

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ
УСТАНОВОК**

Донецк
2017

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА «ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ
УСТАНОВОК**

для обучающихся по специальности
21.05.04 «Горное дело» всех форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
энергомеханических систем
Протокол № 1 от 28.09.2017

Донецк
2017

Рецензенты:

Федоров Олег Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергомеханических систем ГОУВПО «ДОННТУ»;

Моргунов Виктор Михайлович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергомеханических систем ГОУВПО «ДОННТУ».

Составители:

Малеев Виктор Борисович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теоретической механики ГОУВПО «ДОННТУ»;

Яковлев Виктор Михайлович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергомеханических систем ГОУВПО «ДОННТУ»;

Мизерный Владимир Иванович – старший преподаватель кафедры энергомеханических систем ГОУВПО «ДОННТУ»;

Гулин Валерий Валентинович – старший преподаватель кафедры энергомеханических систем ГОУВПО «ДОННТУ»;

Мельников Вячеслав Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры энергомеханических систем ГОУВПО «ДОННТУ».

Методические указания к проектированию шахтных водоотливных установок [Электронный ресурс] : для обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. энергомеханических систем ; сост. В. Б. Малеев, В. М. Яковлев, В. И. Мизерный, В. В. Гулин, В. А. Мельников. – Электрон. дан. (1 файл: 9,94 Мб). – Донецк : ДОННТУ, 2017. – Систем. требования: ZIP-архиватор.

Приведены методика расчета шахтной водоотливной установки, справочные данные по насосам, электродвигателям, трубам и арматуре, а также схемы гидромеханизированной очистки водосборников и предварительных отстойников.

Предназначены для выполнения контрольных, курсовых работ и дипломных проектов.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При изучении дисциплины «Горные машины и оборудование. Стационарные установки горных предприятий» студентами специальности 21.05.04 «Горное дело» выполняется расчетно-графическая работа по проектированию шахтной водоотливной установки. Кроме того, шахтную водоотливную установку студенты проектируют при выполнении дипломного проекта.

Методические указания определяют порядок проектирования шахтных водоотливных установок, содержат необходимый справочный материал по насосам, электродвигателям, трубопроводам и программу расчета на ЭВМ нагнетательного трубопровода оптимального диаметра.

В методических указаниях приводится порядок расчета предварительных отстойников для осветления шахтной воды.

Методические указания, предназначенные для студентов специальности 21.05.04 заочной и дневной форм обучения, могут использоваться и студентами других специальностей.

Настоящие методические указания написаны в соответствии с основными теоретическими и практическими положениями, изложенными в учебнике [1], а также в соответствии с требованиями Правил безопасности (ПБ) [2].

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОДОТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

2.1. Исходные данные, необходимые для проектирования водоотливной установки.

Для проектирования водоотливной установки необходимы: расстояние по вертикали от места расположения водоотливной установки до места слива воды H . Длина выработок, по которым прокладывается нагнетательный трубопровод L , высота всасывания насосов $H_{вс}$; нормальный суточный приток Q_n ; максимальный суточный приток Q_m ; качество откачиваемой воды (нейтральная, щелочная, кислотная); объемная концентрация твердого в шахтной воде q_T .

2.2, Выбор схемы водоотлива, место расположения насосной камеры, предварительного отстойника и водосборника

При наличии схемы околотвольного двора или рабочего горизонта уклонного поля шахты определяется место расположения насосной камеры, предварительного отстойника и выработок водосборника. Это дает возможность спроектировать гидравлическую схему водоотливной установки. По гидравлической схеме определяются длина всасывающих и нагнетательных трубопроводов и количество установленных на них местных сопротивлений (элементов трубопроводной арматуры).

Если горные работы ведутся одновременно на двух и более горизонтах, или требуемый напор не может быть создан одним насосом требуемой согласно ПБ подачи, то дальнейший расчет можно вести по одному из перечисленных ниже направлений.

2.2.1. Применять ступенчатый водоотлив с расположением насосных установок на нескольких горизонтах. При этом возможны два варианта: а) последовательная работа, когда насосы основного горизонта подают воду непосредственно во всасывающие трубопроводы насосов, расположенных на промежуточном горизонте; б) раздельная работа, когда насосы основного горизонта подают воду в водосборник на промежуточном горизонте, откуда она откачивается перекачными насосами на поверхность. Каждый из приведенных вариантов имеет свои преимущества и недостатки, подробно описанные в специальной литературе [1,2].

2.2.2. Применять другие насосы большей подачи, имеющие высокий напор. В данном случае для дальнейшего расчета минимальная подача Q_{\min} принимается равной подаче принятого насоса, соответствующей крайней левой точке зоны его промышленного использования.

Если необходимая подача насоса Q_{\min} превышает максимальную по рабочей зоне подачу одного насоса, то рассматривается возможность применения одновременной работы нескольких насосов по откачке воды через индивидуальные трубопроводы.

Условиям проекта могут удовлетворить разные насосы [4]. Наиболее приемлемое решение может быть принято на основе технико-экономического сравнения возможных вариантов.

2.2.3. В некоторых случаях следует рассматривать применение специальных средств и схем водоотлива (эрлифтного, насосного-эрлифтного или гидроэлеваторного [1, 3]).

2.3. Выбор типа насоса и количества рабочих колес (для секционных насосов)

Для надежности откачки воды из шахты согласно ПБ[2] подача каждого насосного агрегата (или нескольких одновременно работающих насосных агрегатов) должна обеспечивать откачку нормального суточного притока не более, чем за 20 часов. Поэтому подача насоса должна быть не менее

$$Q_{min} = \frac{Q_H}{20}, \quad (1)$$

где Q_{min} - минимальная подача насоса, м³/ч;

Q_H - максимальный суточный приток, м³/сут.

Потребный напор насоса определяется ориентировочно по зависимости

$$H' = Hr + i(L + \sum l_{экв}), \quad (2)$$

где Hr - геометрический напор, определяемый как расстояние по вертикали от нижнего уровня воды в водосборнике до излива ее из нагнетательного трубопровода (разность отметок), м;

L - длина нагнетательного трубопровода, м, определяемая по формуле

$$L = \frac{Hr}{\sin \alpha} + l_1 + l_2 + l_3, \quad (3)$$

где α - угол наклона ствола (для вертикального $\alpha = 90^\circ$);

l_1 - длина труб в насосной камере от приемного устройства наиболее удаленного насоса до трубного ходка (для типовых насосных камер $l_1 \approx 20-30$ м); l_2 - длина труб в наклонном ходке ($l_2 = 15-20$ м); l_3 - длина труб на поверхности от ствола до места слива (берется из проекта поверхности шахты или при его отсутствии принимается ориентировочно равной 15-20 м); i - оптимальный гидравлический уклон, значение которого для условных диаметров труб 75-300 мм и расходов 10-750 м³/ч может быть принято равным 0,025- 0,05; $\sum l_{экв}$ - эквивалентная длина всех местных сопротивлений трубопровода, которая определяется по зависимости

$$\Sigma \xi_{\text{экв}} \approx 0,177 \Sigma \xi \sqrt{\frac{Q_{\min}}{\sqrt{h}}}, \quad (4)$$

$\Sigma \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений трубопровода, которую для типовой схемы водоотливной установки можно принимать равной 25-30.

Определив Q_{\min} , а также H'_{\min} и H'_{\max} (H'_{\min} – для $i = 0,025$, H'_{\max} – для $i = 0,05$), по графику рабочих зон шахтных центробежных насосов (прил. 2) выбираем такой насос, рабочая зона которого покрывает точку с координатами Q_{\min} , H'_{\min} при соответствующем числе рабочих колес (см. прил. 2-9).

Кроме насосов, рабочие зоны которых приведены в приложении, может быть принят любой насос, пригодный для перекачки воды.

Необходимое число ступеней (рабочих колес) может быть найдено из зависимости

$$\frac{H'_{\min}}{H_k} \leq Z < \frac{H'_{\max}}{H_k}, \quad (5)$$

где H_k - напор, создаваемый одним рабочим колесом, при Q_{\min} (определяется по индивидуальной характеристике выбранного насоса, построенной для одного рабочего колеса), м.

2.4. Проверка устойчивости работы насоса.

Чтобы работа выбранного насоса была устойчивой, необходимо, чтобы выполнялось условие

$$H_r \leq 0,95 H_{ko} Z, \quad (6)$$

где H_{ko} - напор, создаваемый одним рабочим колесом насоса при закрытой задвижке (определяется по индивидуальной характеристике выбранного насоса).

Если условие (6) не выполняется, то необходимо число рабочих колес увеличить на одно.

2.5. Определение оптимального диаметра нагнетательного трубопровода.

Вариант водоотливной установки, обеспечивающей откачку одного, и того же годового притока шахтной воды при минимальных приведенных затратах, считается оптимальным.

Приведенные затраты подсчитываются по формуле

$$\Pi = \mathcal{E} + EK, \quad (7)$$

где Π - приведенные затраты (в год), руб.; \mathcal{E} - эксплуатационные расходы, руб, E - отраслевой нормативный коэффициент; K - капитальные затраты, руб.

Использование приведенных затрат в качестве критерия оптимальности позволяет оценить вариант по сумме текущих и единовременных затрат с учетом срока их окупаемость.

Капитальные затраты на сооружение водоотливной установки складываются из капитальных затрат на сооружение насосной камеры, трубного ходка, водосборника и трубопровода; на приобретение и монтаж основного, вспомогательного оборудования и аппаратуры автоматизации.

Наличие большого количества факторов, оказывающих влияние на величину приведенных затрат, значительно осложняет решение поставленной задачи. Поэтому рассматриваемую задачу несколько упростим.

Как показывает опыт расчета различных вариантов водоотливных установок, наиболее изменяемой частью капитальных затрат являются затраты на сооружение трубопровода. Причем эти затраты главным образом зависят от диаметра труб, арматуры, соединительных и защитных устройств. Остальные же капитальные затраты изменяются относительно мало. Следовательно, сравнение вариантов можно вести в основном по затратам на трубопроводы. Таким образом, поставленную общую задачу отыскания варианта оптимальной водоотливной установки сводим к частной задаче определения оптимального диаметра трубопровода, или, как еще говорят, экономически выгодного диаметра трубопровода.

Для экономически выгодного диаметра трубопровода приведенные затраты будут минимальными, а скорость воды в нем - оптимальная.

В рассматриваемых вариантах водоотливных трубопроводов с разными диаметрами труб, годовые эксплуатационные расходы будем определять по двум статьям: стоимости амортизационных отчислений и стоимости расхода электроэнергии. Другие виды эксплуатационных расходов (зарплата, смазочные и обтирочные материалы и др.) для сравнения вариантов считаются одинаковыми.

Капитальные же затраты по тем же соображениям подсчитываются только по затратам на сооружение водоотливного трубопровода.

В предлагаемых методических указаниях приводятся метод определения оптимального диаметра по оптимальной скорости движения в нем воды.

Расчет экономически выгодного диаметра трубопровода выполняется по оптимальной скорости воды. В этом случае задача решается как одновариантная по формуле

$$d' = \sqrt{\frac{4Q_{\text{НН}}}{3600\pi v}}, \quad (8)$$

где d – Оптимальный внутренний диаметр трубы, м; $Q_{\text{НН}}$ – номинальная подача насоса, м³/ч; v - оптимальная скорость воды, м/с.

Оптимальная скорость воды в трубопроводе определяется по методике, разработанной институтом ИГМ и ТК им. М.М. Федорова. Так, зная подачу насоса $Q_{\text{НН}}$, его номинальный напор $H_{\text{НН}}$, среднечасовой приток шахты

$$Q_{\text{пр}} = \frac{305Q_{\text{Н}} + 60Q_{\text{max}}}{365 \cdot 24}, \quad (9)$$

и относительный приток

$$\bar{Q} = \frac{Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{НН}}}. \quad (10)$$

Тогда по табл. I находят ориентировочное значение v .

Таблица I

Ориентировочные значения оптимальной скорости воды v ; м/с

$Q \setminus H_{\text{ш}}$	до 400	400-500	500-600	600-700	700-800
0,5	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9
0,6	2,25	2,35	2,45	2,55	2,65
0,7	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
0,83	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
0,9	1,95	2,0	2,15	2,25	2,35
1,0	1,8	1,95	2,1	2,2	2,3

Рекомендуется для водоотливных трубопроводов принимать стальные бесшовные горячедеформированные трубы по ГОСТ 8732-78 из марок стали Ст2сп, Ст4сп, Ст5сп, Ст6сп. Эти трубы имеют наружный диаметр от 25 до 820 мм при толщине стенок от 2,5 до 75 мм.

Временное сопротивление разрыву G_v дано в табл. 2.

Таблица 2

Значения G_v

Марки стали	Временное сопротивление разрыву, кгс/мм ² (МПа)
Ст2сп	не менее 35 (350)
Ст4сп	42 (420)
Ст5сп	50 (500)
Ст6сп	60 (600)

Чтобы выбрать по ГОСТу наружный диаметр трубы, нужно произвести расчет ее на прочность и учесть коррозионный износ трубы за время эксплуатации (в некоторых случаях целесообразно рассмотреть эффективность антикоррозионных покрытий).

Расчет на прочность производится исходя из указания, что "...напорные трубопроводы главных водоотливных установок после монтажа и через каждые 10 лет эксплуатации должны подвергаться гидравлическому испытанию на давление, которое составляет 1,25 рабочего [2].

В связи с этим расчетное, или наибольшее давление, которое должен выдержать водоотливной трубопровод,

$$P_p \approx 1,25 \rho g H' = 1,25 \rho g [H_r + [H_r + (L + \sum l_{\text{экв}}) \cdot i] \cdot 10^{-6}], \quad (11)$$

где P_p - расчетное давление, МПа; $P \approx 1000$ - плотность воды, кг/м³; $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с²; H' - необходимый напор насоса, определяемый по уравнению (2), м.

Согласно ГОСТ 3845-75 минимальная необходимая толщина стенки трубы определяется по уравнению

$$b_o = \frac{P_p d'}{2G_{дон}} = \frac{P_p d'}{2 \cdot 0,4 \cdot G_b} = \frac{P_p d'}{0,8 G_b}, \quad (12)$$

где b_o - минимальная (с учетом минусового допуска) толщина стенки трубы, мм; $G_{дон}$ - допустимое напряжение, равное 40 % от временного сопротивления разрыву (см. табл. 2), МПа.

С учетом коррозионного износа [6] толщина стенок стальных труб, прокладываемых в вертикальных стволах, должна быть

$$b' = \frac{100 [b_o + (b_{кн} + b_{кв}) t]}{100 - K_d}, \quad (13)$$

где b' - расчетная толщина стенок, мм; $b_{кн} \approx 0,25$ мм/год - скорость коррозии наружной поверхности материала трубы; $b_{кв}$ - скорость коррозии внутренней поверхности трубы, мм/год; t - срок службы трубопровода, лет (10-15 лет); K_d - коэффициент, учитывающий минусовый допуск толщины стенки, % (по ГОСТу $K_d = 10—15$ %).

Скорость коррозионного износа внутренней поверхности материала трубы следует принимать по табл.3.

Таблица 3

Скорость коррозионного износа $b_{кв}$

Характеристика транспортируемой среды	Скорость химического абразивного износа, мм/год
Водопроводная вода	0,05
Шахтные воды:	
нейтральные или щелочные	0,10
слабокислотные: $H = 6-7$	0,20
$H = 5-6$	0,40

Расчетный наружный диаметр трубы

$$d'_H = d' + 2\delta' . \quad (14)$$

Пользуясь прил. I. выбираем по ГОСТу ближайший наружный d_H и внутренний d диаметр трубы.

Дополнительные требования к выбору и устройству трубопроводов шахтных водоотливных установок приведены в учебнике [6].

2.6. Определение рабочего режима насоса

Для определения рабочего режима насоса необходимо построить в одинаковом масштабе и в общей координатной сетке напорные характеристики насоса и трубопровода. Точка пересечения их и определит рабочий режим насоса.

При построении напорной характеристики трубопровода делается допущение, что диаметр всасывающего трубопровода равен диаметру нагнетательного, хотя в действительности этого может и не быть. Принятое допущение не оказывает существенного влияния на точность расчета, так как сопротивление всасывающего трубопровода мало по сравнению с сопротивлением нагнетательного, в связи с большой разницей их длин.

Уравнение напорной характеристики для принятого диаметра трубопровода

$$H = H_r + aQ^2, \quad (15)$$

где a - гидравлическое сопротивление трубопровода, значение которого определяется по зависимости

$$a = \frac{L + \sum l_{\text{экв}}}{3600^2 K^2}. \quad (16)$$

При расчете трубопровода принимается квадратичный закон сопротивления. В этом случае коэффициент Дарси подсчитывается по формуле Шевелева для неновых труб [8].

$$\lambda = 0,021 d^{-0,3}, \quad (17)$$

где λ - коэффициент Дарси; d - внутренний диаметр трубы (в формулу подставляется численное значение диаметра в метрах),

В соответствии формулой Шевелева квадрат расходной характеристики трубы

$$K^2 = \frac{\pi^2 d^5 g}{8\lambda} \approx 576d^{5,3}, \quad (18)$$

где K - расходная характеристика трубы, м³/с.

По зависимости (15) определяем напоры для ряда подач (от 0 до $Q > Q_{\text{мин}}$) и на основании полученных результатов строим напорную характеристику сети. Точка пересечения ее с напорной характеристикой принятого насоса определяет его рабочий режим, параметры которого: Q_p , H_p , η_p и $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$.

Полученный рабочий режим необходимо проверить на экономичность по условию

$$\eta_p \geq 0,85 \eta_{\text{max}}, \quad (19)$$

где η_{max} - максимальный КПД принятого насоса.

2.7. Выбор диаметра всасывающего трубопровода

Для обеспечения бескавитационной работы, насоса должно выполняться условие

$$H_{\text{вак}} \leq H_{\text{вак}}^{\text{доп}}, \quad (20)$$

где $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ - допустимая вакуумметрическая высота всасывания, определяемая по индивидуальной характеристике принятого насоса при Q_p ; $H_{\text{вак}}$ - расчетная вакуумметрическая высота всасывания, определяемая по зависимости

$$H_{\text{вак}} = H_{\text{вс}} + \frac{l_v + \sum l_{\text{экв.в}}}{3600^2 K^2} Q_p^2, \quad (21)$$

где $H_{\text{вс}}$ - принятая (заданная) геометрическая высота всасывания, м; l_v - длина всасывающего трубопровода, наиболее удаленного от приемного колодца насоса, м; $\sum l_{\text{экв.в}}$ - эквивалентная длина местных сопротивлений всасывающего трубопровода, ориентировочно принимаемая равной 20-30 % от $\sum l_{\text{экв.в}}$. Первоначально диаметр всасывающего трубопровода принимается равным диаметру нагнетательного. Если при этом расчетная вакуумметрическая высота

всасывания $H_{\text{внк}}$, определенная по зависимости (21), будет больше допустимой $H_{\text{внк}}^{\text{дон}}$ то необходимо увеличить диаметр всасывающего трубопровода.

Для насосов ЦНС 300-650... 1040 бескавитационный режим работы обеспечивается подкачивающим электронасосом ВП340-18Л, поставляемым в комплекте с основным;

Насос ВП340-18Л имеет подачу 300 м³/ч, напор 18 м. вод. ст., поставляется с электродвигателем ВА0Ф-81-4 мощностью 40кВт и частотой вращения 1500 мин⁻¹.

Насос ЦСН 300-650... 1040 без подкачивающего насоса работать не может, т.к. имеет отрицательную высоту всасывания.

2.8. Выбор приводных электродвигателей насосов и пусковой аппаратуры

Зная рабочие параметры насоса (Q_p , H_p и η_p), определяем необходимую мощность его приводного электродвигателя, кВт:

$$N = \frac{\rho g H_p Q_p}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p}, \quad (22)$$

По полученной мощности и частоте вращения вала принятого насоса из прил. II выбираем приводной электродвигатель. При напряжении 6000 В для шахт негазовых и I, II, III, категорий необходимо принимать асинхронные короткозамкнутые. Электродвигатели в нормальном исполнении (серия А), а для шахт сверхкатегорийных и опасных по внезапным выбросам угля и газа - специальные взрывобезопасные электродвигатели (серий ВАО и «Украина»). (См прил. 11 и 12).

При напряжении 380-1000 В для всех угольных шахт необходимо принимать взрывоопасные электродвигатели. В качестве пусковой аппаратуры для низковольтных электродвигателей следует принимать магнитные пускатели, а для высоковольтных - масляные выключатели, типа РВД.

2.9. Определение количества насосов

Согласно п. 5.8 Норм технологического проектирования угольных и сланцевых шахт общее количество насосных агрегатов главных водоотливных установок в капитальных уклонах определяется в зависимости от количества одновременно работающих, согласно табл. 4.

Количество насосных агрегатов		
рабочих	В резерве и ремонте	всего
1	2	3
2	3	5
3	4	7
4	5	9
5	6	11

Гидравлические схемы водоотливных установок при трех и пяти насосных агрегатах представлены в прил. 14. Гидравлические схемы при большем числе насосных агрегатов приводятся в литературе [7].

2.10. Устройство насосной камеры

Согласно ПБ [2], насосная камера главного водоотлива должна соединяться: со стволом шахты - наклонным ходком, место введения которого в ствол должно располагаться не ниже 7 м от уровня пола насосной камеры; с окоlostвольным двором - ходком с герметичной дверью; с водосборником - посредством устройства, позволяющего регулировать поступление воды и герметизировать насосную камеру.

Насосные камеры главного водоотлива и перекачные должны оборудоваться грузоподъемным механизмом, а при единичной массе оборудования более 3 т - кран-балкой.

Для доставки оборудования ходок со стороны окоlostвольного двора и камера оборудуются рельсовым путем,

С целью уменьшения поперечных размеров насосной камеры оси насосных агрегатов располагаются по ее длине.

Схема насосной камеры главного водоотлива представлена в прил. 15.

2.11. Определение размеров водосборника

Согласно ПБ [2], главные и участковые водоотливные установки должны иметь водосборники, состоящие из двух и более выработок. Суммарная емкость горных выработок водосборника должна рассчитываться на прием 4-часового, а вспомогательного (участкового) водоотлива - 2-часового нормального притока. Следовательно, емкость водосборника главного водоотлива, м³,

$$W = 4 \cdot \frac{Q_H}{24} \quad (23)$$

В случае требования энергосбыта выполнять график суточной нагрузки энергопотребления для уменьшения ее пиков, емкость водосборника рассчитывается по формуле

$$W_B = W + W_{cm} \quad (24)$$

где W_{cm} - объем части водосборника, принимающей приток воды в период плановых (по требованию энергосбыта) стоянок.

$$W_{cm} = \frac{Q_H}{24} \cdot t_{cm} \quad (25)$$

где t_{cm} - время, в течение которого запрещается включение насосов, ч.

Крепление выработок водосборника необходимо принимать водостойкое, а их сечение - типовое.

Суммарная длина горных выработок водосборника определяется по формуле

$$\sum \ell_{\text{вог}} = \frac{W_B}{S_T} \quad (26)$$

где S_T - принятое типовое сечение горной выработки, м².

Конструкция водосборника представляет собой систему горизонтальных и наклонных выработок сравнительно большой протяженности. Поэтому его непосредственная очистка связана с большими трудностями, так как любое устройство, предназначенное для этого, должно в процессе работы перемещаться по выработке, что снижает его надежность и требует постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Гораздо эффективнее схемы механизации очистки таких водосборников со стационарным расположением оборудования. Для этого перед водосборником

сооружается предварительный отстойник, имеющий небольшие размеры. В нем осаждаются значительная часть твердых частиц, поступаемых с шахтной водой.

2.12. Расчет предварительного отстойника

Отстойник имеет форму усеченной пирамиды (см. прил. 16), ширина зеркала воды Б нем может быть принята на 20-30 % меньше ширины выработки, где он сооружается.

Задавшись шириной отстойника v , определяем его остальные размеры.

Средняя скорость движения воды в отстойнике, мм/с,

$$v = 0,278 \frac{Q_{пр-м}}{B \cdot h}, \quad (27)$$

где $Q_{пр-м}$ максимальный приток воды, м³/ч; B - ширина отстойника, м; h - глубина проточного слоя, равная глубине уровня воды в подводящей канавке, м.

Наиболее опасными для насосов являются частицы крупностью более 0,1 мм. Поэтому предварительные отстойники проектируют для осаждения частиц $\geq 0,1$ мм. При этом скорость движения воды в отстойнике должна быть < 100 мм/с.

Исходя из данных условий, определяем длину предварительного отстойника:

$$L_o = \alpha \frac{v}{v_o - w} \cdot h, \quad (28)$$

где L_o - длина предварительного отстойника, м; v - скорость воды в проточной части отстойника, мм/с; v_o - гидравлическая крупность частиц размером 0,1-0,2 мм, которую можно принимать: $v_o \approx 9,6$ мм/с; α - коэффициент, учитывающий наличие в гидросмеси частиц различной крупности, при $v_o \approx 9,6$ мм/с $L=1,4$ w - вертикальная составляющая скорости, при $v < 90$ мм/с; $w = 0,01v$, при $v = 90 - 130$ мм/с - $w = (0,03 - 0,05) v$.

Объем нижней части отстойника, предназначенного для сбора шлама, определяется по количеству твердого, выпадающего из воды в течение суток.

$$W_H = 1,5q_T Q_m, \quad (29)$$

где W_H - емкость нижней части отстойника, м³; q_T - объемная концентрация твердого в шахтной воде, которую для расчетов можно принимать равной 0,0015 - 0,005; Q_m - максимальный суточный приток, м³/сут.

Для периодической очистки предварительного отстойника может применяться один из приведенных ниже способов.

2.13. Способы очистки предварительных отстойников.

2.13.1. При помощи специального шламового скребкового конвейера (багер-зумпф) [5], смонтированного в предварительном отстойнике (прил. 17). Согласно данной схеме, шахтная вода, поступающая в предварительный отстойник 2, очищается в нем от частиц твердого крупностью $q_T \geq 0,1$ мм и направляется в водосборник. Для очистки отстойника от шлама в нем располагается скребковая цепь специального конвейера, движущаяся со скоростью не более 100 мм/с. В процессе ее движения по наклонной части конвейера происходит одновременное обезвоживание шлама выгружаемого из предварительного отстойника, направляемого потом на технологические транспортные средства (вагонетки или конвейер). Преимуществом данной схемы является значительное снижение трудоемкости при очистке предварительного отстойника. Недостаток - наличие электрооборудования и механизмов, работающих в тяжелых условиях.

2.13.2. При помощи специального шламового эрлифта, описанного в работе [5], также монтируемого в предварительном отстойнике (прил. 18), при этом шлам из предварительного отстойника I удаляется эрлифтом 3, имеющим специальный воздухоотделитель 4, в котором из пульпы удаляются воздух и вода. Обезвоженный шлам, как и по предыдущей схеме, направляется на технологические транспортные средства. Преимуществом данной схемы является значительное снижение трудоемкости при очистке предварительного отстойника, высокая надежность и безопасность (отсутствуют подвижные узлы и электрооборудование в зоне работ), Недостатком данной схемы является потребность в сжатом воздухе. Если шахта имеет пневматическую установку, то данный недостаток отпадает.

2.13.3. При помощи гидроэлеватора, описанного в работах [3, 5], монтируемого в предварительном отстойнике и питаемого напорной водой от насосов главного водоотлива (прил. 19). По данной схеме шлам из предварительного отстойника 3 удаляется в виде пульпы специальным гидроэлеватором 4, питаемым напорной водой от насосов главного водоотлива I.

Так как в данном случае пульпа значительно разжижается (подмешивается в гидроэлеваторе напорной водой) ее для сгущения приходится направлять в специальную выработку - шламонакопитель 7. После обезвоживания твердое из шламонакопителя периодически выгружается при помощи угле - или породопогрузочной машины в вагонетки. Преимуществом данной схемы являются значительное снижение трудоемкости при очистке предварительного отстойника, высокая надежность и безопасность. Недостаток - сооружение специальных горных выработок – шламонакопителей, в околоствольном дворе, что связано с дополнительными затратами. В качестве шламонакопителей можно использовать отработанные выработки.

2.13.4. При помощи специального погружного шламового насоса с гидравлическим рыхлителем (прил. 20), располагаемого в предварительном отстойнике. Осевший в предварительном отстойнике 2 шлам периодически откачивается в виде пульпы погружным шламовым насосом 4, по пульповоду 5 в шламонакопитель 6, откуда после сгущения он периодически выгружается угле- или породопогрузочной машиной в вагонетки. Для интенсификации забора шлама и увеличения зоны его захвата в предварительном отстойнике на шламовом насосе устанавливается гидравлический рыхлитель 3, конструкции ДПИ (а.е. № 623004). Преимуществами данной схемы являются высокая экономичность и снижение трудоемкости при очистке предварительного отстойника. Недостаток - наличие электрооборудования, работающего в тяжелых условиях (высокая влажность и загрязненность).

В настоящее время наряду с водосборниками традиционной конструкции разработаны и внедряются новые, позволяющие полностью механизировать и автоматизировать их очистку. Это вертикальные и наклонные самосмывающиеся водосборники. Их устройство и расчет описаны в литературе [1, 5].

2.14. Выбор аппаратуры автоматизации.

Для автоматизации водоотливных установок с высоковольтными электродвигателями на негазовых шахтах, а также шахтах I, II и III категорий рекомендуется принимать аппаратуру автоматизации типа УАВ. Для аналогичных установок на шахтах сверхкатегорийных и опасных по внезапным выбросам угля и газа необходимо применять аппаратуру автоматизации типа ВАВ, КАВ.

Для автоматизации водоотливных установок с низковольтными электродвигателями на всех шахтах нужно применять аппаратуру автоматизации типа ВАВ, КАВ.

2.15. Технико-экономические показатели.

При использовании упрощенного расчета нагнетательного трубопровода стоимость расходуемой на водоотлив электроэнергии определяется по зависимости

$$\mathcal{E}_3 = a_3 C_3, \quad (30)$$

где \mathcal{E}_3 - стоимость годового расхода электроэнергии, руб.;

a_3 - тариф на потребляемую электроэнергию, руб./ кВт·ч

C_3 - годовой расход электроэнергии, кВт·ч.

$$C_3 = \frac{\rho g N_p Q_p (305 T_H + 60 T_M)}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p \cdot \eta_g \cdot \eta_c} = \frac{N_p (305 T_H + 60 T_M)}{\eta_g \eta_c}, \quad (31)$$

где T_H - время работы насоса при откачке нормального суточного притока, ч.

$$T_H = \frac{Q_H}{Q_P}; \quad (32)$$

T_M - время работы насоса при откачке максимального притока, ч.

$$T_M = \frac{Q_M}{Q_P}; \quad (33)$$

η_g - КПД электродвигателя, который зависит от типа, мощности и нагрузки двигателя. В расчетах в среднем можно принимать $\eta_g \approx 0,91$; η_c - КПД линии электропередачи. Можно в расчетах принимать $\eta_c \approx 0,97$.

Список рекомендуемой литературы

1. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. - М.: Недра, 1987. - 270 с.
2. Правила безопасности в угольных шахтах. – Донецк. : утв .приказом Министерства угля и энергетики ДНР №36/208 от18.01.2016г. - 217 с.
3. Специальные средства водоотлива и гидромеханизированной очистки шахтных водосборных емкостей/ Сост. В. Б. Малеев, Е.М. Данилов, В.М. Яковлев. - Донецк: ДПИ, 1986, - 36 с.
4. Стационарные установки шахт / Под общ. ред. Б.Ф. Братченко. - М.: Недра, 1977. - 438 с.
5. Методические рекомендации по применению средств очистки шахтных водосборных емкостей / В.Г. Гейер и др. - Донецк: ЦБНТИ МинуглепромаУССР, 1983. - 50 с.
6. Указания по проектированию трубопроводов, прокладываемых в подземных выработках угольных и сланцевых шахт / МУП СССР. - М.:1974. - 37 с.
7. Методические указания к расчету на ЭВМ главных водоотливных установок с параллельно работающими насосами / Сост.: А.Т. Боруменский, В.А. Фадин. - Донецк: ДПИ, 1981. - 37 с,
8. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбоцементных и пластмассовых водопроводных труб. - М.: Стройиздат, 1970. - 264 с.

Приложение 1

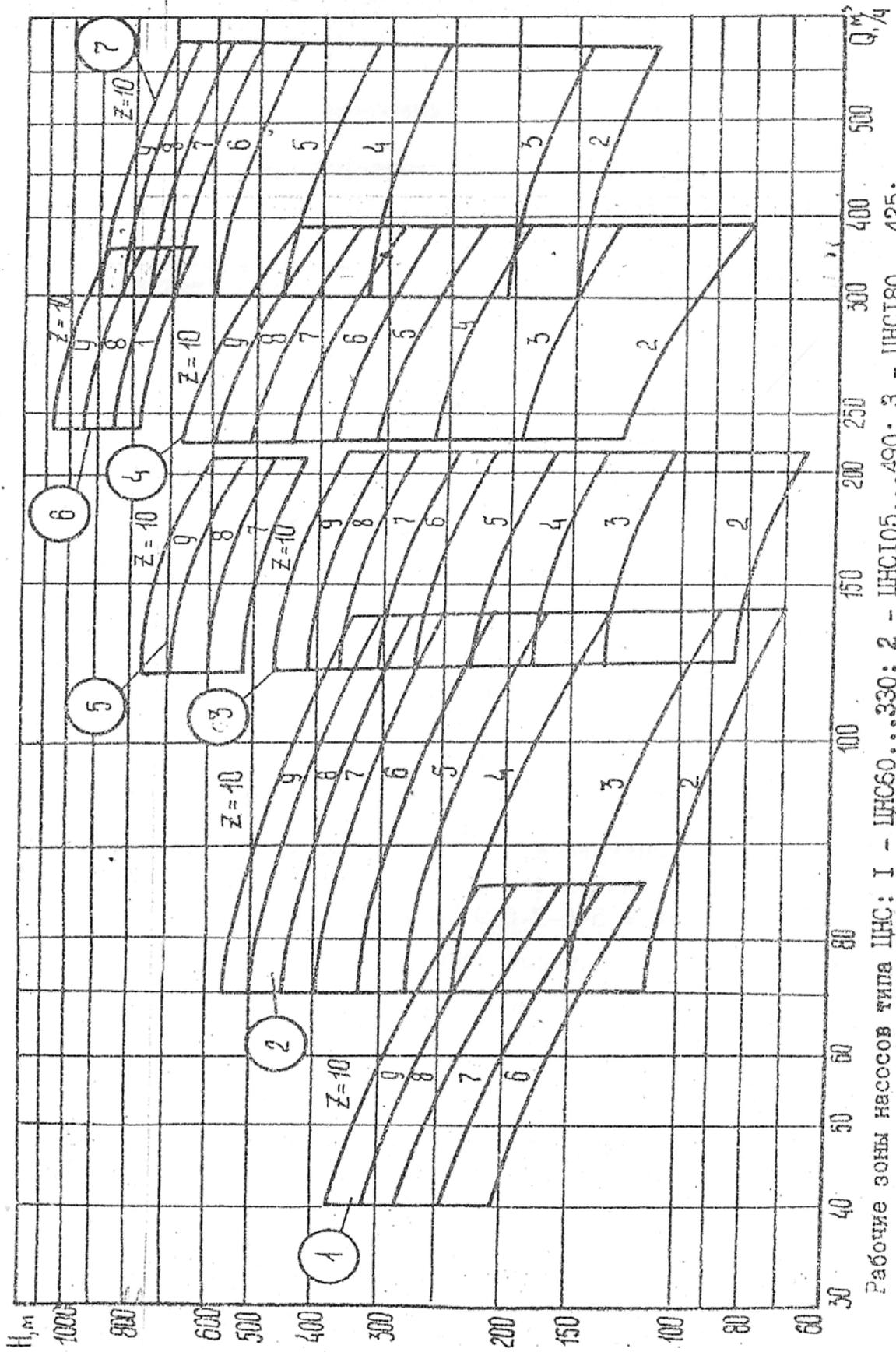
Трубы стальные бесшовные горячедеформированные (ГОСТ 8732-78)

Наружный диаметр d_H , мм	Толщина стенки δ , мм	Наружный диаметр d_H , мм	Толщина стенки δ , мм
108	4.....18	194	5.....18
114	4.....18	203	6.....18
121	4.....18	219	6.....18
127	4.....18	245	7.....18
133	4.....18	273	7.....18-20-22
140	4,5-5..18	299	8.....18-20-22
146	4,5-5..18	325	8.....18-20-22
152	4,5-5..18	351	8.....18-20-22
159	4,5-5..18	377	9.....18-20-22
168	5....18	402	9.....18-20-22
180	5....18	426	9.....18-20-22

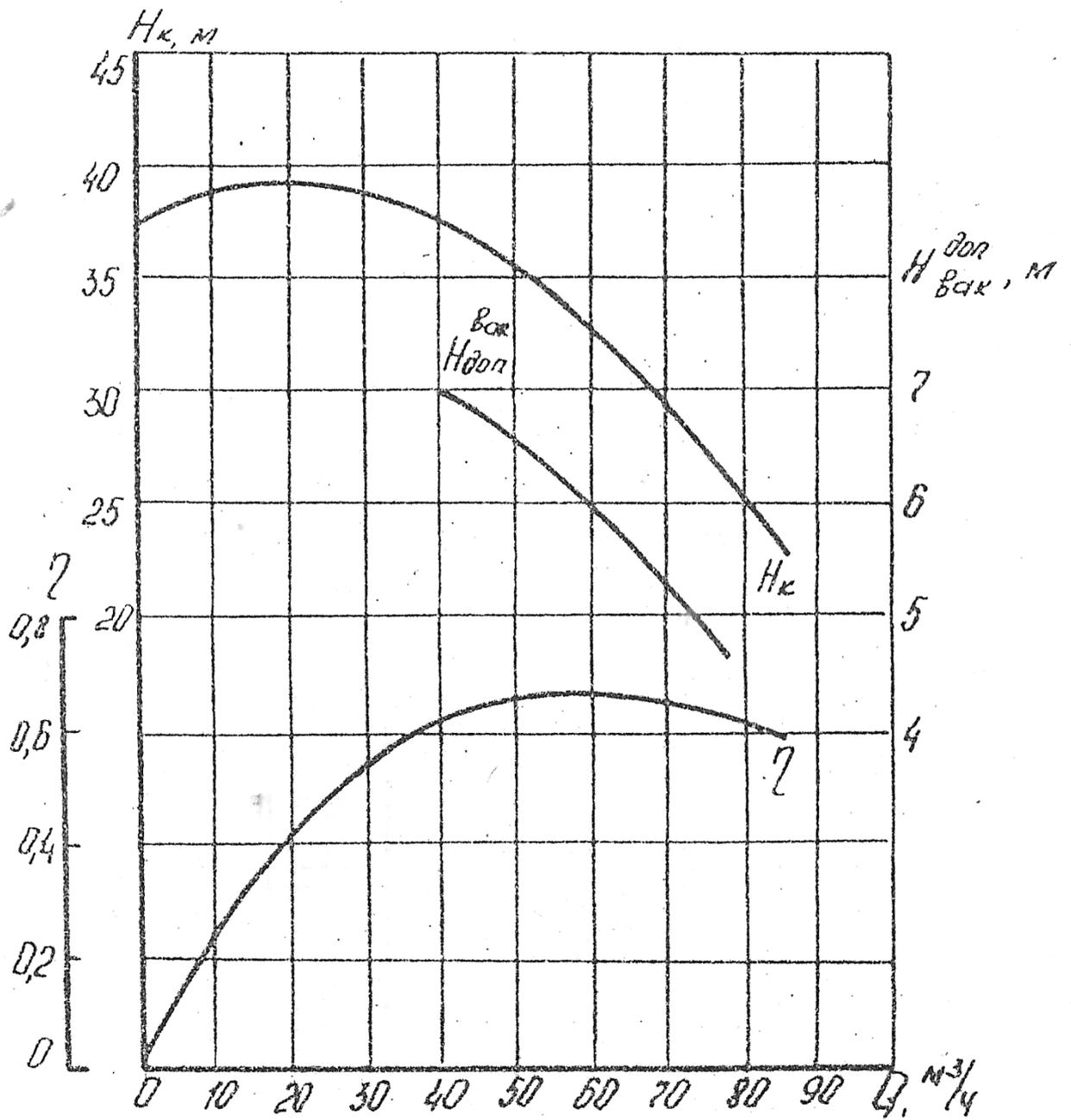
Примечание . В интервале, показанном точками, толщина стенки

увеличивается на 1 мм. Например, для $d_H = 180$ мм,

$\delta = 5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18$ мм.



Рабочие зоны насосов типа ЦНС: 1 - ЦНС60...330; 2 - ЦНС105...490; 3 - ЦНС180...425;
 4 - ЦНС300...600; 5 - ЦНС180...680; 6 - ЦНС300...1040; 7 - ЦНС500...900



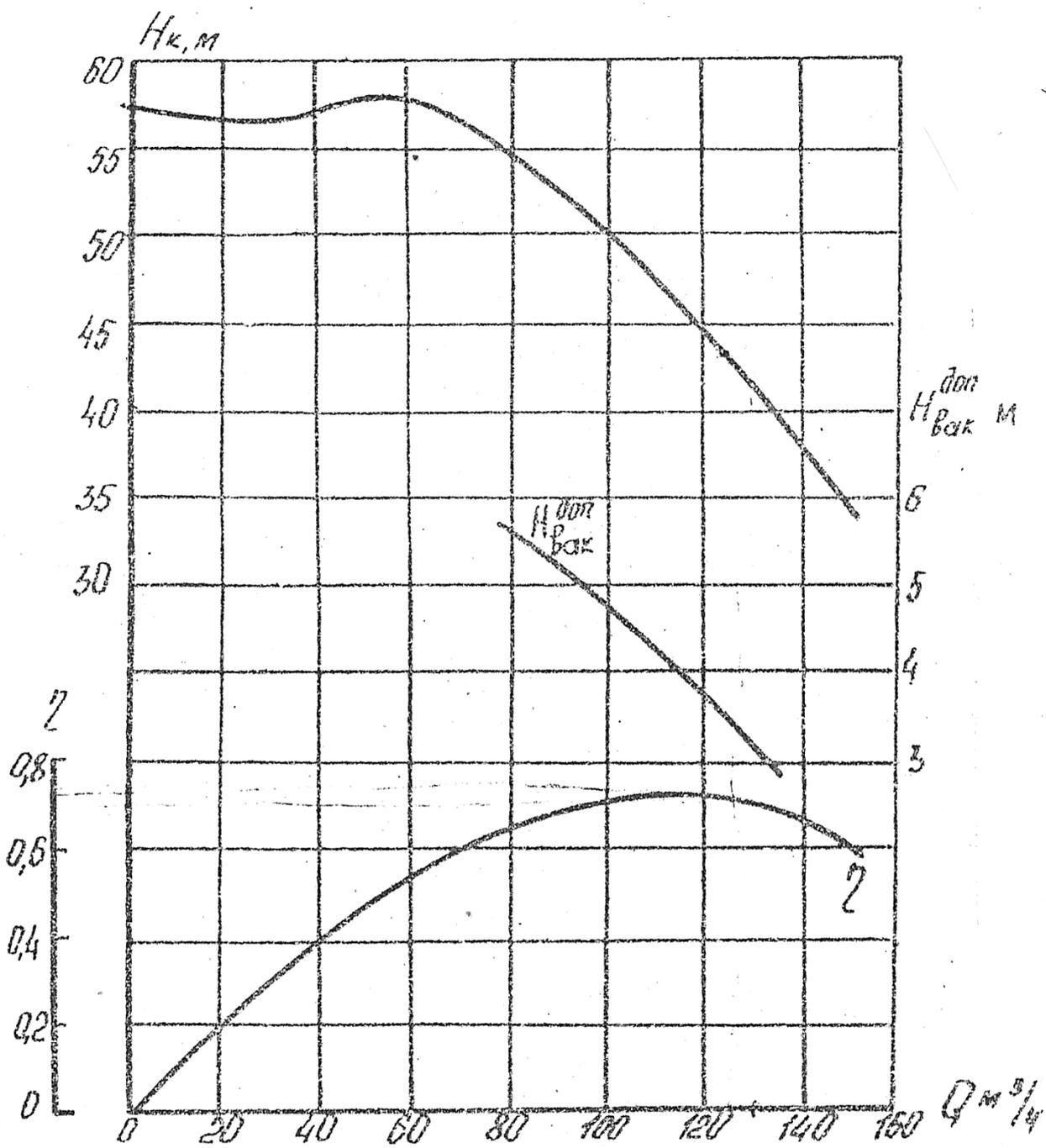
Характеристика насоса ЦНС60...330:

$$H = z(39,6 + 5,1 \cdot 10^{-2} Q - 2,74 \cdot 10^{-3} Q^2);$$

$$\eta = 2,04 \cdot 10^{-2} Q - 1,56 \cdot 10^{-4} Q^2 + 6,58 \cdot 10^{-8} Q^3;$$

$$n = 2950 \text{ мин}^{-1}$$

Приложение 4

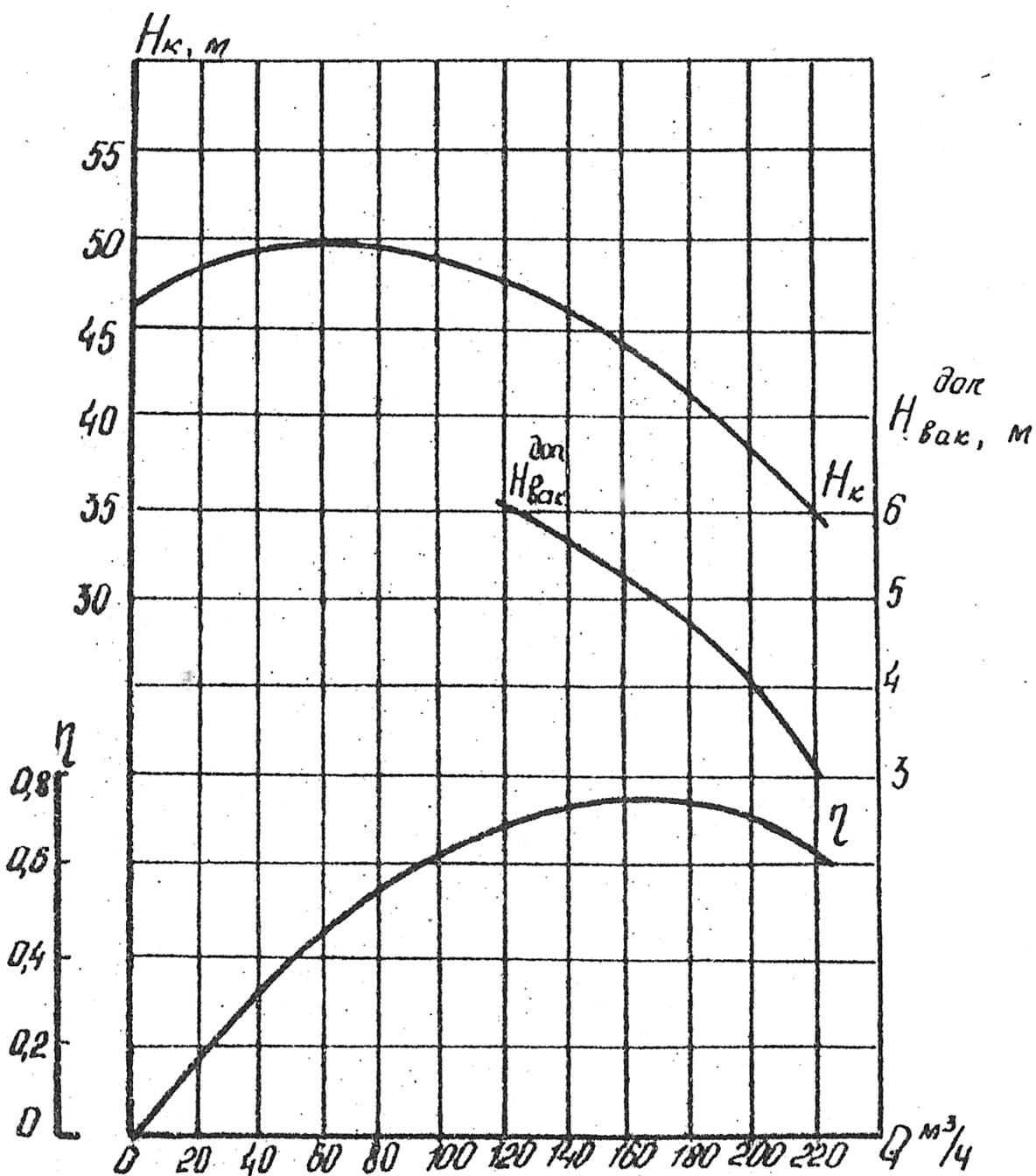


Характеристика насоса ЦНС105...490:

$$H = z(53,9 + 16,4 \cdot 10^{-2} Q - 2,02 \cdot 10^{-3} Q^2);$$

$$\eta = 14,07 \cdot 10^{-3} Q - 91,17 \cdot 10^{-6} Q^2 + 1,92 \cdot 10^{-7} Q^3;$$

$$n = 2950 \text{ мин}^{-1}$$

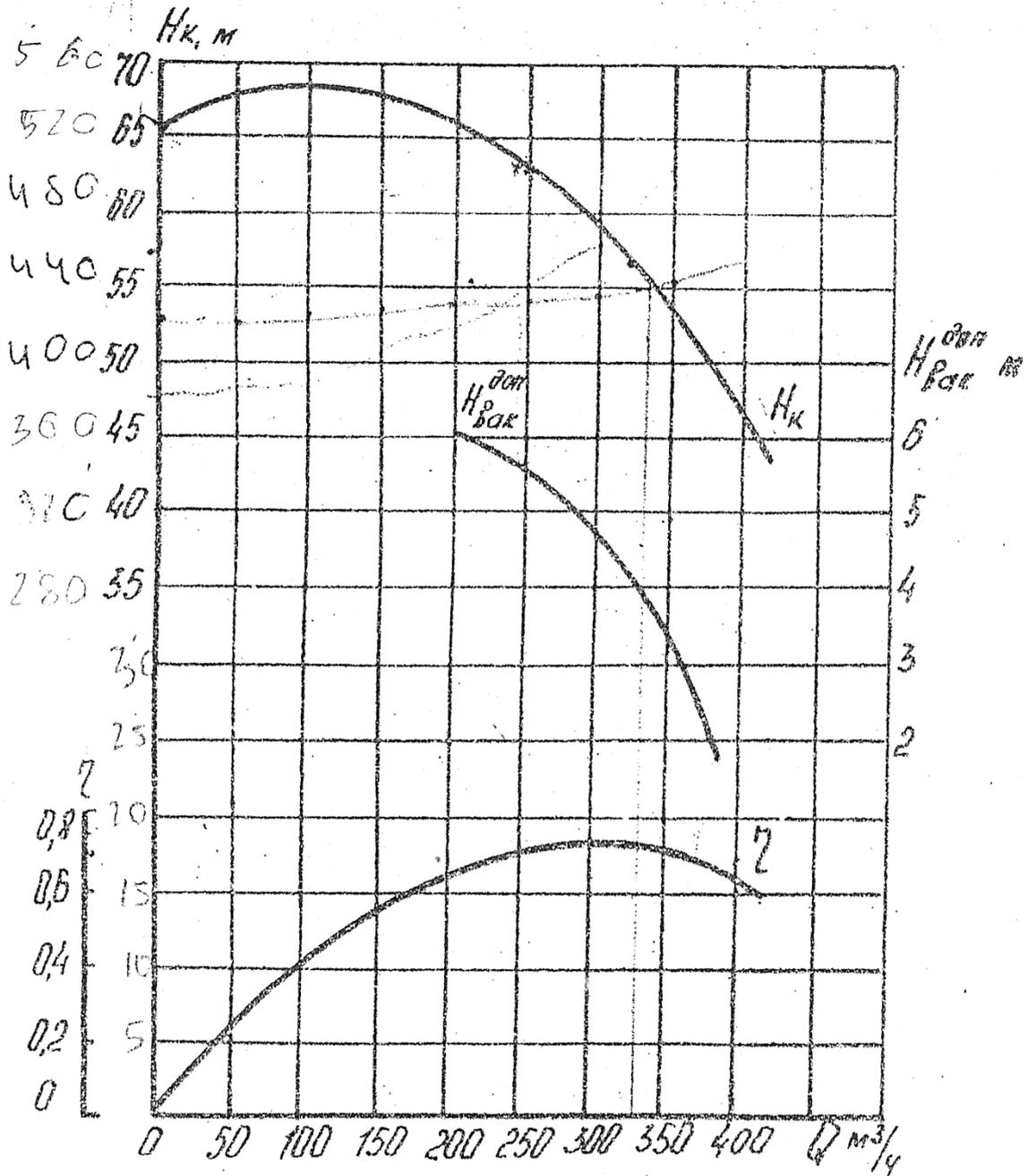


Характеристика насоса ЦНС180...425:

$$H = z(47,4 + 6,33 \cdot 10^{-2} Q - 5,35 \cdot 10^{-4} Q^2);$$

$$\eta = 8,92 \cdot 10^{-3} Q - 2,92 \cdot 10^{-5} Q^2 + 6,88 \cdot 10^{-9} Q^3;$$

$$n = 1450 \text{ мин}^{-1}$$

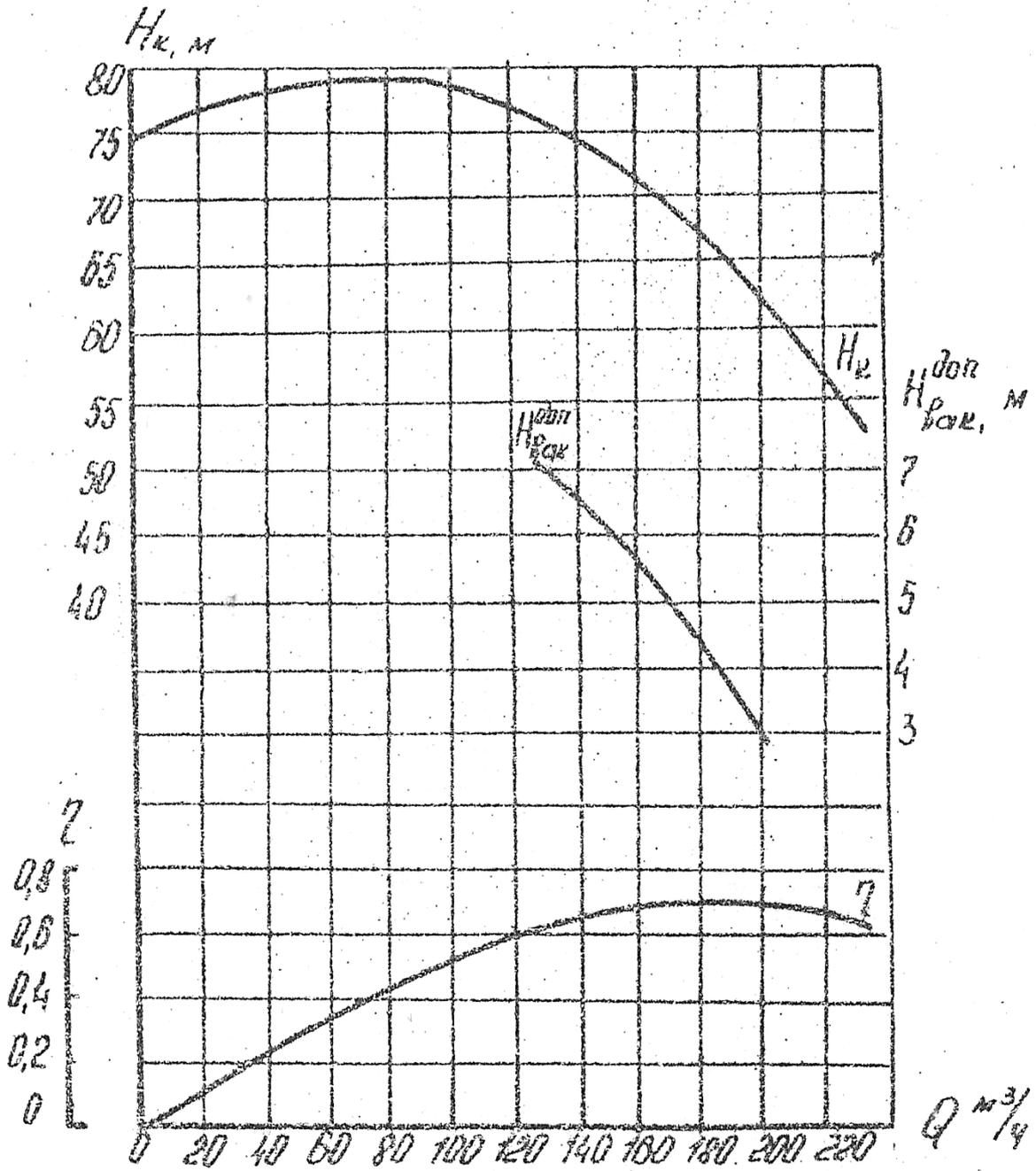


Характеристика насоса ЦНС300...600:

$$H = Z(66,9 + 4,01 \cdot 10^{-2} Q - 2,21 \cdot 10^{-4} Q^2);$$

$$\eta = 5,97 \cdot 10^{-3} Q - 14,66 \cdot 10^{-6} Q^2 + 969,3 \cdot 10^{-11} Q^3;$$

$$n = 1450 \text{ мин}^{-1}$$

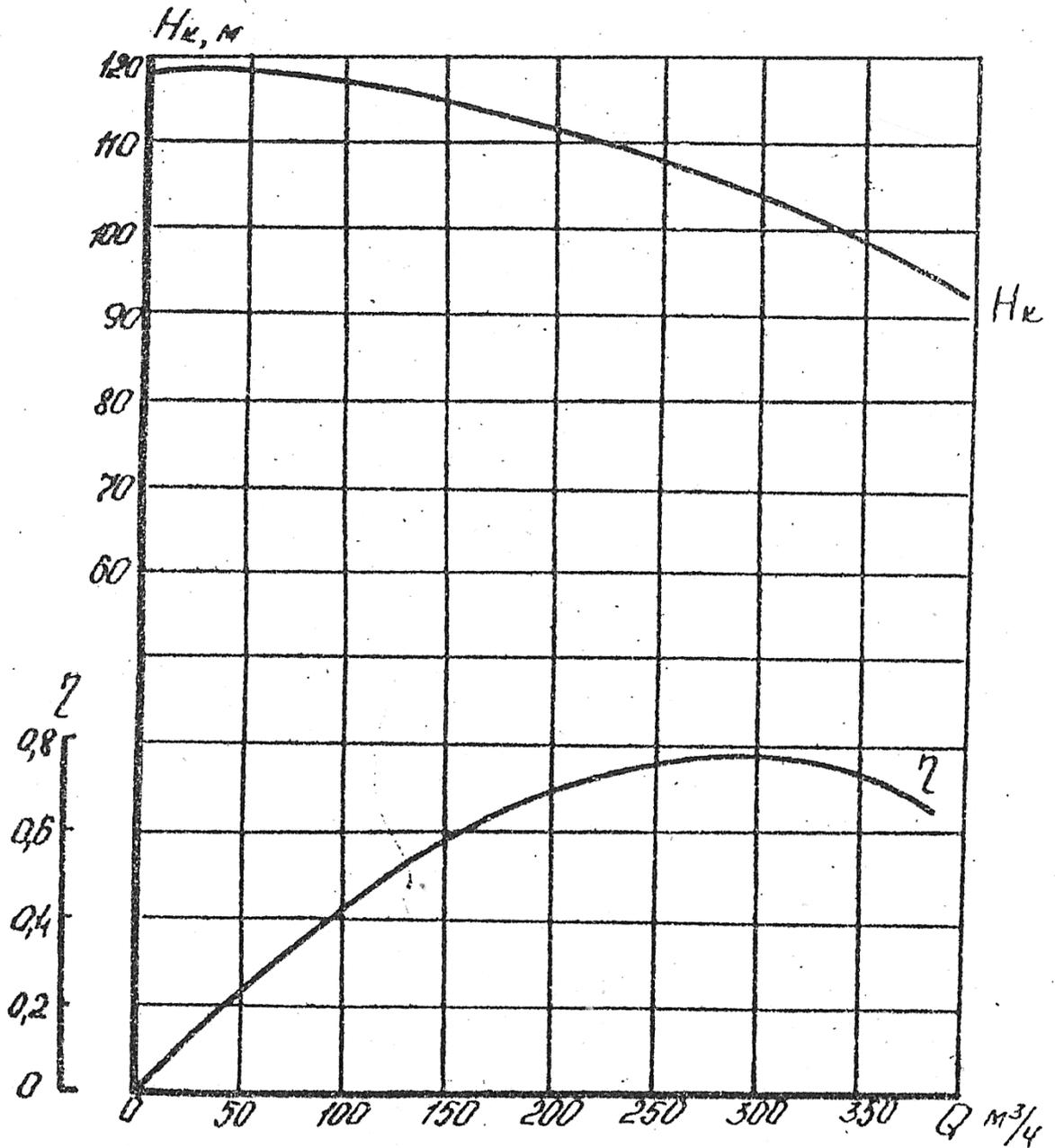


Характеристика насоса ЦНС180...680:

$$H = z(82 + 7,94 \cdot 10^{-2} Q - 9,54 \cdot 10^{-4} Q^2)$$

$$\eta = 7,8 \cdot 10^{-3} Q - 1,33 \cdot 10^{-5} Q^2 - 4,15 \cdot 10^{-8} Q^3$$

$$n = 2950 \text{ мин}^{-1}$$

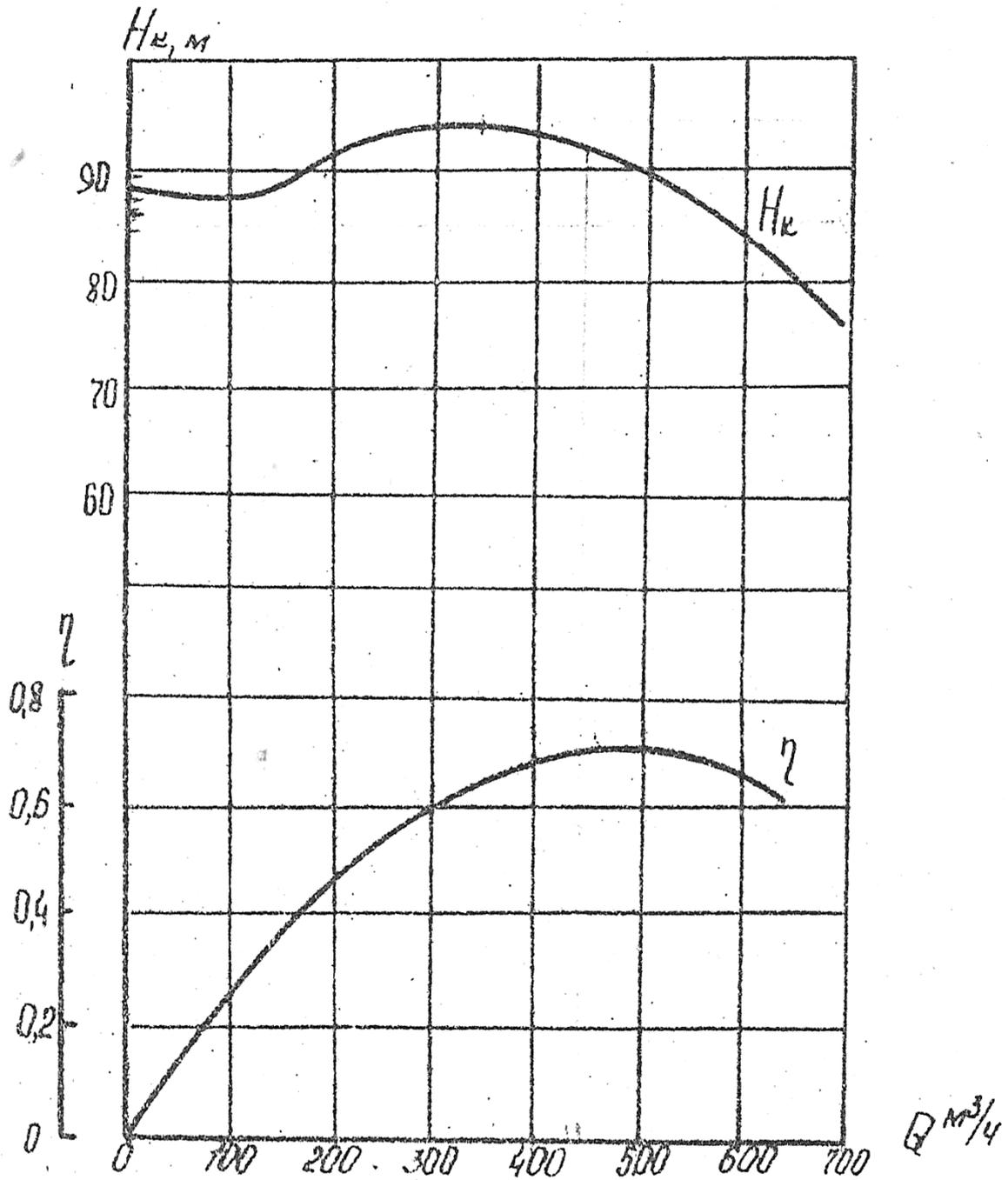


Характеристика насоса ЦНС300...1040:

$$H = z(117,716; 12 \cdot 10^{-2} Q - 4,71 \cdot 10^{-4} Q^2);$$

$$\eta = 5,65 \cdot 10^{-3} Q - 1,35 \cdot 10^{-5} Q^2 + 9,1 \cdot 10^{-9} Q^3;$$

$$n = 2950 \text{ мин}^{-1}$$



Характеристика насоса ЦНС500...900:

$$H = z(85,8 + 6,14 \cdot 10^{-2} Q - 1,28 \cdot 10^{-4} Q^2);$$

$$\eta = 3,95 \cdot 10^{-3} Q - 68,67 \cdot 10^{-7} Q^2 + 37,96 \cdot 10^{-10} Q^3;$$

$$n = 2950 \text{ мин}^{-1}$$

Приложение 10

Обозначение насосов	Номинальные параметры на 1 колесо	
	Подача м ³ /ч	Напор м
ЦНС60-66...330	60	33
ЦНС105-98.490	105	49
ЦНС180-500.900	180	100
ЦНС300-650.1040	300	130
ЦНС180-85..425	180	42.5
ЦНС300-120.600	300	60

Приложение 11

Рекомендуемы мощности электродвигателей для шахтных насосов

Обозначение насосов	Частота вращения об/мин	Мощность электродвигателя кВт, при равном числе колес								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЦНС60-66...330	2950	22	30	40	55	55	75	75	75	100
ЦНС105-98.490	2950	55	75	110	132	160	160	200	250	250
ЦНС180-500.900	2950				400	500	630	630	800	
ЦНС300-650.1040	2950				800	1000	1250	1250		
ЦНС180-85.425	1450	75	100	132	160	200	250	250	315	315
ЦНС300-120.600	1450	160	250	315	400	500	500	630	800	800

Приложение 12

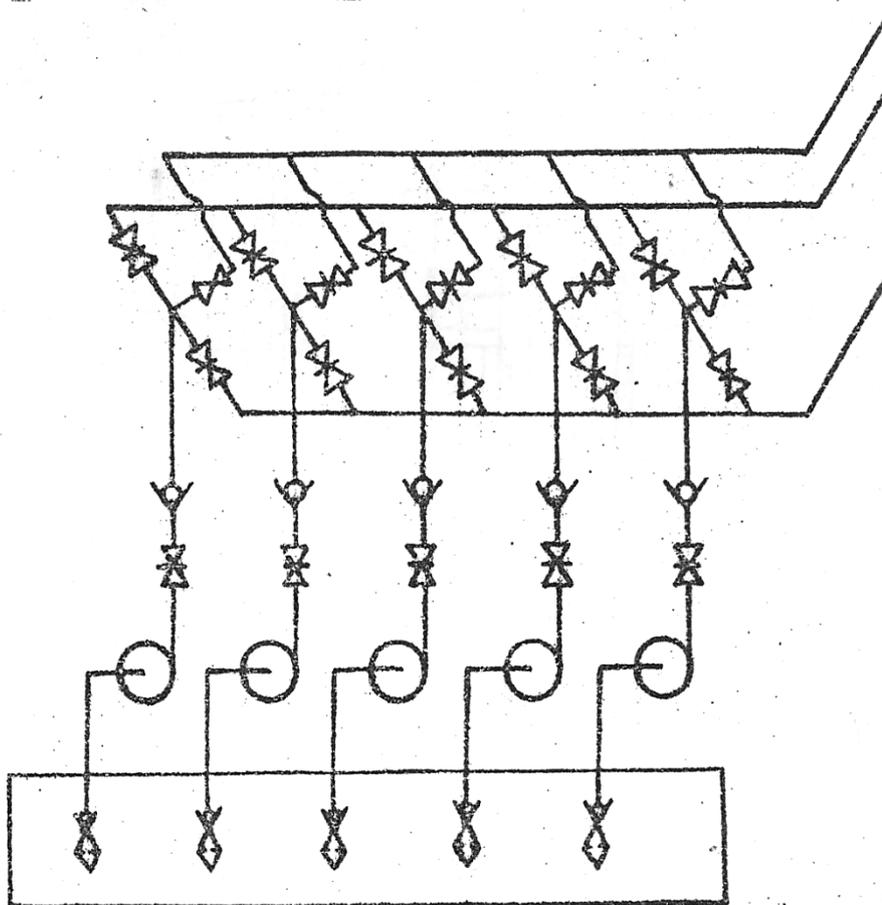
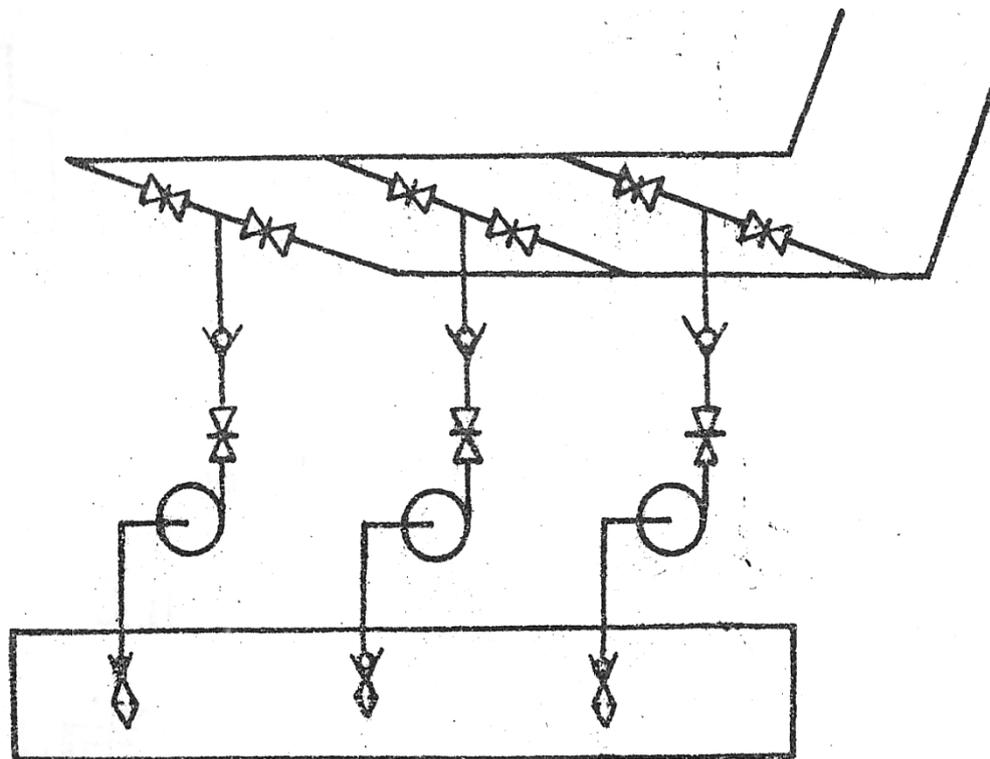
Параметры некоторых электродвигателей для шахтных насосов

Мощность кВт	Частота вращения 1450мин ⁻¹	Частота вращения 2950ми ⁻¹
	Тип двигателя	Тип двигателя
Напряжение 380/660В		
10	ВА051-4	ВА051-4
13	ВА061-4	ВА061-4
17	ВА062-4	ВА062-4
22	ВА071-4	ВА071-4
30	ВА072-4	ВА072-4
40	ВА081-4	ВА081-4
55	ВА082-4	ВА082-4
75	К051-4	К051-4
100	ВА092-4	К055-2
110		ВР280-2
132	ВА0-280-4	ВА0-315-2
160	ВА0-280М-4	ВА0-315М2
Напряжение 6000В		
200	ВА02-450-4	ВА02-450-4
250	ВА02-450М-4	ВА02-450М-4
315	ВА02-450-4	ВА02-450-4
400	ВА02-450-4	ВА02-450В-4
500	ВА02-560-4	2А3МП1-500/6000
630	ВА02-560М-4	2А3МВ1-630/6000
800	ВА02-56-4	2А3МВ1-800/6000
1000	-	1А3МВ1-1000-6000
1250	-	2А3МВ1-1250/6000

Приложение 13

Значение условного диаметра арматуры

Рабочее давление Мн/м ²	Тип насоса				
	ЦНС 105- 98	ЦНС 180- 500	ЦНС 180- 85	ЦНС 300- 120	ЦНС 300- 600
	Условный диаметр арматуры				
4,0	100		150	200	
6,4	100	150	150	300	200
10,0		150			200



Схемы трубопроводов водоотливной установки

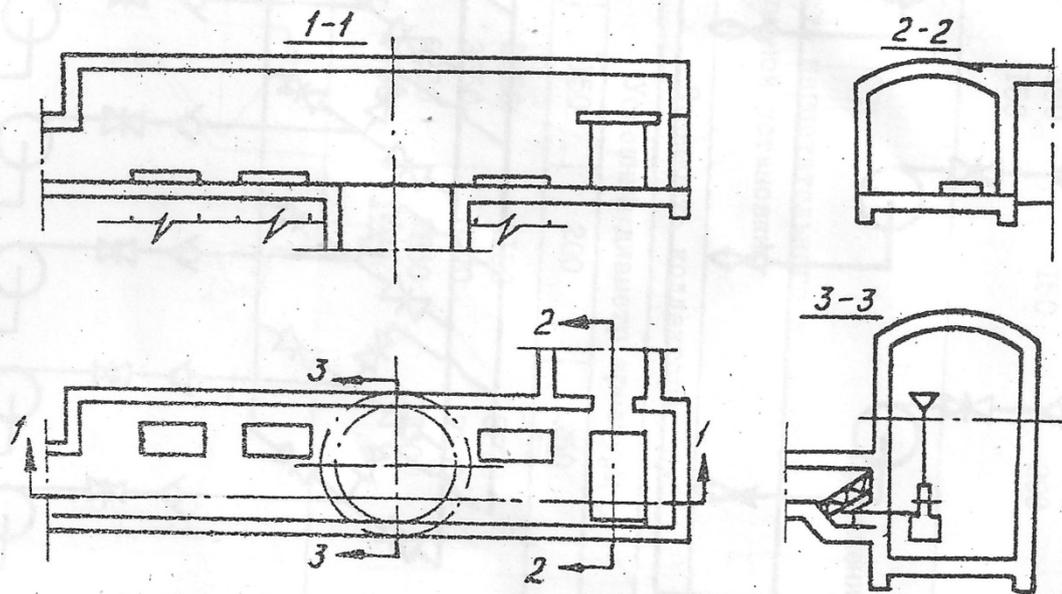
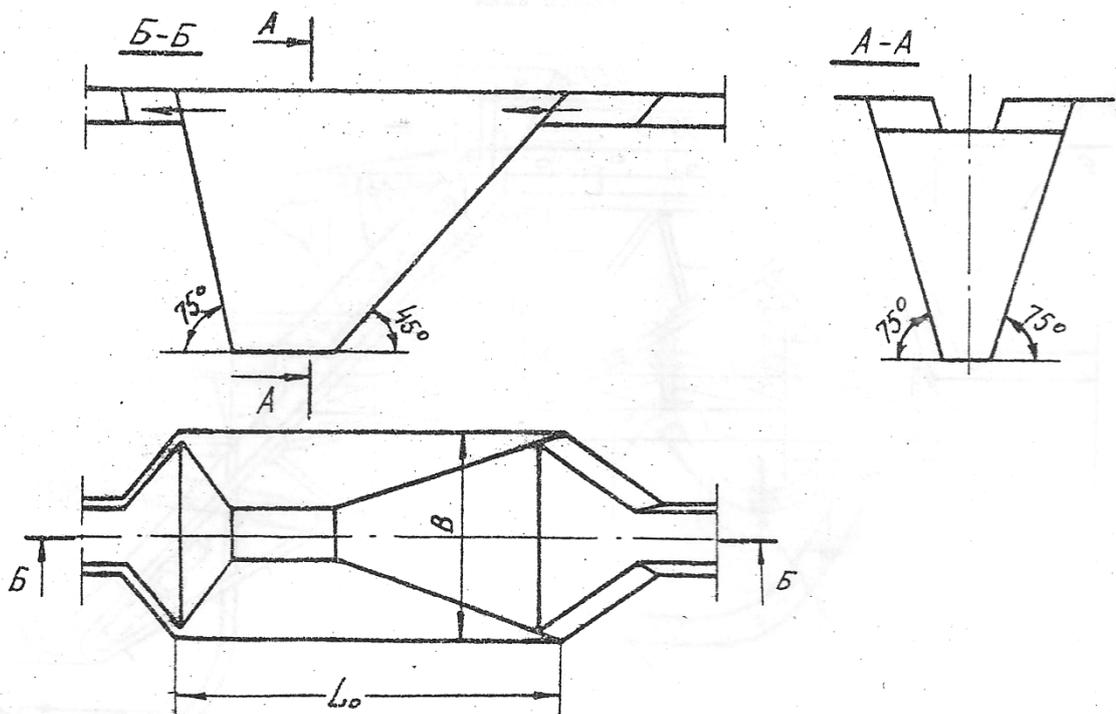
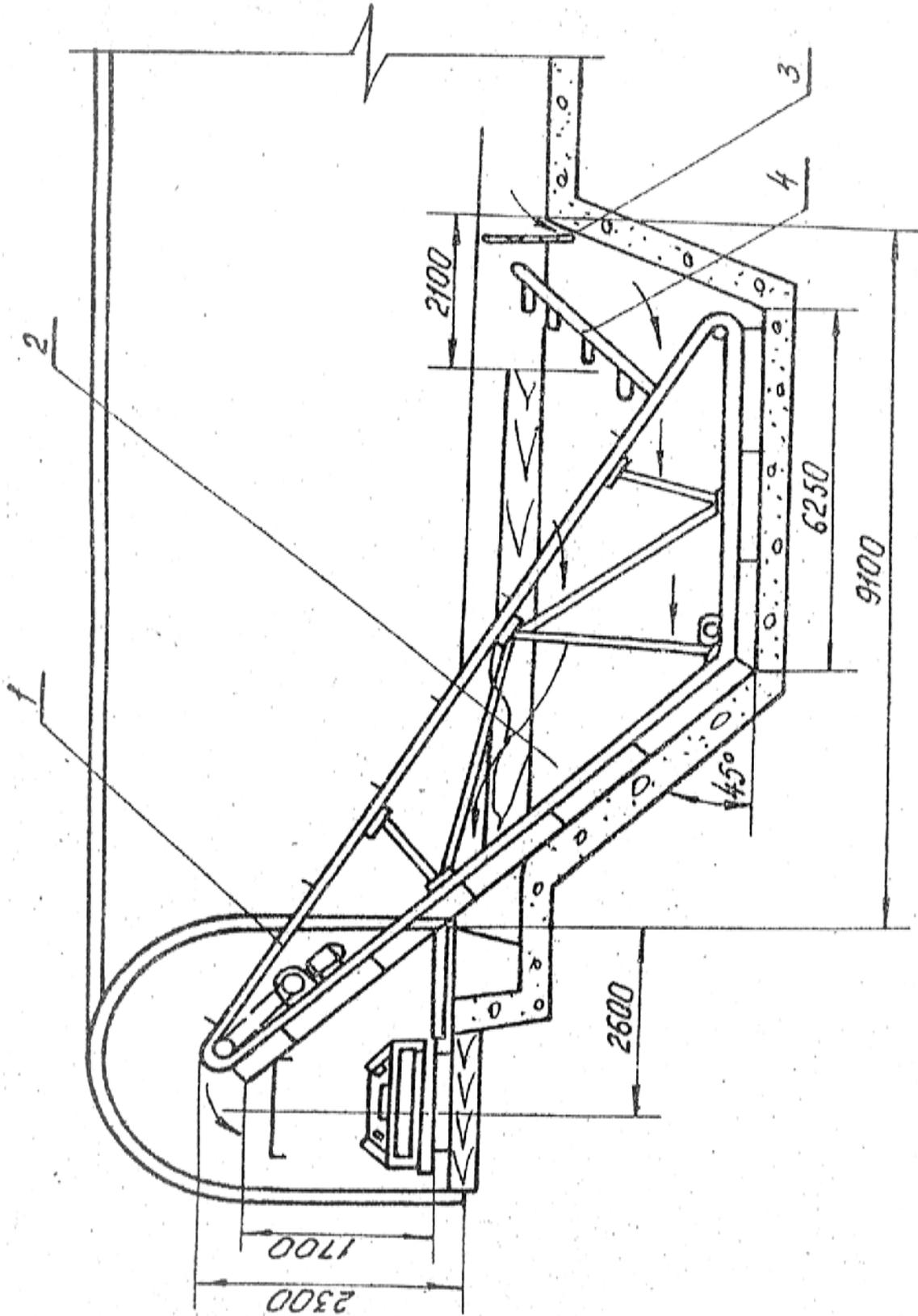


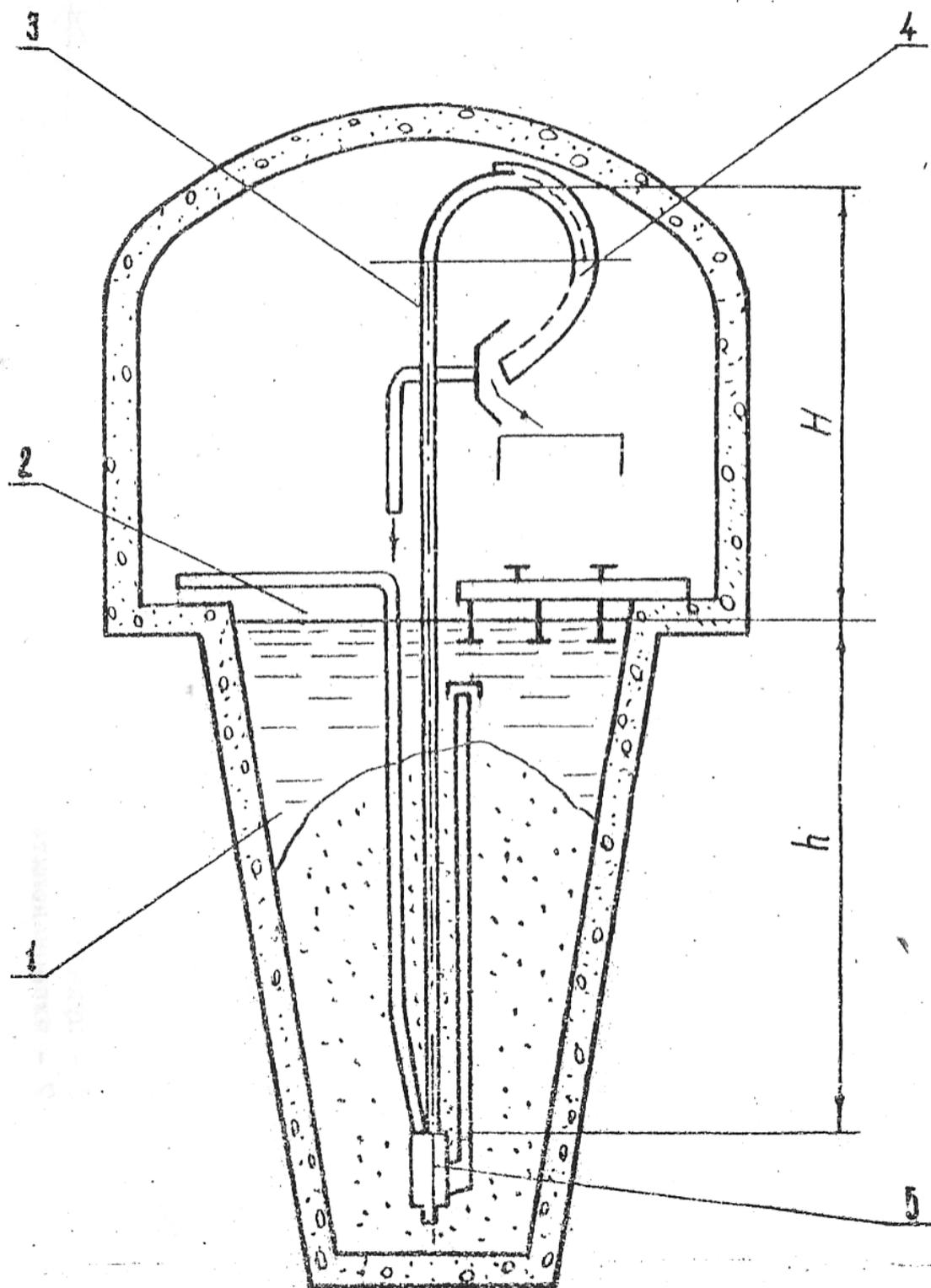
Схема насосной камеры водоотливной установки.



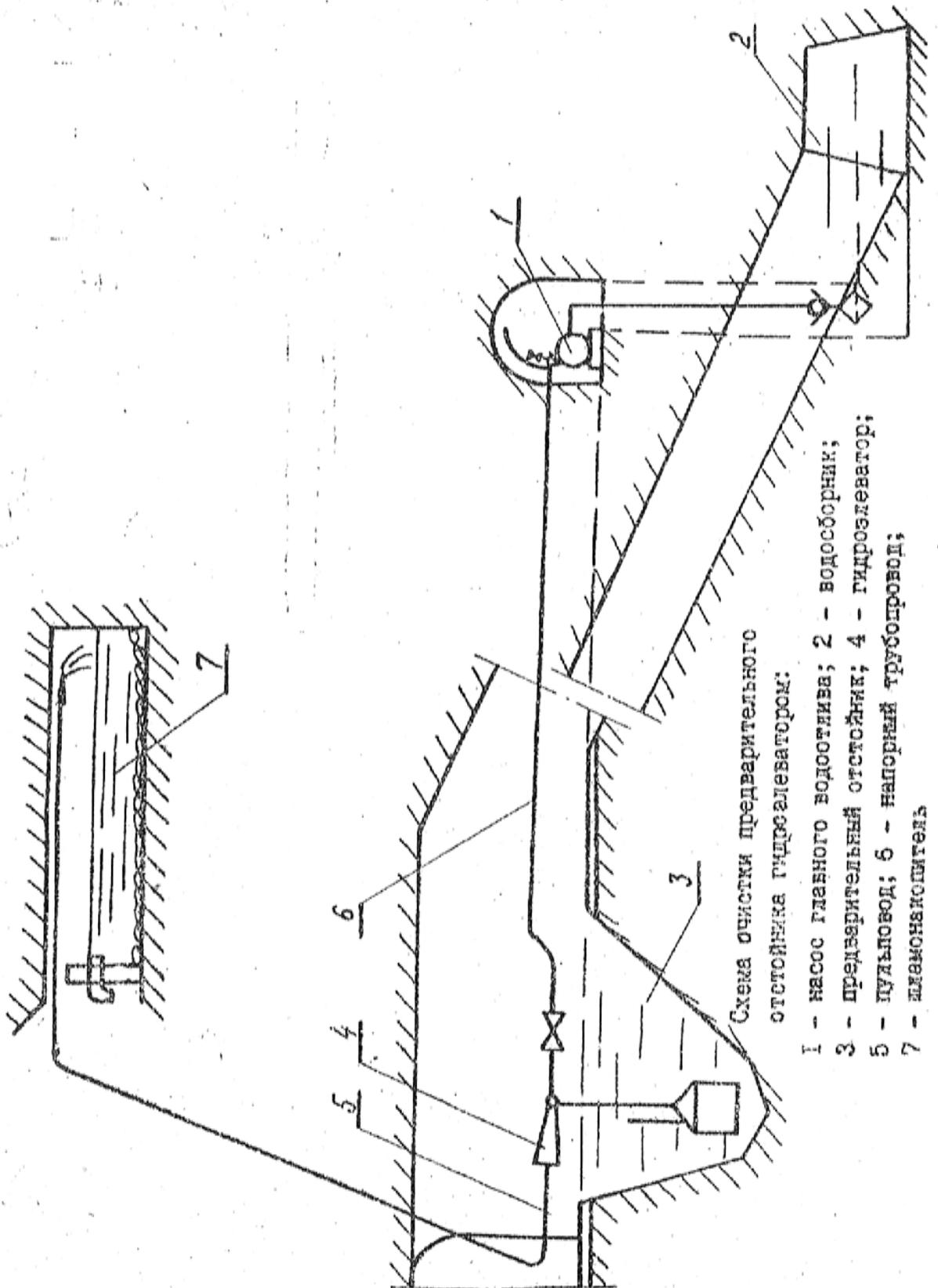
Расчетная схема предварительного отстойника



Очистка предварительного отстойника шлаковыми конвейером
(багер-сумпф)



Очистка предварительного отстойника
шламовым эрлифтом.



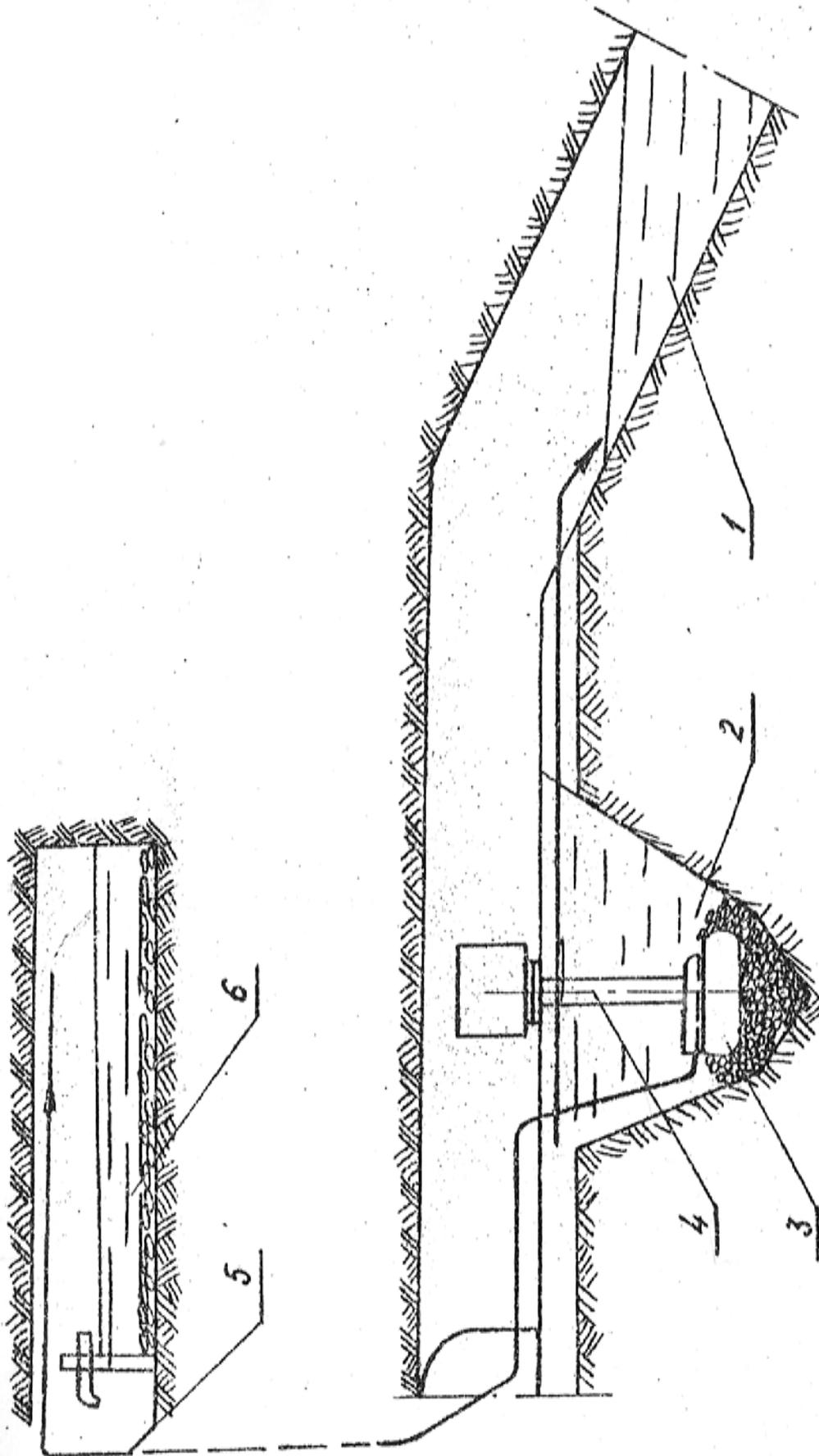


Схема очистки предварительного отстойника погружным насосом:

1 - водосборник;

2 - предварительный отстойник; 3 - гидравлический
рыхлитель; 4 - погружной насос; 5 - пульповод; 6 - шламонакопитель