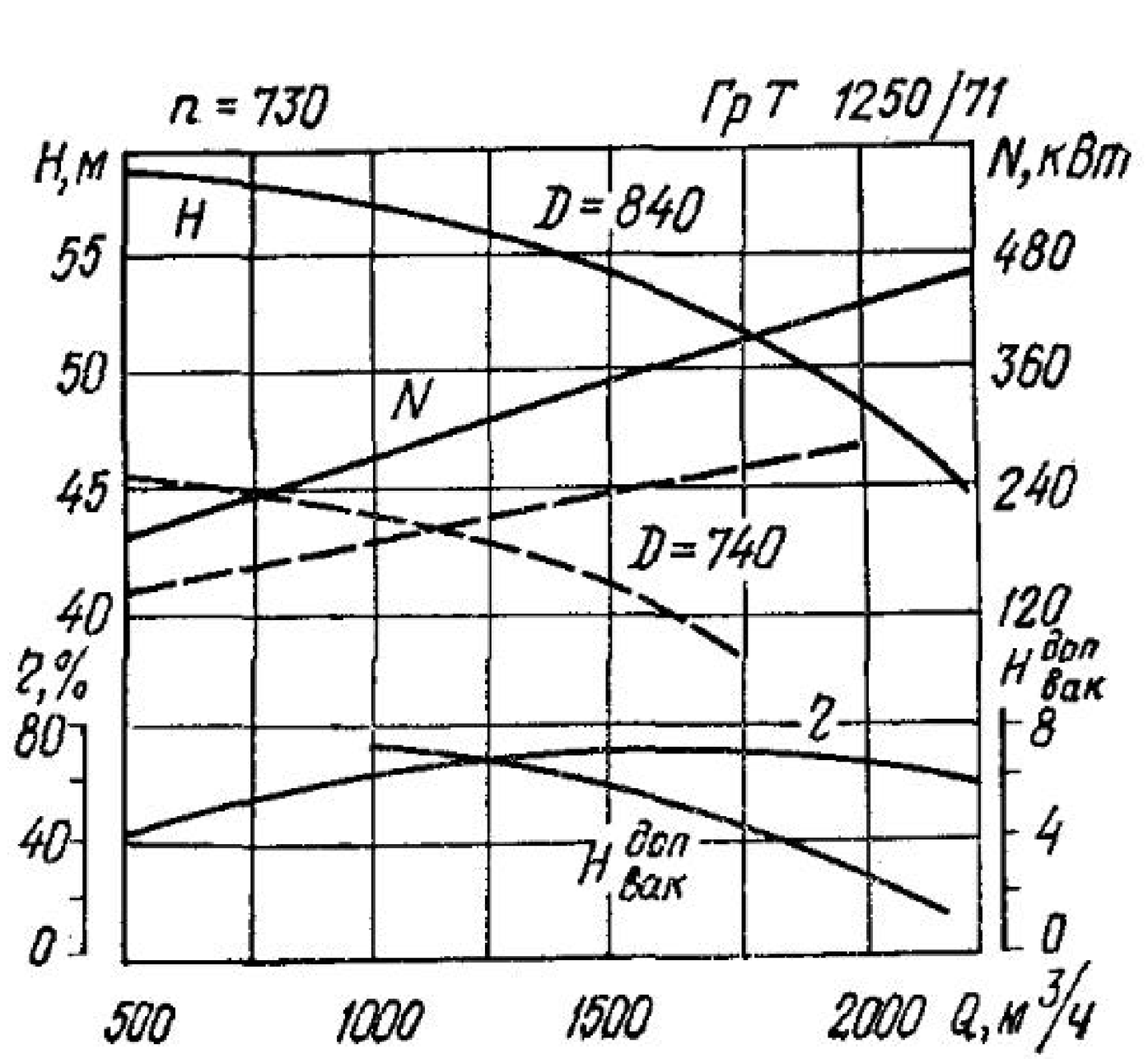

n = 585 об/мин
Гр У 2000/63
H,м
70
60
50
H
D=1050
N
N,кВт
600
500
400
300
η,%
90
70
50
30
η
500
1000
1500
2000
Q,м³/ч


n = 980
Гр 1250/71
H,м
80
60
H
D = 720
N
N,кВт
600
500
400
300
200
η,%
60
40
20
0
η
0
500
1000
1500
Q,м³/ч


n = 730
Гр У 1250/28
H,м
35
30
25
20
H
D = 1050
N
N,кВт
180
160
140
120
100
80
η,%
60
40
20
0
η
0
500
1000
1500
Q,м³/ч


n = 485
Гр Т 4000/71
H,м
70
60
50
40
H
D = 1390
D = 1250
N
N,кВт
2000
1500
1000
500
0
η,%
80
40
0
η
0
2000
4000
6000
Q,м³/ч


n = 980
Гр Т 800/71
H,м
90
80
70
60
D = 724
H
N
N,кВт
230
210
190
170
150
130
110
η,%
80
60
40
20
0
η
100
300
500
700
Q,м³/ч


n = 730
Гр Т 1250/71
H,м
55
50
45
40
H
D = 840
N
D = 740
N,кВт
480
360
240
120
η,%
80
40
0
η
H доп вак
8
4
0
H доп вак
500
1000
1500
2000
Q,м³/ч

Приложение 7. Применение программируемых микрокалькуляторов при выполнении расчетов в проекте «Насосная станция»

Использование современной вычислительной техники при курсовом проектировании повышает точность и снижает затраты времени для многих трудоемких расчетов, позволяет увеличить число вариантов, рассматриваемых в проекте, вырабатывает у студентов навыки постановки и решения инженерных задач с помощью ЭВМ.

Многие задачи проекта «Насосная станция» могут решаться на получивших широкое распространение программируемых микрокалькуляторах типа Электроника: БЗ-34, МК-54, МК-56, МК-61 и МК-52.

Нижеприведенные программы записаны на входном языке микрокалькулятора Электроника БЗ-34. С помощью соответствующих символов одинаковых команд представленные программы легко переводятся на язык микрокалькуляторов Электроника МК:

БЗ-34:	ИП	П	⇆	↑	A	B	C	Д	arcsin
МК	: П→x	x→П	↔	B↑	*a*	*b*	*c*	*d*	$\sin^{-1}$

Для пользования приведенными программами достаточно, чтобы расчетчик умел вводить программы в микрокалькулятор.

Следует помнить, что при введении в режиме программирования очередного шага программы, двузначное число в левой части индикатора обозначает код вводимой команды, а двузначное число в правой части индикатора — номер следующего шага программы.

Приводимые ниже программы: «Перемычка», «Парабола», «Обточка I», «Обточка II», «Совместная работа насосов и водоводов» и «Обточка III» могут быть использованы в курсовом проектировании.

«Перемычка»

Программа предназначена для вычисления гидравлических потерь при аварии в системе двух водоводов одинакового диаметра с перемычками. На участке длиной l_1, расход Q подается по двум водоводам, а на участке, длиной l_2 — по одному (рис. 1).

Рекомеидуется использовать программу при построении характеристик водоводов.

Расчетные формулы:

$$h_w = Mi_2l_2 + Mi_1l_1 + \zeta \frac{v_1^2}{2g};$$

$$i = \frac{A_1}{2g}\left[\left(A_0 + \frac{C}{v}\right)^m d^{m+1}\right] v^2,$$

где h_w — суммариые потери напора в напорных водоводах, м; M — коэффициент, учитывающий местные потери в напорных водоводах, принимаемый 1,05—1,2; i — гидравлический уклон; l — длина участка, м; ζ — суммарный коэффициент местного сопротивления в перемычке, принимаемый $\zeta = 3$; v — скорость в трубопроводе; $g = 9{,}8$ м/с²; d — расчетиый внутренний диаметр трубопровода, м, принимаемый по табл. 1; $A_1/2g$, A_0, C и m — константы, принимаемые по табл. 2; индексы указывают, какому участку соответствует величины i, l, v.

Рис. 1

После введения в программу расчетные величины размещаются в регистрах памяти следующим образом:

m = РД; A_0 = РС; $A_1/2g$ = РВ; C = РА; $A_1'/2g$ = Р9; C' = Р8;

d = Р7; l_2 = Р6; l_1 = Р5; $\zeta/2g$ = Р4; M = Р3; Ml_2l_2 = Р2;

счетчик = РО.

Таблица 1. **Расчетные внутренние диаметры трубопроводов для определения гидравлических потерь, м**

Условный проход, мм	Трубы				
	Стальные электросварные	Чугунные	Асбестоцементные	Железобетонные	Пластмассовые
50	0,064	—	—	—	0,041
80	0,095	0,083	—	—	0,073
100	0,114	0,102	0,1	—	0,09
150	0,158	0,152	0,141	—	0,13
200	0,209	0,203	0,189	—	0,163
250	0,26	0,253	0,234	—	0,204
300	0,311	0,304	0,279	—	0,279
350	0,363	0,352	0,323	—	0,315
400	0,412	0,401	0,368	—	0,353
450	0,466	0,451	—	—	0,399
500	0,516	0,501	0,456	0,5	0,461
600	0,616	0,6	—	0,6	0,581
700	0,706	0,699	—	0,7	—
800	0,804	0,799	—	0,8	—
900	0,904	0,899	—	0,9	—
1000	1,004	0,998	—	1	—
1200	1,202	—	—	1,2	—
1400	1,4	—	—	1,4	—
1600	1,6	—	—	1,6	—

Таблица 2. **Значения констант в формулах для гидравлического расчета трубопроводов согласно нормативным требованиям [3]**

Вид труб	m	A_0	$1000\frac{A_1}{2g}$	C	$1000K$	n	p
Новые стальные с битумным защитным покрытием или без него	0,226	1	0,81	0,684	1,79	1,9	5,1
Новые чугунные с битумным защитным покрытием или без него	0,284	1	0,734	2,36	1,79	1,9	5,1
Неновые стальные и неновые чугунные с битумным защитным покрытием или без него:							
$v < 1{,}2$ м/с	0,3	1	0,912	0,867	1,735	2	5,3
$v \geqslant 1{,}2$ м/с	0,3	1	1,07	0	1,735	2	5,3

Продолжение табл. 2

Вид труб	m	A_0	$1000\frac{A_1}{2g}$	C	$1000K$	n	p
Асбестоцементные	0,19	1	0,561	3,51	1,18	1,85	4,89
Железобетонные виброгидропрессованные	0,19	1	0,802	3,51	1,688	1,85	4,89
Железобетонные центрифугированные	0,19	1	0,706	3,51	1,486	1,85	4,89
Стальные и чугунные с внутренним пластмассовым или полимерцементным покрытием, нанесенным центрифугированием	0,19	1	0,561	3,51	1,18	1,85	4,89
Пластмассовые	0,226	0	0,685	1	1,052	1,774	4,774
Стеклянные	0,226	0	0,745	1	1,144	1,774	4,774

Программа

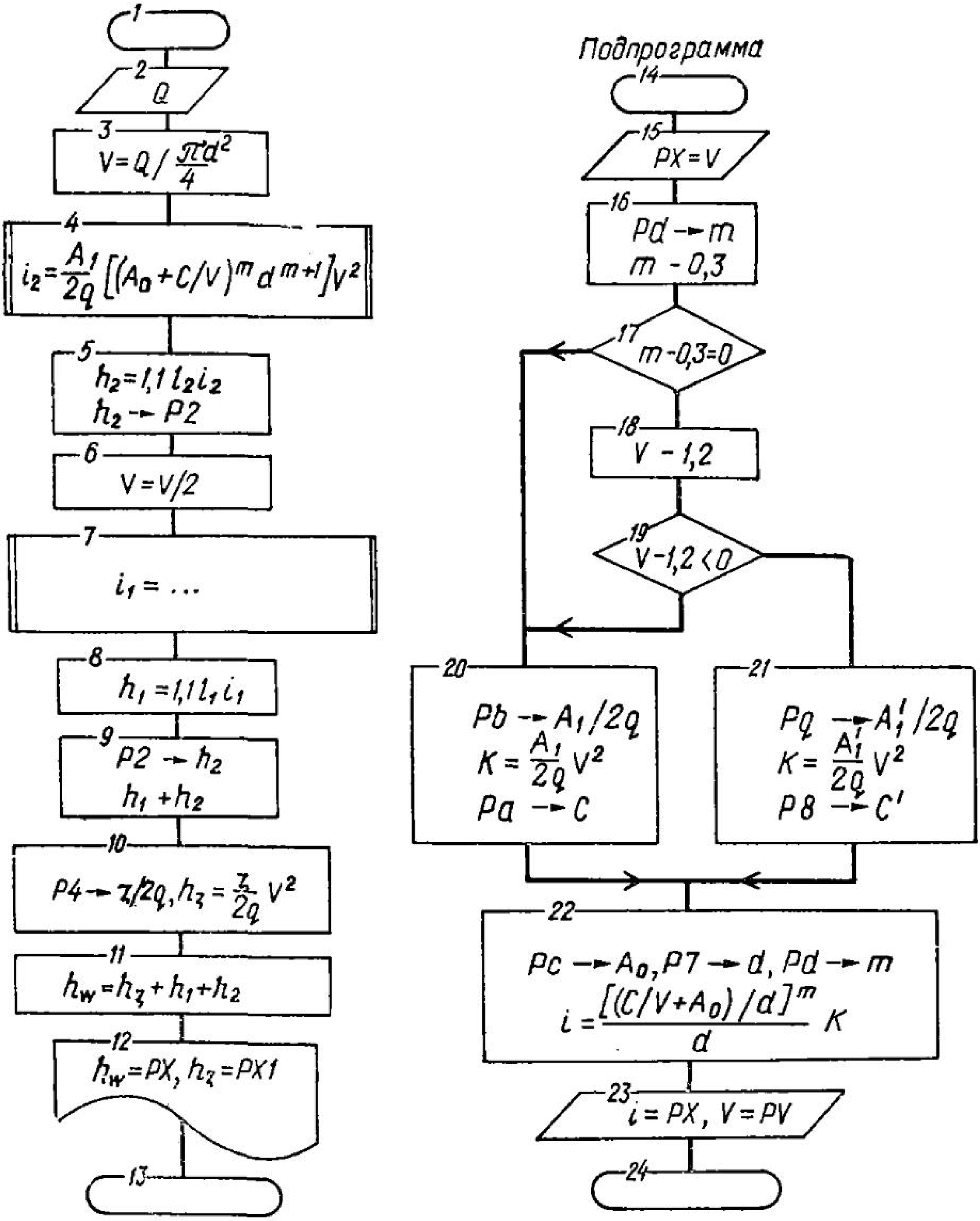
Шаг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
Команда	ИП7	Fx^2	:	Fπ	:	4	×	ПП	27	ИП6
Код	67	22	13	20	13	04	12	53	27	66
Шаг	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Команда	×	П2	⇆	2	:	ПП	27	ИП5	×	ИП2
Код	12	42	14	02	13	53	27	65	12	62
Шаг	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Команда	+	⇆	Fx^2	ИП4	×	+	С/П	↑	↑	ИПД
Код	10	14	22	64	12	10	50	OE	OE	6Г
Шаг	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Команда	0	,	3	—	Fx=0	43	F○	1	,	2
Код	00	0—	03	11	5E	43	25	01	0—	02
Шаг	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Команда	—	Fx<0	67	F○	ИПВ	⇆	Fx^2	×	⇆	ИПА
Код	11	5E	67	25	6L	14	22	12	14	6—
Шаг	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Команда	⇆	:	ИПС	+	ИП7	:	ИПД	⇆	Fx^y	⇆
Код	14	13	6C	10	67	13	6Г	14	24	14
Шаг	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Команда	F○	ИП7	:	×	ИП3	×	В/О	F○	ИП9	⇆
Код	25	67	13	12	63	12	52	25	69	14
Шаг	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Команда	Fx^2	×	⇆	ИП8	БП	50	1	4	ПО	С/П
Код	22	12	14	68	51	50	01	04	40	50
Шаг	80	81	82							
Команда	КПО	БП	79							
Код	LO	51	79							

Инструкция. I — пункт, действие — переход в режим программирования; нажимаемые клавиши — F ПРГ; на индикаторе — (00).

2. Ввод программы; по тексту программы.

3. Переход в режим вычислений; F АВТ; (0).

4. Обращение к вспомогательной программе ввода исходных данных; БП 76 С/П; (14).



Карта памяти

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d
		h_2	1,1	z/2q	l_1	l_2	d	C'	$\frac{A_1'}{2q}$	C	$\frac{A_1}{2q}$	A_0	m

Рис. 2

5. Ввод исходных данных; m С/П A_0 С/П $A_1/2g$ С/П C С/П $A_1'/2g$ С/П C' С/П d С/П l_2 С/П l_1 С/П $\zeta/2g$ С/П M С/П; (M).

6. Обращение к программе, счет; В/О Q С/П; (h_w); $\zeta v^2/2g$ = РХ1.

Примечания. 1. При выборе коэффициентов для неновых стальных и чугунных труб программа учитывает условие $v < 1{,}2$ м/с и $v \geqslant 1{,}2$ м/с. Коэффициенты $A_1'/2g$ и C' соответствуют условию $v \geqslant 1{,}2$ м/с. Для других труб вместо $A_1'/2g$ и C' следует ввести любое число, например, уже набранное на индикаторе C.

2. Расход Q следует подставлять в м³/с. После определения потерь для первого расхода для всех других расходов потери вычисляются только с пункта 6.

3. По данной программе можно определять потери для одного ($l_1 = 0$) и для двух водоводов ($l_2 = 0$). Для того чтобы исключить потери в перемычке, после вычисления h_w необходимо набрать FBx—; потери в водоводах будут на индикаторе.

4. Для получения $1000i$ необходимо задать $l_1 = 0$, $l_2 = 1000$ и исключить потери в перемычке.

Комментарий к программе. Шаги 00—06 — вычисление скорости v_2; 07—10 и 15—18 — вычисление потерь на втором и первом участках водовода; 21—23 — определеиие потерь в перемычке. Вычисление гидравлического уклона выделено в подпрограмму (шаги 27—75). Признаком неиовых стальных и чугунных труб служит условие $m = 0{,}3$. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 2.

Контрольиый пример: $m = 0{,}3$; $A_0 = 1$; $A_1/2g = 0{,}000912$; $C = 0{,}867$; $A_1'/2g = 0{,}00107$; $C' = 0$; $d = 0{,}3$; $l_2 = 1000$; $l_1 = 1000$; $\zeta/2g = 0{,}153$; $M = 1{,}1$; $Q = 0{,}1$. Результат вычислений $h_w = 14{,}397\ldots$ Время счета 33 с.

«Парабола» (для Б3-34 и МК-54)

Программа предназиачена для определения коэффициентов a_0, a_1 и a_2 аналитического выражения напора насоса

$$H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2.$$

Авторы программы — А. Цветков и В. Епанченков.

Аналитическое выражение строится по значениям координат H_i и Q_i нескольких точек в пределах рабочей зоны характеристики. По программе определяют такие значеиия коэффициентов a_0, a_1 и a_2, при которых среднеквадратическое отклонение напоров в этих точках от параболы будет минимальиым.

Программа может использоваться и для нахождения коэффициентов в аналитическом выражении мощности

$$N = b_0 + b_1 Q + b_2 Q^2.$$

Достаточная точность определения коэффициентов обеспечивается при обработке программой 3—8 точек.

Эта и последующие программы приводятся в записи только комаид (без кодов) по десять в строке; шаг команды определяется по ее месту в записи.

Программа

КНОП	С/П	П2	⇆	П3	1	2	ПО	КИП4	4
П1	ИП3	ПП	14	↑	КИПО	+	КП↑	⇆	ИП3
×	FL1	14	3	П1	ИП2	В/О	8	6	ПД

ИПА	ИП9	ИП9	ИП8	:	П2	КППД	П1	ИП4	ИПВ
ИП2	ИПА	КППД	ПВ	Fx^2	ИП1	:	—	ИПА	ИПА
ИП8	:	П3	КППД	П4	ИП6	ИП2	ИП5	КППД	П6
ИП7	ИП3	ИП5	КППД	ИП6	ИПВ	×	ИП1	:	—
ИП4	:	ПО	ИПВ	КППД	ИП1	:	П1	ИП5	ИП8
:	ИП2	ИП1	КППД	ИП3	ИПО	×	—	ПС	В/О
1	2	ПО	Сх	КП ↑	FLO	94	С/П		

Инструкция. 1—3. То же, что в программе «Перемычка».

4. Обращение к вспомогательной программе для обнуления регистров 0—11; БП 90 С/П; (0); время счета $t_c = 12$с.

5. Обращение к осиовной программе; В/О С/П; (О).

6. Ввод n пар координат; $Q_1 \uparrow H_1$ С/П $Q_2 \uparrow H_2$ С/П... $Q_n \uparrow H_n$ С/П; (H_n); время обсчета каждой пары $t_c \approx 23$ с.

7. Вычисление коэффициентов; БП 27 С/П; (a_2); $a_2 =$ РС, $a_1 =$ РI, $a_0 =$ РО, $t_c \approx 30$ с.

Примечание. Размерность: H, м; Q, м³/с; a_0, м; a_1, с/м²; a_2, с²/м⁵.

Комментарий к программе. На шагах программы 01—26 с вводом каждой пары координат Q_i и H_i вычисляются суммы ΣQ_i, ΣQ_i^2, ΣQ_i^3, ΣQ_i^4, ΣH_i, $\Sigma Q_i H_i$, $\Sigma Q_i^2 H_i$ и определяется число введенных пар. На шагах 27—89 решается система трех линейных уравнений, коэффициентами которых являются определенные выше суммы. Коэффициенты a_0, a_1 и a_2 являются корнями решаемой системы.

Контрольный пример: $Q_1 = 1$; $H_1 = 56$; $Q_2 = 1{,}4$; $H_2 = 52$; $Q_3 = 1{,}7$; $H_3 = 47$. Результаты вычислений: $a_0 = 52{,}6665037$; $a_1 = 12{,}859671$; $a_2 = -9{,}524745$.

«Обточка 1»

Определяется диаметр обточениого рабочего колеса $D_{об}$, мм, при котором характеристика насоса $H_{об} = f(Q_{об})$ проходит через заданиую точку A с координатами Q_A и H_A.

Расчетные формулы. В зависимости от значения коэффициента быстроходности

$$n_S = 3{,}65n \frac{\sqrt{Q_p}}{H_p^{3/4}}$$

решается одна из систем уравнений:

при $n_S < 150$

$$\begin{cases} H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 \\ H' = \dfrac{H_A}{Q_A^2} Q^2 \end{cases}$$

при $n_S \geqslant 150$

$$\begin{cases} H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 \\ H' = \dfrac{H_A}{Q_A} Q \end{cases}$$

В результате решения системы определяется напор в режимной точке H_E характеристики насоса при необточенном рабочем колесе. Диаметр обточенного рабочего колеса вычисляется по формуле

$$D_{об} = D \sqrt{\frac{H_A}{H_E}},$$

В число исходных данных входят характеристики насоса: частота вращения n, об/мин, подача $Q_р$, м³/с, и напор насоса $H_р$, м, в оптимальной режимной точке, диаметр рабочего колеса D, мм, коэффициенты, определяющие характеристику: a_0, м; a_1, с/м²; a_2, с²/м⁵.

Коэффициенты следует вычислять по программе «Парабола» или принимать по табл. 3.

Таблица 3. **Параметры аналитических характеристик водопроводных насосов**

Марка насоса	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Диаметр рабочего колеса, мм	a_0, м	$-a_2$, с²/м⁵
К8/18	2900	128	21,7	498 000
К20/30	2900	162	36,0	175 000
К20/18	2900	129	22,1	124 000
К45/55	2900	218	65,8	56 000
К45/30	2900	168	38,5	50 000
К90/85	2900	272	105,6	23 700
К90/55	2900	218	67,3	21 700
К90/35	2900	174	41,8	12 400
К90/20	2900	148	29,5	13 700
К160/30	1450	328	39,3	2970
К160/20	1450	264	25,2	2590
К290/30	1450	315	36,9	1290
К290/18	1450	268	24,3	913
600 В-1,6/100	600	1100	76,7	11,8
800 В-2,5/100	500	1360	78,2	4,12
1000В-4/63	368	1450	43,8	1,02
1000В-4/100	500	1185	51,8	1,04
1200В-6,3/100	375	2000	115	0,676
1200В-6,3/63	375	1800	74,8	0,412
Д2000-21	960	460	26,1	17
Д3200-33	960	550	38,3	7,8
Д5000-32	730	690	36,3	5,18
Д320-70	2950	242	92,6	3300
Д800-28	960	460	34,2	129
Д1250-65	1450	460	76,5	100
Д1000-40	960	540	47,3	83,5
Д1600-90	1450	540	107,3	88
Д2000-34	730	700	46	40
Д2500-62	960	700	75,2	30
Д2500-45	730	765	55,3	29
Д3200-75	960	765	92,2	23,6
Д3200-55	730	860	67	15
Д4000-95	960	860	118,2	16,7
Д5000-50	600	990	62	5,26
Д6300-80	750	990	98,8	6,14
Д200-95	2950	280	121	9600
Д200-36	1450	350	42,2	2860
Д320-50	1450	405	61,7	1570
Д500-36	960	525	47,8	484
Д630-90	1450	525	100,4	286
Д500-65	1450	465	80,7	840

Продолжение табл. 3

Марка насоса	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Диаметр рабочего колеса, мм	a_0, м	$-a_2$, с²/м⁵
Д800-57	1450	432	68,8	258
Д1250-125	1450	660	150	220
Д2000-100	970	855	121	75
Д6300-27	585	740	26,7	4,87
Д12500-24	485	985	34	0,84

Примечание. Коэффициенты a_0 и a_2 вычислены Е. А. Прегером [11].

Точка A задается расходом Q_A, м³/с, и напором H_A, м.

Исходные данные после введения их в программу размещаются в регистрах памяти следующим образом: $Q_р$ = РД, $H_р$ = РС, n = РВ, D = РА, a_0 = Р9, a_1 = Р8, a_2 = Р7, Q_A = Р6, H_A = Р5, ε^2 = Р4, 3,65 = Р3, 150 = Р2, счетчик = РО.

Здесь ε — задаваемая точность определения H_E. Для практических расчетов достаточно принимать $\varepsilon^2 = 0{,}001$.

В процессе счета часть регистров используется для содержания других величин: H_A/Q_A^2 = РО, H_A/Q_A = РI, $H - H'$ = Р3, ΔQ = Р6, n_S = РВ, H = РС, Q = РД.

Здесь Q, H и H' — текущие значения расходов и соответствующих им напоров при решении системы уравнений методом последовательных приближений; ΔQ — изменение расхода в приближениях.

Примечания. $H_р$, м, и $Q_р$, м³/с, принимаются по обозначению насосов; для насосов типа Д $Q_р$ принимается равным половине значения подачи, входящего в обозначение насоса. Например, для насоса Д3200-55 : $H_р$ = 55 м, $Q_р$ = 3200/(2 × 3600) = 0,444 м³/с.

Программа

3	↑	4	:	ИПС	Fx^y	$F\frac{1}{x}$	ИПД	$F\sqrt{-}$	×
ИПВ	×	ИП3	×	ПВ	ИП5	ИП6	:	1	ИП5
ИП6	Fx^2	:	ПО	ИП6	ПД	ИП6	2	:	П6
ИПД	ИП6	+	ПД	Fx^2	ИП7	×	ИПД	ИП8	×
ИП9	+	+	ИПВ	ИП2	—	Fx<0	68	F○	ПС
ИПД	Fx^2	ИПО	×	—	П3	Fx^2	ИП4	—	Fx<0
75	ИП5	ИПС	:	$F\sqrt{-}$	ИПА	×	С/П	F○	ПС
ИПД	ИП1	×	БП	54	ИП3	Fx<0	30	ИПД	ИП6
—	ПД	ИП6	2	:	П6	БП	30	1	4
ПО	С/П	КПО	БП	91					

Инструкция. 1—3. То же, что в программе «Перемычка».

4. Обращение к вспомогательной программе ввода исходных даниых; БП 88 С/П; (14).

5. Ввод исходных данных; $Q_р$ С/П $H_р$ С/П n С/П D С/П a_0 С/П a_1 С/П a_2 С/П Q_A С/П H_A С/П ε^2 С/П 3,65 С/П 150 С/П; (150).

6. Обращение к основной программе; В/О С/П; ($D_{об}$).

Коммеитарий к программе. Решение системы уравнений методом последовательных приближений состоит в том, что по некоторому расходу Q вычисляются напоры H и H'. Если $H - H^1 > 0$, расход увеличивается на ΔQ и вычисляются иовые значения напоров. Если $H - H^1 < 0$, расход уменьшается на ΔQ, ΔQ уменьшается в 2 раза, затем расход увеличивается на новое значение ΔQ и вычисление напоров продолжается. Если $(H - H^1)^2 < \varepsilon^2$, то приближения прекращаются,
и программа переходит к определению $D_{об}$. Первые вычисления производятся при зиачениях $Q = Q_A$ и $\Delta Q = Q_A/2$. Изменение расходов Q в процессе приближений показано на рис. 3.

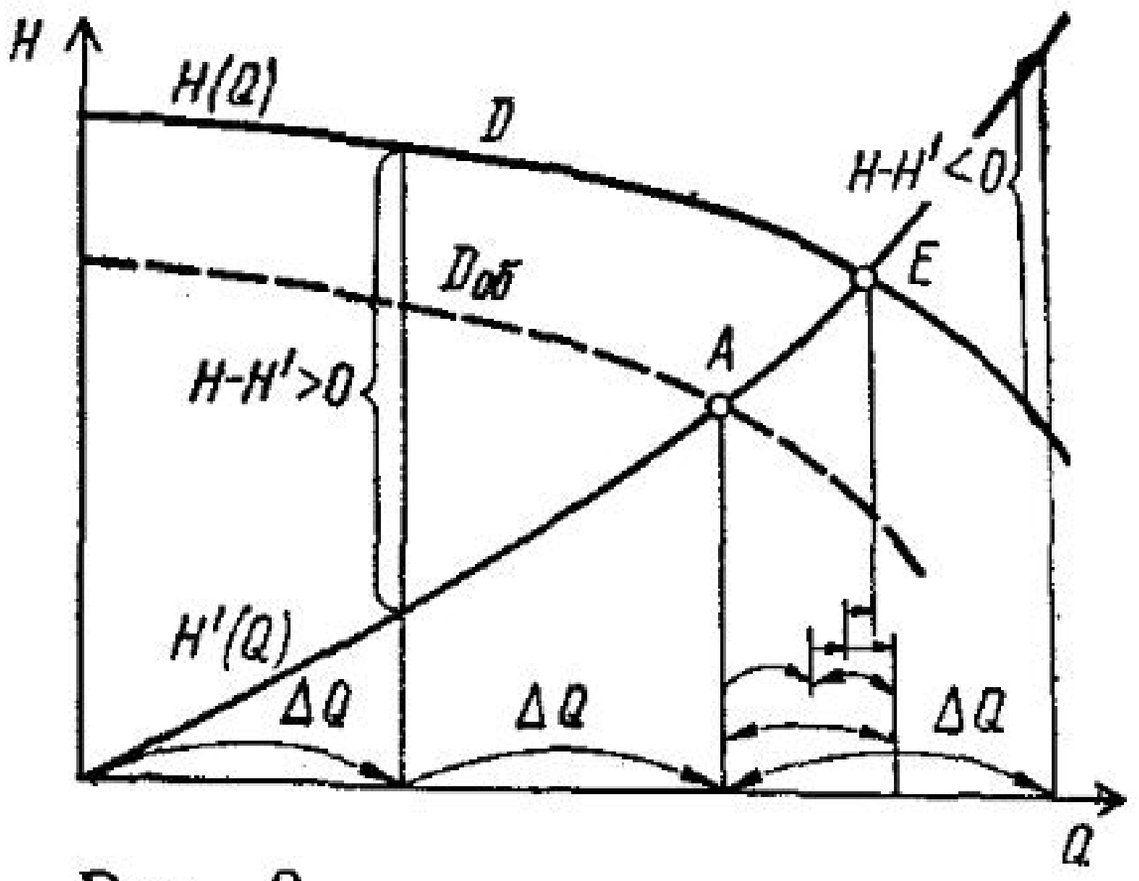


Рис. 3

Контрольиый пример: $Q_р = 0{,}166$, $H_р = 65$, $n = 1450$, $D = 460$, $a_0 = 76{,}5$, $a_1 = 0$, $a_2 = -100$, $Q_A = 0{,}34$, $H_A = 48$, $\varepsilon^2 = 0{,}0001$. Результат вычислений: $D_{об} = 405{,}88452$, время счета $t_с \approx 2{,}5$ мин.

«Обточка II»

Определение характеристики $H_{об} = f(Q_{об})$ иасоса с диаметром обточенного рабочего колеса $D_{об}$ по характеристике насоса с рабочим колесом D.

Расчетные формулы. В зависимости от значения коэффициента быстроходности

$$n_S = 3{,}65n\frac{\sqrt{Q_р}}{H^{0{,}75}}$$

определяется расход Q в режимной точке характеристики необточенного рабочего колеса, соответствующей точке с расходом $Q_{об}$ обточеного колеса насоса:

при $n_S < 150$ $\quad Q = Q_{об}\dfrac{D}{D_{об}}$;

при $n_S \geqslant 150$ $\quad Q = Q_{об}\left(\dfrac{D}{D_{об}}\right)^2$.

Напор насоса с обточенным рабочим колесом определяется по формуле

$$H_{об} = (a_0 + a_1Q + a_2Q^2)\left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2.$$

Условиые обозначения те же, что в предыдущей программе.

Исходные даиные после введеиия их в программу размещаются в регистрах памяти следующим образом: $D_{об}$ = РД, $Q_р$ = РС, $H_р$ = РВ, n = РА, D = Р9, a_0 = Р8, a_1 = Р7, a_2 = Р6, 3,65 = Р5, 150 = Р4, 0,75 = Р3, $Q_{об}$ = Р2, в регистрах Р0 и Р1 — счетчики.

В процессе счета засылается: Q = РС, n_S = РА, $\dfrac{D_{об}}{D}$ = Р3.

Программа

П2	ИПД	ИП9	:	П3	:	ИПА	ИП4	—	Fx<0
31	F○	ПС	ИПС	Fx²	ИП6	×	ИПС	ИП7	×
ИП8	+	+	ИП3	Fx²	×	ИП2	⇆	С/П	БП
00	F○	ИП3	:	БП	12	1	4	ПО	1
1	П1	С/П	КПО	FL1	42	ИП3	ИПВ	Fx^y	$F\frac{1}{x}$
ИПС	F√—	×	ИПА	×	ИП5	×	ПА	БП	28

Инструкция. 1—3. То же, что в программе «Перемычка».

4. Обращение к вспомогательной программе ввода исходных данных; БП 36 С/П; (11).

5. Ввод исходиых данных; $D_{об}$ С/П $Q_р$ С/П $H_р$ С/П n С/П D С/П a_0 С/П a_1 С/П a_2 С/П 3,65 С/П 150 С/П 0,75 С/П; (n_S).

6. Расчет $H_{обi}$; $Q_{обi}$ С/П; ($H_{обi}$); $Q_{обi}$ = РУ; время счета $t_с$ = 8 с.

Примечания. Порядок команд в п.6 может быть иным: $Q_{обi}$ ВО С/П или В/О $Q_{обi}$ С/П.

Для расчета характеристики $H_{об} = f(Q_{об})$ повторяются команды п. 6 при различных $Q_{обi}$.

Для расчета характеристики при другом зиачении обточенного диаметра $D'_{об}$ перед выполиением п. 6 значения этого диаметра необходимо заслать в регистр Д.

Этим способом можно подобрать необходимый диаметр обточенного рабочего колеса (рис. 4).

Контрольный пример. $D_{об} = 406$, $Q_р = 0{,}166$, $H_р = 65$, $n = 1450$, $D = 460$, $a_0 = 76{,}5$, $a_1 = 0$, $a_2 = -100$, $Q_{об} = 0$. Результат расчета: $H_{об} = 59{,}59$.

«Совместная работа насосов и водоводов»

Построение графиков совместной работы насосов и водоводов и определение режимных точек (рис. 5).

Расчетиые формулы:

$$\begin{cases} H_т = H_0 + ML\dfrac{K}{d^p}\left(\dfrac{Q}{т}\right)^n + \dfrac{\Sigma h}{Q^2_{н.с}}Q^2; \\ H_н = a_0 + a_i\dfrac{Q}{н} + a_2\left(\dfrac{Q}{н}\right)^2, \end{cases}$$

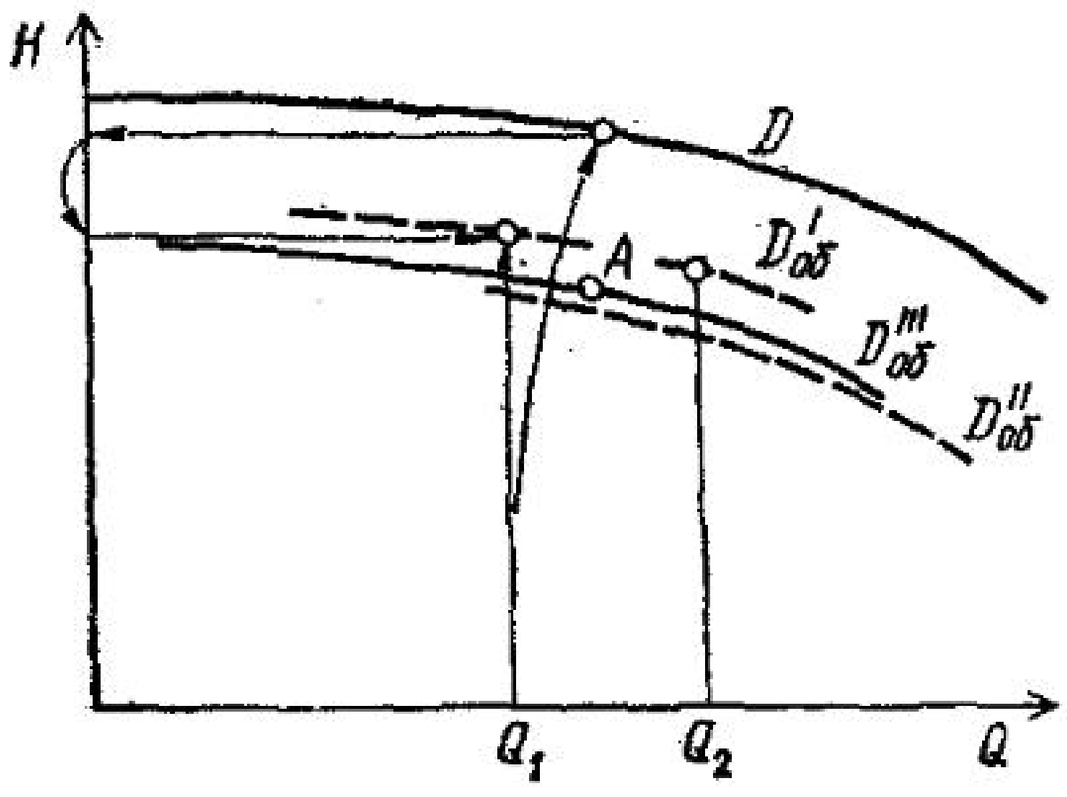


Рис. 4

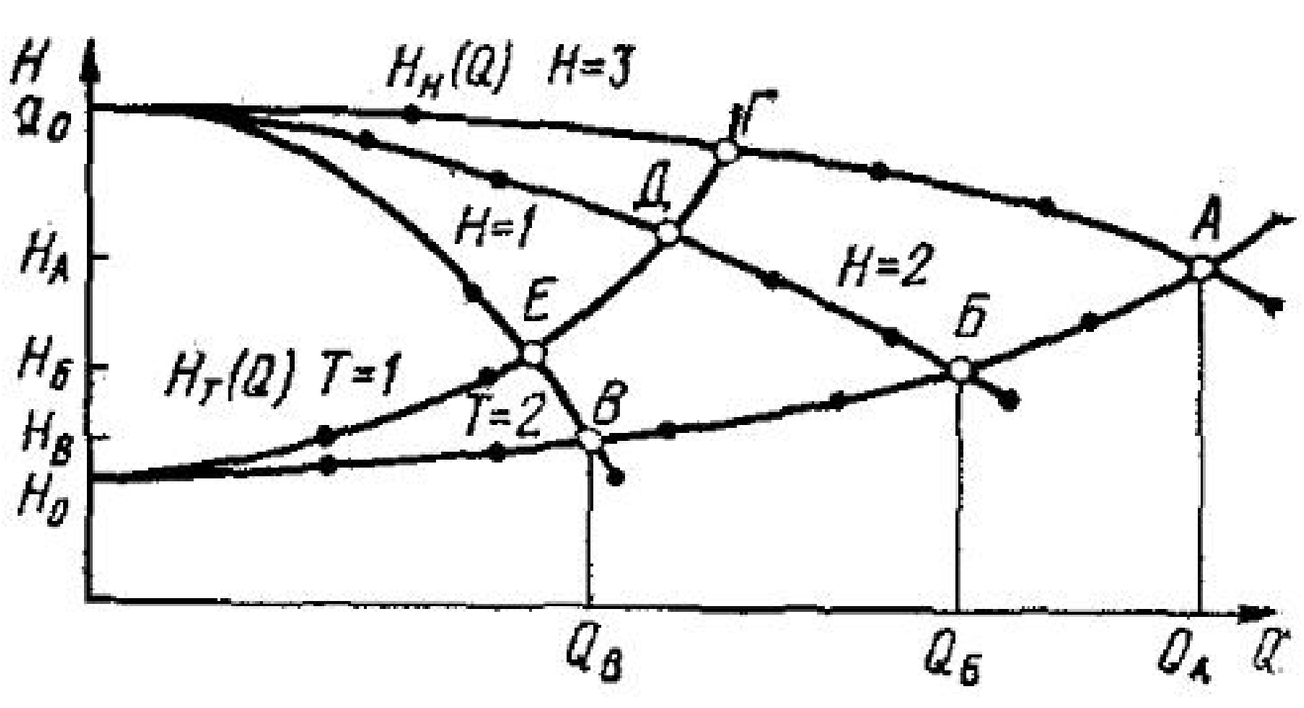


Рис. 5

где $H_т$ — напор в трубопроводе, м; H_0 — статический напор, м; M — коэффициент, учитывающий местные потери в водоводах, принимаемый 1,05—1,2; L — длина водовода, м; d — расчетный внутренний диаметр трубопровода, м, принимаемый по табл. 1; Q — расход, м³/с; K, p и n — константы, определяемые по табл. 2; т — число ниток водоводов; Σh — сумма гидравлических потерь в насосной станции и в водомерах при подаче расхода $Q_{н.с}$, м; $Q_{н.с}$ — расход, при котором определены потери в насосной станции, м³/с; $H_н$ — напор насосов, м; a_0, a_1, a_2 — коэффициенты, определяющие характеристику насоса; вычисляются по программе «Парабола» или принимаются по табл. 3; н — число насосов.

Система решается методом последовательных приближений, описанным в программе «Обточка I»: ΔQ — изменение расхода, м³/с; ε — точность решения системы относительно H.

После окончательного ввода исходных данных и выполнения расчетов подготовительного цикла регистры памяти заполняются следующим образом: $a_0 =$ РД, $a_1 =$ РС, $a_2 =$ РВ, н = РА, $\varepsilon^2 =$ Р9, $Q =$ = Р8, $\Delta Q =$ Р7, Q/н или Q/т = Р6, $n =$ Р5, т = Р4, $H_0 =$ Р3, $\Sigma h/Q^2_{н.с} =$ Р2, $MLK/d^p =$ Р1, $H_т =$ РО.

Программа

ИП6	ИП8	Fx^y	$F\frac{1}{x}$	ИП7	ИПА	ИП9	×	×	×
П1	ИПС	ИПВ	Fx^2	:	П2	С/П	2	:	П7
ИП8	ПП	57	ПО	ИП8	ПП	73	—	↑	Fx^2
ИП9	—	/—/	$Fx \geqslant 0$	38	ИПО	ИП8	С/П	⇆	$Fx < 0$
47	ИП8	ИП7	+	П8	БП	20	ИП8	ИП7	—
П8	ИП7	2	:	П7	БП	41	ИП4	:	П6
ИП5	ИП6	Fx^y	ИП1	×	ИП6	Fx^2	ИП2	×	ИП3
+	+	В/О	ИПА	:	П6	Fx^2	ИПВ	×	ИП6
ИПС	×	ИПД	+	+	В/О	П9	С/П	КПП9	БП
87	1	4	ПО	С/П	КПО	БП	94		

Инструкция. 1—3. То же, что в программе «Перемычка».

4. Обращение к вспомогательной программе ввода исходных данных; БП 91 С/П; (14).

5. Ввод первой группы исходных данных; С/П Σh С/П $Q_{н.с.}$ С/П; M С/П L С/П d С/П K С/П p С/П n С/П т С/П H_0 С/П; (H_0).

6. Подготовительный цикл; В/О С/П; ($\Sigma h/Q^2_{н.с.}$).

7. Обращение к программе ввода исходных данных; БП 91 С/П (14).

8. Ввод второй группы исходных данных; a_0 С/П a_1 С/П a_2 С/П н С/П ε^2 С/П Q С/П; (Q).

После этого решается одна из задач, приведенных в пп. 9, 10 и 12.

9. Определение режимных точек совместной работы насосов и водоводов; БП 17 QП8 С/П; (Q_A); $H_A =$ РУ; $t_c \approx$ 350 с.

При определении режимных точек ($Б$, $В$, $Г$, ...) с другими значениями н и т перед выполнением команд п. 9 засылают $Q =$ Р8, т = Р4, н = РА.

10. Обращение к подпрограмме определения характеристик параллельно соединеиных трубопроводов $H_т = f(Q)$; БП 86 57 С/П; (57).

11. Вычисление $H_{тi}$; Q_i С/П; ($H_{тi}$); время счета $t_c =$ 9 с. Для определения $H_{тi}$ при других значениях Q_i, повторяются команды п. 11.

12. Обращение к подпрограмме определения характеристик параллельно соединенных насосов $H_н = f(Q)$; БП 86 73 С/П; (73).

13. Вычисление $H_{нi}$; Q_i С/П; $(H_{нi})$; время счета $t_c = 8$ с. Для вычисления $H_{нi}$ при других значениях Q_i повторяются команды п. 11.

Примечания. 1. При вычислении режимных точек (пп.8 и 9) вводимое предварительное значение расхода Q должно быть меньше расхода режимной точкн.

2. Программа не считает $H_{тi}$ и $H_{нi}$ (пп. 11 и 13) для расходов $Q_i = 0$ и выдает ЕГГОГ. Для практических расчетов вместо $Q_i = 0$ подставляют $Q_i = 0{,}001$.

Комментарий к программе. $H_т$ вычисляется по подпрограмме ПП 57, а $H_н$ — по подпрограмме ПП 73. Для построения характеристик $H_т = f(Q)$ и $H_н = f(Q)$ используют косвенное обращение к этим программам КПП9. Вспомогательная программа (шаги 91—97) помогает вводить исходные данные в соответствующие регистры памяти. До начала приближений ΔQ определяется по формуле

$$\Delta Q = Q/2.$$

Контрольный пример: $\Sigma h = 3$; $Q_{н.с.} = 0{,}55$; $M = 1{,}1$; $L = 3000$; $d = 0{,}516$; $K = 0{,}001735$; $p = 5{,}3$; $n = 2$; т $= 2$; $H_0 = 24$; $a_0 = 42{,}2$; $a_1 = 0$; $a_2 = -286$; и $= 3$; $\varepsilon^2 = 0{,}001$; $Q = 0{,}5$. Результат расчета: $Q_A = 0{,}471\ldots$, $H_A = 35{,}14\ldots$.

«Обточка III»

Определяется диаметр обточенного рабочего колеса и характеристика насоса $H_{об} = f(Q_{об})$ с помощью аналитического решения.

Расчетные формулы. Справедливые при $n_S < 150$ системы уравнений

$$\begin{cases} H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 \\ \dfrac{Q_A}{Q} = \dfrac{D_{об}}{D} \\ \dfrac{H_A}{H} = \left(\dfrac{D_{об}}{D}\right)^2 \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} H_{об} = H\left(\dfrac{D_{об}}{D}\right)^2 \\ H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 \\ Q = Q_{об}\dfrac{D}{D_{об}} \end{cases}$$

имеют аналитические решения

$$D_{об} = D\,\frac{2(H_A - a_2 Q_A^2)}{a_1 Q_A + \sqrt{a_1^2 Q_A^2 - 4a_0(H_A - a_2 Q_A^2)}}$$

и

$$H_{об} = a_0\left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2 + a_1\frac{D_{об}}{D}Q_{об} + a_2 Q_{об}^2,$$

где H — напор, м; Q — подача, м³/с; a_0, a_1 и a_2 — коэффициенты аналитического выражения характеристики; D — диаметр рабочего колеса базового насоса; $H_{об}$, $Q_{об}$ и $D_{об}$ — те же параметры для насоса с обточенным рабочим колесом; H_A и Q_A — напор, м, и подача, м³/с, режимной точки, для которой производится обточка колеса.

При $n_S \leqslant 150$ системы уравнений

$$\begin{cases} H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 \\ \dfrac{Q_A}{Q} = \left(\dfrac{D_{об}}{D}\right)^2 \\ \dfrac{H_A}{H} = \left(\dfrac{D_{об}}{D}\right)^2 \end{cases} \quad \text{и} \quad \begin{cases} H_{об} = H\left(\dfrac{D_{об}}{D}\right)^2 \\ H = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 \\ Q = Q_{об}\left(\dfrac{D}{D_{об}}\right)^2 \end{cases}$$

имеют решения

$$D_{об} = D\left(\frac{2a_2Q_A^2}{H_A - a_1Q_A = \sqrt{(H_A - a_1Q_A)^2 - 4a_0a_2Q_A^2}}\right)^{0,5}$$

и

$$H_{об} = a_0\left(\frac{D_{об}}{D}\right)^2 + a_1Q_{об} + a_2\left(\frac{D}{D_{об}}\right)^2 Q_{об}^2.$$

По данной программе в зависимости от величины n_S вычисляют $D_{об}$ и $H_{об}$.

Примечание. Ограниченность объема памяти микрокалькулятора не позволила включить в программу вычисление n_S. Эту операцию следует выполнять вручную. Так же вручную определяется обточка рабочего колеса в %:

$$\Delta D = \left(1 - \frac{D_{об}}{D}\right) 100\ \%.$$

В зависимости от коэффициента быстроходности рекомендуются следующие пределы обточки колес:

n_S	60 — 120	120 — 300	200 — 300
ΔD	20 — 25	15 — 11	11 — 7

Программа

$Fx<0$	54	ИП4	ИП2	×	ПВ	ИП1	ИП3	ИП2	Fx^2
×	—	2	×	↑	ИП5	2	×	×	ИПВ
Fx^2	+	$F\sqrt{}$,	ИПВ	+	:	ПД	ИП4	×	ПВ
ИП3	ПС	ИП5	ИПД	Fx^2	×	ПА	ИП6	ИПД	×
П8	С/П	П9	Fx^2	ИПС	×	ИП9	ИПВ	×	ИПА
+	+	БП	41	ИП1	ИП2	ИП4	×	—	ПВ
2	ИП3	ИП2	Fx^2	×	×	ПС	ИПВ	Fx^2	2
ИП5	×	ИПС	×	—	$F\sqrt{}$	ИПВ	—	(—)	:
$F\sqrt{}$	ПД	ИП4	ПВ	ИП3	ИПД	Fx^2	:	ПС	ВП
32	7	ПО	С/П	КПО	БП	БП	93		

Инструкция. 1—3. То же, что в предыдущих программах.

4. Обращение к вспомогательной программе ввода исходных данных; ВП 91 С/П; (7).

5. Ввод исходиых даниых; D С/П a_0 С/П a_1 С/П a_2 С/П Q_A С/П H_A С/П; (H_A).

6. Вычисление вручную n_S —150. Коэффициент быстроходности n определяется по формуле, приведениой в программе «Обточка I». Для вычислений $n_S = 150$ вручную удобен следующий алгоритм:

$$0{,}75\ \uparrow\ H_pFx^4F\frac{1}{x}Q_pF\sqrt{}\times n\times 3{,}65\times 150 -$$

Результат вычислений остается в РХ (и на индикаторе) и является исходной величиной при дальнейших вычислениях по программе. При вычислениях вручную программа и введенные исходные данные сохраняются в памяти ПМК.

7. Обращение к основиой программе, вычисление $D_{об}$; В/О С/П ($D_{об}$); $D_{об}/D$ = РД; время счета 11—14 с.

8. Вручную проверяется допустимость обточки рабочего колеса. Для вычислений вручную удобен алгоритм

1 ИПД — 100 ×

Результат (ΔD) сопоставляют с допустимыми пределами.

9. Вычисление значений $H_{об.t}$; $Q_{об,t}$ С/П; ($H_{об.t}$); $Q_{об.t}$ = РО; время счета $t_c = 4$ с.

При построении характеристики $H_{об.t} = f(Q_{об.t})$ повторяются команды п. 9 при различных $Q_{об.t}$. Специального обращения к месту блока в программе не требуется, так как по окончании расчета $H_{об.t}$ программа переводится в начало этого расчета.

Комментарий к программе. В зависимости от величины n_S расчет производится по одной из двух ветвей (шаги 02—31 и 54—90). Общая часть программы определения $D_{об}$ — шаги 32—41. После остановки программы и индикации вычисленного значения $D_{об}$ вводят $D_{об.t}$ и запуском программы определяют $H_{об.t}$. Так как этот блок предназначен для построения $H_{об.t} = f(Q_{об.t})$ и используется многократно, в программе по окончании счета командой БП 41 предусмотрено возвращение к его началу. Для удобства автоматического размещения в адресуемых регистрах памяти 6 значений исходных данных на шагах 91—96 предусмотрена программа ввода исходных данных.

Контрольный пример: $D = 460$, $a_0 = 76{,}5$, $a_1 = 0$, $a_2 = -100$, $Q_A = 0{,}34$, $H_A = 48$; $n_S - 150 = -10$.

Результаты вычислений: $D_{об} = 405{,}8\ldots$, время счета 11 с.

Так как программа разветвляющаяся, делается еще одна проверка: исходные — те же; $n_S - 150 = 10$.

Результат вычислений: $D_{об} = 414{,}8\ldots$, время счета 14 с.

Проверка вычисления $H_{об.t}$: $Q_{об.t} = 0{,}34$.

Результат: $H_{об.t} = 48$, время счета $t_c = 4$ с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А б р а м о в Н. Н. Водоснабжение.— М. : Стройнздат, 1981.— 358 с.

2. Водоснабжение. Технико-экономические расчеты / Под ред. Г. М. Басса.— К. : Вища шк. Головное изд-во, 1977.— 152 с.

3. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Нормы проектирования: СНиП2.04.02-84: Утв. Гос. ком. СССР по делам ст-ва.— М. : Стройиздат, 1985.— 136 с.

4. Канализация. Наружные сети и сооружения. Нормы проектирования: СНиП 2.04.03-85: Утв. Гос. ком. СССР по делам стр-ва.— М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986.— 72 с.

5. Канализация / С. В. Я к о в л е в, Я. А. К а р е л и н, А. И. Ж у к о в, С. К. К о л о б а н о в.— М. : Стройиздат, 1975.— 632 с.

6. К а р а с е в Б. В. Насосы и насосные станции.— Минск : Вышэйш. шк., 1979.— 288 с.

7. К а р е л и н В. Я., Н о в о д е р е ж к и н Р. А. Насосные станции с центробежными насосами.— М. : Стройиздат, 1983.— 224 с.

8. К о н с т а н т и н о в Ю. М. Гидравлика.— К. : Вища шк. Головное изд-во, 1981.— 360 с.

9. Л о б а ч е в П. В., Ш е в е л е в Ф. А. Расходомеры систем водоснабжения и канализации.— М. : Стройиздат, 1976.— 150 с.

10. М у с и е н к о Б. А., П о д л а с о в А. В., Ф и л ь ч а г о в Л. П. Водозаборы оросительных систем и охрана природы.— К. : Будівельник, 1982.— 116 с.

11. П р е г е р Е. А., К о р а б л е в А. И. Проектирование водопроводных и канализационных насосных станций.— М. ; Л. : ЛИСИ, 1979.— 63 с.

12. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок / Под ред. В. Ф. Ч е б а е в с к о г о — М. : Колос, 1982.— 320 с.

13. Р ы ч а г о в В. В., Ф л о р и н с к и й М. М. Насосы и насосные станции.— М. : Колос, 1975.— 416 с.

14. Справочник монтажника. Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации / Под ред. А. К. П е р е ш и в к и н а.— М. : Стройиздат, 1978.— 576 с.

15. Справочник монтажника. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений / Под ред. А. С. М о с к в и т и н а.— М. : Стройиздат, 1979.— 460 с.

16. Справочник по гидравлике / Под ред. В. А. Б о л ь ш а к о в а.— К. : Вища шк. Головиое изд-во, 1984.— 343 с.

17. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. И. А. Н а з а р о в а.— М. : Стройиздат, 1977.— 288 с.

18. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. В. Н. Самохина.— М. : Стройиздат, 1981.— 639 с.

19. Тугай А. М. Водоснабжение. Водозаборные сооружения.— К. : Вища шк. Головное изд-во, 1984.— 200 с.

20. Тугай А. М., Терновцев В. Е. Водоснабжение. Курсовое проектирование.— К. : Вища шк. Головное изд-во, 1980.— 208 с.

21. Турк В. И., Минаев А. В., Карелин В. Я. Насосы и насосные станции.— М. : Стройнздат, 1977.— 304 с.

22. Укрупненные показатели стоимости строительства. Здания и сооружения внеплощадочных систем водоснабжения и канализации промышленных предприятий.— М. : Стройиздат, 1980.— 144 с.

23. Шевелев Ф. А., Шевелев А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб.— М. : Стройиздат, 1984.— 116 с.