

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Водные ресурсы и инженерные дисциплины»

Г.И. Логинов

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО
ДИСЦИПЛИНЕ «НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ»**

Бишкек – 2020

УДК 620.92

Логинов Г.И.

Учебное пособие для практических занятий по дисциплине «Насосы и насосные станции» / Кыргызско-Российский Славянский университет. – Бишкек, 2020. – 55 с.

Содержат рекомендации для выполнения практических занятий по дисциплине «Насосы и насосные станции», краткие теоретические сведения по изучаемым процессам при водоподъеме, методику подбора основного оборудования насосных станций, последовательность проведения расчетов при определении параметров гидротехнических сооружений насосных станций.

Предназначены для студентов факультета архитектуры, дизайна и строительства обучающихся по профилям «Комплексное использование и охрана водных ресурсов» и «Гидротехническое строительство»

Рецензенты: Ордобаев Б.С. к.т.н, профессор, зав. каф. ЗЧС;

Акматов А.К. к.т.н., доцент, зав. каф. «Строительство».

Печатается по решению кафедры «Водные ресурсы и инженерные дисциплины».

КРСУ 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Насосы и насосные станции» изучается студентами 3 курса направления «Природообустройство и водные ресурсы» по профилю «Комплексное использование и охрана водных ресурсов». Практические занятия направлены на изучение методик обработки исходных данных при проектировании насосных станций, определения параметров и подбора основного гидромеханического оборудования гидроузла, расчета параметров зданий и гидротехнических сооружений насосных станций.

В учебном пособии описаны принципы действия различных конструкций насосов, области их применения, технические характеристики и режимы работы. Приведены рекомендации по расчету параметров насосов и зданий насосных станций, используемых при водоподаче в водохозяйственные системы и при проведении осушительных мелиораций.

Содержание

Введение	3
1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	5
2. ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	13
2.1. Определение расчетного напора насоса.....	15
2.2. Определение расчетной подачи одного насоса и количества насосов насосной станции.....	18
3. ПОДБОР НАСОСНОГО АГРЕГАТА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ	19
3.1. Подбор насоса по каталогу.....	19
3.2. Условные обозначения насосов.....	22
4. СХЕМЫ ВОДОПОДАЧИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИ-НАИВЫГОДНЕЙШЕГО ДИАМЕТРА ТРУБОПРОВОДОВ.....	25
4.1. Схемы подачи воды насосных станций.....	25
4.2. Расчет экономически-наивыгоднейшего диаметра напорного трубопровода.....	29
5. ВЫБОР ТИПА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ.....	34
5.1. Типы зданий насосных станций.....	34
5.2. Расчет параметров зданий насосных станций.....	36
5.3. Определение отметки оси насоса.....	46
6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАСОСНОГО АГРЕГАТА.....	48
7. ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ МЕЛИРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	50
Приложения.....	56

1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

При проектировании, строительстве и эксплуатации насосных установок и насосных станций необходимо различать следующие определения:

Насосы - гидравлические машины, служащие для преобразования механической энергии в гидравлическую энергию давления и движения жидкости (рисунок 1).

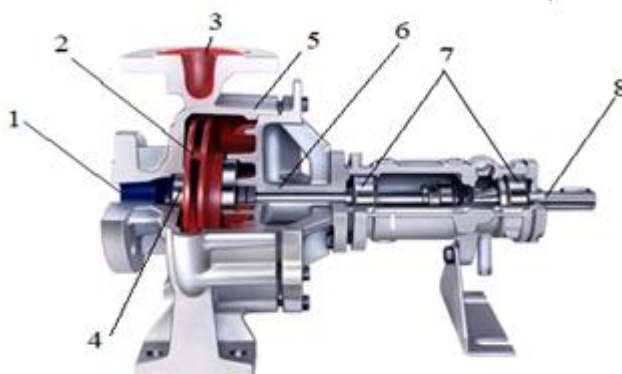


Рисунок 1 – Схема устройства центробежного насоса: 1 – всасывающий патрубок; 2 – рабочее колесо; 3 – напорный патрубок; 4 – гайка крепления рабочего колеса на валу; 5 – корпус насоса; 6 – защитная втулка; 7 и 10 – подшипники; 8 – вал вращения.

Насосный агрегат – это устройство, состоящее из насоса и двигателя, которые соединены между собой (рисунок 2). Соединение может быть непосредственным через вал или через промежуточную передачу.

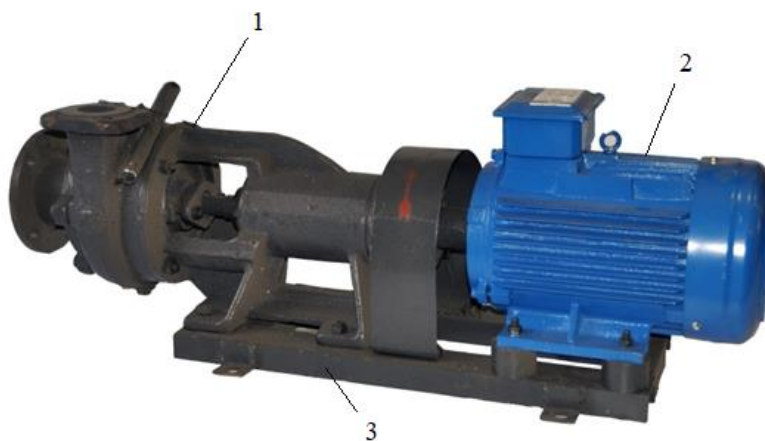


Рисунок 2 – Насосный агрегат: 1 – насос; 2 – электродвигатель; 3 – рама крепления.

Насосные установки — это комплекс устройств, которые включают насосный агрегат всасывающий и напорный трубопровод, контрольно-измерительную арматуру и приборы автоматического управления (рисунок 3).

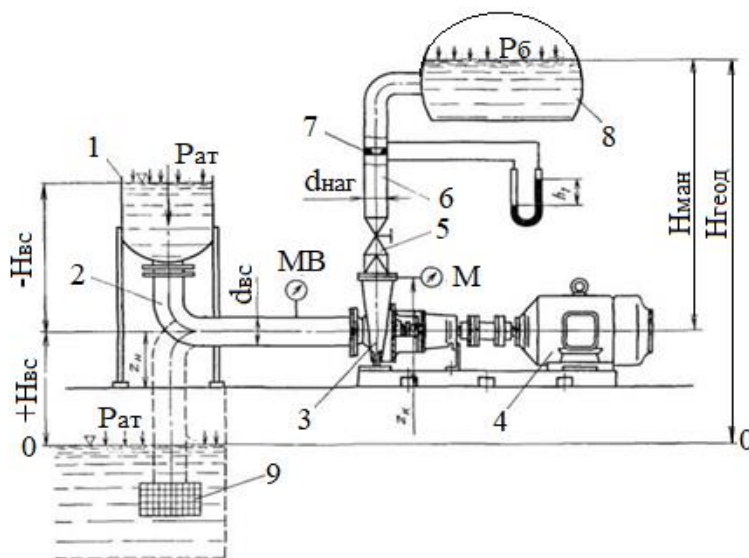


Рисунок 3 – Расчетная схема насосной установки с положительной или отрицательной высотой всасывания: 1 – резервуар источник; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – насос; 4 – электродвигатель; 5 – задвижка для регулирования подачи насоса; 6 – напорный трубопровод; 7 – водомерное устройство; 8 – напорный резервуар; 9 – сетчатый фильтр; 0-0 – плоскость сравнения расчетной схемы.

Насосные станции - это комплексные системы, служащие для подачи жидкости из источника к приемным устройствам и сооружениям. Насосная станция включает здание (рисунок 4), основное и вспомогательное оборудование насосных установок.

Насосные станции используются в качестве инфраструктуры для нужд водоснабжения и канализации, а также для удаления излишков воды на территориях, размещённых в низменности или затопленных в результате наводнений.

В зависимости от конструкции применяемых насосов здания насосных станций подразделяют на:

- здания промышленного типа;
- здания камерного типа;
- здания блочного типа.

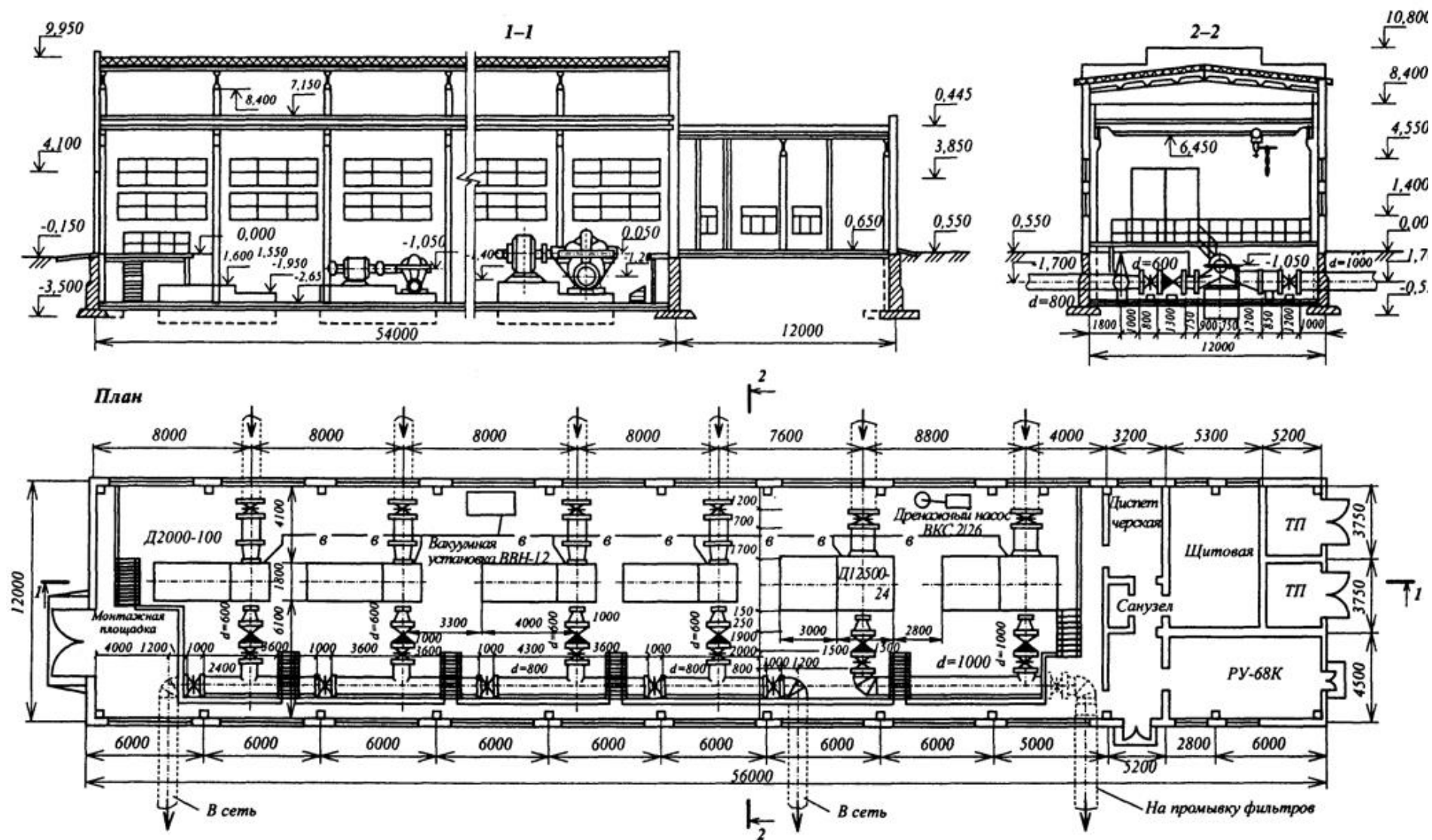


Рисунок 4 – Схема устройства здания насосной станции системы водоснабжения.

Классификация насосов

Насосы делятся на два основных вида: лопастные и объемные.

В лопастных насосах передача энергии происходит при силовом воздействии лопастей рабочего колеса на перекачиваемую жидкость.

В объемных насосах передача энергии жидкости производится при изменении объема рабочей камеры. При увеличении объема происходит процесс всасывания при уменьшении объема наблюдается процесс нагнетания жидкости.

Объемные насосы по направлению движения рабочего органа разделяют на насосы возвратно-поступательного действия и ротационные насосы, в которых рабочий орган изменяет объем рабочей камеры при вращении.

В современной инженерной практике объемные насосы используются для перекачивания вязких масляных жидкостей. При этом различают:

- насосы возвратно-поступательного действия: поршневые, плунжерные, диафрагменные.
- ротационные насосы: шестеренчатые, винтовые, пластинчатые, кулачковые.

Схематическая классификация насосов приведена на рисунке 5.

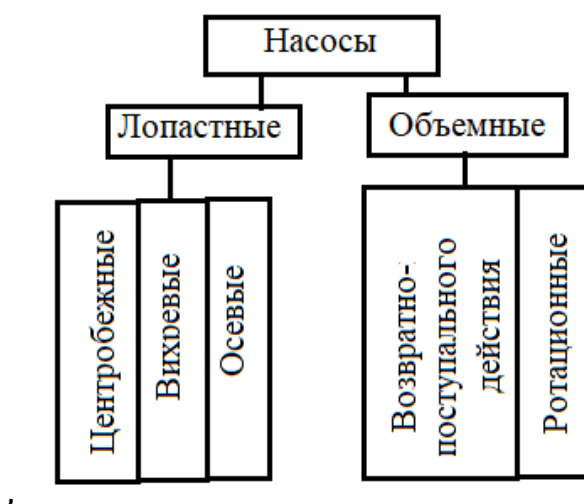


Рисунок 5 – Классификация насосов

Лопастные насосы по конструкции рабочего колеса и происходящим процессам подразделяют на центробежные, вихревые (насосы трения) и осевые.

Работа лопастных насосов основана на силовом воздействии лопастей рабочих колес на перекачиваемую жидкость (воду), которая проходит через межлопастное пространство. При этом механизмы взаимодействия лопастей и жидкости зависят от конструктивных особенностей насоса. Как правило в межлопастном пространстве жидкость получает скоростной напор, который в последующем превращается в статический напор. Это наблюдается при замедлении жидкости в объемной камере корпуса насоса.

Основные параметры

Основными параметрами насосов являются: подача, напор, мощность, коэффициент полезного действия и число оборотов рабочего колеса.

Подача (Q) это объем жидкости, проходящий через насос в единицу времени. Единицы измерения подачи насоса: л/с, м³/с, м³/ч.

Напором (H) является разность удельной энергии жидкости на выходе из напорного патрубка и удельной энергии жидкости на входе во всасывающий патрубок насоса. Напор насоса измеряется в метрах водного столба (м.в.ст.), чаще он обозначается в метрах (м).

Мощность (N) – это энергия затрачиваемая насосом в одну секунду времени на перекачивание объема жидкости, измеряется в киловаттах (кВт).

Коэффициент полезного действия насоса (η) – величина, которая определяет гидравлические, объемные и механические потери энергии, происходящие при передаче механической энергии вращения от рабочего колеса к перекачиваемой жидкости. Значение (η) рассчитывается как отношение гидравлической мощности потока жидкости ($N_{\text{гид}}$) к механической мощности вращения вала насоса ($N_{\text{мех}}$).

Число оборотов рабочего колеса (n) – эта характеристика насоса, определяющая его энергетические показатели. Она измеряется в количестве

оборотов рабочего колеса насоса, происходящих за одну минуту времени - об/мин.

Принцип действия лопастных насосов

Центробежные насосы — это основные устройства, используемые в народном хозяйстве для перекачивания воды. Рабочим органом центробежных насосов является рабочее колесо, состоящее из двух дисков, которые между собой жестко соединены плавно изогнутыми лопастями (рисунок 6).

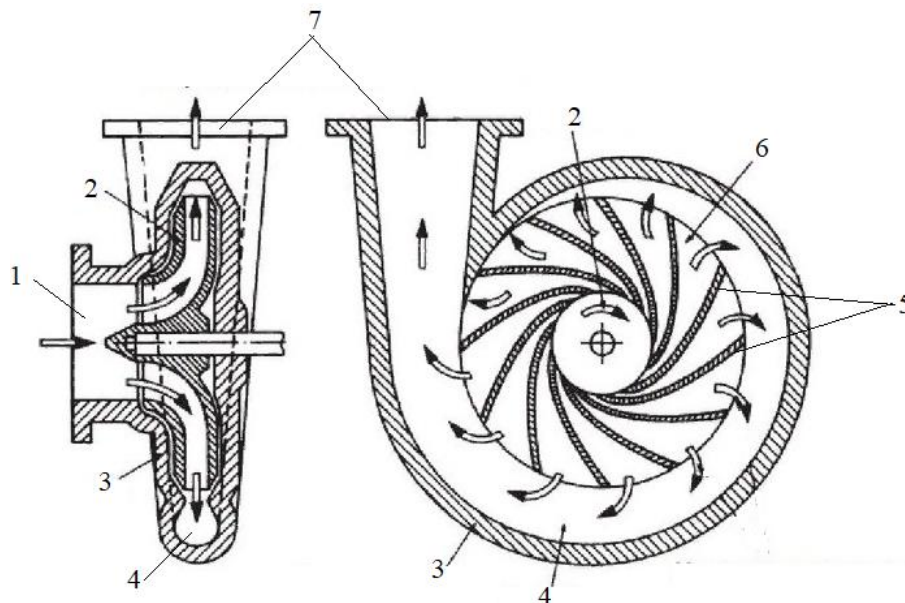


Рисунок 6 — Схема устройства центробежного насоса: 1 — всасывающий патрубок; 2 — рабочее колесо; 3 — корпус насоса; 4 — объемная камера (диффузор), размещенный в корпусе насоса; 5 — лопасти; 6 — межлопастные каналы; 7 — напорный патрубок.

Лопасты центробежного насоса изогнуты в противоположную сторону от направления вращения рабочего колеса.

В зависимости от требуемых характеристик современная промышленность предлагает широкий ряд конструкций центробежных насосов, которые различают по следующим признакам:

- по числу рабочих колес: одноступенчатые и многоступенчатые;
- по виду подвода жидкости к рабочему колесу насосы бывают: с односторонним подводом и двусторонним подводом;
- по способу отвода воды от рабочего колеса: со спиральным или турбинным отводом;

- по размещению вала вращения гидроагрегата относительно поверхности земли: горизонтальные или вертикальные компоновки;
- по виду соединения насоса с двигателем: моноблочные или приводные устройства;
- по роду перекачиваемой жидкости: водопроводные, канализационные (фекальные), теплофикационные, кислотные и грунтовые.

Центробежные насосы применяются при напорах от 20 до 2000 м и при подаче, изменяющейся в пределах от 0,0005 до 30,0 м³/с.

Осевые насосы широко применяются в качестве циркуляционных в тепловых сетях и при шлюзовании на плотинных речных гидроузлах. Рабочее колесо осевого насоса вращается внутри трубчатого корпуса. Оно представляет собой втулку, на которой закрепляется чётное число лопастей (рисунок 7).

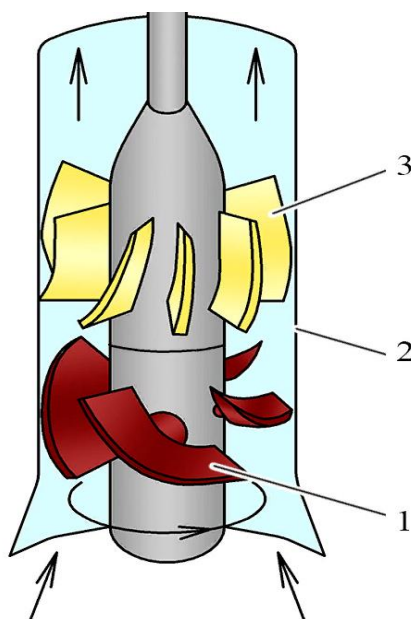


Рисунок 7 – Схема устройства осевого насоса: 1 – рабочее колесо; 2 – трубчатый корпус; 3 – направляющий аппарат.

Лопастные осевого насоса представляют собой плавно изогнутые удобообтекаемые поверхности, передняя кромка которых при вращении набегаем на поток жидкости. Для работы рабочее колесо вместе с трубчатым корпусом погружается под уровень воды в источнике. При вращении рабочего

колеса осевого насоса возникает подъемная сила и жидкость перемещается вдоль вала вращения в осевом направлении. Для предупреждения вращения потока жидкости в напорном трубопроводе за рабочим колесом устраивается направляющий аппарат, выравнивающий направление движения жидкости.

Осевые насосы применяются при напорах до 28 м и при подаче объемов воды от 0,07 до 45,0 м³/с. Эти насосы могут иметь горизонтальную или вертикальную компоновку.

Вихревые насосы — это устройства, используемые для подачи воды из источников водоснабжения по напорным трубопроводам в системы питьевого водоснабжения. Они применяются на участках где небольшим расходам жидкости необходимо задать значительный напор.

Рабочие колеса вихревых насосов представляют собой диск с радиально направленными, прямоугольными лопастями, которые размещены по периферии (рисунок 9).

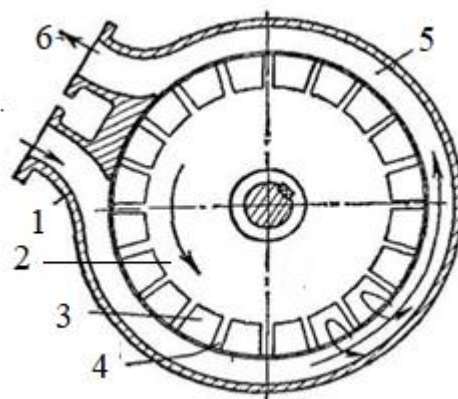


Рисунок 8 – Схема вихревого насоса: 1 – всасывающий патрубок; 2 - рабочее колесо, 3 - межлопастное пространство; 4 – радиальные лопасти; 5 – отводной канал (объемная камера) в корпусе насоса; 6 – напорный патрубок.

Объемы жидкости при вращении в межлопастных каналах вихревого насоса получают энергию и под действием центробежной силы выбрасываются в отводной канал. Затем жидкость опять вовлекается в межлопастное пространство, в зону разряжения задней лопасти вращающегося рабочего колеса и вновь получает энергию при выталкивании. Таким образом жидкость

совершая вихревые движения перемещается от всасывающего патрубка к напорному патрубку. При этом вода несколько раз получая энергию от рабочего колеса, что определяет повышенные напорные характеристики вихревых насосов.

Вихревые насосы имеют следующие характеристики: напоры от 10 до 250 м; подачу от 0,5 до 12,0 л/с.

Основными достоинствами вихревых насосов являются:

- возможность обеспечения само закачки при положительной высоте всасывания;
- относительно небольшие размеры;
- создание высоких напоров.

Недостатками этих насосов являются:

- низкий КПД (не превышает величину 0,45);
- быстрый износ рабочего колеса.

2. ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Основными исходными данными при проектировании насосных станций являются:

- 1) Назначение насосной станции (ирригация, дренаж, водоснабжение и др.);
- 2) Количество часов работы насосной станции в сутки $T = \underline{\hspace{2cm}}$ часов;
- 3) Топографические характеристики района строительства (рисунок 9);
- 4) Геологические и гидрогеологические условия по трассе строительства;
- 5) График водоподачи и график уровней воды в источнике (таблица 1);
- 6) Отметка дна отводящего канала $\underline{\hspace{2cm}}$ м;
- 7) Стоимость одного киловатта потребляемой электроэнергии $\underline{\hspace{2cm}}$ сом;
- 8) Схема размещения сооружений по трассе напорного трубопровода (рисунок 10).

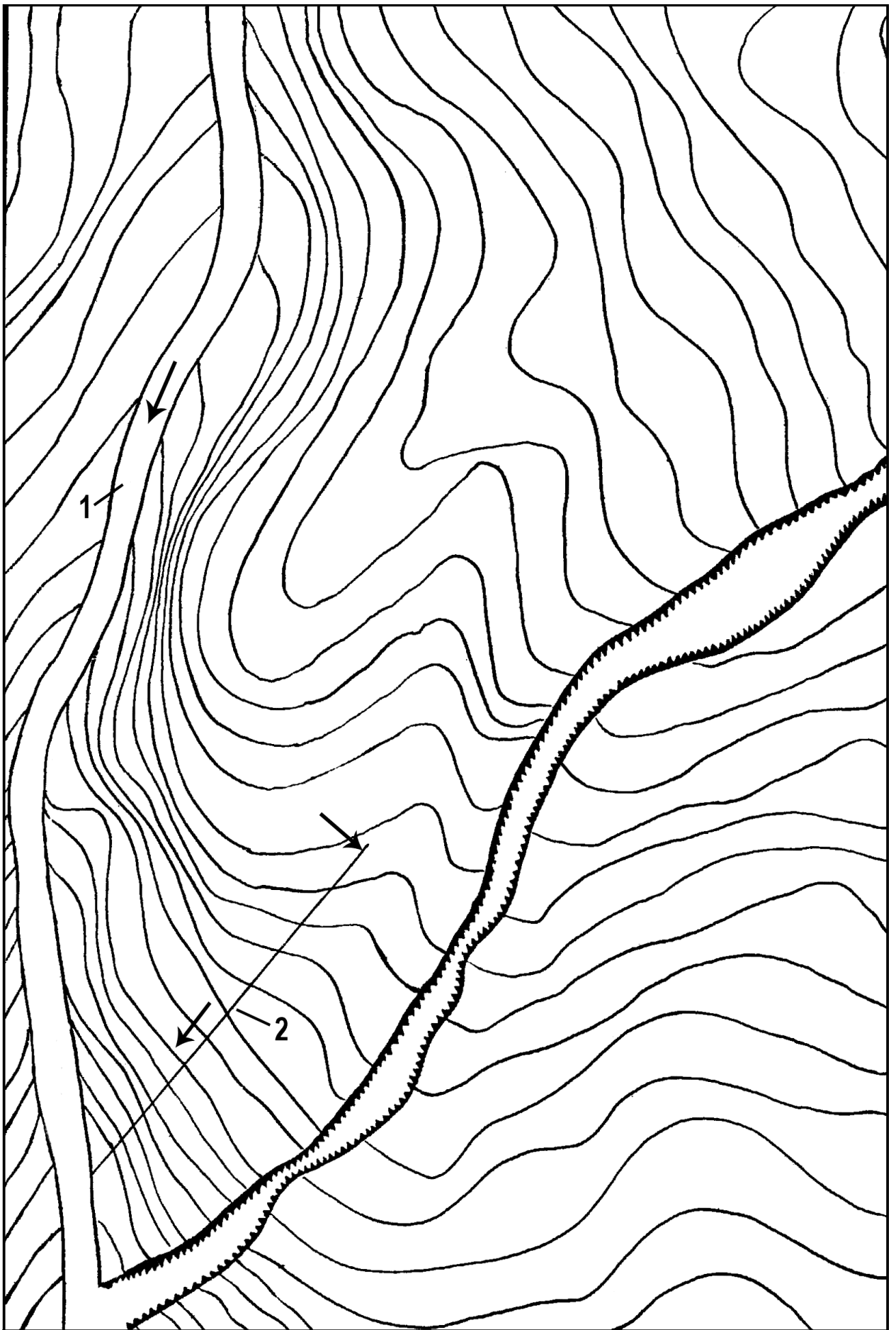


Рисунок 9 - План местности: 1 –река; 2 – трасса напорного трубопровода; М 1:2000

Таблица 1 - Графики водоподачи и изменения уровней воды в источнике

Расчетные периоды	Расходы водоподачи Q , м ³ /с	Уровни воды в источнике, м
2.III – 14.IV		
15.IV – 7.VI		
8.VI – 24.IX		
25.IX – 13.IX		
14.IX – 4.XI		

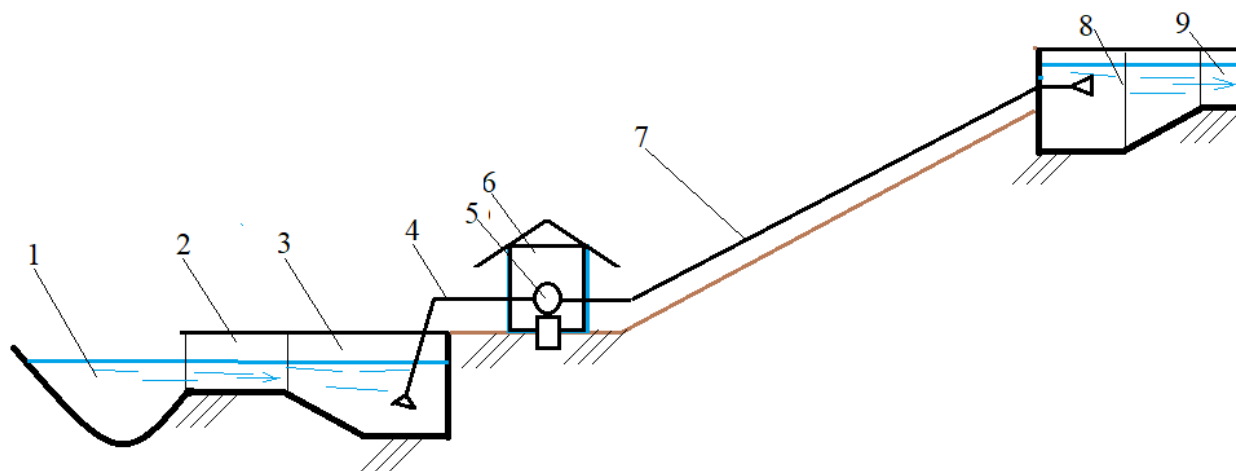


Рисунок 10 – Схема размещения сооружений насосной станции: 1 – река; 2 – подводящий канал; 3 – аванкамера; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – насосный агрегат; 6 – здание насосной станции; 7 – напорный трубопровод; 8 – напорный бассейн; 9 - отводящий канал.

Целью обработки исходных данных, при проектировании насосных станций, является определение расчетных значений напора (H), подачи одного насоса ($Q_{1н}$) и количества необходимых насосных агрегатов (k_n). Эти параметры являются основными при определении параметров и компоновок всасывающих, напорных трубопроводов, здания станции.

2.1 Определение расчетного напора насоса

Расчетный напор насоса — это количество энергии, которое необходимо одному Ньютону (1 Н) жидкости для подъема на заданную высоту с учетом энергии затрачиваемой на преодоление сопротивлений, возникающих при движении. Расчетный напор насоса определяется по формуле:

$$H_{\text{рас}} = H_{\text{ср.р.г}} + H_{\text{своб}} + H_{\text{пот}} , \quad (1)$$

где $H_{\text{ср.р.г}}$ – средне-расчётный геодезический напор, определяется с учетом продолжительности периодов графика водоподачи и величин подаваемых расходов, измеряется в метрах. Расчет производится в табличной форме (таблица 2);

Таблица 2 – Определение средне-расчётного геодезического напора станции

Расчетные периоды	T_{ϕ} , сут.	Подача Q , м ³ /с	Уровни воды		Геодез. напор H_{Γ} , м	$T_{\phi} \times Q$	$T_{\phi} \times Q \times H_{\Gamma}$
			∇ УВ НБ	∇ УВ ИС			
1	2	3	4	5	6	7	8
2.III – 14.IV							
15.IV – 7.VI							
8.VI – 24.IIX							
25.IIX – 13.IX							
14.IX – 4.XI							
Суммы расчетных значений столбиков						$\sum^7$	$\sum^8$

$H_{\text{своб}}$ – свободный напор, необходимый на выходе струи воды из трубопровода, м;

$H_{\text{пот}}$ – суммарные потери напора, затрачиваемые на преодоление гидравлических сопротивлений во всасывающих и напорных трубопроводах.

Табличный расчет (см. таблица 2) производится в следующей последовательности:

В начале рассчитываются значения фактической продолжительности каждого периода водоподачи (столбец 2) по формуле:

$$T_{\phi} = \frac{T_{\kappa} \times 24}{t_c}, \quad (2)$$

где T_{κ} – календарная продолжительность расчетного периода в сутках;

t_c – количество часов работы насосной станции в сутки.

В третий, четвертый и пятый столбцы записываются значения подачи воды, уровней воды в источнике и в напорном бассейне в соответствии с заданием на проектирование.

Далее рассчитываются геодезические напоры (столбец 6), которые будут создаваться в каждый период, как разности уровней воды в источнике и напорном бассейне:

$$H_r = \nabla_{УВ\ НБ} - \nabla_{УВ\ ИС}, \quad (3)$$

$\nabla_{УВ\ НБ}$ – отметки уровней воды в напорном бассейне, определяются в зависимости от величины водоподачи и отметки дна отводящего канала.

$\nabla_{УВ\ ИС}$ – отметки уровней воды в источнике.

В столбцах семь и восемь (см. таблицу 2) приводятся значения относительных расчетных величин, которые определяются при произведении параметров. В столбце семь приводится результат произведения фактической продолжительности и подачи в виде действия: $(T_{\phi} \times Q)$. В столбце восемь приводится результат произведения шестого (6) и седьмого (7) столбцов таблицы: $(T_{\phi} \times Q \times H_r)$.

Значение средне-расчетного напора ($H_{ср.р.г}$) определяется как отношение сумм седьмого и восьмого столбцов таблицы 2 по формуле:

$$H_{ср.р.г} = \frac{\sum T_{\phi} \times Q \times H_r}{\sum T_{\phi} \times Q}, \quad (4)$$

Свободный напор ($H_{своб}$) задается при необходимости. Для расчетной схемы (см. рисунок 10) принимается равным нулю ($H_{своб} = 0$).

Потери энергии $H_{пот}$ определяются по формуле:

$$H_{пот} = h_{вс} + h_{нап}, \quad (5)$$

где $h_{\text{вс}}$ – потери напора во всасывающем трубопроводе. На предварительных этапах проектирования принимаются равными от 1,0 до 1,5 м.

$h_{\text{нап}}$ – потери напора в напорном трубопроводе. Предварительно принимаются в зависимости от длины трубопровода по пропорции: 3 м потерь напора на 1 километр длины напорного трубопровода или по формуле:

$$h_{\text{нап}} = \frac{3,0 \times L_{\text{тр}}}{1000}, \quad (6)$$

где $L_{\text{тр}}$ – длина напорного трубопровода насосной станции, м.

2.2 Определение расчетной подачи одного насоса и количества насосов насосной станции

Определение расчетной подачи одного насоса и количества насосов производится с учетом двух условий:

- 1) Максимальный расход графика водоподдачи насосной станции подается всеми установленными насосными гидроагрегатами;
- 2) Минимальный расход графика водоподдачи насосной станции подается одним насосом.

При этом используется уравнение для расчета числа насосов:

$$k = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}}, \quad (7)$$

где Q_{max} – максимальный расход графика водоподдачи;

Q_{min} – минимальный расход графика водоподдачи.

Далее полученное число округляется до целого ($k_{\text{н}}$) и рассчитывается подача одного насоса:

$$Q_{1н} = \frac{Q_{max}}{k_n}, \quad (8)$$

Используя определённые значения расчетного напора станции ($H_{рас}$) и подачи одного насоса ($Q_{1н}$) производится подбор необходимого насосного агрегата.

3. ПОДБОР НАСОСНОГО АГРЕГАТА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.1 Подбор насоса по каталогу

Подбор необходимой марки насоса производится по каталогам заводов изготовителей, в которых приведены сводные графики областей применения предлагаемых насосов. Как правило для промышленных целей применяются консольные насосы типа К и насосы с двухсторонним подводом воды к рабочему колесу типа Д. Сводные графики областей применения этих насосов приведены на рисунках 11 и 12 соответственно. Подбор марок насосов производится с использованием расчетных значений напора $H_{рас}$ и подачи $Q_{1н}$.

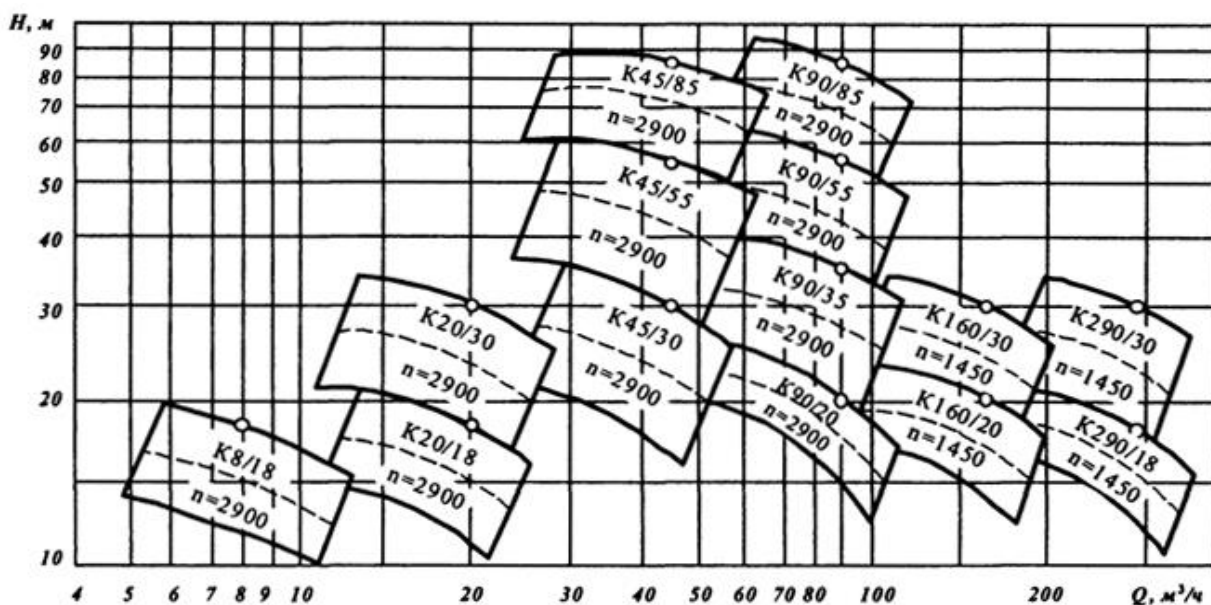


Рисунок 11 – Сводный график областей применения насосов типа К.

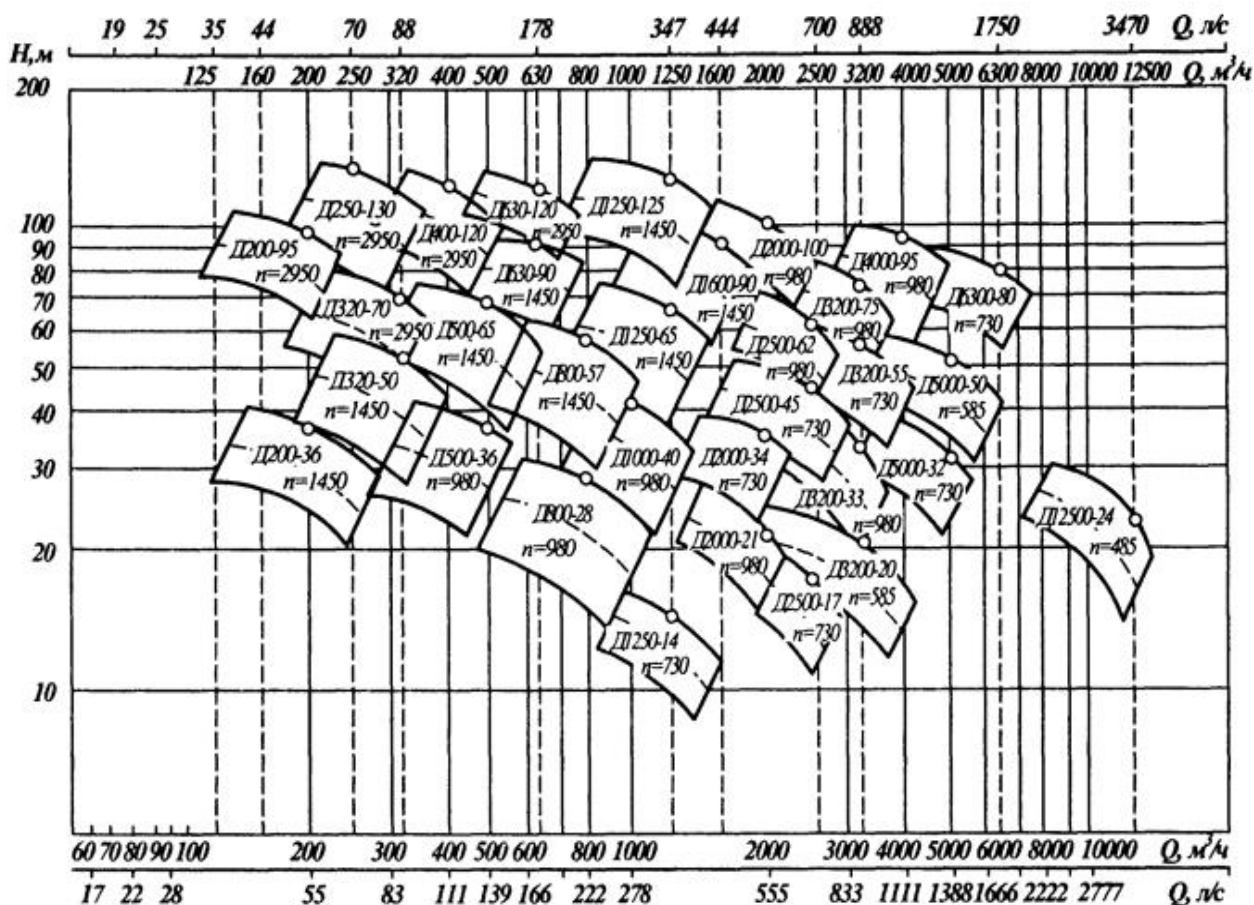


Рисунок 12 – Сводный график областей применения насосов типа Д.

Насосы типа К применяются при напорах (H) от 15 до 50 м и при подаче (Q) от 2,0 до 111,0 л/с.

Насосы типа Д применяются при напорах (H) от 10 м до 100 м и при подаче (Q) от 0,027 до 2,7 м³/с.

В последующем выписываются технические характеристики подобранного насоса, которые приведены в Приложении 1.

Далее вычерчивается графическая характеристика подобранного насоса с использованием каталожных данных (Приложение 2). Типовая графическая характеристика приведена на рисунке 13.

Как правило на графических характеристиках насосов в зависимости от возможных диаметров рабочих колес приводится от двух до четырех рабочих характеристик, так как каждому диаметру соответствуют свои параметры перекачиваемого потока воды.

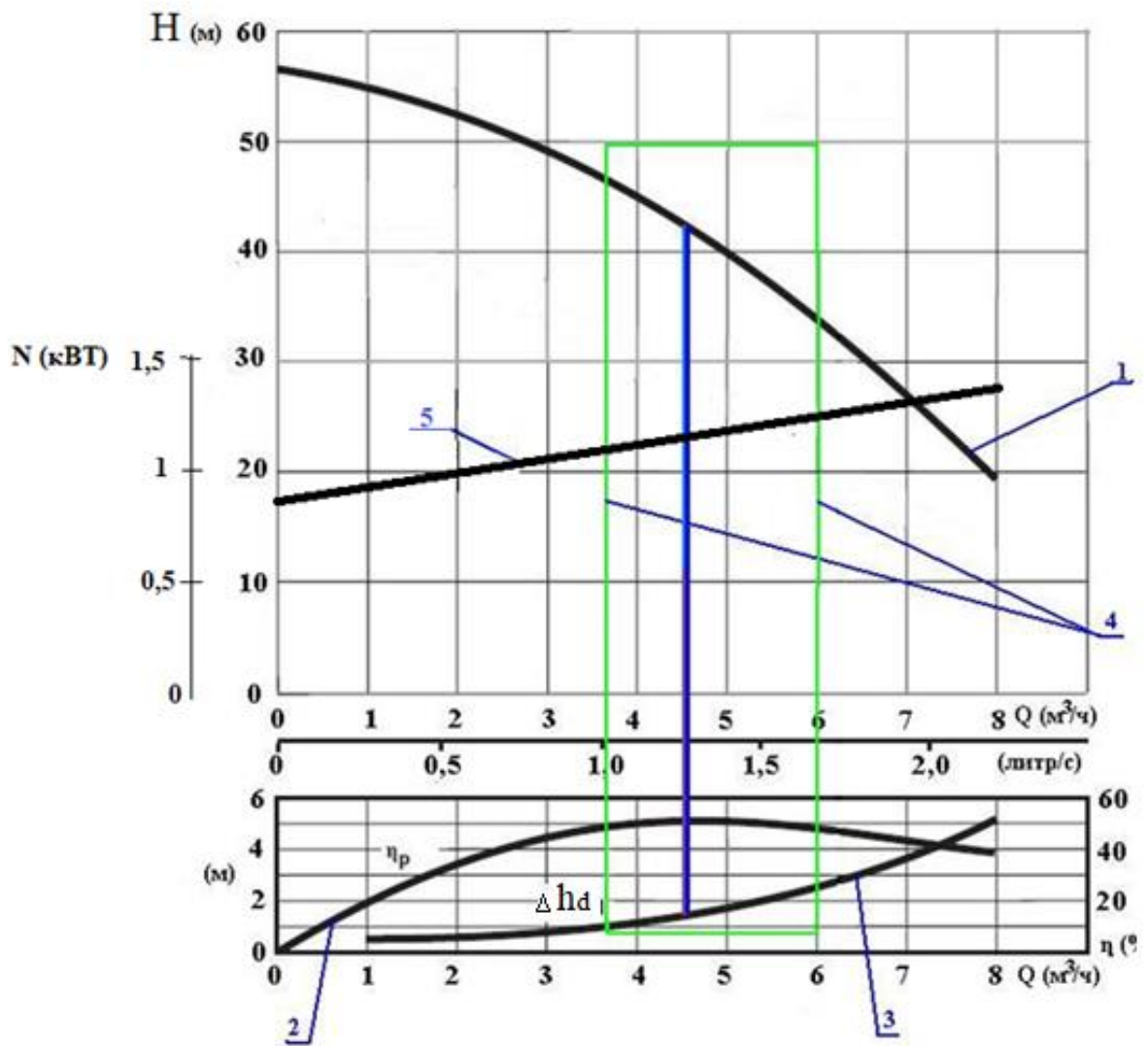


Рисунок 13 – Типовая графическая характеристика центробежного насоса: 1 – рабочая характеристика насоса; 2 – характеристика КПД; 3 – характеристика кавитационного запаса; 4 – оптимальная область для работы насоса; 5 – мощностная характеристика.

При подборе выбирается ближайшая характеристика по величинам рассчитанных ранее параметров.

Насосные агрегаты могут быть укомплектованы различными электродвигателями, которые отличаются по мощности и частоте вращения. При этом характеристики насосов могут быть пересчитаны с учетом формул подобия:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}; \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2; \frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3; \frac{\Delta h_{d2}}{\Delta h_{d1}} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2, \quad (9)$$

Индекс (1) относится к величинам, определённым по каталожным графическим характеристикам, а индекс (2) определяет ожидаемые значения параметров при изменении числа оборотов рабочего колеса.

Новые, более низкие, значения параметров насоса могут быть получены путем обточки рабочего колеса. Величина обточки колеса не должна превышать 5% от внешнего диаметра.

Подбор насоса и определение параметров производится с учетом следующих требований:

1. Обеспечить наиболее точно расчетные напор (H) и подачу (Q);
2. Иметь наиболее высокий КПД;
3. Обладать лучшими противокавитационными характеристиками;
4. Иметь большую частоту вращения, что уменьшает габариты, массу и стоимость агрегатов.

После определения марки насоса и его графической характеристики вычерчивается устройство подобранного насосного агрегата и устанавливаются его геометрические размеры (рисунок 14). Они уточняются по каталогу.

3.2 Условные обозначения насосов

В целях удобства ориентации и унификации, быстрого и правильного выбора насоса для конкретных производственных или бытовых нужд разработаны несколько систем их обозначения. В них при маркировке используются заглавные буквы, сочетание заглавных букв, прописные буквы, цифры и сочетание цифр.

Согласно ТУ 3631-002-00217389-95, современные насосы имеют информационную маркировку, которая расшифровывается с учетом заложенной информации, приведенной на рисунке 15.

Предварительно габаритные размеры и параметры насосов могут быть определены по следующим условным обозначениям:

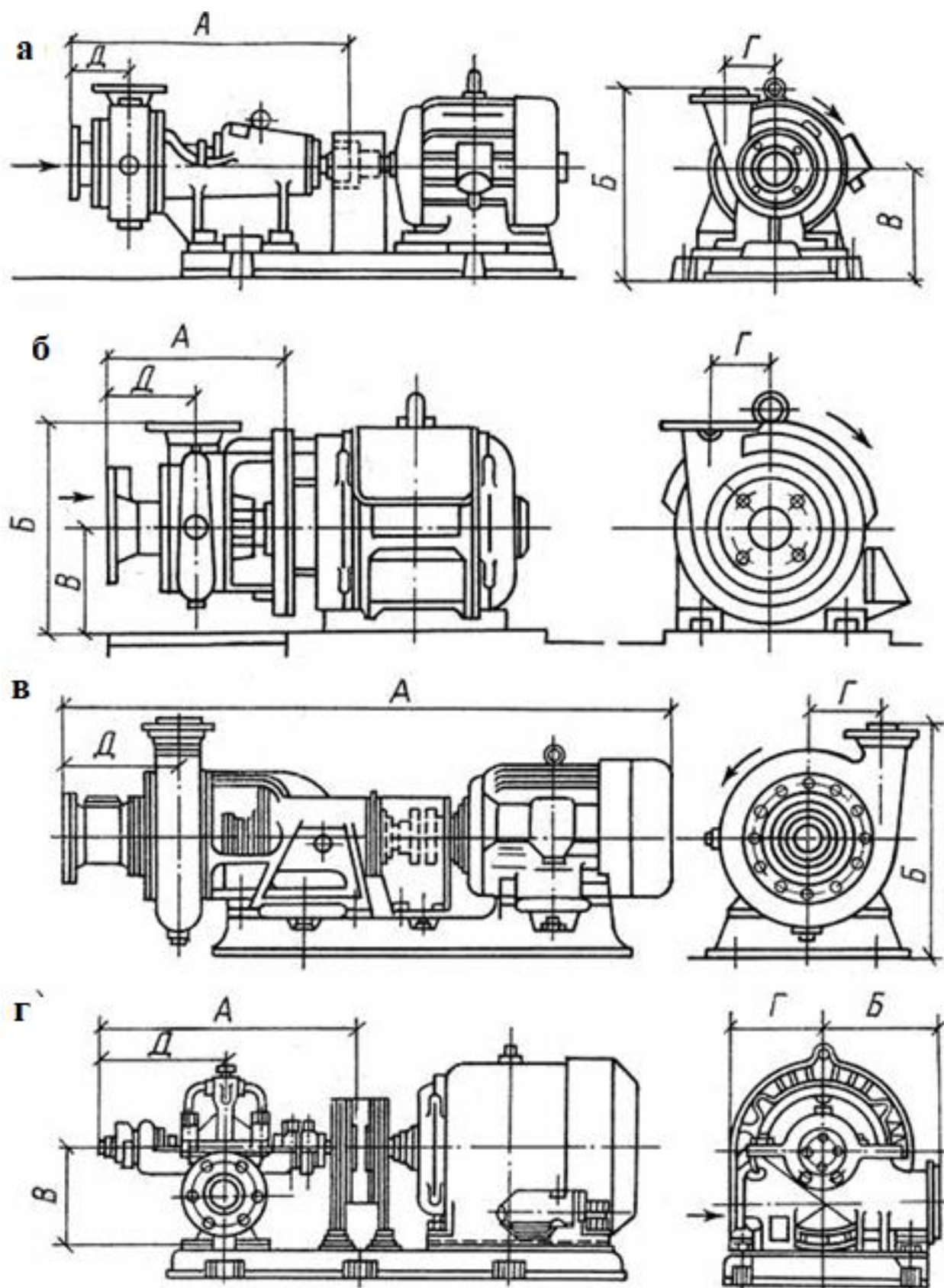


Рисунок 14 – Компонировки насосных агрегатов: а – консольный насос, типа К; б – консольный насос моноблок, типа КМ; в – фекальный насос, типа Ф; г – насос с двухсторонним подводом воды к рабочему колесу, типа Д.

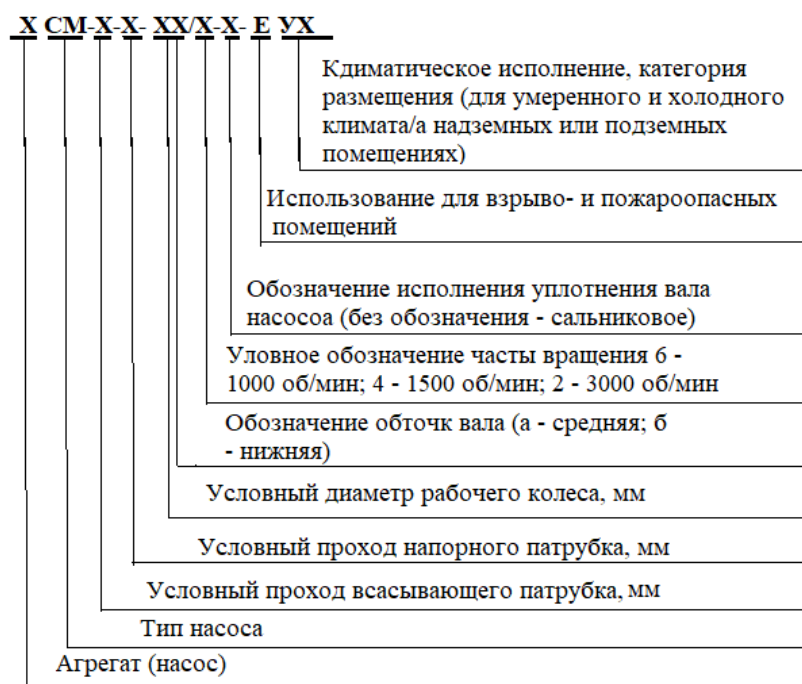


Рисунок 15 – Система обозначений согласно ТУ 3631-002-00217389-95

- К100-65-250/2-5-М-У3, где: К- горизонтальный консольный насос; 100 - диаметр входного патрубка, мм; 65 - диаметр выходного патрубка, мм; 250 - номинальный диаметр рабочего колеса, мм; 2 или 4 - условное обозначение номинальной частоты вращения («2» - 2900 об./мин, «4» - 1450 об./мин.); 5 - условное обозначение одинарного торцового уплотнения; М - модернизация с порядковым номером (М, 2М, 3М и т.д.); С - условное обозначение одинарного сальникового уплотнения; П - модификация с бронзовым колесом; У3 - климатическое исполнение и категория размещения;
- КМ 50-32-125а-С-У 3.1, где: КМ – консольный моноблочный; 50 – условный диаметр всасывающего патрубка, мм; 32 – условный диаметр выходного патрубка, мм; 125 – условный диаметр рабочего колеса, мм; а - индекс обточки рабочего колеса (а, б, в - уменьшенный диаметр рабочего колеса); С– тип уплотнения: Т - торцовое уплотнение вала, С - сальниковое уплотнение вала; У – климатическое исполнение; 3.1 – категория размещения;

- Ф65/250-В-СД-У3, где Ф - фекальный; 65 - диаметр напорного патрубка, мм; 250 - номинальный диаметр рабочего колеса, мм; В - условное обозначение материала проточной части из чугуна СЧ20; СД - двойное сальниковое уплотнение; У3- климатическое исполнение и категория размещения;
- 1Д200-90 а-т-А-Е-У 2, где: 1 - порядковый номер модификации насоса; Д - насос двустороннего входа; 200 - подача, м³/ч; 90 - напор, м; а - индекс обточки рабочего колеса: а, б –уменьшенные диаметры рабочего колеса, м – увеличенный; т - тип уплотнения вала: без обозначения – двойной сальник, т – одинарное торцовое уплотнение. По требованию потребителя возможна установка двойного торцового уплотнения или одинарного со вспомогательным; А - исполнение по материалу проточной части (детали корпуса/рабочее колесо): без обозначения – серый чугун (СЧ 25), пкп - серый чугун с противокоррозионным покрытием проточной части корпуса и крышки; А- углеродистая сталь (сталь 25Л), К- хромоникелевая сталь типа 12Х18Н9Т; Б - рабочее колесо из бронзы; Е - индекс исполнения: Е - для насосов (агрегатов), предназначенных для эксплуатации во взрывоопасных - и пожароопасных производствах, без обозначения – для насосов (агрегатов), не предназначенных для эксплуатации во взрывоопасных и пожароопасных производствах;У2 - климатическое исполнение и категория размещения.

4. СХЕМЫ ВОДОПОДАЧИ НАСОНОЙ СТАНЦИИ. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИ-НАИВЫГОДНЕЙШЕГО ДИАМЕТРА ТРУБОПРОВОДА

4.1 Схемы подачи воды насосных станций

Вода от насосной станции к напорному бассейну подается по напорному трубопроводу, который является гидротехническим сооружением. Напорные

трубопроводы насосных станций изготавливаются из асбестоцементных, железобетонных или стальных труб. Как правило необходимый материал труб выбирается в зависимости от максимального давления, создаваемого насосами и стандартных диаметров труб, выпускаемых промышленностью.

В случае расчетного давления до 120 м.в.ст могут быть применены асбестоцементные трубы. При расчетном давлении до 150 м.в.ст. применяются железобетонные трубопроводы. В случаях более высоких величин напора применяются стальные трубопроводы.

При определении материала трубопроводов также рассматривается случай гидравлического удара, который увеличивает давление – действующий напор в несколько раз. При этом рассматриваются варианты применения устройств, предупреждающих распространение гидравлического удара: водо-воздушные баки, сбросные и обратные клапаны.

После выбора материала трубопроводов устанавливается схема водоподачи от насосной станции до напорного бассейна.

Проектирование насосных станций связано с рассмотрением нескольких схем водоподачи (рисунок 16).

Выбор схемы подачи воды производится с учетом следующих условий:

- при длине напорного водовода до 100,0 м принимается раздельная схема подачи воды (число насосов равно числу ниток трубопровода);
- при длине напорного водовода более 100,0 м принимается одна из совместных схем подачи воды (число насосов больше числа ниток трубопровода);
- при длине напорного водовода более 300,0 м все параллельно размещенные насосные агрегаты подают воду в один напорный трубопровод;
- более трех насосов к одному напорному трубопроводу присоединять не рекомендуется, в обратном случае требуется специальное технико-экономическое обоснование.

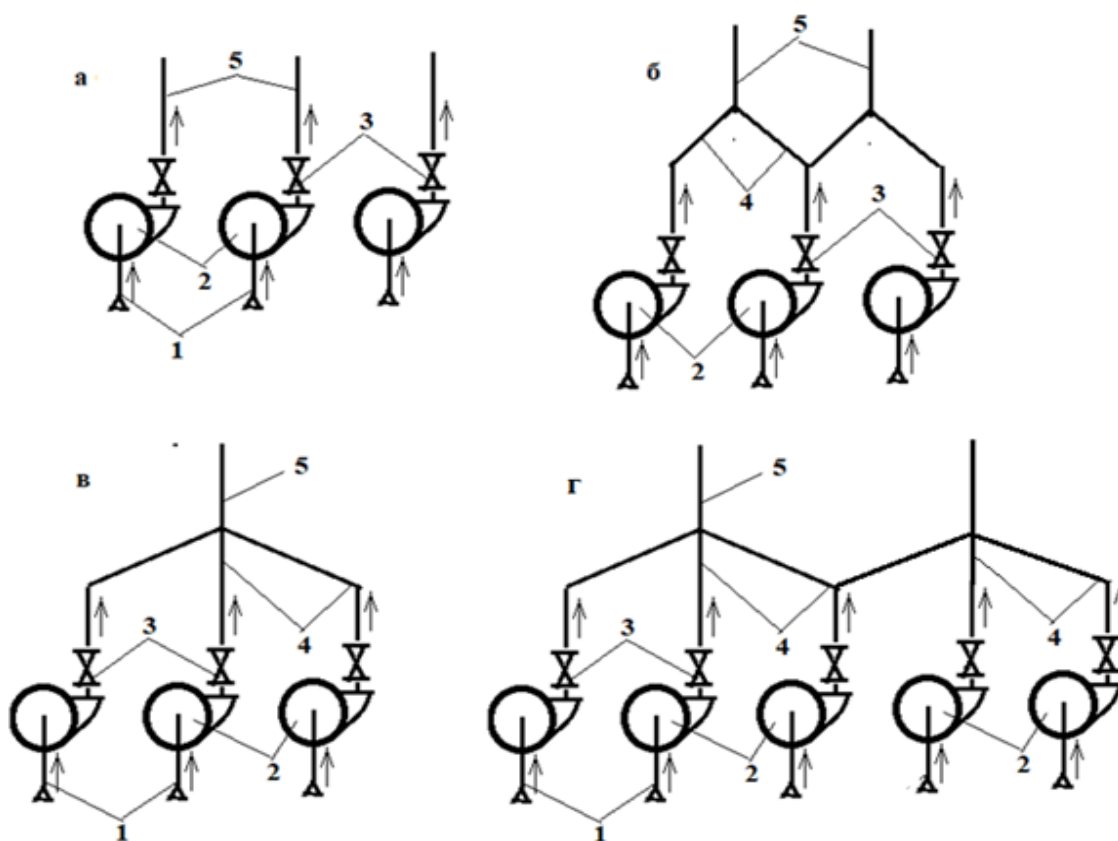


Рисунок 16 – Технологические схемы соединения насосов с напорными трубопроводами при параллельной водоподаче: а – раздельная водоподача; б, в и г – схемы совместной подачи воды; 1 – всасывающие трубопроводы; 2 – насосные агрегаты; 3 – задвижки напорной линии; 4 – присоединительные трубопроводы; 5 – напорные трубопроводы.

Определение местоположения здания насосной станции и длины напорного трубопровода производится при построении продольного профиля по трассе напорно-станционного узла (рисунок 17).

Прежде всего после построения продольного профиля назначается отметка строительной площадки, которая должна быть выше максимального уровня воды в аванкамере (УВ источника) на величину $\Delta h \geq 0,5$ м. На этой отметке продольного профиля проводится горизонтальная линия.

Затем выделяется зона рационального заглубления строительной площадки под дневную поверхность земли, которая на продольном профиле размещается в зоне от 5,0 м до 8,0 м. В этой зоне размещается ось здания насосной станции.

От оси здания насосной станции в сторону напорного бассейна, на отметке строительной площадки, откладывают 20,0 – 25,0 м для определения нижнего края откоса котлована в точке (А).

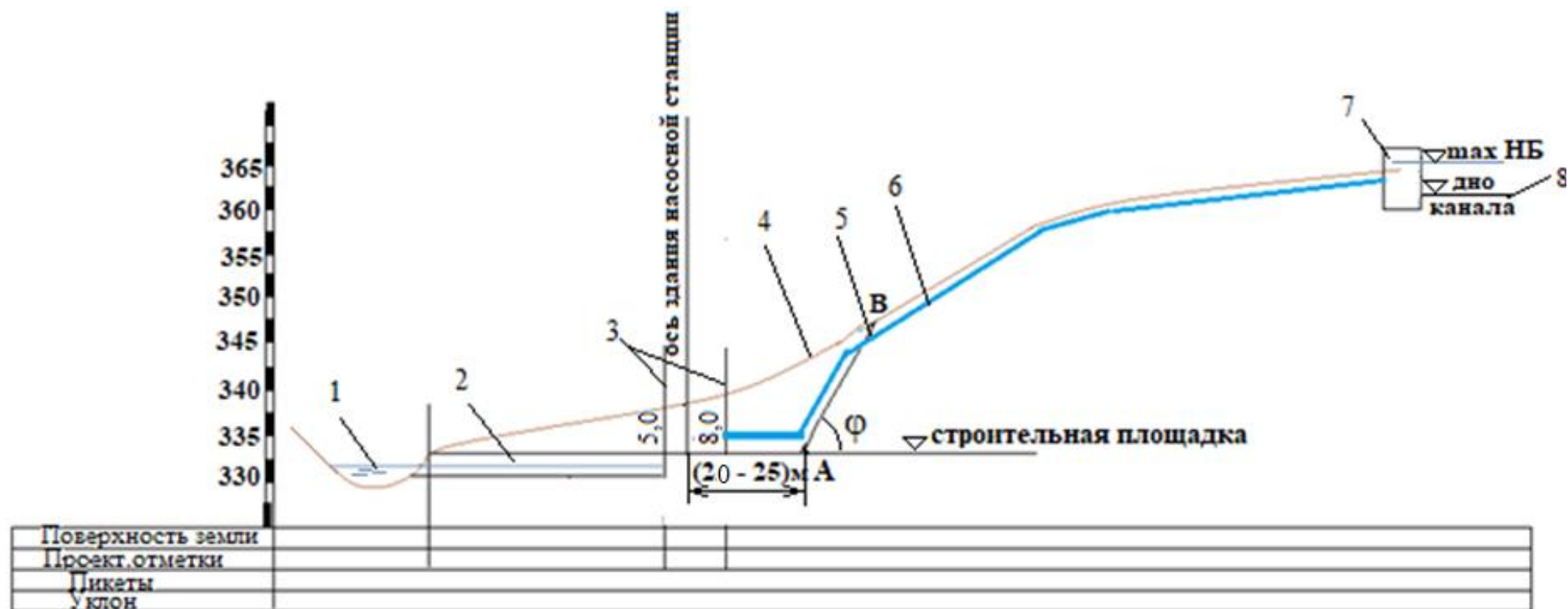


Рисунок 17 – Продольный профиль по трассе напорно-станционного гидроузла: 1 – источник водоснабжения (река); 2 – подводящий канал; 3 – зона рационального заглубления строительной площадки насосной станции; 4 – дневная поверхность земли; 5 – откос котлована строительной площадки; 6 – напорный трубопровод подающий воду от насосной станции к напорному бассейну; 7 – напорный бассейн; 8 – отводящий канал.

Из точки (А) откладывается поверхность откоса под углом внутреннего трения грунта основания (φ). В точке (В) пересечения поверхности откоса с дневной поверхностью назначается верхний край выемки котлована.

По поверхности строительной площадки, по откосу котлована и по контуру дневной поверхности до напорного бассейна, на продольном профиле назначается трасса напорного трубопровода. При этом графически определяется длина напорного трубопровода.

4.2 Расчет экономически-наивыгоднейшего диаметра напорного трубопровода

Экономически-наивыгоднейший диаметр напорного трубопровода насосной станции выбирают из верхнего и нижнего пределов стандартных диаметров напорных трубопроводов по формуле Лобачева В.Г.:

$$D_{э.н.} = (0,75 - 1,2) \sqrt{q_{тр}}, \quad (10)$$

где $q_{тр}$ – расчетный расход по одной нитке трубопровода. Определяется для схем совместной подачи воды, рассчитывается по зависимости:

$$q_{тр} = Q_{1н} \sqrt[3]{\frac{\sum \alpha_i t_i}{n_{тр} T_{ф}}}, \quad (11)$$

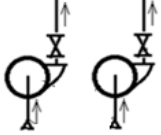
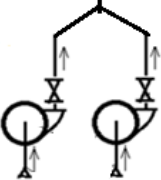
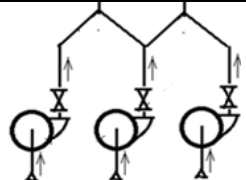
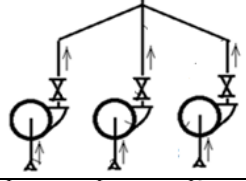
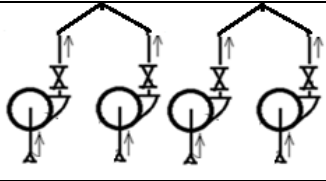
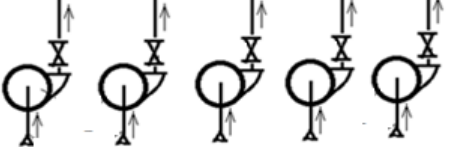
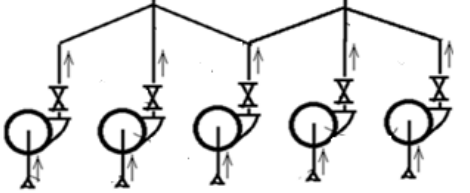
где $Q_{1н}$ – расчетный расход одного насоса;

α_i – коэффициент, зависящий от схемы водоподачи и количества одновременно работающих насосов в рассматриваемый период (определяется с учетом графика водоподачи (рисунок 18) по таблице 3;

t_i – фактическая продолжительность i -того периода, сут;

$n_{тр}$ – число ниток напорных трубопроводов станции;

Таблица 3 – Значения коэффициентов α_i , зависящих от схемы водоподачи и количества одновременно работающих насосов

Схемы соединения насосов и трубопроводов	Коэффициенты α_i в зависимости от количества работающих насосов k				
	1	2	3	4	5
	1	2			
	1	8			
	1	2	3		
	0.25	2	6.75		
	1	8	27		
	1	2	3	4	
	1	2	9	10	
	1	2	3	4	5
	0.25	2	6.75	16.31	23,4

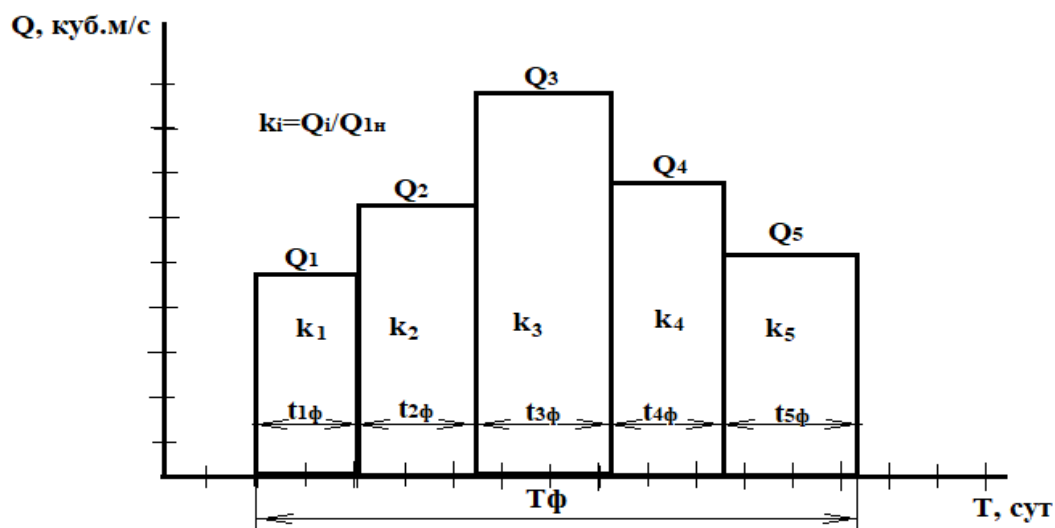


Рисунок 18 – График водоподдачи насосной станции с фактической продолжительностью периодов.

$T_{\text{ф}}$ – фактическая продолжительность работы насосной станции за расчетный год, сут.

Затем определяются пределы диаметров напорных трубопроводов насосной станции. Минимальный диаметр рассчитывается по зависимости: $D_{\min} = 0,75 \times \sqrt{q_{\text{тр}}}$, а максимальный диаметр по формуле: $D_{\max} = 1,2 \times \sqrt{q_{\text{тр}}}$.

Дальнейший расчет экономически-наивыгоднейшего диаметра напорного трубопровода насосной станции по наименьшим приведённым затратам (Pr) производится в табличной форме (таблица 4).

В начале в таблицу вписываются стандартные диаметры трубопроводов, которые входят в рассчитанные пределы. Затем рассчитываются площади поперечных сечений трубопроводов $w_i = \pi D_i^2 / 4$.

По формуле неразрывности потока определяются скорости движения воды в трубопроводах с различными диаметрами: $V_i = q_{\text{тр}} / w_i$.

Потери напора по длине напорного трубопровода насосной станции рассчитываются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_w = (1,05 - 1,10) \lambda \frac{L_{\text{тр}}}{D_i} \frac{\alpha V_i^2}{2g}, \quad (12)$$

Таблица 4 - Расчет экономически-наивыгоднейшего диаметра напорного трубопровода насосной станции

D, мм	w, м ²	V, м/с	hw, м	E, кВт.ч	A ₁ , сом	K ₁ , сом	A ₂ , сом	ΣA, сом	T _{ок} ΣA, сом	Пр, сом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D _{min}										
D _{max}										

где λ – коэффициент гидравлических сопротивлений по длине напорного трубопровода, определяется от вида материала трубопровода и режима движения воды по справочной литературе;

$L_{тр}$ – длина напорного трубопровода;

D_i – расчетный стандартный диаметр трубопровода.

Количество электроэнергии, затрачиваемое на преодоление сопротивлений, определяется по зависимости:

$$E = \frac{9,81 q_{тр} h_w T_{\phi} \times 24}{\eta_{на}}, \quad (13)$$

Стоимость электроэнергии, затрачиваемой на преодоление гидравлических сопротивлений рассчитывается из соотношения:

$$A_1 = E \times a_1, \quad (14)$$

a_1 – стоимость одного кВт.ч электроэнергии подаваемой на насосную станцию.

Далее в таблице 4 приводится стоимость трубопровода K_1 (для удобства достаточно вести расчет относительно одной нитке трубопровода).

Определение стоимости трубопровода производится с учетом всей массы трубопровода, с учетом стоимости одного килограмма материала и монтажа на месте строительства:

$$K_1 = \rho_{\text{тр}} \times \pi D_i \times t \times L_{\text{тр}} \times a_2, \quad (15)$$

где $\rho_{\text{тр}}$ – плотность материала трубопровода;

t – толщина стенок трубопровода;

a_2 – стоимость одного килограмма материала трубопровода с учетом монтажа.

С целью определения ежегодных затрат на эксплуатацию трубопровода рассчитываются отчисления на капитальный и текущий ремонты по формуле:

$$A_2 = K_1 \times \Delta k, \quad (16)$$

Δk – коэффициент, учитывающий ежегодные отчисления на капитальный и текущий ремонт трубопровода, который принимается равным 0,046;

Суммарные ежегодные затраты на эксплуатацию трубопровода составят:

$$\Sigma A = A_1 + A_2, \quad (17)$$

Далее определяются издержек, которые будут складываться за срок окупаемости насосной станции ($T_{\text{ок}}=8 - 10$ лет) выполняется произведение величин $T_{\text{ок}} \times \Sigma A$.

Приведенные затраты на строительство и эксплуатацию трубопровода насосной станции для каждого рассматриваемого диаметра рассчитываются по формуле:

$$\text{Пр} = K_1 + T_{\text{ок}} \times \Sigma A, \quad (18)$$

В таблице 4 подобранный стандартный диаметр напорного трубопровода, имеющий наименьшие приведённые затраты (Pr), подчеркивается красным. Это значение принимается для проведения дальнейшего проектирования.

5 ВЫБОР ТИПА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

5.1 Типы зданий насосных станций

При проектировании насосных станций различают три основных типа здания: промышленный (рисунок 19), камерный (рисунок 20) и блочный (рисунок 21).

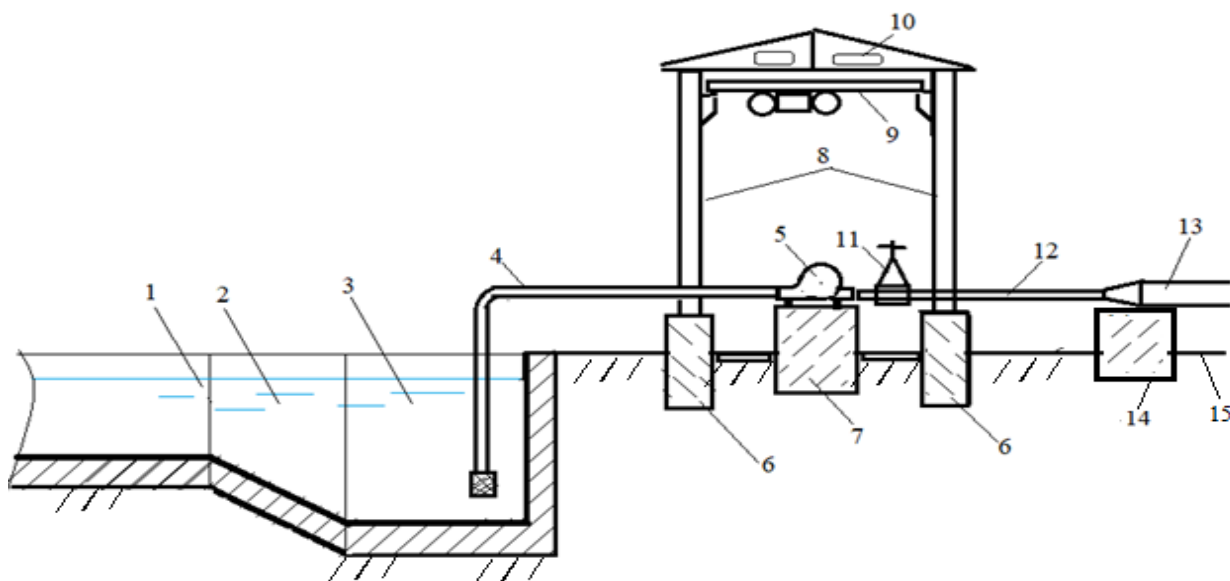


Рисунок 19 – Компонировочная схема здания насосной станции промышленного типа возводится из готовых строительных блоков: 1 – подводящий канал; 2 – сопрягающий участок аванкамеры; 3 – ковш аванкамеры; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – насосный агрегат; 6 – фундамент; 7 – фундаментная плита насосного агрегата; 8 – каркас здания, служит для крепления строительных панелей; 9 – подъемно-транспортное оборудование – мостовой кран; 10 – кровля; 11 – задвижка напорного трубопровода, для регулирования подаваемых расходов воды; 12 – присоединительный трубопровод; 13 – напорный трубопровод насосной станции; 14 – анкерная опора; 15 – поверхность земли на строительной площадке.

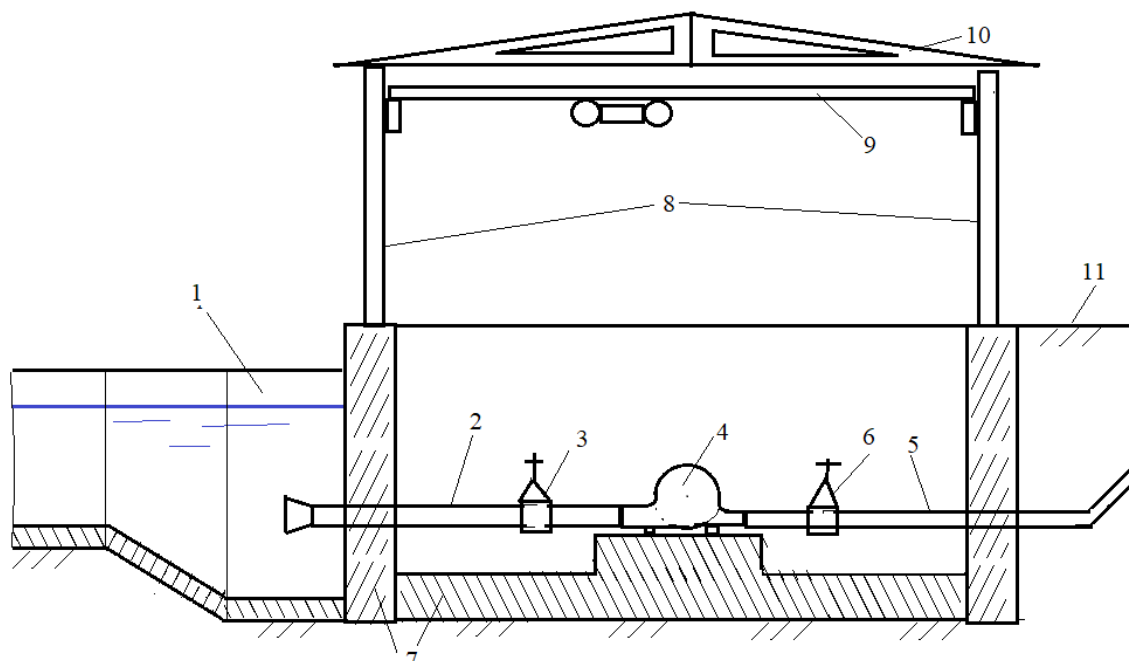


Рисунок 20 – Компоновочная схема здания камерного типа: 1 – аванкамера; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – задвижка всасывающей линии; 4 – насосный агрегат; 5 – напорный трубопровод; 6 – задвижка напорной линии; 7 – подземная часть здания, заглубленная под уровень воды, возводится из моноблочного железобетона; 8 – поверхностная часть здания; 9 – мостовой кран; 10 – крыша; 11 – строительная площадка.

Выбор необходимого типа здания насосной станции производится в зависимости от производительности насосных агрегатов и их типов.

Промышленный тип здания насосной станции (см. рисунок 19) рекомендуется к применению если производительность применяемых насосных агрегатов не превышает $Q_{1н} \leq 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Насосные агрегаты в этом типе здания размещаются на положительной высоте всасывания. Поэтому в таких зданиях устанавливается система заливки насосов: система вакуум насосов, баков заливки и т.д.

Устройство камерных типов зданий насосных станций (см. рисунок 20) ведется при применении крупных насосов, производительность которых превышает $Q_{1н} > 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$. В этой компоновке предусматривается само заливка насосов при открытии задвижки на всасывающем трубопроводе. Но так как часть здания заглубляется под уровни воды в источнике в них необходимо устройство систем дренажа для сбора фильтрационных вод, оборудованных дренажными насосами.

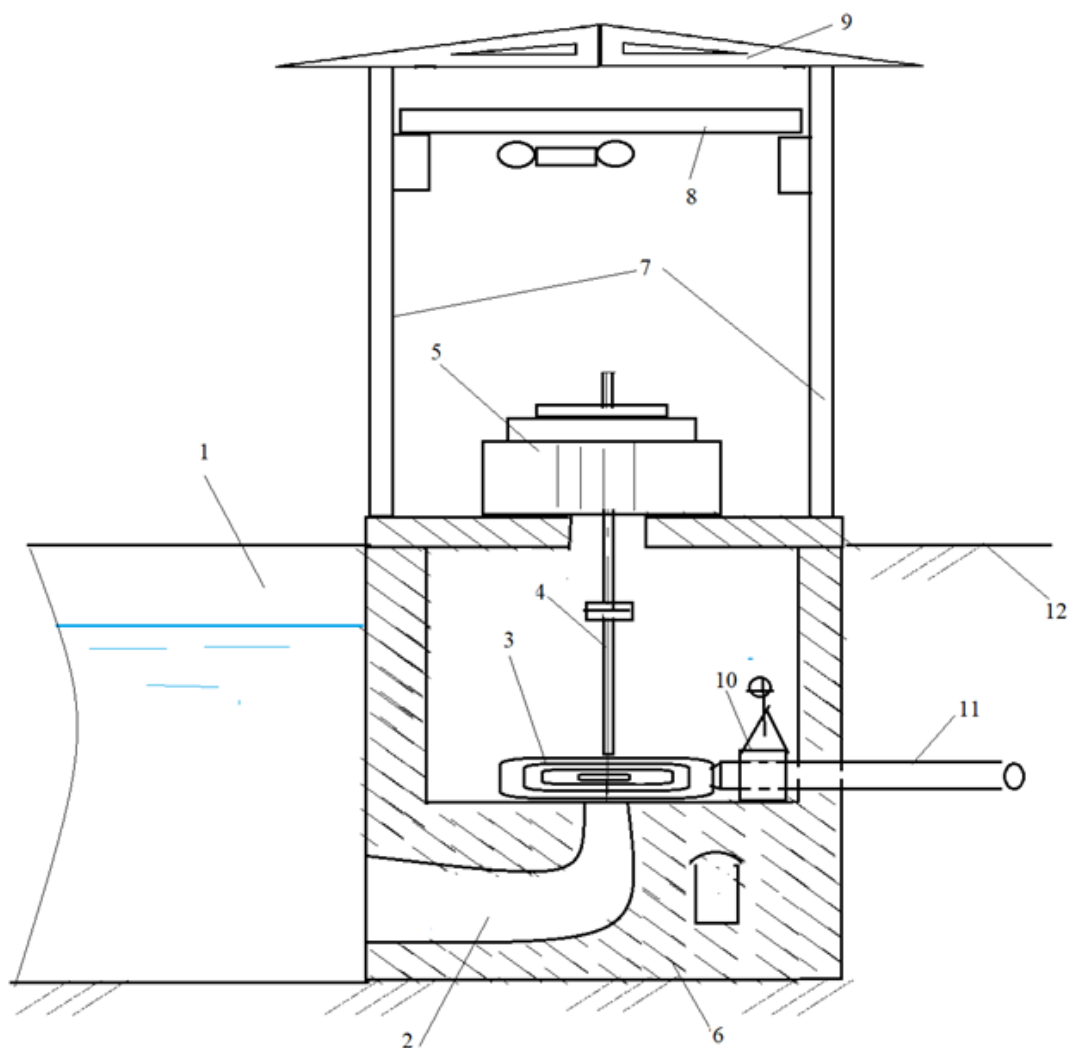


Рисунок 21 – Компонировка здания насосной станции блочного типа: 1 – источник воды; 2 – всасывающая труба коленчатой формы; 3 – насос; 4 – вал вращения; 5 – электродвигатель; 6 – фундаментный блок насосного агрегата; 7 – каркас поверхностной части здания; 8 – мостовой кран; 9 – кровля здания; 10 – задвижка напорного трубопровода; 11 – напорный трубопровод; 12 – строительная площадка.

Блочный тип зданий насосных станций возводится при подборе крупных насосов типа В. При этом каждый насос закрепляется к индивидуальным массивным блокам. Соседние массивные блоки разделяются между собой деформационными швами.

5.2 Расчет параметров зданий насосных станций

Основным условием при проектировании зданий насосных станций является: обеспечение нормальных условий эксплуатации насосных агрегатов

при минимально допустимых размерах. Размеры здания зависят от геометрических параметров основного и вспомогательного оборудования, режима водоподачи и назначения узла машинного водоподъема.

Плановые размеры здания насосной станции зависят не только от размеров насосных агрегатов, но и от размеров необходимых проходов, служащих для обслуживания и ремонта. Как правило насосная станция состоит из машинного зала и монтажной площадки.

Насосные агрегаты в машинном зале могут размещаться в один ряд, в два ряда и в шахматном порядке.

Компоновка здания станции заключается в правильном расположении конструкций устройств относительно друг друга. Увязку отдельных сооружений и узлов начинают с определения местоположения насосного агрегата. При этом проектирование ведется с использованием расчетных схем.

Ширина здания насосной станции определяется по расчетной схеме, приведённой на рисунке 22 с учетом размеров применяемого оборудования и устройств по формуле:

$$B_3 = a_1 + l_k + l_{3в} + 2l_{мс} + B_{на} + l_{ок} + l_{д} + a_2, \quad (19)$$

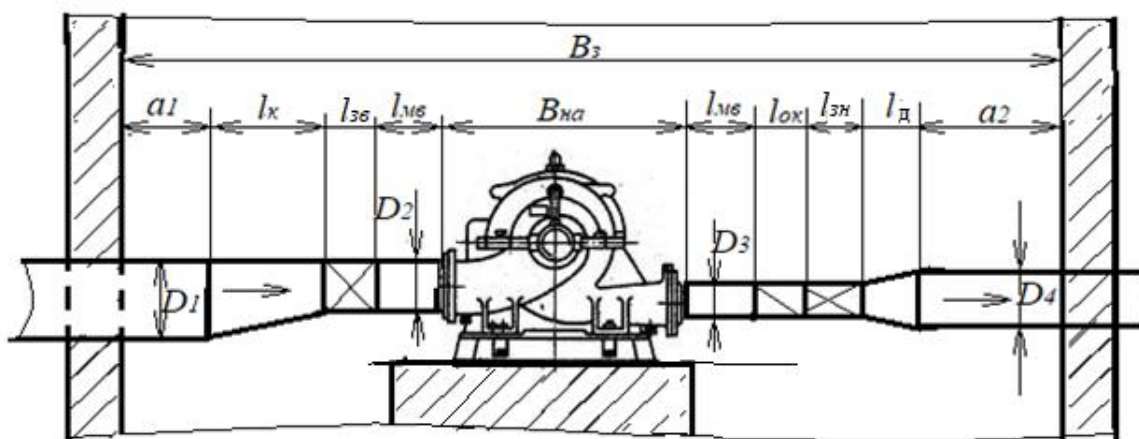


Рисунок 22 – Расчетная схема для определения ширины здания насосной станции.

где a_1 - технологический запас, учитывает величину размещения всасывающего трубопровода внутри здания, принимается равным (0,3÷0,4) м;

l_k – длина конфузора (сужающийся трубопровод с горизонтально расположенной поверхностью), служащего для сопряжения всасывающего трубопровода D_1 с всасывающим патрубком D_2 , определяется по зависимости:

$$l_k = (3,5 \div 7,5) \times (D_1 - D_2), \quad (20)$$

D_1 – диаметр всасывающего трубопровода, выбирается из стандартных диаметров труб по допустимым скоростям движения воды с учетом следующих рекомендаций:

- при ($D_1 < 250$ мм) допустимые скорости движения воды принимаются в пределах $[V_{\text{вс.тр}}] = (0,6 \div 1,0)$ м/с;

- при ($250 \text{ мм} \leq D_1 \leq 800 \text{ мм}$) допустимая скорость принимается в пределах $[V_{\text{вс.тр}}] = (1,5 \div 1,8)$ м/с;

- при ($D_1 > 800$ мм) допустимая скорость воды принимается в пределах $[V_{\text{вс.тр}}] = (1,8 \div 2,0)$ м/с;

D_2 – диаметр всасывающего патрубка насоса, определяется по каталожным данным подобранного насосного агрегата;

$l_{\text{зв}}$ – длина задвижки всасывающей линии, определяется с использованием каталогов трубопроводной арматуры в зависимости от диаметра всасывающего патрубка D_2 (эти задвижки на всасывающих трубопроводах устанавливаются при отрицательной высоте всасывания насосных агрегатов – при строительстве зданий камерного типа);

$l_{\text{мв}}$ – длина монтажной вставки, которая устанавливается между трубопроводами и патрубками насосов (они служат для ускорения демонтажа насоса при его замене), принимается равной от 0,2 до 1,2 м в зависимости от габаритов насосов;

$B_{\text{на}}$ – ширина насосного агрегата, определяется по каталогу;

$l_{\text{ок}}$ – длина обратного клапана, устраиваемого в начале напорной линии трубопроводов для предотвращения обратных токов воды при аварийном

отключении насосных агрегатов, определяется с использованием каталогов трубопроводной арматуры в зависимости от диаметра напорного патрубка D_3 ; $l_{\text{зн}}$ – длина задвижки напорной линии, определяется с использованием каталогов трубопроводной арматуры в зависимости от диаметра напорного патрубка D_3 (эти задвижки служат для регулирования подаваемых расходов воды);

$l_{\text{д}}$ – длина диффузора (расширяющийся участок трубопровода), служащего для сопряжения напорного патрубка D_3 с напорным трубопроводом D_4 , определяется по зависимости:

$$l_{\text{к}} = (3 \div 4) \times (D_4 - D_3), \quad (21)$$

a_2 – технологический запас, учитывает величину размещения напорного или присоединительного трубопровода внутри здания насосной станции, принимается равным a_1 (при проектировании насосных станций промышленно типа, с применением строительных панелей, за счет размера a_2 ширина здания доводится до величины кратной 3 м);

Длина здания насосной станции при проектировании определяется с использованием расчетной схемы, приведённой на рисунке 23.

При определении длинны суммируются следующие размеры:

$$L_3 = l_1 + kl_2 + kl_3 + l_{\text{мп}}, \quad (22)$$

где l_1 – технологический размер – расстояние от края фундаментной плиты до внутренней поверхности торцевой стены здания принимается из условия безопасного обслуживания оборудования $l_1 = 0,8 \times l_3$.

l_3 – проход между фундаментными плитами агрегатов, определяется в зависимости от используемого напряжения электрического тока для работы насосов. При $U < 6000$ Вольт - $l_3 = 1,2$ м, а при $U > 6000$ Вольт - $l_3 = 1,8$ м.

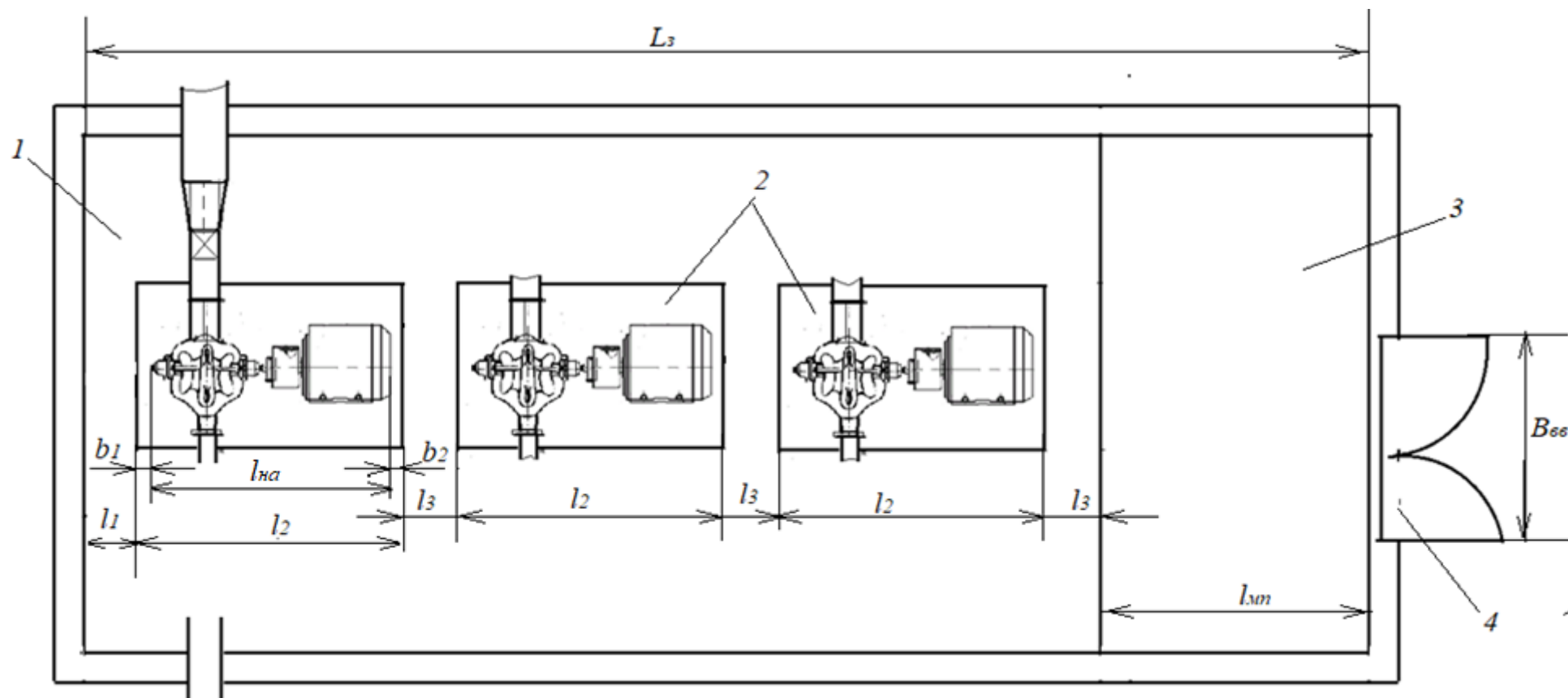


Рисунок 23 – Расчетная схема для определения длины здания насосной станции: 1 – машинный зал; 2 – фундаментные плиты насосных агрегатов; 3 – монтажная площадка; 4 – въездные ворота.

Длина размера l_1 не должна быть меньше 1,0 м.

k – количество устанавливаемых насосных агрегатов на станции;

l_2 – длина фундаментной плиты агрегата, складывается из длинны насосного агрегата и технологических запасов:

$$l_2 = l_{\text{на}} + b_1 + b_2, \quad (23)$$

где $l_{\text{на}}$ – длина выбранного насосного агрегата определяется по каталогу завода производителя;

b_1 и b_2 – технологические запасы принимаются равным от 0,2 до 0,4 м;

$l_{\text{мп}}$ – длина монтажной площадки принимается равной:

$$l_{\text{мп}} = B_{\text{на}} + 2l_3 \quad (24)$$

При проектировании здания насосной станции промышленного типа размер его длины принимается равным величине кратной 6,0 м. До этого значения длина здания доводится за счет увеличения монтажной площадки.

Въездные ворота устраиваются со стороны монтажной площадки. Их габаритные размеры принимаются с учетом габаритных размеров транспорта, выбранного для перевозки основного и вспомогательного оборудования. Подбор транспорта производится с учетом грузоподъемности и габаритных размеров насосных агрегатов. Высота ворот принимается из условия проезда выбранного транспорта внутрь здания с учетом высоты загруженного оборудования.

Высота здания насосной станции промышленного типа определяется с использованием расчетной схемы, приведенной на рисунке 24.

При определении высоты здания учитываются следующие размеры:

P – расстояние по вертикали от поверхности фундаментной плиты до поверхности чистого пола, принимается равной величине не менее 0,15 м;

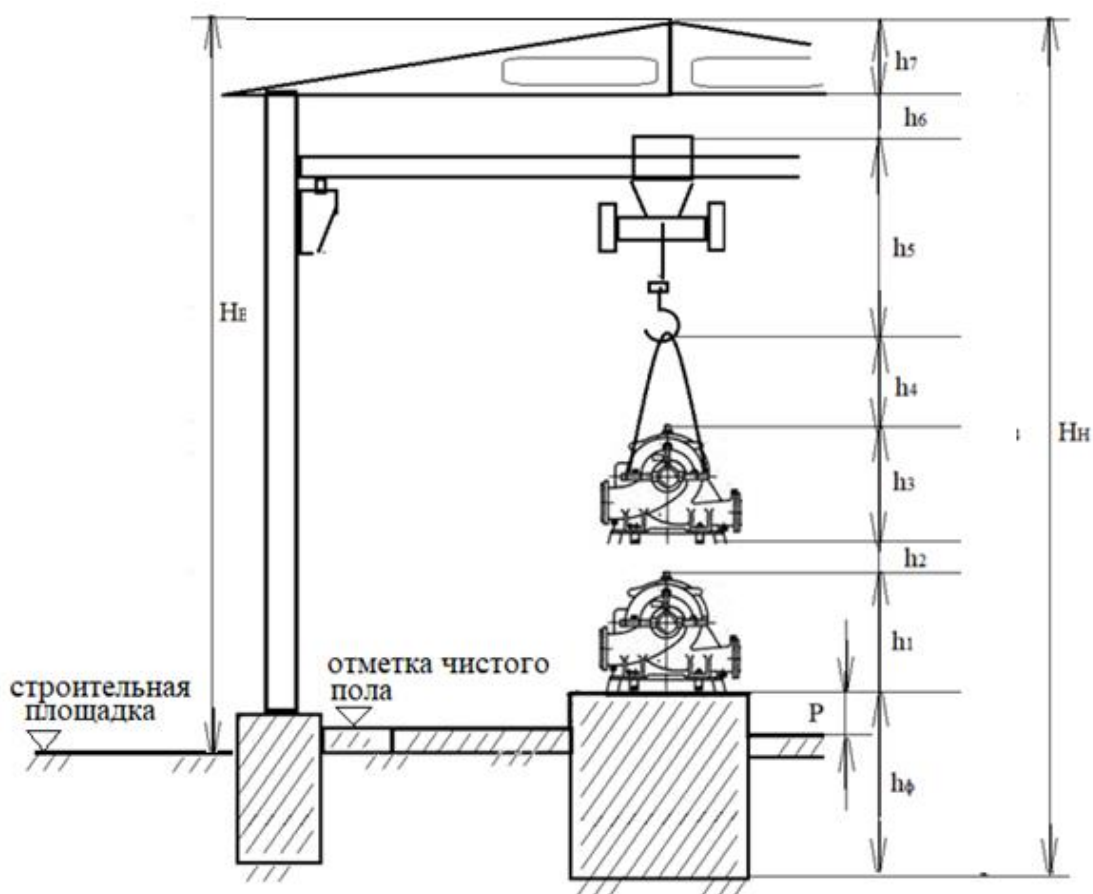


Рисунок 24 – Расчетная схема для определения высоты здания насосной станции промышленного типа.

h_1 и h_3 – высота насоса или электродвигателя (самого высокого устройства насосного агрегата), принимается по каталожным данным;

h_2 – технологический запас, принимается равным 0,5 м;

h_4 – высота строп, из условия удобства демонтажа $h_4 = 0,7 \div 1,2$ м;

h_5 – высота мостового крана, определяется по каталогу после подбора с учетом максимальной массы элементов насосного агрегата;

h_6 – технологический запас, принимается из удобства обслуживания мостового крана, не менее 0,5 м;

h_7 – высота кровли, принимается по каталогам ж/б конструкций с учетом ширины здания;

h_{ϕ} – высота фундаментной плиты, определяется из условия: масса фундаментного блока должна быть больше в 3 – 4 раза массы насосного агрегата:

$$h_{\Phi} = \frac{(3 \div 4)M_{\text{на}}}{\rho_6 \times (b_2 \times l_2)}, \quad (25)$$

где $M_{\text{на}}$ – масса насосного агрегата по каталогу;

ρ_6 – плотность бетонной кладки, применяемой для создания фундаментной плиты (2450 – 2650 кг/м³);

b_2 – ширина фундаментной плиты принимается равной ширине насосного агрегата $B_{\text{на}}$, (см. рисунок 22);

l_2 – длина фундаментной плиты (см. рисунок 23).

Для заезда транспорта на монтажную площадку возводят пандус с уклоном поверхности не более 0,01.

Сумма величин $h_1 + h_2 + P$ не должна быть меньше высоты кузова грузового транспорта подобрано для перевозки оборудования насосной станции.

При этом высота насосной станции с учётом глубина котлована $H_{\text{Н}}$ определяется по формуле:

$$H_{\text{Н}} = h_{\Phi} + 2h_1 + h_2 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7, \quad (26)$$

Высоту верхнего строения $H_{\text{В}}$ станции можно рассчитать из суммы:

$$H_{\text{В}} = h_8 + P + 2h_1 + h_2 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7, \quad (27)$$

где h_8 – разность между отметками поверхности строительной площадки и отметкой чистого пола, принимается равной не менее 0,2 м.

Высота здания насосной станции камерного типа определяется по расчетной схеме, приведенной на рисунке 25.

В отличие от расчетной схемы для определения высоты здания промышленного типа высота здания камерного типа рассчитывается в два этапа:

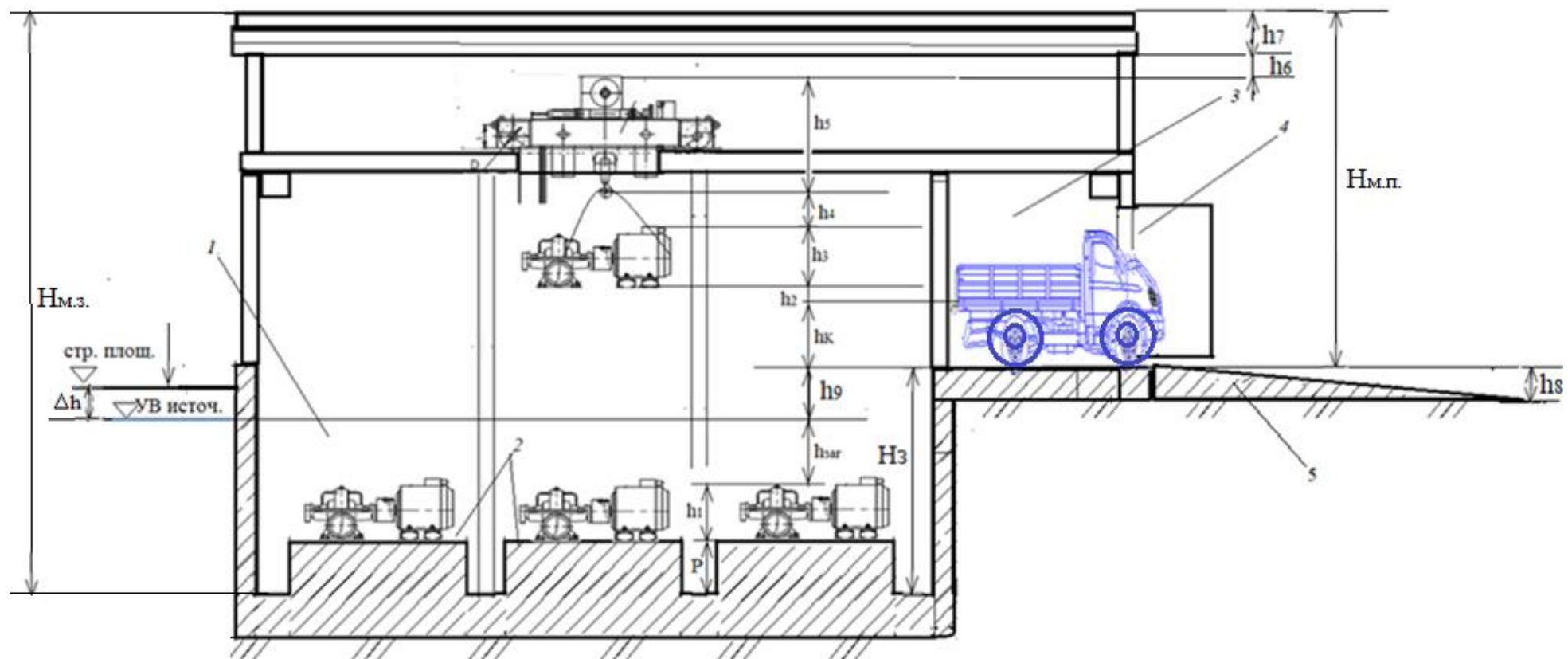


Рисунок 25 – Расчетная съема для определения высоты здания насосной станции камерного типа: 1 – машинный зал; 2 – фундаментные тумбы; 3 – монтажная площадка; 4 – въездные ворота; 5 - пандус.

- вначале рассчитывается высота здания на участке монтажной площадки, которая складывается из следующих размеров:

$$H_{\text{м.п.}} = h_K + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7, \quad (28)$$

h_K – высота транспорта для перевозки основного оборудования

- затем определяется высота здания на участке размещения машинного зала станции. Она складывается из следующих величин:

$$H_{\text{м.з.}} = H_{\text{м.п.}} + H_3, \quad (29)$$

где H_3 – заглубление машинного зала под уровень монтажной площадки. Эта величина определяется в зависимости от следующих размеров:

$$H_3 = P + h_1 + h_{\text{заг}} + h_9, \quad (30)$$

$h_{\text{заг}}$ – заглубление верха насоса под максимальный уровень воды в источнике, определяется в зависимости от необходимого заглубления верха насоса под уровень воды и разницы между максимальным и минимальным уровнем воды в источнике:

$$h_{\text{заг}} = h_{\text{тр}} + (\nabla \text{УВ } \textit{max} - \nabla \text{УВ } \textit{min}), \quad (31)$$

$h_{\text{тр}}$ – требуемое заглубление верха насоса под минимальный уровень воды в источнике (аванкамере);

h_9 – расстояние по вертикали от максимального уровня воды в аванкамере (УВ источника) до верха пола монтажной площадки, определяется по формуле:

$$h_9 = h_8 + \Delta h, \quad (32)$$

Здесь $\Delta h \geq 0,5$ м – строительный запас.

5.3 Определение отметки оси насоса

Правильное размещение оси насосного агрегата является основным фактором, определяющим надежную эксплуатацию насосной станции. При этом рассматривается размещение оси насоса (ось вращения рабочего колеса) относительно уровней воды в источнике (аванкамере) (рисунки 26 и 27).

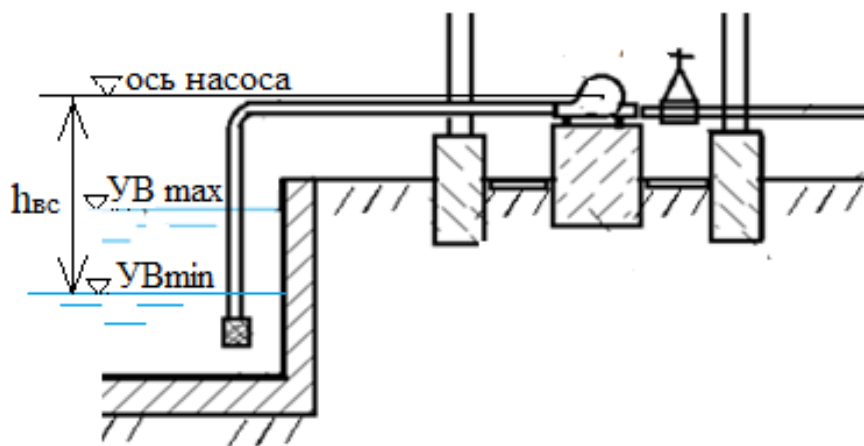


Рисунок 26 – Расчетная схема для определения положения оси насоса при положительной высоте всасывания.

При положительной высоте всасывания насоса основным размером, определяющим размещение насоса, является допустимая высота всасывания:

$$h_{\text{вс}} = H_{\text{м.а.д}} - \sum h_{\text{г.с.вс}} - h_t - \Delta h_{\text{расч}} + \frac{\alpha V_{\text{вс}}^2}{2g}, \quad (33)$$

где $H_{\text{м.а.д}}$ – местное атмосферное давление, определяется по формуле:

$$H_{\text{м.а.д}} = 10 - \frac{\nabla}{900}, \quad (34)$$

∇ - абсолютная отметка размещения поверхности строительной площадки;

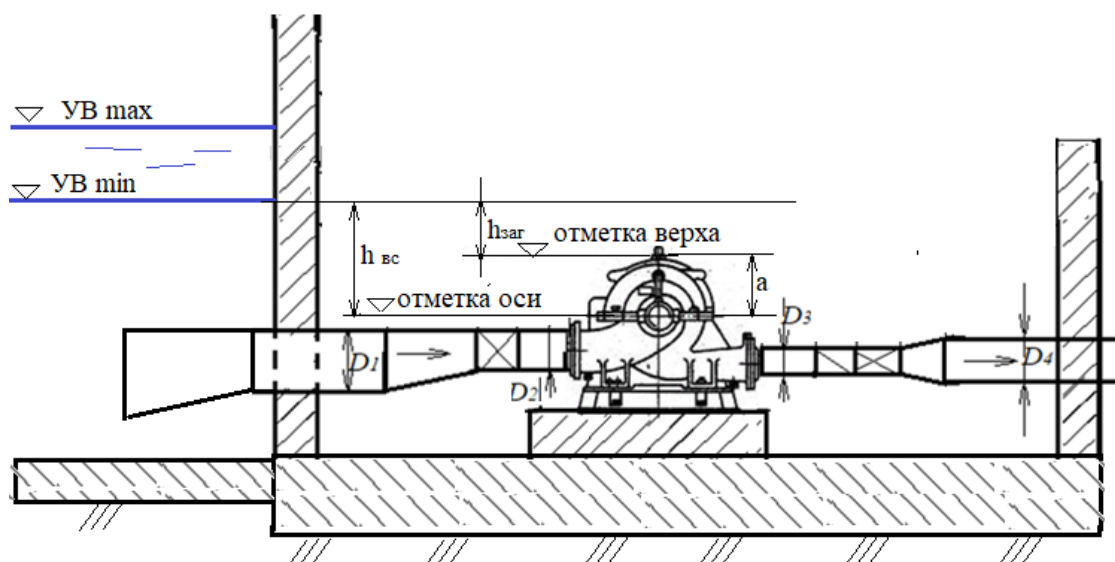


Рисунок 27 – Расчетная схема для определения положения оси насоса при отрицательной высоте всасывания.

$\sum h_{г.с.вс}$ – сумма гидравлических сопротивлений во всасывающем трубопроводе;

h_t – величина, учитывающая температуру воды, принимается равной давлению насыщенного пара воды в зависимости от температуры, определяется по Приложению 3;

$\Delta h_{расч}$ – кавитационный запас определяется по графической характеристике насоса с учетом величины подаваемого расхода воды;

$V_{вс}$ – скорость движения воды во всасывающем трубопроводе.

При отрицательной высоте всасывания относительное размещение оси насоса можно рассчитать по формуле:

$$h_{вс} = h_{заг} + a, \quad (35)$$

$h_{заг}$ – заглубление верха насоса под минимальный уровень воды в аванкамере, принимается не менее 0,4 м;

a – конструктивный размер насоса, расстояние по вертикали между верхом насоса и осью вращения.

6 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАСОСНОГО АГРЕГАТА

При проектировании насосных станций важным является определение рабочей точки насоса, которая определяет действительные параметры подаваемого водного потока через трубопровод к потребителю. В свою очередь рабочая точка насоса является точкой пересечения основной характеристики насоса (напорной характеристики) с характеристикой напорного трубопровода. В этой точке наблюдается равенство полезной мощности насоса с мощностью, которая расходуется потоком для подъема воды на необходимую высоту и на преодоление сопротивлений. При этом проверяется выполнение условия, что насос будет подавать воду с максимальными КПД – когда рабочая точка размещается в рабочей зоне насоса.

Характеристика напорного трубопровода определяется значением высоты подачи жидкости в сумме с потерями напора при различных значениях подаваемых расходов воды (рисунок 28).

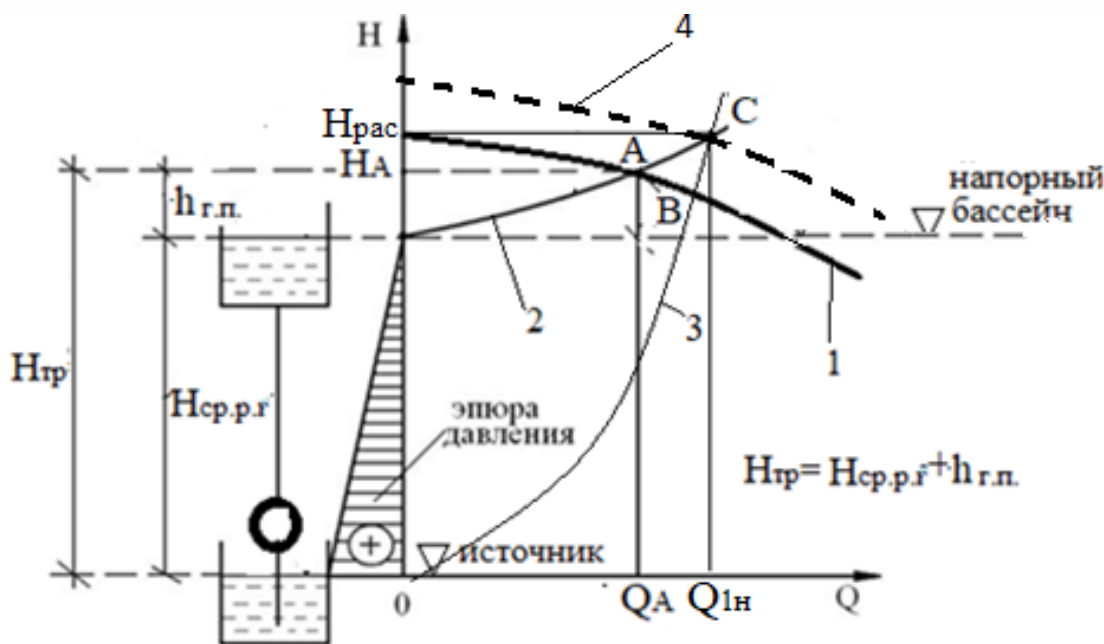


Рисунок 28 – Совмещение напорных характеристик насоса и трубопровода: 1 – характеристика трубопровода; 2 – напорная характеристика насоса по каталогу; 3 – характеристика функции $H = K \times Q^2$; 4 – необходимая характеристика насоса по напору.

После определения рабочей точки (А) производят сравнения полученных значений расхода Q_A и напора H_A с расчетными значениями, определенными в ходе обработки исходных данных $H_{рас}$ и $Q_{1н}$. В случае несовпадения указанных величин рассматривается вопрос изменения числа оборотов или обточки рабочего колеса. При этом одновременно меняются его параметры расхода Q , напора H , мощности N и функции кавитационного запаса h .

При изменении числа оборотов вначале определяют напор, мощность, подачу (Q_1, H_1, N_1), которые создаются при числе оборотов рабочего колеса n_1 , для одного режима, а для другого режима при числе оборотов n_2 через Q_2, H_2, N_2 . При этом с учетом подобия параллелограммов скоростей строится функциональная зависимость:

$$H = K \times Q^2, \quad (36)$$

где Q – задаваемые величины подачи с учетом значений по оси абсцисс графической характеристики насоса;

K – расчетный коэффициент, определяемый по формуле:

$$K = \frac{H_{расч}}{Q_{1н}^2}, \quad (37)$$

После построения функции $H = K \times Q^2$ на графических характеристиках насоса и трубопровода при пересечении появятся точки (В) и (С). Параметры подачи и напора в точке (С) должны быть равны расчетным (проектным).

В этих точках графика потоки воды, проходящие через насос при известном числе оборотов n_1 и новом n_2 , будут находиться в кинематическом подобии.

Далее рассчитывается новое число оборотов n_2 по формуле:

$$n_2 = n_1 \frac{Q_{1н}}{Q_B}, \quad (38)$$

Зная значение нового числа оборотов рабочего колеса производится расчет и построение новых графических характеристик с учетом уравнений (9).

Обточку рабочего колеса насоса рассматривают в тех случаях, когда необходимо снизить мощностные и напорные характеристики насоса. При этом число оборотов рабочего колеса не изменяется, а новый диаметр рабочего колеса определяется по формуле:

$$D_2 = \sqrt[3]{D_1^3 \frac{Q_{1н}}{Q_B}}, \quad (39)$$

Для пересчета параметров и построения графических характеристик насоса с измененным рабочим колесом пользуются следующими уравнениями подобия:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3; \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2; \quad \frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5; \quad \frac{\Delta h_{д2}}{\Delta h_{д1}} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2, \quad (40)$$

7 ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ МЕЛИРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Эксплуатацию насосных станций мелиоративного назначения следует вести в строгом соблюдении утвержденных правил Министерством сельского хозяйства и продовольствия РФ от 26 мая 1998 г. При этом следует соблюдать основные пункты, которые приведены ниже.

Служба технической эксплуатации насосных станций должна бесперебойно обеспечивать:

- выполнение графика подачи воды потребителям в требуемых объемах и в установленные сроки;
- выполнение графика откачки дренажных вод для понижения грунтовых вод на осушенных землях до необходимого уровня.

Для обеспечения надежной эксплуатации насосных станций необходимо:

- осуществлять постоянный надзор, техническое обслуживание и ремонт сооружений и оборудования;
- соблюдать рациональный режим работы оборудования;
- внедрять новые технологии эксплуатации и ремонта;
- постоянно иметь оптимальный резерв материалов, запасных узлов и деталей, отдельных агрегатов.

Служба эксплуатации насосных станций организует и проводит постоянный инженерный надзор за работой и состоянием сооружений, в состав которых входят:

- систематические визуальные и инструментальные наблюдения за деформацией сооружений и конструкций, фильтрацией и утечкой воды, раскрытием швов и трещин, засорением решеток и другими явлениями с занесением результатов наблюдений в специальный журнал;
- периодические, не реже двух раз в год, проводить обследование всех конструкций станции с составлением дефектного акта;
- внеочередные обследования после аварий, стихийных бедствий на предмет определения объемов восстановительных работ.

Эксплуатационный персонал станции обязан проводить регулярное обслуживание сооружений с очисткой отдельных конструкций от мусора, ила, наносов, растительности, льда и снега, планировкой, засыпкой и досыпкой пустот, заделкой мелких трещин и обнажений арматуры, окраской малых поверхностей и т.п.

Обслуживание и уход за гидромеханическим, насосно-силовым, энергетическим, водоизмерительным оборудованием и приборами

осуществляется в соответствии с заводскими паспортами и инструкциями по эксплуатации.

Режим работы насосной станции должен быть максимально приближен к графику водоподачи и включать в себя график включения и отключения основных насосных агрегатов, а также оперативные меры по компенсации возможного дефицита водоподачи, в числе которых могут применяться:

- ступенчатое регулирование водоподачи путем поочередного включения и отключения агрегатов;
- использование накопленных резервов воды в машинном канале, внутрисистемных бассейнах суточного регулирования стока и других искусственных накопителях;
- попеременные включения и отключения агрегата при частоте таких операций, обоснованной расчетом и допускаемой заводом-изготовителем;
- диспетчеризация и автоматизация управления водораспределением и работы насосной станции.

Для защиты от гидравлического удара необходимо постоянно поддерживать в рабочем состоянии обратные клапаны, клапаны срыва вакуума, вантузы, гасители удара и прочие приспособления, контролировать величину и продолжительность реверса рабочего колеса насоса при сбросе воды через насос, а также продолжительность закрытия задвижек на трубопроводе, которая обычно не должна быть менее 2 - 4 минут.

После завершения поливного сезона оросительные насосные станции подлежат консервации, из трубопроводов, корпусов насосов и арматуры полностью удаляется вода. На станциях с заглубленными камерами во избежание их затопления проводится ревизия дренажных систем, проверка и отладка запорной арматуры, пуска регулирующих приборов, осушительных насосов, системы отопления и обогрева, надежности питания дренажных систем от трансформаторов малой мощности.

На насосных станциях, работающих в зимний период (на системах осушения, обводнения, водоснабжения, дренажа и др.), до наступления

морозов должны быть завершены наружные профилактические мероприятия, проведена ревизия затворов, сорозадерживающих решеток, запаней, подъемных механизмов, напорных и всасывающих трубопроводов, систем дренажа, обогрева, теплоизоляции и др.

На головных насосных станциях, осуществляющих забор воды из поверхностных водотоков, необходимо обеспечить осветление перекачиваемой воды до кондиций, соответствующих техническим условиям заводов-изготовителей (по мутности воды и крупности частиц наносов).

Для предотвращения попадания в машинный канал крупных наносов на головных насосных станциях рекомендуются следующие меры:

- установка струенаправляющих систем, наносоуправляющих устройств и шпор для отвлечения наносов от места водозабора;
- устройство специальных наносоперехватывающих и наносоулавливающих сооружений (отстойников, песколовок, порогов, карманов, промывных и перехватывающих галерей, решеток и т.п.);
- задержание наносов в подпертом бьефе перед водозабором с последующим удалением;
- забор воды из верхних, более осветленных слоев путем искусственного повышения порога водозаборного сооружения (при помощи шандор и т.п.) в период с обильным содержанием наносов в речном потоке;
- использование подводящего канала, водозаборного ковша и других емкостей для осаждения и аккумуляции наносов с последующей их механической или гидравлической очисткой.

Выбор способа защиты от наносов на головной насосной станции определяется технико-экономическим расчетом, учитывающим потери, связанные с повышенным абразивным износом трубопроводов и оборудования, очисткой канала от заиления, снижением урожайности поливных культур в результате выноса на поля крупных отложений, ухудшением качества воды в системах водоснабжения и обводнения и другими неблагоприятными факторами.

В процессе эксплуатации насосных станций должен обеспечиваться устойчивый бескавитационный режим работы оборудования, для чего необходим контроль за фактической вакуумметрической высотой всасывания и ее соответствием допустимому кавитационному запасу, установленному рабочей характеристикой насоса.

На каждой головной насосной станции или станции, осуществляющей подачу воды в распределительные каналы, хозяйствам-водопотребителям или отвод вод с осушенной или защищаемой территории, должен быть организован достоверный учет перекаченных объемов воды.

В качестве приближенного метода измерения воды, при отсутствии более надежных средств, может использоваться косвенный способ определения объема перекаченной воды по количеству израсходованной для этой цели электроэнергии, с предварительным установлением градуировочных коэффициентов методами теории вероятности и проверкой их практикой.

Для повышения надежности работы мелиоративной насосной станции необходимо предусматривать резерв технологического оборудования, отдельных его агрегатов и деталей. Рекомендуются следующие виды резервирования:

- дробное - один резервный агрегат на несколько основных;
- скользящее - резервный агрегат может заменить любой основной;
- холодное - резервный агрегат находится в ненагруженном состоянии и способен включиться в работу после отказа любого основного агрегата.

В случае, если в проекте насосной станции не предусматривалась установка резервных агрегатов, в процессе эксплуатации многоагрегатной станции следует за счет сокращения водопотребления и экономии водных ресурсов изыскать возможность для вывода как минимум одного насосного агрегата из постоянного рабочего режима в резервный на весь период вегетации или его часть.

Объем резервирования агрегатов, отдельных узлов и деталей насосно-силового оборудования устанавливается руководством эксплуатационной организации с учетом рекомендаций проектных организаций и заводов-изготовителей.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Технические характеристики насосов типа К и КМ.

Типоразмер насоса	Подача, м ³ /с	Напор, м	Мощность, кВт	Число оборотов, об/мин	Габариты, мм	Масса, кг
К 8/18	8	18	1,5	3000	769x257x323	64
К 8/18a	7,5	16	1,5	3000	769x257x323	64
КМ 8/18	8	18	1,5	3000	505x240x285	51
К 50-32-125	12,5	20	2,2	3000	792x300x315	80
К 50-32-125a	12,5	15	1,5	3000	792x300x315	80
КМ 50-32-125	12,5	20	2,2	3000	491x200x265	47
КМ 50-32-125a	12,5	15	2,2	3000	491x200x205	47
КМ 50-32-125-5	12,5	20	2,2	3000	491x200x265	47
КМ 50-32-125-СД	12,5	20	2,2	3000	491x200x265	47
К 20/18	20	18	2,2	3000	769x257x323	65
К 20/18a	18	15	1,5	3000	769x257x323	65
К 65-50-125	25	20	3,0	3000	770x368x312	100
КМ 65-50-125	25	20	4,0	3000	550x210x272	59
К 20/30	20	30	4,0	3000	832x299x350	92
К 20/30a	19,8	25,8	3,0	3000	817x265x338	80
К 20/30б	19,8	18	3,0	3000	817x265x338	80
КМ 20/30	20	30	4,0	3000	560x293x313	65
К 65-50-160	25	32	5,5	3000	865x340x335	115
К 65-50-160a	25	25	4,0	3000	800x340x335	110

KM 65-50-160	25	32	5,5	3000	570x250x310	76
KM 65-50-160a	25	25	5,5	3000	570x250x310	78
KM 65-50-160-СД	25	32	5,5	3000	570x250x310	76
KM 65-50-160-5	25	32	5,5	3000	570x250x310	76
K 45/30	45	30	7,5	3000	1030x333x413	134
K 45/30a	35	22,5	5,5	3000	973x333x380	125
K 80-65-160	50	32	7,5	3000	925x427x395	136
K 80-65-160a	45	25	5,5	3000	895x427x395	132
KM 80-65-160	50	32	7,5	3000	680x300x345	105
KM 80-65-160-5	50	32	7,5	3000	680x300x345	105
KM 80-65-160a	45	25	7,5	3000	680x300x345	105
K 45/55	45	55	15,0	3000	1405x505x565	330
K 45/55a	40	41,5	11,0	3000	1295x485x500	265
K 80-50-200	50	50	15,0	3000	1127x458x485	250
K 80-50-200-СД	50	50	15,0	3000	1127x458x485	250
K 80-50-200a	45	40	11,0	3000	990x428x425	185
KM 80-50-200	50	50	15,0	3000	825x358x360	195
KM 80-50-200-5	50	50	15,0	3000	825x358x360	195
KM 80-50-200a	45	40	15,0	3000	825x358x360	195
K 90/20	90	20	7,5	3000	1030x333x413	134
K 90/20a	70	18,2	5,5	3000	973x333x380	127
K 90/35	90	35	15,0	3000	1405x505x565	330
K 90/35a	85	28,6	11,0	3000	1295x485x500	265

K 100-80-160	100	32	15,0	3000	1235x458x455	265
K 100-80-160-СД	100	32	15,0	3000	1235x458x455	265
K 100-80-160a	90	26	11,0	3000	1105x458x425	210
KM 100-80-160	100	32	15,0	3000	824x350x360	197
KM 100-80-160-5	100	32	15,0	3000	824x350x360	197
KM 100-80-160a	90	26	15,0	3000	824x350x360	197
K 100-65-200	100	50	30,0	3000	1290x498x510	340
K 100-65-200-СД	100	50	30,0	3000	1290x498x510	340
K 100-65-200-5	100	50	30,0	3000	1290x498x510	340
K 100-65-200a	90	40	18,5	3000	1265x498x475	275
KM 100-65-200	100	50	30,0	3000	850x400x405	260
KM 100-65-200-5	100	50	30,0	3000	850x400x405	260
KM 100-65-200a	90	40	30,0	3000	850x400x405	260
KM 125-100-160-5	100	30	22,0	3000	920x412x475	202
K 90/85	90	85	45,0	3000	1590x575x630	515
K 90/85a	85	76	37,0	3000	155x575x630	495
K 100-65-250	100	80	45,0	3000	1390x568x605	460
K 100-65-250-СД	100	80	45,0	3000	1390x568x605	460
K 100-65-250a	90	67	37,0	3000	1390x568x605	435
K 150-125-250	200	20	18,5	1500	1325x475x455	370
K 150-125-250a	180	16	15,0	1500	1305x475x455	355
KM 150-125-250	200	20	18,5	1500	895x430x705	195
KM 150-125-250-5	200	20	18,5	1500	895x430x705	195

KM 150-125-250a	180	16	18,5	1500	895x430x705	195
K 160/30	160	30	30,0	1500	1535x515x585	435
K 160/30-СД	160	30	30,0	1500	1535x515x585	435
K 160/30a	140	28,6	22,0	1500	1495x515x585	415
K 160/30б	140	22	18,5	1500	1515x505x565	410
K 150-125-315	200	32	30,0	1500	1375x540x610	450
K 150-125-315-СД	200	32	30,0	1500	1375x540x610	450
K 150-125-315a	180	26	22,0	1500	1325x540x610	430
K 200-150-250	315	20	30,0	1500	1375x560x610	460
K 200-150-250-СД	315	20	30,0	1500	1375x560x610	460
K 200-150-250a	290	17	22,0	1500	1325x540x610	440
K 290/30	290	30	37,0	1500	1645x575x600	550
K 290/30a	250	24	30,0	1500	1555x515x585	460
K 200-150-315	315	32	45,0	1500	1665x600x720	645
K 200-150-315-СД	315	32	45,0	1500	1665x600x720	645
K 200-150-315a	290	26	37,0	1500	1625x600x720	615
K 200-150-400	400	50	90,0	1500	1790x795x825	1005
K 200-150-400a	400	40	75,0	1500	1750x795x825	960

Технические характеристики насосов типа 1Д.

Типоразмер насоса	Подача, м ³ /с	Напор, м	Мощность, кВт	Число оборотов, об/мин	Габариты, мм	Масса, кг
Д 200-36	200	36	37	1500	1625x799x835	760
Д 200-36а	190	29,7	30	1500	1500x799x790	660
Д 200-36б	180	25	22	1500	1496x799x790	655
1Д 200-90	100	22	15	1500	1402x530x695	354
1Д 200-90	200	90	90	3000	1727x557x850	780
1Д 200-90а	180	74	75	3000	1687x557x850	740
1Д 200-90б	160	62	55	3000	1592x530x810	607
1Д 250-125	250	125	160	3000	2007x895x965	1170
1Д 250-125а	240	101	132	3000	1952x865x895	1125
1Д 315-50	315	50	75	3000	1686x600x880	785
1Д 315-50а	300	42	55	3000	1582x600x840	662
1Д 315-50б	220	36	45	3000	1572x600x830	577
4Д 315-50	315	50	75	3000	1680x600x860	780
4Д 315-50а	300	42	55	3000	1580x600x780	640
4Д 315-50б	220	37	45	3000	1530x600x765	568
Д 320-50	320	50	75	1500	1750x966x940	1118
Д 320-50а	300	39	55	1500	1674x966x900	1038
1Д 315-71	315	71	110	3000	1912x660x910	1096
1Д 315-71а	300	60	90	3000	1727x600x880	827

1Д 500-63	500	63	160	1500	2435x900x1050	1580
1Д 500-63a	450	53	132	1500	2360x890x1020	1500
1Д 500-63б	400	44	110	1500	2320x890x1020	1450
1Д 630-90	630	90	250	1500	2550x1000x1150	2210
1Д 630-90a	550	74	200	1500	2470x1040x1100	1534
1Д 630-90б	500	60	160	1500	2440x1040x1100	1627
1Д 630-125	630	125	400	1500	2430x980x1195	2735
1Д 630-125a	550	101	315	1500	2435x900x1375	2440
1Д 630-125б	500	82	250	1500	2555x795x1180	2360
1Д 800-56	800	56	200	1500	2470x1040x1100	1479
1Д 800-56a	740	48	132	1500	2362x935x1065	1552
1Д 800-56б	700	40	110	1500	2325x935x1065	1500
1Д 1250-63	1250	63	315	1500	2645x1060x1220	2740
1Д 1250-63a	1100	52,5	250	1500	2595x1060x1220	2535
1Д 1250-63б	1050	44	200	1500	2510x1100x1150	1900
1Д 1250-63	800	28	110	1000	2200x950x1015	1730
1Д 1250-63a	740	24	75	1000	2500x1015x1015	1780
1Д 1250-63б	710	20	55	1000	2150x1100x1100	1520
1Д 1250-125	1250	125	630	1500	3243x1470x1705	4600
1Д1250-125a	1150	102	500	1500	2938x1370x1640	3783
1Д1250-125б	1030	87	400	1500	2938x1370x1640	3643
1Д 1600-90	1600	90	630	1500	3243x1470x1705	4460
1Д 1600-90a	1450	75	500	1500	2938x1370x1640	3700

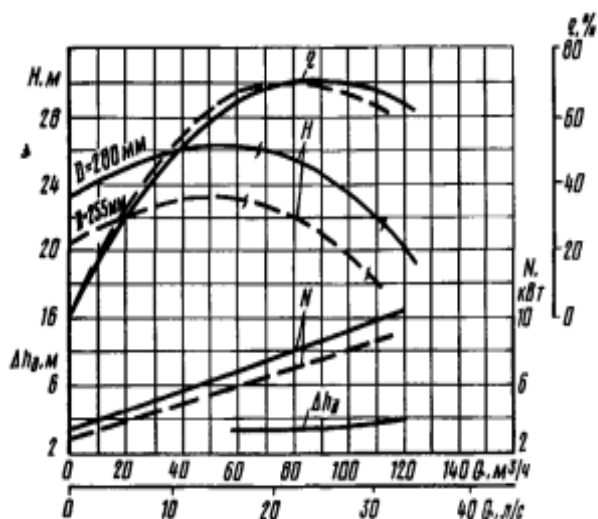
1Д 1600-90б	1300	63	400	1500	2938x1370x1640	3500
1Д 1600-90	1000	40	160	1000	2798x1200x1240	2960
1Д 1600-90а	970	34	132	1000	2738x1200x1240	2800
1Д 1600-90б	870	30	110		2693x1200x1240	2550

Технические характеристики насосов типа 2Д (крупные насосы).

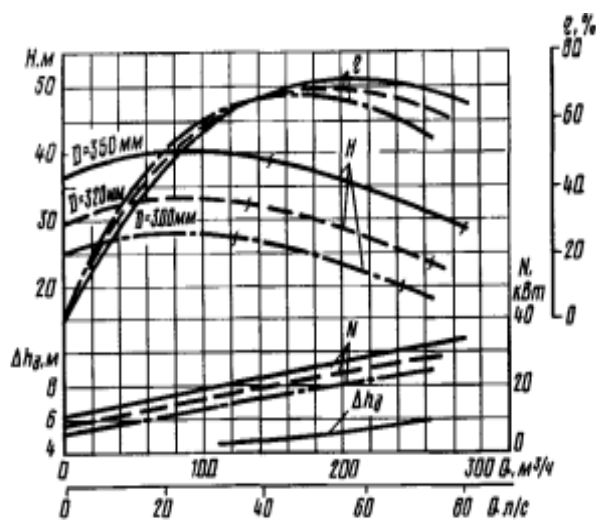
Типоразмер насоса	Подача, м ³ /с	Напор, м	Число оборотов, об/мин	Мощность, кВт	Допустимый кавитационный запас, м
Д 2000-21-2	2000	21	1000	160	5
Д 2000-21-2	1600	11	750	75	3
Д 2000-213-2	1850	19	1000	132	5
Д 2000-213-2	1500	10	750	55	3
Д 2000-216-2	1700	17	1000	110	5
Д 2000-216-2	1400	9	750	55	3
Д 2000-100-2	2000	100	1000	800	6
Д 2000-1003-2	1900	88	1000	630	6
Д 2000-1006-2	1800	80	1000	630	6
Д 2500-62-2	2500	62	1000	630	6
Д 2500-62-2	2000	34	750	250	4
Д 2500-623-2	2300	52	1000	500	6
Д 2500-623-2	1900	29	750	250	4
Д 3200-33-2	3200	33	1000	400	6.5

Д 3200-33-2	2500	17	750	160	4
Д 3200-333-2	3000	29	1000	315	6,5
Д 3200-333-2	2400	15	750	132	4
Д 3200-336-2	2800	25	1000	315	6,5
Д 3200-336-2	2300	13	750	110	4
Д 3200-75-2	3200	75	1000	1000	6,5
Д 3200-75-2	2500	42	750	400	4
Д 3200-753-2	3000	65	1000	800	6,5
Д 3200-75э-2	2300	35	750	400	4
Д 4000-95-2	4000	95	1000	1600	7
Д 4000-95-2	3200	50	750	630	5,5
Д 4000-953-2	3700	82	1000	1250	7
7Д 4000-953-27	3000	45	750	630	5,5
Д 6300-27-3	6300	27	750	630	7,5
Д 6300-27-3	5000	17	600	315	5
Д 6300-27-3-1	5000	32	750	630	7,5
Д 6300-27-3-1	4000	20	600	315	5
Д 6300-273-3	5800	24	750	500	7,5
Д 6300-27э-3	4620	15	600	250	5
Д 6300-276-3	5450	22	750	400	7,5
Д 6300-276-3	4350	14	600	200	5
Д 6300-80-2	6300	80	750	2000	6,5
Д 6300-80-2	5000	50	600	1000	5,5

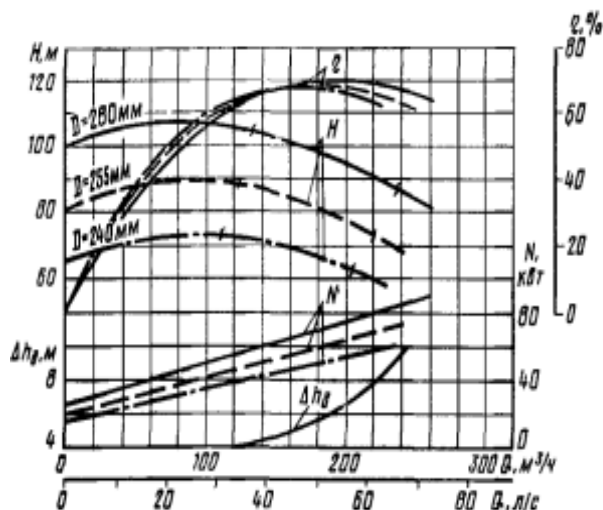
Д 6300-803-2	5900	70	750	1600	6,5
Д 6300-803-2	4700	45	600	800	5,5
Д 6300-806-2	5500	60	750	1250	6,5
Д12500-24	12500	10	426	445	
Д12500-24	12500	24	929	950	
Д12500-24a	9300	32	965	1006	
1Д1080-70	1080	70	255	296	



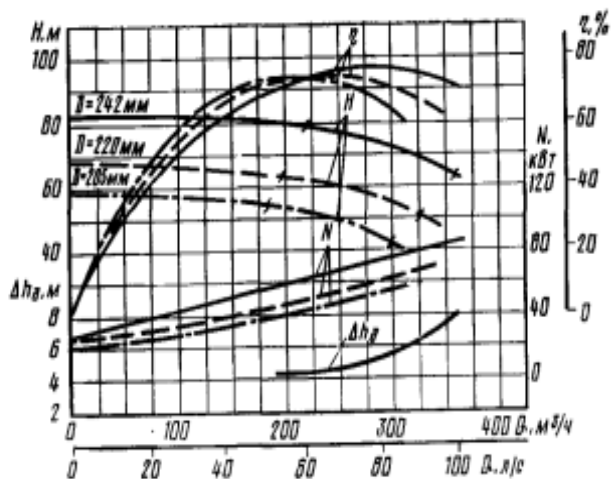
Характеристика насоса Д200-95; $n=1450$ об/мин



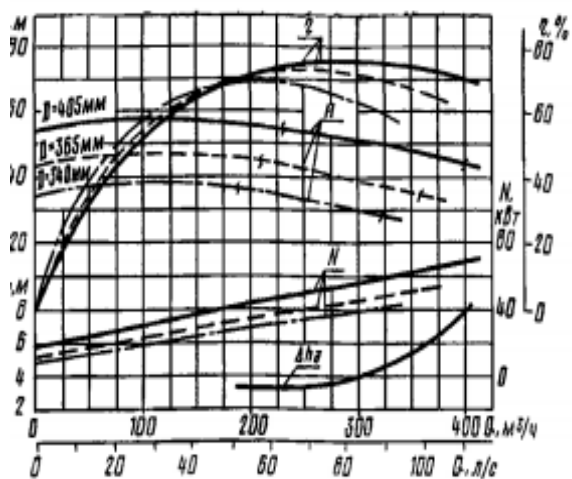
Характеристика насоса Д200-36; $n=1450$ об/мин



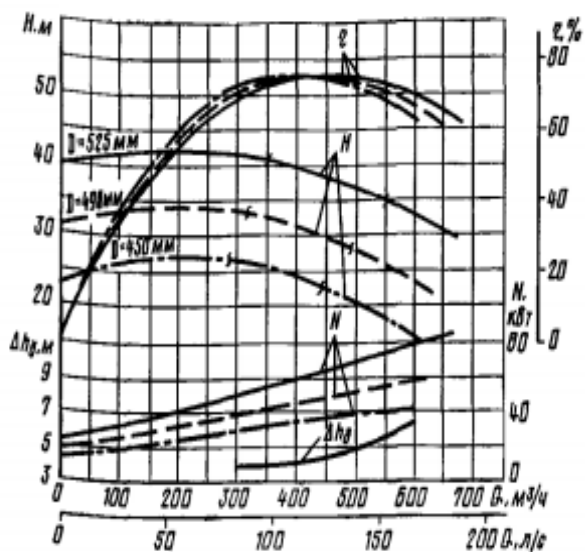
Характеристика насоса Д200-95; $n=2950$ об/мин



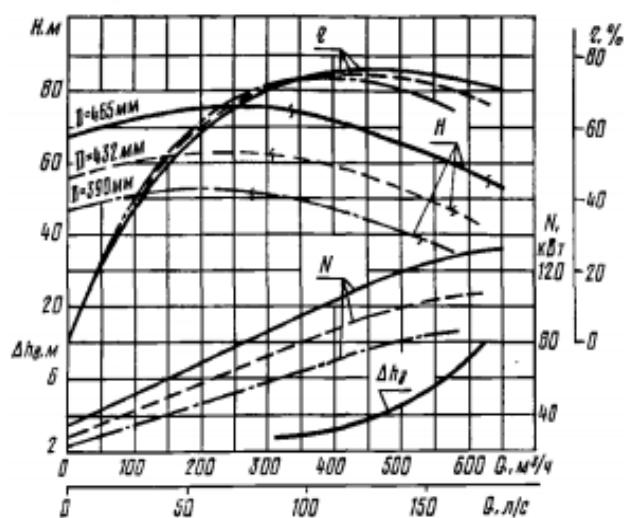
Характеристика насоса Д320-70; $n=2950$ об/мин



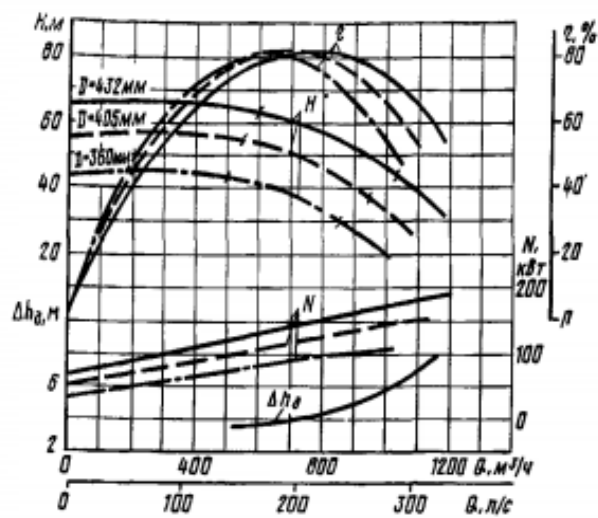
Характеристика насоса Д320-50; $n=1450$ об/мин



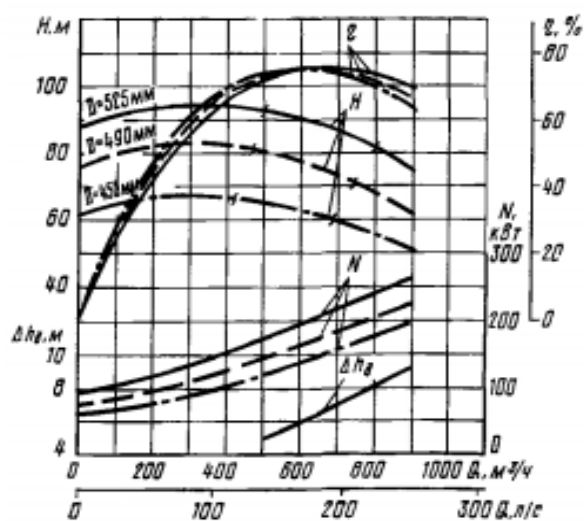
Характеристика насоса Д630-90; $n=960$ об/мин



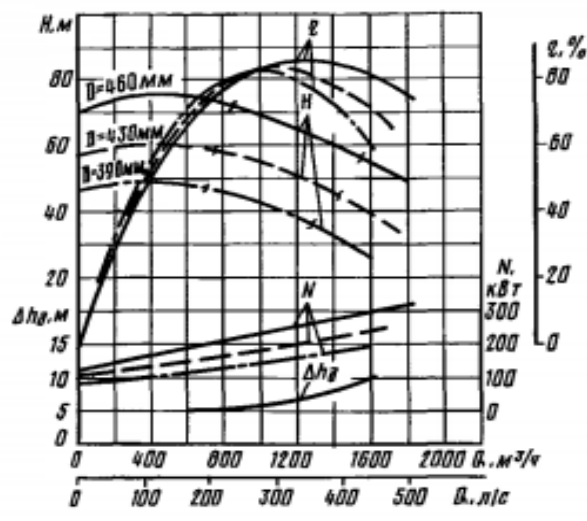
Характеристика насоса Д500-65; $n=1450$ об/мин



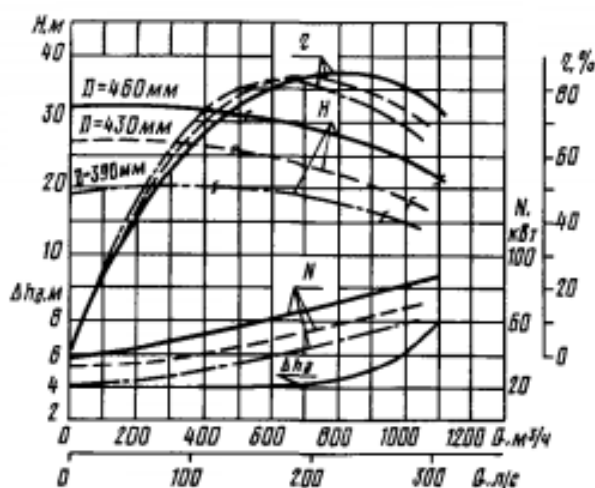
Характеристика насоса Д800-57; $n=1450$ об/мин



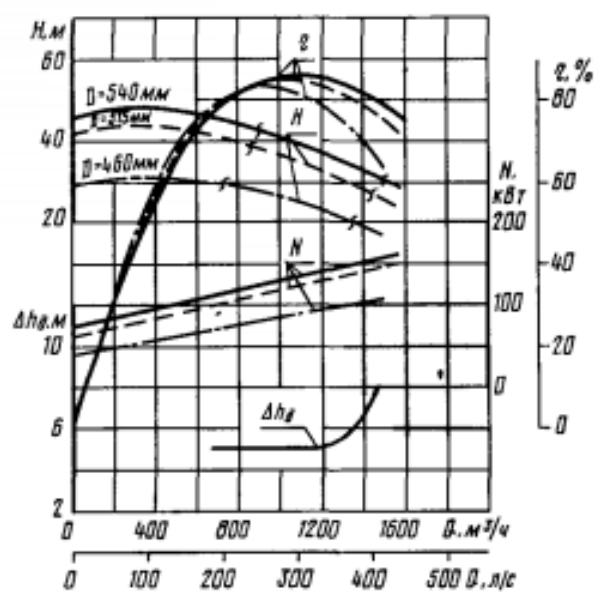
Характеристика насоса Д630-90;
 $n=1450$ об/мин



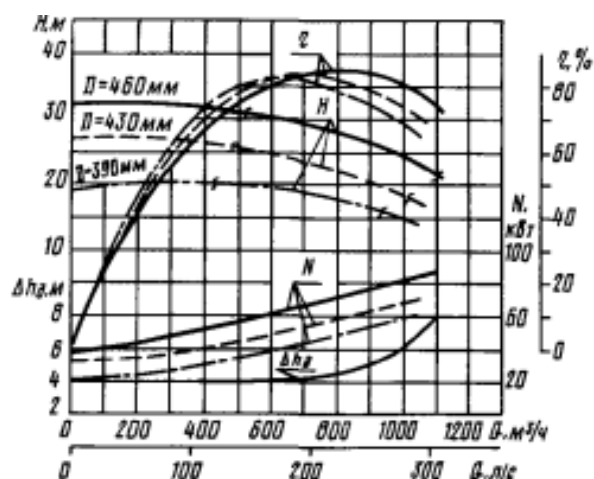
Характеристика насоса Д1250-65;
 $n=1450$ об/мин



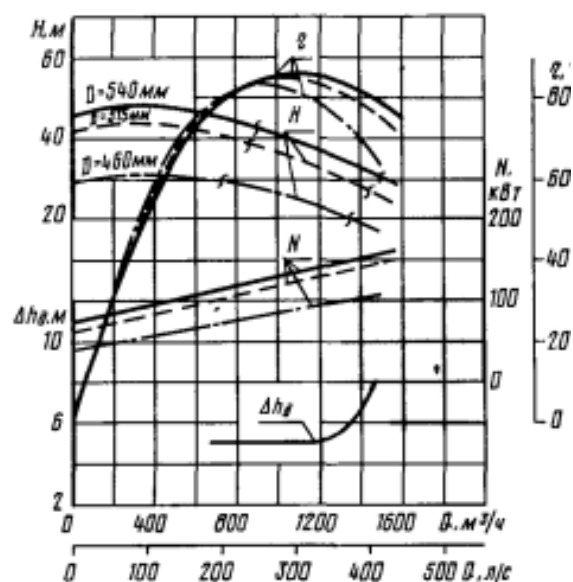
Характеристика насоса Д1250-65;
 $n=960$ об/мин



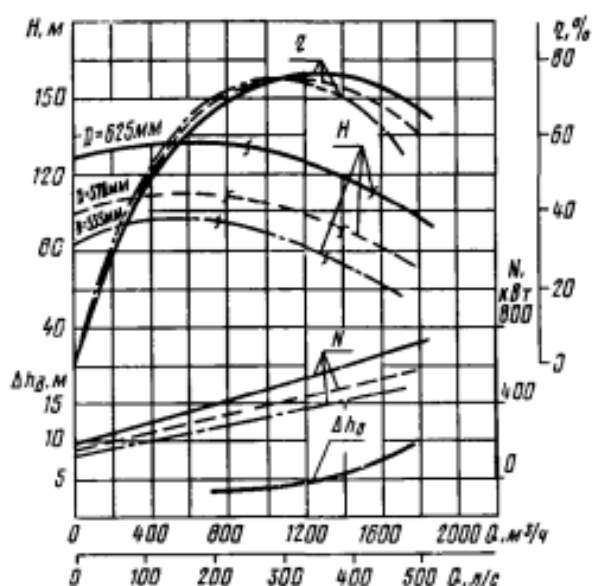
Характеристика насоса Д1600-90;
 $n=960$ об/мин



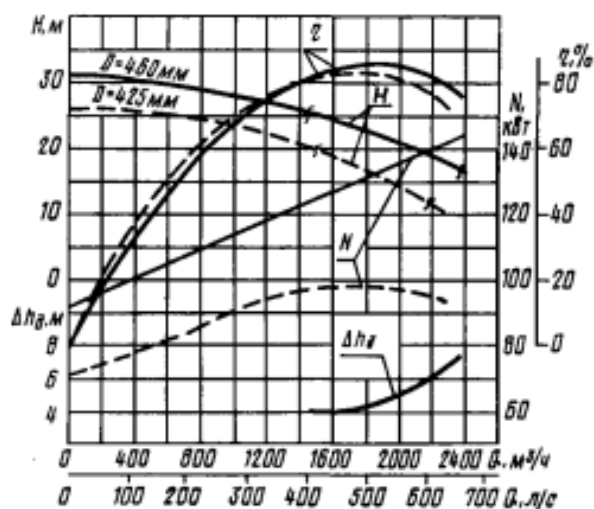
Характеристика насоса Д1250-65;
 $n=960$ об/мин



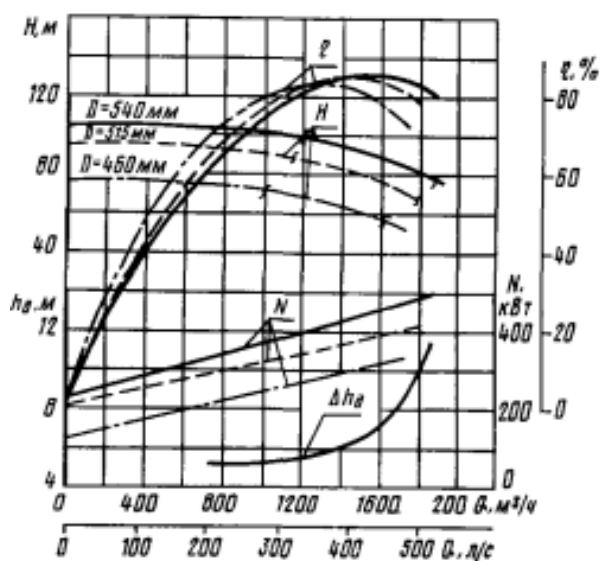
Характеристика насоса Д1600-90;
 $n=960$ об/мин



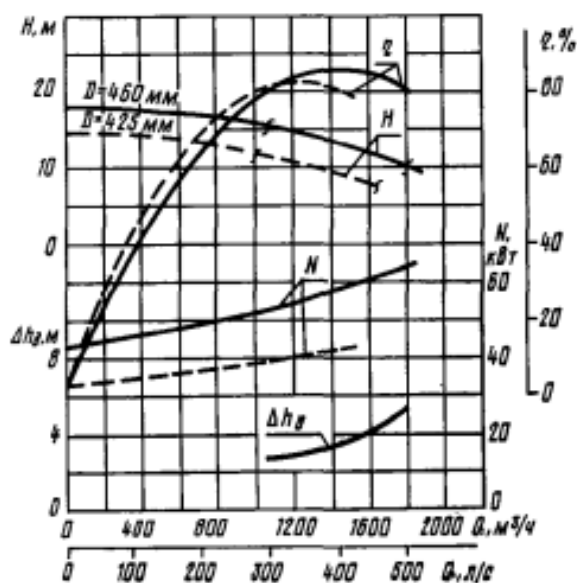
Характеристика насоса Д1250-125;
 $n=1450$ об/мин



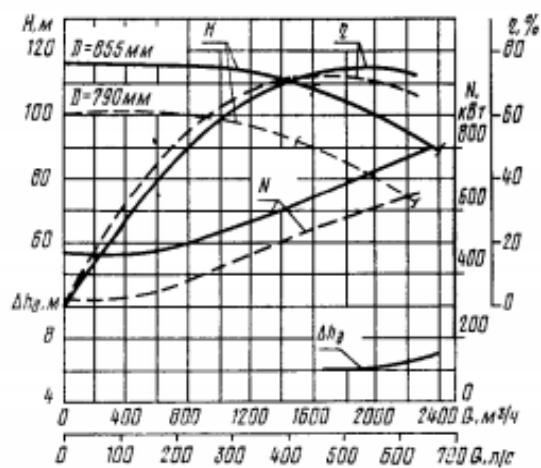
Характеристика насоса Д2000-21;
 $n=980$ об/мин



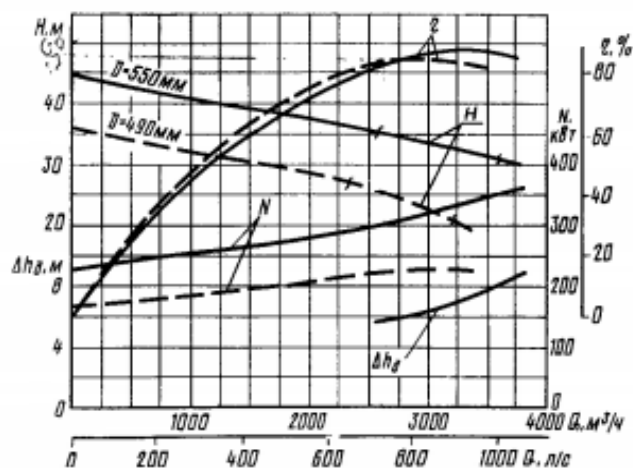
Характеристика насоса Д1600-90;
 $n=1450$ об/мин



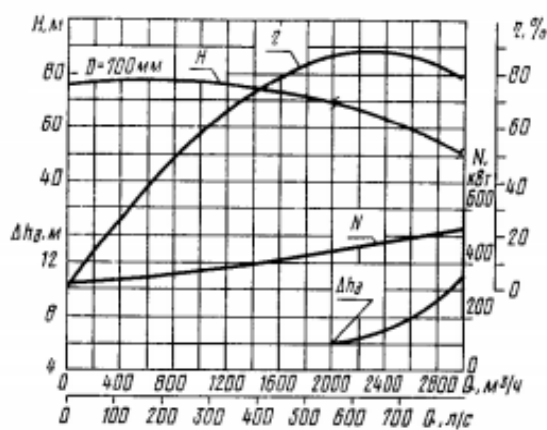
Характеристика насоса Д2000-21;
 $n=730$ об/мин



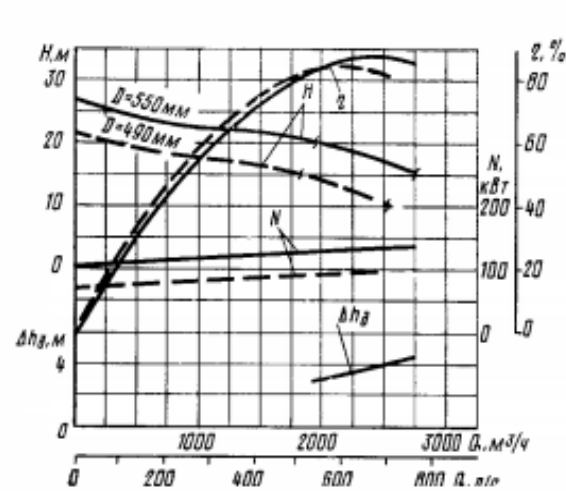
Характеристика насоса Д2000-100;
 $n=980$ об/мин



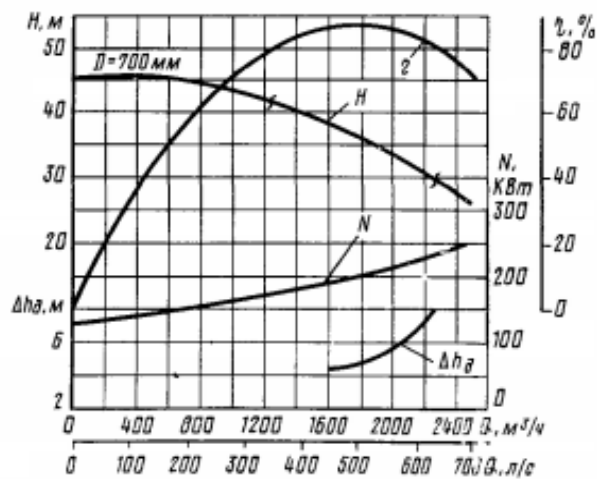
Характеристика насоса Д3200-33; $n=980$ об/мин



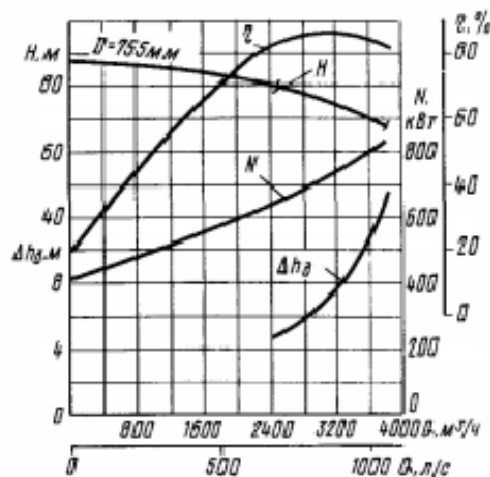
Характеристика насоса Д2500-52;
 $n=980$ об/мин



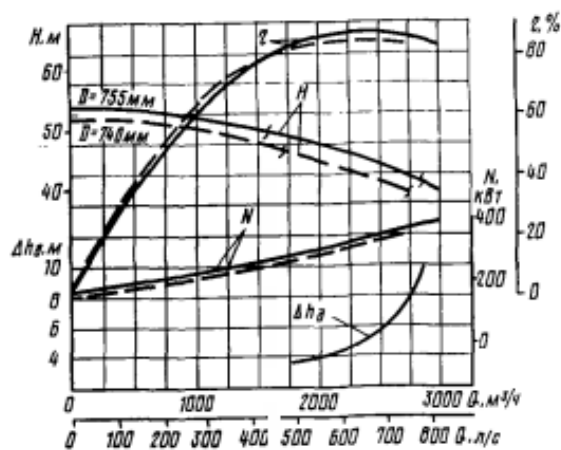
Характеристика насоса Д3200-33;
 $n=730$ об/мин



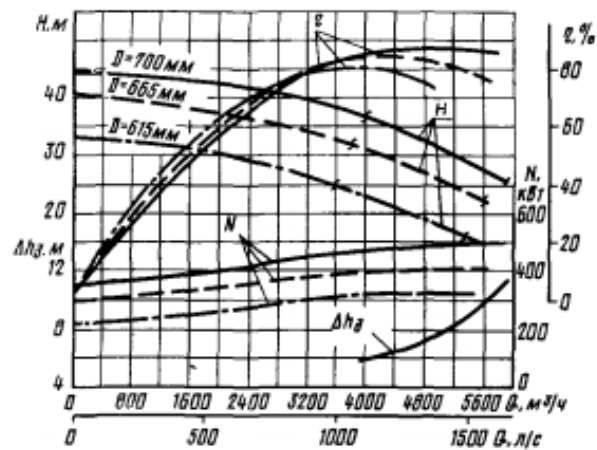
Характеристика насоса Д2500-62; $n=730$ об/мин



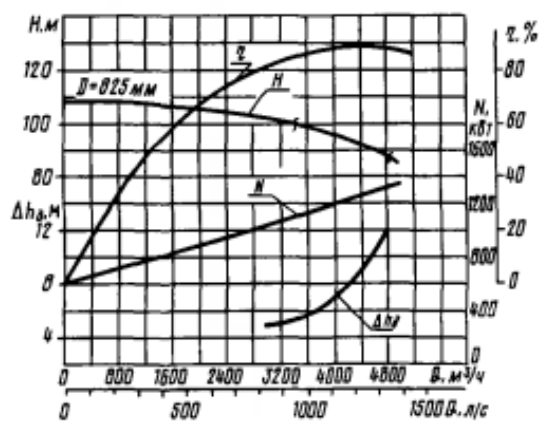
Характеристика насоса Д3200-75;
 $n=980$ об/мин



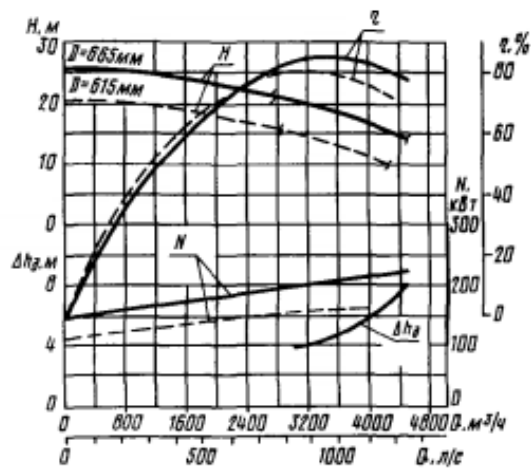
Характеристика насоса Д3200-75; $n=730$ об/мин



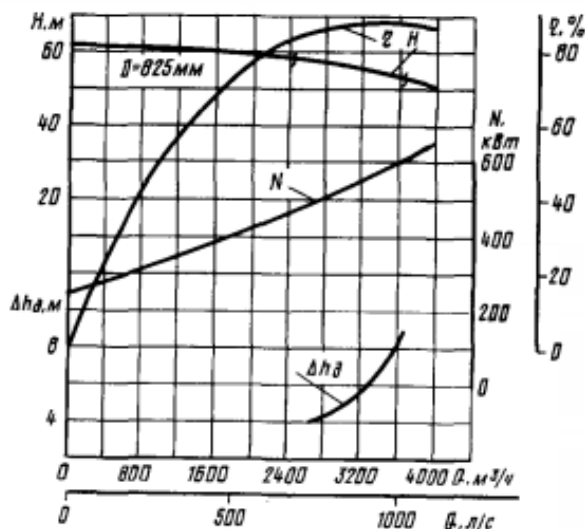
Характеристика насоса Д5000-32; $n=730$ об/мин



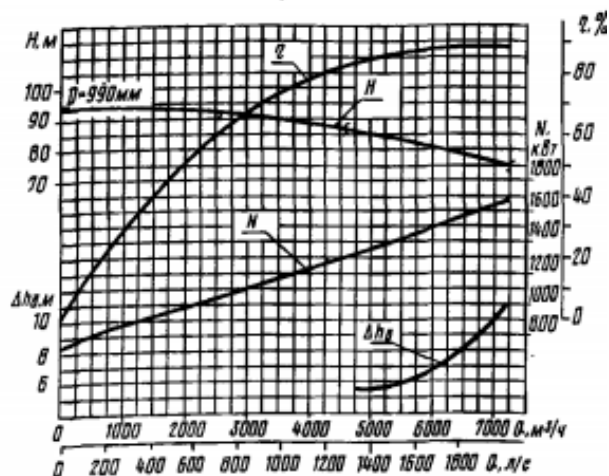
Характеристика насоса Д4000-95;
 $n=980$ об/мин



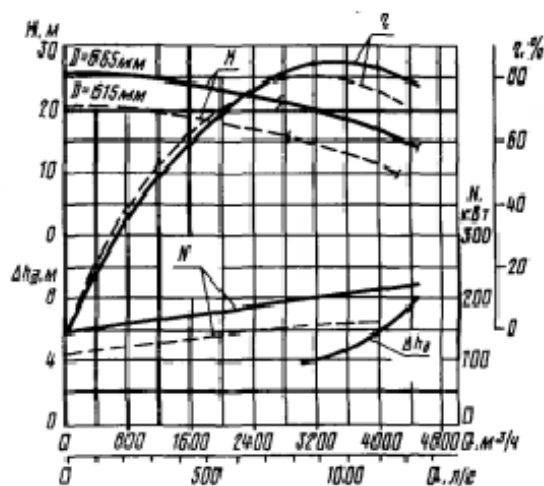
Характеристика насоса Д5000-32;
 $n=585$ об/мин



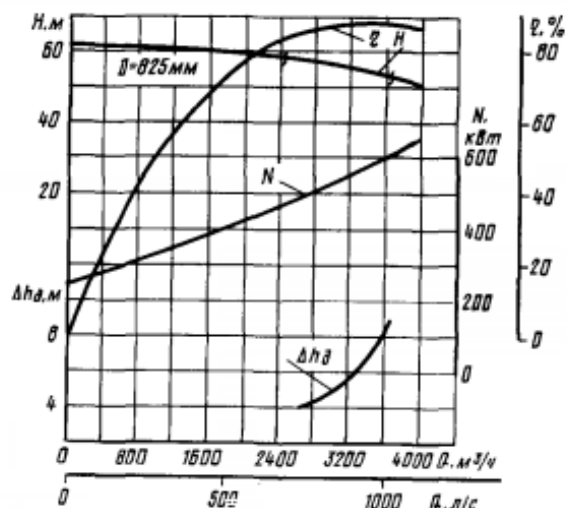
Характеристика насоса Д4000-95; $n=730$ об/мин



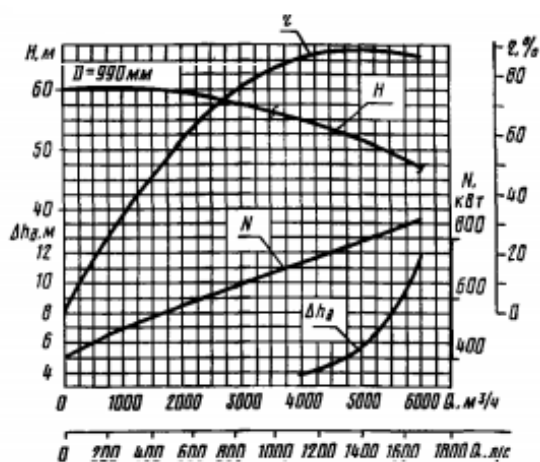
Характеристика насоса Д6300-80; $n=730$ об/мин



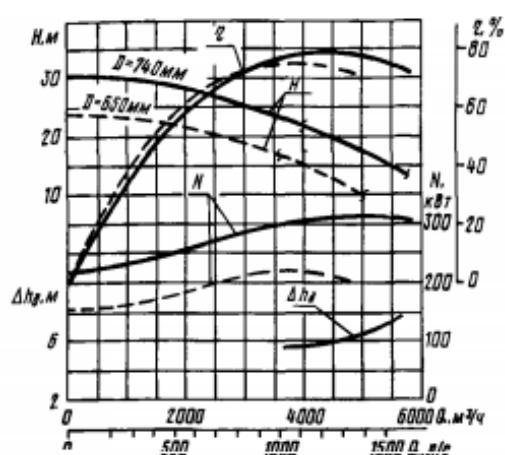
Характеристика насоса Д5000-32;
 $n=585$ об/мин



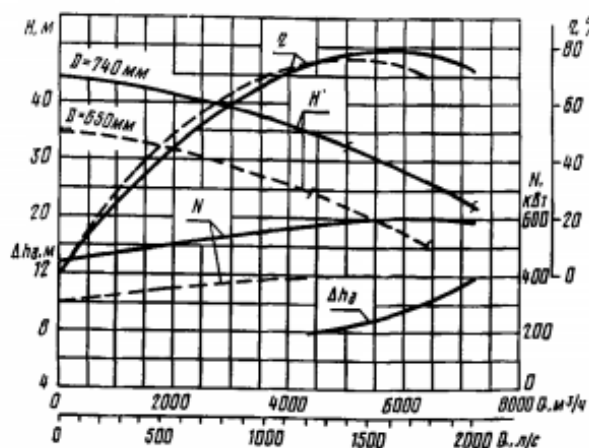
Характеристика насоса Д4000-95; $n=730$ об/мин



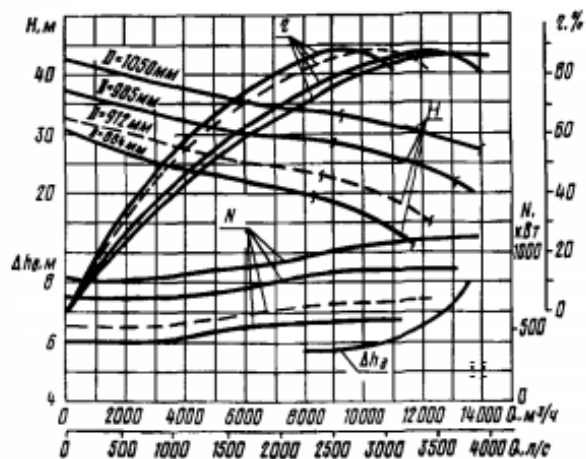
Характеристика насоса Д6300-80;
 $n=585$ об/мин



Характеристика насоса Д6300-27;
 $n=585$ об/мин



Характеристика насоса Д6300-27; $n=730$ об/мин



Характеристика насоса Д12500-24; $n=485$ об/мин

Давление и плотность насыщенных паров воды в зависимости от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	Давление			Плотность, г/м^3
	кПа	мм.рт.ст	м.в.ст	
0	0,611	4,58	0,061	4,84
1	0,655	4,92	0,065	5,22
2	0,705	5,29	0,071	5,60
3	0,757	5,68	0,076	5,98
4	0,813	6,10	0,081	6,40
5	0,872	6,54	0,087	6,84
6	0,934	7,01	0,093	7,3
7	1,01	7,57	0,10	7,8
8	1,07	8,05	0,107	8,3
9	1,15	8,61	0,115	8,8
10	1,23	9,21	0,123	9,4
11	1,31	9,84	0,131	10,0
12	1,40	10,52	0,140	10,7
13	1,50	11,23	0,150	11,4
14	1,59	11,99	0,159	12,1
15	1,70	12,79	0,170	12,8
16	1,81	13,63	0,181	13,6
17	1,94	14,53	0,194	14,5
18	2,06	15,48	0,206	15,4
19	2,19	16,48	0,219	16,3
20	2,34	17,54	0,234	17,3
21	2,48	18,6	0,248	18,3
22	2,64	19,8	0,264	19,4
23	2,81	21,1	0,181	20,6

