

## Введение

Дисциплина «Насосы и насосные станции» является одной из основных дисциплин специальности «Водоснабжение и водоотведение». Она дает специалисту знания, обеспечивающие возможность самостоятельной инженерной работы в этой области. Вопрос рационального выбора насосных агрегатов имеет большое значение при проектировании и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения. От правильно подобранных насосных агрегатов, от выбора их оптимальных рабочих режимов во многом зависит экономичность функционирования данных систем.

Для подбора насосов, которые должны работать с наибольшим коэффициентом полезного действия и, следовательно, с максимальной экономией электроэнергии, требуется знание свойств насосов и умение, пользуясь характеристиками, правильно выбирать марки насосов. Этим целям и служит настоящее пособие, которое предназначено для студентов специальности «Водоснабжение и водоотведение». Оно может быть полезно также для инженерно-технических работников, занятых в данной области.

Пособие включает задачи по подбору центробежных насосов по их характеристикам и характеристикам системы трубопроводов, в которой работают насосы. В пособии рассмотрена методика построения характеристик насоса, характеристик системы трубопроводов, случаи параллельной и последовательной работы насосов в простую и сложную систему водопроводов, работа центробежных насосов при переменном числе оборотов и разные случаи регулирования работы насосов. В каждом разделе приведены краткие теоретические сведения, необходимые формулы, а также даны примеры решения задач с методическими пояснениями. В приложениях помещены сводные графики характеристик насосов и некоторые таблицы, используемые при решении задач.

При написании учебного пособия автор руководствовался методикой составления задач по насосам, которая представлена в работе М. В. Позднеева «Сборник задач по насосам» (Л.: ЛИИЖТ, 1954).

# 1. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА. ХАРАКТЕРИСТИКА ТРУБОПРОВОДОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Работа центробежного насоса характеризуется подачей  $Q$ , напором  $H$ , мощностью  $N$ , коэффициентом полезного действия  $\eta$  и высотой всасывания  $H_{\text{вас}}$ .

Подача насоса  $Q$  или  $q$  представляет собой объем жидкости, подаваемый в единицу времени через напорный патрубок. Подачу выражают в л/с, м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/ч.

Напор насоса  $H$  представляет собой разность полных удельных энергий потока жидкости в выходном и во входном патрубках насоса. Напор выражают в метрах водяного столба.

Для действующей насосной установки напор насоса  $H$  определяют по формуле, м:

$$H = Z + \frac{p_m + p_v}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g},$$

где  $Z$  — расстояние по вертикали между манометром и точкой присоединения вакуумметра, м;

$p_m, p_v$  — соответственно показания манометра и вакуумметра, Па;

$v_1, v_2$  — соответственно скорости жидкости на входе в насос и на выходе из насоса, м/с;

$\rho$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Для проектируемой насосной установки напор  $H$ , который должен создавать насос, составляет:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{вс}} + h_{\text{н}},$$

где  $H_{\Gamma} = (H_{\Gamma.\text{в}} + H_{\Gamma.\text{н}})$  — геометрическая высота подъема жидкости, представляющая собой разность отметок в верхнем и нижнем резервуарах, м;

$h_{\text{вс}}$  — потери напора во всасывающем трубопроводе, м;

$h_{\text{н}}$  — потери напора в напорном трубопроводе, м;

$H_{\Gamma.\text{в}}$  — геометрическая высота всасывания — расстояние по вертикали от уровня воды в нижнем резервуаре до оси насоса, м;

$H_{\Gamma.\text{н}}$  — геометрическая высота нагнетания — расстояние по вертикали от оси насоса до уровня воды в верхнем резервуаре, м.

Мощность насоса подразделяется на полезную мощность  $N_{\text{п}}$  и мощность, потребляемую насосом,  $N_{\text{н}}$ . Полезная

мощность  $N_{\text{п}}$  определяется работой насоса, совершаемой им при подъеме жидкости в единицу времени на высоту  $H$ , т. е. полезная мощность насоса определяется по формуле, кВт:

$$N_{\text{п}} = \frac{\rho g Q H}{1000},$$

где  $\rho$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  — подача, м<sup>3</sup>/с;

$H$  — напор, м.

Мощность  $N_{\text{н}}$ , потребляемая насосом, в действительности больше полезной мощности  $N_{\text{п}}$  вследствие того, что часть энергии, которую насос получает от двигателя, расходуется на преодоление гидравлического сопротивления внутри насоса, трение в механизмах и утечку жидкости в самом насосе через зазоры и неплотности в конструкции.

Потребляемая насосом мощность определяется по формуле, кВт:

$$N_{\text{н}} = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{н}}} = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta_{\text{н}}},$$

где  $\eta_{\text{н}}$  — коэффициент полезного действия насоса.

Коэффициент полезного действия насоса  $\eta_{\text{н}}$  представляет собой отношение полезной мощности насоса к потребляемой мощности, т. е.

$$\eta_{\text{н}} = N_{\text{п}} / N_{\text{н}}.$$

Существует понятие коэффициента полезного действия насосной установки

$$\eta_{\text{уст}} = \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{н}},$$

где  $\eta_{\text{пер}}$  — коэффициент полезного действия передачи от двигателя к насосу;

$\eta_{\text{дв}}$  — коэффициент полезного действия двигателя.

Мощность, потребную для приведения насосной установки в действие, определяют по формуле, кВт:

$$N_{\text{уст}} = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta_{\text{уст}}}.$$

В качестве привода для центробежных насосов используют электродвигатели асинхронные короткозамкнутые или синхронные переменного трехфазного тока. При непосредственном соединении электродвигателя с насосом мощность двигателя определяют по формуле, кВт:

$$N_{\text{дв}} = K_3 \frac{\rho g Q H}{1000 \eta_{\text{н}}},$$

где  $K_3$  — коэффициент запаса мощности двигателя; принимается в зависимости от мощности насоса в следующих пределах:

При мощности до 2 кВт . . . . .	1,50
То же, от 2 до 5 кВт . . . . .	1,50...1,25
То же, от 5 до 50 кВт . . . . .	1,25...1,15
То же, от 50 до 100 кВт . . . . .	1,15...1,08
То же, свыше 100 кВт . . . . .	1,05

Высота всасывания насоса  $H_{\text{вак}}$  определяется разрежением, которое образуется в его корпусе. Степень разрежения зависит от превышения внешнего барометрического давления  $p_6$  над внутренним абсолютным давлением всасывания жидкости во входной части рабочего колеса и выражается формулой, м:

$$H_{\text{вак}} = \frac{p_6 - (p_{\text{вс}} + v_{\text{вс}}^2/2g)}{\rho g}$$

Величина разрежения должна быть такой, чтобы давление  $p_{\text{вс}}$  при входе жидкости в рабочее колесо было больше давления ее паров  $p_{\text{п.жт}}$  при данной температуре  $t$ , иначе может возникнуть явление, называемое кавитацией.

Основным средством предупреждения кавитации, обеспечивающим нормальную работу центробежного насоса, является установка его на такой высоте по отношению к уровню воды в нижнем резервуаре, чтобы давление при входе в колесо всегда было больше давления паров перекачиваемой жидкости.

Высоту установки насоса над минимальным уровнем жидкости в нижнем резервуаре определяют по формуле, м:

$$H_{\text{г.в}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - \left( h_{\text{вс}} + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g} \right),$$

где  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  — допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м;

$h_{\text{вс}}$  — потери напора во всасывающем трубопроводе, м;

$v_{\text{вс}}$  — скорость течения жидкости во всасывающем патрубке насоса, м/с.

Допустимая вакуумметрическая высота всасывания  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  указывается в паспорте насоса и приводится на его рабочей характеристике для нормального барометрического давления 0,098 МПа и температуры перекачиваемой жидкости 20 °С.

В других условиях работы насоса в паспортные данные необходимо вводить поправки и определять  $N_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  по формуле, м:

$$N_{\text{вак}}^{\text{доп}} = N_{\text{вак п.пасп.}}^{\text{доп}} + \left( \frac{p_6}{\rho g} - 10 \right) - (h_{\text{п.ж}} - h_{\text{п.ж}t=20^\circ}),$$

где  $p_6$  — фактическое барометрическое давление, Па;  
 $h_{\text{п.ж}}$  — упругость паров жидкости при данной температуре, м. Для воды значения  $h_{\text{п.ж}}$  в зависимости от температуры  $t$  приведены в таблице;  
 $h_{\text{п.ж}t=20^\circ}$  — упругость паров жидкости при температуре  $20^\circ\text{C}$ , м.

Значения  $h_{\text{п.ж}}$  для воды в зависимости от  $t^\circ\text{C}$

$t^\circ\text{C}$	0	10	20	40	60	80	100
$h_{\text{п.ж}}, \text{ м}$	0,06	0,12	0,24	0,75	2,03	4,83	10,33

На рабочих характеристиках современных центробежных насосов вместо величины  $N_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  указывается величина допустимого кавитационного запаса  $h_{\text{доп}}$ , м.

Переход от величины  $\Delta h_{\text{доп}}$  к величине допустимой вакуумметрической высоты всасывания  $N_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  можно осуществить по формуле:

$$N_{\text{вак}}^{\text{доп}} = \frac{p_a}{\rho g} - \Delta h_{\text{доп}} - h_{\text{п.ж}} + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g}.$$

Подбор центробежных насосов производится по характеристикам насосов.

Характеристикой центробежного насоса называют график, выражающий зависимость напора  $H$ , м, потребляемой мощности  $N_n$ , кВт, коэффициента полезного действия  $\eta_n$  и допустимой вакуумметрической высоты всасывания  $N_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  (или допустимого кавитационного запаса  $\Delta h_{\text{доп}}$ ), м, от подачи  $Q$  при постоянной частоте вращения  $n$  и определенной форме и размерах проточной части рабочего колеса.

На рис. 1, а, б представлены два вида характеристик центробежных насосов. Характеристики, имеющие восходящую ветвь (рис. 1, б), называются восходящими. Насосы с восходящими характеристиками имеют область неустойчивой работы в пределах подачи от 0 до  $Q_1$ , когда при одном напоре  $H_A$  насос может создавать две различные подачи  $Q_{A_1}$  и  $Q_{A_2}$ .

Это и может вызвать неустойчивую работу насоса. Изменение подачи насоса наступает внезапно, сопровождается сильным шумом и гидравлическими ударами, сила которых зависит от диапазона изменения подачи и длины трубопровода. Надежная работа насоса при восходящей характеристике будет достигнута при напорах, не превышающих начального напора  $H_0$ . Поэтому параметры, на которые рассчитана работа таких насосов, лежат в пределах нисходящей ветви кривой  $Q-H$ .

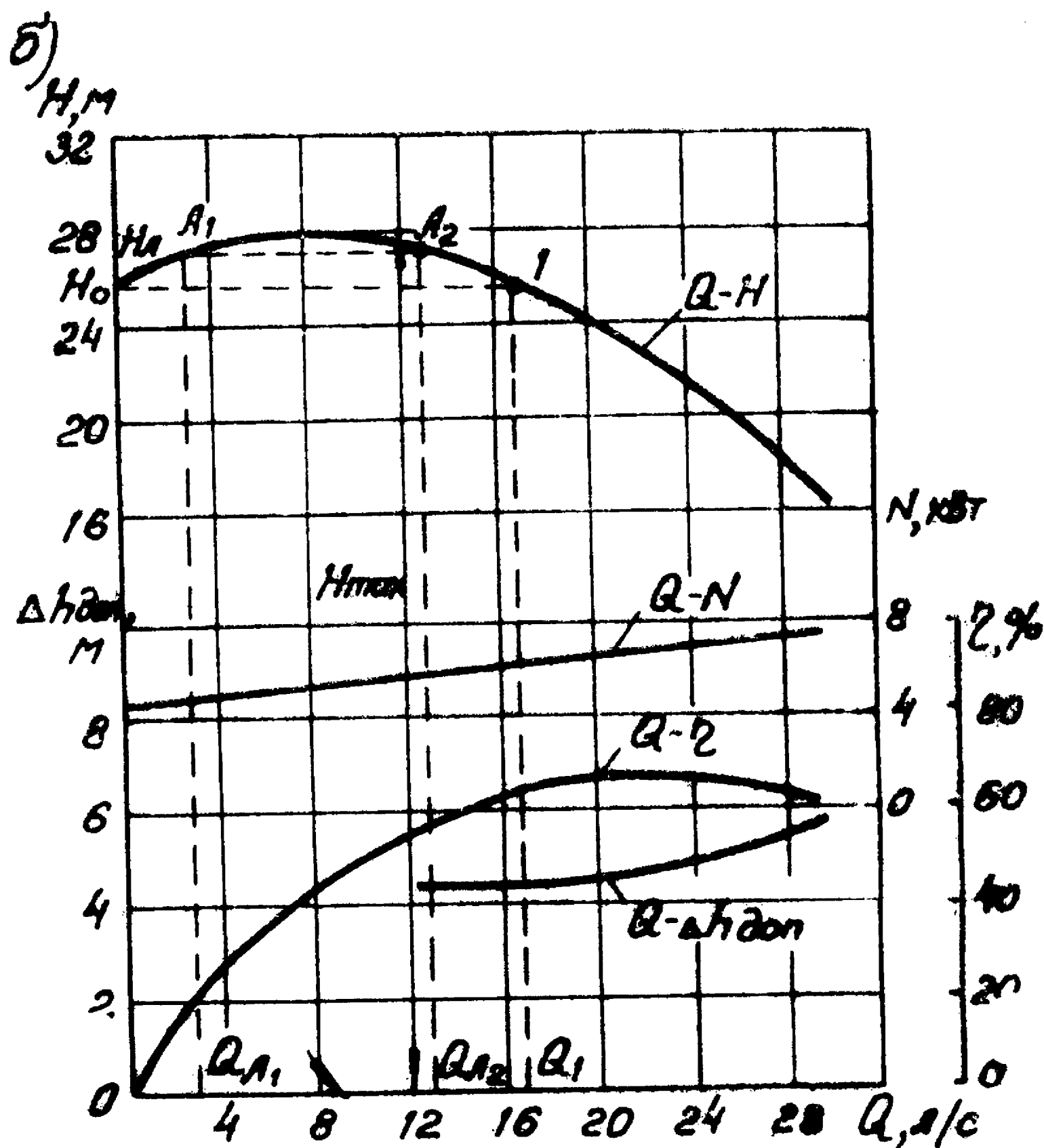
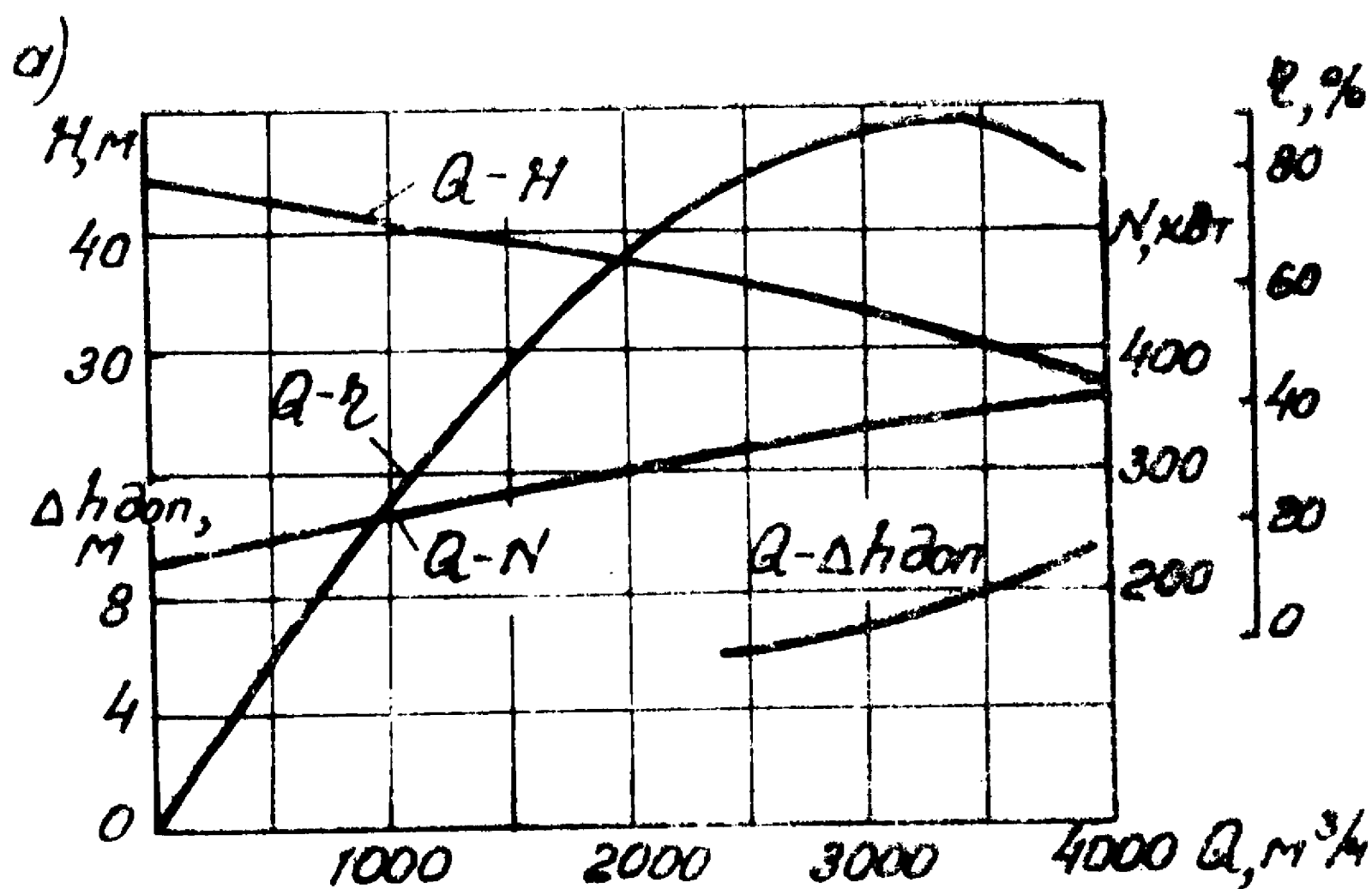


Рис. 1. Рабочие характеристики центробежных насосов:

а — стабильная; б — восходящая

Характеристики, не имеющие восходящей ветви (рис. 1, а), называются стабильными. Режим работы насосов, имеющих стабильную характеристику  $Q—H$ , протекает устойчиво во всех точках кривой.

Рабочая характеристика каждого насоса дается для нормального рабочего колеса и для колеса с обточенными лопатками. На рис. 2 представлена характеристика центробежного насоса марки Д1600-90. На характеристике сплошными линиями нанесены зависимости, отнесенные к нормальному колесу, пунктирными — к обточенному. Волнистыми линиями на кривых  $Q—H$  указаны границы рекомендуемого применения насосов.

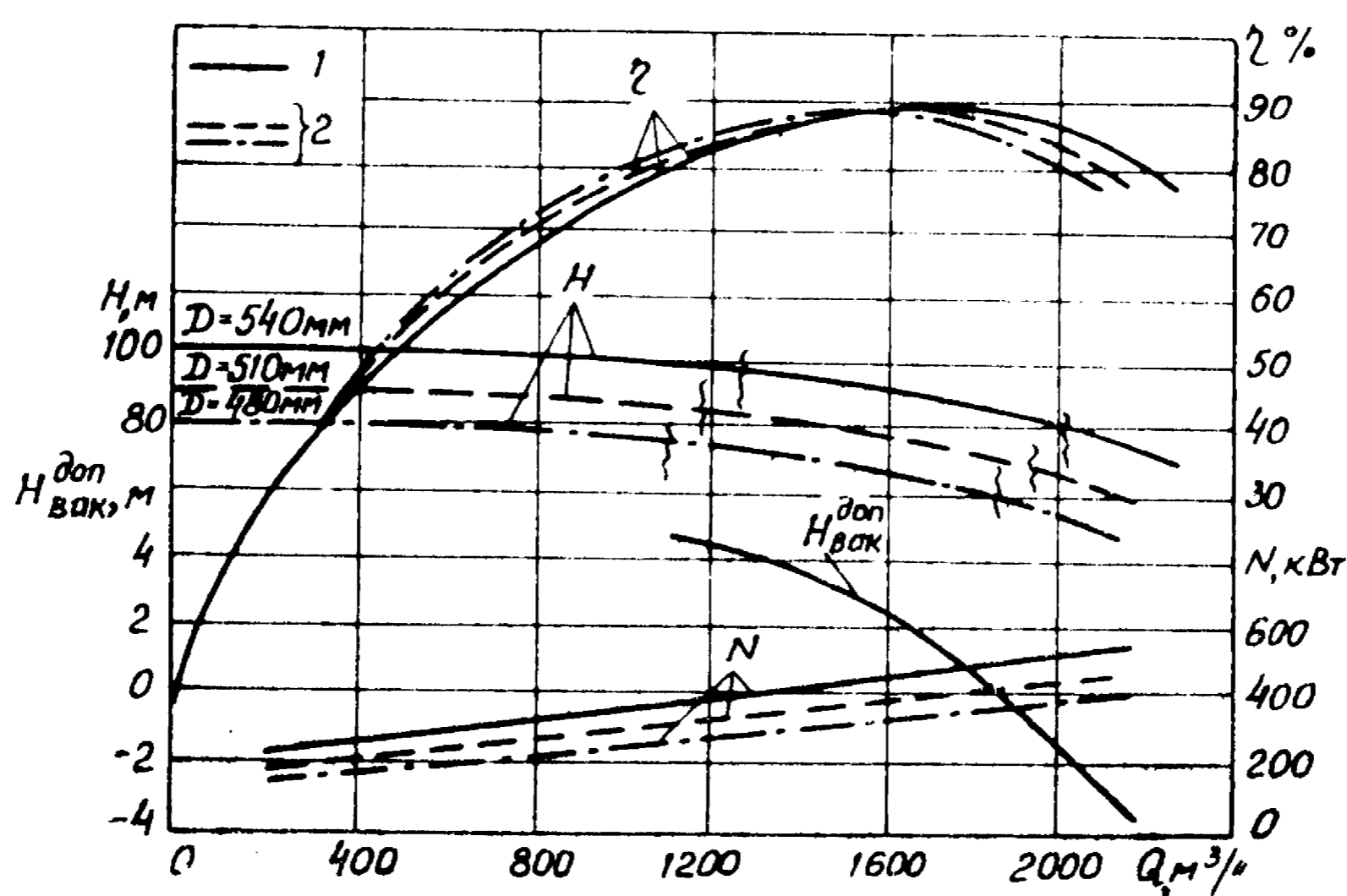


Рис. 2. Характеристика центробежного насоса Д1600-90 с частотой вращения  $n = 1450 \text{ мин}^{-1}$ :

1 — рабочее колесо, поставляемое заводом-изготовителем;  
2 — обточенное колесо

В современных каталогах и справочниках для выпускаемых центробежных насосов даются характеристики каждой марки насосов. Кроме того, приводятся сводные графики характеристик центробежных насосов (прил. 1, 2). Эти графики могут быть использованы при подборе насосов.

Для определения параметров работы насоса необходимо на его характеристику нанести характеристику системы трубопроводов, по которой насос перекачивает жидкость.

Характеристикой трубопровода или системы трубопроводов называют кривую или уравнение, выражающее зависимость между расходом, проходящим по трубопроводу, и потребной для этого величины напора насоса.

Уравнение характеристики трубопровода (или характеристики системы трубопроводов) имеет вид:

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + S_{\text{тр}} Q^2,$$

где  $H_{\text{г}}$  — геометрическая высота подъема жидкости, м;

$S_{\text{тр}} Q^2$  — потери напора в трубопроводах, м;

$S_{\text{тр}}$  — сопротивление трубопроводов.

Потери напора в трубопроводах складываются из потерь на преодоление трения при движении жидкости по трубопроводу и потерь на преодоление местных сопротивлений. Поэтому сопротивление трубопроводов  $S_{\text{тр}}$  при построении характеристики удобно определять через удельное сопротивление  $A$  по формуле:

$$S_{\text{тр}} = 1,1 A_{\text{вс}} l_{\text{вс}} + (1,03 \dots 1,1) A_{\text{н}} l_{\text{н}},$$

где 1,1; (1,03 ... 1,1) — коэффициенты, учитывающие потери напора на преодоление местных сопротивлений; меньшие значения этих коэффициентов принимаются для длинных трубопроводов, бóльшие — для коротких трубопроводов;

$A_{\text{вс}}$ ,  $A_{\text{н}}$  — удельные сопротивления всасывающих и напорных трубопроводов; принимаются по [4] в зависимости от диаметра и материала труб. Значения удельных сопротивлений  $A$  для расходов  $Q$ , выраженных в м<sup>3</sup>/с, для новых стальных и чугунных труб при  $v = 1,0$  м/с приведены в прил. 3; для асбестоцементных и железобетонных труб при  $v = 1$  м/с — в прил. 4. При других значениях скоростей воды величины удельных сопротивлений  $A$  принимают с поправочными коэффициентами  $K$ , значения которых приведены в прил. 5;

$l_{\text{вс}}$ ,  $l_{\text{н}}$  — длины соответственно всасывающего и напорного трубопроводов, м.

При построении графической характеристики трубопроводов более сложной системы *нососы—водоводы—сеть* удобно пользоваться уравнением:

$$H = H_{\text{г}} + (S_{\text{тр}} + S_{\text{с}}) Q^2,$$

где  $S_{\text{с}}$  — приведенное сопротивление сети,

$$S_{\text{с}} = \sum h_{\text{с}} / Q_{\text{р}}^2,$$

здесь  $\sum h_{\text{с}}$  — суммарные потери напора в сети, м;

$Q_{\text{р}}$  — расчетный расход воды в сети, при котором определена  $\sum h_{\text{с}}$ , м<sup>3</sup>/с.



Рабочие параметры насоса определяют по совмещенному графику характеристики насоса и характеристики системы трубопроводов. Общей точкой  $A$  является точка пересечения кривых  $Q-H$  и  $Q-H_{тр}$  (рис. 3). Точка  $A$  называется точкой работы насоса, а величины, соответствующие этой точке, показывают, какой расход  $Q_A$ , напор  $H_A$ , мощность  $N_A$ , КПД  $\eta_A$  и допустимую высоту всасывания  $H_{\text{вак}A}^{\text{доп}}$  разовьет при этом насос. Точка  $A$  является той крайней точкой, которая определяет предельную подачу насоса, работающего в заданную систему при полном открытии напорной задвижки и постоянном числе оборотов рабочего колеса.

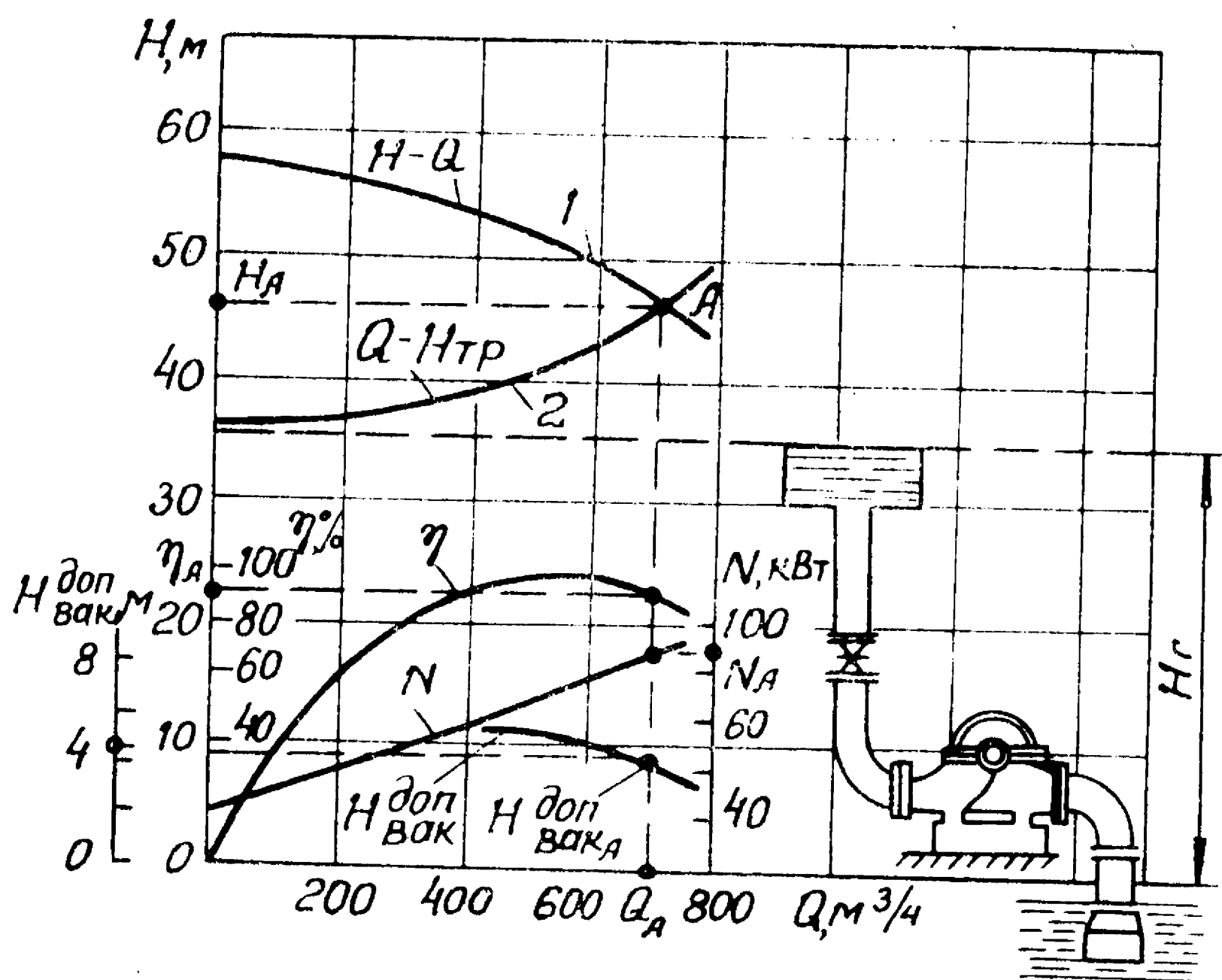


Рис. 3. К определению точки работы насоса

### 1.1. Определение параметров насоса и построение характеристик насоса

**Пример 1.** Вода забирается насосом из реки и подается в бак водонапорной башни в количестве  $q=105$  л/с согласно приведенной на рис. 4 схеме. Из реки по самотечной линии из стальных труб диаметром  $d_c=500$  мм и длиной  $l_c=85$  м вода поступает в береговой водозаборный колодец, из которого по стальной всасывающей трубе диаметром  $d_{\text{вс}}=450$  мм и длиной  $l_{\text{вс}}=60$  м (с приемной сеткой без клапана) подводится к насосу. Насосом вода по напорной линии из чугунных труб  $d_n=350$  мм и  $l_n=1000$  м подается в бак водонапорной башни. Отметка горизонта низких вод в реке  $Z_{\text{гнв}}=40$  м, отметка выливного отверстия напорной трубы в баке водонапорной башни  $Z_{\text{вб}}=95$  м.

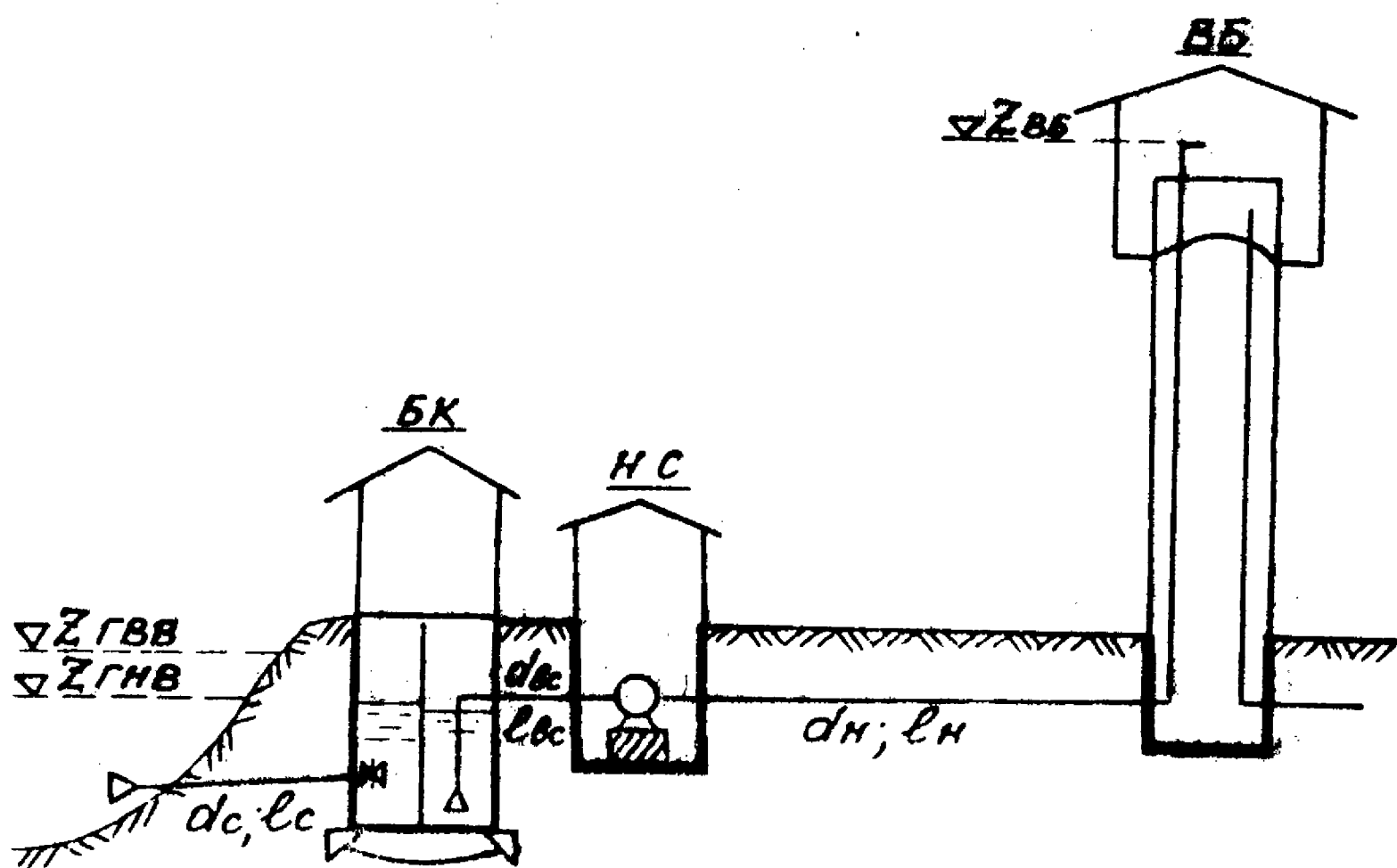


Рис. 4. Общая схема системы подачи воды

Требуется определить напор и мощность насоса, а также мощность электродвигателя. Подобрать по каталогу насос. Вал насоса соединен с валом двигателя с помощью упругой муфты.

*Решение.* Напор  $H$ , который должен развивать насос, определяется по формуле:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{с}} + h_{\text{вс}} + h_{\text{н}},$$

где  $H_{\Gamma}$  — геометрическая высота подъема воды насоса;  
 $h_{\text{с}}$ ,  $h_{\text{вс}}$ ,  $h_{\text{н}}$  — потери напора в самотечной, всасывающей и напорной линиях.

Геометрическая высота подъема  $H_{\Gamma}$  воды насосом

$$H_{\Gamma} = Z_{\text{ВБ}} - Z_{\text{ГНВ}} = 95 - 40 = 55 \text{ м.}$$

Потеря напора  $h_{\text{с}}$  в самотечной линии  $d_{\text{с}} = 500$  мм и  $l_{\text{с}} = 85$  м из стальных труб при расходе 105 л/с определяется по формуле:

$$h_{\text{с}} = 1,1 A_{\text{с}} K_{\text{с}} l_{\text{с}} Q^2 = 1,1 \cdot 0,04692 \cdot 1,081 \cdot 85 \cdot 0,105^2 = 0,05 \text{ м,}$$

где 1,1 — коэффициент, учитывающий потери напора на местные сопротивления;

$A_{\text{с}}$  — удельное сопротивление самотечной линии; принимается в зависимости от диаметра и материала трубы по прил. 3,  $A_{\text{с}} = 0,04692$  для  $Q$  в  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$K_{\text{с}}$  — поправочный коэффициент к значению  $A_{\text{с}}$ , учитывающий, что  $v_{\text{с}} \neq 1$ ; принимается в зависимости от  $v_{\text{с}} = 0,50$  м/с при расходе  $q = 105$  л/с и  $d_{\text{с}} = 500$  мм по прил. 5,  $K_{\text{с}} = 1,081$ ;

$l_{\text{с}}$  — длина самотечной линии,  $l_{\text{с}} = 85$  м;

$Q$  — расход в  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $Q = 0,105 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Потеря напора  $h_{вс}$  во всасывающей линии  $d_{вс}=450$  мм и  $l_{вс}=60$  м из стальных труб с приемной сеткой без клапана при расходе 105 л/с определяется по формуле:

$$h_{вс} = 1,1 A_{вс} K_{вс} l_{вс} Q^2 + \zeta_{пр.с} \frac{v_{вс}^2}{2g} =$$

$$= 1,1 \cdot 0,08001 \cdot 1,053 \cdot 60 \cdot 0,105^2 + 3 \frac{0,62^2}{2 \cdot 9,8} = 0,12 \text{ м,}$$

где  $K_{вс}=1,053$  при  $v_{вс}=0,62$  м/с; принимается по прил. 5;  
 $\zeta_{пр.с}$  — коэффициент гидравлического сопротивления приемной сетки без клапана; принимается по прил. 6.

Потеря напора  $h_n$  в напорной линии  $d_n=350$  мм,  $l_n=1000$  м из чугунных труб при расходе 105 л/с

$$h_n = 1,05 A_n K_n l_n Q^2 = 1,05 \cdot 0,4151 \cdot 0,998 \cdot 1000 \cdot 0,105^2 =$$

$$= 4,78 \text{ м,}$$

где  $K_n=0,998$  при  $v_n=1,08$  м/с принимается по прил. 5.

Напор насоса

$$H = H_r + h_c + h_{вс} + h_n = 55 + 0,05 + 0,12 + 4,78 = 59,95 \text{ м.}$$

Мощность насоса определяется по формуле:

$$N_n = \frac{\rho g Q \cdot H}{1000 \eta_n} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,105 \cdot 59,75}{1000 \cdot 0,75} = 81,98 \text{ кВт,}$$

где  $\rho$  — плотность воды, 1000 кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  — подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$\eta_n$  — КПД насоса (при определении ориентировочно мощности насоса КПД принимается  $\eta_n \approx 0,75$ ).

Мощность двигателя, соединенного с насосом упругой муфтой (КПД передачи  $\eta_{п}=1,0$ , коэффициент запаса мощности  $K_з=1,12$ ), определяется по формуле:

$$N_{дв} = \frac{N_n}{\eta_{п}} K_з = \frac{81,98}{1,0} \cdot 1,12 = 91,82 \text{ кВт.}$$

По каталогу (прил. 1) наиболее подходящим для заданных  $q$  и  $H$  будет насос Д500-65, число оборотов которого  $n=1450$  мин<sup>-1</sup>.

**Задача 1.** Вода поступает по стальной самотечной линии диаметром  $d_c=200$  мм и длиной  $l_c=90$  м в береговой водозаборный колодец, из которого по стальной всасывающей линии диаметром  $d_{вс}=200$  мм и длиной  $l_{вс}=35$  м (со всасывающим клапаном и сеткой) забирается насосом и подается

по напорной линии из чугунных труб  $d_n = 150$  мм и длиной  $l_n = 900$  м в водонапорную башню в количестве 28 л/с. Отметка горизонта низких вод в реке  $Z_{гнв} = 60$  м, отметка выливного отверстия напорной трубы в баке водонапорной башни  $Z_{вб} = 103$  м.

Требуется определить напор и мощность насоса, а также мощность электродвигателя. Подобрать по каталогу насос. Вал насоса соединен с валом двигателя с помощью упругой муфты ( $\eta_n = 0,75$ ;  $\eta_p = 1,0$ ) (рис. 4).

Ответ:  $H = 66,9$  м;  $N_n = 24,5$  кВт;  $N_d = 29,6$  кВт; насос 4К-90/87,  $n = 2900$  мин<sup>-1</sup>.

**Задача 2.** Вода из подземного источника в количестве 15 л/с по стальной всасывающей линии диаметром  $d_{вс} = 150$  мм и длиной  $l_{вс} = 45$  м (со всасывающим клапаном и сеткой) забирается центробежным насосом и нагнетается по напорной линии из чугунных труб  $d_n = 125$  мм и  $l_n = 500$  м на очистные сооружения. Динамический горизонт воды в трубчатом колоде во время работы насоса находится на отметке  $Z_d = 30$  м, выливное отверстие напорной трубы на очистных сооружениях расположено на отметке  $Z_{о.с} = 62$  м. Схема системы подачи воды насосом на очистные сооружения приведена на рис. 5.

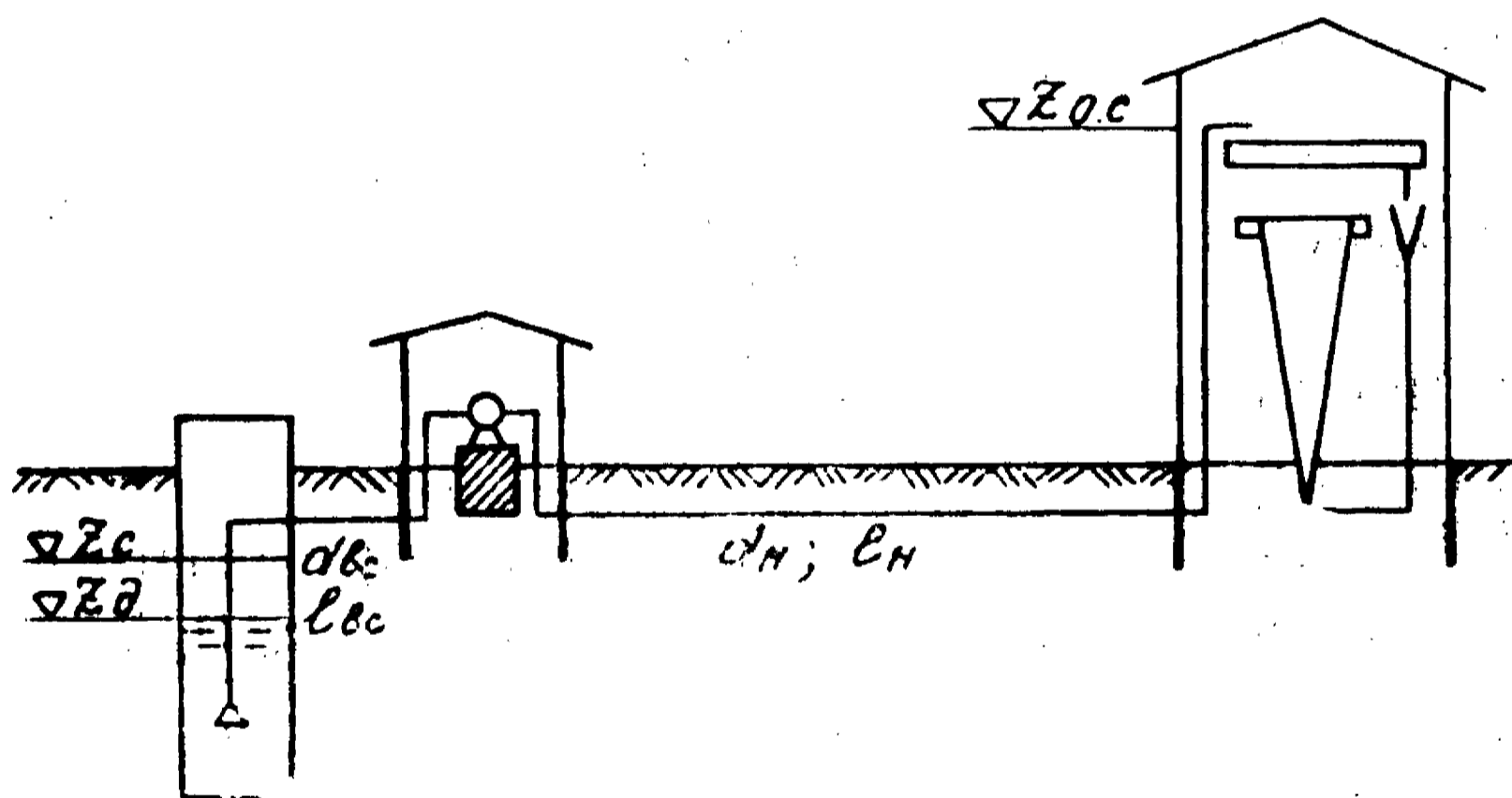


Рис. 5. Схема системы подачи воды на очистные сооружения

Требуется определить напор и мощность насоса, а также мощность электродвигателя, соединенного с насосом с помощью упругой муфты, и подобрать по каталогу насос. При расчете принять КПД насоса  $\eta_n = 0,75$  и коэффициент передачи  $\eta_p = 1,0$ .

Ответ:  $H = 41,9$  м;  $N_n = 8,2$  кВт;  $N_d = 10,2$  кВт; насос 3К-45/54,  $n = 2900$  мин<sup>-1</sup>.

**Задача 3.** Для построения характеристики  $q—H$  центробежного насоса проведены его испытания на лабораторном

стенде, в результате которых получены приведенные в таблице цифровые данные, снятые с приборов: подача  $q$ , л/с, показания вакуумметра  $H_{\text{вак}}$ , м, показания манометра  $H_{\text{ман}}$ , м, вертикальное расстояние между осью манометра и точкой присоединения вакуумметра  $a$ , м.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$q$ , л/с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$H_{\text{вак}}$ , м	7,2	7,1	7,0	6,9	6,8	6,6	6,3	6,1	5,7	4,9	4,0	2,9
$H_{\text{ман}}$ , м	24,4	25,5	26,1	26,7	26,2	26,0	25,2	23,7	23,1	21,0	20,4	17,4
$a$ , м	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Требуется построить по приведенным данным характеристику центробежного насоса.

Ответ. Характеристика насоса  $q-H$  строится по данным, приведенным в таблице.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$q$ , л/с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$H$ , м	32	33	35,5	34	33,4	33,0	31,9	30,2	29,2	26,3	24,8	20,7

**Задача 4.** Пользуясь характеристикой центробежного насоса 4К-90/55, приведенной на рис. 6, определить и построить характеристику мощности  $q-N_H$  этого насоса в кВт.

Ответ. Характеристика мощности  $q-N_H$  насоса строится по данным, приведенным в таблице.

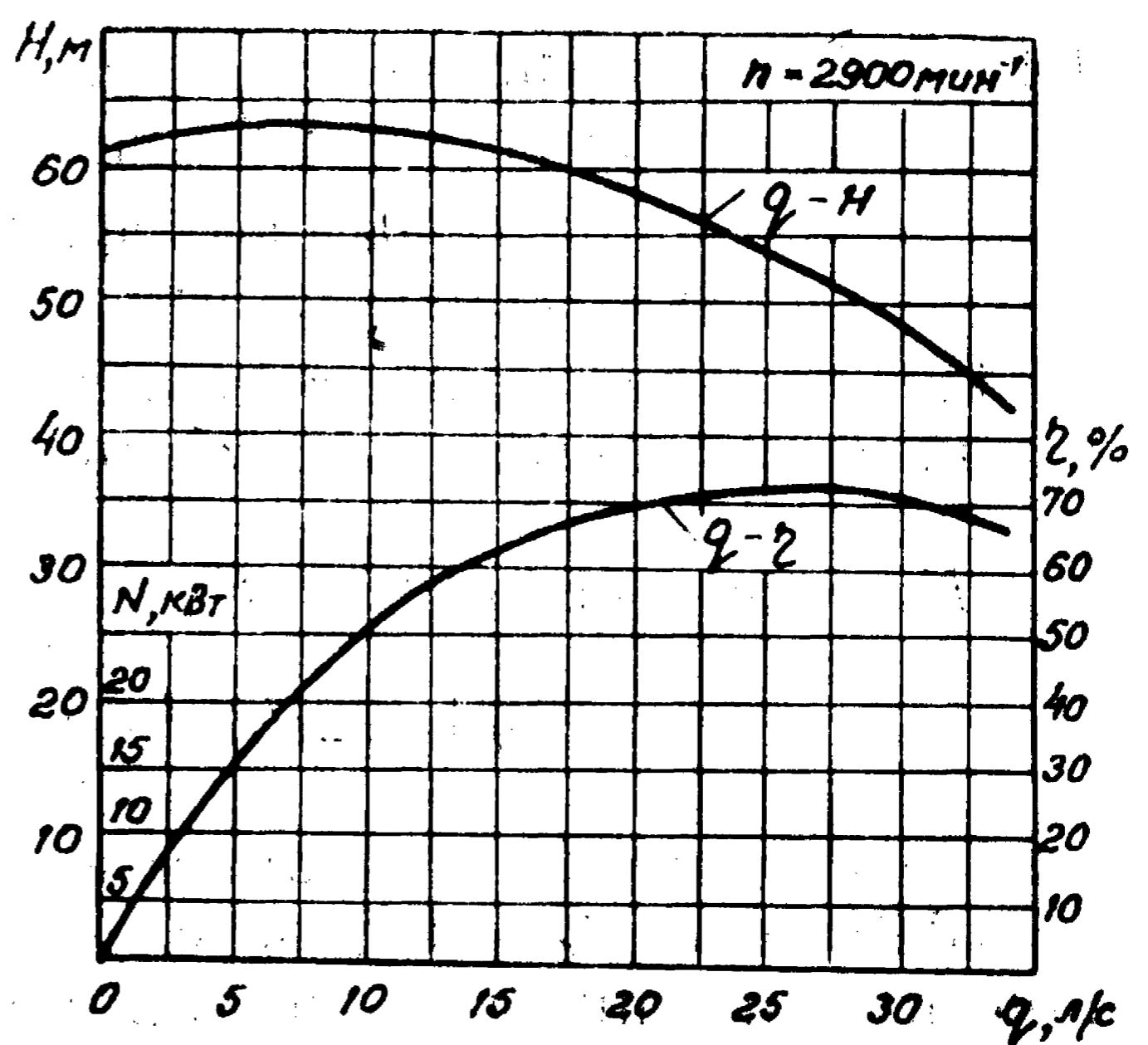


Рис. 6. Характеристика центробежного насоса 4К-90/55

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8
$q$ , л/с	2,5	5	10	15	20	25	30	34,0
$N_{\text{н}}$ , кВт	10,2	10,3	12,4	14,5	16,4	18,6	20,7	21,2

## 1.2. Построение характеристики системы трубопроводов

**Пример 2.** Вода подается по системе трубопроводов, состоящей из стального всасывающего трубопровода диаметром  $d_{\text{вс}} = 250$  мм, длиной  $l_{\text{вс}} = 40$  м и напорной линии из чугунных труб  $d_{\text{н}} = 200$  мм и  $l_{\text{н}} = 1300$  м. Вода подается с отметки  $Z_{\text{ГНВ}} = 30$  м на отметку  $Z_{\text{ВБ}} = 60$  м.

Требуется построить характеристику системы трубопроводов для расходов  $q = 0 \dots 50$  л/с.

*Решение.* Характеристика системы трубопроводов представляется уравнением:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{тр}} &= H_{\text{г}} + 1,1 A_{\text{вс}} \cdot K_{\text{вс}} \cdot l_{\text{вс}} \cdot Q^2 + 1,05 A_{\text{н}} \cdot K_{\text{н}} \cdot l_{\text{н}} \cdot Q^2 = \\
 &= H_{\text{г}} + (1,1 A_{\text{вс}} \cdot K_{\text{вс}} \cdot l_{\text{вс}} + 1,05 A_{\text{н}} \cdot K_{\text{н}} \cdot l_{\text{н}}) Q^2,
 \end{aligned}$$

где  $H_{\text{г}} = Z_{\text{ВБ}} - Z_{\text{ГНВ}} = 60 - 30 = 30$  м — геометрическая высота подъема воды;

$A_{\text{вс}}$ ,  $A_{\text{н}}$  — удельное сопротивление всасывающей и напорной линий, принимается по прил. 3;  $A_{\text{вс}} = 1,653$ ;  $A_{\text{н}} = 7,399$ ;

1,1; 1,05 — коэффициенты, учитывающие местные потери напора во всасывающей и напорной линиях;

$K_{\text{вс}}$ ,  $K_{\text{н}}$  — поправочные коэффициенты к значениям  $A_{\text{вс}}$  и  $A_{\text{н}}$ , учитывающие, что  $v \neq 1$ , принимаются по прил. 5.

После подстановки в уравнение вместо буквенных обозначений их числовых значений оно примет вид:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{тр}} &= 30 + (1,1 \cdot 1,653 \cdot K_{\text{вс}} \cdot 40 + 1,05 \cdot 7,399 \cdot K_{\text{н}} \cdot 1300) Q^2 = \\
 &= 30 + (72,73 \cdot K_{\text{вс}} + 10099,57 \cdot K_{\text{н}}) Q^2.
 \end{aligned}$$

Подстановкой в уравнение разных значений  $Q$  ( $Q = 0$ ,  $Q = 0,01$  м<sup>3</sup>/с,  $Q = 0,02$  м<sup>3</sup>/с и т. д.) находят соответствующие им значения  $H_{\text{тр}}$ . Результаты вычислений сведены в таблицу.

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$v_{\text{вс}}, \text{ м/с}$	$K_{\text{вс}}$	$v_{\text{н}}, \text{ м/с}$	$K_{\text{н}}$	$H_{\text{тр}}, \text{ м}$
0	—	—	—	—	30
0,01	0,20	1,244	0,31	1,307	31,33
0,02	0,38	1,123	0,62	1,107	34,50
0,03	0,56	1,078	0,93	1,015	39,30
0,04	0,75	1,029	1,24	0,959	45,62
0,05	0,94	1,007	1,55	0,922	53,46

По полученным данным  $Q$  и  $H_{\text{тр}}$  на графике в системе координат  $H=f(q)$  строится кривая характеристики системы трубопроводов  $q-H_{\text{тр}}$  (рис. 7). Для этого по оси абсцисс откладываются расходы  $q$ , а по оси ординат — соответствующие расходам требуемые напоры  $H_{\text{тр}}$ .

**Задача 5.** Вода подается насосом по системе трубопроводов на геометрическую высоту  $H_{\text{г}}=32$  м. Система трубопроводов состоит из стальной всасывающей линии диаметром  $d_{\text{вс}}=250$  мм, длиной  $l_{\text{вс}}=50$  м и напорной линии, состоящей из чугунных труб, соединенных последовательно,  $d_{\text{н}_1}=200$  мм,  $l_{\text{н}_1}=900$  м и  $d_{\text{н}_2}=150$  мм,  $l_{\text{н}_2}=390$  м.

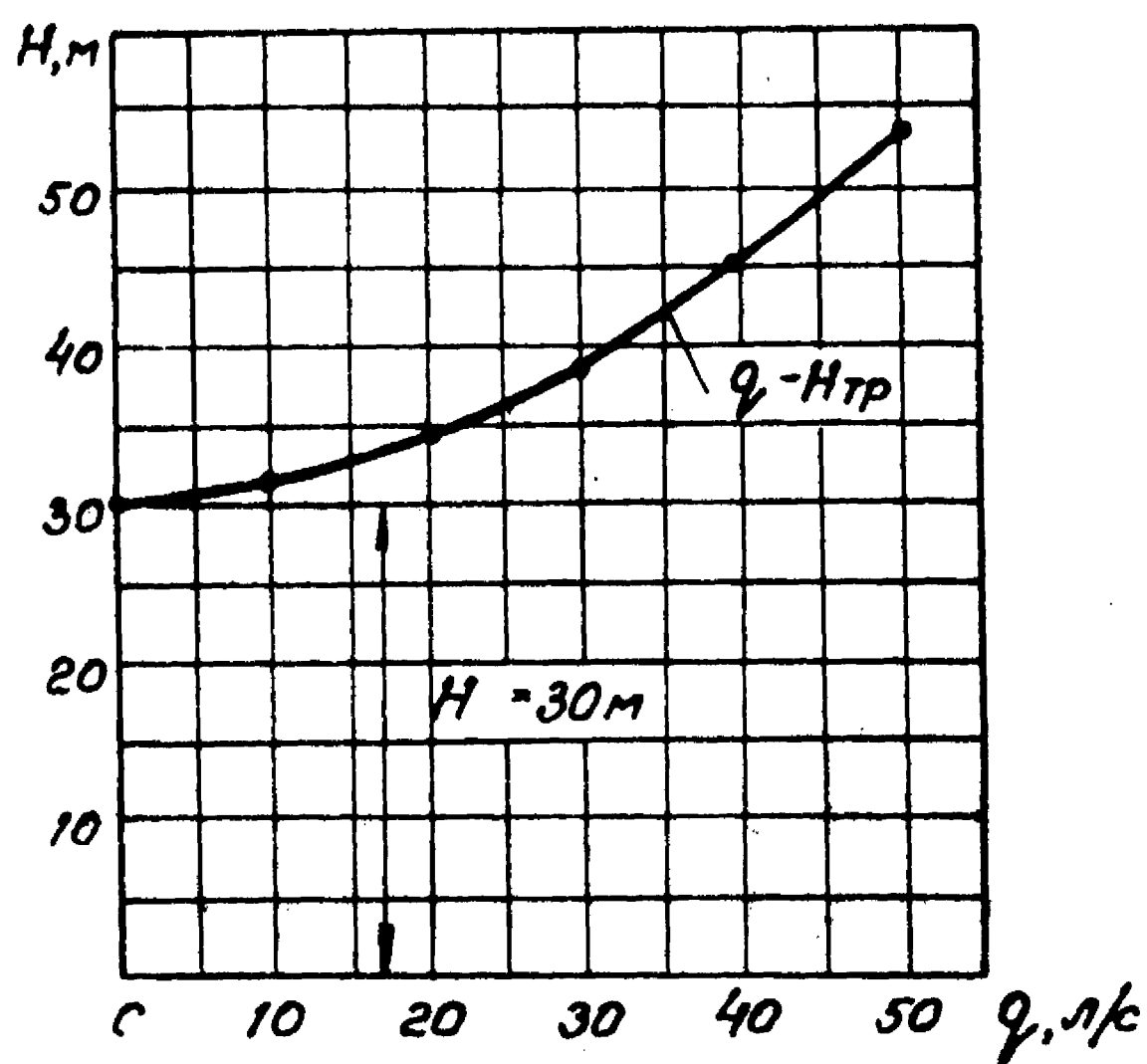


Рис. 7. Характеристика системы трубопроводов

Требуется построить характеристику системы трубопроводов для расходов  $q$  от  $q=0$  до  $q=50$  л/с.

**Ответ.** Характеристика системы трубопроводов строится по следующим данным.

$q, \text{ л/с}$	0	10	20	30	40	50
$H_{\text{тр}}, \text{ м}$	32,0	34,51	40,65	49,95	62,36	77,84

**Задача 6.** Вода подается насосом по системе трубопроводов на геометрическую высоту  $H_{\text{г}}=30$  м. Система трубо-

проводов состоит из стальной всасывающей линии диаметром  $d_{вс} = 250$  мм, длиной  $l_{вс} = 40$  м и двух работающих параллельно напорных линий из чугунных труб диаметрами  $d_{н_1} = d_{н_2} = 150$  мм и длинами  $l_{н_1} = l_{н_2} = 600$  м.

Требуется построить характеристику системы трубопроводов для расходов  $q$  от  $q = 0$  до  $q = 50$  л/с. Схема подачи воды приведена на рис. 8.

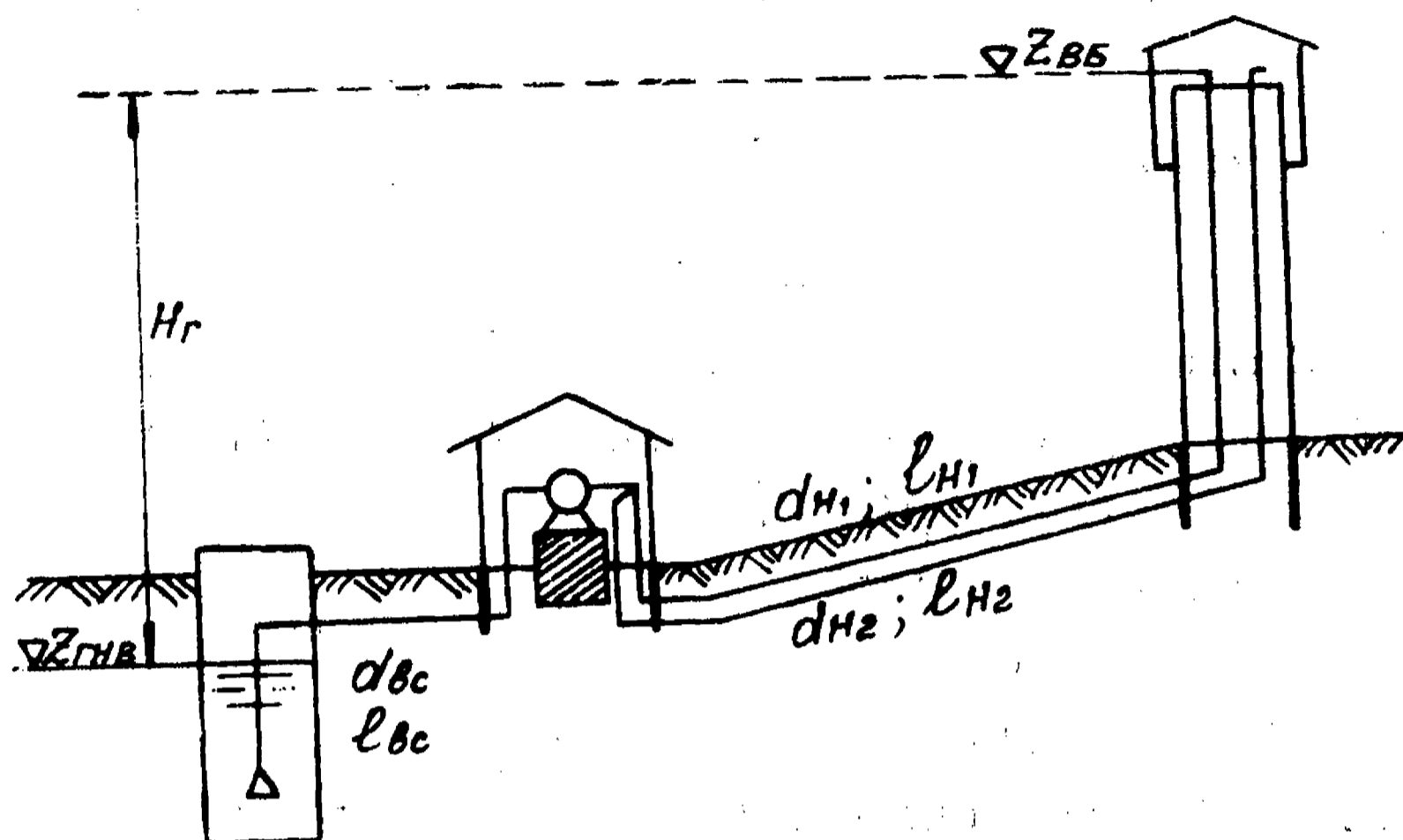


Рис. 8. Схема системы подачи воды из трубчатого колодца в водонапорную башню с двумя напорными линиями

Ответ. Характеристика системы трубопроводов строится по следующим данным.

$q$ , л/с	0	10	20	30	40	50
$H_{тр}$ , м	30	30,73	32,48	35,11	38,61	42,82

**Задача 7.** Построить характеристику системы трубопровода, по которой насосом подается вода из реки в водонапорную башню; горизонт низких вод в ней находится на отметке  $Z_{ГНВ} = 37$  м. Выливное отверстие напорной трубы в баке водонапорной башни расположено на отметке  $Z_{ВБ} = 70$  м. Схема системы подачи воды приведена на рис. 9. Изображенные на схеме трубопроводы имеют следующие размеры:  $d_{вс} = 250$  мм;  $l_{вс} = 45$  м (стальные трубы);  $d_{н_1} = 200$  мм;  $l_{н_1} = 120$  м;  $d_{н_2} = 150$  мм;  $l_{н_2} = 700$  м;  $d_{н_3} = 150$  мм;  $l_{н_3} = 700$  м;  $d_{н_4} = 200$  мм;  $l_{н_4} = 200$  м (чугунные трубы). Характеристику системы построить для расходов  $q$  от  $q = 0$  до  $q = 50$  л/с.



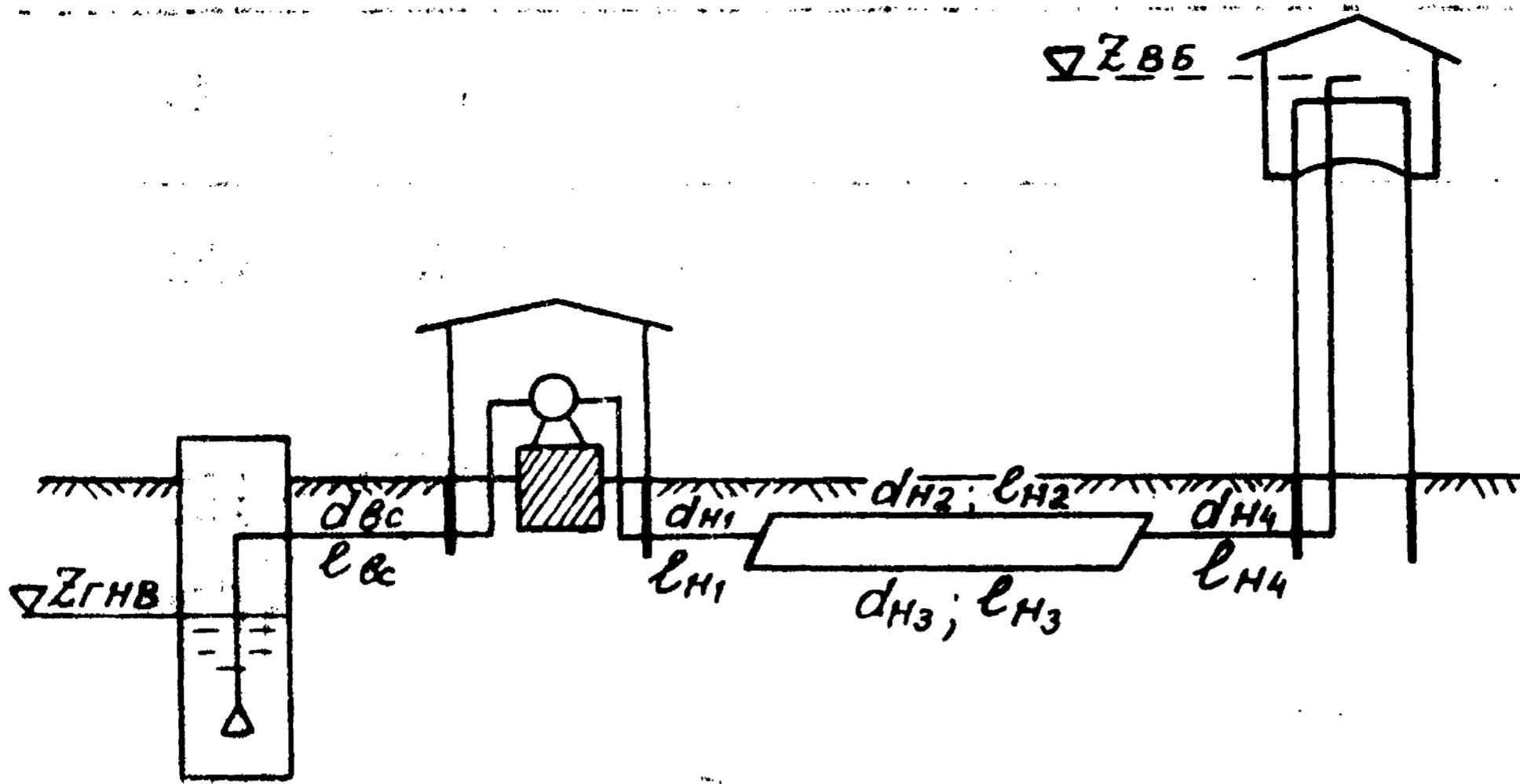


Рис. 9. Схема системы подачи воды, состоящая из одиночных и двойных линий

Ответ. Характеристика системы трубопроводов строится по следующим данным.

$q$ , л/с	0	10	20	30	40	50
$H_{тр}$ , м	33	34,17	36,99	41,23	46,85	53,69

**Задача 8.** Вода подается насосом из источника в водонапорную башню по схеме, приведенной на рис. 10. Геометрическая высота подъема воды  $H_r = 30$  м. Самоотечные линии устроены в две нитки из стальных труб диаметром  $d_{с1} = d_{с2} = 250$  мм и длиной  $l_{с1} = l_{с2} = 60$  м; всасывающие линии устроены также в две нитки из стальных труб диаметром  $d_{вс1} = d_{вс2} = 250$  мм и длиной  $l_{вс1} = l_{вс2} = 90$  м. Напорный водовод составляют две линии из чугунных труб одинакового диаметра  $d_{н1} = d_{н2} = 200$  мм и длины  $l_{н1} = l_{н2} = 1800$  мм. На середине длины напорного водопровода имеется переключение, с помощью которого можно выключить на ремонт любой из четырех его участков.

Требуется построить характеристику системы трубопроводов для расходов  $q$  от  $q = 0$  до  $q = 50$  л/с на случай аварии на напорном водоводе, когда поврежденный участок выключается и вода пойдет на этой части напорного водовода по одной линии, а на остальной части водовода — по двум линиям.

Ответ. Характеристика системы трубопроводов строится по следующим данным.

$q, \text{ л/с}$	0	10	20	30	40	50
$H_{\text{тр}}, \text{ м}$	30	31,19	34,04	38,85	43,95	50,90

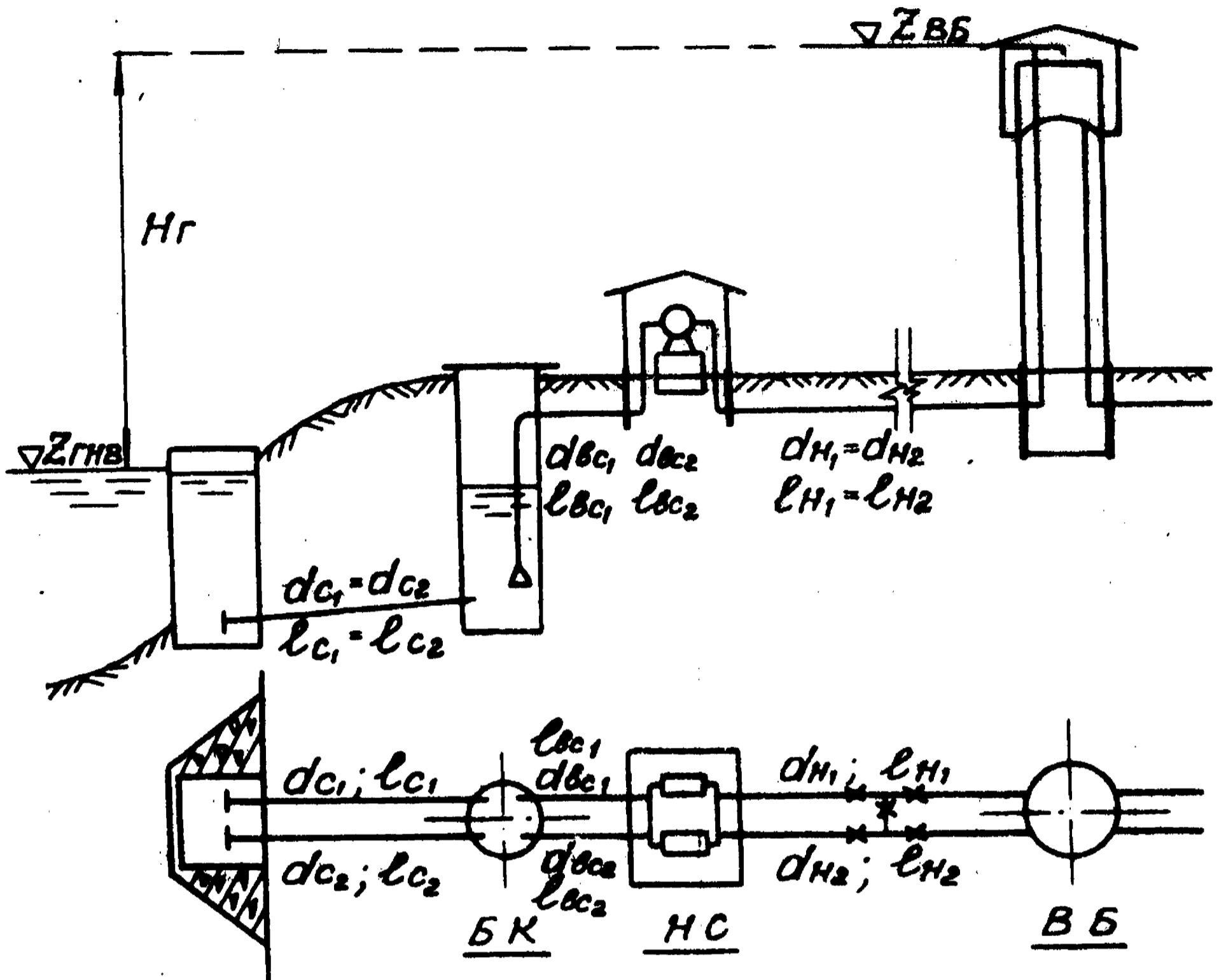


Рис. 10. Схема системы подачи воды из источника в водонапорную башню

### 1.3. Определение режима работы насосной установки

**Пример 3.** Вода подается центробежным насосом 4К-90/55 из резервуара в водонапорную башню по схеме, приведенной на рис. 11. Всасывающая линия устроена из стальных труб диаметром  $d_{\text{вс}} = 200$  мм и длиной  $l_{\text{вс}} = 50$  м; напорная линия

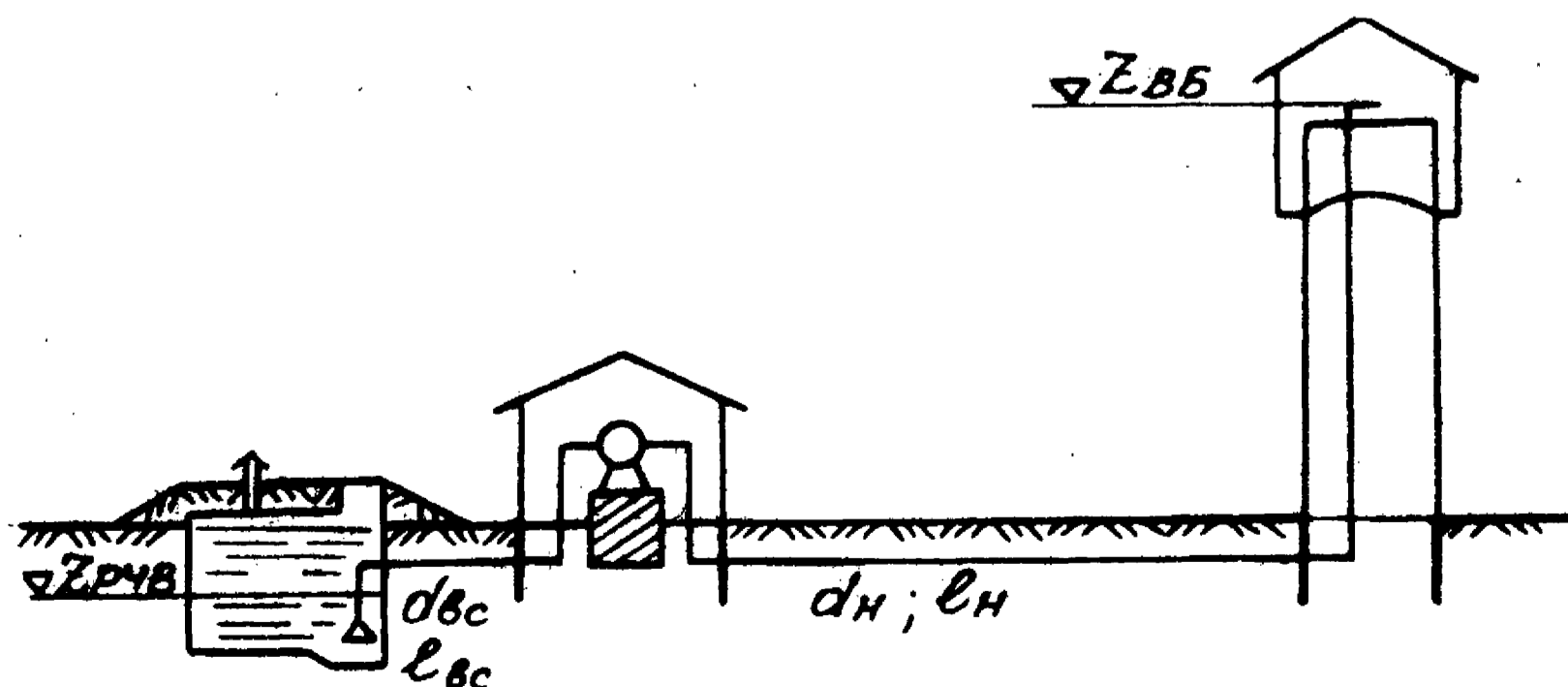


Рис. 11. Схема системы подачи воды из резервуара в водонапорную башню

смонтирована из чугунных труб  $d_n = 150$  мм и  $l_n = 600$  м. Отметка воды в резервуаре  $Z_{рчв} = 20$  м, отметка выливного отверстия напорной трубы в водонапорной башне  $Z_{вб} = 52$  м. Характеристика насоса приведена на рис. 12.

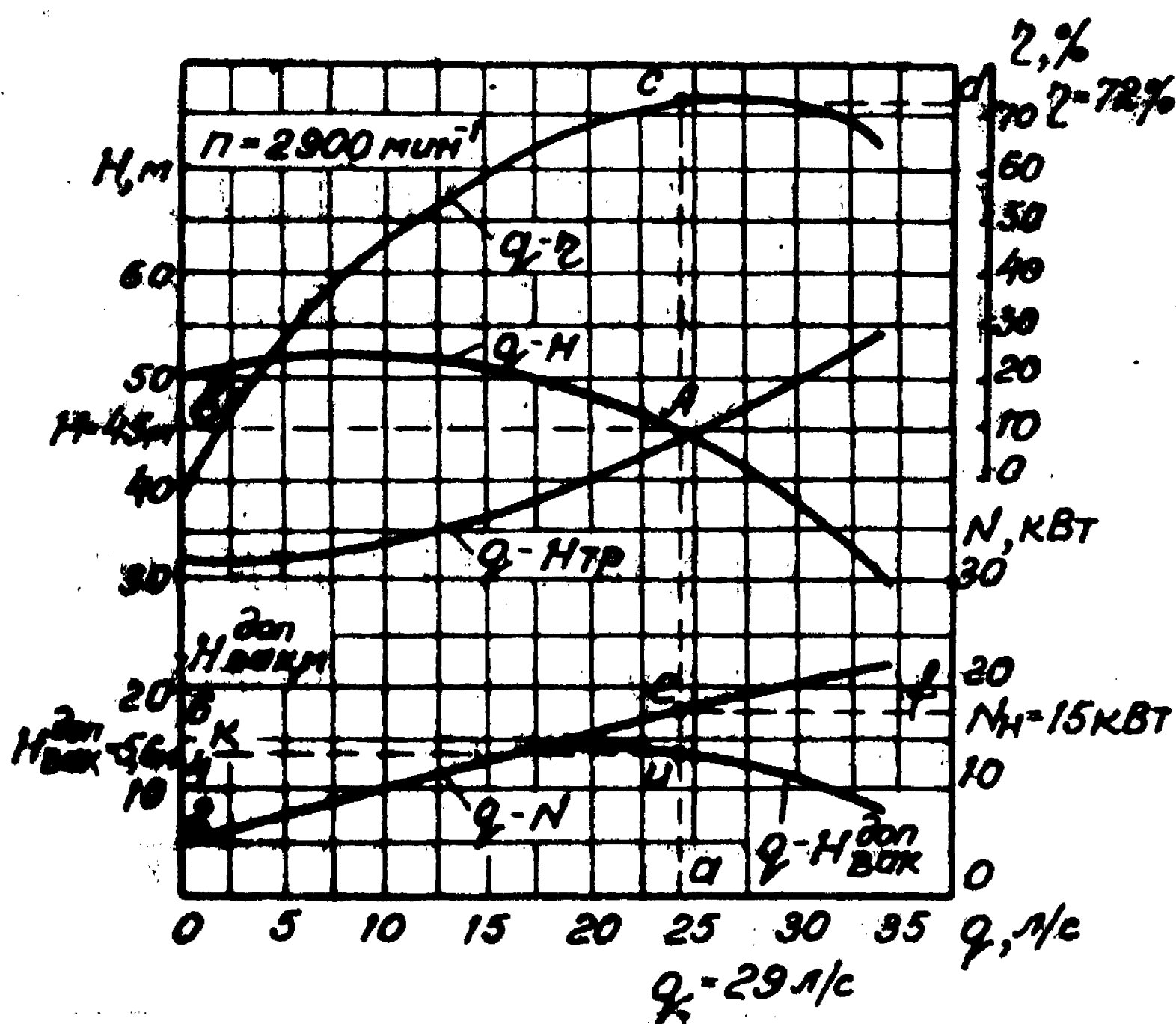


Рис. 12. Характеристика центробежного насоса 4K-90/55

Требуется определить режим работы насосной установки и соответствующие ему подачу  $q$ ,  $л/с$ , напор  $H$ ,  $м$ , коэффициент полезного действия насоса  $\eta_n$ , допустимую высоту всасывания  $H_{\text{всх}}^{\text{доп}}$ ,  $м$ , и мощность насоса  $N_n$ ,  $кВт$ .

**Решение.** Рабочий режим насосной установки определяется точкой  $A$  — точкой пересечения кривой  $q-H$  насоса и характеристики системы трубопроводов  $q-N_{\text{тр}}$ . Так как характеристика насоса дается в графической форме, то для нахождения точки работы насоса (т.  $A$ ) на графике характеристики насоса строится кривая характеристики трубопровода  $q-N_{\text{тр}}$ . По точке  $A$  определяются: подача насоса  $q$  — проведением через точку  $A$  вертикальной линии  $A-a$  до пересечения с осью абсцисс  $q$ ; напор насоса  $H$  — проведением через точку  $A$  горизонтальной линии  $A-b$  до пересечения с осью ординат  $H$ ; коэффициент полезного действия насоса  $\eta_n$  — проведением вертикальной линии  $A-c$  через точку  $A$  до пересечения с кривой  $q-\eta$  и из точки пересечения с горизонтальной линией  $c-d$  до пересечения с осью ординат  $\eta$ ; мощность насоса  $N_n$  — проведением через точку  $A$  вертикальной линии  $A-e$  до пересечения с кривой  $q-N$  и из точки  $e$  горизонтальной линии  $e-f$  до пересечения с осью ординат  $N$ , а также допустимая высота

всасывания  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  — проведением через точку  $A$  вертикальной линии  $A-u$  до пересечения с кривой  $q-H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  и из точки  $u$  горизонтальной линии  $u-k$  до пересечения с осью ординат  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ .

Характеристика системы трубопроводов  $q-H_{\text{тр}}$  представляется уравнением:

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + (1,1A_{\text{вс}}l_{\text{вс}}K_{\text{вс}} + 1,05A_{\text{н}}l_{\text{н}}K_{\text{н}})Q^2 = \\ = (52 - 20) + (1,1 \cdot 5,149 \cdot 50 \cdot K_{\text{вс}} + 1,05 \cdot 34,09 \cdot 600 \cdot K_{\text{н}}).$$

Уравнение характеристики системы трубопроводов окончательно примет вид:

$$H_{\text{тр}} = 32 + (283,2K_{\text{вс}} + 21476,7K_{\text{н}})Q^2.$$

По этому уравнению для разных значений  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , определяются соответствующие значения  $H_{\text{тр}}$ .

$q$ , л/с	$Q$ , $\text{м}^3/\text{с}$	$v_{\text{вс}}$ , м/с	$K_{\text{вс}}$	$v_{\text{н}}$ , м/с	$K_{\text{н}}$	$H_{\text{тр}}$ , м
0	—	—	—	—	—	32
5	0,005	0,16	1,268	0,27	1,356	32,74
10	0,010	0,29	1,170	0,55	1,138	34,48
15	0,015	0,44	1,097	0,82	1,041	37,10
20	0,020	0,58	1,061	1,10	0,988	40,61
25	0,025	0,73	1,033	1,37	0,942	44,83
30	0,030	0,87	1,014	1,14	0,913	49,91

По  $q$  и  $H_{\text{тр}}$  строится характеристика  $q-H_{\text{тр}}$  (см. рис. 12). Точке  $A$  — точке работы насосной установки, точке пересечения кривых  $q-H$  насоса и  $q-H_{\text{тр}}$  системы трубопроводов — будут соответствовать параметры насоса: подача  $q=29$  л/с; напор  $H=45$  м; коэффициент полезного действия  $\eta_{\text{н}}=0,72$ ; мощность  $N_{\text{н}}=15$  кВт.

**Задача 9.** Вода подается центробежным насосом из резервуара в водонапорную башню. Всасывающая линия устроена из стальных труб диаметром  $d_{\text{вс}}=150$  мм и длиной  $l_{\text{вс}}=50$  м. Напорная линия смонтирована из чугунных труб  $d_{\text{н}}=150$  мм и  $l_{\text{н}}=500$  м. Отметка воды в резервуаре  $Z_{\text{рчв}}=35$  м, отметка выливного отверстия напорной трубы в водонапорной башне  $Z_{\text{вб}}=55$  м. Схема системы подачи воды приведена на рис. 11, характеристика насоса — на рис. 13.

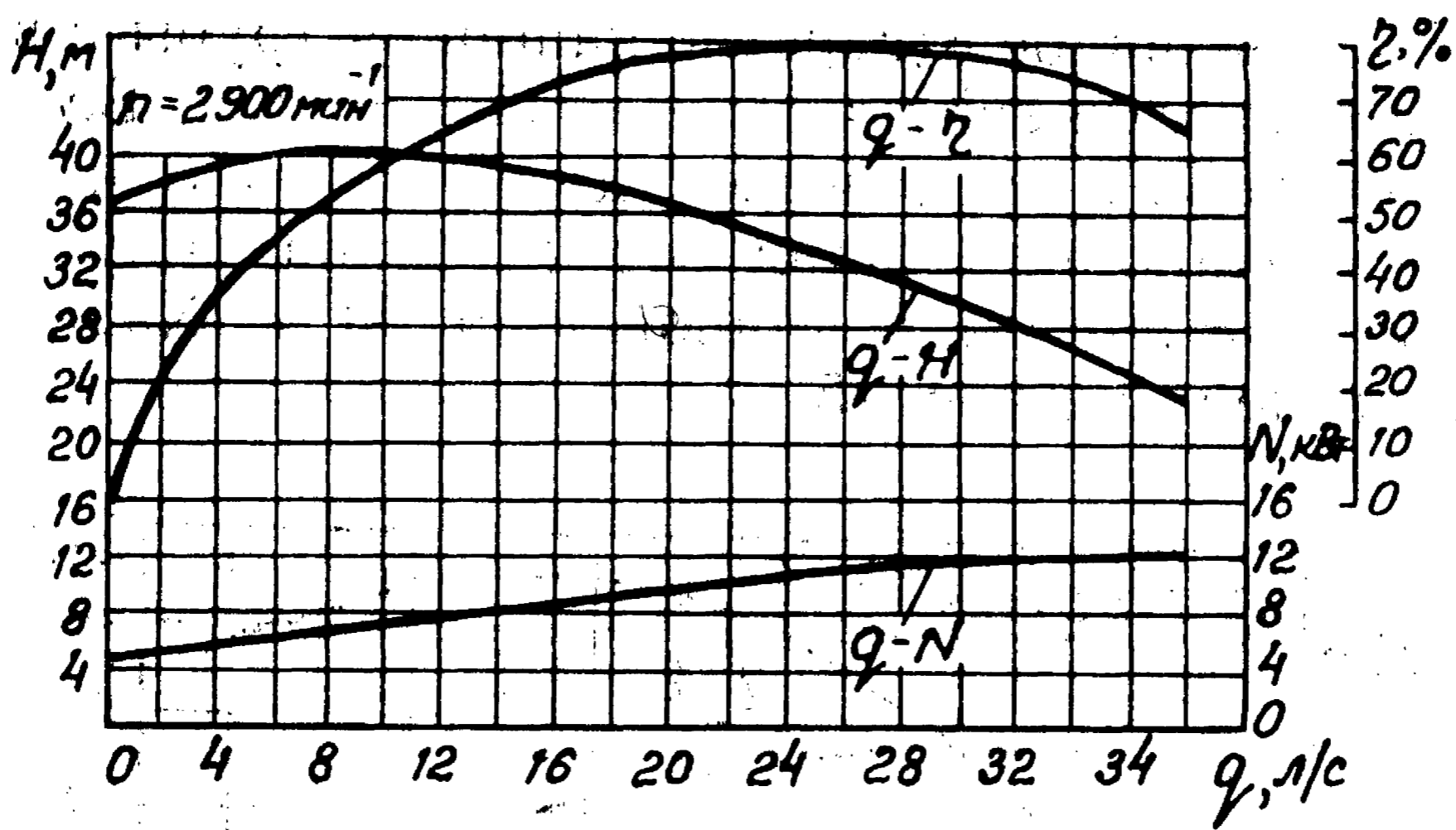


Рис. 13. Характеристика центробежного насоса 4К-90/30

Требуется определить режим работы насосной установки и соответствующие ему подачу  $q$ , л/с, напор  $H$ , м, КПД насоса  $\eta_n$  и мощность насоса  $N_n$ , кВт.

Ответ:  $q = 27,8$  л/с;  $H = 33,0$  м;  $\eta_n = 0,79$ ;  $N_n = 11,5$  кВт.

**Задача 10.** Центробежный насос подает воду из источника водоснабжения в водонапорную башню на геометрическую высоту  $H_r = 20$  м. Характеристика системы трубопроводов задана уравнением  $H_{тр} = H_r + S_{тр}Q^2$ . Числовое значение  $S_{тр}$  для данной системы  $S_{тр} = 15\,000$  (для расхода  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с). Требуется определить режим работы насосной установки и соответствующие ему параметры  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  насоса. Характеристика насоса 4К-90/30 приведена на рис. 13.

Ответ:  $q = 29,0$  л/с;  $H = 32$  м;  $\eta_n = 0,79$ ;  $N_n = 12,0$  кВт.

**Задача 11.** Вода подается центробежным насосом Д320-50 из колодца в бак водонапорной башни по схеме, приведенной на рис. 14. Отметка горизонта воды в колодце

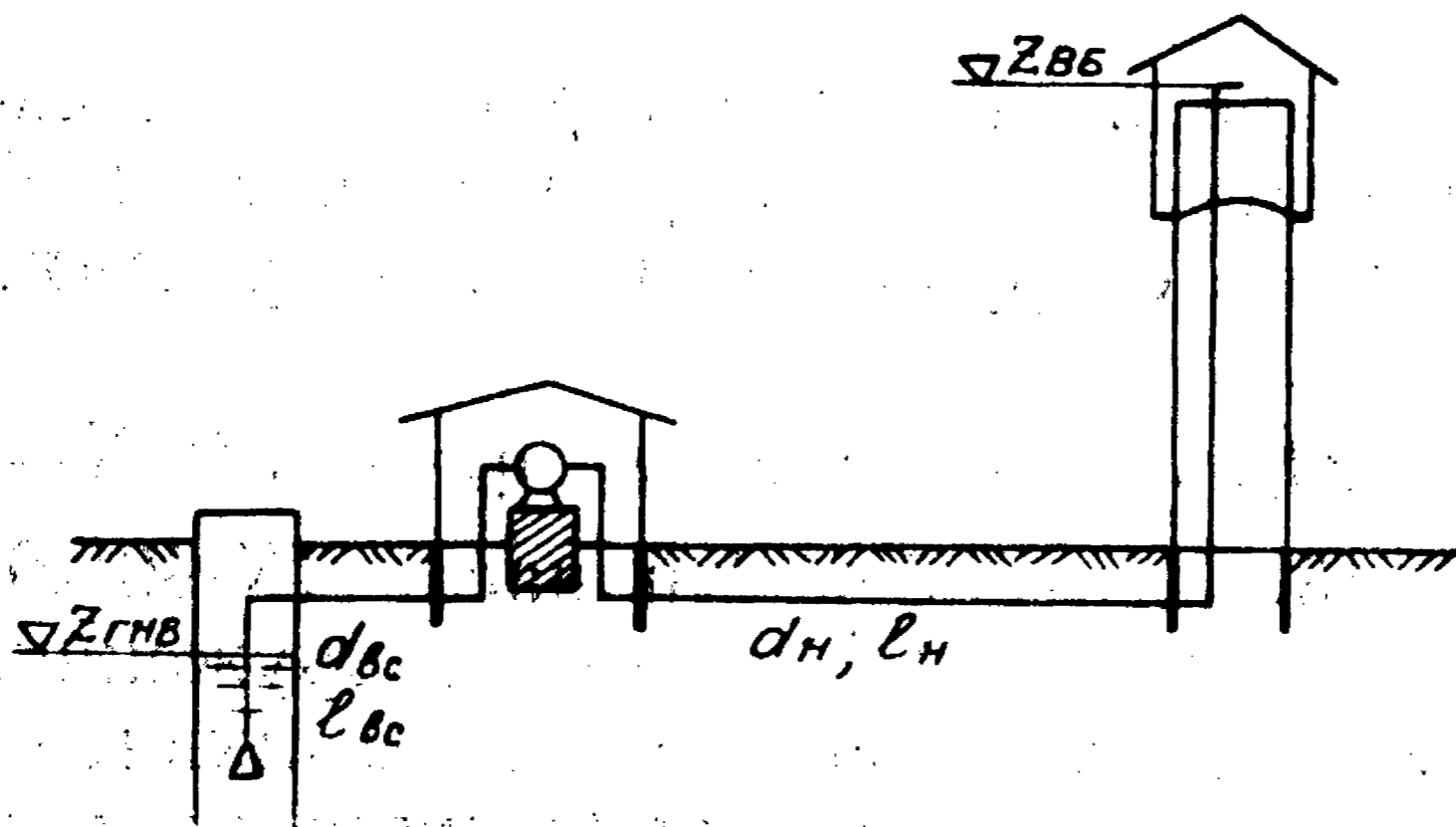


Рис. 14. Схема системы подачи воды

$Z_{гнв} = 28$  м. Выливное отверстие напорной трубы в водонапорной башне расположено на отметке  $Z_{вб} = 58$  м. Всасывающая линия из стальных труб имеет длину  $l_{вс} = 45$  м и диаметр  $d_{вс} = 300$  мм. Напорная линия смонтирована из чугунных труб диаметром  $d_{н} = 250$  мм и длиной  $l_{н} = 700$  м. Характеристика насоса приведена на рис. 15.

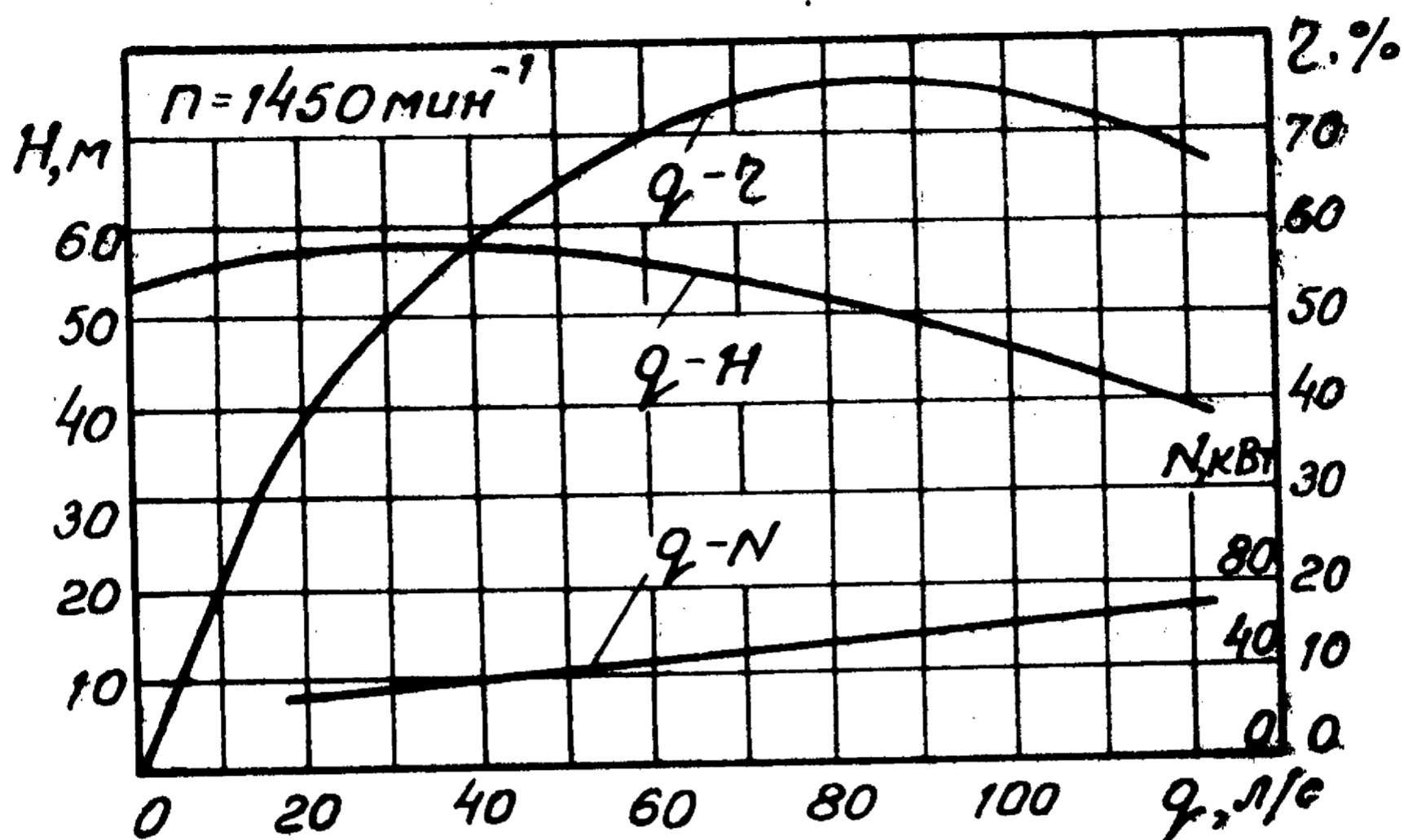


Рис. 15. Характеристика центробежного насоса Д320-50

Требуется определить режим работы насосной установки и соответствующие ему подачу  $q$ , напор  $H$ , коэффициент полезного действия  $\eta_n$  и мощность насоса  $N_n$ .

Ответ:  $q = 102$  л/с;  $H = 46$  м;  $\eta_n = 0,74$ ;  $N_n = 62,2$  кВт.

**Задача 12.** Для подачи воды из трубчатого колодца на очистные сооружения используется центробежный насос 4К-90/30. Всасывающая линия устроена из стальных труб диаметром  $d_{вс} = 200$  мм и длиной  $l_{вс} = 40$  м, напорный водовод смонтирован из чугунных труб диаметром  $d_{н} = 150$  мм и длиной  $l_{н} = 500$  м. Геометрическая высота подъема воды  $H_r = 17$  м.

Требуется определить режим работы насосной установки и соответствующие ему  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  насоса. Схема подачи воды на очистные сооружения и характеристика насоса приведены на рис. 16.

Ответ:  $q = 30,2$  л/с;  $H = 30,9$  м;  $\eta_n = 0,78$ ;  $N_n = 11,8$  кВт.

**Задача 13.** Центробежный насос 4К-90/20 подает воду из трубчатого колодца на очистные сооружения. Отметка горизонта воды в колодце  $Z_{гнв} = 32$  м. Выливное отверстие напорной трубы на очистных сооружениях расположено на отметке  $Z_{о.с} = 46$  м. Всасывающая линия смонтирована из

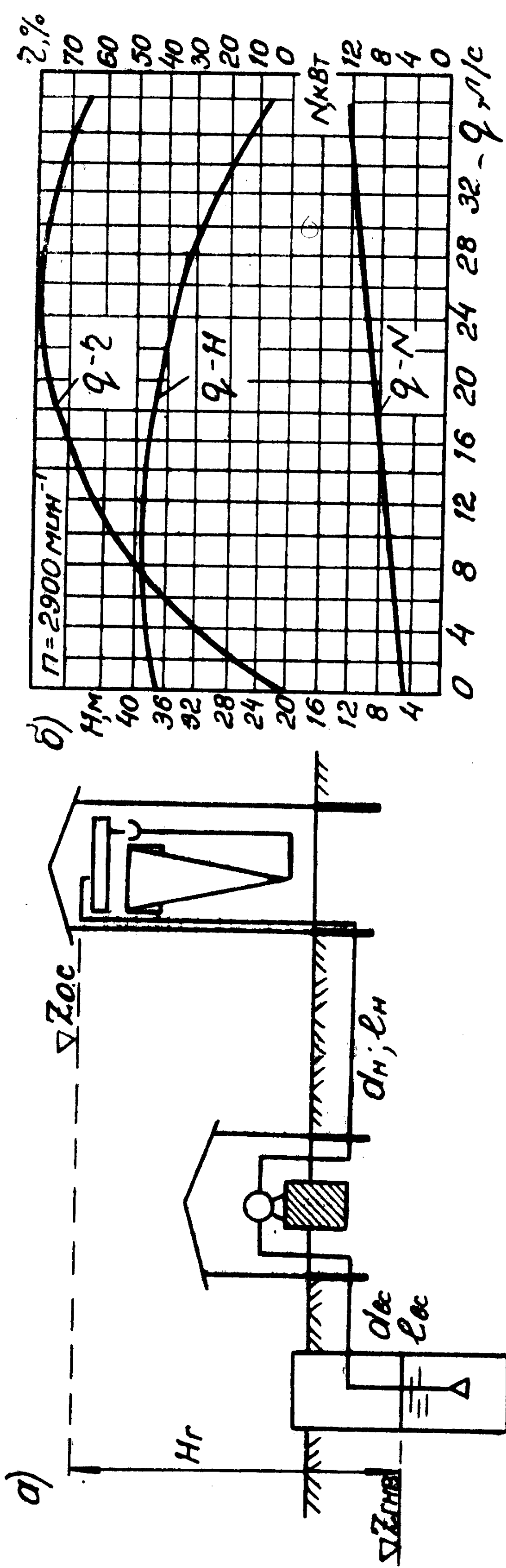


Рис. 16. Схема системы подачи воды на очистные сооружения (а); характеристика центробежного насоса 4К-90/30 (б)

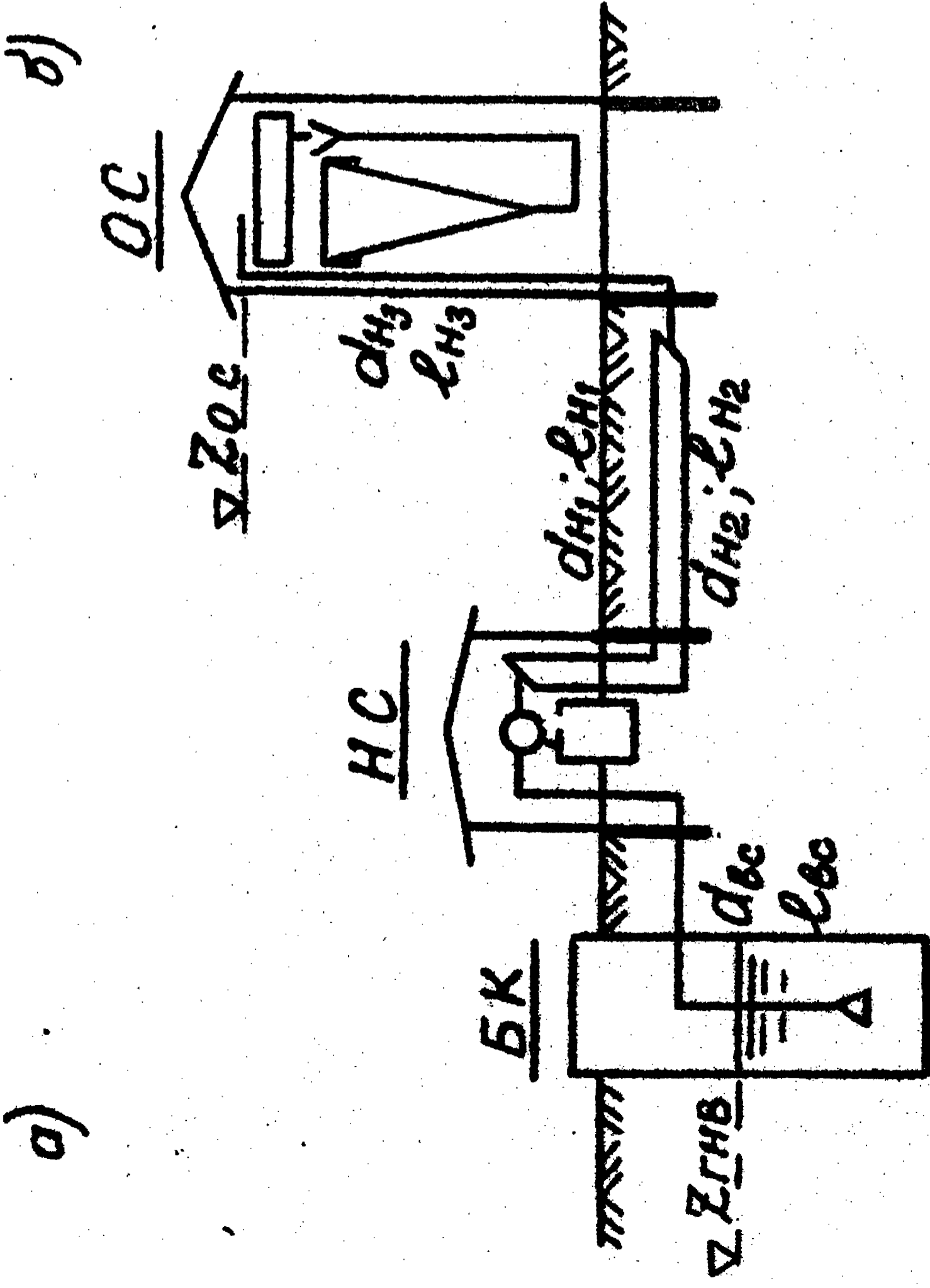
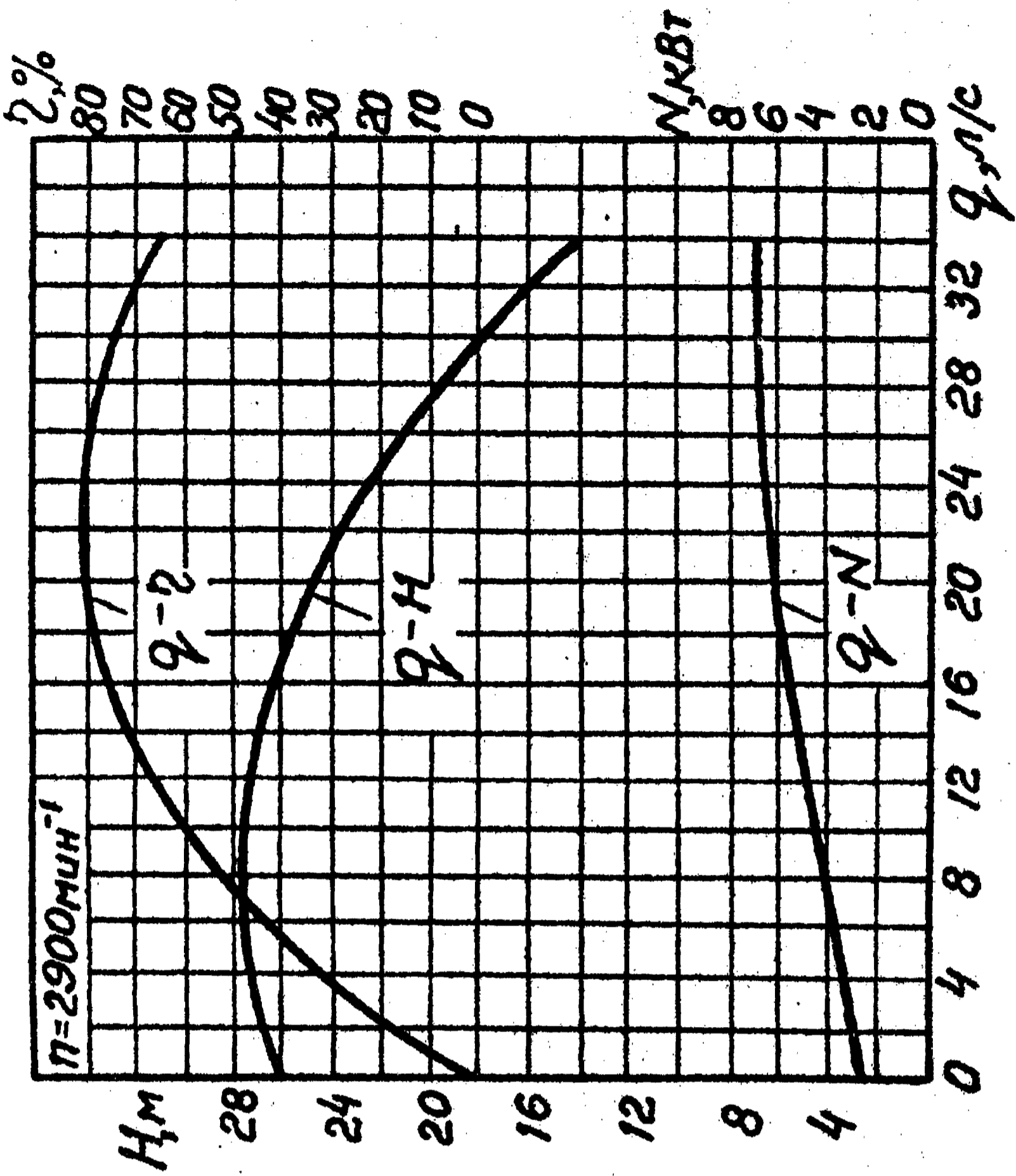


Рис. 17. Схема системы подачи воды на очистные сооружения (а); характеристика центробежного насоса 4К-90/20 (б)



стальных труб диаметром  $d_{вс} = 200$  мм и длиной  $l_{вс} = 38$  м, напорный водовод смонтирован из чугунных труб в две линии одинакового диаметра  $d_{н_1} = d_{н_2} = 125$  мм и длиной каждая  $l_{н_1} = l_{н_2} = 700$  м, оканчивается одной трубой  $d_{н_3} = 150$  мм и длиной  $l_{н_3} = 30$  м.

Требуется определить рабочие параметры насоса  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$ . Схема подачи воды на очистные сооружения и характеристика насоса приведены на рис. 17.

Ответ:  $q = 23,4$  л/с;  $H = 22,3$  м;  $\eta_n = 0,79$ ;  $N_n = 6,4$  кВт.

**Задача 14.** Центробежный насос 4К-90/30 подает воду из резервуара чистой воды в водонапорную башню. Геометрическая высота подъема воды составляет  $H_r = 28$  м. Всасывающая линия устроена из стальных труб диаметром  $d_{вс} = 250$  мм и длиной  $l_{вс} = 35$  м. Напорный водовод смонтирован из чугунных труб в две линии одинакового диаметра  $d_{н_1} = d_{н_2} = 150$  мм и длиной каждая  $l_{н_1} = l_{н_2} = 900$  м. Схема подачи воды в водонапорную башню приведена на рис. 18, характеристика насоса — на рис. 16, б.

Требуется определить рабочие параметры насоса:  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$ .

Ответ:  $q = 27,1$  л/с;  $H = 33,4$  м;  $\eta_n = 0,79$ ;  $N_n = 11,4$  кВт.

#### 1.4. Определение режима работы насосной установки при подаче воды в разветвленную сеть

**Пример 4.** Центробежный насос Д320-50 подает воду в два резервуара, уровень воды в которых расположен на различной высоте. Геометрическая высота подъема воды в резервуар 1 составляет  $H_{r_1} = 32$  м, в резервуар 2 —  $H_{r_2} = 27$  м. Всасывающая линия из стальных труб имеет диаметр  $d_{вс} = 250$  мм и длину  $l_{вс} = 8$  м. Напорные водопроводные линии устроены из чугунных труб диаметром  $d_{н_1} = 200$  мм и длиной  $l_{н_1} = 400$  м,  $d_{н_2} = 200$  мм и  $l_{н_2} = 700$  м. Схема системы и характеристика насоса приведены на рис. 19.

Требуется определить рабочий режим насоса и соответствующие ему  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$ , а также количество воды, подаваемое в каждый бак. Сопротивления во всасывающей линии не учитывать.

**Решение.** Для определения рабочих параметров насоса необходимо на графике характеристики насоса (рис. 19, б) построить характеристику системы трубопроводов к каждому баку в отдельности ( $q - H_{тр_1}$  и  $q - H_{тр_2}$ ), а затем суммарную характеристику системы трубопроводов ( $\sum q - H_{тр_{1+2}}$ ). Точка пересечения суммарной характеристики  $\sum q - H_{тр_{1+2}}$  с характе-

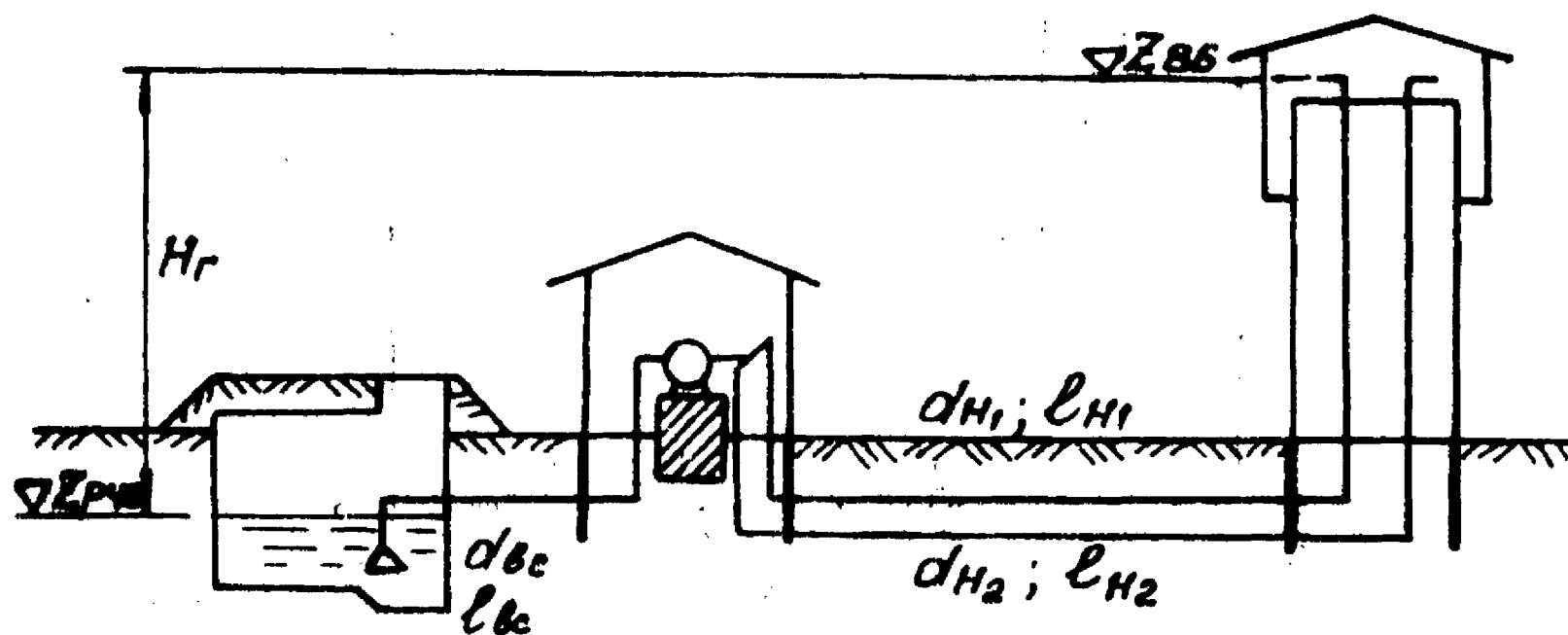
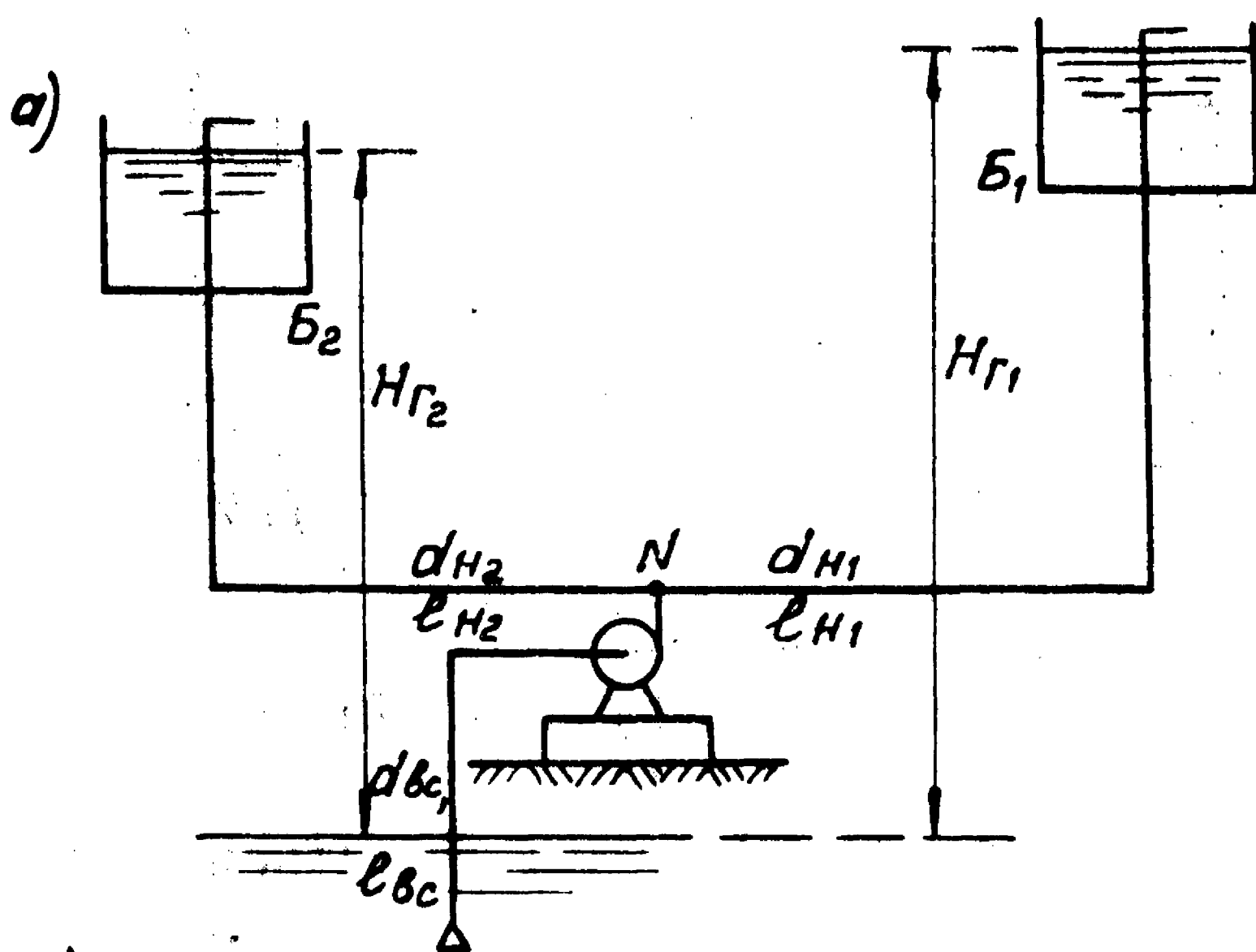


Рис. 18. Схема системы подачи воды в водонапорную башню



б)

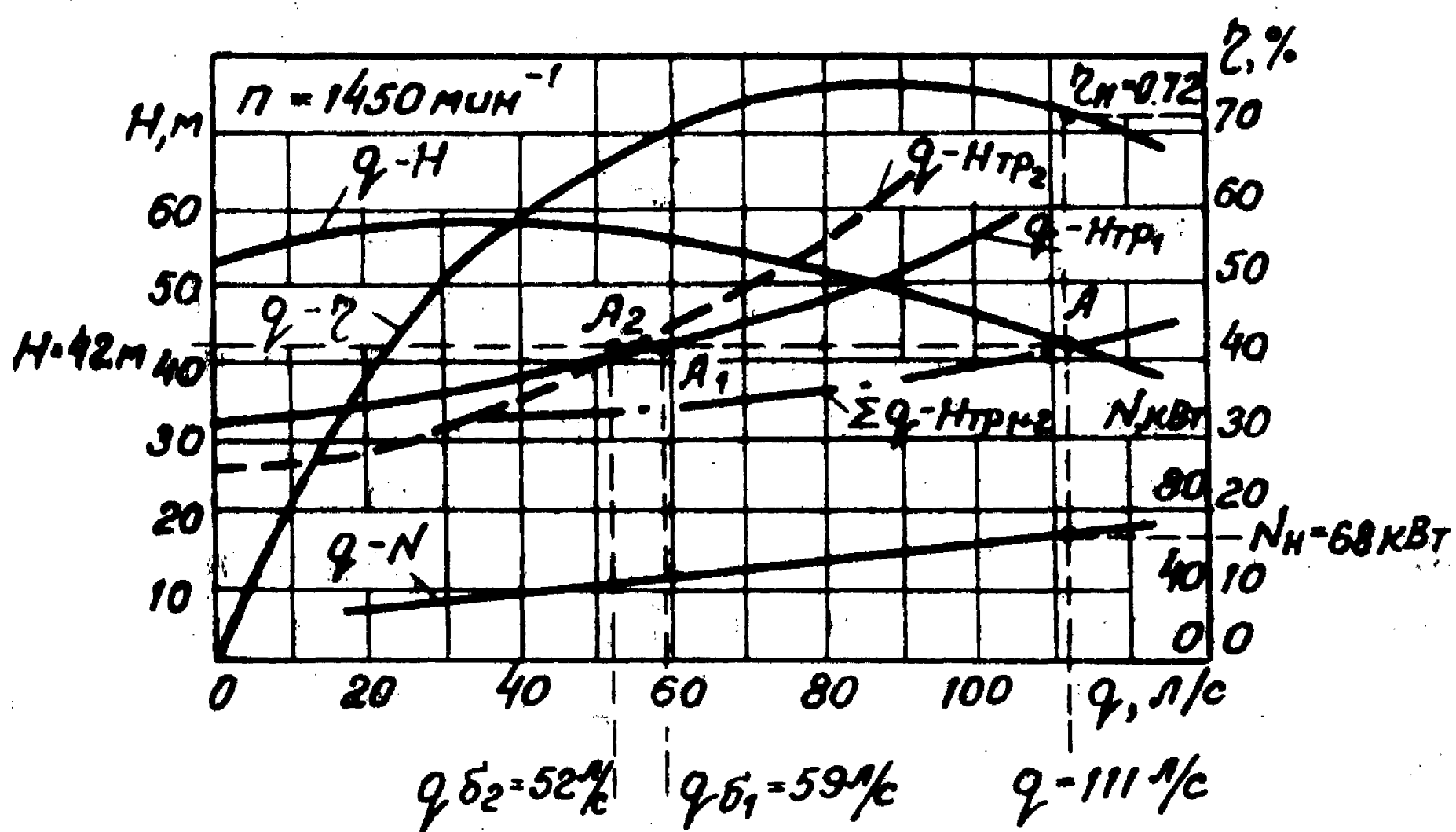


Рис. 19. Схема системы подачи воды в два бака (а); характеристика центробежного насоса Д320-50 и системы трубопроводов (б)

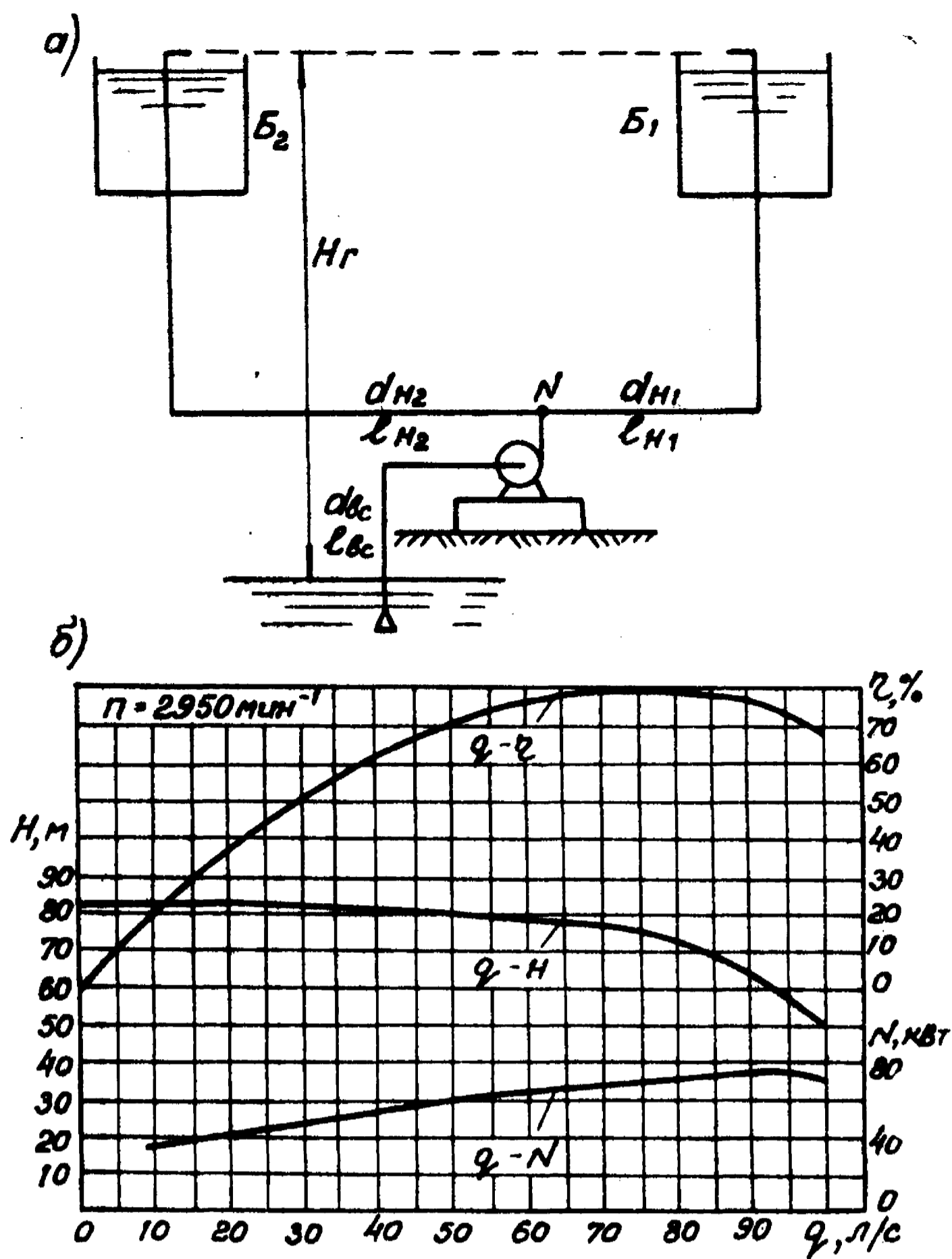


Рис. 20. Схема системы подачи воды в две водонапорные башни (а); характеристика центробежного насоса Д320-70 (б)

ристикой  $q-H$  насоса (т. А) будет являться точкой работы насоса, по которой определяются его параметры: подача  $q$ , напор  $H$ , коэффициент полезного действия  $\eta_n$  и мощность  $N_n$ . Проведением через точку А горизонтальной линии до пересечения с характеристиками системы трубопроводов к каждому баку определяются расходы воды в баки  $q_{б1}$  и  $q_{б2}$ . С изменением напора  $H$  будут соответственно изменяться расходы  $q_{б1}$  и  $q_{б2}$ . Сумма этих расходов при каком-то  $H$  должна быть равна подаче насоса, а потребный для этого напор  $H$  должен быть равен напору, развиваемому насосом.

При составлении уравнений характеристики системы трубопроводов к каждому баку можно пренебречь сопротивлениями во всасывающей линии и в линии от точки  $N$  до насоса (точка  $N$  находится в непосредственной близости от насоса) вследствие их малости.

Характеристика системы трубопроводов к баку 1 —  $q-H_{тр1}$ :

$$H_{тр1} = H_{г1} + 1,05 A_{н1} l_{н1} K_{н1} Q^2 = 32 + (1,05 \cdot 7,399 \cdot 400 \cdot K_{н1}) Q^2;$$

$$H_{тр1} = 32 + 3107,6 K_{н1} Q^2.$$

Характеристика системы трубопроводов к баку 2 —  $q - H_{\text{тр}_2}$ :

$$H_{\text{тр}_1} = H_{\Gamma_2} + 1,05 A_{\text{H}_2} l_{\text{H}_2} K_{\text{H}_2} Q^2 = 27 + 1,05 \cdot 7,399 \cdot 700 K_{\text{H}_2} Q^2;$$

$$H_{\text{тр}_2} = 27 + 5438 K_{\text{H}_2} Q^2.$$

Результаты расчетов  $H_{\text{тр}_1}$  и  $H_{\text{тр}_2}$  при соответствующих  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, приведены в таблице.

$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$v_{\text{H}}$ , м/с	$K_{\text{H}_1} = K_{\text{H}_2}$	$H_{\text{тр}_1}$ , м	$H_{\text{тр}_2}$ , м
0	0	—	32	27
0,02	0,62	1,107	33,38	29,41
0,04	1,24	0,952	36,77	35,34
0,06	1,86	0,894	42,0	44,5
0,08	2,48	0,857	49,04	56,82

По полученным значениям  $q$  и  $H_{\text{тр}_1}$ ,  $H_{\text{тр}_2}$  строятся характеристики  $q - H_{\text{тр}_1}$  и  $q - H_{\text{тр}_2}$  на графике характеристики насоса.

Суммированием абсцисс кривых  $q - H_{\text{тр}_1}$  и  $q - H_{\text{тр}_2}$  при равных напорах строится суммарная характеристика системы трубопроводов  $\Sigma q - H_{\text{тр}_{1+2}}$ .

Точка пересечения суммарной кривой  $\Sigma q - H_{\text{тр}_{1+2}}$  с характеристикой насоса  $q - H$  будет точкой работы насоса. Точке  $A$  соответствуют: подача  $q = 11$  л/с, напор  $H = 42$  м, КПД  $\eta_{\text{H}} = 0,72$  и мощность  $N_{\text{H}} = 68$  кВт.

Точки пересечения  $A_1$  и  $A_2$  горизонтальной линией, проходящей через точку  $A$ , кривых  $q - H_{\text{тр}_1}$  и  $q - H_{\text{тр}_2}$  покажут количество воды, поступившее в бак 1 и в бак 2. Для этого через точки  $A_1$  и  $A_2$  проводятся вертикальные линии до оси абсцисс, которые показывают, что в бак 1 поступит расход  $q_{\text{б}_1} = 59$  л/с, в бак 2 —  $q_{\text{б}_2} = 52$  л/с.

**Задача 15.** Центробежный насос Д320-50 подает воду в два резервуара, уровень воды в которых расположен на различной высоте. Геометрическая высота подъема воды в резервуар 1 составляет  $H_{\Gamma_1} = 33$  м, в резервуар 2 —  $H_{\Gamma_2} = 25$  м. Всасывающая линия из стальных труб имеет диаметр  $d_{\text{вс}} = 300$  мм и длину  $l_{\text{вс}} = 10$  м. Напорные водопроводные линии устроены из чугунных труб диаметром  $d_{\text{H}_1} = 250$  мм и длиной  $l_{\text{H}_1} = 1800$  м;  $d_{\text{H}_2} = 200$  мм и  $l_{\text{H}_2} = 1400$  м. Схема системы и характеристика насоса приведены на рис. 19. Сопротивления

во всасывающей линии и в короткой линии от насоса до т.  $N$  не учитывать ввиду их малости.

Требуется определить рабочие параметры насоса  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_H$  и  $N_H$ , а также количество воды, подаваемое в каждый бак.

Ответ:  $q=101,3$  л/с;  $H=46,1$  м;  $\eta_H=0,74$ ;  $N_H=64$  кВт; подается: в бак 1  $q_{б_1}=47,4$  л/с; в бак 2  $q_{б_2}=53,9$  л/с.

**Задача 16.** Вода подается центробежным насосом Д320-70 в два резервуара, уровень воды в которых расположен на одинаковой отметке. Геометрическая высота подъема воды составляет  $H_r=37$  м. Стальная всасывающая линия имеет диаметр  $d_{вс}=250$  мм и длину  $l_{вс}=11$  м. Напорные водопроводные линии смонтированы из чугунных труб диаметром  $d_{н_1}=200$  мм, длиной  $l_{н_1}=2200$  м и  $d_{н_2}=200$ ,  $l_{н_2}=2500$  м. Схема системы и характеристика насоса приведены на рис. 20. Сопротивления во всасывающей линии и в линии от точки  $N$  до насоса не учитывать вследствие их малости.

Требуется определить рабочие параметры насоса  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_H$ ,  $N_H$  и количество воды, подаваемое в бак 1 и в бак 2.

Ответ:  $q=86,1$  л/с;  $H=68,5$  м;  $\eta_H=0,79$ ;  $N_H=72$  кВт; подается: в бак 1  $q_{б_1}=44,2$  л/с; в бак 2  $q_{б_2}=41,9$  л/с.

**Задача 17.** Вода подается центробежным насосом Д320-70 в две водонапорные башни различной высоты. Геометрическая высота подъема воды в бак водонапорной башни 1 составляет  $H_{г_1}=39$  м, в бак водонапорной башни 2 —  $H_{г_2}=34$  м. Диаметры и длины напорных линий из чугунных труб:  $d_{н_1}=200$  мм,  $l_{н_1}=1800$  м и  $d_{н_2}=150$  мм,  $l_{н_2}=800$  м. Схема системы приведена на рис. 21, характеристика насоса — на рис. 20.

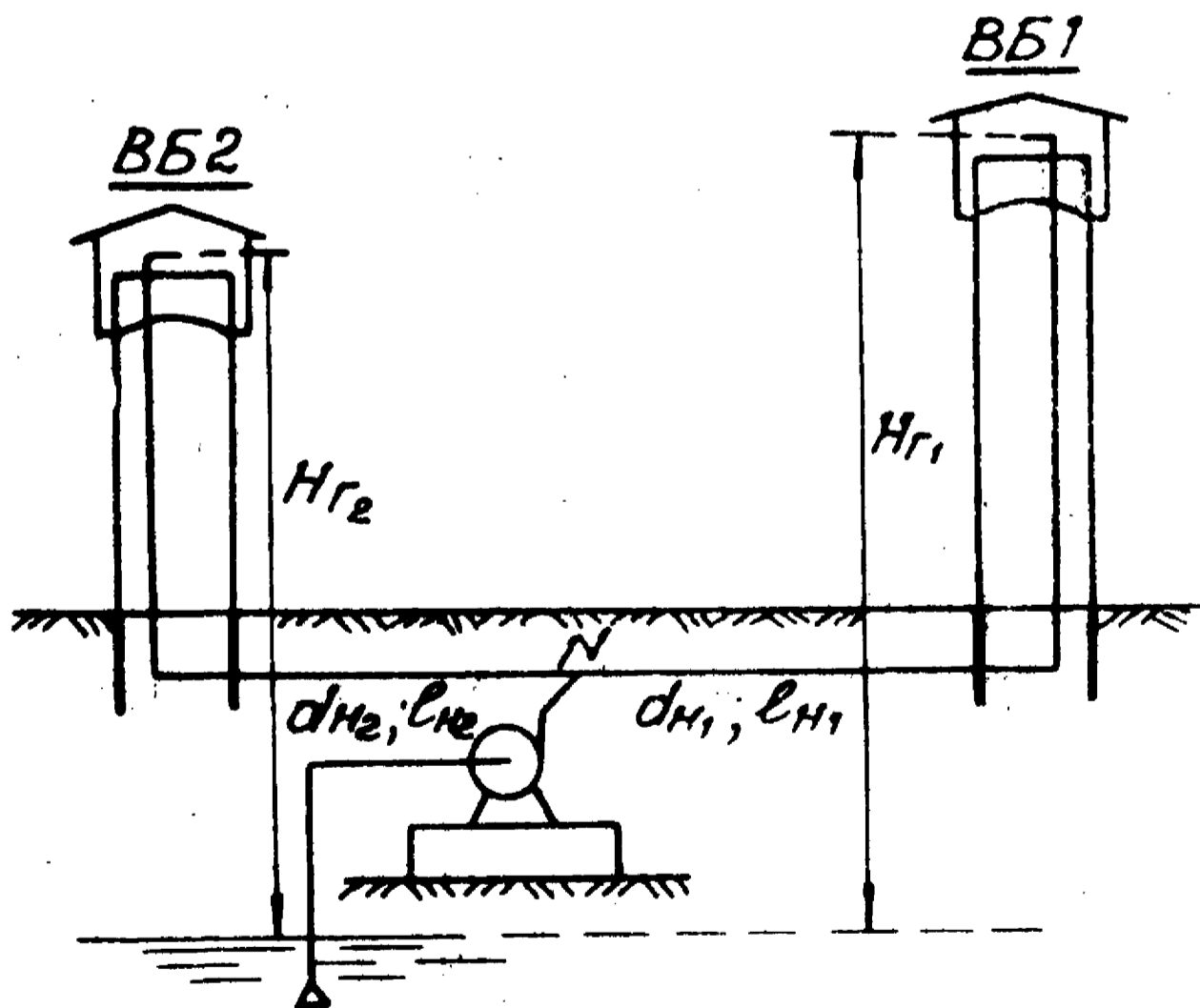


Рис. 21. Схема системы подачи воды в две водонапорные башни

Сопротивлениями во всасывающей линии и в короткой напорной линии от точки  $N$  до насоса пренебречь ввиду их малости.

Требуется определить рабочие параметры насоса  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_H$ ,  $N_H$  и расходы воды, подаваемые насосом в водонапорные башни 1 и 2.

Ответ:  $q = 85,4$  л/с;  $H = 69,1$  м;  $\eta_H = 0,79$ ;  $N_H = 71,5$  кВт; подается: в водонапорную башню 1  $q_{вб_1} = 49,1$  л/с; в водонапорную башню 2  $q_{вб_2} = 36,3$  л/с.

**Пример 5.** Вода подается центробежным насосом Д320-70 в две водонапорные башни одинаковой высоты. Геометрическая высота подъема воды составляет  $H_r = 36$  м. Точка разветвления напорных линий расположена на значительном расстоянии от насоса. Всасывающая линия из стальных труб имеет диаметр  $d_{вс} = 250$  мм и длину  $l_{вс} = 40$  м. Напорная линия из чугунных труб от насоса до разветвления (до т. N) имеет диаметр  $d_H = 250$  мм и длину  $l_H = 120$  м, после разветвления  $d_{H_1} = 200$  мм,  $l_{H_1} = 1600$  м и  $d_{H_2} = 200$  мм,  $l_{H_2} = 2300$  м. Схема системы подачи воды и характеристика насоса приведены на рис. 22.

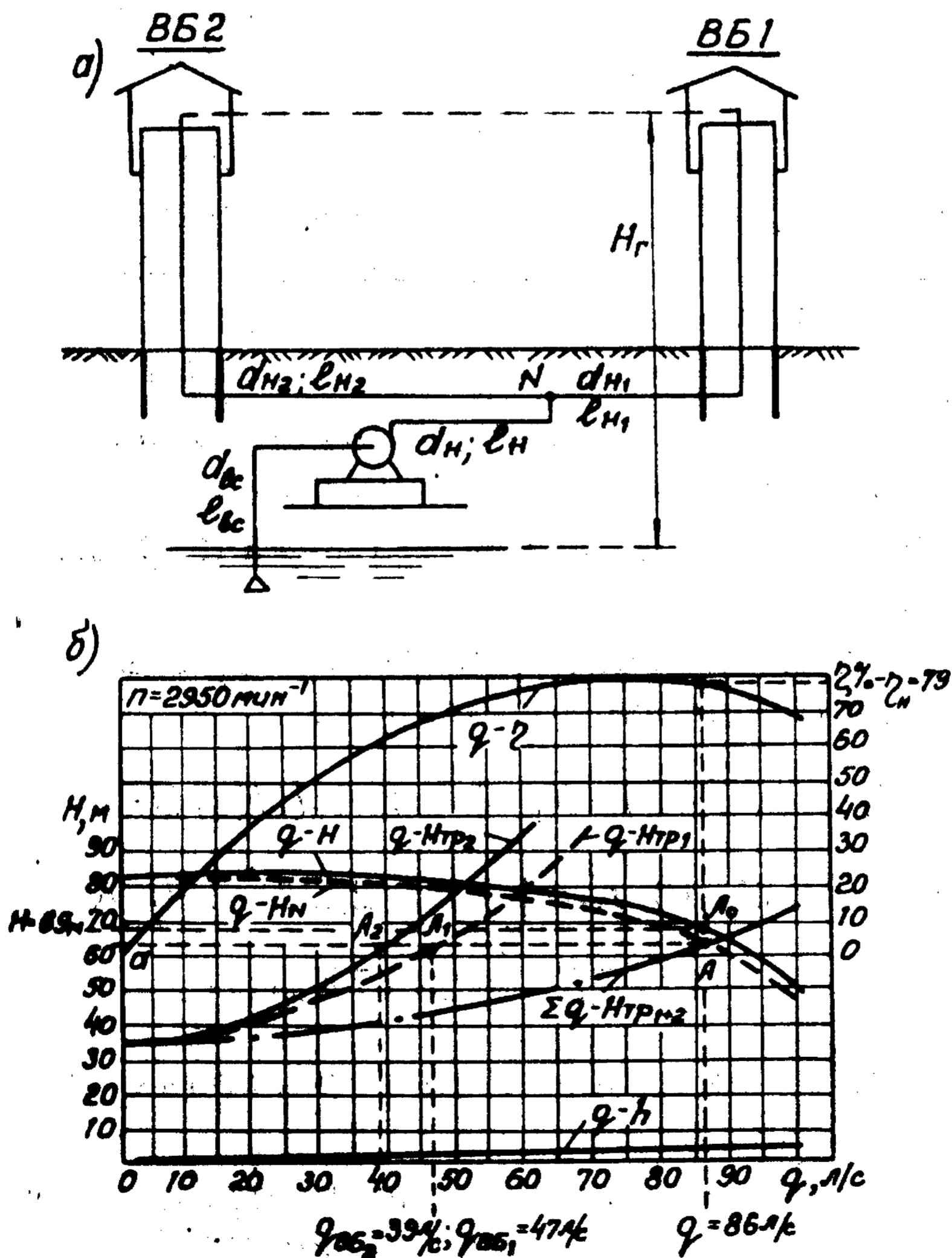


Рис. 22. Схема системы подачи воды в водонапорные башни с насосами, удаленными от разветвления (а); характеристика центробежного насоса Д320-70 (б)

Требуется определить рабочие параметры насоса  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$ ,  $N_n$ , а также расходы, подаваемые в водонапорные башни 1 и 2.

*Решение.* В том случае, когда точка разветвления  $N$  удалена от насоса настолько, что сопротивлениями в этой линии пренебречь нельзя, характеристика насоса должна быть перестроена по отношению к точке разветвления  $N$ . Каждому расходу в этом случае будет отвечать напор, меньший на соответствующую величину потери напора во всасывающей линии и в напорной линии от насоса до точки разветвления  $N$ . Для получения характеристики насоса, отнесенной к точке  $N$  ( $q—H_N$ ), определяются потери напора во всасывающей линии и в напорной линии от насоса до точки  $N$  по формуле:

$$h = (1,1A_{вс}l_{вс}K_{вс} + 1,05A_n l_n K_n) Q^2.$$

Затем строится кривая сопротивлений  $q—h$  (рис. 22, б) и ординаты характеристики насоса  $q—H$  уменьшаются на величину этих потерь напора при соответствующих расходах. Далее строятся характеристики напорных трубопроводов  $q—H_{тр_1}$  и  $q—H_{тр_2}$ . После этого абсциссы этих характеристик при равных напорах складываются, образуя суммарную характеристику системы. Точка пересечения  $A$  кривых  $q—H_N$  и  $\Sigma q—H_{тр_{1+2}}$  будет являться точкой работы насоса, по которой определяются все его параметры и количество воды, подаваемое в каждую водонапорную башню.

Применительно к примеру 5 эта задача решается следующим образом.

Составляется уравнение потерь напора во всасывающей линии и в линии от насоса до точки  $N$ :

$$\begin{aligned} h &= (1,1A_{вс}l_{вс}K_{вс} + 1,05A_n l_n K_n) Q^2 = \\ &= (1,1 \cdot 1,653 \cdot 40 \cdot K_{вс} + 1,05 \cdot 2,299 \cdot 120 \cdot K_n) Q^2 = \\ &= (72,7K_{вс} + 289,7K_n) Q^2. \end{aligned}$$

Определяются значения  $h$  при расходах  $q$  от  $q=0$  до  $q=100$  л/с.

По полученным значениям  $q$  и  $h$  строится кривая  $q—h$  на графике характеристики насоса (рис. 22, б).

Строится приведенная к точке  $N$  характеристика насоса  $q—H_N$  путем уменьшения ординат характеристики насоса  $q—H$  на величину ординат (потерь напора) кривой сопротивлений  $q—h$  при одинаковых расходах.

$Q, \text{ л/с}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$v_{\text{вс}}, \text{ м/с}$	$K_{\text{вс}}$	$v_{\text{н}}, \text{ м/с}$	$K_{\text{н}}$	$h, \text{ м}$
0	—	—	—	—	—	0
10	0,01	0,20	1,244	0,19	1,456	0,05
20	0,02	0,38	1,123	0,39	1,231	0,18
30	0,03	0,56	1,065	0,60	1,115	0,36
40	0,04	0,75	1,029	0,80	1,047	0,60
50	0,05	0,94	1,007	0,99	1,002	0,91
60	0,06	1,13	0,991	1,19	0,968	1,27
70	0,07	1,32	0,977	1,39	0,941	1,68
80	0,08	1,51	0,968	1,59	0,918	2,15
90	0,09	1,70	0,961	1,79	0,900	2,68
100	0,10	1,88	0,955	1,99	0,885	3,17

Составляется характеристика напорного трубопровода от точки  $N$  до водонапорной башни 1:

$$H_{\text{тр}_1} = H_{\text{г}} + 1,05A_{\text{н}_1} \cdot l_{\text{н}_1} \cdot K_{\text{н}_1} \cdot Q^2 =$$

$$= 36 + 1,05 \cdot 7,399 \cdot 1600K_{\text{н}_1} \cdot Q^2 = 36 + 12430,2K_{\text{н}_1} Q^2.$$

Составляется характеристика напорного трубопровода от точки  $N$  до водонапорной башни 2:

$$H_{\text{тр}_2} = H_{\text{г}} + 1,05A_{\text{н}_2} \cdot l_{\text{н}_2} \cdot K_{\text{н}_2} \cdot Q^2 =$$

$$= 36 + 1,05 \cdot 7,399 \cdot 2300K_{\text{н}_2} Q^2 = 36 + 17868,5K_{\text{н}_2} Q^2.$$

Результаты вычислений  $H_{\text{тр}_1}$  и  $H_{\text{тр}_2}$  представлены в таблице.

$Q, \text{ л/с}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$v_{\text{н}_1} = v_{\text{н}}, \text{ м/с}$	$K_{\text{н}_1} = K_{\text{н}_2}$	$H_{\text{тр}_1}, \text{ м}$	$H_{\text{тр}_2}, \text{ м}$
0	0	—	—	36	36
10	0,01	0,31	1,3	37,61	38,32
20	0,02	0,62	1,107	41,50	43,91
30	0,03	0,93	1,016	47,37	52,34
40	0,04	1,24	0,959	55,07	63,42
50	0,05	1,55	0,922	64,65	77,18
60	0,06	1,86	0,894	76,00	93,5
70	0,07	2,17	0,873	89,17	—



По полученным  $q - H_{\text{тр}_1}$  и  $q - H_{\text{тр}_2}$  на графике характеристики насоса строятся характеристики трубопроводов  $q - H_{\text{тр}_1}$  и  $q - H_{\text{тр}_2}$ .

Суммарная характеристика системы  $\Sigma q - H_{\text{тр}_{1+2}}$  строится для характеристики трубопроводов  $q - H_{\text{тр}_1}$  и  $q - H_{\text{тр}_2}$  суммированием расходов при равных напорах.

Точка  $A$  пересечения приведенной характеристики насоса  $q - H_N$  и суммарной характеристики системы  $\Sigma q - H_{\text{тр}_{1+2}}$  будет являться рабочей точкой насоса, по которой определяются его параметры:  $q = 85$  л/с и  $\eta_n = 0,79$ .

Напор насоса  $H$  определяется по точке  $A_0$  с учетом потерь напора во всасывающей линии и в линии от насоса до точки  $N$ :  $H = 69$  м. Так как на графике характеристики насоса не приведена кривая  $q - N$ , то мощность насоса можно определить по формуле:

$$N_n = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta_n} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,086 \cdot 69}{1000 \cdot 0,79} = 73,7 \text{ кВт.}$$

Проведением горизонтальной линии  $A-a$  через точку  $A$  до пересечения с кривыми  $q - H_{\text{тр}_1}$  и  $q - H_{\text{тр}_2}$  получим точки  $A_1$  и  $A_2$ , по которым определяются расходы воды, подаваемые в водонапорные башни 1 и 2. Расход, подаваемый в водонапорную башню 1,  $q_{\text{вб}_1} = 47$  л/с, в водонапорную башню 2 —  $q_{\text{вб}_2} = 39$  л/с.

**Задача 18.** Вода подается центробежным насосом Д320-70 в две водонапорные башни, расположенные на различной высоте. Отметка уровня воды в водонапорной башне 1 составляет  $Z_{\text{вб}_1} = 64$  м, в водонапорной башне 2 —  $Z_{\text{вб}_2} = 60$  м. Отметка уровня воды в источнике  $Z_{\text{гнв}} = 25$  м. Всасывающая линия из стальных труб имеет диаметр  $d_{\text{вс}} = 200$  мм и длину  $l_{\text{вс}} = 35$  м. Напорная линия из чугунных труб от насоса до разветвления (до т.  $N$ ) имеет диаметр  $d_n = 200$  мм и длину  $l_n = 280$  м, после разветвления  $d_{n_1} = 200$  мм,  $l_{n_1} = 1800$  м и  $d_{n_2} = 200$  мм,  $l_{n_2} = 2500$  м. Схема системы подачи воды приведена на рис. 23, характеристика насоса — на рис. 20, б.

Требуется определить рабочие параметры насоса  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$ ,  $N_n$ , а также расходы воды, подаваемые в водонапорные башни 1 и 2.

**Ответ.** Рабочие параметры насоса:  $q = 77,1$  л/с;  $H = 73,5$  м;  $\eta_n = 0,79$ ;  $N_n = 70,3$  кВт. Подается: в водонапорную башню 1  $q_{\text{вб}_1} = 39,7$  л/с; в водонапорную башню 2  $q_{\text{вб}_2} = 37,4$  л/с.

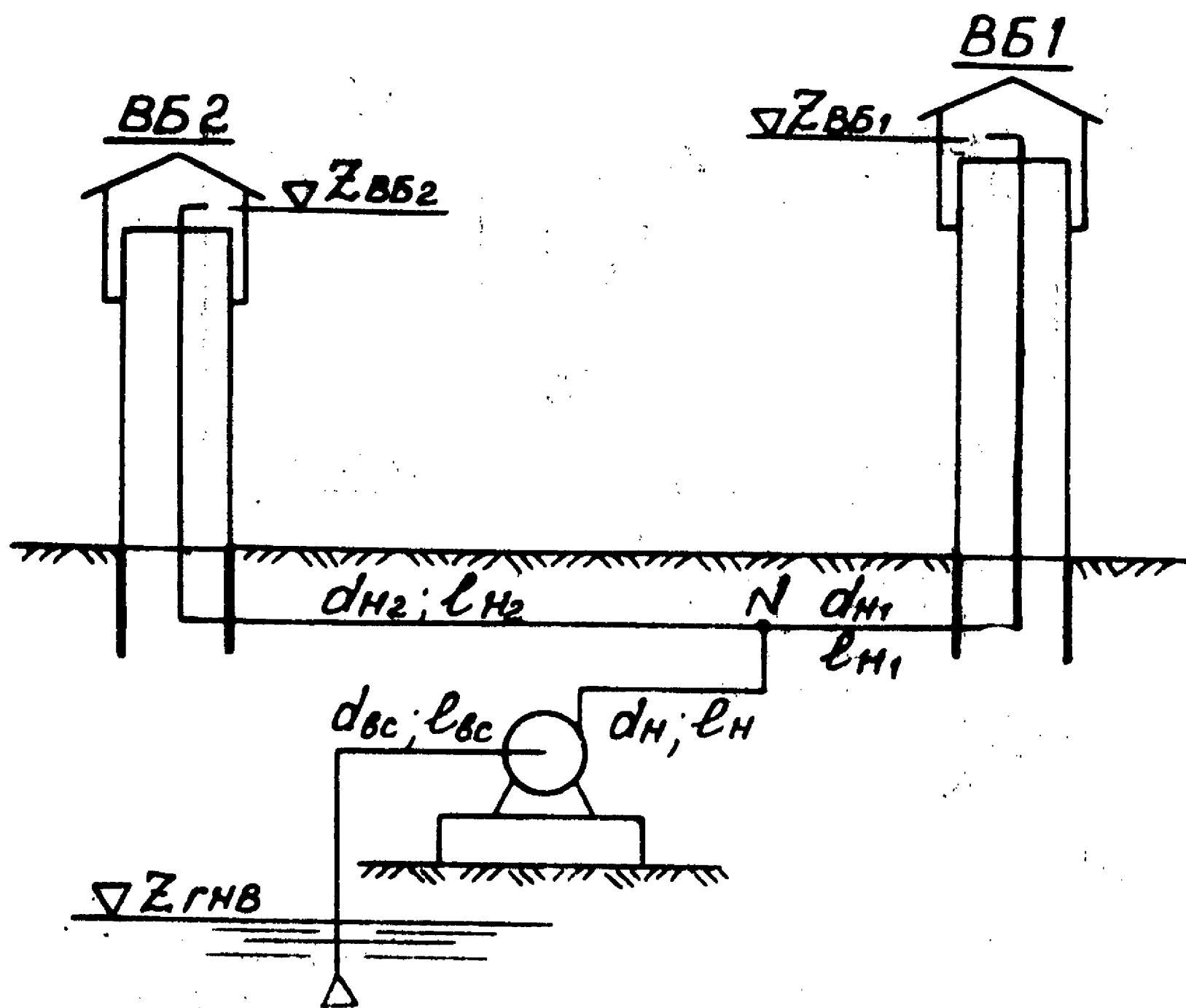


Рис. 23. Схема системы подачи воды в водонапорные башни с насосом, удаленным от разветвления

**Задача 19.** Вода подается центробежным насосом Д500-36 в три резервуара 1, 2 и 3, уровень воды в которых расположен на отметках  $Z_{p_1} = 68$  м;  $Z_{p_2} = 63$  м;  $Z_{p_3} = 65$  м. Отметка уровня воды в источнике  $Z_{ГНВ} = 32$  м. Всасывающая линия из стальных труб имеет диаметр  $d_{вс} = 250$  мм и длину  $l_{вс} = 52$  м. Напорная линия из чугунных труб от насоса до разветвления (до т. N) имеет диаметр  $d_n = 250$  мм и длину  $l_n = 240$  м, после разветвления  $d_{n_1} = 200$  мм,  $l_{n_1} = 200$  м;  $d_{n_2} = 150$  мм,  $l_{n_2} = 250$  м;  $d_{n_3} = 150$  мм,  $l_{n_3} = 500$  м. Схема системы подачи воды и характеристика насоса приведены на рис. 24.

Требуется определить рабочие параметры насоса  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$ , а также расходы воды, подаваемые в каждый резервуар.

**Ответ.** Рабочие параметры насоса:  $q = 121,1$  л/с;  $H = 41,8$  м;  $\eta_n = 0,8$ ;  $N_n = 62,1$  кВт. Подается: в резервуар 1  $q_{p_1} = 29,7$  л/с; в резервуар 2  $q_{p_2} = 47,1$  л/с; в резервуар 3  $q_{p_3} = 44,3$  л/с.

**Задача 20.** Вода подается центробежным насосом Д820-50 в водонапорную башню и к гидроколонке по схеме, приведенной на рис. 25, а. Геометрическая высота подъема воды в водонапорную башню составляет  $H_{ВБ} = 28$  м, к гидроколонке —  $H_{Г} = 22$  м. Всасывающая линия из стальных труб имеет диаметр  $d_{вс} = 250$  мм и длину  $l_{вс} = 48$  м. Напорная ли-

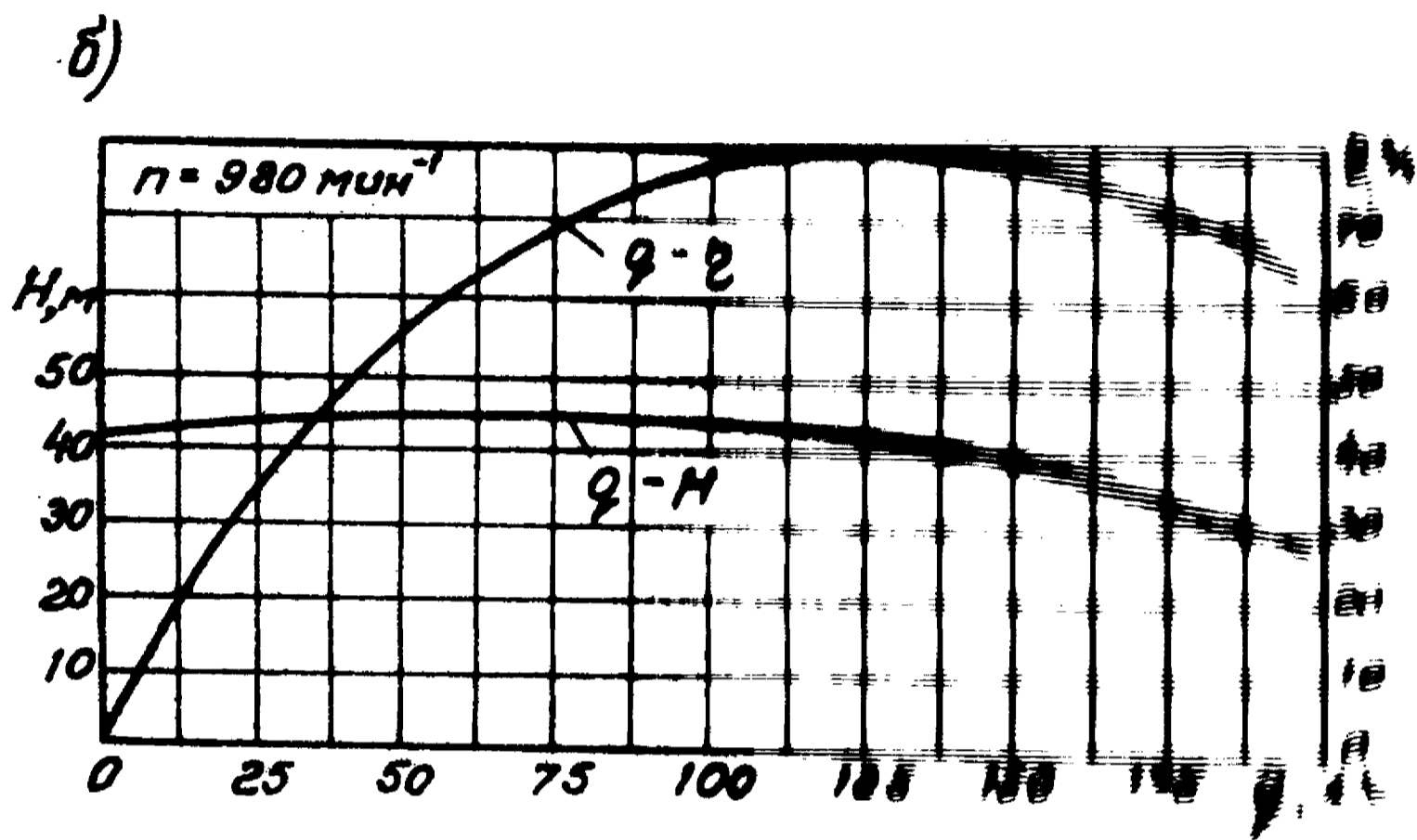
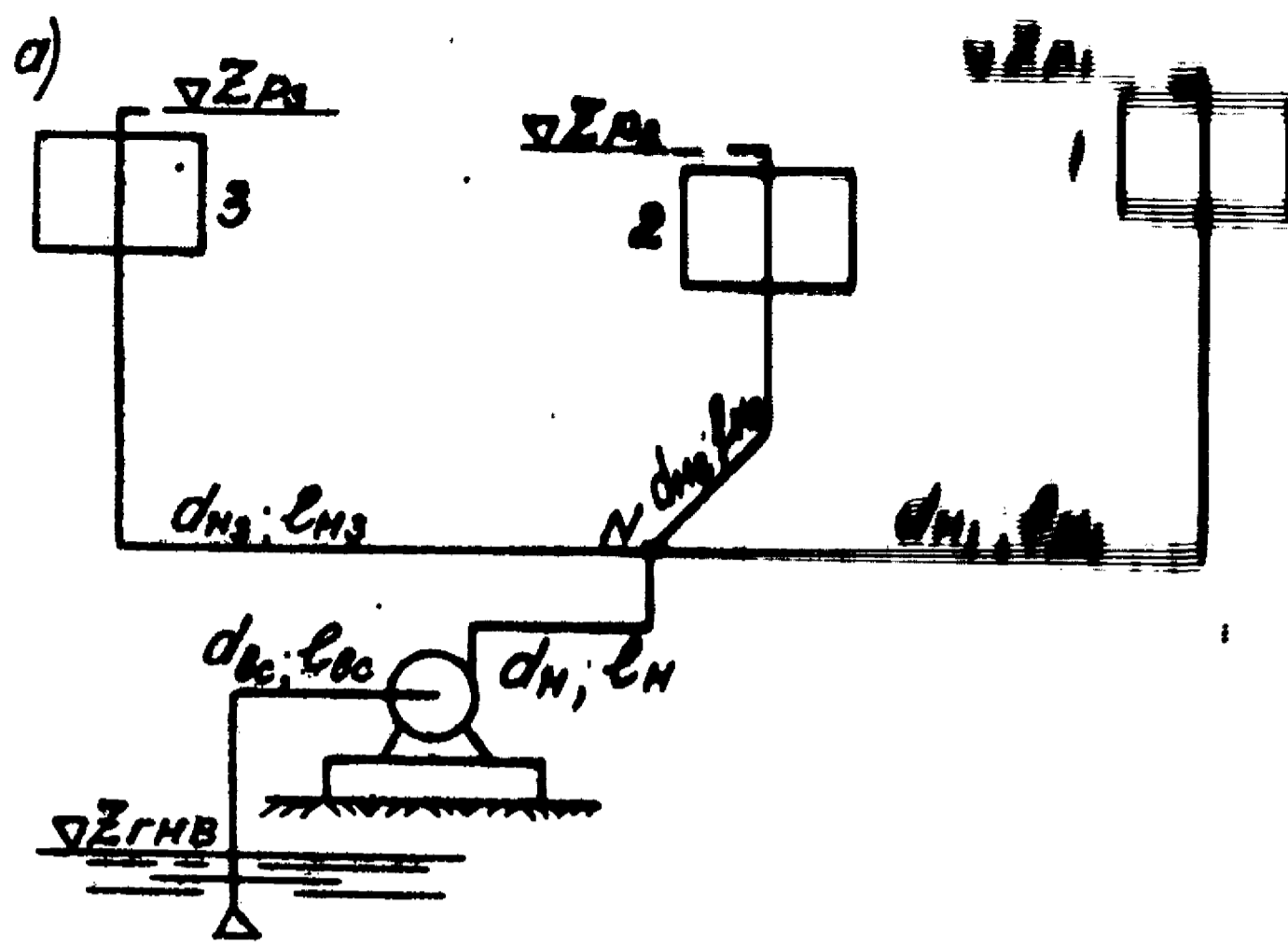


Рис. 24. Схема системы подачи воды в три резервуара с насосом, удаленным от разветвления (а), характеристика центробежного насоса Д500 Д6 (б)

ния из чугунных труб от насоса до точки разветвления (до т.  $N$ ) имеет диаметр  $d_n = 250$  мм и длину  $l_n = 500$  м, после разветвления  $d_{n1} = 150$  мм,  $l_{n1} = 240$  м и  $d_{n2} = 200$  мм,  $l_{n2} = 1000$  м. Характеристика насоса приведена на рис. 25, б.

Требуется определить рабочие параметры насоса  $q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$ , а также расходы воды, подаваемые в водонапорную башню  $q_{вб}$  и к гидроколонке  $q_r$ .

**Ответ.** Рабочие параметры насоса:  $q = 80,1$  л/с,  $H = 48,5$  м;  $\eta_n = 0,77$ ;  $N_n = 55$  кВт. Подается: в водонапорную башню  $q_{вб} = 37,7$  л/с; к гидроколонке  $q_r = 51,4$  л/с

## 2. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

На насосных станциях часто возникает необходимость в совместной работе нескольких насосов. Для увеличения производительности насосной станции используют параллельную работу насосов.

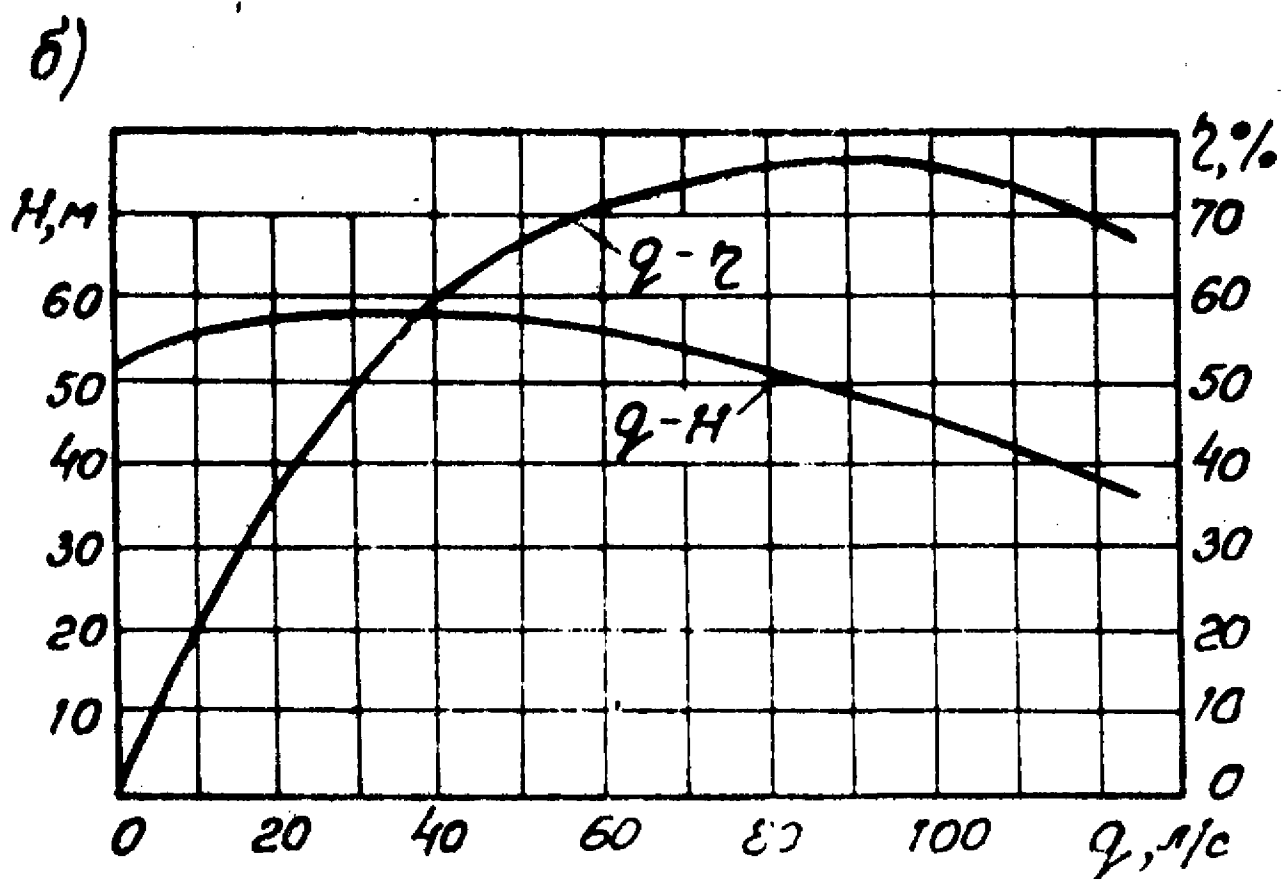
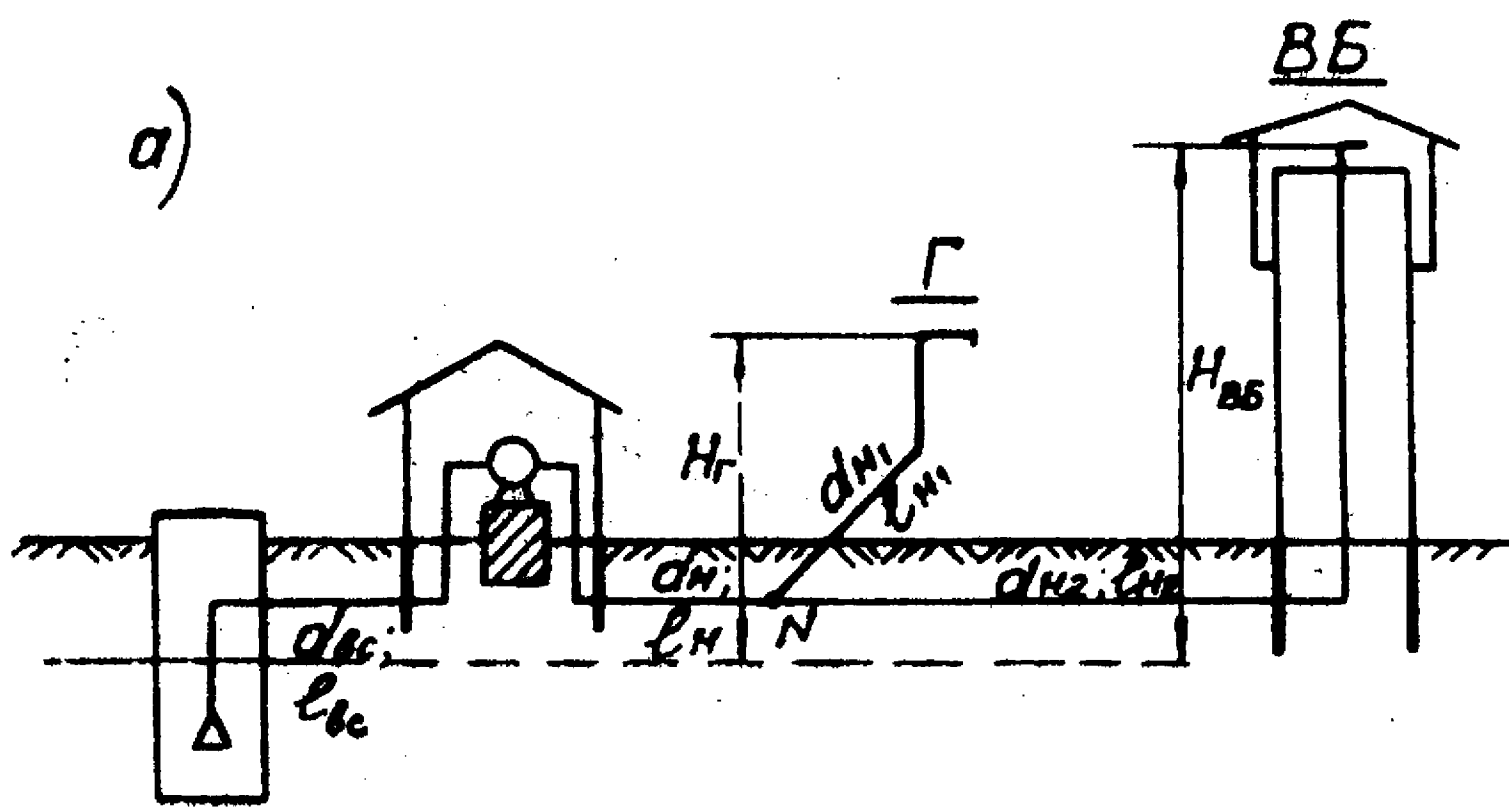


Рис. 25. Схема системы подачи воды в водонапорную башню и к гидроколонке с насосом, удаленным от разветвления (а); характеристика центробежного насоса Д320-50 (б)

Параллельной работой насосов называют совместную работу нескольких насосов с подачей воды в общий напорный трубопровод. Эти насосы могут быть с одинаковыми и разными характеристиками. Для определения рабочих параметров параллельно соединенных насосов необходимо на одном графике совместить суммарную характеристику насосов и характеристику системы трубопроводов. Построение суммарной характеристики параллельной работы нескольких насосов осуществляют путем сложения подач этих насосов при одинаковых напорах. Так, например, для построения суммарной характеристики параллельной работы двух одинаковых насосов  $\Sigma Q - H_{1+2}$  (рис. 26) необходимо удвоить их подачи при одинаковых напорах.

Точка работы насосов (т. А) является точкой пересечения их суммарной характеристики  $\Sigma Q - H_{1+2}$  с характеристикой системы трубопроводов  $Q - H_{тр}$ . По точке А определяются суммарные фактические подачи двух насосов  $Q_{1+2}$  и напор  $H_{1+2}$ . Для определения подачи, КПД и мощности каждого насоса при их совместной работе необходимо из точки А прове-

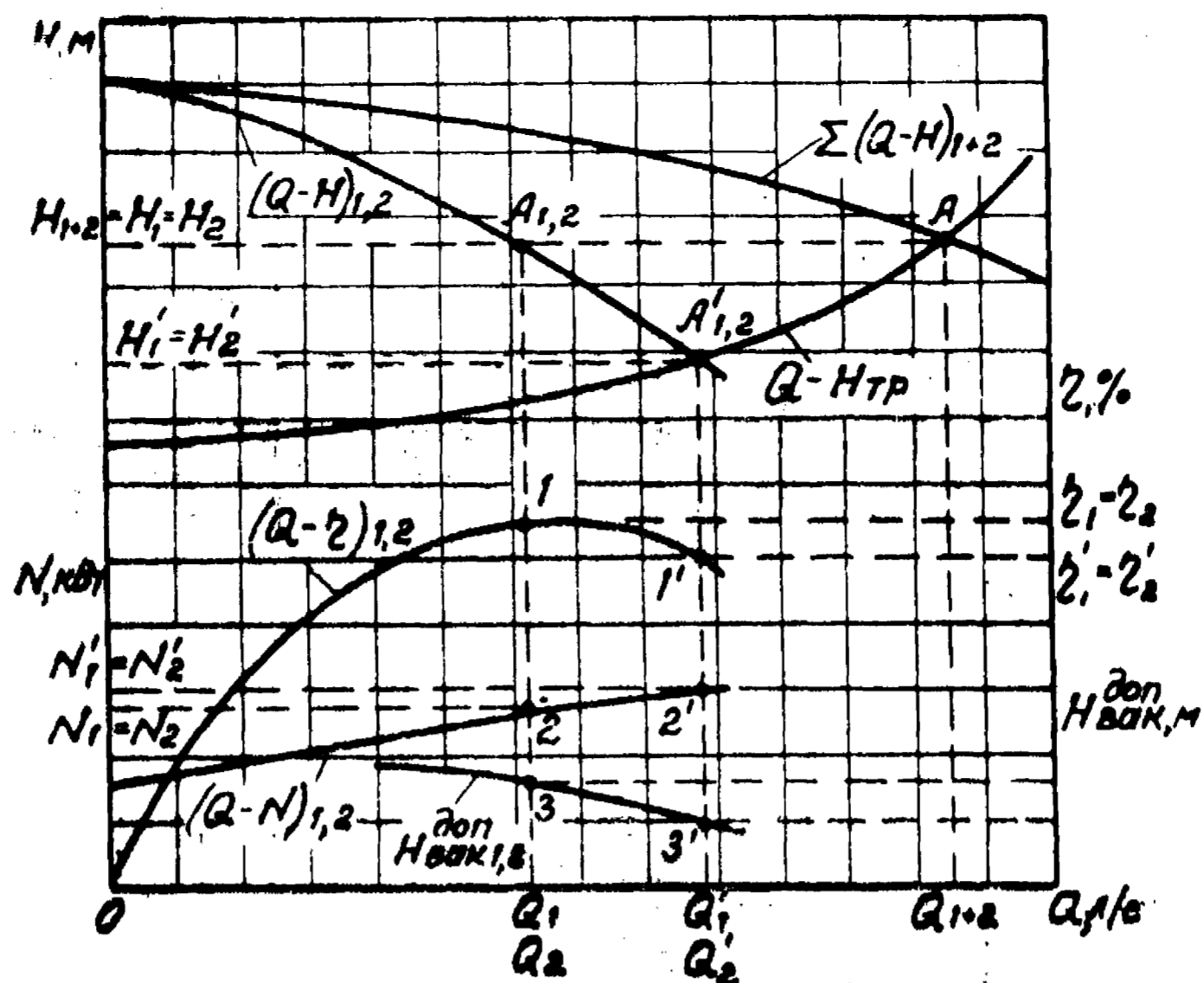


Рис. 26. Характеристика параллельной работы двух одинаковых центробежных насосов

сти линию, параллельную оси абсцисс, которая пересечет характеристику каждого из насосов  $Q-H_{1,2}$  в точке  $A_{1,2}$ . Координаты этой точки определяют подачи  $Q_1, Q_2$  и напоры  $H_1=H_2$  каждого насоса. Мощность, КПД и допустимая вакуумметрическая высота всасывания каждого из совместно работающих насосов определяются соответственно точками 1, 2, 3, являющимися точками пересечения кривых  $\eta, N$  и  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  перпендикуляром, опущенным из точки  $A_{1,2}$ .

Параметры каждого насоса  $Q'_1, Q'_2$  и  $H'_1, H'_2$  при их различной работе, т. е. когда один из них выключен, а второй работает, определяются по т.  $A_{1,2}$ . Мощность, КПД и допустимая высота всасывания каждого из отдельно работающих насосов определяются соответственно точками  $1', 2', 3'$ .

Следует заметить, что суммарная подача насосов  $Q_{1+2}$ , работающих параллельно на общий трубопровод, меньше суммарной подачи этих же насосов  $Q'_1 + Q'_2$ , работающих индивидуально, т. е.  $Q_{1+2} < Q'_1 + Q'_2$ . Это объясняется тем, что насосы в случае параллельного включения работают при более высоких напорах, чем при работе одного насоса. Нагрузка электродвигателей при параллельной работе насосов также меньше их нагрузки при индивидуальной работе, т. е.  $N_n < N'_n$ .

Параллельная работа насосов с различными характеристиками возможна только для таких насосов, у которых развиваемые напоры отличаются друг от друга незначительно (подача значения не имеет). Определение параметров паралл-

лельной работы насосов с различными характеристиками проиллюстрировано рис. 27. Суммарная характеристика насосов  $\Sigma Q-H_{1+2}$  строится путем сложения подач каждого насоса при одинаковых напорах. Подача  $Q_{1+2}$  и напор  $H_{1+2}$  являются суммарными фактическими параметрами этих насосов при совместной параллельной работе. Поддачи  $Q_1, Q_2$  и напоры  $H_1, H_2$  являются фактическими параметрами каждого насоса при совместной работе. Поддачи  $Q'_1, Q'_2$  и напоры  $H'_1, H'_2$  являются фактическими параметрами каждого насоса, работающего индивидуально. По точкам  $1_1, 2_1$  и  $1_2, 2_2$  определяются соответственно КПД и мощность (кривые  $Q-H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  на графике не показаны) каждого насоса при их совместной параллельной работе, а по точкам  $1'_1, 2'_1$  и  $1'_2, 2'_2$  — эти же параметры при работе каждого насоса индивидуально.

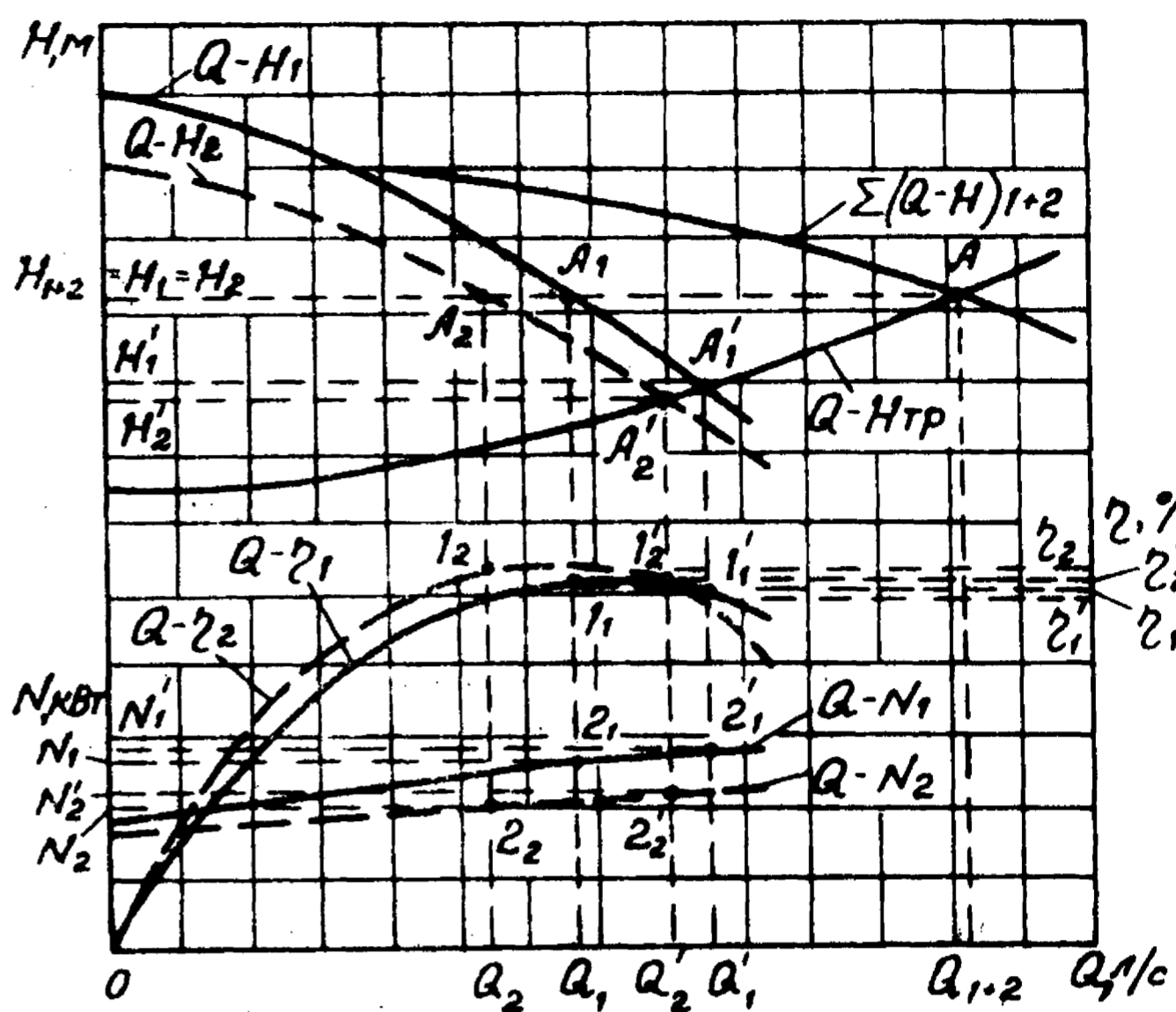


Рис. 27. Характеристика параллельной работы двух разных центробежных насосов

Если при параллельной работе в общий напорный трубопровод центробежных насосов последние расположены в непосредственной близости один от другого, то сопротивления в коротких соединительных участках ввиду их малости можно пренебречь. При значительном расстоянии между насосами, работающими в общий напорный трубопровод, сопротивлением в соединительном участке пренебречь нельзя и оно должно быть учтено при расчете.

Простейший пример параллельной работы насосов представлен на рис. 28. Для того чтобы правильно оценить параллельную работу насосов в этом случае, необходимо привести их характеристики к одной точке (к точке  $N$  на рис. 28). Ввиду близости расположения насоса 2 от точки  $N$  можно пренебречь потерями напора на участке от насоса 2 до точки  $N$ , предположив, что характеристика насоса 2 в этой точке тождественна его заводской характеристике.

Для приведения характеристики насоса 1 к точке  $N$  необходимо построить его характеристику относительно этой точки, т. е. вычесть из ординат заводской характеристики насоса

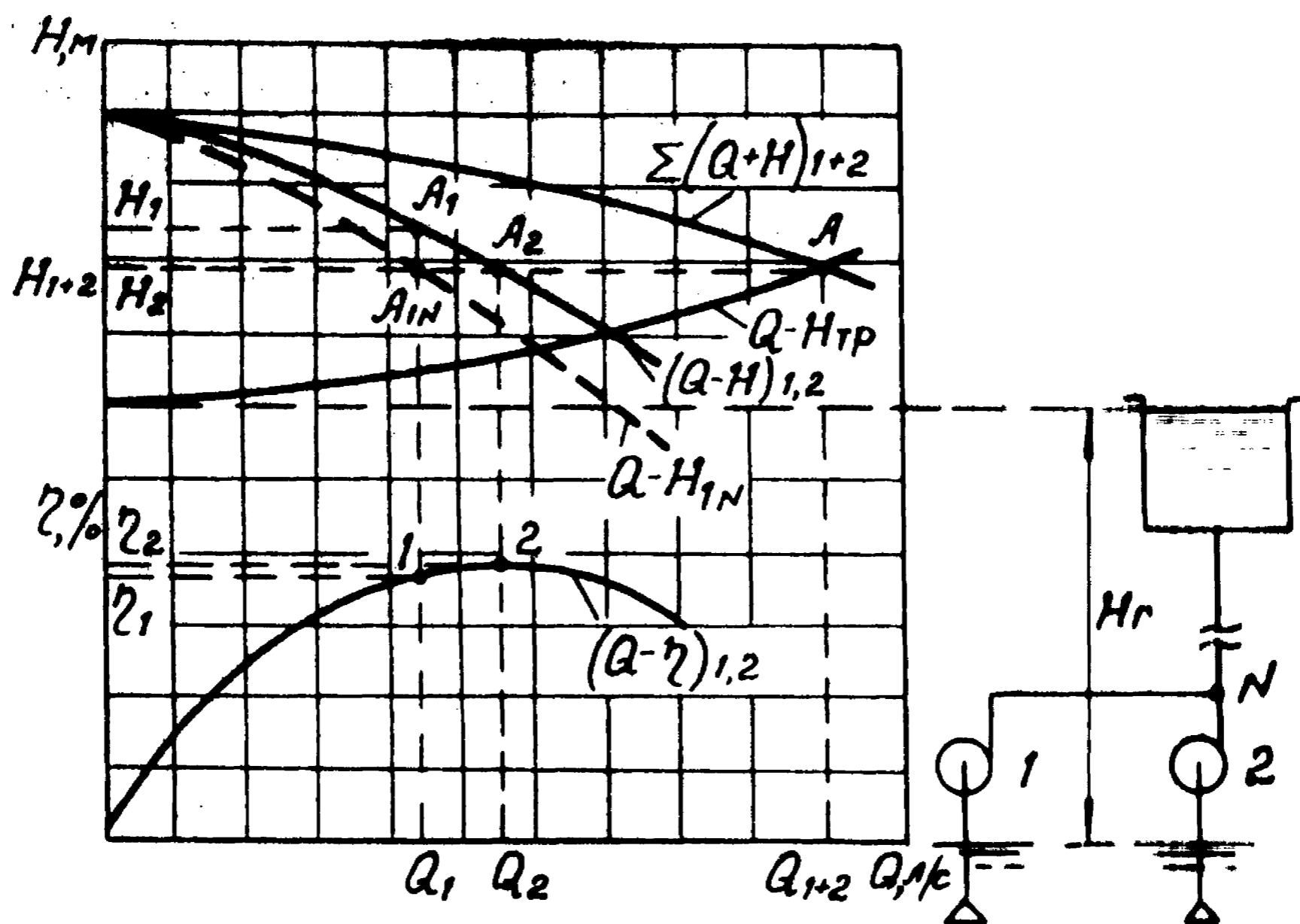


Рис. 28. Характеристика параллельной работы на одну систему двух центробежных насосов, расположенных на значительном расстоянии один от другого

потери напора на участке от насоса 1 до точки  $N$ . Эта характеристика представлена кривой  $Q-H_{1N}$  на рис. 28. При построении суммарной характеристики совместной параллельной работы насосов 1 и 2 необходимо суммировать абсциссы кривых  $Q-H_{1N}$  и  $Q-H_2$ , т. е. сложить характеристики насосов, приведенные к одной точке  $N$ .

По такому принципу можно построить характеристики трех и более насосов, расположенных на значительных расстояниях один от другого и подающих жидкость в общий напорный трубопровод.

## 2.1. Определение параметров параллельной работы центробежных насосов с одинаковыми характеристиками

**Пример 6.** Два одинаковых центробежных насоса Д320-70, работая параллельно, подают воду из источника в водонапорную башню. Насосы расположены в одной насосной станции и имеют характеристики, приведенные на рис. 29. Характеристика системы трубопроводов выражается уравнением  $H_{тр} = H_r + S_{тр}Q^2$ , в котором числовое значение величины гидравлического сопротивления трубопроводов  $S_{тр} = 1600$  для расхода  $Q$ , выраженного в  $m^3/c$ . Геометрическая высота подъема воды насосами  $H_r = 35$  м.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе и в случае работы каждого из них отдельно.

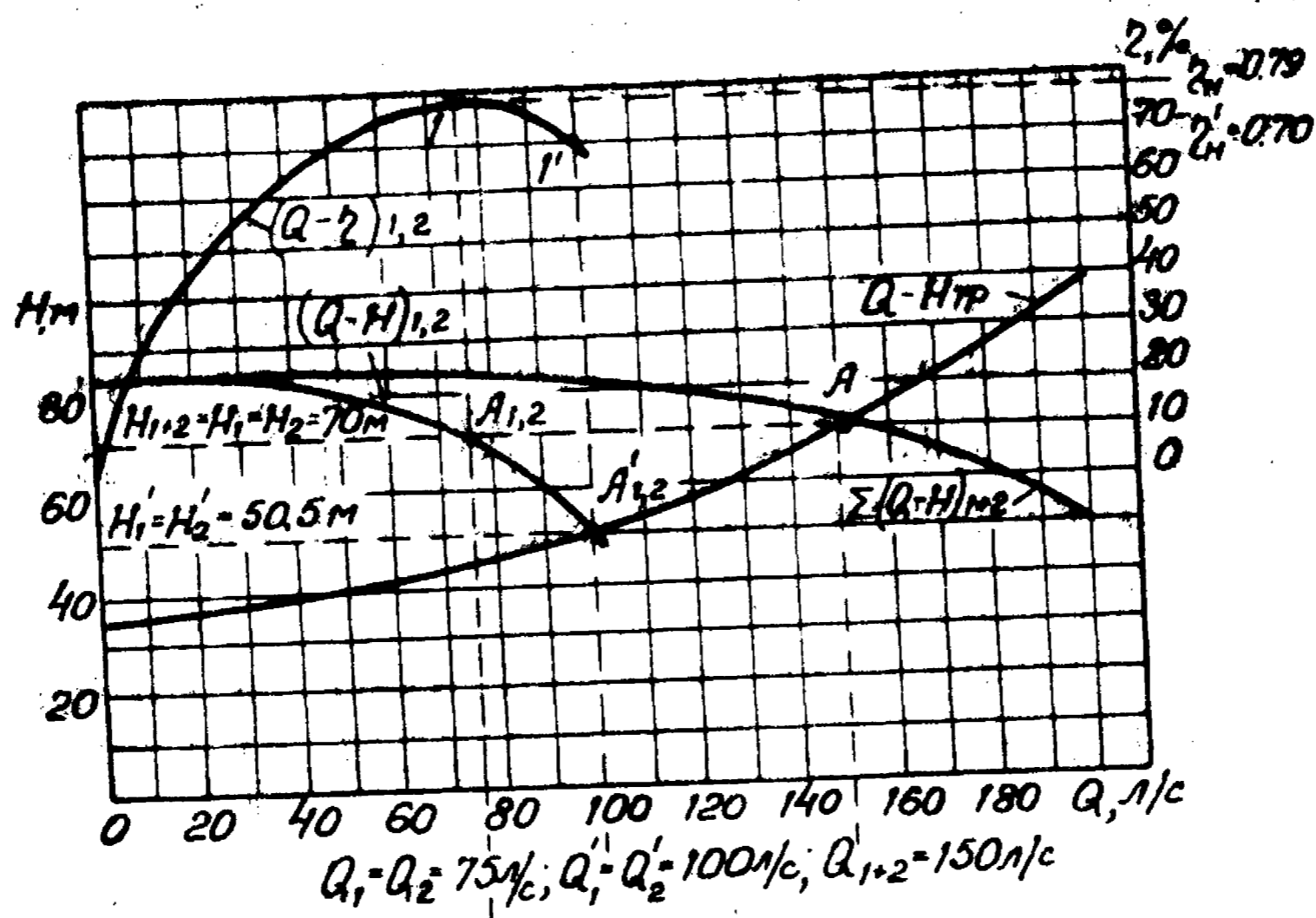


Рис. 29. Характеристика параллельной работы двух одинаковых центробежных насосов Д320-70

*Решение.* Для определения рабочих параметров параллельно соединенных насосов предварительно строится суммарная характеристика насосов  $\Sigma Q - H_{1+2}$  (см. рис. 29). Построение этой характеристики осуществляется удвоением подачи (абсцисс) при равных напорах (ординатах).

На этом же графике находится характеристика системы трубопроводов, заданная уравнением:

$$H_{\text{тр}} = H_{\Gamma} + S_{\text{тр}} Q^2 = 35 + 1600 Q^2.$$

Значения  $H_{\text{тр}}$  определяются для расходов  $Q$  от  $Q=0$  до  $Q=0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ :

$Q=0 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=35 \text{ м}$
$Q=0,04 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=35 + 1600 \cdot 0,04^2 = 37,56 \text{ м}$
$Q=0,06 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=35 + 1600 \cdot 0,06^2 = 40,76 \text{ м}$
$Q=0,08 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=35 + 1600 \cdot 0,08^2 = 45,24 \text{ м}$
$Q=0,1 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=35 + 1600 \cdot 0,1^2 = 51,0 \text{ м}$
$Q=0,12 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=35 + 1600 \cdot 0,12^2 = 58,04 \text{ м}$
$Q=0,14 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=35 + 1600 \cdot 0,14^2 = 66,36 \text{ м}$
$Q=0,16 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=35 + 1600 \cdot 0,16^2 = 75,96 \text{ м}$
$Q=0,18 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=35 + 1600 \cdot 0,18^2 = 86,84 \text{ м}$

По полученным значениям  $Q$  и  $H_{\text{тр}}$  строится характеристика системы трубопроводов  $Q - H_{\text{тр}}$ . Точка пересечения суммарной характеристики насосов  $\Sigma Q - H_{1+2}$  и характеристики системы трубопроводов  $Q - H_{\text{тр}}$  является рабочей точ-



кой насосов. Точке А соответствуют суммарная подача  $Q_{1+2} = 150$  л/с и суммарный напор  $H_{1+2} = 70$  м.

Для определения подач каждого насоса и их напоров при совместной параллельной работе через точку А проводится горизонтальная линия до пересечения с характеристиками насосов  $Q-H_{1,2}$ . По рабочей точке  $A_{1,2}$  определяются эти параметры:  $Q_1 = Q_2 = 75$  л/с;  $H_1 = H_2 = H_{1+2} = 70$  м. По точке 1 определяется КПД каждого насоса при их совместной работе:  $\eta_{H_1} = \eta_{H_2} = 0,79$ .

Так как на графиках отсутствует кривая зависимости  $N_H = f(Q)$ , то мощность каждого насоса определяется по формуле:

$$N_{H_1} = N_{H_2} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,075 \cdot 70}{1000 \cdot 0,79} = 65 \text{ кВт.}$$

Параметры каждого насоса при их отдельной работе определяются по точке  $A'_{1,2}$ , т. е. точке пересечения кривой насосов  $(Q-H)_{1,2}$  с характеристикой системы трубопроводов  $Q-H_{тр}$ . Точке  $A'_{1,2}$  соответствуют:  $Q'_1 = Q'_2 = 100$  л/с;  $H_1 = H_2 = 50,5$  м;  $\eta_{H_1} = \eta_{H_2} = 0,70$  и мощность

$$N_{H_1} = N_{H_2} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,1 \cdot 50,5}{1000 \cdot 0,7} = 70,7 \text{ кВт.}$$

**Задача 21.** Два одинаковых центробежных насоса 4К-90/30, работая параллельно, подают воду из берегового водозаборного колодца в водонапорную башню по системе трубопроводов, характеристика которой выражается уравнением  $H_{тр} = H_{г} + S_{тр}Q^2$ . Числовое значение величины гидравлического сопротивления трубопроводов  $S_{тр} = 5000$  для расхода  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Геометрическая высота подъема воды насосами  $H_{г} = 20$  м. Насосы расположены на одной насосной станции и имеют характеристики, приведенные на рис. 30.

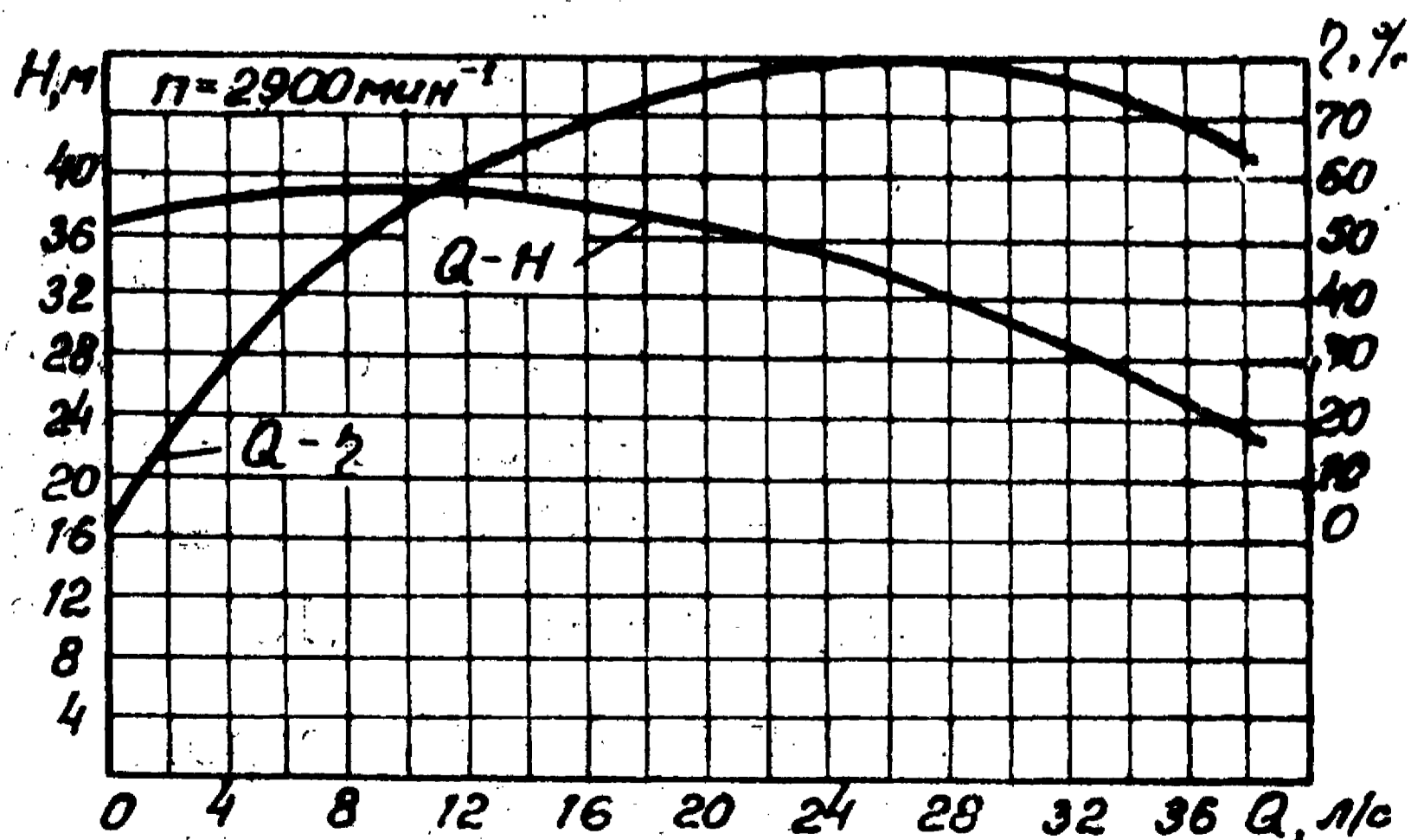


Рис. 30. Характеристика центробежного насоса 4К-90/30

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной их работе и в случае работы каждого из них отдельно.

Ответ:  $Q_{1+2} = 53,2$  л/с;  $H_{1+2} = 34,2$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = Q_2 = 26,6$  л/с;  $H_1 = H_2 = H_{1+2} = 34,2$  м;  $\eta_{n_1} = \eta_{n_2} = 0,79$ ;  $N_{n_1} = N_{n_2} = 11,3$  кВт. Каждый насос при раздельной работе имеет параметры:  $Q'_1 = Q'_2 = 35,2$  л/с;  $H'_1 = H'_2 = 26,2$  м;  $\eta'_{n_1} = \eta'_{n_2} = 0,71$ ;  $N'_{n_1} = N'_{n_2} = 12,7$  кВт.

**Задача 22.** Два одинаковых центробежных насоса 6К-160/30, работая параллельно, подают воду из колодца в резервуар по системе трубопроводов, характеристика которой выражается уравнением  $H_{тр} = H_r + S_{тр}Q^2$ . Числовое значение величины гидравлического сопротивления трубопроводов  $S_{тр} = 1000$  для расхода  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Геометрическая высота подъема воды насосами  $H_r = 20$  м. Насосы расположены на одной насосной станции и имеют характеристику, приведенную на рис. 31.

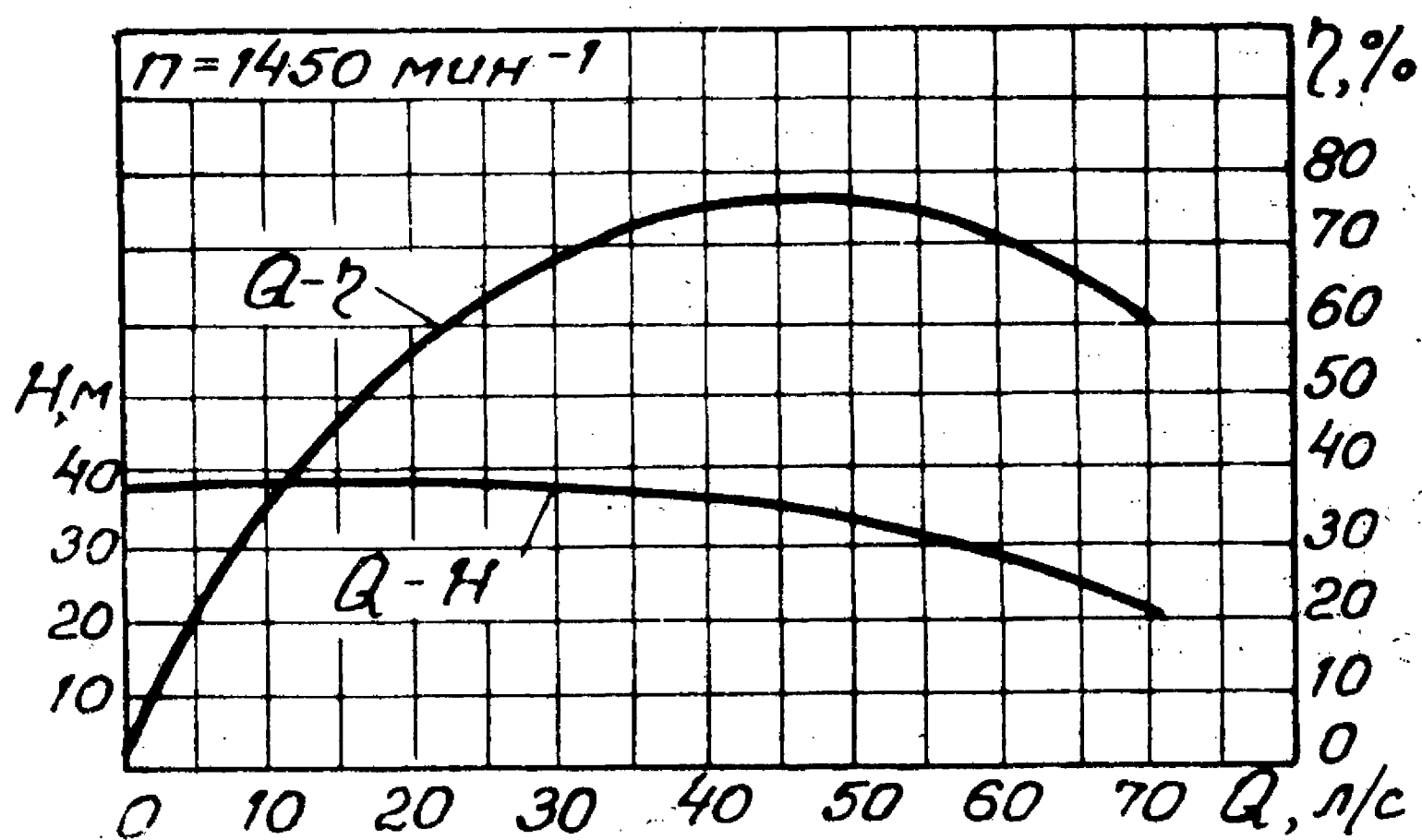


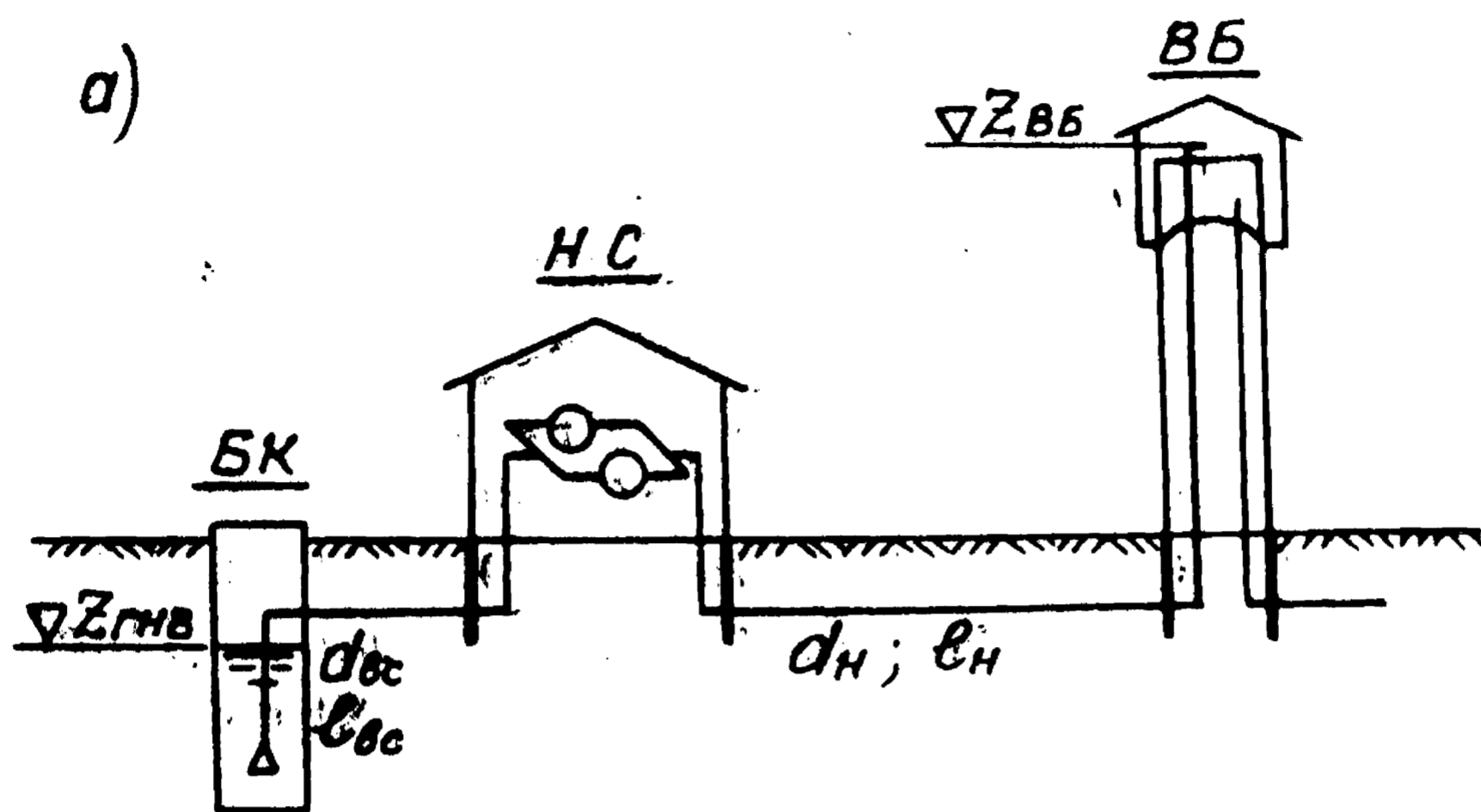
Рис. 31. Характеристика центробежного насоса 6К-160/30

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной их работе.

Ответ:  $Q_{1+2} = 103,6$  л/с;  $H_{1+2} = 31,3$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = Q_2 = 51,8$  л/с;  $H_1 = H_2 = H_{1+2} = 31,5$  м;  $\eta_{n_1} = \eta_{n_2} = 0,76$ ;  $N_{n_1} = N_{n_2} = 21,1$  кВт.

**Задача 23.** Два одинаковых центробежных насоса Д200-36, работая параллельно, подают воду из водозаборного колодца в водонапорную башню. Всасывающая линия устро-

она из стальных труб диаметром  $d_{вс} = 250$  мм и длиной  $l_{вс} = 52$  м. Напорный водовод из чугунных труб имеет диаметр  $d_{н} = 250$  мм и длину  $l_{н} = 240$  м. Отметка горизонта низких вод в колодце  $Z_{ГНВ} = 43$  м, выливное отверстие напорного водовода в башне расположено на отметке  $Z_{ВБ} = 68$  м. Потерями напора в ответвлениях к насосам ввиду их незначительности можно пренебречь. Схема системы подачи воды и характеристика насоса приведены на рис. 32.



б)

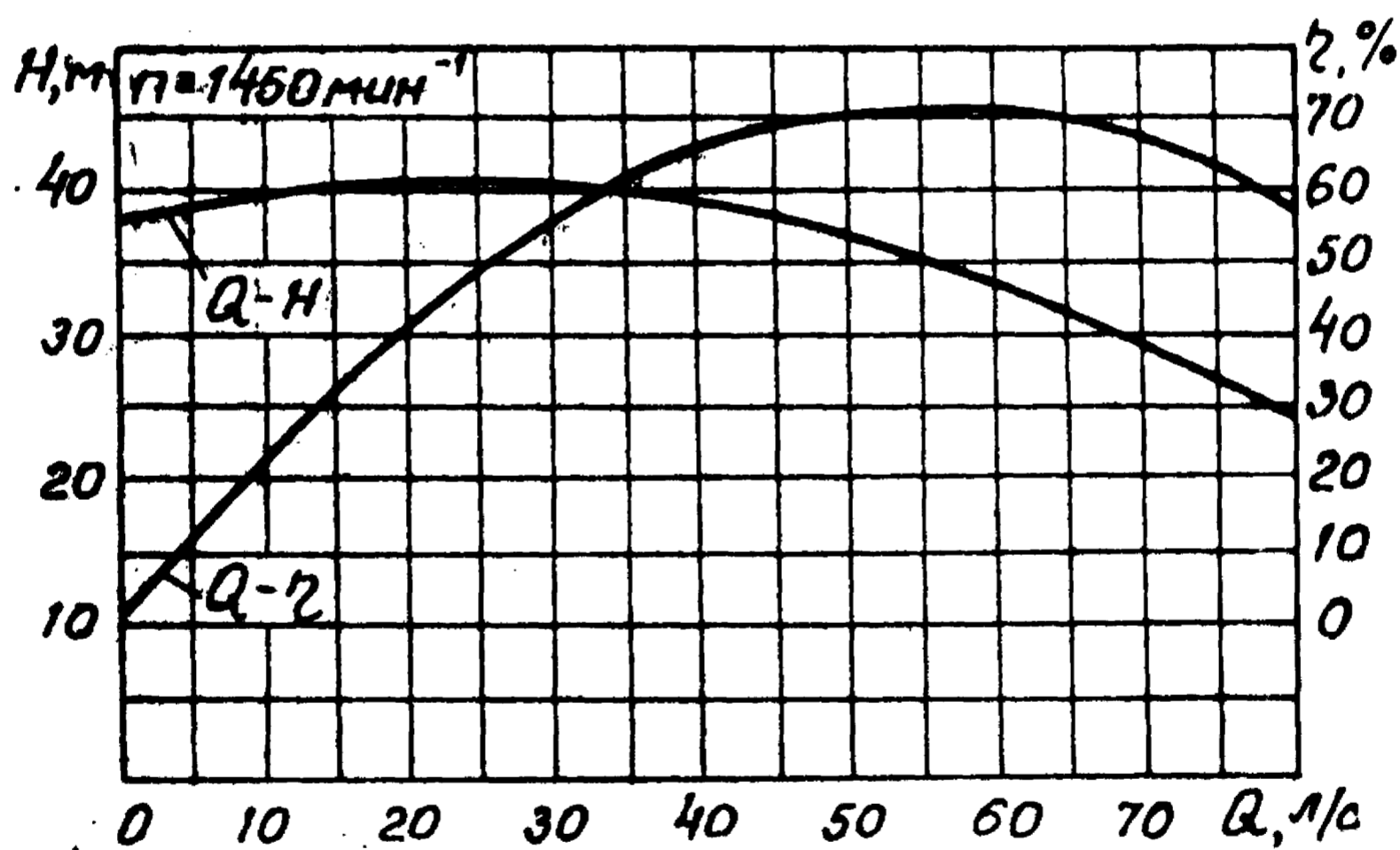


Рис. 32. Схема системы (а); характеристика центробежного насоса Д200-36 (б)

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной их работе и в случае работы каждого из них отдельно.

Ответ:  $Q_{1+2} = 123,4$  л/с;  $H_{1+2} = 34$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = Q_2 = 61,7$  л/с;  $H_1 = H_2 = H_{1+2} = 34$  м;  $\eta_{н_1} = \eta_{н_2} = 0,71$ ;  $N_{н_1} = N_{н_2} = 28,9$  кВт. Каждый насос при работе отдельно имеет параметры:  $Q'_1 = Q'_2 = 71,9$  л/с;  $H'_1 = H'_2 = 28,3$  м;  $\eta'_{н_1} = \eta'_{н_2} = 0,66$ ;  $N'_{н_1} = N'_{н_2} = 30,2$  кВт.

**Задача 24.** Два одинаковых центробежных насоса Д800-27, работая параллельно, подают воду из водозаборного колодца на очистные сооружения. Каждый насос имеет отдельную всасывающую линию из стальных труб диаметром  $d_{вс1} = d_{вс2} = 400$  мм и длиной  $l_{вс1} = l_{вс2} = 40$  м. Напорный водовод в одну линию устроен из чугунных труб диаметром  $d_n = 450$  мм и длиной  $l_n = 800$  м. Геометрическая высота подъема воды насосами  $H_r = 17$  м. Схема системы подачи и характеристика насоса приведены на рис. 33.

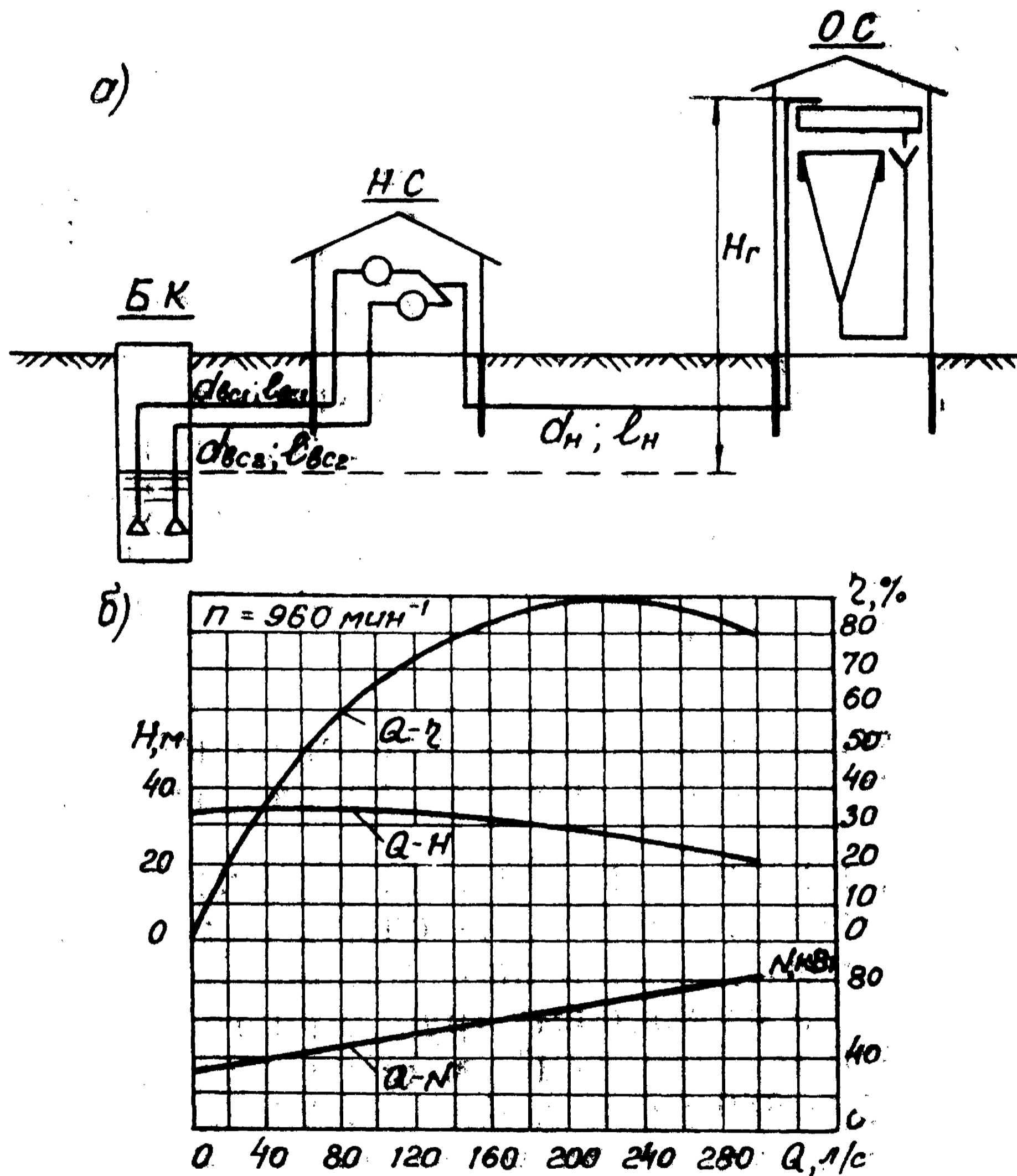


Рис. 33. Схема системы (а); характеристика центробежного насоса Д800-27 (б)

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной их работе.

Ответ:  $Q_{1+2} = 386$  л/с;  $H_{1+2} = 29,5$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = Q_2 = 193$  л/с;  $H_1 = H_2 = H_{1+2} = 29,5$  м;  $\eta_{н1} = \eta_{н2} = 0,86$ ;  $N_{н1} = N_{н2} = 64,9$  кВт.

**Задача 25.** Три одинаковых центробежных насоса Д320-50, работая параллельно, подают воду в водопроводную сеть. Характеристика системы трубопроводов и сети выражается уравнением  $H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + (S_{\text{тр}} + S_{\text{с}})Q^2$ , в котором числовые значения величин гидравлического сопротивления трубопроводов  $S_{\text{тр}} = 75$ , приведенное сопротивление сети  $S_{\text{с}} = 125$  для

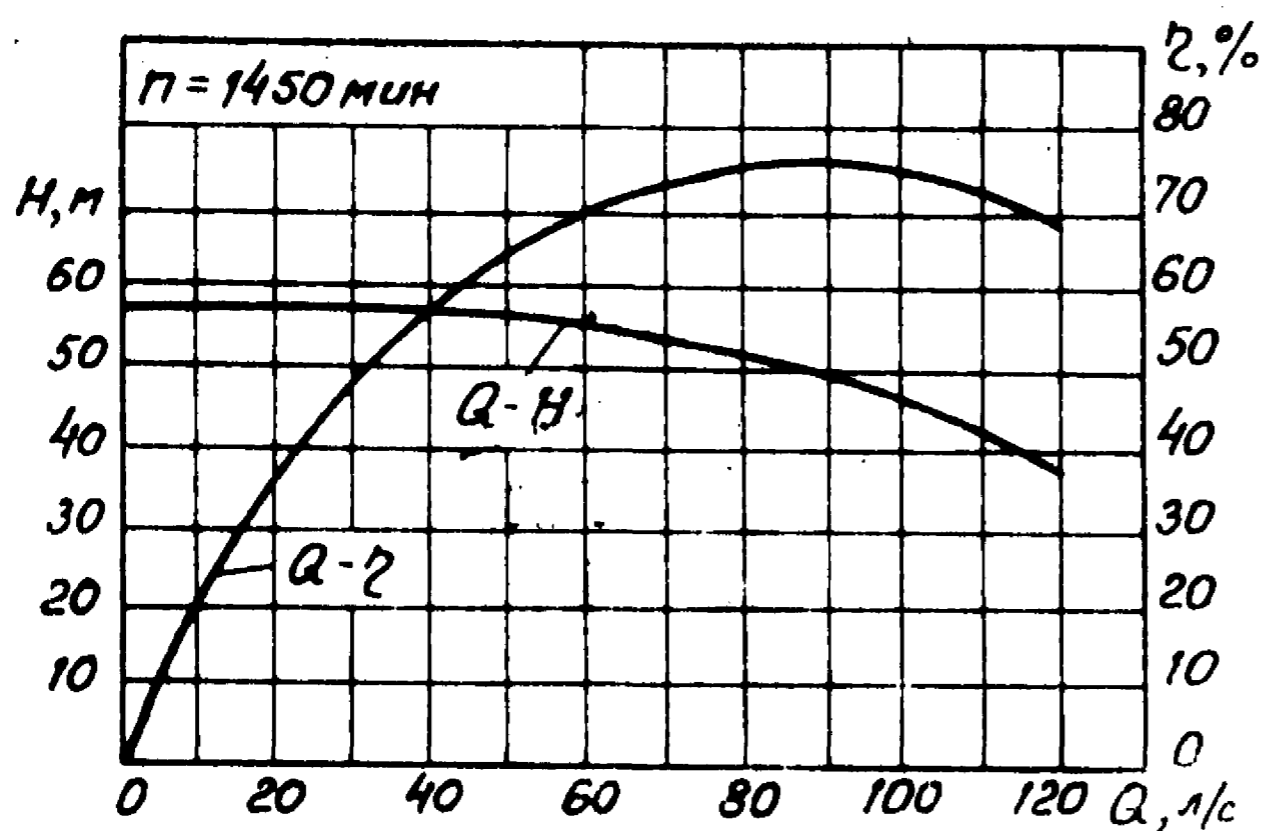


Рис. 34. Характеристика центробежного насоса Д320-50

расхода  $Q$ , выраженного в  $\text{м}^3/\text{с}$ . Геометрическая высота подъема воды насосами  $H_{\text{г}} = 30$  м. Характеристика насоса приведена на рис. 34.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2+3}$  и развиваемый напор  $H_{1+2+3}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_{\text{н}}$  и  $N_{\text{н}}$  для каждого насоса при совместной их работе.

**Ответ:**  $Q_{1+2+3} = 296,1$  л/с;  $H_{1+2+3} = 47,2$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 98,7$  л/с;  $H_1 = H_2 = H_3 = H_{1+2+3} = 47,2$  м;  $\eta_{\text{н}_1} = \eta_{\text{н}_2} = \eta_{\text{н}_3} = 0,75$ ;  $N_{\text{н}_1} = N_{\text{н}_2} = N_{\text{н}_3} = 60,9$  кВт.

## 2.2. Определение параметров параллельной работы центробежных насосов с различными характеристиками

**Пример 7.** Два различных центробежных насоса Д320-50, б и Д200-36, работая параллельно, подают воду в водонапорную башню по схеме, приведенной на рис. 32, а. Всасывающая линия устроена из стальных труб диаметром  $d_{\text{вс}} = 250$  мм и длиной  $l_{\text{вс}} = 30$  м. Напорный водовод из чугунных труб имеет диаметр  $d_{\text{н}} = 250$  мм и длину  $l_{\text{н}} = 260$  м. Отметка горизонта низких вод в водозаборном колодце  $Z_{\text{ГНВ}} = 38$  м, выливное отверстие напорного водовода в башне расположено на отметке  $Z_{\text{ВБ}} = 58$  м. Потерями напора в ответвлениях к насосам ввиду их незначительности можно пренебречь. Характеристики насосов приведены на рис. 35.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_{\text{н}}$  и  $N_{\text{н}}$  для каждого насоса при совместной их работе и в случае работы каждого из них отдельно.

**Решение.** Для определения рабочих параметров параллельно соединенных насосов с различными характеристиками

предварительно строится суммарная характеристика насосов  $\Sigma Q-H_{1+2}$  (см. рис. 35). Построение этой характеристики осуществляется суммированием подач (абсцисс) этих насосов при равных напорах (ординатах).

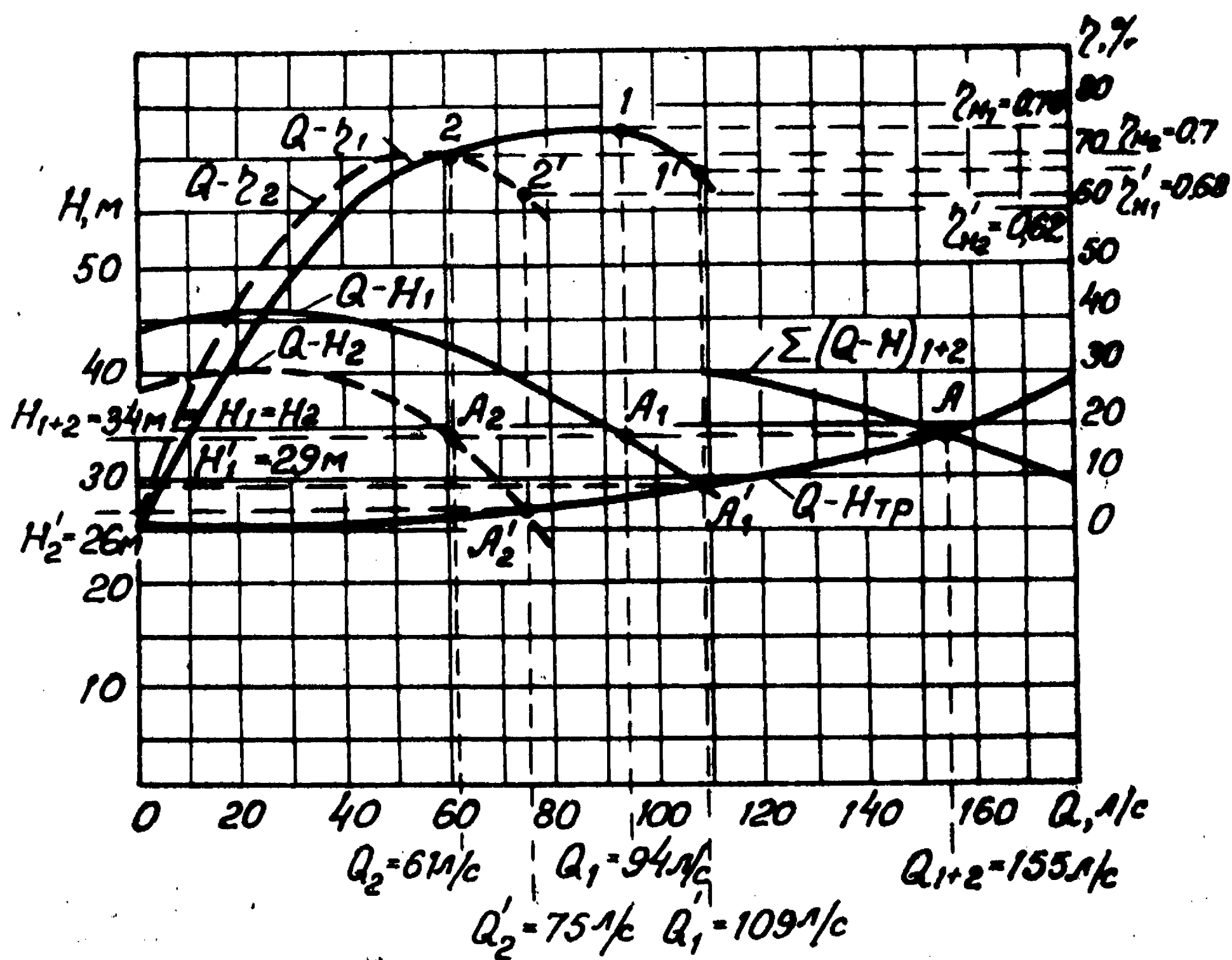


Рис. 35. К определению параметров центробежных насосов Д320-50, б и Д200-36 при параллельной их работе

На этот же график наносится характеристика системы трубопроводов.

Характеристика системы трубопроводов  $Q-H_{тр}$  представляется уравнением:

$$\begin{aligned}
 H_{тр} &= H_{г} + (1,1A_{вс}l_{вс}K_{вс} + 1,05A_{н}l_{н}K_{н})Q^2 = \\
 &= (58 - 38) + (1,1 \cdot 1,653 \cdot 30 \cdot K_{вс} + 1,05 \cdot 2,299 \cdot 260 \cdot K_{н})Q^2 = \\
 &= 25 + (54,6K_{вс} + 627K_{н})Q^2.
 \end{aligned}$$

По этому уравнению для разных значений  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, определяются соответствующие значения  $H_{тр}$ .

По  $Q$  и  $H_{тр}$  строится характеристика  $\Sigma Q-H_{1+2}$ .

Точка  $A$  пересечения суммарной характеристики насосов  $\Sigma Q-H_{1+2}$  и характеристики системы трубопроводов  $Q-H_{тр}$  является рабочей точкой насосов. Точке  $A$  соответствуют: суммарная подача  $Q_{1+2} = 155$  л/с и суммарный напор  $H_{1+2} = 34$  м.

$q$ , л/с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$v_{вс}$ , м/с	$K_{вс}$	$v_{н}$ , м/с	$K_{н}$	$H_{тр}$ , м
0	—	—	—	—	—	25
20	0,02	0,38	1,123	0,39	1,231	20,33
40	0,04	0,75	1,029	0,80	1,047	21,14
60	0,06	1,13	0,991	1,19	0,968	22,38
80	0,08	1,51	0,968	1,59	0,918	24,02
100	0,1	1,88	0,955	1,99	0,885	26,07
120	0,12	2,26	0,945	2,39	0,862	28,52
140	0,14	2,64	0,937	2,78	0,844	31,56
160	0,16	3,00	0,932	3,13	0,831	34,64
180	0,18	3,37	0,929	3,25	0,822	38,34

Для определения подач каждого насоса и их напоров при совместной параллельной работе через точку А проводится горизонтальная линия до пересечения с характеристиками насосов  $Q-H_1$  и  $Q-H_2$ . По рабочим точкам  $A_1$  и  $A_2$  определяются эти параметры:  $Q_1=94$  л/с;  $Q_2=61$  л/с;  $H_1=H_2=H_{1+2}=34$  м. По точкам 1 и 2 определяются КПД каждого насоса при их совместной работе:  $\eta_{н_1}=0,76$ ;  $\eta_{н_2}=0,7$ .

Мощность каждого насоса определяется по формуле и составляет:

$$N_{н_1} = \frac{\rho \cdot g Q_1 \cdot H_1}{1000 \eta_{н_1}} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,094 \cdot 34}{1000 \cdot 0,76} = 41,2 \text{ кВт};$$

$$N_{н_2} = \frac{\rho \cdot g Q_2 \cdot H_2}{1000 \cdot \eta_{н_2}} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,061 \cdot 34}{1000 \cdot 0,76} = 29 \text{ кВт}.$$

Параметры каждого насоса при их отдельной работе определяются по точкам  $A'_1$  и  $A'_2$ , по точкам пересечения кривых насосов  $Q-H_1$  и  $Q-H_2$  с характеристикой системы трубопроводов.

Точкам  $A'_1$  и  $A'_2$  соответствуют:

$$Q'_1 = 109 \text{ л/с}; \quad H'_1 = 29 \text{ м}; \quad \eta'_{н_1} = 0,68;$$

$$Q'_2 = 75 \text{ л/с}; \quad H'_2 = 26 \text{ м}; \quad \eta'_{н_2} = 0,62;$$

$$N'_{н_1} = \frac{\rho g Q'_1 \cdot H'_1}{1000 \eta'_{н_1}} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,109 \cdot 29}{1000 \cdot 0,68} = 45,6 \text{ кВт};$$

$$N'_{н_2} = \frac{\rho g Q'_2 \cdot H'_2}{1000 \eta'_{н_2}} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,075 \cdot 26}{1000 \cdot 0,62} = 30,8 \text{ кВт}.$$

**Задача 26.** Два различных центробежных насоса 6К-160/30, б и 4К-90/20, работая параллельно, подают воду из водозаборного колодца в водонапорную башню. Насосы расположены на одной насосной станции рядом один с другим. Характеристика системы трубопроводов выражается уравнением  $H_{тр} = H_{г} + S_{тр}Q^2$ , в котором  $H_{г} = 12$  м, числовое значение гидравлического сопротивления трубопроводов  $S_{тр} = 1130$  для  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Потерями напора в ответвлениях ввиду их незначительности можно пренебречь. Характеристики насосов приведены на рис. 36.

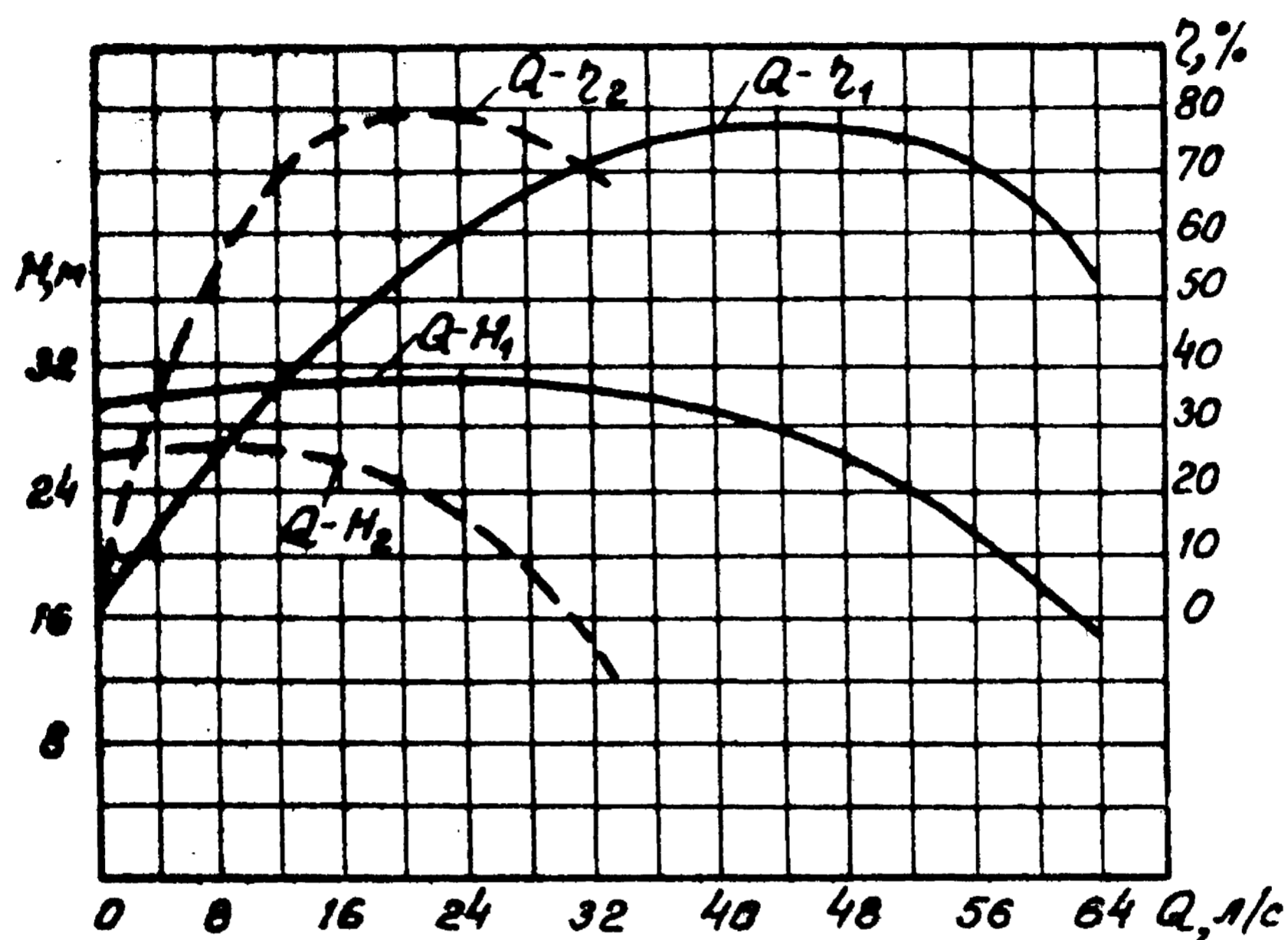


Рис. 36. Характеристики центробежных насосов:  
1 — 6К-160/30,б; 2 — 4К-90/20

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной их работе и в случае работы каждого из них отдельно.

**Ответ:**  $Q_{1+2} = 84,8$  л/с;  $H_{1+2} = 20,1$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:

$$Q_1 = 57,9 \text{ л/с}; H_1 = 20,1 \text{ м}; \eta_{n_1} = 0,66; N_{n_1} = 17,3 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 26,9 \text{ л/с}; H_2 = 20,1 \text{ м}; \eta_{n_2} = 0,78; N_{n_2} = 6,8 \text{ кВт}.$$

При работе одного насоса в ту же систему:

$$\text{насос 1 — } Q'_1 = 63 \text{ л/с}; H'_1 = 16,5 \text{ м}; \eta'_{n_1} = 0,57; N'_{n_1} = 17,9 \text{ кВт};$$

$$\text{насос 2 — } Q'_2 = 33,5 \text{ л/с}; H'_2 = 13,3 \text{ м}; \eta'_{n_2} = 0,67; N'_{n_2} = 6,5 \text{ кВт}.$$

**Задача 27.** Два центробежных насоса 4К-90/30, б и 4К-90/20, расположенные на одной насосной станции один



около другого, работают параллельно, подавая воду из водо-заборного колодца в напорный резервуар. Геометрическая высота подъема воды составляет  $H_r = 15$  м. Диаметр всасывающей линии из стальных труб  $d_{вс} = 200$  мм, длина  $l_{вс} = 40$  м. Напорная линия устроена из чугунных труб диаметром  $d_n = 200$  мм и длиной  $l_n = 310$  м. Потерями напора в ответвлениях ввиду из незначительности можно пренебречь. Схема системы подачи воды и характеристики насосов приведены на рис. 37.

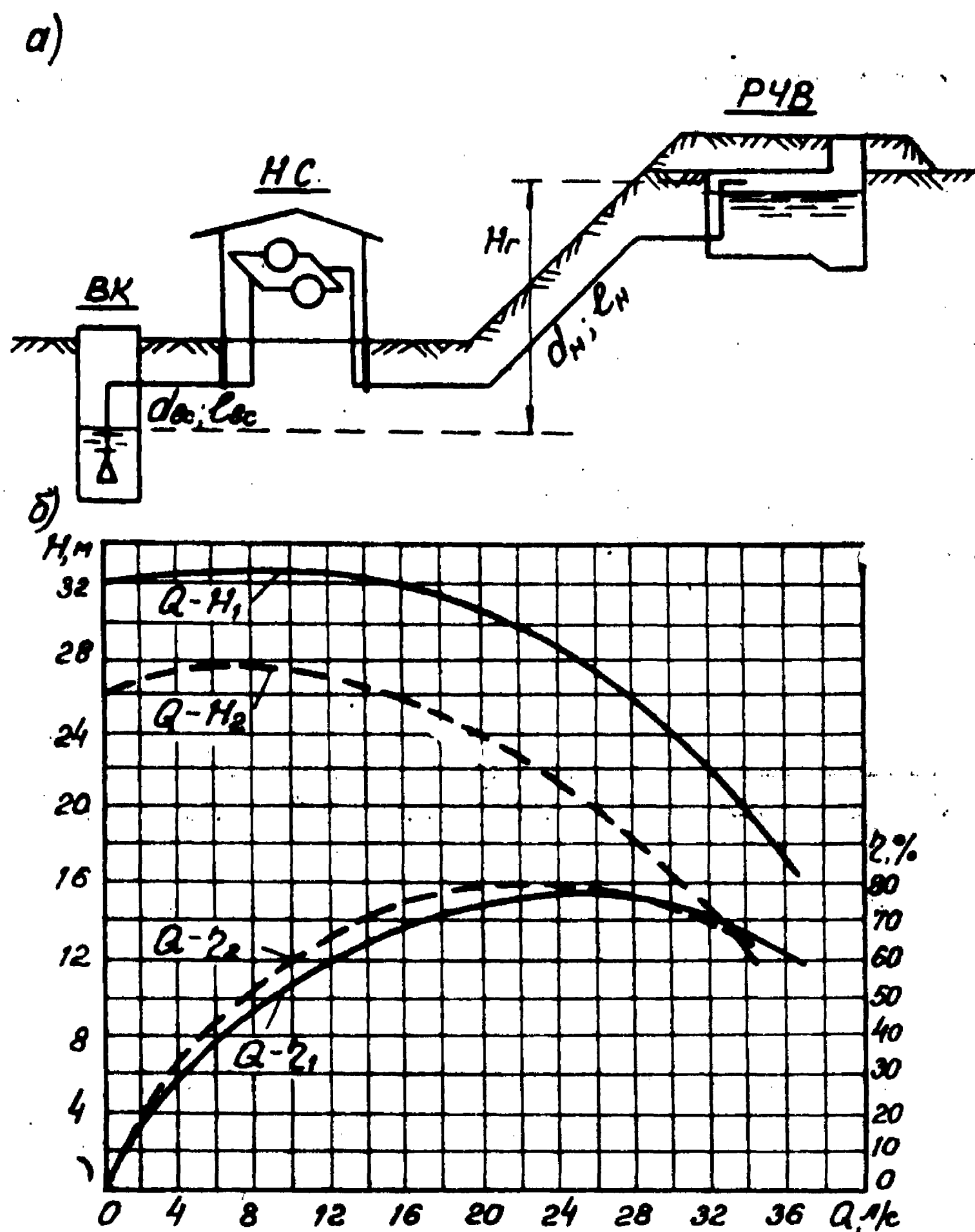


Рис. 37. Схема системы подачи воды (а); характеристики центробежных насосов (б):

1 — 4К-90/30,6; 2 — 4К-90/20

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при их совместной работе и в случае работы каждого из них отдельно.

Ответ:  $Q_{1+2} = 55,1$  л/с;  $H_{1+2} = 22,3$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:

$$Q_1 = 32,1 \text{ л/с}; H_1 = 22,3 \text{ м}; \eta_{n_1} = 0,71; N_{n_1} = 9,9 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 23,0 \text{ л/с}; H_2 = 22,3 \text{ м}; \eta_{n_2} = 0,80; N_{n_2} = 6,3 \text{ кВт}.$$

При работе одного насоса в ту же систему:

насос 1 —  $Q'_1 = 35$  л/с;  $H'_1 = 18,2$  м;  $\eta'_{н_1} = 0,65$ ;  $N'_{н_1} = 9,6$  кВт;

насос 2 —  $Q'_2 = 29,3$  л/с;  $H'_2 = 17,3$  м;  $\eta'_{н_2} = 0,75$ ;  $N'_{н_2} = 6,6$  кВт.

**Задача 28.** Два центробежных насоса Д500-36,6 и Д200-36,6, расположенные на одной насосной станции, работают параллельно, подавая воду из источника водоснабжения в напорный резервуар.

Характеристика системы трубопроводов задана уравнением  $H_{тр} = H_{г} + S_{тр}Q^2$ , в котором геометрическая высота подъема воды  $H_{г} = 15$  м, числовое значение гидравлического сопротивления трубопроводов  $S_{тр} = 300$  для  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Характеристика насосов приведена на рис. 38.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_{н}$  и  $N_{н}$  для каждого насоса при совместной их работе и в случае работы каждого из них отдельно.

**Ответ:**  $Q_{1+2} = 225$  л/с;  $H_{1+2} = 30,2$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:

$$Q_1 = 166 \text{ л/с}; H_1 = 30,2 \text{ м}; \eta_{н_1} = 0,75; N_{н_1} = 65,5 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 59 \text{ л/с}; H_2 = 30,2 \text{ м}; \eta_{н_2} = 0,71; N_{н_2} = 24,6 \text{ кВт}.$$

При работе одного насоса в ту же систему:

насос 1 —  $Q'_1 = 182$  л/с;  $H_1 = 24,9$  м;  $\eta'_{н_1} = 0,70$ ;  $N'_{н_1} = 63,5$  кВт;

насос 2 —  $Q'_2 = 72$  л/с;  $H_2 = 23$  м;  $\eta'_{н_2} = 0,60$ ;  $N'_{н_2} = 27,1$  кВт.

**Задача 29.** В систему подают воду два центробежных насоса Д320-50, соединенные параллельно. Один насос имеет диаметр рабочего колеса  $D_{р.к} = 405$  мм, другой  $D_{р.к} = 380$  мм. Характеристика насоса с разными диаметрами рабочего колеса приведена на рис. 39. Характеристика системы трубопроводов задана уравнением  $H_{тр} = H_{г} + S_{тр}Q^2$ , в котором геометрическая высота подъема воды  $H_{г} = 35$  м; числовое значение гидравлического сопротивления трубопроводов  $S_{тр} = 150$  для  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Насосы расположены на одной насосной станции.

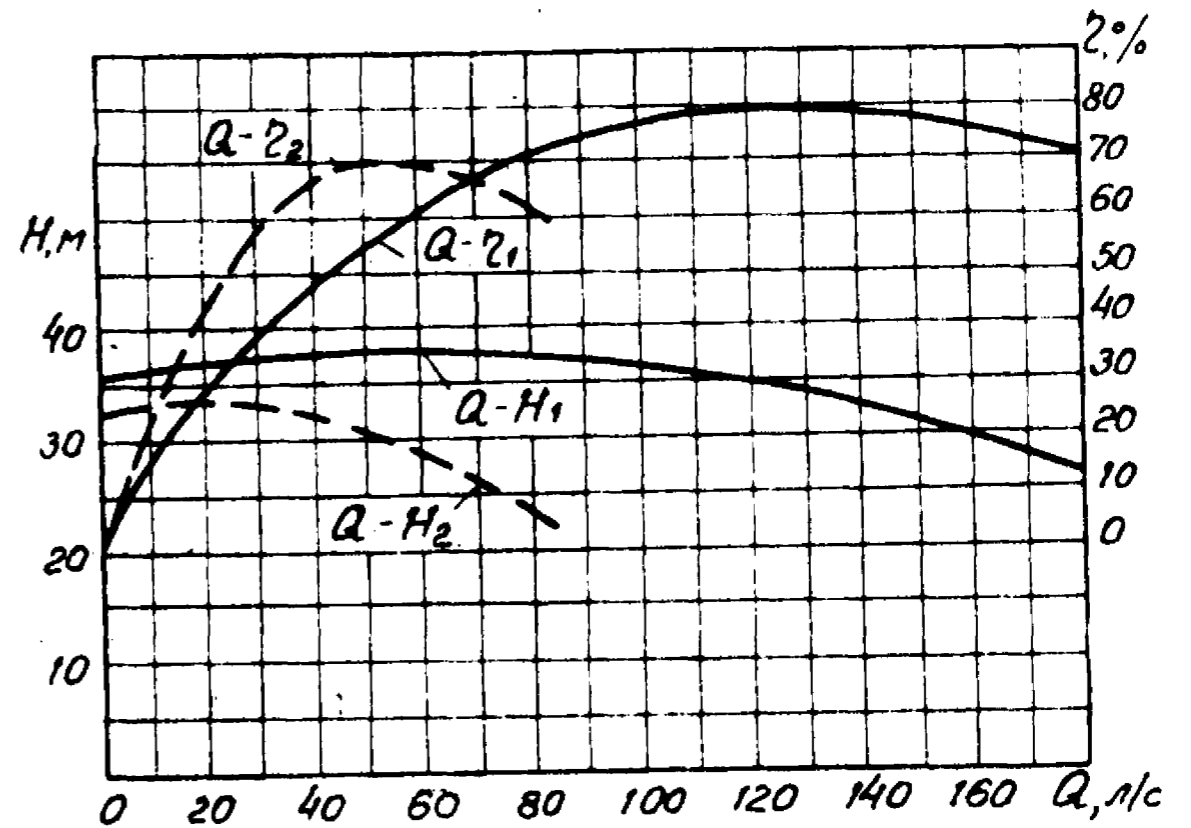


Рис. 38. Характеристики центробежных насосов:

1 — Д500-36,6; 2 — Д200-36,6

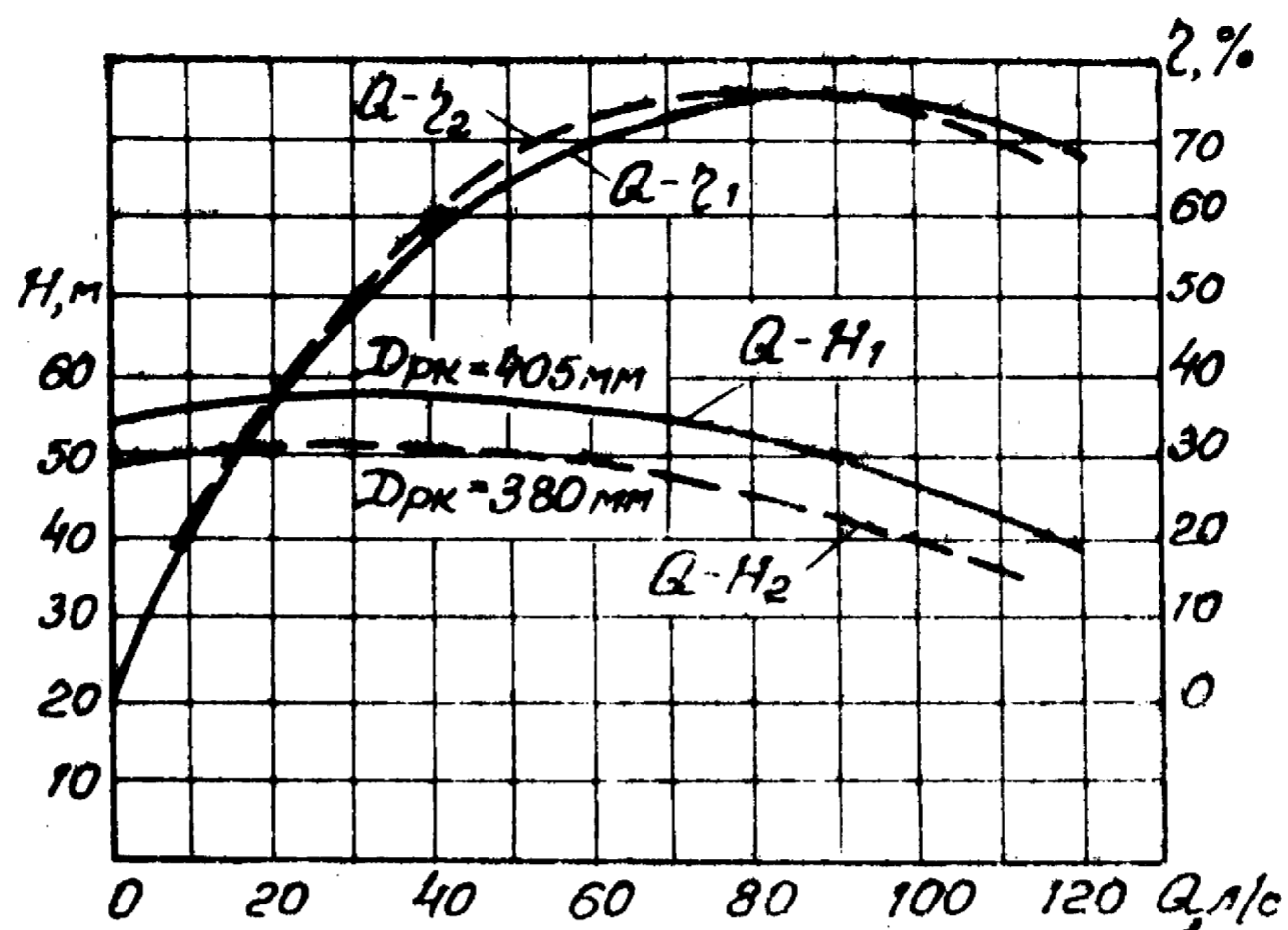


Рис. 39. Характеристика центробежного насоса Д320-50:

- 1 — с рабочим колесом  $D_{p.k.} = 405$  мм;  
2 — с рабочим колесом  $D_{p.k.} = 380$  мм

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при их совместной работе.

Ответ:  $Q_{1+2} = 210$  л/с;  $H_{1+2} = 41,6$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:

$$Q_1 = 117,7 \text{ л/с}; H_1 = 41,6 \text{ м}; \eta_{n_1} = 0,69; N_{n_1} = 69,6 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 92,3 \text{ л/с}; H_2 = 41,6 \text{ м}; \eta_{n_2} = 0,74; N_{n_2} = 50,9 \text{ кВт}.$$

**Задача 30.** Три разных центробежных насоса: 1 — марки 4К-90/30, б; 2 — марки 4К-90/20, 3 — марки 6К-160/30, б, работая параллельно, подают воду из реки на очистные сооружения. Характеристика системы трубопроводов задана уравнением  $H_{тр} = H_{г} + S_{тр}Q^2$ , в котором геометрическая высота подъема воды  $H_{г} = 12$  м, числовое значение гидравлического сопротивления трубопроводов  $S_{тр} = 850$  для  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Насосы расположены на одной насосной станции, их характеристики приведены на рис. 40.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2+3}$  и развиваемый напор  $H_{1+2+3}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при их совместной работе.

Ответ:  $Q_{1+2+3} = 113$  л/с;  $H_{1+2+3} = 22,8$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:

$$Q_1 = 32,6 \text{ л/с}; H_1 = 22,8 \text{ м}; \eta_{n_1} = 0,70; N_{n_1} = 10,4 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 24,2 \text{ л/с}; H_2 = 22,8 \text{ м}; \eta_{n_2} = 0,80; N_{n_2} = 6,8 \text{ кВт};$$

$$Q_3 = 56,2 \text{ л/с}; H_3 = 22,8 \text{ м}; \eta_{n_3} = 0,70; N_{n_3} = 17,9 \text{ кВт}.$$

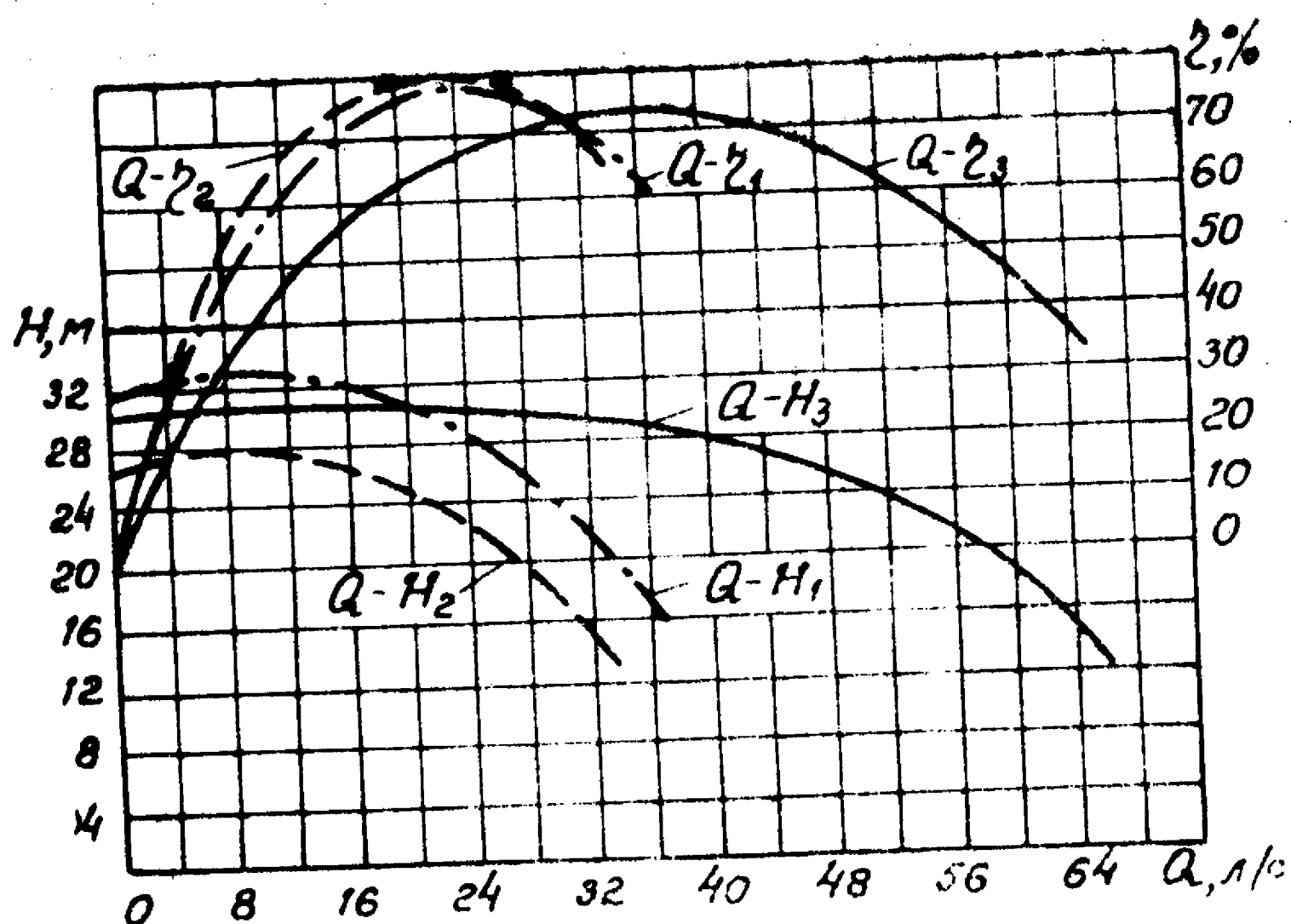


Рис. 40. Характеристики центробежных насосов:  
 1 — 4К-90/30,6; 2 — 4К-90/20; 3 — 6К-160/30,6

### 2.3. Определение параметров параллельной работы центробежных насосов при длинном соединительном трубопроводе

**Пример 8.** Два одинаковых центробежных насоса Д320-70, б, работая параллельно, подают воду в напорный резервуар по схеме, приведенной на рис. 41, а. Насос 1 удален от насоса 2 на значительное расстояние и соединен с ним стальным трубопроводом диаметром  $d_{H_1} = 200$  мм и длиной  $l_{H_1} = 260$  м. Линия от насоса 2 до точки *N* устроена также из стальных труб  $d_{H_2} = 200$  мм и  $l_{H_2} = 130$  м. Диаметры и длины всасывающих линий из стальных труб одинаковы:  $d_{вс_1} = d_{вс_2} = 200$  мм и  $l_{вс_1} = l_{вс_2} = 30$  м. Диаметр общей напорной линии *NP* из чугунных труб  $d_{H_3} = 250$  мм, длина  $l_{H_3} = 1250$  м. Оба насоса забирают воду из источника, горизонт воды в котором  $Z_{гнв} = 40$  м. Отметка выливного отверстия напорной линии в резервуаре  $Z_p = 81$  м. Характеристики насосов одинаковые, представлены на рис. 41, б.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ ; определить также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при их совместной работе.

**Решение.** В связи с тем, что насосы 1 и 2 удалены друг от друга на значительное расстояние, сопротивления в линиях *BN* и *CN* пренебречь нельзя. Насосы могут работать в общую напорную линию *NP* только при равных напорах в точке встречи потоков *N*. Поэтому для построения суммар-

ной характеристики параллельной работы этих насосов необходимо предварительно построить их приведенные характеристики относительно точки  $N$ .

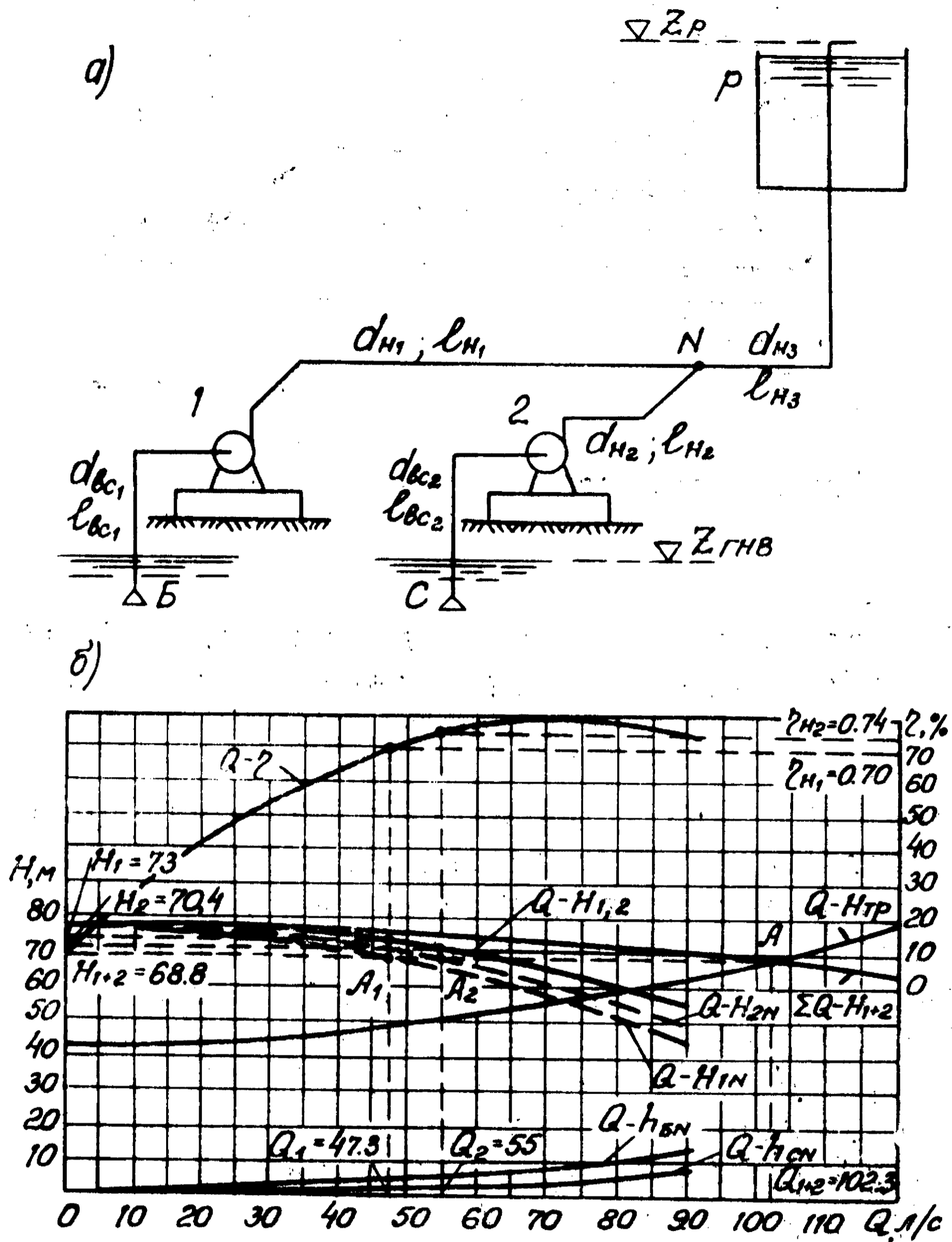


Рис. 41. Схема системы подачи воды с расположением насосов на значительном расстоянии друг от друга (а); характеристики центробежных насосов Д320-70, б и системы трубопроводов (б)

Для получения характеристик насосов 1 и 2, отнесенных к точке  $N$ :  $Q-H_{1N}$  и  $Q-H_{2N}$ , — определяются потери напора в линиях  $BN$  и  $CN$  по формулам:

$$h_{BN} = (1,1A_{BC1} \cdot l_{BC1} \cdot K_{BC1} + 1,05A_{H1} l_{H1} K_{H1}) \cdot Q^2;$$

$$h_{CN} = (1,1A_{BC2} \cdot l_{BC2} \cdot K_{BC2} + 1,05A_{H2} l_{H2} K_{H2}) \cdot Q^2.$$

После замены буквенных выражений числовыми формулы примут вид:

$$h_{BN} = (1,1 \cdot 5,149 \cdot 30 \cdot K_{BC_1} + 1,05 \cdot 5,149 \cdot 260 \cdot K_{H_1}) \cdot Q^2 = \\ = (169,9K_{BC_1} + 1405,6K_{H_1}) \cdot Q^2;$$

$$h_{CN} = (1,1 \cdot 5,149 \cdot 30 \cdot K_{BC_2} + 1,05 \cdot 5,149 \cdot 130 \cdot K_{H_2}) \cdot Q^2 = \\ = (169,9K_{BC_2} + 702,8K_{H_2}) \cdot Q^2.$$

Потери напора в линиях  $BN$  и  $CN$  при разных расходах приведены в таблице.

$q$ , л/с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$v_{BC_1} = v_{BC_2} = \\ = v_{H_1} = v_{H_2}$ , м/с	$K_{BC_1} = K_{BC_2} = \\ = K_{H_1} = K_{H_2}$	$h_{BN}$ , м	$h_{CN}$ , м
0	0	0	0	0	0
10	0,010	0,29	1,170	0,18	0,10
20	0,020	0,58	1,059	0,67	0,37
30	0,030	0,87	1,014	1,44	0,80
40	0,040	1,17	0,989	2,49	1,38
50	0,050	1,46	0,970	3,82	2,12
60	0,060	1,75	0,960	5,44	3,02
70	0,070	2,04	0,949	7,33	4,06
80	0,080	2,33	0,942	9,50	5,26
90	0,090	2,62	0,936	11,94	6,12

По полученным значениям  $Q$ ,  $h_{BN}$  и  $h_{CN}$  строятся кривые  $Q-h_{BN}$  и  $Q-h_{CN}$  на графике характеристик насосов (рис. 41, б).

Строятся приведенные к точке  $N$  характеристики каждого насоса  $Q-H_{1N}$  и  $Q-H_{2N}$  путем уменьшения ординат характеристик насосов  $Q-H_1$  и  $Q-H_2$  на величину ординат (потерь напора) кривых сопротивлений  $Q-h_{BN}$  и  $Q-h_{CN}$  при одинаковых расходах.

Для определения расхода, подаваемого двумя параллельно работающими насосами в общий напорный трубопровод, строится суммарная характеристика  $\Sigma Q-H_{1+2}$ . Для этого складываются расходы (абсциссы) приведенных характеристик  $Q-H_{1N}$  и  $Q-H_{2N}$  при равных напорах и находится точка пересечения суммарной характеристики  $\Sigma Q-H_{1+2}$  с характеристикой общего напорного трубопровода  $Q-H_{тр}$ .

Характеристика общего напорного трубопровода от точки  $N$  до резервуара выражается уравнением:

$$H_{\text{тр}_3} = H_r + 1,05 A_{\text{н}_3} l_{\text{н}_3} K_{\text{н}_3} Q^2 = 41 + 1,05 \cdot 2,299 \cdot 1250 \cdot K_{\text{н}_3} Q^2 = \\ = 41 + 3017,4 \cdot K_{\text{н}_3} Q^2.$$

Результаты вычислений  $H_{\text{тр}_3}$  представлены в таблице.

$q$ , л/с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$v_{\text{н}_3}$ , м/с	$K_{\text{н}_3}$	$H_{\text{тр}_3}$ , м
0	0	0	—	41
10	0,01	0,19	1,470	41,44
20	0,02	0,40	1,226	42,48
30	0,03	0,60	1,115	44,03
40	0,04	0,80	1,047	46,05
50	0,05	0,99	1,003	48,57
60	0,06	1,19	0,968	51,52
70	0,07	1,39	0,940	54,90
80	0,08	1,59	0,918	58,73
90	0,09	1,79	0,900	63,00
100	0,10	1,99	0,885	67,70
110	0,11	2,18	0,873	72,87
120	0,12	2,39	0,862	78,45

По полученным значениям  $Q$  и  $H_{\text{тр}}$  строится характеристика общего напорного трубопровода  $Q-H_{\text{тр}_3}$  с учетом полной геометрической высоты подъема воды насосами  $H_r=31$  м.

Точкой пересечения суммарной характеристики насосов  $\Sigma Q-H_{1+2}$  с характеристикой общего напорного трубопровода  $Q-H_{\text{тр}_3}$  будет точка  $A$ , которой соответствует суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}=102,3$  л/с и развиваемый напор  $H_{1+2}=68,8$  м.

Параметры каждого насоса при их совместной работе определяются по точкам  $A_1$  и  $A_2$  и составляют:

насос 1 —  $Q_1=47,3$  л/с;  $H_1=73$  м;  $\eta_{\text{н}_1}=0,7$ ;  $N_{\text{н}_1}=48,4$  кВт;

насос 2 —  $Q_2=55$  л/с;  $H_2=70,4$  м;  $\eta_{\text{н}_2}=0,74$ ;  $N_{\text{н}_2}=51,3$  кВт.

**Задача 31.** Два одинаковых центробежных насоса 8К-290/25 подают воду из водозаборного колодца на очистные сооружения. Насосы расположены на значительном расстоянии друг от друга. Первый насос отстоит от общего напорного

трубопровода на расстоянии  $l_{н_1} = 280$  м и соединен с ним напорной линией из стальных труб  $d_{н_1} = 200$  мм. Второй насос отстоит от общего напорного трубопровода на расстоянии  $l_{н_2} = 190$  м и соединен с ним также напорной линией из стальных труб  $d_{н_2} = 200$  мм. Общий напорный трубопровод из стальных труб диаметром  $d_{н_3} = 250$  мм имеет длину  $l_{н_3} = 350$  м. Геометрическая высота подъема воды обоими насосами одинакова и составляет  $H_r = 10$  м. Всасывающие линии у насосов одинаковые и короткие, поэтому сопротивлениями в них можно пренебречь. Характеристика насоса приведена на рис. 42.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе.

**Ответ:**  $Q_{1+2} = 142$  л/с;  $H_{1+2} = 24,4$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = 68$  л/с;  $H_1 = 31$  м;  $\eta_{н_1} = 0,80$ ;  $N_{н_1} = 25,8$  кВт;  $Q_2 = 74$  л/с;  $H_2 = 30$  м;  $\eta_{н_2} = 0,81$ ;  $N_{н_2} = 26,9$  кВт.

**Задача 32.** Два одинаковых центробежных насоса Д320-50, работая параллельно, подают воду из источника водоснабжения в водонапорную башню. Первый насос удален от второго и по соединительной линии из стальных труб диаметром  $d_{н_1} = 200$  мм и длиной  $l_{н_1} = 310$  м подает воду к общему напорному трубопроводу. В ту же точку подает воду и второй насос, расположенный от нее на близком расстоянии. Поэтому потерями напора в линии от второго насоса до общей точки напорного трубопровода можно пренебречь. Характеристика общего напорного трубопровода задана уравнением  $H_{тр} = H_r + S_{тр}Q^2$ . Числовое значение величины гидравлического сопротивления общего напорного трубопровода  $S_{тр} = 670$  для расхода  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Геометрическая высота подъема воды насосами  $H_r = 35$  м. Сопротивления во всасывающих линиях не учитывать ввиду их малости. Характеристика насоса приведена на рис. 43.

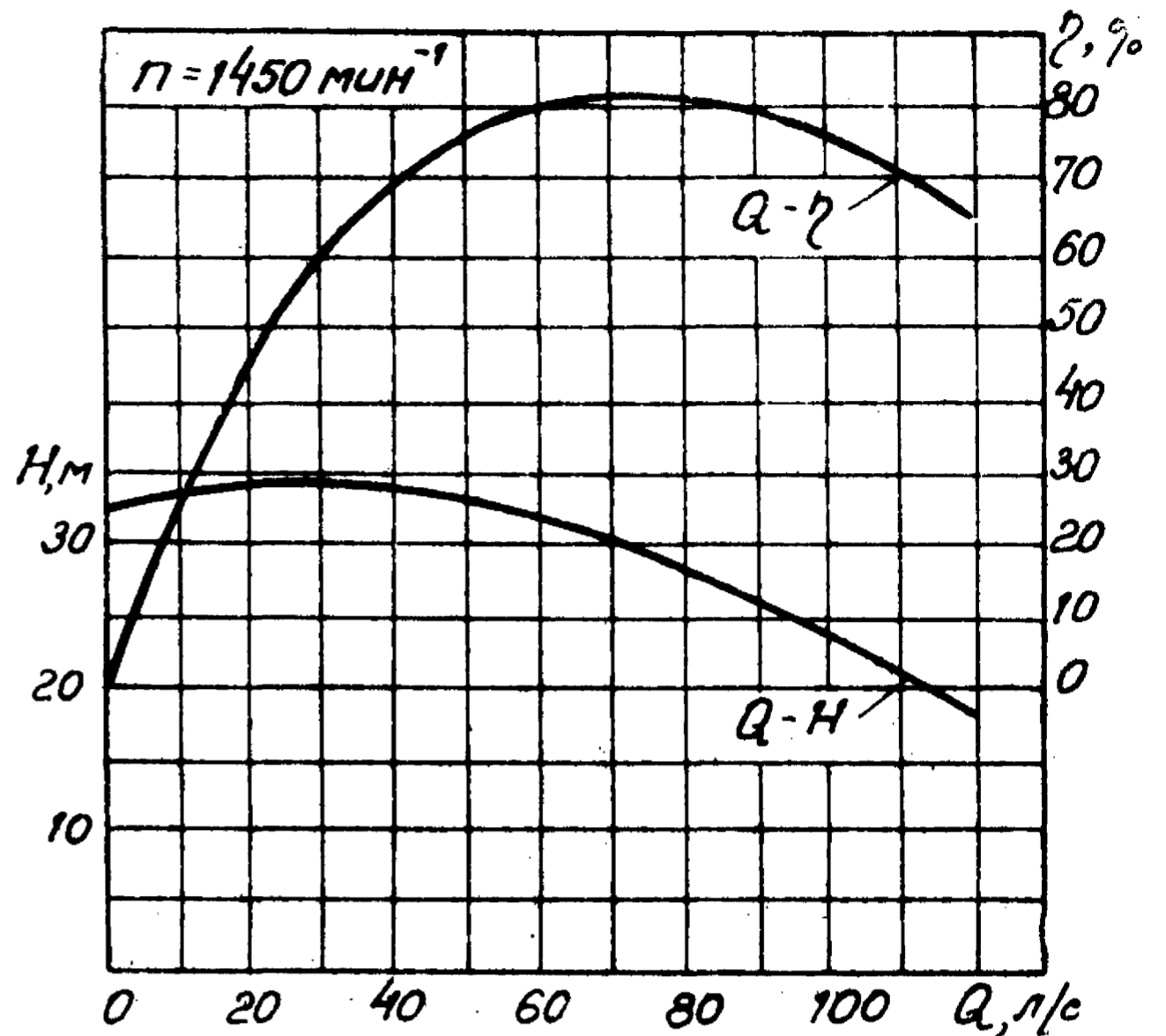


Рис. 42. Характеристика центробежного насоса 8К-290/25



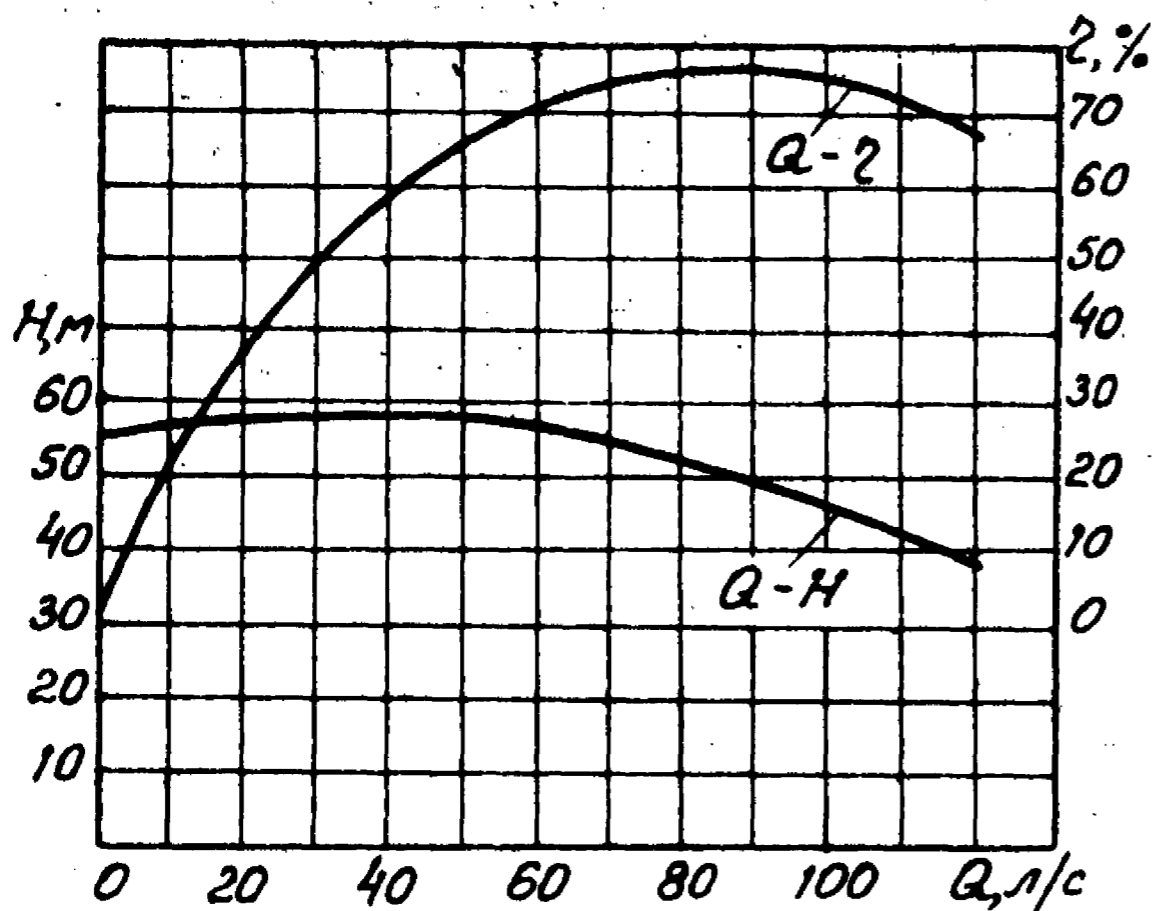


Рис. 43. Характеристика центробежного насоса Д320-50

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе.

Ответ:  $Q_{1+2} = 150$  л/с;  $H_{1+2} = 50,1$  м; каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = 61$  л/с;  $H_1 = 54,9$  м;  $\eta_{n_1} = 0,7$ ;  $N_{n_1} = 46,9$  кВт;  $Q_2 = 89$  л/с;  $H_2 = 50,1$  м;  $\eta_{n_2} = 0,74$ ;  $N_{n_2} = 59,1$  кВт.

**Задача 33.** Два разных центробежных насоса 4К-90/30, б и 6К-160/30, б, работая параллельно, подают воду на очистные сооружения. Первый насос отстоит от второго и от общей напорной линии на расстоянии  $l_{n_1} = 500$  м и соединен стальной трубой диаметром  $d_{n_1} = 200$  мм. Всасывающие линии у насосов имеют небольшую длину, поэтому сопротивлениями в них можно пренебречь. Общая напорная линия уложена из чугунных труб диаметром  $d_n = 250$  мм и длиной  $l_n = 1250$  м. Второй насос расположен на близком расстоянии от общей напорной линии. Уровень воды в источнике у обоих насосов одинаковый. Геометрическая высота подъема воды насосами  $H_r = 12$  м. Характеристики насосов приведены на рис. 44.

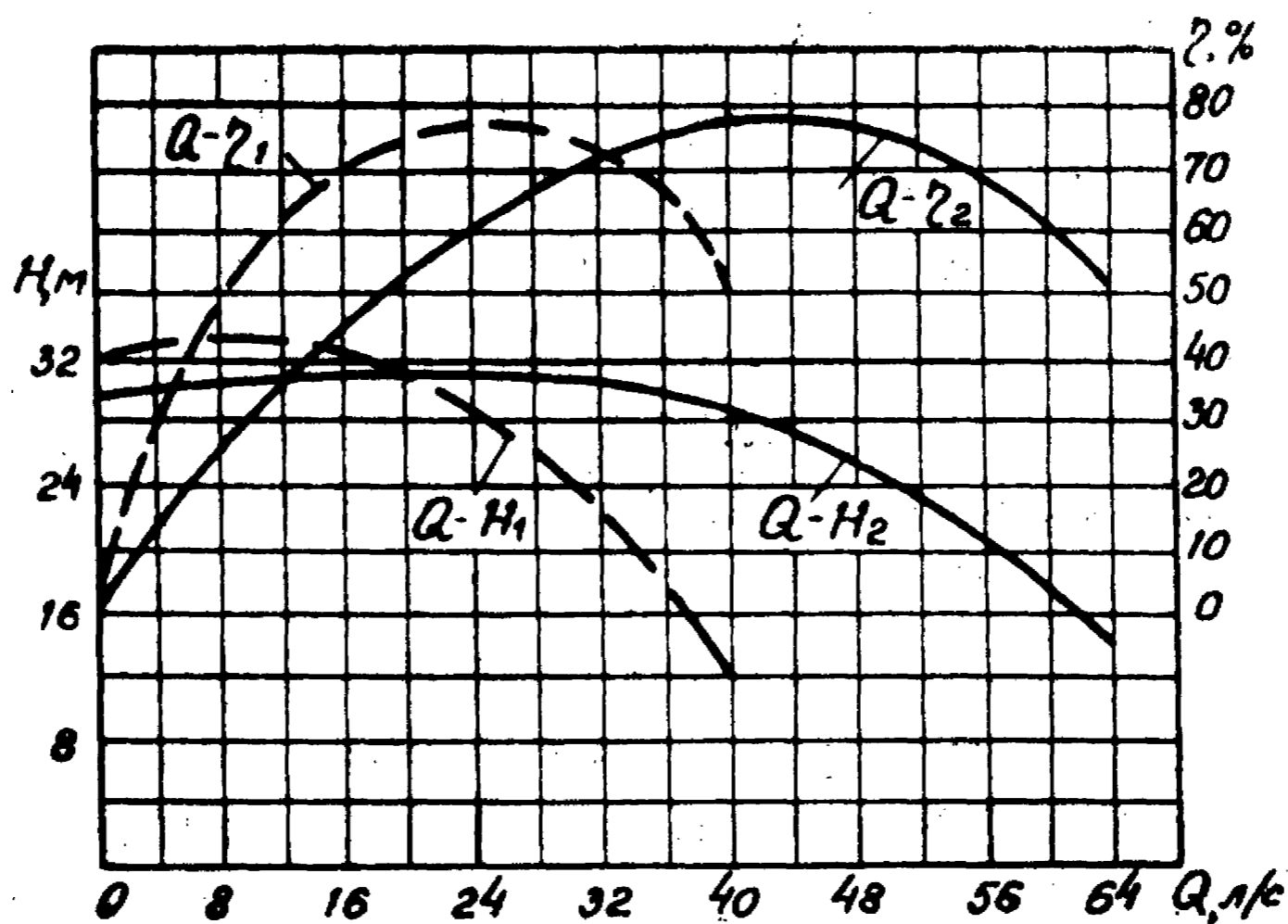


Рис. 44. Характеристики центробежных насосов:

1 — 4К-90/30; 2 — 6К-160/30,б

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе и в случае работы каждого из них отдельно.

Ответ:  $Q_{1+2} = 73,4$  л/с;  $H_{1+2} = 27,1$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:

$$Q_1 = 25,6 \text{ л/с}; H_1 = 28,4 \text{ м}; \eta_{n_1} = 0,78; N_{n_1} = 9,1 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 47,8 \text{ л/с}; H_2 = 27,1 \text{ м}; \eta_{n_2} = 0,77; N_{n_2} = 16,5 \text{ кВт}.$$

Каждый насос при раздельной работе имеет параметры:

$$Q'_1 = 37,2 \text{ л/с}; H'_1 = 16,5 \text{ м}; \eta'_{n_1} = 0,64; N'_{n_1} = 9,4 \text{ кВт};$$

$$Q'_2 = 56,9 \text{ л/с}; H'_2 = 21,6 \text{ м}; \eta'_{n_2} = 0,68; N'_{n_2} = 17,7 \text{ кВт}.$$

**Задача 34.** Два разных центробежных насоса 6К-160/30 и Д200-36 подают воду в систему, работая параллельно (рис. 45, а). Первый насос удален от общей напорной линии (т. N) на расстояние  $l_{n_1} = 290$  м и соединен стальной трубой диаметром  $d_{n_1} = 200$  мм. Вторым насос расположен на близком расстоянии от точки N. Общая напорная линия от точки N до напорного резервуара уложена в две линии из чугунных труб одинакового диаметра  $d_n = 200$  мм и длиной  $l_n = 600$  м каждая. Потери напора во всасывающих линиях ввиду их малости можно пренебречь. Геометрическая высота подъема воды насосами  $H_r = 18$  м. Характеристики насосов приведены на рис. 45, б.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе.

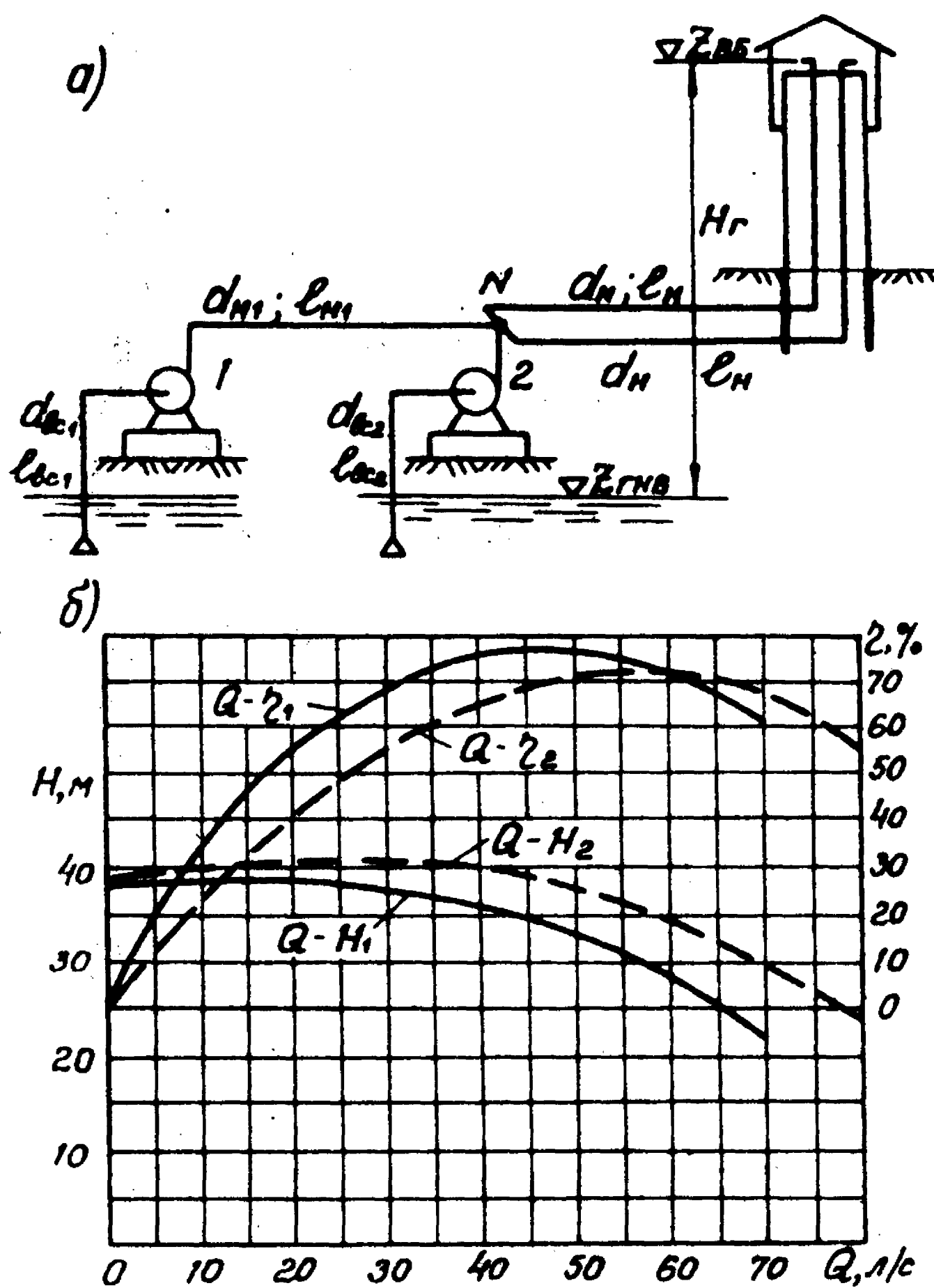


Рис. 45. Схема системы подачи воды (а); характеристики центробежных насосов (б):

1 — 6К-160/30; 2 — Д200-36

Ответ:  $Q_{1+2} = 117$  л/с;  $H_{1+2} = 31,2$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:

$$Q_1 = 49 \text{ л/с}; H_1 = 34,9 \text{ м}; \eta_{H_1} = 0,78; N_{H_1} = 21,5 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 68 \text{ л/с}; H_2 = 31,2 \text{ м}; \eta_{H_2} = 0,69; N_{H_2} = 30,1 \text{ кВт}.$$

**Задача 35.** Три разных центробежных насоса: 1 — 4К-90/30, б, 2 — 4К-90/20, 3 — 6К-160/30, б, работая параллельно, подают воду в напорный резервуар по схеме, приведенной на рис. 46. Характеристики насосов приведены на рис. 40. Геометрическая высота подъема воды всеми насосами одинакова и составляет  $H_r = 16$  м. Всасывающие линии у насосов короткие, поэтому сопротивлениями в них можно пренебречь. Напорные линии устроены из стальных труб и имеют следующие размеры:  $d_{H_1} = 150$  мм и  $l_{H_1} = 190$  м;  $d_{H_2} = 150$  мм и  $l_{H_2} = 120$  м;  $d_{H_3} = 200$  мм и  $l_{H_3} = 400$  м.

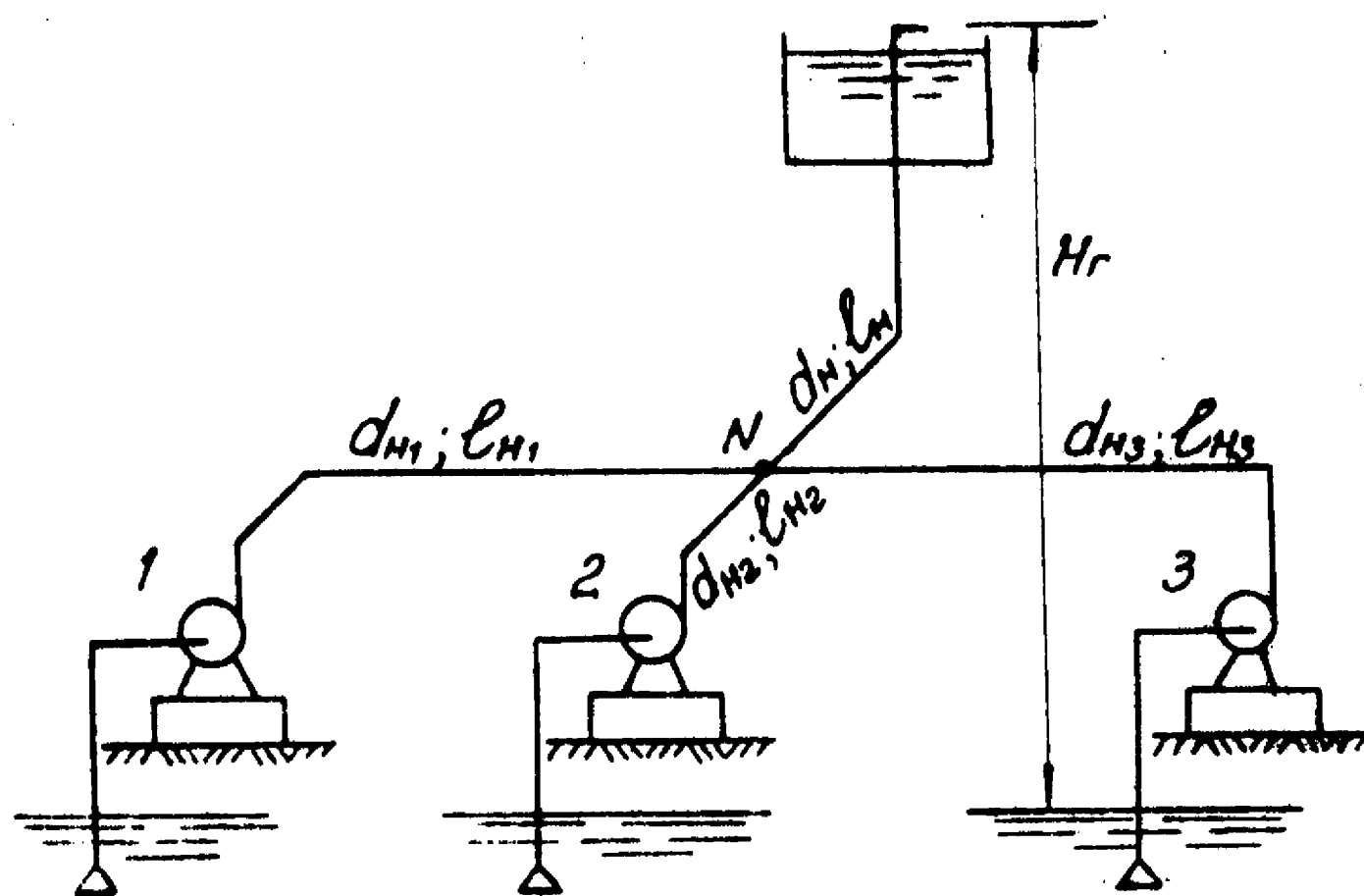


Рис. 46. Схема системы подачи воды тремя разными центробежными насосами, расположенными на значительном расстоянии друг от друга

Общий напорный трубопровод из чугунных труб  $d_H = 300$  мм имеет длину  $l_H = 420$  м.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2+3}$  и развиваемый напор  $H_{1+2+3}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_H$  и  $N_H$  для каждого насоса при их совместной работе и в случае работы каждого из них отдельно.

Ответ:  $Q_{1+2+3} = 108$  л/с;  $H_{1+2+3} = 20$  м.

Параметры каждого насоса при совместной работе:

насос 1 —  $Q_1 = 32,2$  л/с;  $H_1 = 22,4$  м;  $\eta_{H_1} = 0,71$ ;  $N_{H_1} = 10,0$  кВт;

насос 2 —  $Q_2 = 24,5$  л/с;  $H_2 = 19,2$  м;  $\eta_{H_2} = 0,80$ ;  $N_{H_2} = 5,8$  кВт;

насос 3 —  $Q_3 = 51,3$  л/с;  $H_3 = 23,8$  м;  $\eta_{H_3} = 0,64$ ;  $N_{H_3} = 18,7$  кВт.

Параметры каждого насоса при работе отдельно:

насос 1 —  $Q'_1 = 36,1$  л/с;  $H'_1 = 16,6$  м;  $\eta'_{н_1} = 0,62$ ;  $N'_{н_1} = 9,5$  кВт;

насос 2 —  $Q'_2 = 30,8$  л/с;  $H'_2 = 16,4$  м;  $\eta'_{н_2} = 0,73$ ;  $N'_{н_2} = 24,4$  кВт;

насос 3 —  $Q'_3 = 61,6$  л/с;  $H'_3 = 17,4$  м;  $\eta'_{н_3} = 0,43$ ;  $N'_{н_3} = 24,4$  кВт.

#### 2.4. Определение параметров параллельной работы центробежных насосов, принимающих воду с различных горизонтов

**Пример 9.** Два разных центробежных насоса Д200-95, б и 4К-90/87, работая параллельно, принимают воду из двух источников, имеющих различные горизонты, и подают ее по общему напорному трубопроводу в резервуар. Первый насос удален от второго и по соединительной линии из стальных труб диаметром  $d_{н_1} = 200$  мм и длиной  $l_{н_1} = 800$  м подает воду к общему напорному трубопроводу в точку  $N$ . В точку  $N$  подает воду и второй насос, который расположен вблизи от нее. Общий напорный трубопровод устроен из чугунных труб диаметром  $d_{н} = 250$  мм и длиной  $l_{н} = 2500$  м. Отметка горизонта воды у первого насоса  $Z_{гнв_1} = 30$  м, у второго  $Z_{гнв_2} = 40$  м. Отметка выливного отверстия напорной трубы в резервуаре  $Z_p = 70$  м. Сопротивления во всасывающих линиях ввиду их малости можно пренебречь. Схема системы подачи воды и характеристики насосов приведены на рис. 47.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе.

**Решение.** На общий график наносятся характеристики  $Q-H_1$  и  $Q-H_2$  обоих насосов, для каждого насоса от своей оси абсцисс. Так как разность горизонтов воды в источниках составляет  $Z_{гнв_1} - Z_{гнв_2} = 40 - 30 = 10$  м, то ось абсцисс 2-го насоса  $O_2-O_2$  будет расположена на 10 м выше оси абсцисс 1-го насоса  $O_1-O_1$ . В связи с тем, что насос 1 удален на значительное расстояние от общего напорного трубопровода (от т.  $N$ ), необходимо предварительно построить его приведенную характеристику относительно точки  $N$ .

Для получения характеристики насоса 1, отнесенной к точке  $N$ , определяются потери напора в соединительной линии по формуле:

$$\begin{aligned} h &= 1,05 \cdot A_{н_1} \cdot l_{н_1} \cdot K_{н_1} \cdot Q^2 = 1,05 \cdot 5,149 \cdot 800 \cdot K_{н_1} \cdot Q^2 = \\ &= 4325,2 K_{н_1} \cdot Q^2. \end{aligned}$$

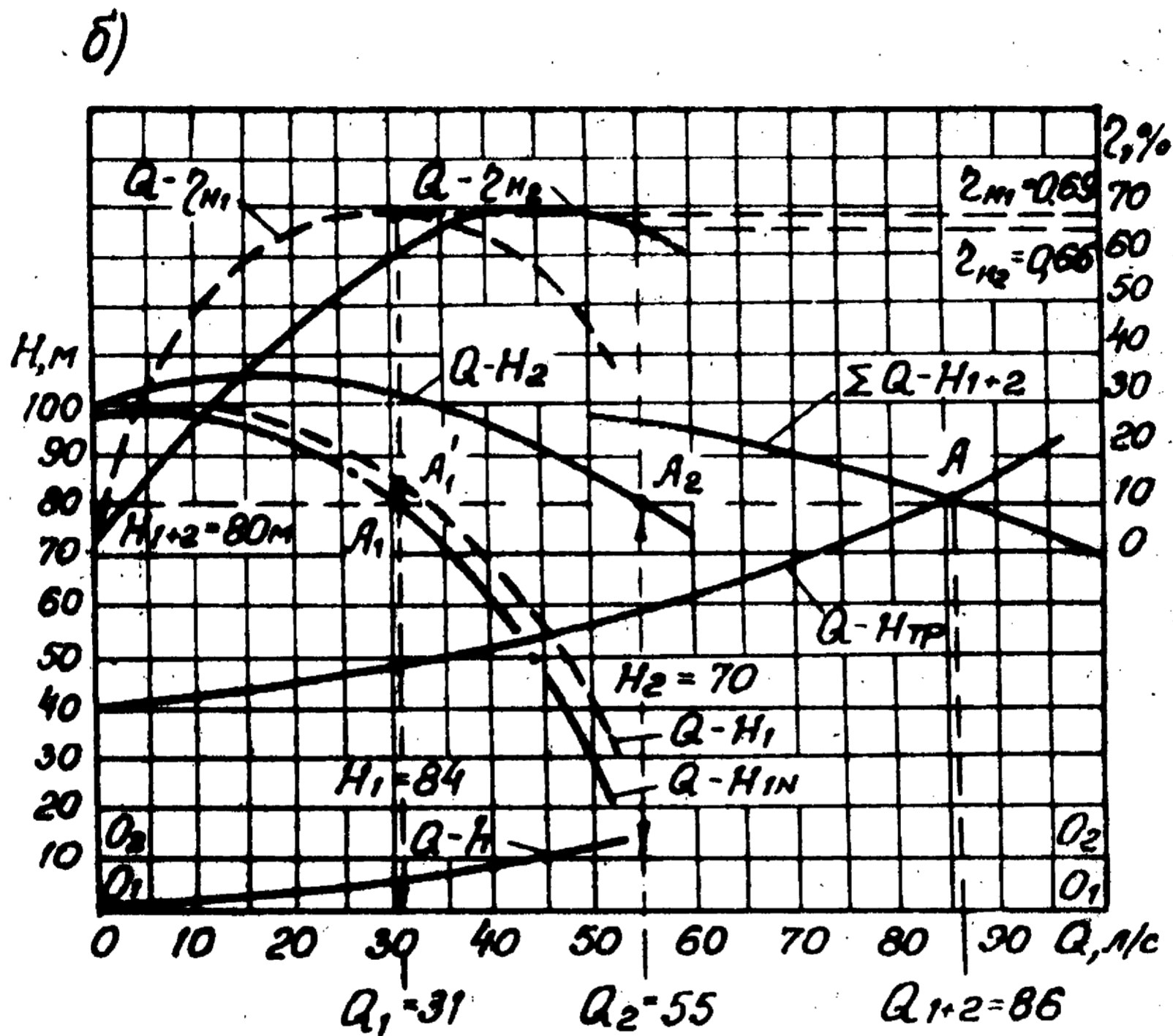
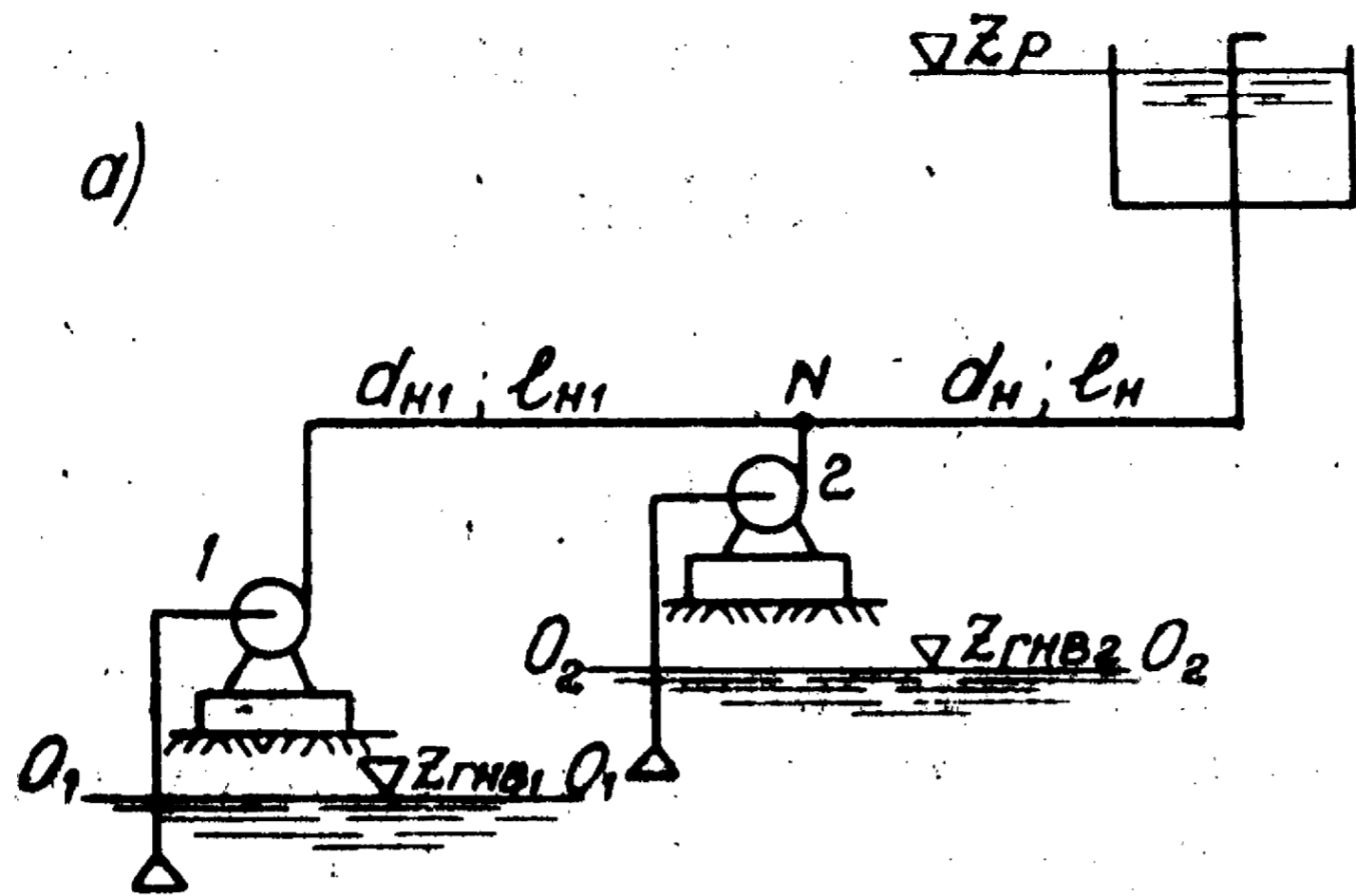


Рис. 47. Схема системы подачи воды двумя разными центробежными насосами, принимающими воду с разных горизонтов (а); характеристики центробежных насосов (б):

1 — Д200-95,6; 2 — 4К-90/87

Потери напора  $h$  в соединительной линии при разных расходах приведены в таблице.

$q$ , л/с	$Q$ , м³/с	$v_{H_1}$ , м/с	$K_{H_1}$	$h$ , м
0	0	0	—	0
10	0,01	0,29	1,17	0,51
20	0,02	0,58	1,059	1,83
30	0,03	0,87	1,014	3,95
40	0,04	1,17	0,989	6,84
50	0,05	1,46	0,97	10,49

По полученным значениям  $Q$  и  $h$  строится кривая  $Q-h$  на графике характеристики насоса (рис. 46, б).

Вычитанием из ординат характеристики  $Q-H_1$  ординат кривой  $Q-h$  при соответственных расходах находятся точки приведенной характеристики  $Q-H_{1N}$  насоса 1.

Суммированием абсцисс характеристик  $Q-H_2$  и  $Q-H_{1N}$  при равных напорах находятся точки суммарной характеристики  $\Sigma Q-H_{1+2}$  параллельной работы первого и второго насосов.

Характеристика общего напорного трубопровода от точки до резервуара выражается уравнением:

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + 1,05 \cdot A_{\text{н}} \cdot l_{\text{н}} \cdot K_{\text{н}} \cdot Q^2 = \\ = 40 + 1,05 \cdot 2,299 \cdot 2500 \cdot K_{\text{н}} \cdot Q^2 = 40 + 6034,9 K_{\text{н}} \cdot Q^2.$$

Результаты вычислений  $H_{\text{тр}}$  представлены в таблице.

$q$ , л/с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$v_{\text{н}}$ , м/с	$K_{\text{н}}$	$H_{\text{тр}}$ , м
0	0	0	—	40
10	0,01	0,19	1,47	40,88
20	0,02	0,40	1,226	42,96
30	0,03	0,60	1,115	46,06
40	0,04	0,80	1,047	50,11
50	0,05	0,99	1,003	55,13
60	0,06	1,19	0,968	61,03
70	0,07	1,39	0,940	67,8
80	0,08	1,59	0,918	75,46
90	0,09	1,79	0,90	84,0

По полученным значениям  $Q$  и  $H_{\text{тр}}$  строится характеристика общего напорного трубопровода.

Характеристика общего напорного трубопровода  $Q-H_{\text{тр}}$  пересекается с суммарной характеристикой насосов  $\Sigma Q-H_{1+2}$  в точке  $A$ , являющейся точкой работы насосов. Этой точке соответствует суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2} = 86$  л/с и развиваемый напор  $H_{1+2} = 80$  м.

Точке  $A_1$  соответствуют параметры насоса 1:

$$Q_1 = 31 \text{ л/с}; H_1 = 84 \text{ м}; \eta_{\text{н}_1} = 0,69; N_{\text{н}_1} = 37 \text{ кВт}.$$

Точке  $A_2$  соответствуют параметры насоса 2:

$$Q_2 = 55 \text{ л/с}; H_2 = 70 \text{ м}; \eta_{\text{н}_2} = 0,66; N_{\text{н}_2} = 57,2 \text{ кВт}.$$

**Задача 36.** Два одинаковых центробежных насоса Д500-65, работая параллельно, принимают воду из двух источников, имеющих различные горизонты, и подают ее по общему трубопроводу в напорный резервуар. Схема системы подачи воды приведена на рис. 47, а, характеристика насоса — на рис. 48. Первый насос удален от второго и по соединительной линии из стальных труб диаметром  $d_{н1} = 350$  мм и длиной  $l_{н1} = 1275$  м подает воду к общему напорному трубопроводу в точку  $N$ . В ту же точку подает воду и второй насос, который расположен вблизи от нее. Общий напорный трубопровод устроен из чугунных труб диаметром  $d_{н} = 450$  мм и длиной  $l_{н} = 3000$  м. Отметка горизонта воды у первого насоса  $Z_{гнв1} = 20$  м, у второго  $Z_{гнв2} = 30$  м. Отметка выливного отверстия напорной трубы в резервуаре  $Z_p = 50$  м. Сопротивления во всасывающих линиях ввиду их малости можно пренебречь.

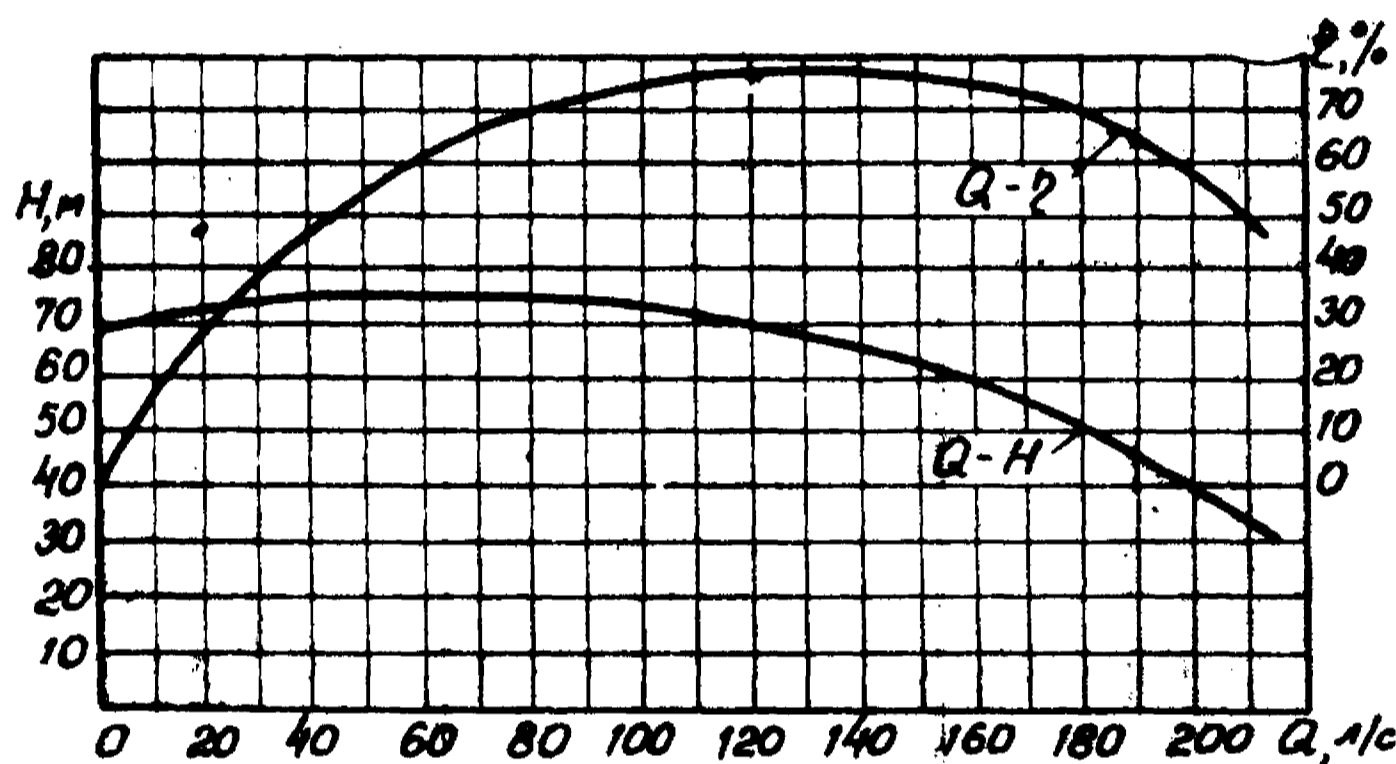


Рис. 48. Характеристика центробежного насоса Д500-65

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе и в случае работы каждого из них отдельно.

Ответ:  $Q_{1+2} = 315$  л/с;  $H_{1+2} = 61,4$  м.

Параметры каждого насоса при совместной работе:

насос 1 —  $Q_1 = 130$  л/с;  $H_1 = 69$  м;  $\eta_{н1} = 0,77$ ;  $N_{н1} = 114,2$  кВт;

насос 2 —  $Q_2 = 185$  л/с;  $H_2 = 51,4$  м;  $\eta_{н2} = 0,68$ ;  $N_{н2} = 163,8$  кВт.

Параметры каждого насоса при работе отдельно:

насос 1 —  $Q'_1 = 179$  л/с;  $H'_1 = 41,2$  м;  $\eta'_{н1} = 0,70$ ;  $N'_{н1} = 103,3$  кВт;

насос 2 —  $Q'_2 = 213$  л/с;  $H'_2 = 35,3$  м;  $\eta'_{н2} = 0,46$ ;  $N'_{н2} = 160,2$  кВт.

**Задача 37.** В резервуар по двум напорным трубопроводам, устроенным из чугунных труб одинакового диаметра  $d=250$  мм и длиной по  $l=240$  м, подается вода двумя разными насосами Д200-36 и Д320-50, б. Первым насосом вода принимается из источника, уровень воды в котором находится на отметке  $Z_{гнв_1}=20$  м, вторым — из источника, уровень воды которого имеет отметку  $Z_{гнв_2}=25$  м. Первый насос удален от общих напорных трубопроводов (от т.  $N$ ) на расстояние  $l_{н_1}=161,5$  м и имеет соединительную линию из стальных труб диаметром  $d_{н_1}=200$  мм. Второй насос также удален от точки  $N$  и соединяется с общими напорными трубопроводами соединительной линией из стальных труб диаметром  $d_{н_2}=200$  мм и длиной  $l_{н_2}=291,5$  м. Выливные отверстия общих напорных труб в резервуаре располагаются на отметке  $Z_p=40$  м. Схема системы подачи воды и характеристики насосов приведены на рис. 49. Потерей напора во всасывающих линиях ввиду их малости можно пренебречь.

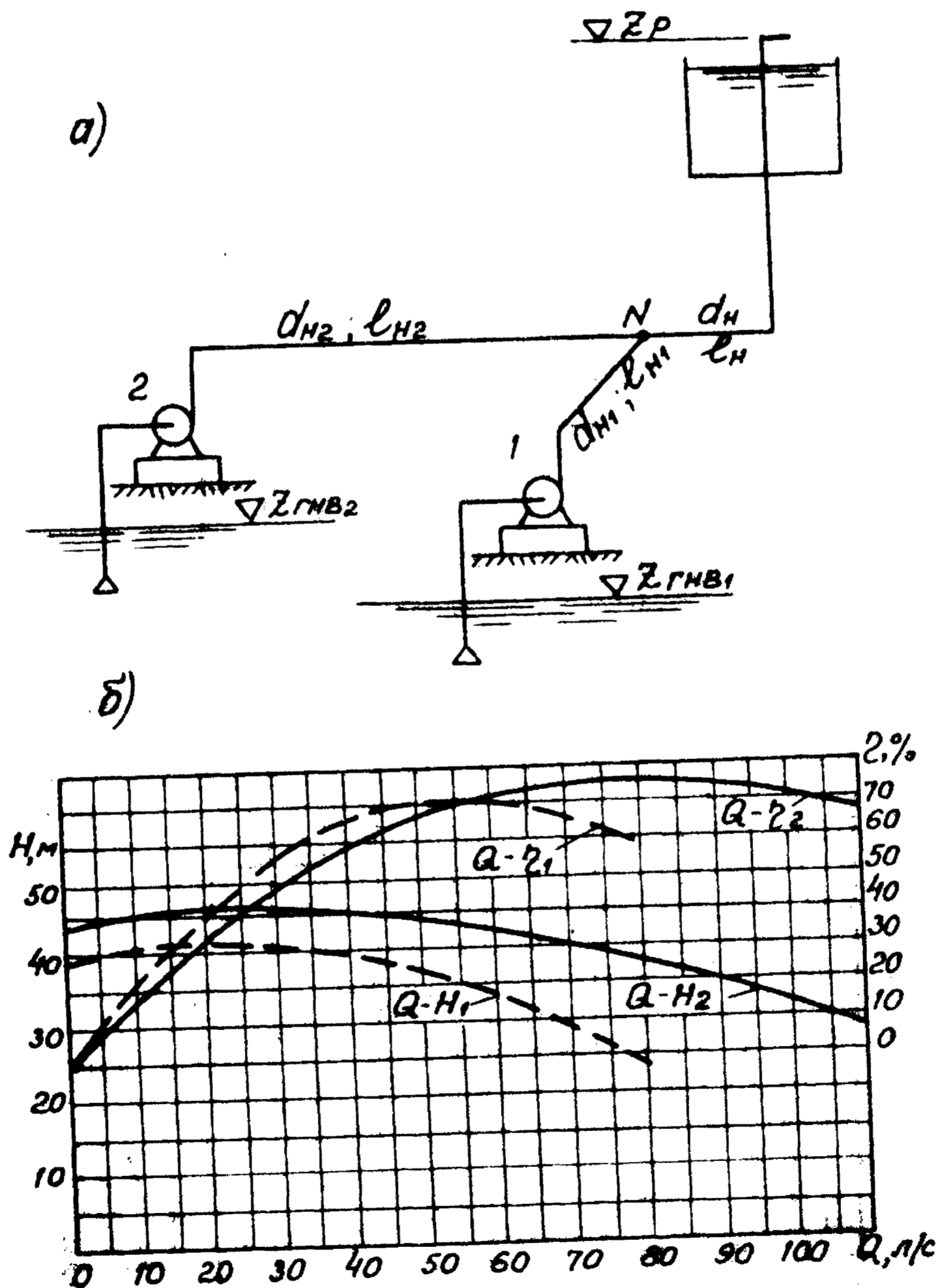


Рис. 49. Схема системы подачи воды (а); характеристики центробежных насосов (б):

1 — Д200-36; 2 — Д320-50, б



Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе.

Ответ:  $Q_{1+2} = 156$  л/с;  $H_{1+2} = 29,8$  м.

Параметры каждого насоса при совместной работе:

$Q_1 = 67$  л/с;  $H_1 = 32,8$  м;  $\eta_{n_1} = 0,68$ ;  $N_{n_1} = 31,7$  кВт;

$Q_2 = 89$  л/с;  $H_2 = 35,8$  м;  $\eta_{n_2} = 0,76$ ;  $N_{n_2} = 41,1$  кВт.

### 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ РАБОТА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Центробежные насосы включают в одну систему последовательно, т. е. напорный патрубок одного насоса подключают к всасывающему патрубку второго, в тех случаях, когда напор, развиваемый одним насосом, недостаточен для подачи жидкости на заданную высоту. При этом, очевидно, расход остается неизменным, а высота подъема, развиваемая насосами, увеличивается.

На рис. 50 представлена схема последовательного соединения двух одинаковых центробежных насосов и их характеристики.

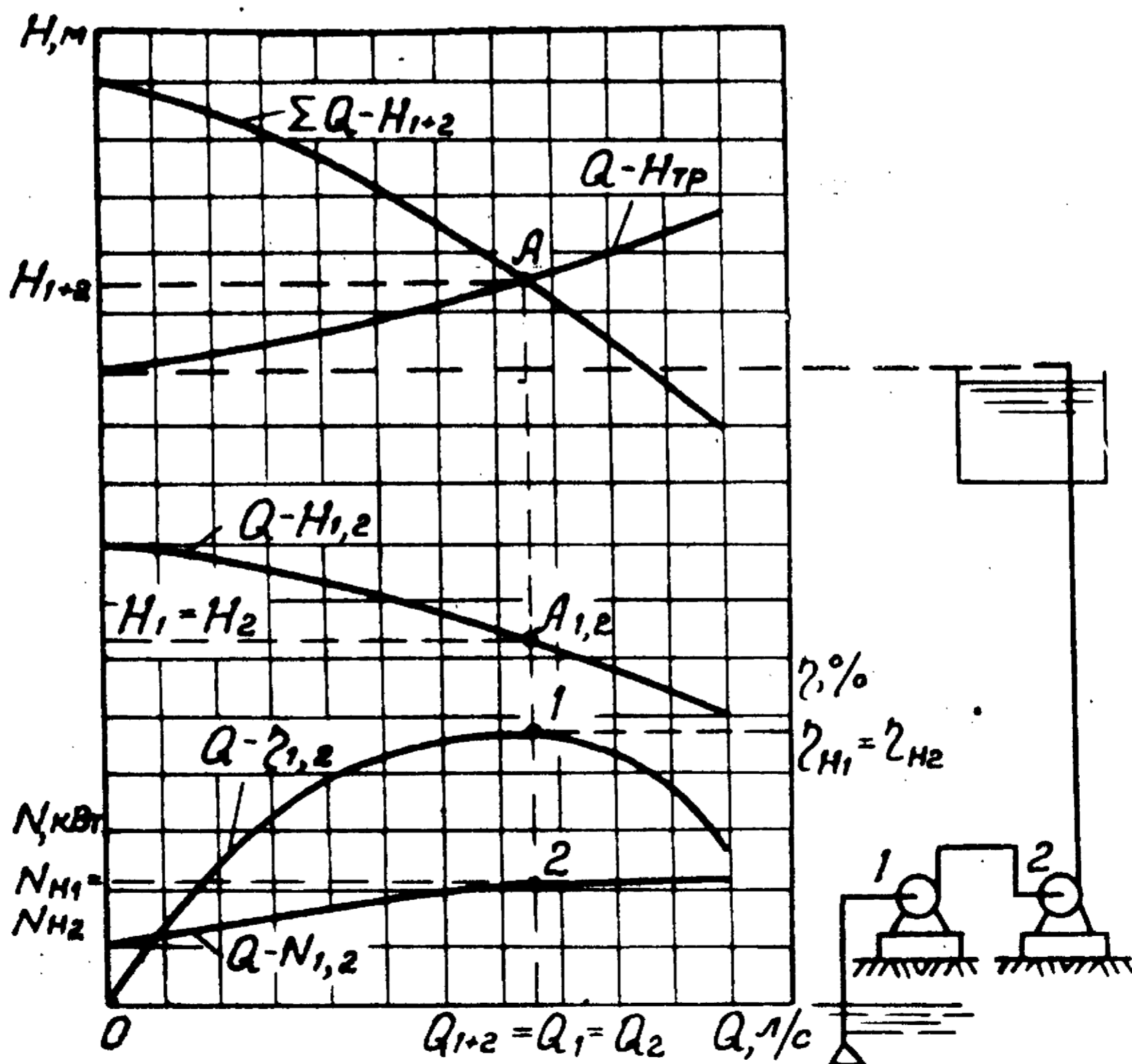


Рис. 50. Характеристика последовательной работы двух одинаковых центробежных насосов

Для определения рабочих параметров последовательно соединенных насосов необходимо, как и при параллельной работе насосов, на одном графике совместить суммарную характеристику насосов  $\Sigma Q—H_{1+2}$  и характеристику системы трубопроводов  $Q—H_{тр}$ . Построение суммарной характеристики последовательной работы нескольких насосов осуществляется сложением ординат (напоров)  $H$  при одинаковых расходах  $Q$ , т. к. напор, развиваемый последовательно работающими насосами, равен сумме напоров, развиваемых каждым из этих насосов. В случае последовательной работы двух насосов с одинаковыми характеристиками (рис. 50) ординаты (при данном расходе) удваиваются.

Точка работы насосов (т. А) является точкой пересечения суммарной характеристики насосов  $\Sigma Q—H_{1+2}$  с характеристикой системы трубопроводов  $Q—H_{тр}$ . По точке А определяются суммарные фактические подачи двух насосов  $Q_{1+2}$  и напор  $H_{1+2}$ . Для определения напора, КПД и мощности каждого насоса при их совместной последовательной работе необходимо из точки А опустить перпендикуляр до пересечения с кривыми  $Q—H_{1,2}$ ,  $Q—\eta_{1,2}$ ,  $Q—N_{1,2}$  насосов. Ордината точки  $A_{1,2}$  определяет напоры каждого насоса, а подачи у них равны  $Q_1=Q_2=Q_{1+2}$ . КПД и мощность каждого из совместно работающих насосов определяются соответственно точками 1 и 2.

Последовательная работа насосов с разными характеристиками возможна только для таких насосов, у которых подачи отличаются друг от друга незначительно (напор значения не имеет). Определение параметров последовательной работы насосов с различными характеристиками проиллюстрировано рис. 51. Суммарная характеристика насосов  $\Sigma Q—H_{1+2}$  строится путем сложения напоров каждого насоса при одинаковых подачах. Подача  $Q_{1+2}$  и напор  $H_{1+2}$  являются суммарными фактическими параметрами этих насосов при совместной последовательной работе. Подачи  $Q_1=Q_2$  и напоры  $H_1, H_2$  являются фактическими параметрами каждого насоса при совместной работе. По точкам 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub> и 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub> определяются соответственно КПД и мощность каждого насоса при их совместной последовательной работе.

Если при последовательной работе в общий напорный трубопровод центробежных насосов последние расположены в непосредственной близости один от другого, то сопротивлением в коротком соединительном участке ввиду его малости практически можно пренебречь. При значительном расстоянии между насосами сопротивлением в соединительном трубопроводе пренебречь нельзя и оно должно быть учтено при

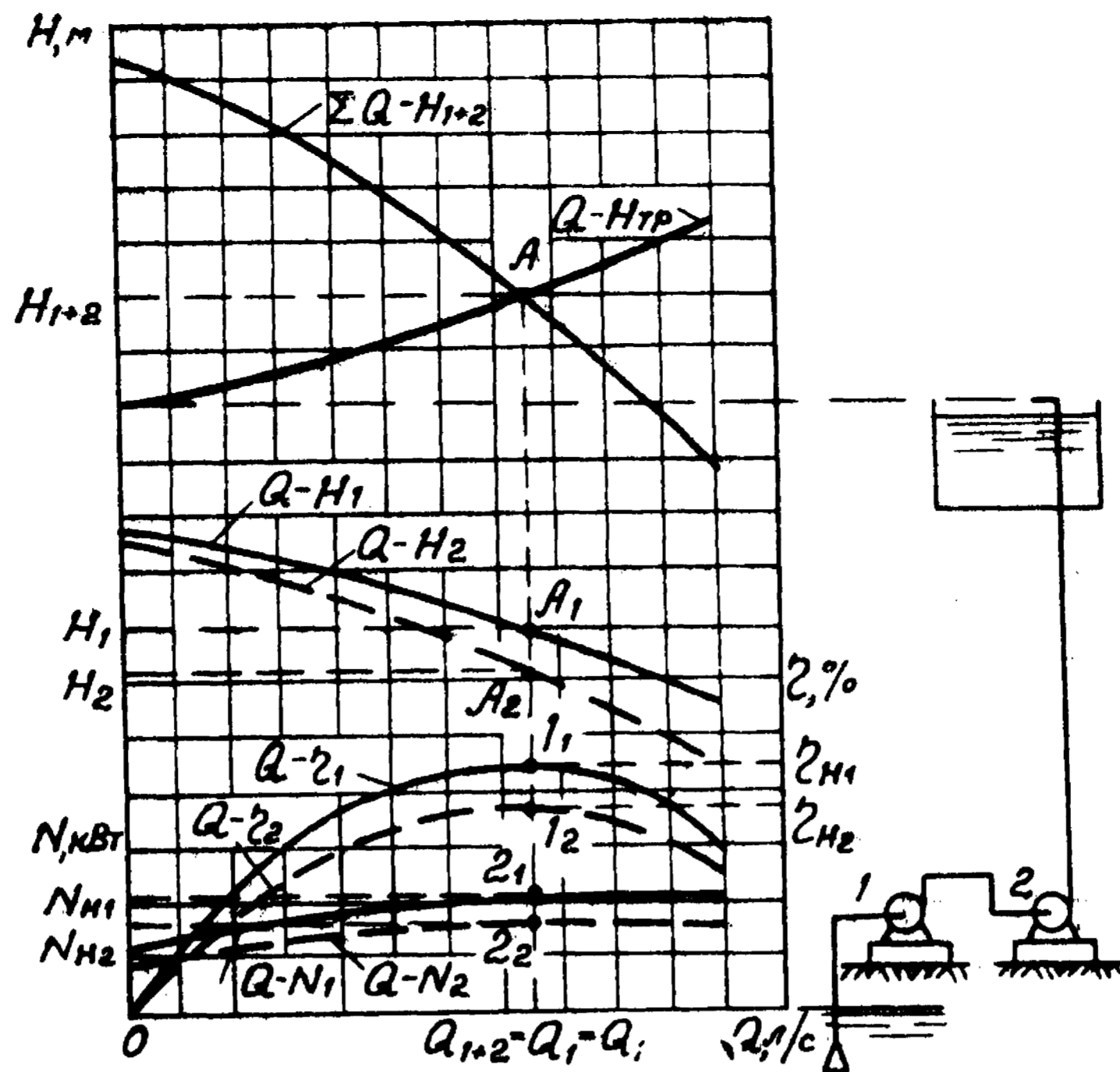


Рис. 51. Характеристика последовательной работы двух разных центробежных насосов

расчете. В практике перекачивания жидкости на большие расстояния при значительном геометрическом подъеме такая схема последовательного соединения насосов или насосных станций используется достаточно широко. Определение рабочих параметров такой схемы использования центробежных насосов проиллюстрировано рис. 52. Характеристику совместной работы насосов в этом случае строят следующим образом.

При заданных характеристиках насоса 1  $Q - H_1$  и насоса 2  $Q - H_2$  вначале строят дроссельную характеристику насоса 1 относительно точки  $d$  (точки присоединения напорной линии насоса 1 к насосу 2). Для этого из ординат кривой  $Q - H_1$  вычитают потери напора на участке  $1 - d$ , пользуясь характеристикой этого трубопровода  $Q - h_{1d}$ . Полученные таким образом ординаты дроссельной характеристики насоса 1  $Q - H_{1d}$  складывают с ординатами характеристики насоса 2  $Q - H_2$  и получают суммарную характеристику  $\Sigma Q - H_{1d+2}$  совместной работы насосов 1 и 2.

Построив на этом же графике характеристику напорного трубопровода от насоса 2 до резервуара  $Q - H_{tr}$ , находят рабочую точку  $A$  данной системы трубопроводов и насосов. Как определить рабочие параметры насосов в этом случае, ясно из рис. 53.

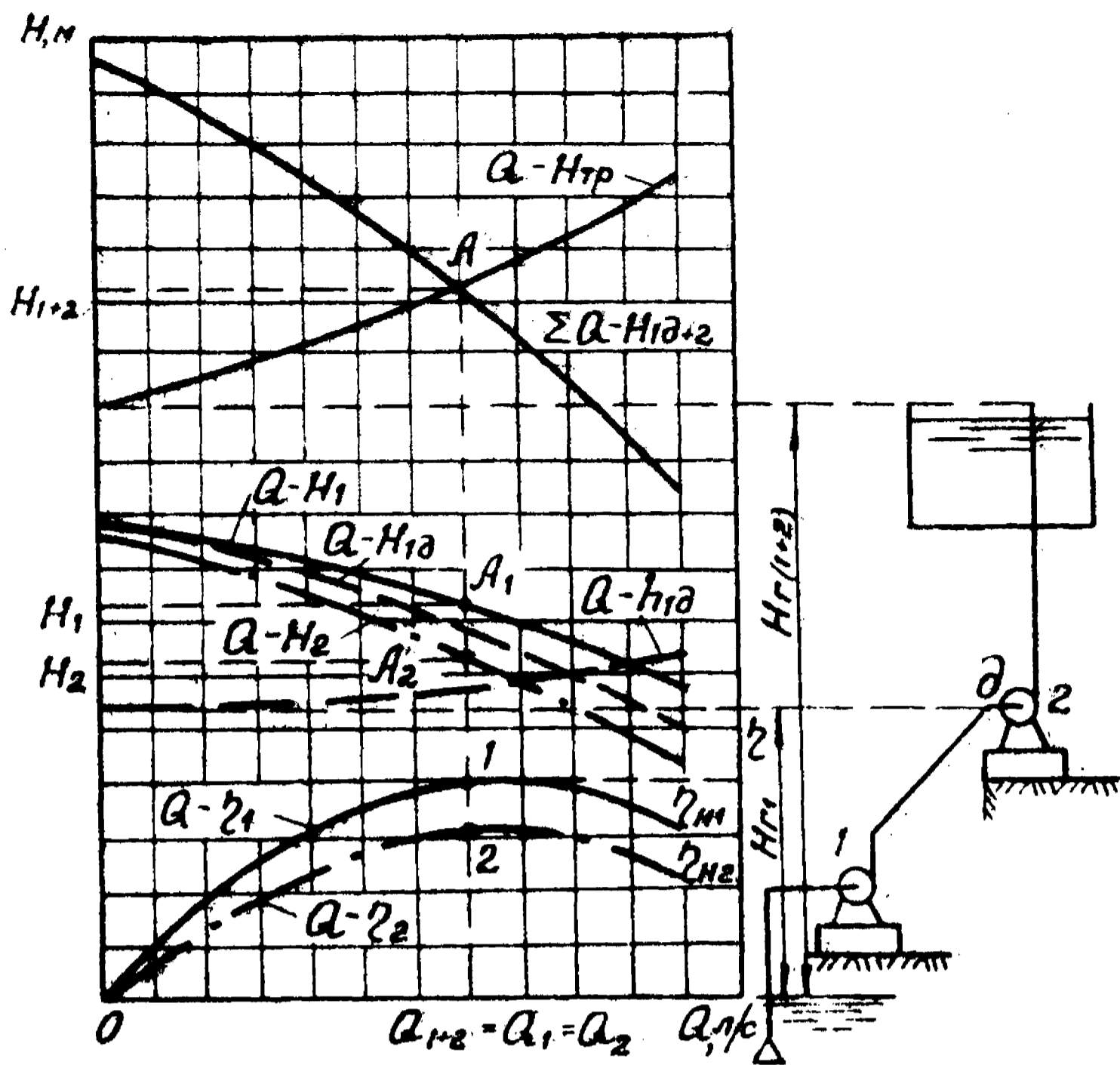


Рис. 52. Характеристика последовательной работы двух разных центробежных насосов, установленных на значительном расстоянии один от другого

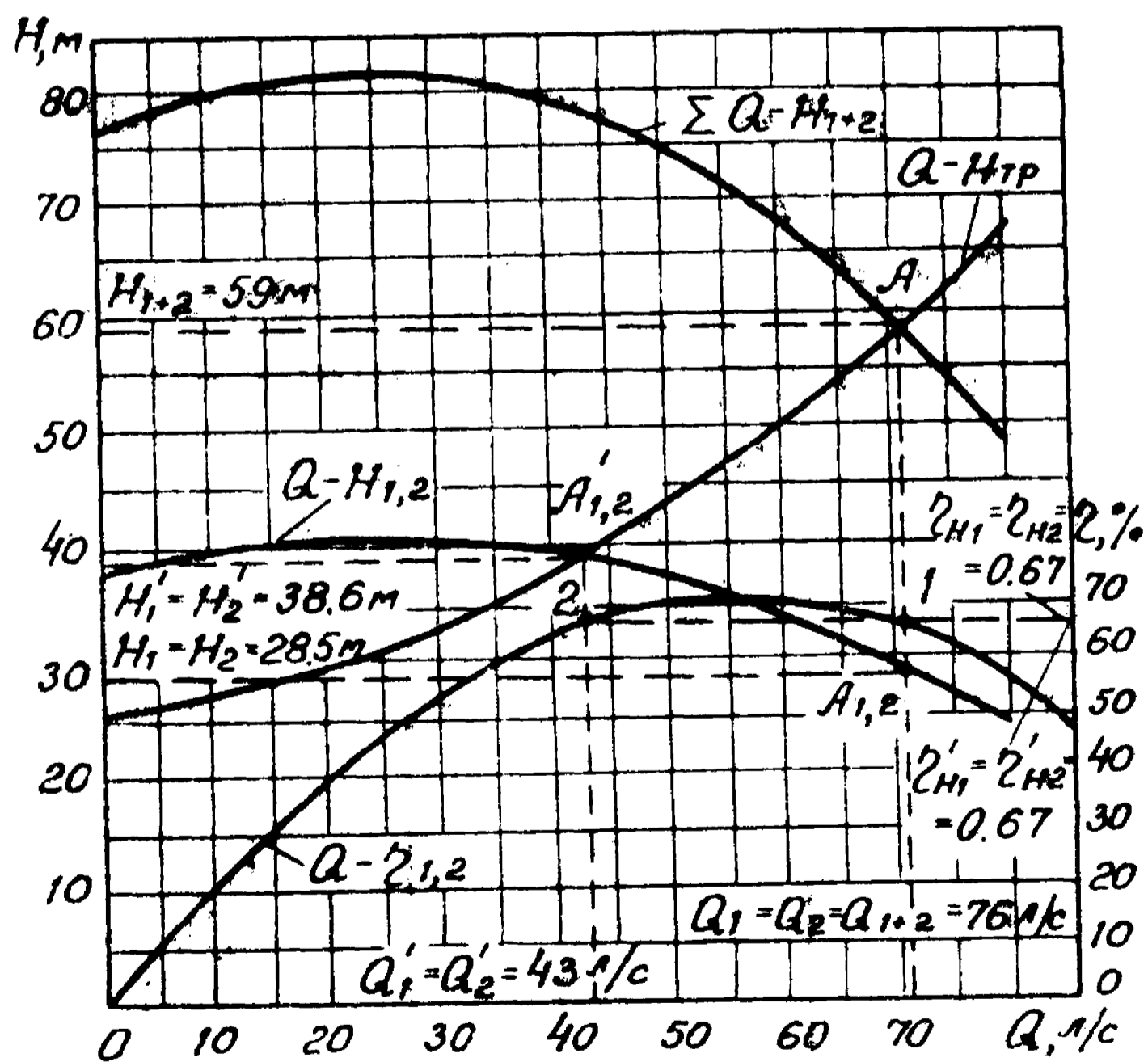


Рис. 53. Характеристика последовательной работы двух одинаковых центробежных насосов Д200-36.

### 3.1. Определение параметров последовательной работы центробежных насосов с одинаковыми характеристиками

**Пример 10.** Два одинаковых центробежных насоса Д200-36, соединенных последовательно, подают воду в напорный резервуар на геометрическую высоту  $H_r = 25$  м. Насосы расположены на одной насосной станции. Характеристики насосов приведены на рис. 53. Вода в резервуар подается по напорной линии, устроенной из чугунных труб  $d_n = 200$  мм и длиной  $l_n = 1000$  м. Потеря напора во всасывающей линии не учитывается ввиду ее малости.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе и при работе каждого насоса по отдельности в ту же систему.

*Решение.* Для определения рабочих параметров последовательно соединенных насосов строится суммарная характеристика  $\Sigma Q - H_{1+2}$  (рис. 53). Построение этой характеристики производится путем сложения ординат (напоров) характеристик  $Q - H_{1,2}$  при равных подачах. В данном случае — при одинаковых насосах — путем удвоения ординат кривой  $Q - H_{1,2}$  при равных подачах (абсциссах).

На этот же график наносится характеристика общего напорного трубопровода из чугунных труб диаметром  $d_n = 200$  мм и длиной  $l_n = 1000$  м при геометрической высоте подъема  $H_r = 25$  м.

Уравнение характеристики трубопровода имеет вид:

$$H_{тр} = H_r + 1,05 A_n l_n K_n Q^2 = \\ = 25 + 1,05 \cdot 7,399 \cdot 1000 \cdot K_n Q^2 = 25 + 7769 K_n Q^2.$$

По этому уравнению для разных значений  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, определяются соответствующие значения  $H_{тр}$ .

$q$ , л/с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$v_n$ , м/с	$K_n$	$H_{тр}$ , м
0	0	0	—	25
10	0,01	0,31	1,3	26,01
20	0,02	0,62	1,107	28,44
30	0,03	0,93	1,016	32,10
40	0,04	1,24	0,959	36,92
50	0,05	1,55	0,922	42,91
60	0,06	1,86	0,894	50,01
70	0,07	2,17	0,873	58,23
80	0,08	2,48	0,857	67,61

По полученным значениям  $Q$  и  $H_{\text{тр}}$  строится характеристика общего напорного трубопровода  $Q-H_{\text{тр}}$ . Точка пересечения  $A$  суммарной характеристики насосов  $\Sigma Q-H_{1,2}$  и характеристики общего напорного трубопровода  $Q-H_{\text{тр}}$  является рабочей точкой насосов. Точке  $A$  соответствует суммарная подача  $Q_{1+2}=76$  л/с и суммарный напор  $H_{1+2}=59$  м. Для определения напоров, развиваемых каждым насосом при совместной последовательной работе, из точки  $A$  опускается перпендикуляр до пересечения с характеристиками  $Q-H_{1,2}$ . По рабочей точке  $A_{1,2}$  определяются эти напоры  $H_1=H_2=28,5$  м, а подача каждого насоса будет равна их суммарной подаче  $Q_1=Q_2=Q_{1+2}=76$  л/с. По точке  $I$  определяется КПД каждого насоса при их совместной работе  $\eta_{H_1}=\eta_{H_2}=0,67$ .

Так как на графике отсутствует кривая зависимости  $N_H=f(Q)$ , то мощность каждого насоса определяется по формуле:

$$N_{H_1}=N_{H_2}=\frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,076 \cdot 28,5}{1000 \cdot 0,67}=31,8 \text{ кВт.}$$

Параметры каждого насоса при их отдельной работе определяются по точке  $A'_{1,2}$  и по точке пересечения кривой  $Q-H_{1,2}$  с характеристикой общего напорного трубопровода  $Q-H_{\text{тр}}$ . Точке  $A'_{1,2}$  соответствуют:  $Q'_1=Q'_2=43$  л/с;  $H'_1=H'_2=38,6$  м;  $\eta'_{H_1}=\eta'_{H_2}=0,67$  и мощность

$$N'_{H_1}=N'_{H_2}=\frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,043 \cdot 38,6}{1000 \cdot 0,67}=24,3 \text{ кВт.}$$

**Задача 38.** Два одинаковых центробежных насоса 6К-160/30, работая последовательно, подают воду в водонапорную башню на геометрическую высоту  $H_{\text{г}}=35$  м. Насосы расположены на одной насосной станции. Характеристика насосов приведена на рис. 54. Характеристика общего напорного трубопровода задана уравнением  $H_{\text{тр}}=H_{\text{г}}+S_{\text{тр}}Q^2$ . Числовое значение величины гидравлического сопротивления трубопровода  $S_{\text{тр}}=8200$  для расхода  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Потеря напора во всасывающей линии не учитывается ввиду ее малости.

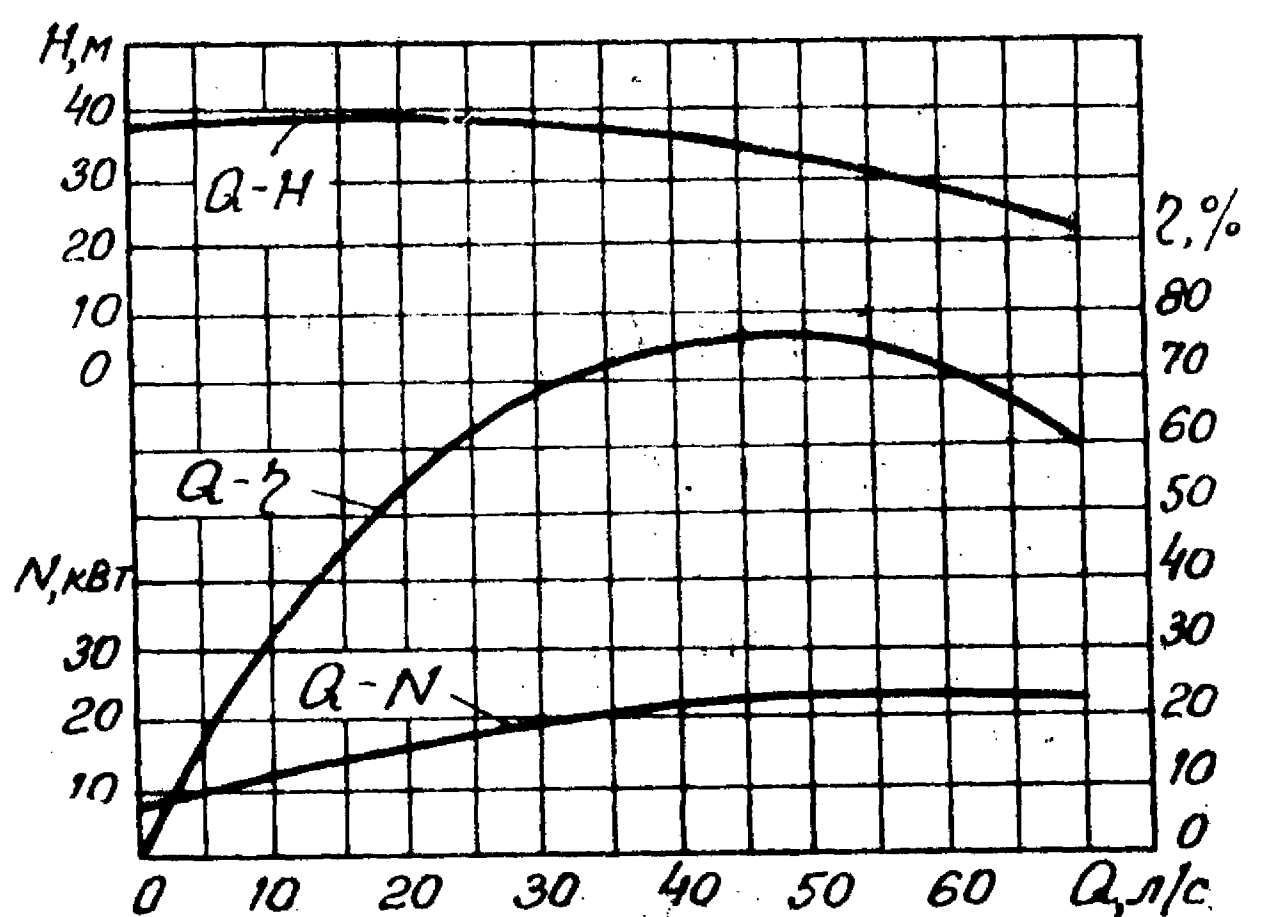
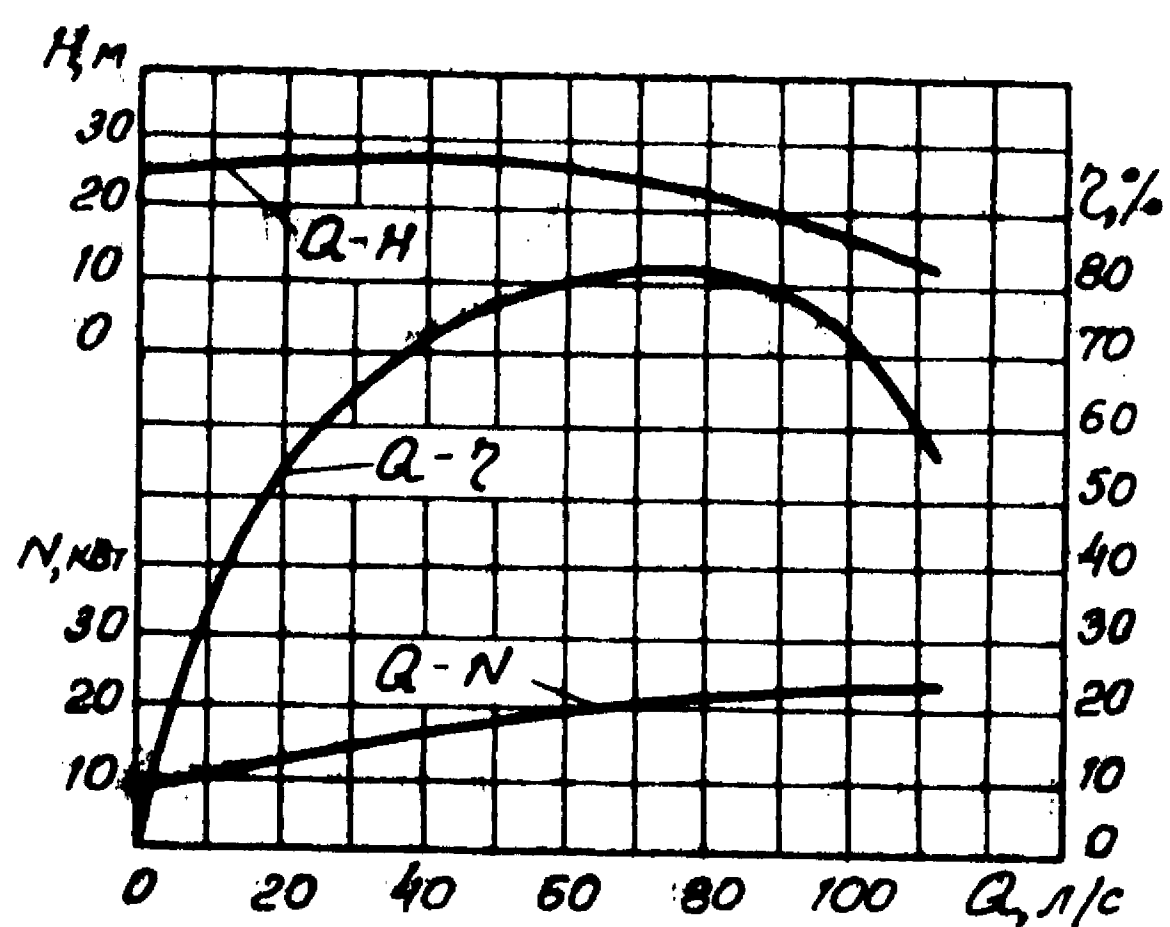


Рис. 54. Характеристика центробежного насоса 6К-160/30

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе.

Ответ:  $Q_{1+2} = 55$  л/с;  $H_{1+2} = 59,8$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = Q_2 = Q_{1+2} = 55$  л/с;  $H_1 = H_2 = 30$  м;  $\eta_{n_1} = \eta_{n_2} = 0,76$ ;  $N_{n_1} = N_{n_2} = 21,3$  кВт.

**Задача 39.** Три одинаковых центробежных насоса 8К-290/25, б, соединенных последовательно, подают воду в водонапорную башню на геометрическую высоту  $H_r = 38$  м.



Всасывающая линия устроена из стальных труб диаметром  $d_{вс} = 250$  мм и длиной  $l_{вс} = 30$  м. Общий напорный трубопровод из чугунных труб имеет диаметр  $d_n = 250$  мм и длину  $l_n = 1500$  м. Насосы установлены на одной насосной станции, их характеристики приведены на рис. 55.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2+3}$  и развиваемый напор  $H_{1+2+3}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для

Рис. 55. Характеристика центробежного насоса 8К-290/25, б

каждого насоса при совместной работе. Определить также суммарный расход, подаваемый двумя насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$  для случая, когда третий насос выключен из работы.

Ответ: При последовательной работе три насоса подадут  $Q_{1+2+3} = 86$  л/с при  $H_{1+2+3} = 62,7$  м. Каждый насос при совместной работе будет иметь параметры:  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_{1+2+3} = 86$  л/с;  $H_1 = H_2 = H_3 = 20,9$  м;  $\eta_{n_1} = \eta_{n_2} = \eta_{n_3} = 0,8$ ;  $N_{n_1} = N_{n_2} = N_{n_3} = 22$  кВт.

При работе только двух насосов параметры их составят:  $Q_{1+2} = 60$  л/с;  $H_{1+2} = 50,8$  м.

**Задача 40.** Два одинаковых центробежных насоса Д320-50, в, работая последовательно, подают воду в напорный резервуар по чугунным трубам  $d_n = 200$  мм, проложенным в две линии, длиной по  $l_n = 3050$  м каждая. Отметка горизонта воды в источнике  $Z_{гнв} = 28$  м, отметка выливного отверстия напорных труб в резервуаре  $Z_p = 58$  м. Характеристики насосов приведены на рис. 56. Потеря напора во всасывающей линии не учитывается ввиду ее малости.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе и при работе каждого насоса по отдельности в ту же систему.

Ответ:  $Q_{1+2} = 90$  л/с;  $H_{1+2} = 70,6$  м.

Режим каждого насоса при совместной работе будет одинаковым и составит:  $Q_1 = Q_2 = Q_{1+2} = 90$  л/с;  $H_1 = H_2 = 35,3$  м;  $\eta_{n_1} = \eta_{n_2} = 0,74$ ;  $N_{n_1} = N_{n_2} = 42,1$  кВт.

При работе каждого насоса в отдельности параметры их составят:  $Q'_1 = Q'_2 = 50$  л/с;  $H'_1 = H'_2 = 43,7$  м;  $\eta'_{n_1} = \eta'_{n_2} = 0,68$ ;  $N'_{n_1} = N'_{n_2} = 31,5$  кВт.

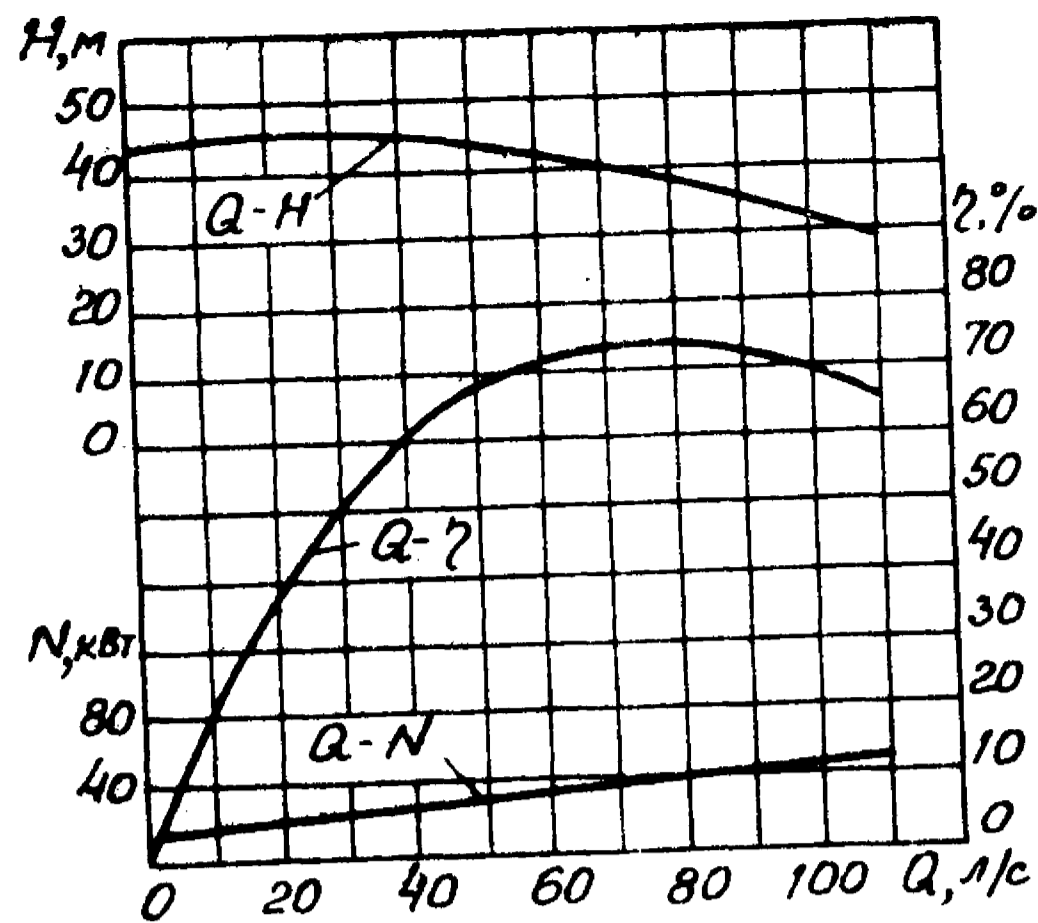


Рис. 56. Характеристика центробежного насоса Д320-50, в

### 3.2. Определение параметров последовательной работы центробежных насосов с разными характеристиками

**Пример 11.** Два разных центробежных насоса 4К-90/20 и 4К-90/30, соединенных последовательно, подают воду в водонапорную башню на геометрическую высоту  $H_r = 16$  м. Вода в башню подается по системе трубопроводов, характеристика которой задана уравнением  $H_{тр} = H_r + S_{тр}Q^2$ . Числовое значение гидравлического сопротивления системы трубопроводов  $S_{тр} = 47\ 200$  для  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Насосы установлены на одной насосной станции, их характеристики приведены на рис. 57.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_n$  и  $N_n$  для каждого насоса при совместной работе и при работе каждого насоса по отдельности в ту же систему.

**Решение.** Построение суммарной характеристики  $\Sigma Q - H_{1+2}$  для двух разных центробежных насосов, работающих в последовательном соединении, производится путем сложения ординат (напоров) характеристик  $Q - H_1$  и  $Q - H_2$  при равных подачах.

Для определения точки работы насосов на этом же графике строится характеристика системы трубопроводов  $Q - H_{тр}$  по уравнению  $H_{тр} = 16 + 47\ 200Q^2$ .

Значение  $H_{тр}$  определяется для расходов от  $Q = 0$  до  $Q = 0,032$  м<sup>3</sup>/с:



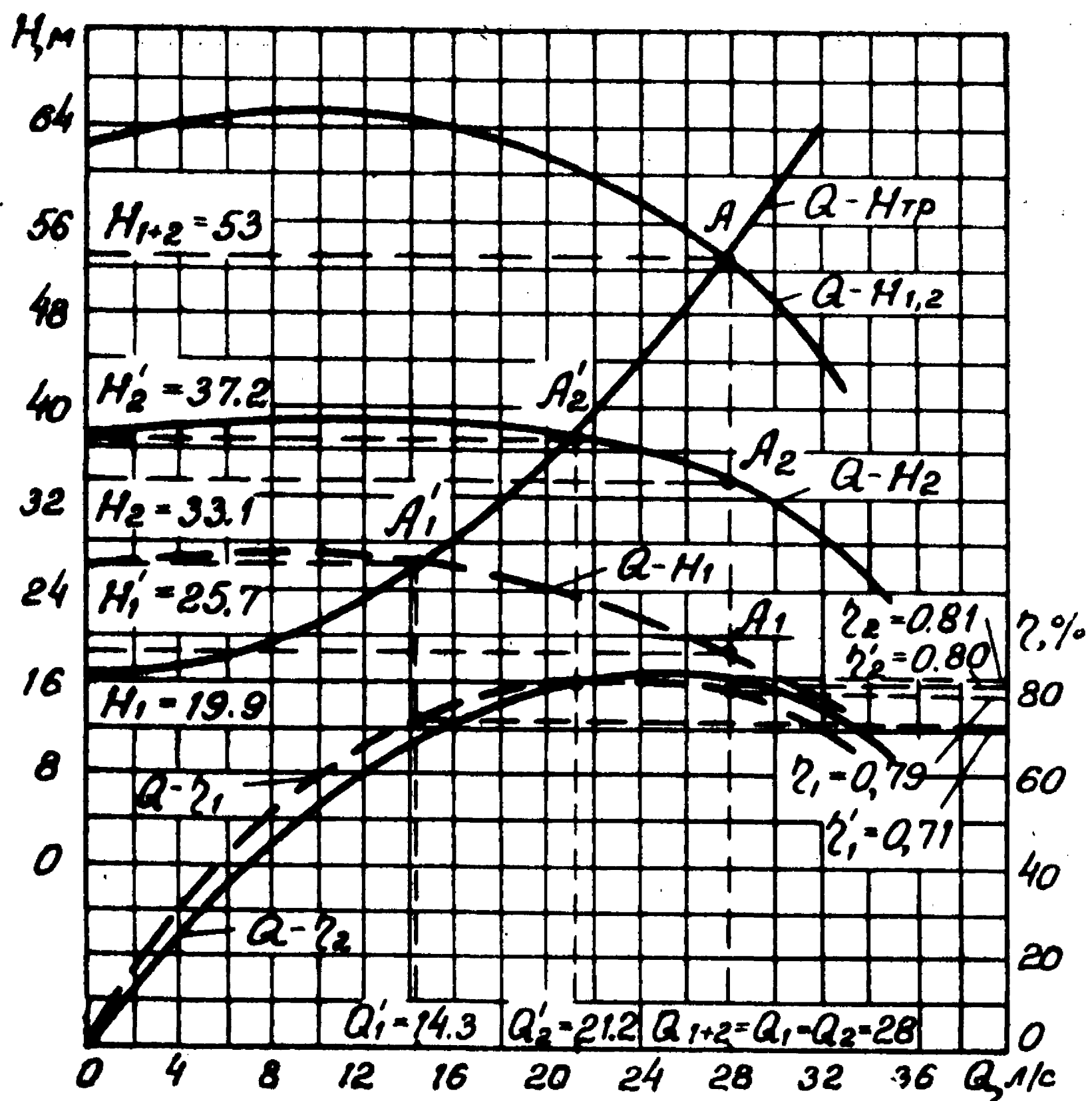


Рис. 57. Характеристика последовательной работы двух разных центробежных насосов:  
1 — 4К-90/20; 2 — 4К-90/30

$Q=0 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=16 \text{ м}$
$Q=0,004 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=16+47\,200 \cdot 0,004^2=16,76 \text{ м}$
$Q=0,008 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=16+47\,200 \cdot 0,008^2=19,02 \text{ м}$
$Q=0,012 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=16+47\,200 \cdot 0,012^2=22,8 \text{ м}$
$Q=0,016 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=16+47\,200 \cdot 0,016^2=28,08 \text{ м}$
$Q=0,020 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=16+47\,200 \cdot 0,02^2=34,88 \text{ м}$
$Q=0,024 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=16+47\,200 \cdot 0,024^2=43,19 \text{ м}$
$Q=0,028 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=16+47\,200 \cdot 0,028^2=53,0 \text{ м}$
$Q=0,032 \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{\text{тр}}=16+47\,200 \cdot 0,032^2=64,33 \text{ м}$

После построения кривой характеристики системы трубопроводов  $Q-H_{\text{тр}}$  на графике характеристик насосов находится точка  $A$  работы насосов, как точка пересечения кривых  $\Sigma Q-H_{1+2}$  и  $Q-H_{\text{тр}}$ .

Проведением вертикальной линии через точку  $A$  до оси абсцисс (шкалы расходов) находится суммарный расход  $Q_{1+2}=28 \text{ л/с}$ ; проведением горизонтальной линии через точку  $A$  до пересечения с осью ординат (шкалой напоров) находится развиваемый насосами напор  $H_{1+2}=53 \text{ м}$ .

Режимы каждого насоса при совместной работе определяются по точкам  $A_1$  и  $A_2$  и соответствуют следующим параметрам:

$$Q_1 = 28 \text{ л/с}; H_1 = 19,9 \text{ м}; \eta_{H_1} = 0,79; N_{H_1} = 6,9 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 28 \text{ л/с}; H_2 = 33,1 \text{ м}; \eta_{H_2} = 0,81; N_{H_2} = 11,2 \text{ кВт}.$$

Режимы каждого насоса при работе по отдельности в ту же систему определяются по точкам  $A'_1$  и  $A'_2$  и соответствуют следующим параметрам:

$$Q'_1 = 14,3 \text{ л/с}; H'_1 = 25,7 \text{ м}; \eta'_{H_1} = 0,71; N'_{H_1} = 5,1 \text{ кВт};$$

$$Q'_2 = 21,2 \text{ л/с}; H'_2 = 37,2 \text{ м}; \eta'_{H_2} = 0,80; N'_{H_2} = 9,7 \text{ кВт}.$$

**Задача 41.** Подача воды на геометрическую высоту  $H_r = 30$  м осуществляется двумя разными насосами 8К-290/25 и Д320-50, в, соединенными последовательно. Насосы установлены на одной насосной станции. Напорный водовод устроен из чугунных труб диаметром  $d_H = 200$  мм и длиной  $l_H = 3050$  м. Потеря напора во всасывающей линии не учитывается ввиду ее малости. Характеристики насосов приведены на рис. 58.

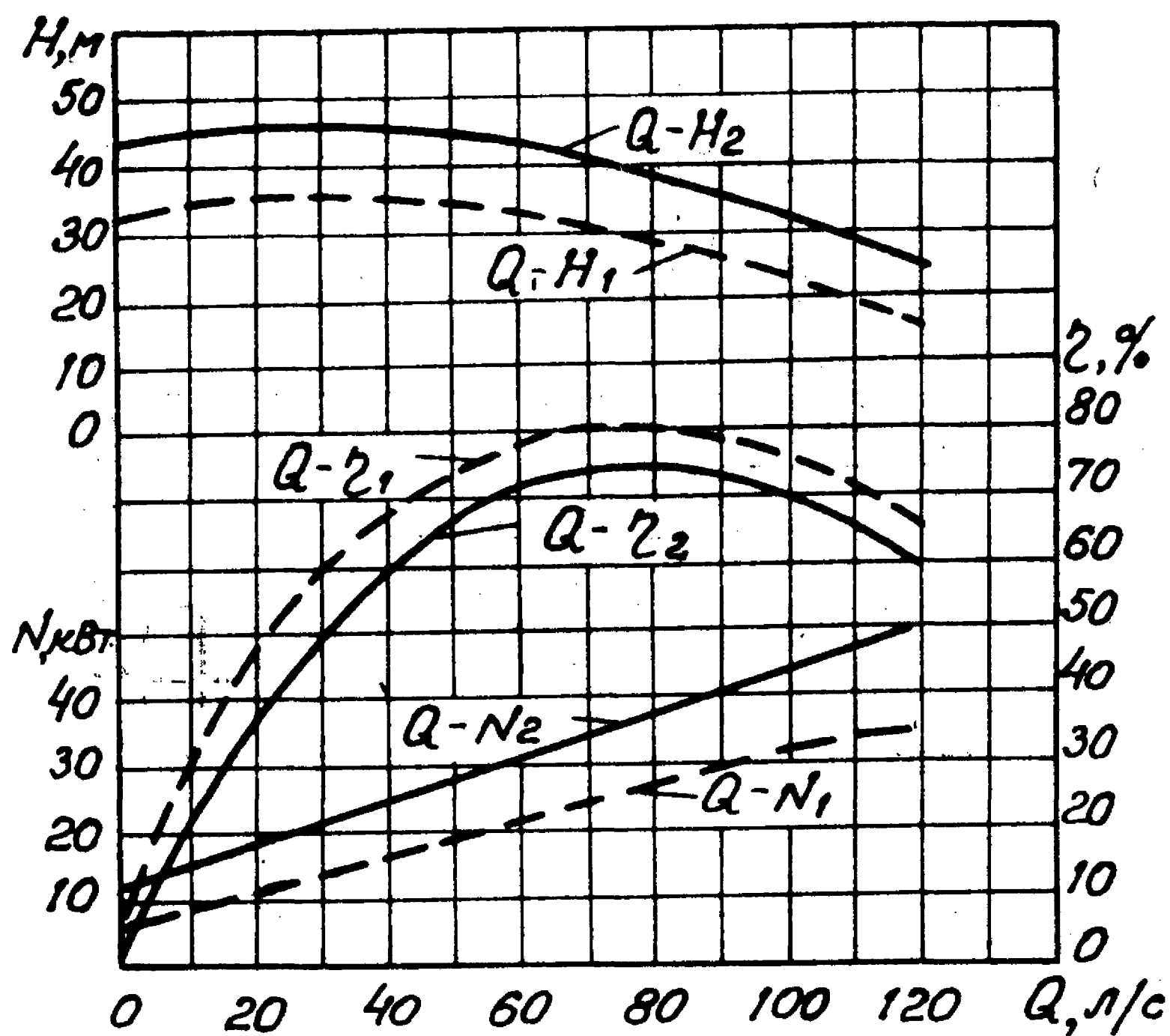


Рис. 58. Характеристики центробежных насосов:

1 — 8К-290/25; 2 — Д320-50, в

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_H$  и  $N_H$  для каждого насоса при совместной работе.

Ответ:  $Q_{1+2} = 84,2$  л/с;  $H_{1+2} = 65,7$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:

$$Q_1 = Q_2 = Q_{1+2} = 84,2 \text{ л/с}; H_1 = 27,9 \text{ м}; H_2 = 37,8 \text{ м};$$

$$\eta_{H_1} = 0,81; \quad \eta_{H_2} = 0,74; \quad N_{H_1} = 28,4 \text{ кВт}; \quad N_{H_2} = 42,2 \text{ кВт};$$

**Задача 42.** Три центробежных насоса, из которых 1 и 2 одинаковые 8К-300/18 и 3-й насос 8К-290/25, установлены на одной насосной станции и соединены последовательно. Геометрическая высота подъема воды  $H_r = 25$  м. Характеристика системы трубопроводов задана уравнением  $H_{тр} = H_r + S_{тр}Q^2$ , в котором числовое значение гидравлического сопротивления  $S_{тр} = 2400$ . Характеристики насосов приведены на рис. 59.

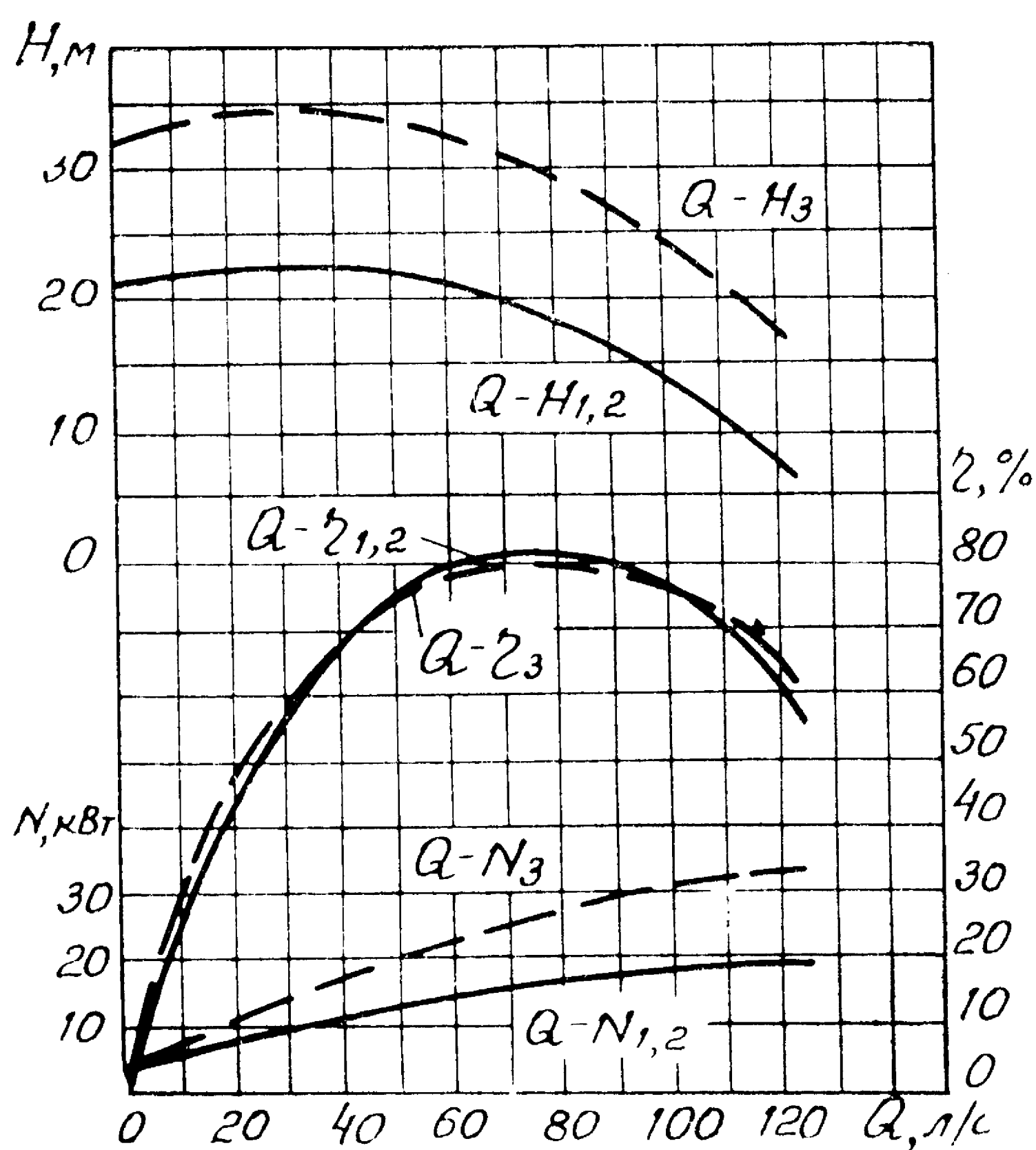


Рис. 59. Характеристики центробежных насосов:

1, 2 — 8К-300/18; 3 — 8К-290/25

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2+3}$  и развиваемый напор  $H_{1+2+3}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_H$  и  $N_H$  для каждого насоса при совместной работе и при работе каждого насоса по отдельности в ту же систему.

Ответ. При последовательном соединении три насоса будут иметь параметры:  $Q_{1+2+3} = 105$  л/с;  $H_{1+2+3} = 51,5$  м.

Режим каждого из насосов при совместной работе:  
 $Q_1 = Q_2 = 105$  л/с;  $H_1 = H_2 = 14$  м;  $\eta_{\text{н}_1} = \eta_{\text{н}_2} = 0,73$ ;  $N_{\text{н}_1} = N_{\text{н}_2} = 19,7$  кВт;  $Q_3 = 105$  л/с;  $H_3 = 23,5$  м;  $\eta_{\text{н}_3} = 0,74$ ;  $N_{\text{н}_3} = 32,7$  кВт.

При работе каждого насоса в отдельности:  
 насос 3 —  $Q'_3 = 47,5$  л/с;  $H'_3 = 30,4$  м;  $\eta'_{\text{н}_3} = 0,71$ ;  $N'_{\text{н}_3} = 19,9$  кВт;  
 насосы 1 и 2 подавать воду в систему каждый отдельно не могут.

### 3.3. Определение параметров последовательной работы центробежных насосов при длинном соединительном трубопроводе

**Пример 12.** Два одинаковых центробежных насоса Д500-36, работая последовательно, подают воду в напорный резервуар по схеме, приведенной на рис. 60, а. Насос 1 удален от насоса 2 на значительное расстояние и соединен с ним стальным трубопроводом диаметром  $d_{\text{н}_1} = 300$  мм и длиной  $l_{\text{н}_1} = 350$  м. Всасывающая линия устроена из стальных труб диаметром  $d_{\text{вс}} = 300$  мм и длиной  $l_{\text{вс}} = 30$  м. Диаметр общей напорной линии из чугунных труб  $d_{\text{н}} = 300$  мм, длина  $l_{\text{н}} = 1750$  м. Геометрическая высота подъема воды насосами составляет  $H_{\text{г}} = 30$  м. Характеристики насосов одинаковы и приведены на рис. 60, б.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_{\text{н}}$  и  $N_{\text{н}}$  для каждого насоса при совместной работе.

*Решение.* В связи с тем, что насосы 1 и 2 удалены друг от друга на значительное расстояние, необходимо учесть потери напора в соединительной линии. Поэтому для построения суммарной характеристики последовательной работы насосов предварительно строят приведенную характеристику 1-го насоса относительно точки  $\partial$  (точки присоединения соединительной линии к насосу 2).

Потери напора на участке от первого насоса до точки  $\partial$  с учетом всасывающей линии определяются по формуле:

$$\begin{aligned} h &= (1,1 A_{\text{вс}} \cdot l_{\text{вс}} \cdot K_{\text{вс}} + 1,05 A_{\text{н}_1} \cdot l_{\text{н}_1} \cdot K_{\text{н}_1}) \cdot Q^2 = \\ &= (1,1 \cdot 0,6619 \cdot 30 \cdot K_{\text{вс}} + 1,05 \cdot 0,6619 \cdot 350 \cdot K_{\text{н}_1}) \cdot Q^2 = \\ &= (21,8 \cdot K_{\text{вс}} + 243,2 \cdot K_{\text{н}_1}) \cdot Q^2. \end{aligned}$$

Потери напора  $h$  при разных расходах приведены в таблице.

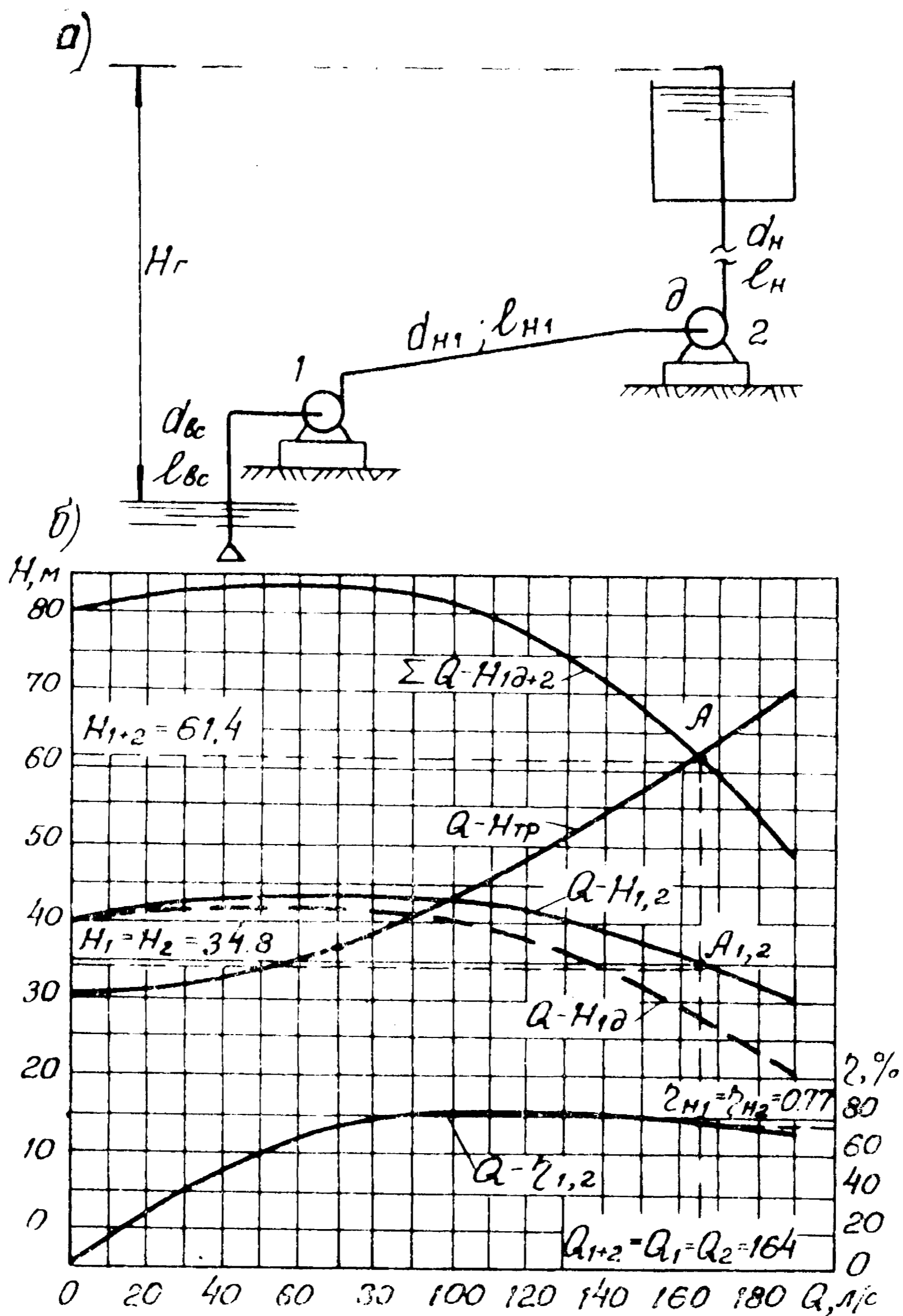


Рис. 60. Схема системы подачи воды с расположением насосов на значительном расстоянии друг от друга (а); характеристика центробежного насоса Д500-36 (б)

$q, \text{ л с}$	$Q, \text{ м}^3 \text{ с}$	$v_{\text{вс}} = v_{\text{н1}}, \text{ м с}$	$K_{\text{вс}} = K_{\text{н1}}$	$h, \text{ м}$
0	0	0	—	0
20	0,02	0,26	1,191	0,13
40	0,04	0,53	1,072	0,45
60	0,06	0,79	1,023	0,98
80	0,08	1,05	1,004	1,70
100	0,10	1,32	0,978	2,59
120	0,12	1,58	0,966	3,69
140	0,14	1,84	0,956	4,96
160	0,16	2,10	0,947	6,42
180	0,18	2,40	0,941	8,08

По полученным значениям  $Q$  и  $h$  на графике характеристики насоса строится кривая  $Q-h$ .

Строится приведенная к точке  $d$  характеристика 1-го насоса  $Q-H_{1d}$  путем вычитания из ординат кривой  $Q-H_1$  потерь напора  $h$  при одинаковых расходах.

Полученные таким образом ординаты приведенной характеристики 1-го насоса  $Q-H_{1d}$  складывают с ординатами характеристики 2-го насоса  $Q-H_2$  и получают суммарную характеристику  $\Sigma Q-H_{1d+2}$  совместной последовательной работы двух насосов.

На этот же график наносится характеристика общего напорного трубопровода от точки  $d$  до резервуара.

Уравнение характеристики трубопровода имеет вид:

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + 1,05 A_{\text{н}} l_{\text{н}} K_{\text{н}} Q^2 = \\ = 30 + 1,05 \cdot 0,8336 \cdot 1750 \cdot K_{\text{н}} Q^2 = 30 + 1334,1 K_{\text{н}} Q^2.$$

По этому уравнению для разных значений  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, определяются соответствующие значения  $H_{\text{тр}}$ .

$q$ , л/с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$v_{\text{н}}$ , м/с	$K_{\text{н}}$	$H_{\text{тр}}$ , м
0	0	0	—	30
20	0,02	0,28	1,339	30,71
40	0,04	0,55	1,138	32,43
60	0,06	0,82	1,044	35,01
80	0,08	1,10	0,983	38,44
100	0,10	1,37	0,942	42,57
120	0,12	1,65	0,912	47,52
140	0,14	1,92	0,889	53,25
160	0,16	2,20	0,871	59,75
180	0,18	2,47	0,858	67,08

После построения кривой характеристики общего напорного трубопровода  $Q-H_{\text{тр}}$  на графике характеристик насосов находят точку  $A$  работы насосов, как точку пересечения кривых  $\Sigma Q-H_{1d+2}$  и  $Q-H_{\text{тр}}$ .

Проведением вертикальной линии через точку  $A$  до оси абсцисс (шкалы расходов) находится суммарный расход  $Q_{1+2} = 164$  л/с; проведением горизонтальной линии через точку  $A$  до пересечения с осью ординат (шкалой напоров) находится развиваемый насосами напор  $H_{1+2} = 61,4$  м.

Режимы каждого насоса при совместной работе определяются по точкам  $A_{1,2}$  и соответствуют следующим параметрам:  $Q_1 = Q_2 = 164$  л/с;  $H_1 = H_2 = 34,8$  м;  $\eta_{H_1} = \eta_{H_2} = 0,77$ ;  $N_{H_1} = N_{H_2} = 72,7$  кВт.

**Задача 43.** Два одинаковых центробежных насоса Д800-28, работая последовательно, подают воду в напорный резервуар на геометрическую высоту  $H_r = 30$  м. Насос 1 удален от насоса 2 на значительное расстояние и соединен с ним стальным трубопроводом диаметром  $d_{H_1} = 400$  мм и длиной  $l_{H_1} = 965$  м. Общий напорный трубопровод имеет диаметр  $d_H = 400$  мм и длину  $l_H = 1740$  м. Потеря напора во всасывающей линии не учитывается ввиду ее малости. Схема системы подачи воды насосами приведена на рис. 60, а, характеристика насоса Д800-28 — на рис. 61.

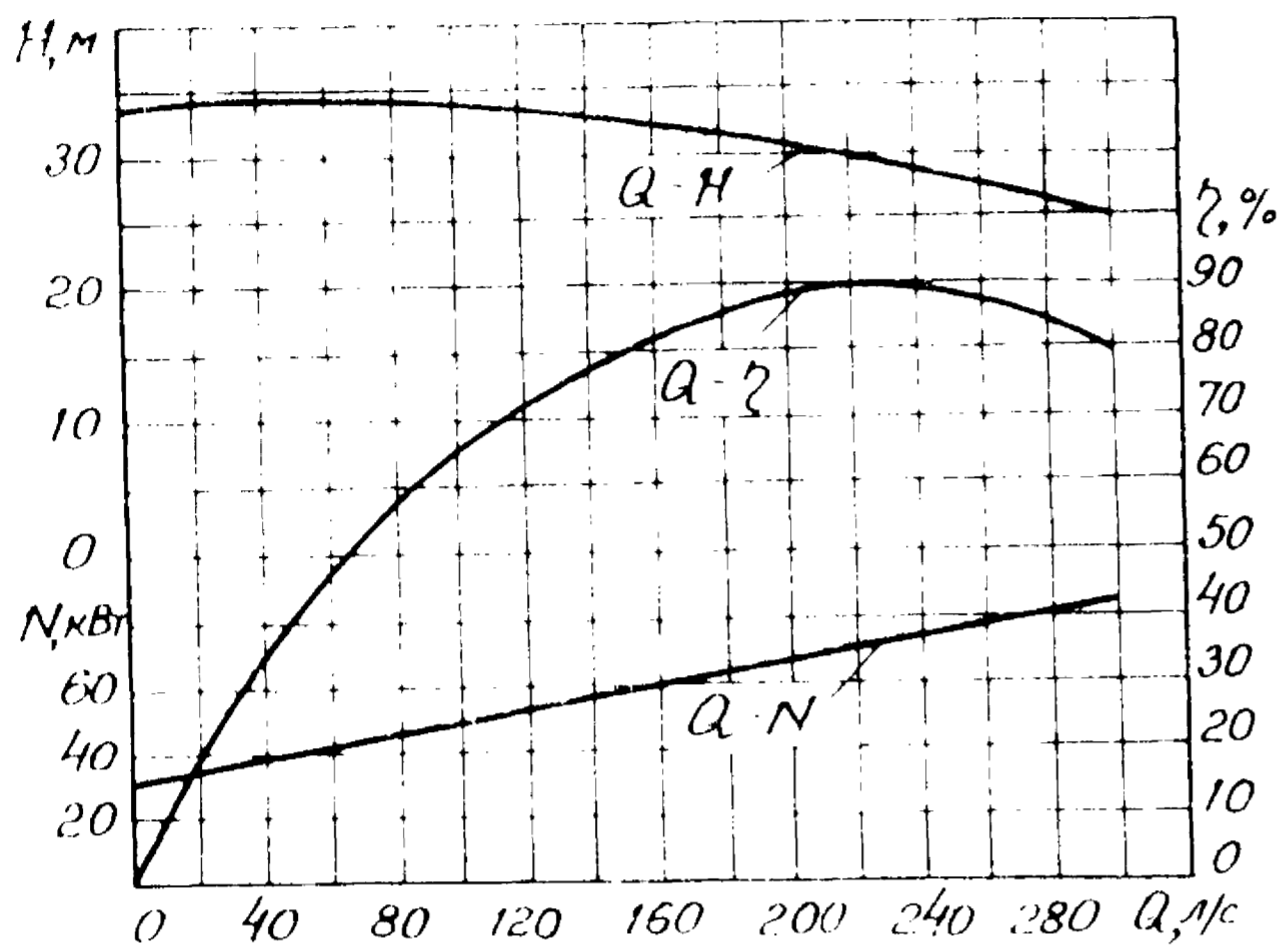


Рис. 61. Характеристика центробежного насоса Д800-28

а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_H$  и  $N_H$  для каждого насоса при совместной работе.

**Ответ:**  $Q_{1+2} = 240$  л/с;  $H_{1+2} = 49,5$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = Q_2 = Q_{1+2} = 240$  л/с;  $H_1 = H_2 = 29$  м;  $\eta_{H_1} = \eta_{H_2} = 0,89$ ;  $N_{H_1} = N_{H_2} = 76,7$  кВт.

**Задача 44.** Подача воды на геометрическую высоту  $H_r = 30$  м осуществляется двумя разными насосами 8К-300/18 и Д320-50, работающими последовательно и расположенными на значительном расстоянии друг от друга. Соединительная линия от первого до второго насоса устроена из стальных труб диаметром  $d_H = 250$  мм и длиной  $l_H = 300$  м. Характеристика общего напорного трубопровода задана уравнением  $H_{тр} = H_r + S_{тр}Q^2$ . Числовое значение гидравлического сопротивления общего напорного трубопровода  $S_{тр} = 4140$  для  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с. Характеристики насосов приведены на рис. 62. Потеря напора во всасывающей линии не учитывается ввиду ее малости.

Требуется определить суммарный расход, подаваемый насосами,  $Q_{1+2}$  и развиваемый напор  $H_{1+2}$ , а также параметры  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta_H$  и  $N_H$  для каждого насоса при совместной работе.

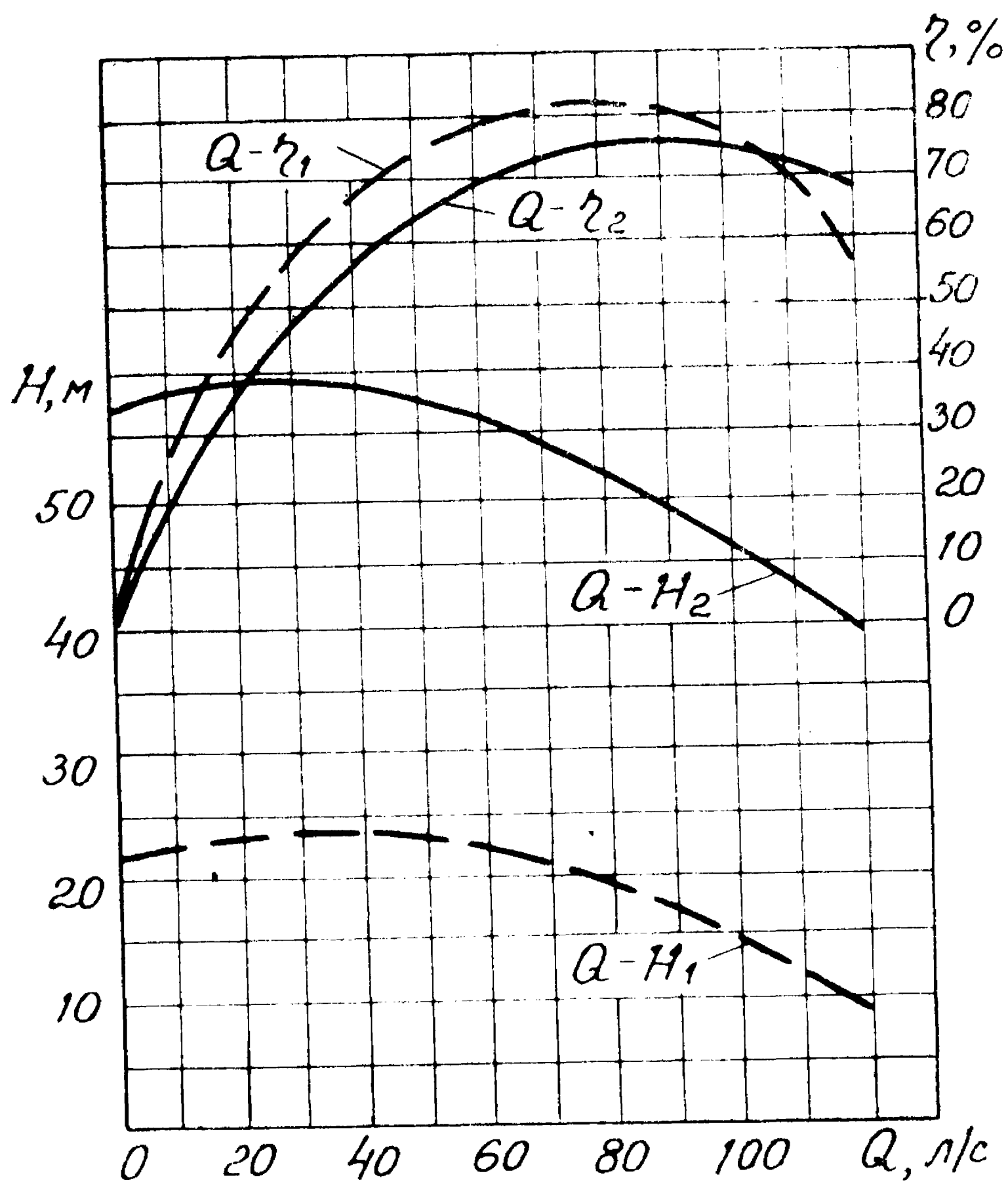


Рис. 62. Характеристики центробежных насосов:  
1 — 8К-300/18; 2 — Д320-50

Ответ:  $Q_{1+2} = 90$  л/с;  $H_{1+2} = 63,5$  м. Каждый насос при совместной работе имеет параметры:  $Q_1 = Q_2 = Q_{1+2} = 90$  л/с;  $H_1 = 17,7$  м;  $H_2 = 50$  м;  $\eta_{H_1} = 0,81$ ;  $\eta_{H_2} = 0,74$ ;  $N_{H_1} = 19,3$  кВт;  $N_{H_2} = 59,6$  кВт.

#### 4. РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Регулирование работы центробежного насоса может производиться изменением частоты вращения или срезкой рабочего колеса. Существует также способ регулирования подачи центробежных насосов изменением характеристики системы трубопроводов. Последним способом можно только уменьшить подачу насоса. Как правило, способ этот весьма неэкономичен. Однако на практике приходится часто им пользоваться.

Наиболее экономичным способом регулирования работы насосного агрегата является изменение числа оборотов рабочего колеса. Зависимость подачи, напора и мощности центробежного насоса от частоты его вращения характеризуется следующими уравнениями:



$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1}; \quad \frac{H}{H_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2; \quad \frac{N}{N_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^3,$$

где  $Q, H, N$  — подача, напор и мощность при частоте вращения рабочего колеса  $n$ ;  
 $Q_1, H_1, N_1$  — те же величины при другой частоте вращения рабочего колеса  $n_1$ .

Приведенные три формулы выражают закон пропорциональности.

Высота всасывания насоса при работе его с частотой вращения  $n_2$  определяется по уравнению:

$$H_{\text{вак}_1} = 10 - \left[ 10 - H_{\text{вак}} \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \right],$$

где  $H_{\text{вак}}$  — допускаемая вакуумметрическая высота всасывания при частоте вращения рабочего колеса  $n$ ;

$H_{\text{вак}_1}$  — то же, при частоте вращения  $n_1$ .

Закон пропорциональности позволяет по одной характеристике  $Q-H$  построить ряд характеристик насоса в широком диапазоне частоты вращения.

Решая совместно первые две формулы закона пропорциональности, получим уравнение параболы подобных режимов:

$$H = \frac{H_1}{Q_1^2} Q^2 = \text{const } Q^2 = K_1 Q^2,$$

где  $K_1$  — коэффициент, характеризующий кривую пропорциональности.

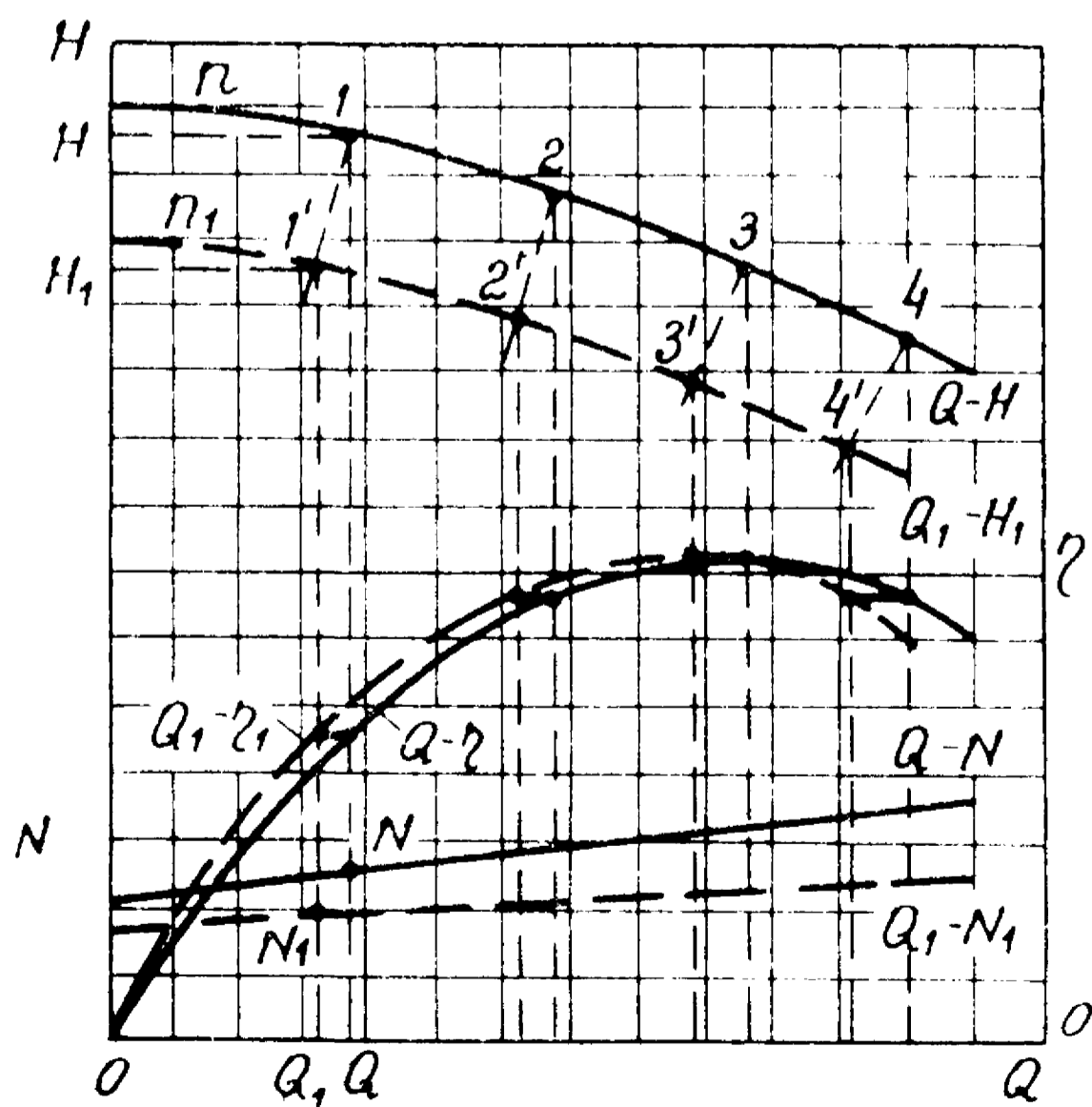


Рис. 63. Графические построения при пересчете характеристик насоса с одной частоты вращения на другую

Для одной параболы подобных режимов коэффициент пропорциональности постоянен.

Имея характеристику насоса  $Q-H$  для частоты вращения  $n$  и пользуясь формулами закона пропорциональности  $Q/Q_1 = n/n_1$  и  $H/H_1 = (n/n_1)^2$ , можно построить новую характеристику насоса  $Q_1-H_1$  для другой частоты вращения  $n_1$ .

Для этого надо задаться на известной кривой  $Q-H$  какой-либо точкой  $1$  с параметрами  $Q$  и  $H$  при частоте вращения  $n$  (рис. 63) и, подставив их в уравнения  $Q/Q_1 = n/n_1$  и

$H/H_1 = (n_1/n_2)^2$ , найти  $Q_1$  и  $H_1$  для точки  $1'$  с заданной частотой вращения  $n_1$ . Так же находят параметры точек  $2'$ ,  $3'$  и т. д. Соединив эти точки, получим кривую  $Q_1—H_1$ , новую характеристику насоса для частоты вращения  $n_1$ .

При построении кривой КПД  $Q_1—\eta_1$  пользуются тем, что КПД насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса насоса в довольно широких диапазонах остается практически постоянным. Поэтому КПД, соответствующий точкам  $1, 2, 3, 4$  и т. д. на кривой  $Q—H$ , переносят без изменения соответственно точкам  $1', 2', 3', 4'$  и т. д.

Кривую мощности  $Q—N$  пересчитывают по третьей формуле закона пропорциональности  $N_n/N_{n_1} = (n/n_1)^3$ .

Другим способом регулирования работы центробежного насоса является метод срезки (обточки) рабочего колеса по его наружному диаметру. При срезке рабочего колеса центробежного насоса подача и напор изменяются в соответствии с формулами:

$$\frac{Q_{ср}}{Q} = \frac{D_{ср}}{D}; \quad \frac{H_{ср}}{H} = \left(\frac{D_{ср}}{D}\right)^2,$$

где  $Q$  и  $H$  — подача и напор насоса при стандартном наружном диаметре рабочего колеса  $D$ ;

$Q_{ср}$  и  $H_{ср}$  — подача и напор насоса при срезанном колесе диаметром  $D_{ср}$ .

Пользуясь приведенными выше уравнениями, можно, например, найти, до какого диаметра нужно срезать рабочее колесо насоса, чтобы обеспечить необходимую подачу  $Q_A$  и напор  $H_A$ . Для этого из уравнения параболы подобных режимов вида  $H = KQ^2$  после подстановки заданных  $Q_A$  и  $H_A$  находят коэффициент  $K$ . Далее, задаваясь различными подачами по шкале  $Q$  графика (рис. 64), по этому уравнению можно определить соответствующие напоры. При вычислении напоров значение коэффициента  $K$  сохраняется постоянным. По значениям  $Q$  и  $H$  строят параболу подобных режимов, которая обязательно пройдет через заданную точку  $A$  с координатами  $Q_A$

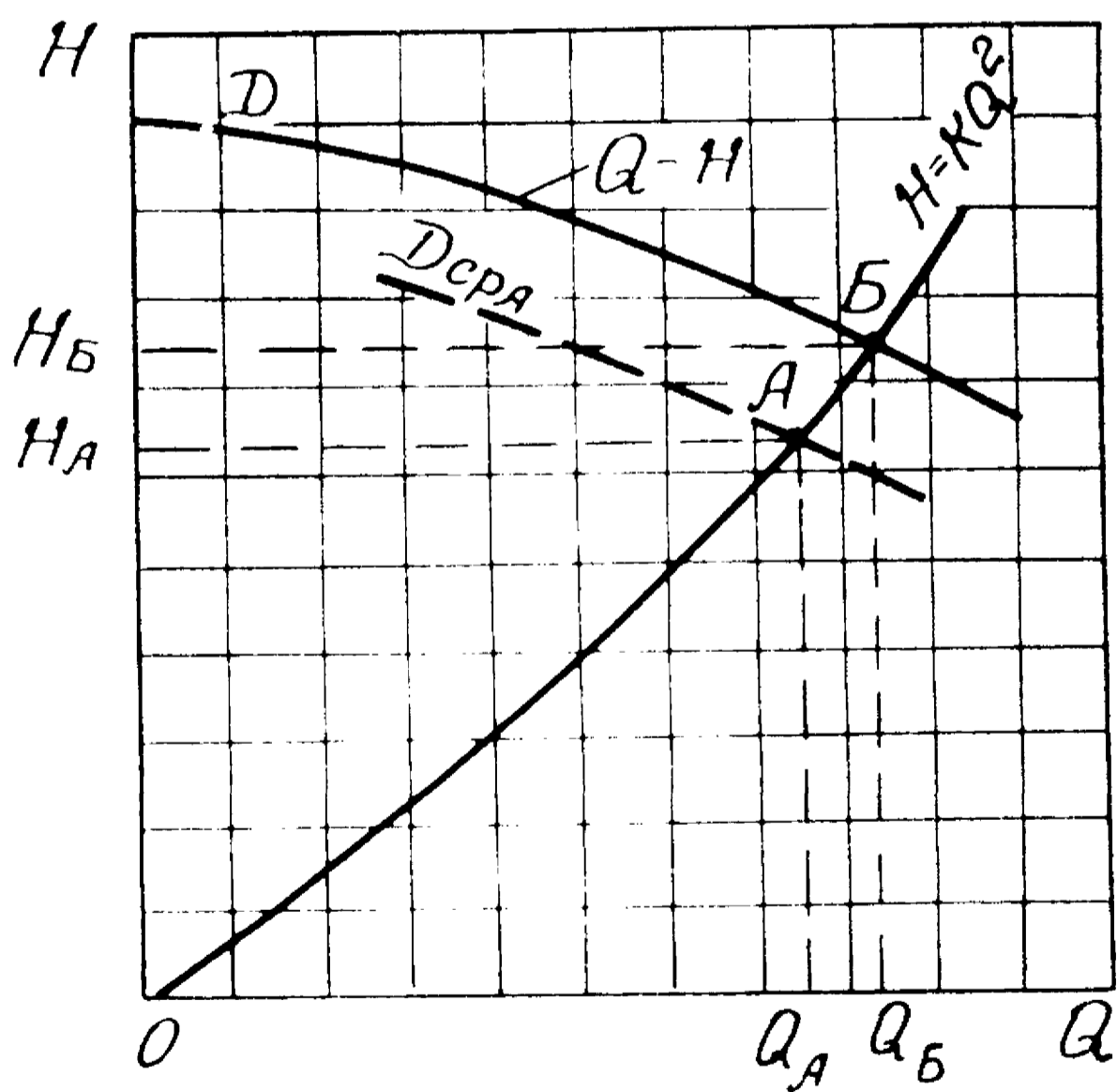


Рис. 64. Графические построения при определении диаметра срезки рабочего колеса насоса

и  $H_A$  и пересечет  $Q—H$  в точке  $B$ . После этого по формуле  $Q_B/Q_A = D/D_{срА}$  находят искомый диаметр рабочего колеса  $D_{срА}$ :

$$D_{срА} = \frac{Q_A}{Q_B} D.$$

Коэффициент полезного действия насоса при срезке колеса изменяется незначительно. С достаточной степенью точности можно принять, что КПД насоса уменьшается на 1% на каждые 10% срезки колеса при коэффициенте быстроходности  $n_s = 60 \dots 200$  и на 1% на каждые 4% срезки при  $n_s = 200 \dots 300$ .

Коэффициент быстроходности определяется по формуле:

$$n_s = 3,65 \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}},$$

где  $Q$  — подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$H$  — напор насоса, м;

$n$  — частота вращения рабочего колеса насоса, мин<sup>-1</sup>.

В зависимости от коэффициента быстроходности  $n_s$  рекомендуются следующие пределы срезки колеса:

$n_s$ от 60 до 120 . . . . .	20—15%
$n_s$ от 120 до 200 . . . . .	15—11%
$n_s$ от 200 до 300 . . . . .	11—7%

Регулирование подачи центробежного насоса изменением характеристики системы трубопроводов осуществляется, как правило, задвижкой. Для уменьшения подачи насоса прикрывают задвижку на напорной линии. Этот способ применяется в случаях, когда регулирование кратковременно, при параллельной работе нескольких насосов в общую систему, когда двигатель не допускает изменения числа оборотов, при изменении горизонта воды в источнике.

Потребная степень прикрытия задвижки определяется методом построения дроссельных кривых  $Q_1—H_1$ ,  $Q_2—H_2$  и т. д. (рис. 65), т. е. построения характеристик  $Q—H$  насоса с уменьшением  $H$  вследствие потери напора в задвижке.

Потери напора в задвижке для построения дроссельных кривых определяют по формуле:

$$h_3 = \zeta_3 \frac{v^2}{2g} \quad \text{или} \quad h_3 = \frac{A_3}{d^4} \cdot Q^2.$$

Значения  $\xi_3$  или  $A_3$  можно принимать по прил. 7. По значениям  $Q$  и  $h_3$  строится кривая сопротивлений на графике характеристики насоса  $Q-h_1$ ,  $Q-h_2$  и т. д. Затем из ординат характеристики насоса  $Q-H$  вычитаются ординаты кривой сопротивлений при одинаковых подачах, а полученные точки соединяются плавной кривой  $Q-H_1$ ,  $Q-H_2$  и т. д., называемой дроссельной кривой. Дроссельные кривые  $Q-H_1$ ,  $Q-H_2$  и т. д. строятся так, чтобы точка на характеристике системы трубопроводов с требуемыми параметрами (например  $Q_A$  и  $H_A$ ) лежала между ними. Зная, каким открытиям задвижки соответствуют дроссельные кривые (например  $2/8$  и  $4/8$ ), интерполяцией определяют нужное открытие задвижки.

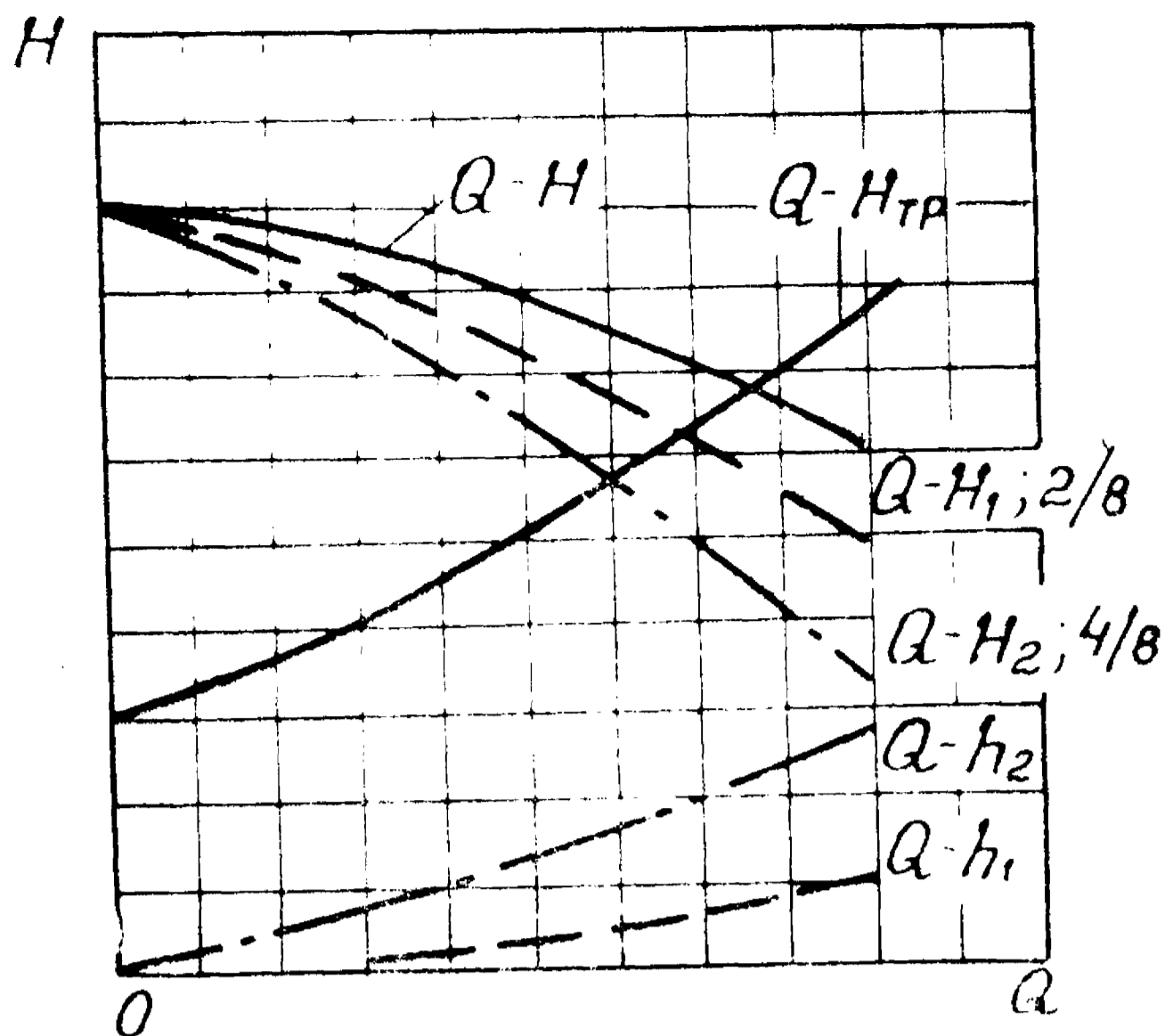


Рис. 65. Графические построения при регулировании работы насоса задвижкой

#### 4.1. Регулирование работы центробежных насосов изменением частоты вращения рабочего колеса

**Пример 13.** Центробежный насос Д320-50 при числе оборотов  $n=1450$  мин<sup>-1</sup> обеспечивает подачу  $Q=90$  л/с, развивая при этом напор  $H=50$  м при мощности  $N_n=58,8$  кВт.

Требуется определить подачу насоса  $Q_1$ , развиваемый им напор  $H_1$  и потребную мощность  $N_{n_1}$  при числе оборотов  $n_1=1250$  мин<sup>-1</sup>.

*Решение.* При числе оборотов  $n_1=1250$  мин<sup>-1</sup> подача насоса изменится пропорционально числу оборотов:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1}, \text{ или } Q_1 = Q \frac{n_1}{n} = 90 \cdot \frac{1250}{1450} = 77,6 \text{ л с.}$$

Напор насоса изменится пропорционально квадрату чисел оборотов:

$$\frac{H}{H_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2, \text{ или } H_1 = H \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 = 50 \left(\frac{1250}{1450}\right)^2 = 37,2 \text{ м.}$$

Мощность на валу насоса изменится пропорционально кубу чисел оборотов:

$$\frac{N_n}{N_{n_1}} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^3, \text{ или } N_{n_1} = N_n \left(\frac{n}{n_1}\right)^3 = 58,8 \left(\frac{1250}{1450}\right)^3 = 37,7 \text{ кВт.}$$

Следовательно, если число оборотов изменится с  $1450 \text{ мин}^{-1}$  до  $1250 \text{ мин}^{-1}$ , то насос Д320-50 изменит режим работы и будет обеспечивать следующие параметры:  $Q_1 = 77,6 \text{ л/с}$ ;  $H_1 = 37,2 \text{ м}$ ;  $N_{n_1} = 37,7 \text{ кВт}$ .

**Пример 14.** Центробежный насос Д320-50 при числе оборотов  $n = 1450 \text{ мин}^{-1}$  имеет характеристику, приведенную на рис. 66.

Требуется построить характеристику  $Q_1 - H_1$  для этого насоса при числе оборотов  $n_1 = 1250 \text{ мин}^{-1}$ .

*Решение.* На кривой  $Q - H$ , соответствующей частоте вращения  $n$ , выбирают произвольно точки 1, 2, 3, 4, 5, 6 и с графика снимают координаты этих точек, которые приведены в таблице.

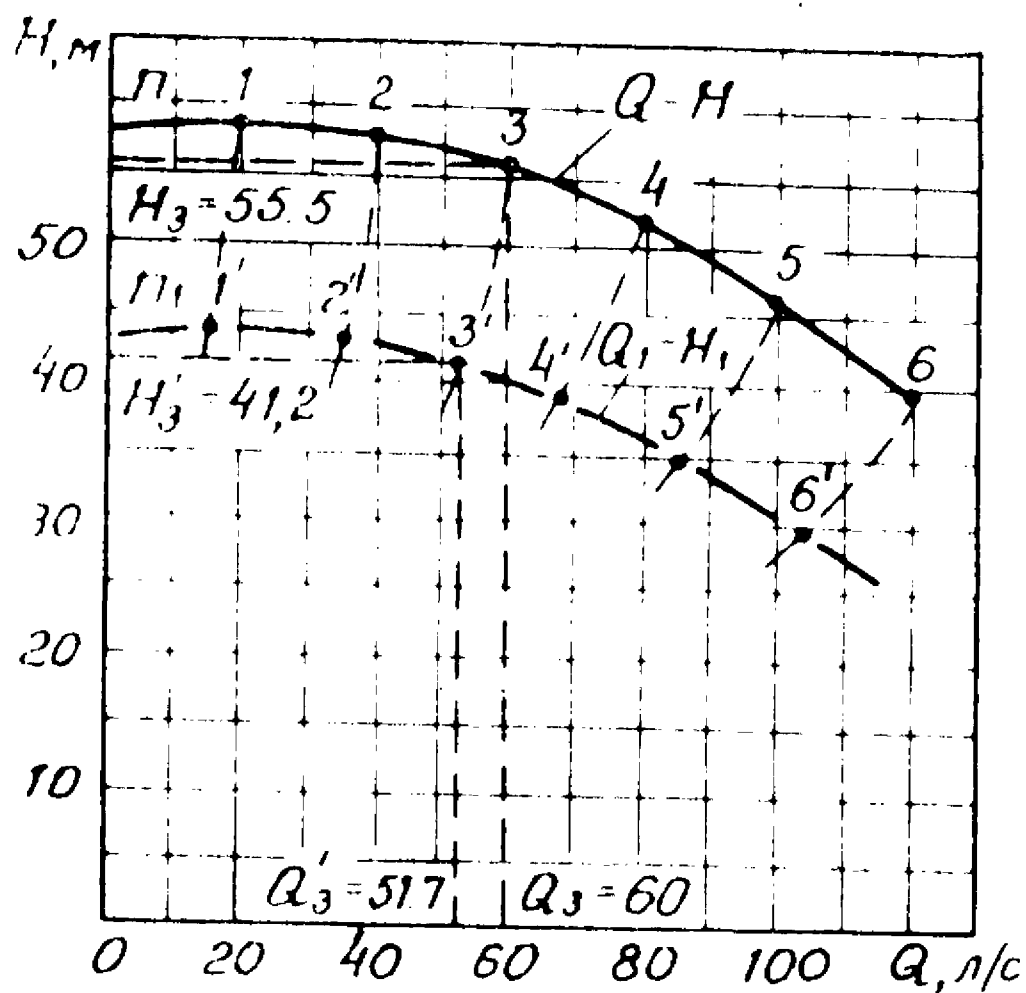


Рис. 66. Пересчет характеристики насоса Д320-50 при изменении частоты вращения

Номер точки	1	2	3	4	5	6
Расход $Q$ , л/с	20	40	60	80	100	120
Напор $H$ , м	58,5	58	55,5	52	46	39

Затем по формулам  $Q/Q' = n/n_1$  и  $H/H' = (n/n_1)^2$  вычисляют координаты точек  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ ,  $4'$ ,  $5'$  и  $6'$ :

$$\frac{Q_1}{Q_1'} = \frac{n}{n_1}, \text{ или } Q_1' = Q_1 \frac{n_1}{n} = 20 \frac{1250}{1450} = 17,2 \text{ л/с};$$

$$\frac{H_1}{H_1'} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2, \text{ или } H_1' = H_1 \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 = 58,5 \left(\frac{1250}{1450}\right)^2 = 43,5 \text{ м};$$

$$\frac{Q_2}{Q_2'} = \frac{n}{n_1}, \text{ или } Q_2' = Q_2 \frac{n_1}{n} = 40 \frac{1250}{1450} = 34,5 \text{ л/с};$$

$$\frac{H_2}{H'_2} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2, \text{ или } H'_2 = H_2 \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 = 58 \left(\frac{1250}{1450}\right)^2 = 43,1 \text{ м}$$

и т. д.

Координаты точек 1', 2', 3', 4', 5' и 6' приведены в таблице.

Номер точки.	1'	2'	3'	4'	5'	6'
Расход $Q'$ , л/с	17,2	34,5	51,7	69	86,2	103,5
Напор $H'$ , м	43,5	43,1	41,2	39,2	34,2	29

По полученным координатам на график наносят точки 1', 2', 3', 4', 5' и 6'. Соединив эти точки плавной кривой, получают кривую  $Q_1-H_1$  при частоте вращения  $n_1=1250 \text{ мин}^{-1}$ .

**Пример 15.** Центробежный насос Д320-50 при числе оборотов  $n=1450 \text{ мин}^{-1}$  имеет характеристику, приведенную на рис. 67. Этим насосом необходимо подать воду с напором  $H_A=35 \text{ м}$  в количестве  $Q_A=80 \text{ л/с}$ . Требуется установить, какое число оборотов необходимо дать центробежному насосу, чтобы он обеспечил требуемую подачу с указанным напором, работая при открытой задвижке на напорной линии.

**Решение.** Используя уравнение пропорциональности вида  $H=K_A Q^2$ , строим параболу подобных режимов, проходящую через точку А. Числовое значение коэффициента  $K_A$  определяем по формуле:

$$K_A = \frac{H_A}{Q_A^2} = \frac{35}{80^2} = 0,005469.$$

Для вычислений  $H$  задаемся произвольно расходом  $Q$ . Результаты вычислений приведены в таблице.

$Q$ , л/с	0	20	40	60	80	100
$H$ , м	0	2,18	8,75	19,69	35,0	54,69

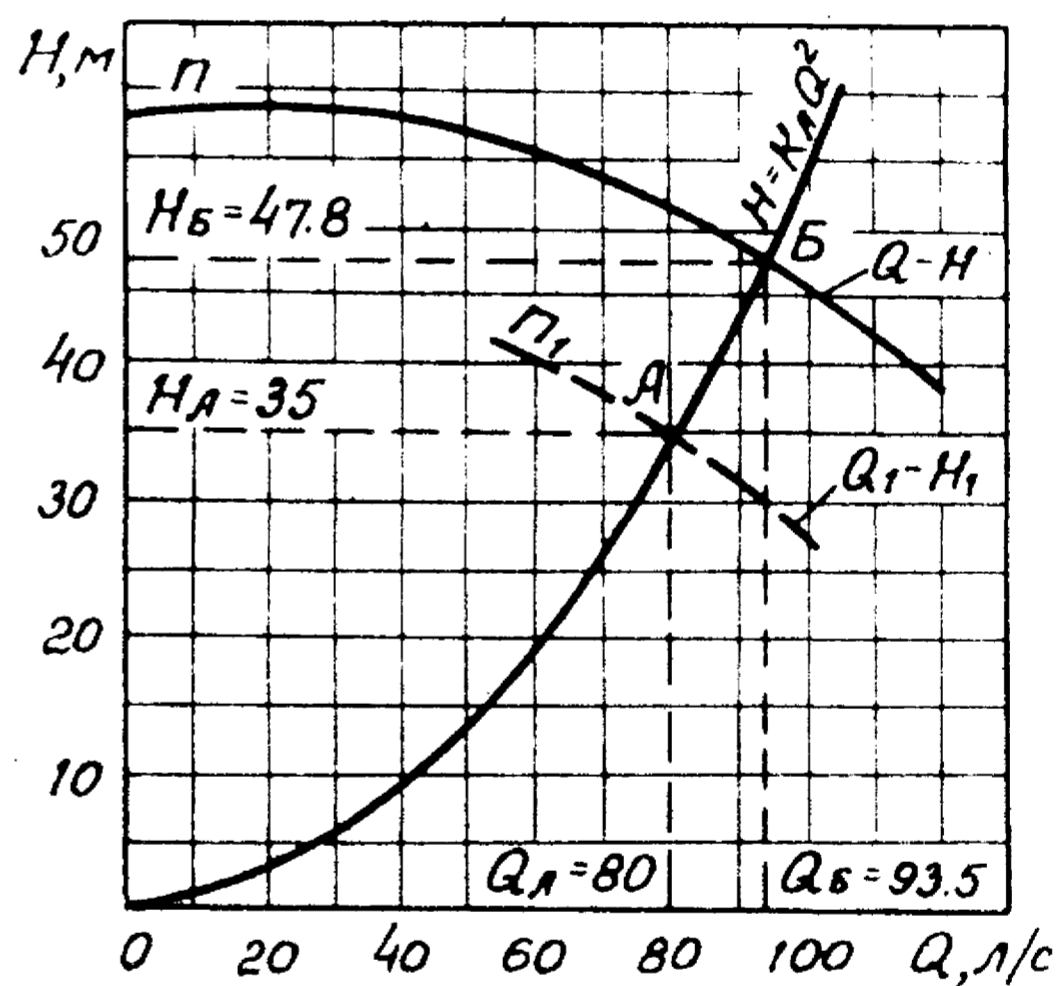


Рис. 67. Пересчет характеристики насоса Д320-50 на заданные параметры

По данным  $Q$  и  $H$  строим параболу подобных режимов (рис. 67), которая пройдет через точку  $A$  и пересечет характеристику насоса  $Q—H$  при частоте вращения  $n=1450$  мин<sup>-1</sup> в точке  $B$  с координатами  $Q_B=93,5$  л/с;  $H_B=47,8$  м. Из уравнения  $Q_B/Q_A=n/n_1$  находим искомое число оборотов  $n_1$ :

$$n_1 = \frac{Q_A \cdot n}{Q_B} = \frac{80 \cdot 1450}{93,5} = 1240 \text{ мин}^{-1}.$$

**Задача 45.** Центробежный насос 6К-160/30 при числе оборотов  $n=2900$  мин<sup>-1</sup> обеспечивает подачу  $Q=45$  л/с, развивая при этом напор  $H=36$  м при мощности  $N_H=20,9$  кВт.

Требуется определить подачу насоса  $Q_1$ , развиваемый им напор  $H_1$  и потребную мощность  $N_{H_1}$  при числе оборотов 2700 мин<sup>-1</sup>.

*Ответ:*  $Q_1=41,9$  л/с;  $H_1=31,2$  м;  $N_{H_1}=16,9$  кВт.

**Задача 46.** Центробежный насос Д200-36 при числе оборотов  $n=1450$  мин<sup>-1</sup> обеспечивает подачу  $Q=60$  л/с, развивая при этом напор  $H=34$  м при мощности  $N_H=28,4$  кВт.

Требуется определить подачу насоса  $Q_1$ , развиваемый им напор  $H_1$  и потребную мощность  $N_{H_1}$  при числе оборотов 1300 мин<sup>-1</sup>.

*Ответ:*  $Q_1=53,8$  л/с;  $H_1=27,3$  м;  $N_{H_1}=25,5$  кВт.

**Задача 47.** Центробежный насос Д800-28 при числе оборотов  $n=960$  мин<sup>-1</sup> обеспечивает подачу  $Q=220$  л/с, развивая при этом напор  $H=30$  м при мощности  $N_H=72,7$  кВт.

Требуется определить подачу насоса  $Q_1$ , развиваемый им напор  $H_1$  и потребную мощность  $N_{H_1}$  при числе оборотов 850 мин<sup>-1</sup>.

*Ответ:*  $Q_1=194,8$  л/с;  $H_1=23,5$  м;  $N_{H_1}=50,5$  кВт.

**Задача 48.** Центробежный насос Д2000-34 при числе оборотов  $n=730$  мин<sup>-1</sup> обеспечивает подачу  $Q=555,6$  л/с, развивая напор  $H=34$  м при мощности  $N_H=205,8$  кВт.

Требуется определить подачу насоса  $Q_1$ , развиваемый им напор  $H_1$  и потребную мощность  $N_{H_1}$  при числе оборотов 650 мин<sup>-1</sup>.

*Ответ:*  $Q_1=494,7$  л/с;  $H_1=27$  м;  $N_{H_1}=145,3$  кВт.

**Задача 49.** Центробежный насос Д320-50 при числе оборотов  $n=1450$  мин<sup>-1</sup> имеет характеристику  $Q—H$ , приведенную на рис. 66 (к примеру 14). Требуется построить характеристику  $Q'—H'$  для этого насоса при числе оборотов  $n_1=1350$  мин<sup>-1</sup>, указав на графике, какие точки на кривой

$Q'—H'$  будут соответствовать принятым (при вычислении) точкам на кривой  $Q—H$ .

Ответ приведен в таблице.

Номер точки	1	2	3	4	5	6
$Q$ , л/с	20	40	60	80	100	120
$H$ , м	58,5	58	55,5	52	46	39
$Q'$ , л/с	18,6	37,2	55,9	74,5	93,1	111,7
$H'$ , м	50,7	50,3	48,1	45,1	39,9	33,8

**Задача 50.** Центробежный насос Д320-70 при числе оборотов  $n=2950$  мин<sup>-1</sup> имеет характеристику  $Q—H$ , приведенную на рис. 68. Требуется построить характеристику  $Q'—H'$  для этого насоса при числе оборотов  $n_1=2750$  мин<sup>-1</sup>, указав на графике, какие точки на кривой  $Q'—H'$  будут соответствовать принятым (при вычислении) точкам на кривой  $Q—H$ .

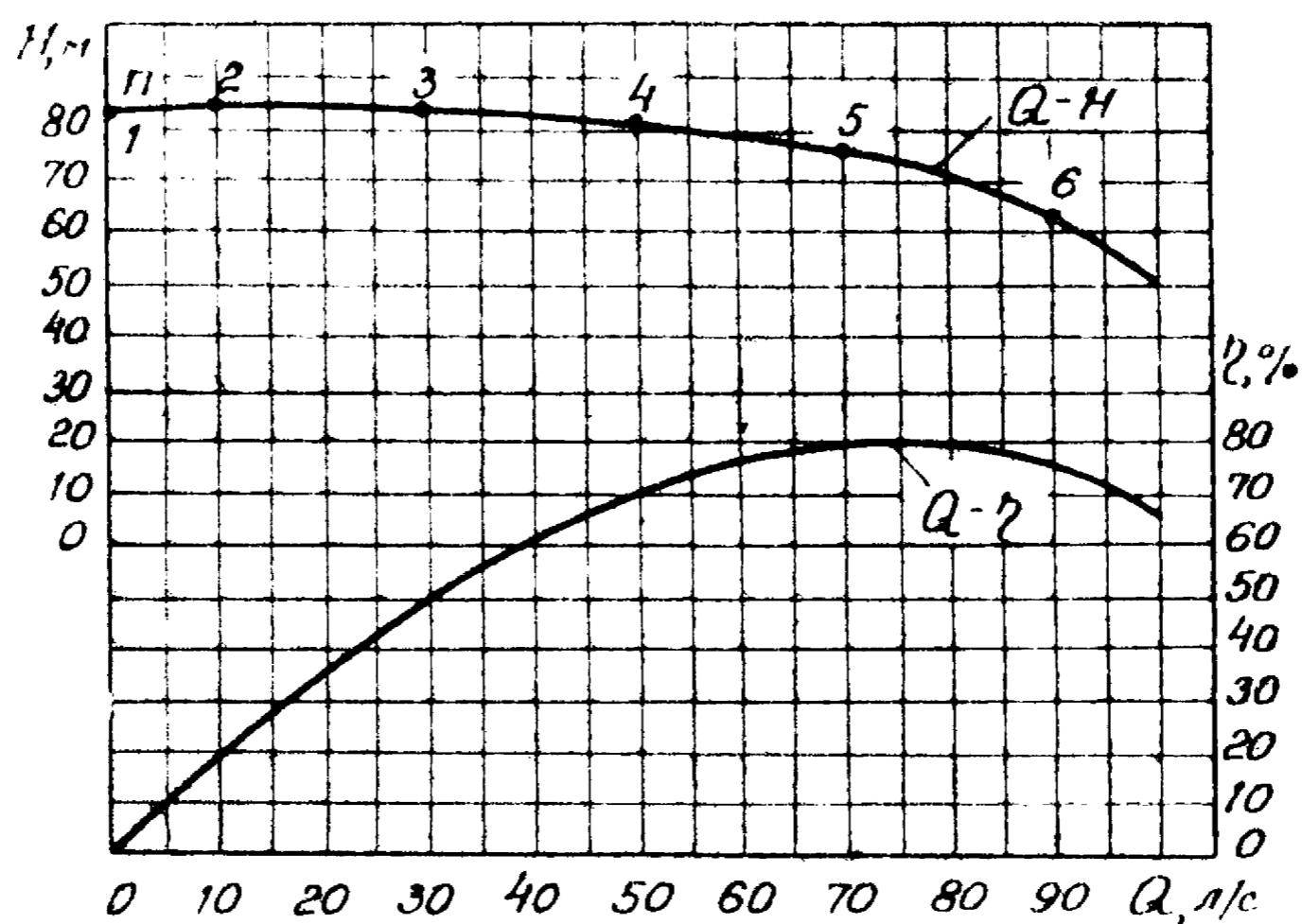


Рис. 68. Характеристика центробежного насоса Д320-70

Ответ приведен в таблице.

Номер точки	1	2	3	4	5	6
$Q$ , л/с	0	10	30	50	70	90
$H$ , м	84	84,6	81,8	80	78,1	64,8
$Q'$ , л/с	0	9,3	28	46,6	65,2	83,9
$H'$ , м	73	73,5	71,1	69,5	67,9	56,3



**Задача 51.** Центробежный насос Д320-70 при числе оборотов  $n=2950 \text{ мин}^{-1}$  имеет характеристику  $Q-H$  и  $Q-\eta$ , приведенную на рис. 68. Требуется построить характеристики  $Q'-H'$  и  $Q'-\eta'$  для нового числа оборотов  $n_1=2600 \text{ мин}^{-1}$ .

*Ответ.* Координаты точек для характеристик  $Q-H$ ,  $Q-\eta$  и  $Q'-H'$ ,  $Q'-\eta'$  приведены в таблице.

Номер точки	1	2	3	4	5	6
$Q, \text{ л/с}$	0	10	30	50	70	90
$H, \text{ м}$	84	84,6	81,8	80	78,1	64,8
$Q', \text{ л/с}$	0	8,8	26,4	44,1	61,7	79,3
$H', \text{ м}$	65,3	65,7	63,5	62,1	60,7	50,3
$\eta=\eta'$	0	0,20	0,59	0,70	0,80	0,76

**Задача 52.** Центробежный насос Д320-70 при числе оборотов  $n=2950 \text{ мин}^{-1}$  имеет характеристику  $Q-H$ , приведенную на рис. 68. Этим насосом требуется подать воду в количестве  $Q_A=70 \text{ л/с}$  под напором  $H_A=50 \text{ м}$ .

Требуется установить, какое число оборотов  $n_1$  необходимо дать насосу, чтобы он обеспечил требуемую подачу с указанным напором, работая при открытой задвижке напорной линии.

*Ответ:*  $n=2490 \text{ мин}^{-1}$ .

**Задача 53.** Центробежный насос Д500-36 подает воду в водонапорную башню по системе трубопроводов, характеристика которой задана уравнением  $H_{\text{тр}}=H_{\Gamma}+S_{\text{тр}}Q^2$ , в котором  $H_{\Gamma}=20 \text{ м}$ ,  $S_{\text{тр}}=1200$

для  $Q$ , выраженного в  $\text{м}^3/\text{с}$ . Характеристика насоса при числе оборотов  $960 \text{ мин}^{-1}$  приведена на рис. 69.

Требуется определить параметры этого насоса  $Q_1$ ,  $H_1$ ,  $\eta_{H_1}$  и  $N_{H_1}$  при числе оборотов насоса  $n_1=730 \text{ мин}^{-1}$  и при подаче воды по той же системе трубопроводов.

*Ответ:*  $Q_1=60 \text{ л/с}$ ;  $H_1=24,3 \text{ м}$ ;  $\eta_{H_1}=0,70$ ;  $N_{H_1}=20,4 \text{ кВт}$ .

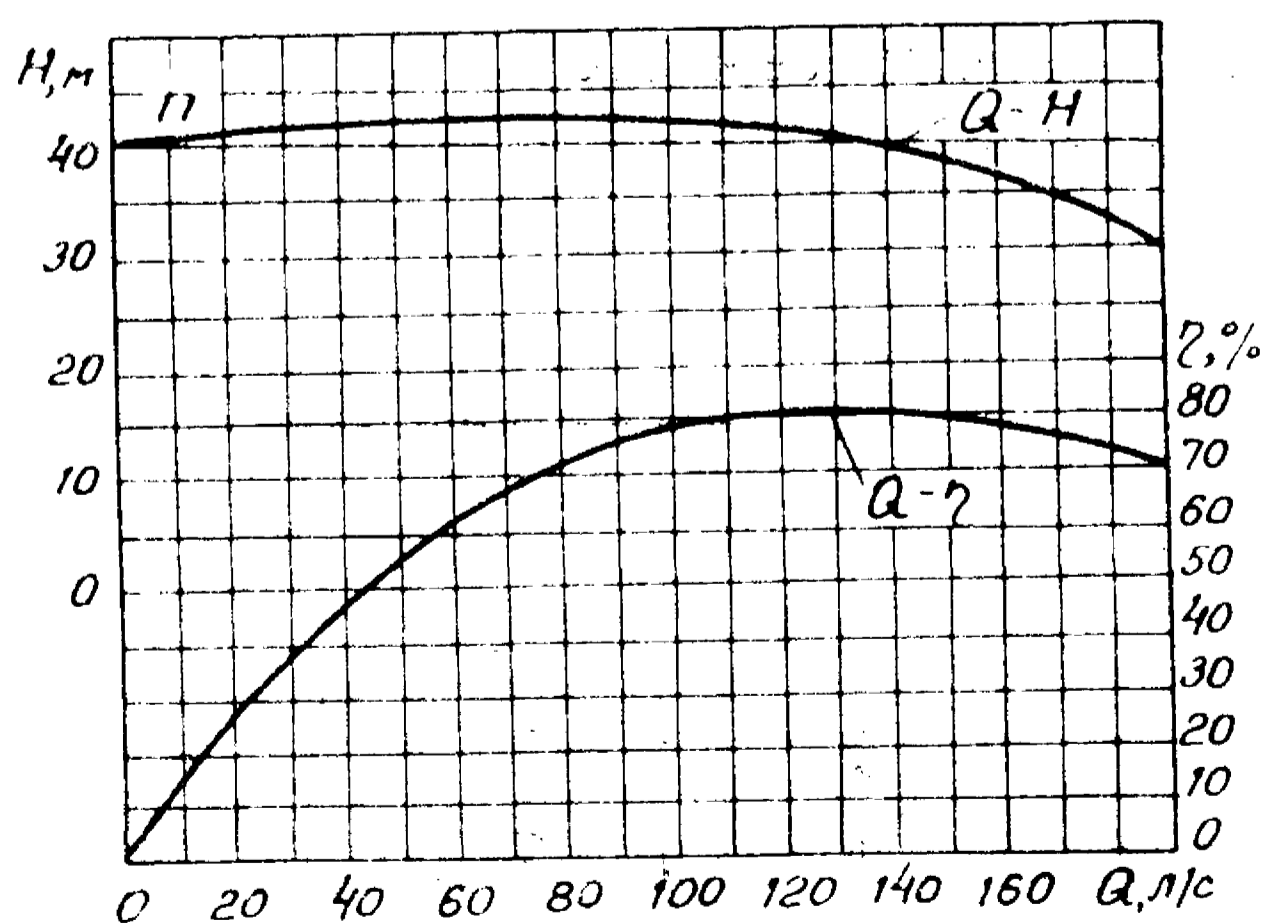


Рис. 69. Характеристика центробежного насоса Д500-36

**Задача 54.** Центробежный насос Д500-36 при числе оборотов  $n=960 \text{ мин}^{-1}$  имеет характеристику  $Q-H$ , приведенную на рис. 69. Этим насосом требуется подать воду в количестве  $Q_A=120 \text{ л/с}$  с напором  $H_A=35 \text{ м}$ .

Требуется установить, какое число оборотов  $n_1$  необходимо дать насосу, чтобы он обеспечил требуемую подачу с указанным напором, работая при открытой задвижке на напорной линии.

Ответ:  $n_1=890 \text{ мин}^{-1}$ .

#### 4.2. Регулирование работы центробежных насосов срезкой рабочего колеса

**Пример 16.** Центробежный насос 4К-90/55 при числе оборотов  $n=2900 \text{ мин}^{-1}$  и диаметре рабочего колеса  $D=218 \text{ мм}$  имеет характеристику  $Q-H$ , приведенную на рис. 70. Насос должен обеспечить подачу  $Q_A=25 \text{ л/с}$  при напоре  $H_A=43 \text{ м}$ .

Требуется определить диаметр рабочего колеса после срезки, величину срезки колеса в процентах и построить новую кривую  $Q'-H'$  с диаметром рабочего колеса  $D_1$ .

**Решение.** Для определения срезки рабочего колеса на характеристике  $Q-H$  должна быть найдена точка  $B$ , соответствующая точке  $A$  с параметрами  $Q_A$  и  $H_A$ . Точки  $A$  и  $B$  находятся на параболе подобных режимов, которая строится по уравнению:

$$H=K_A Q^2,$$

где 
$$K_A = \frac{H_A}{Q_A^2} = \frac{43}{25^2} = 0,0688,$$

тогда  $H=0,0688Q^2$ .

Для вычисления  $H$  задаемся произвольной подачей  $Q$ :

$Q, \text{ л/с: } 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30;$

$H, \text{ м: } 0; 1,72; 6,88; 15,48; 27,52; 43; 61,92.$

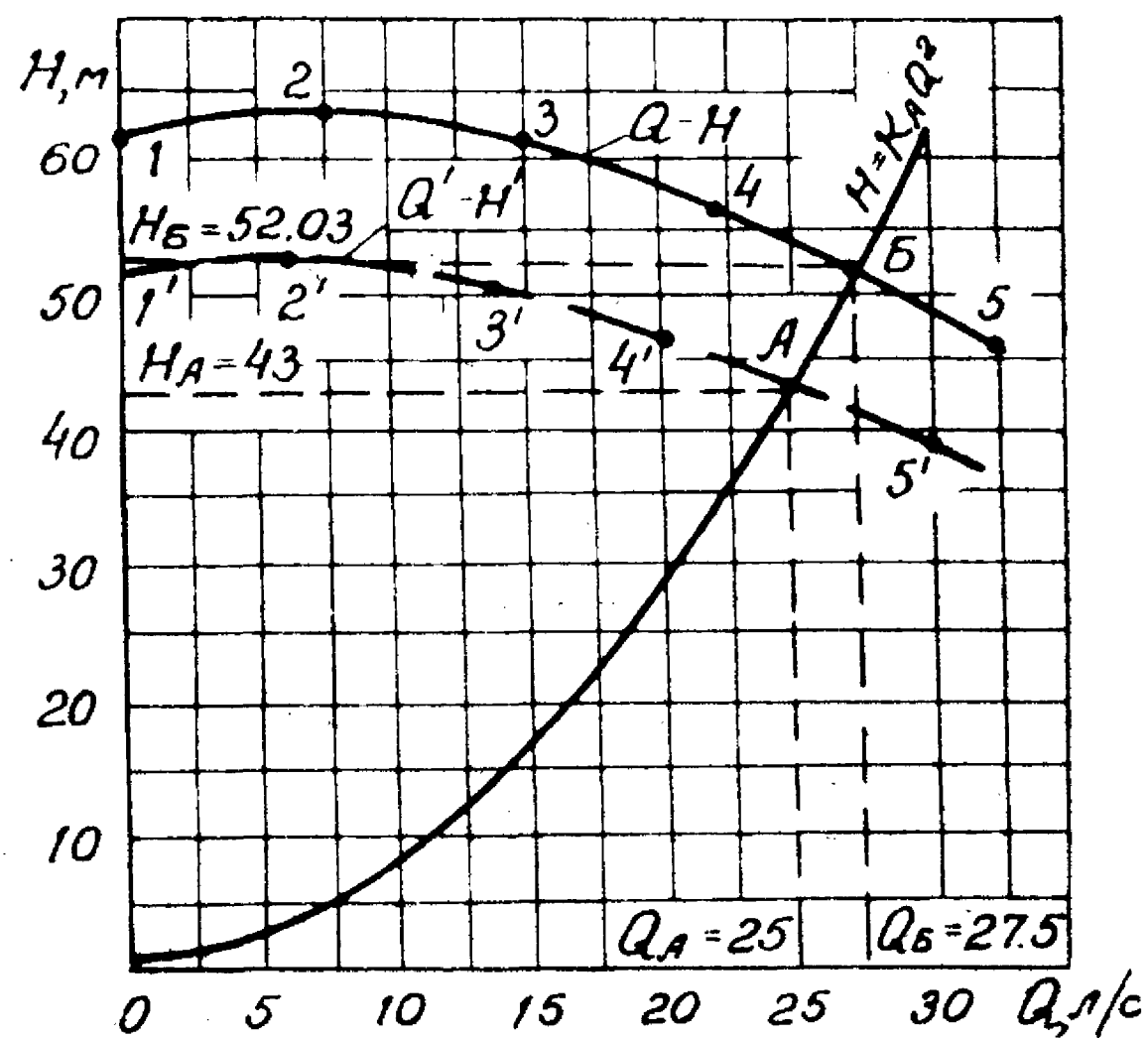


Рис. 70. Характеристика центробежного насоса 4К-90/55 при срезке рабочего колеса

По полученным данным строим параболу подобных режимов  $H = K_A Q^2$  на графике характеристики насоса, которая пройдет через точку  $A$  и пересечет характеристику насоса  $Q-H$  с диаметром рабочего колеса  $D = 218$  мм в точке  $B$  с координатами  $Q_B = 27,5$  л/с,  $H_B = 52,03$  м.

Из формулы  $\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{D}{D_1}$  находим диаметр срезанного рабочего колеса:

$$D_1 = \frac{Q_A \cdot D}{Q_B} = \frac{25 \cdot 218}{27,5} = 198 \text{ мм},$$

т. е. рабочее колесо должно быть срезано на

$$\frac{(D - D_1) \cdot 100}{D} = \frac{(218 - 198) \cdot 100}{218} = 9,2\%.$$

Коэффициент быстроходности данного насоса находится по формуле:

$$n_s = 3,65 \frac{n \sqrt{Q}}{H^{3/4}} = \frac{3,65 \cdot 2900 \cdot \sqrt{0,0275}}{51^{3/4}} = 93,$$

в которой параметры  $Q$  и  $H$  принимаются при максимальном коэффициенте полезного действия насоса;

$n = 2900$  мин<sup>-1</sup> — число оборотов рабочего колеса;

$Q = 0,0275$  м<sup>3</sup>/с — подача при максимальном КПД насоса;

$H = 51$  м — напор при максимальном КПД насоса.

При таком коэффициенте быстроходности срезка колеса допускается до 20%, т. е. больше чем 9,2%.

Для построения характеристики  $Q'-H'$  необходимо задаться несколькими точками на кривой  $Q-H$ , например: 1 ( $Q=0$ ,  $H=62$ ); 2 ( $Q=7,5$ ,  $H=63,5$ ) и т. д., и, пользуясь формулами

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{D_1}{D}; \quad Q_1 = Q \frac{D_1}{D} = Q \frac{198}{218};$$

$$\frac{H_1}{H} = \left(\frac{D_1}{D}\right)^2; \quad H_1 = H \left(\frac{D_1}{D}\right)^2 = H \left(\frac{198}{218}\right)^2,$$

пересчитать определяющие эти точки величины на новые.

Результаты пересчета приведены в таблице.

По координатам  $Q'$  и  $H'$  на график наносим точки 1', 2', 3', 4' и 5'. Соединив плавной кривой эти точки, получаем кривую  $Q'-H'$  с диаметром рабочего колеса  $D_1 = 198$  мм.

Номер точки	1	2	3	4	5	Б
$Q$ , л/с	0	7,5	15	22,5	32,5	27,5
$H$ , м	62	63,5	60,5	56	46	52,03
$Q'$ , л/с	0	6,8	13,6	20,4	29,5	25
$H'$ , м	51,1	52,4	49,9	46,2	37,9	42,9

**Пример 17.** Центробежный насос 4К-90/55, имея диаметр рабочего колеса  $D=218$  мм и число оборотов  $n=2900$  мин<sup>-1</sup>, обеспечивает подачу  $Q=25$  л/с, развивая при этом напор  $H=54,5$  м при мощности  $N_H=18,8$  кВт и КПД  $\eta_H=0,71$ .

Коэффициент быстроходности насоса 4К-90/55  $n_s=83$ .

Требуется определить подачу насоса  $Q_1$ , развиваемый им напор  $H_1$  и потребную мощность  $N_{H_1}$  для этого насоса с диаметром рабочего колеса  $D_1=205$  мм.

*Решение.* С диаметром рабочего колеса  $D_1=205$  мм подача насоса изменится пропорционально изменению размера диаметра:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{D}{D_1}, \text{ или } Q_1 = Q \frac{D_1}{D} = 25 \frac{205}{218} = 23,5 \text{ л/с.}$$

Напор насоса изменится пропорционально квадрату изменения размера диаметра:

$$\frac{H}{H_1} = \left(\frac{D}{D_1}\right)^2, \text{ или } H_1 = H \left(\frac{D_1}{D}\right)^2 = 54,5 \left(\frac{205}{218}\right)^2 = 48,2 \text{ м.}$$

Потребную мощность  $N_{H_1}$  определяем по формуле:

$$N_{H_1} = \frac{\rho g Q_1 H_1}{1000 \eta_{H_1}} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,0235 \cdot 48,2}{1000 \cdot 0,706} = 15,8 \text{ кВт.}$$

Коэффициент полезного действия насоса  $\eta_{H_1}=0,706$ , т. к. срезка колеса составляет  $\frac{(218 - 205) 100}{218} = 6,3\%$ . Для насосов с коэффициентом быстроходности  $n_s=60 \dots 120$  КПД уменьшается на 1% на каждые 10% срезки рабочего колеса. Поэтому  $\eta_{H_1}$  определяем по формуле:

$$\eta_{H_1} = \frac{(100 - 0,63) \cdot \eta_H}{100} = \frac{99,37 \cdot 0,71}{100} = 0,706.$$

Следовательно, если диаметр рабочего колеса изменится с 218 до 205 мм, то насос 4К-90/55 изменит свой режим и

будет иметь следующие параметры:  $Q_1 = 23,5$  л/с;  $H_1 = 48,2$  м;  $\eta_{н_1} = 0,706$ ;  $N_{н_1} = 15,8$  кВт.

**Задача 55.** Центробежный насос 4К-90/30 с рабочим колесом диаметром  $D = 174$  мм при числе оборотов  $n = 2900$  мин<sup>-1</sup> обеспечивает подачу  $Q = 26$  л/с при напоре  $H = 34$  м.

Требуется определить подачу  $Q_1$  и напор  $H_1$ , которые обеспечил бы этот же насос, работая в тех же условиях, если рабочее колесо будет срезано на 15 мм.

*Ответ:*  $Q = 23,8$  л/с;  $H_1 = 28,4$  м.

**Задача 56.** Центробежный насос 6К-160/30 с рабочим колесом диаметром  $D = 328$  мм и при числе оборотов  $n = 1450$  мин<sup>-1</sup> обеспечивает рабочие параметры  $Q = 55$  л/с и  $H = 30$  м.

Требуется определить рабочие параметры  $Q_1$  и  $H_1$  этого же насоса, если его рабочее колесо будет срезано на 10%.

*Ответ:*  $Q_1 = 49,5$  л/с;  $H_1 = 24,3$  м.

**Задача 57.** Центробежный насос Д500-65 с рабочим колесом диаметром  $D = 465$  мм при числе оборотов  $n = 1450$  мин<sup>-1</sup> подает расход  $Q = 130$  л/с с напором  $H = 67$  м, затрачивая мощность на валу насоса  $N_{н} = 109,5$  кВт и работая с КПД  $\eta_{н} = 0,78$ .

Требуется определить рабочие параметры насоса  $Q_1$ ,  $H_1$ ,  $\eta_{н_1}$  и  $N_{н_1}$  при срезке рабочего колеса на 6%.

*Ответ:*  $Q_1 = 122,2$  л/с;  $H_1 = 59,2$  м;  $\eta_{н_1} = 0,775$ ;  $N_{н_1} = 91,5$  кВт.

**Задача 58.** Центробежный насос Д1250-65 с рабочим колесом диаметром  $D = 460$  мм при числе оборотов  $n = 1450$  мин<sup>-1</sup> подает расход  $Q = 350$  л/с с напором  $H = 64$  м, затрачивая мощность на валу насоса  $N_{н} = 246,7$  кВт и работая с КПД  $\eta_{н} = 0,89$ .

Требуется определить рабочие параметры насоса  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $\eta_{н_1}$ ,  $\eta_{н_2}$  и  $N_{н_1}$ ,  $N_{н_2}$  при срезке рабочего колеса до  $D_1 = 430$  мм и до  $D_2 = 400$  мм.

*Ответ.* При диаметре рабочего колеса  $D_1$ :  $Q_1 = 327,2$  л/с;  $H_1 = 56,8$  м;  $\eta_{н_1} = 0,889$ ;  $N_{н_1} = 205$  кВт; при диаметре рабочего колеса  $D_2$ :  $Q_2 = 304,3$  л/с;  $H_2 = 49,1$  м;  $\eta_{н_2} = 0,888$ ;  $N_{н_2} = 165$  кВт.

**Задача 59.** Центробежный насос Д320-50 имеет характеристику  $Q-H$ , приведенную на рис. 71, при числе оборотов рабочего колеса  $n = 1450$  мин<sup>-1</sup> и диаметре рабочего колеса  $D = 405$  мм.

Насос, работая в системе трубопроводов, должен подавать расход  $Q_A = 100$  л/с, развивая напор  $H_A = 40$  м.

Требуется определить диаметр срезанного рабочего колеса  $D_1$ , при котором новая характеристика  $Q_1-H_1$  проходила бы через точку А. Определить также процент срезки рабочего колеса.

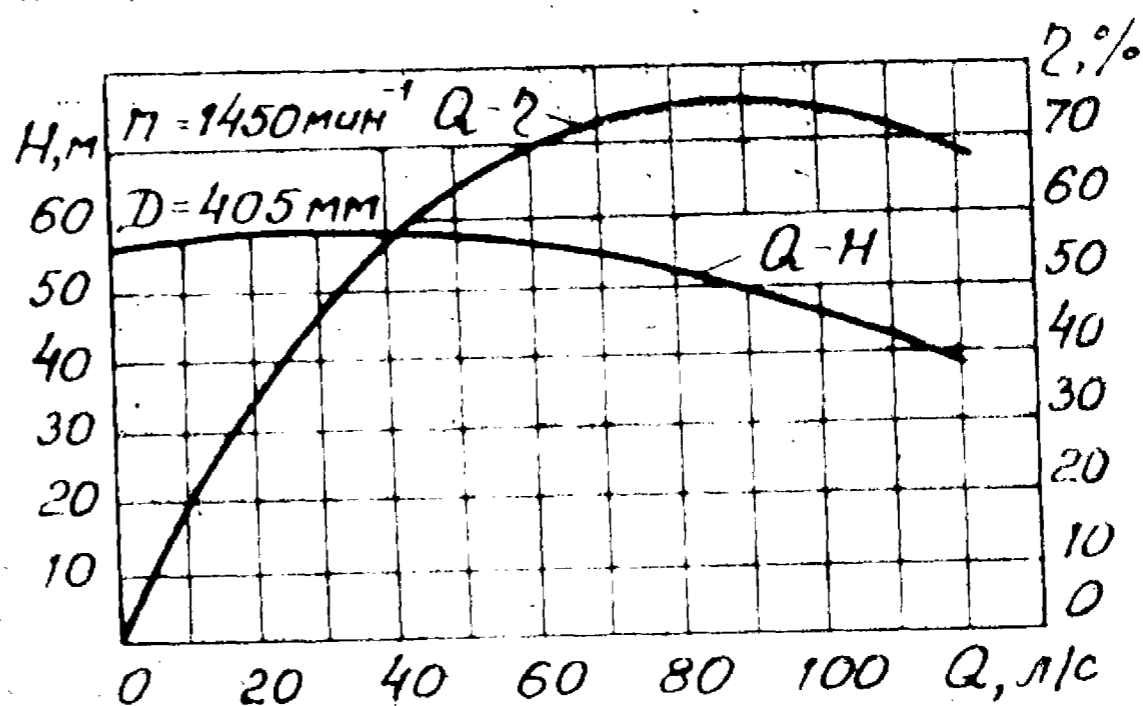


Рис. 71. Характеристика центробежного насоса Д320-50

Ответ:  $D_1 = 385$  мм; рабочее колесо должно быть срезано на 4,9%.

**Задача 60.** Центробежный насос Д320-50 подает воду в систему трубопроводов, характеристика которой выражается уравнением  $H_{тр} = H_{г} + S_{тр}Q^2$ , в котором геометрическая высота подъема  $H_{г} = 25$  м, коэффициент  $S_{тр} = 3100$  (для  $Q$ , выраженного в м<sup>3</sup>/с). Характеристика насоса  $Q-H$  при числе оборотов  $n = 1450$  мин<sup>-1</sup> и диаметре рабочего колеса  $D = 405$  мм приведена на рис. 71.

Требуется определить параметры насоса  $Q_1$ ,  $H_1$ ,  $\eta_{н1}$  и  $N_{н1}$ , работающего в ту же систему, если рабочее колесо срезать на 30 мм.

Ответ:  $Q_1 = 78$  л/с;  $H_1 = 44,3$  м;  $\eta_{н1} = 0,74$ ;  $N_{н1} = 45,8$  кВт.

### 4.3. Регулирование работы центробежных насосов задвижкой на напорном трубопроводе

**Пример 18.** Требуется построить дроссельную кривую  $Q_1-H_1$  для центробежного насоса 8К-300/18 при открытии задвижки диаметром  $d = 300$  мм на величину  $h/d = 3/16$ . Характеристика насоса приведена на рис. 72.

**Решение.** Потери напора в задвижке диаметром  $d = 300$  мм определяются по формуле:

$$h_3 = \frac{A_3}{d^4} Q^2 = \frac{3,043}{0,30^4} \cdot Q^2 = 375,7 Q^2.$$

Значения  $A_3$  принимаются из таблицы (прил. 7).

Потери напора, вычисленные для различных значений  $Q$ , составляют:

$$\begin{aligned} Q = 0 \text{ м}^3/\text{с} & \quad h = 0 \text{ м} \\ Q = 0,02 \text{ м}^3/\text{с} & \quad h = 375,7 \cdot 0,02^2 = 0,15 \text{ м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,04 \text{ м}^3/\text{с} & h &= 375,7 \cdot 0,04^2 = 0,60 \text{ м} \\
 Q &= 0,06 \text{ м}^3/\text{с} & h &= 375,7 \cdot 0,06^2 = 1,35 \text{ м} \\
 Q &= 0,08 \text{ м}^3/\text{с} & h &= 375,7 \cdot 0,08^2 = 2,40 \text{ м} \\
 Q &= 0,10 \text{ м}^3/\text{с} & h &= 375,7 \cdot 0,1^2 = 3,76 \text{ м} \\
 Q &= 0,12 \text{ м}^3/\text{с} & h &= 375,7 \cdot 0,12^2 = 5,41 \text{ м}
 \end{aligned}$$

Вычитанием из ординат кривой  $Q-H$  потерь напора в задвижке, т. е. ординат кривой  $Q-h$ , при одинаковых расходах определяются точки кривой  $Q_1-H_1$  насоса. Соединением полученных точек плавной линией строится дроссельная кривая  $Q_1-H_1$  для открытия задвижки на 3/16 (рис. 72).

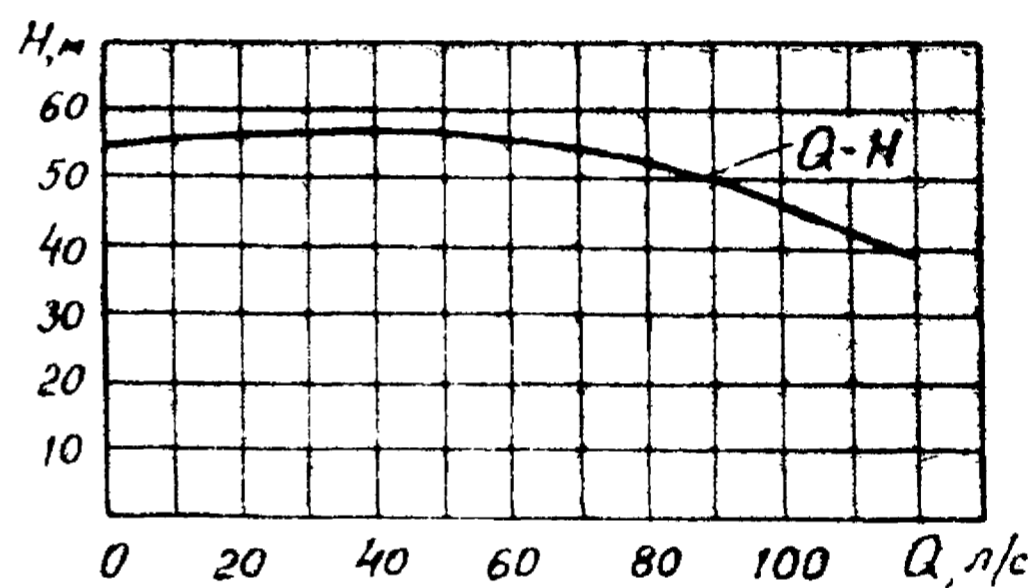
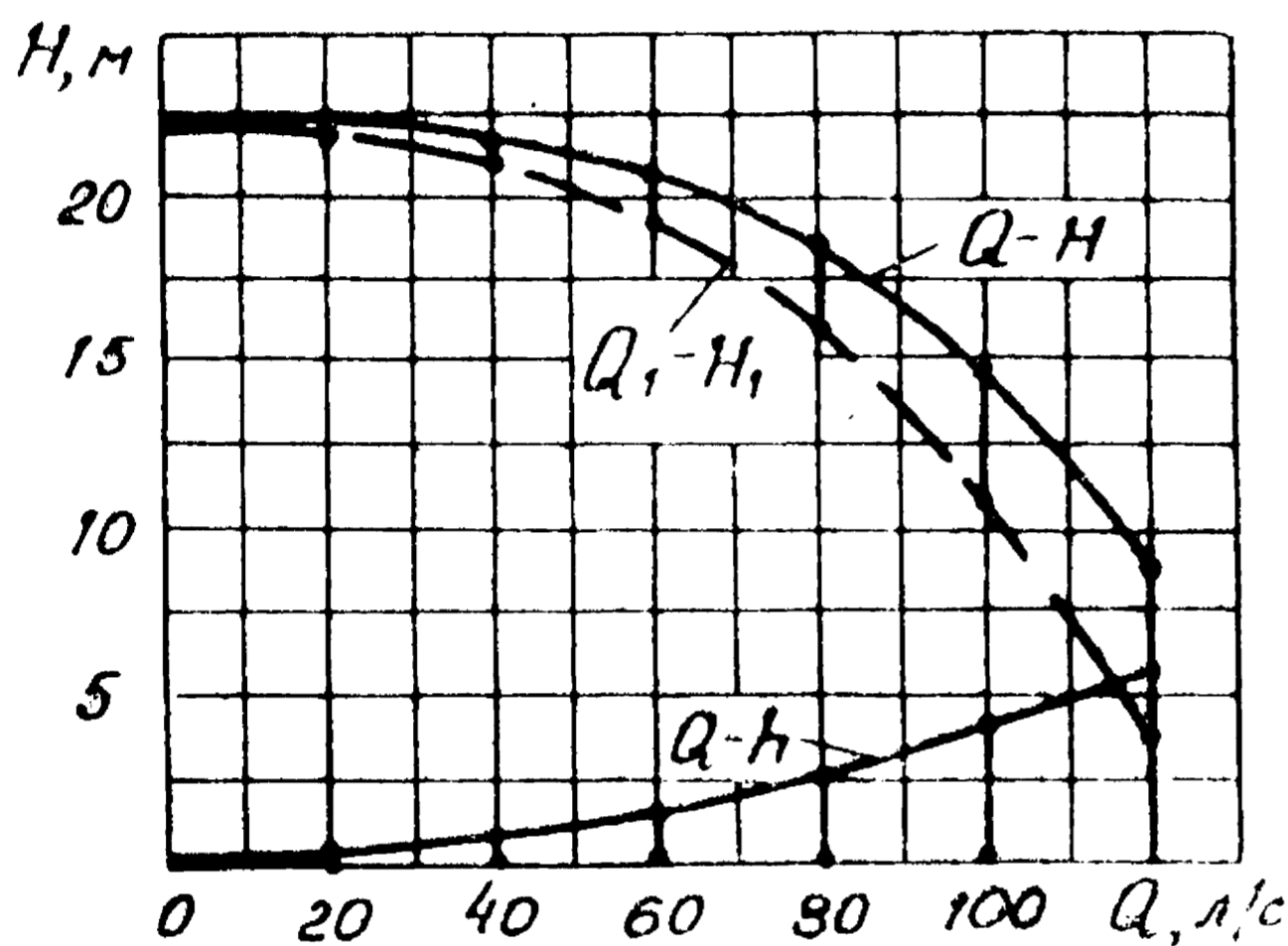


Рис. 72. Характеристика центробежного насоса 8К-300/18

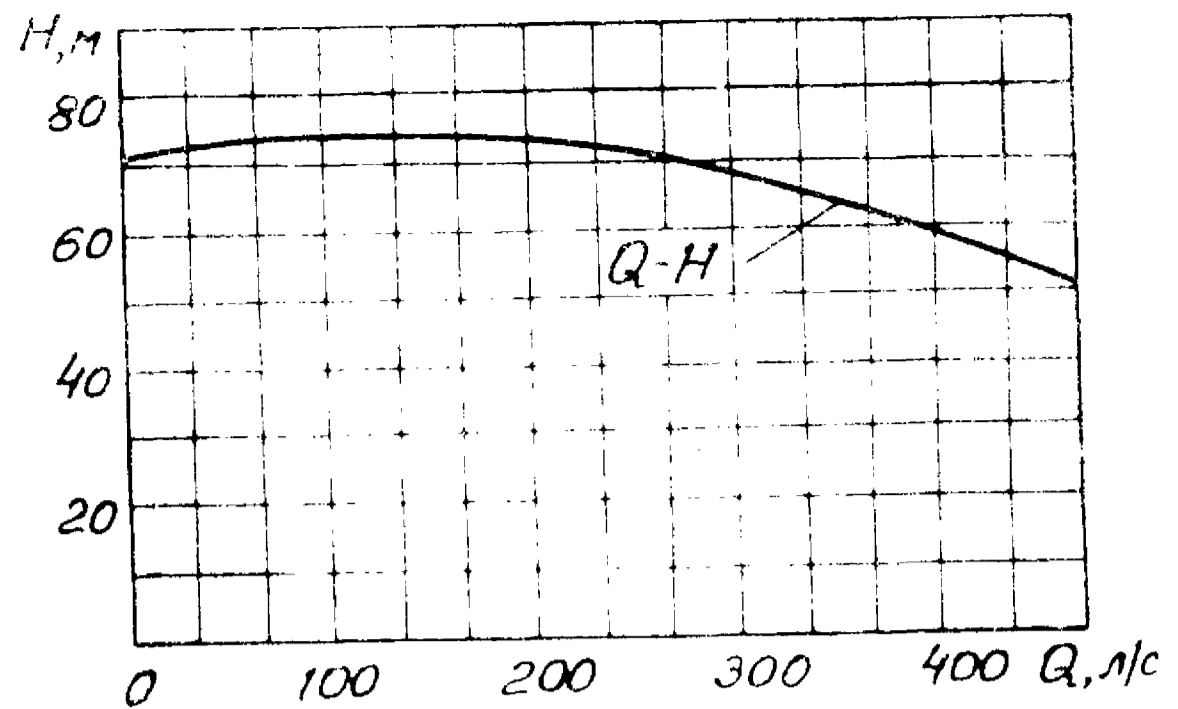
Рис. 73. Характеристика центробежного насоса Д320-50

**Задача 61.** Требуется построить дроссельные кривые для центробежного насоса Д320-50 при открытии задвижки на 3/16, 4/16, 6/16, 8/16, 16/16. Характеристика насоса приведена на рис. 73. Диаметр задвижки, установленной на напорной линии,  $d=200$  мм.

**Ответ.** Координаты  $Q$  и  $H$  для дроссельных кривых приведены в таблице.

Степень открытия задвижки $h, d$	$H, \text{ м}$	$Q, \text{ м}^3 \text{ с}$			
		0	0,04	0,08	0,120
3/16	$H_1$	54	52,96	39,33	11,62
4/16	$H_2$	54	54,59	45,88	26,35
6/16	$H_3$	54	55,54	49,68	34,89
8/16	$H_4$	54	55,83	50,82	37,47
16/16	$H_5$	54	56	51,5	39

**Задача 62.** Требуется построить дроссельные кривые для центробежного насоса Д1250-65 при разных открытиях задвижки — 1/3, 2/3, 3/3. Характеристика насоса приведена на рис. 74. Диаметр задвижки на напорной линии  $d=400$  мм.



*Ответ.* Координаты  $Q$  и  $H$  для дроссельных кривых приведены в таблице.

Рис. 74. Характеристика центробежного насоса Д1250-65

Степень открытия задвижки $h/d$	$H, \text{ м}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$				
		0	0,1	0,2	0,3	0,4
1/3	$H_1$	71,0	72,54	71,38	66,0	54,91
2/3	$H_2$	71,0	72,78	72,33	68,13	58,71
3/3	$H_3$	71,0	72,8	72,4	68,3	59,0

**Задача 63.** Центробежный насос Д320-50 подает воду в систему трубопроводов, характеристика которой задана уравнением  $H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + S_{\text{тр}}Q^2$ , в котором  $H_{\text{г}} = 20$  м,  $S_{\text{тр}} = 2650$  для  $Q$ , выражаемого в  $\text{м}^3/\text{с}$ . Характеристика насоса приведена на рис. 73. На напорной линии установлена задвижка диаметром  $d=200$  мм.

Требуется определить полный напор  $H$ , развиваемый насосом, полезный напор насоса  $H_{\text{п}}$ , потери напора в прикрытой задвижке  $h_3$  и степень открытия задвижки  $h/d$ , если насос подает в систему расход  $Q=80$  л/с.

*Ответ:*  $H=52$  м;  $H_{\text{г}}=36,96$  м;  $h_3=15,04$  м;  $h/d=2,85/16$ .

**Задача 64.** Центробежный насос Д1250-65 подает воду в систему трубопроводов, характеристика которой задана уравнением  $H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + S_{\text{тр}}Q^2$ , в котором  $H_{\text{г}} = 29,5$  м,  $S_{\text{тр}} = 160$  для  $Q$ , выраженного в  $\text{м}^3/\text{с}$ . Характеристика насоса приведена на рис. 74.

Требуется определить подачу насоса  $Q_{\text{н}}$ , если степень открытия задвижки диаметром  $d=400$  мм будет 1/3. Определить также полный напор насоса  $H$ , полезный напор насоса  $H_{\text{п}}$  и потери напора в прикрытой задвижке.

*Ответ:*  $Q_{\text{н}}=400$  л/с;  $H=59,1$  м;  $H_{\text{п}}=55,01$  м;  $h_3=4,09$  м.



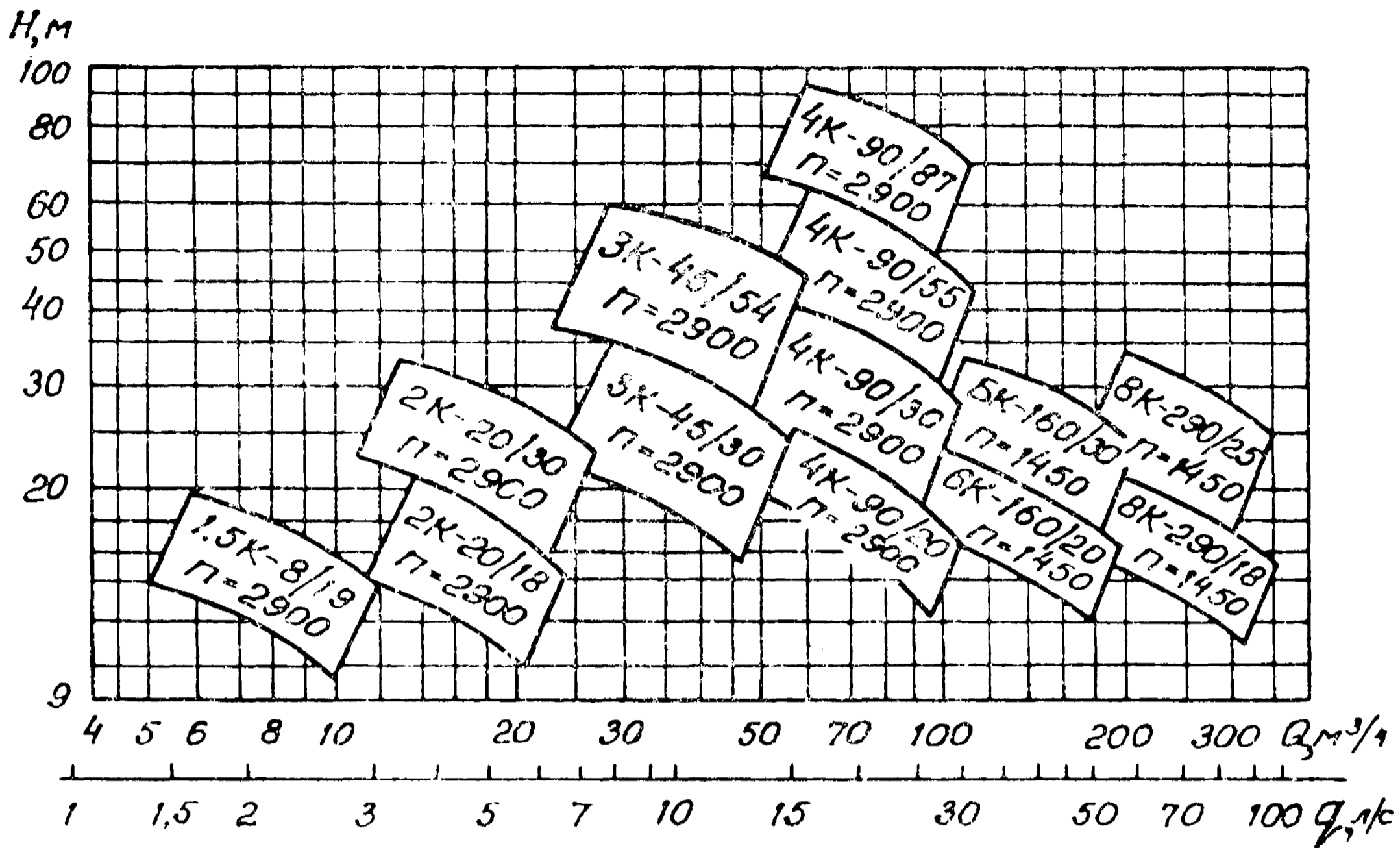
## Список литературы

1. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции: Учебник для вузов.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Стройиздат, 1986.— 320 с.
  2. Карелин В. Я., Новодережкин Р. А. Насосные станции с центробежными насосами.— М.: Стройиздат, 1983.— 224 с.
  3. Сомов М. А. Водопроводные системы и сооружения: Учебник для вузов.— М.: Стройиздат, 1988.— 399 с.
  4. Шевелев Ф. А., Шевелев А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справочное пособие.— М.: Стройиздат, 1996.— 116 с.
  5. Насосы общего назначения типа К: Каталог.— М.: Изд-во ЦИНТИ химнефтемаш, 1977.— 30 с.
  6. Насосы центробежные двустороннего входа: Каталог. М.: Изд-во ЦИНТИ химнефтемаш, 1982.— 24 с.
  7. Лопастные и роторные насосы: Каталог.— М.: Изд-во ЦИНТИ химнефтемаш, 1977.— 76 с.
  8. Насосы центробежные для воды: Каталог / ВАМИ (Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт алюминиевой, магниевой и электродной промышленности).— Л., 1976. 209 с.
  9. Позднеев М. В. Сборник задач по насосам.— Л.: ЛИИЖТ, 1954.— 110 с.
-

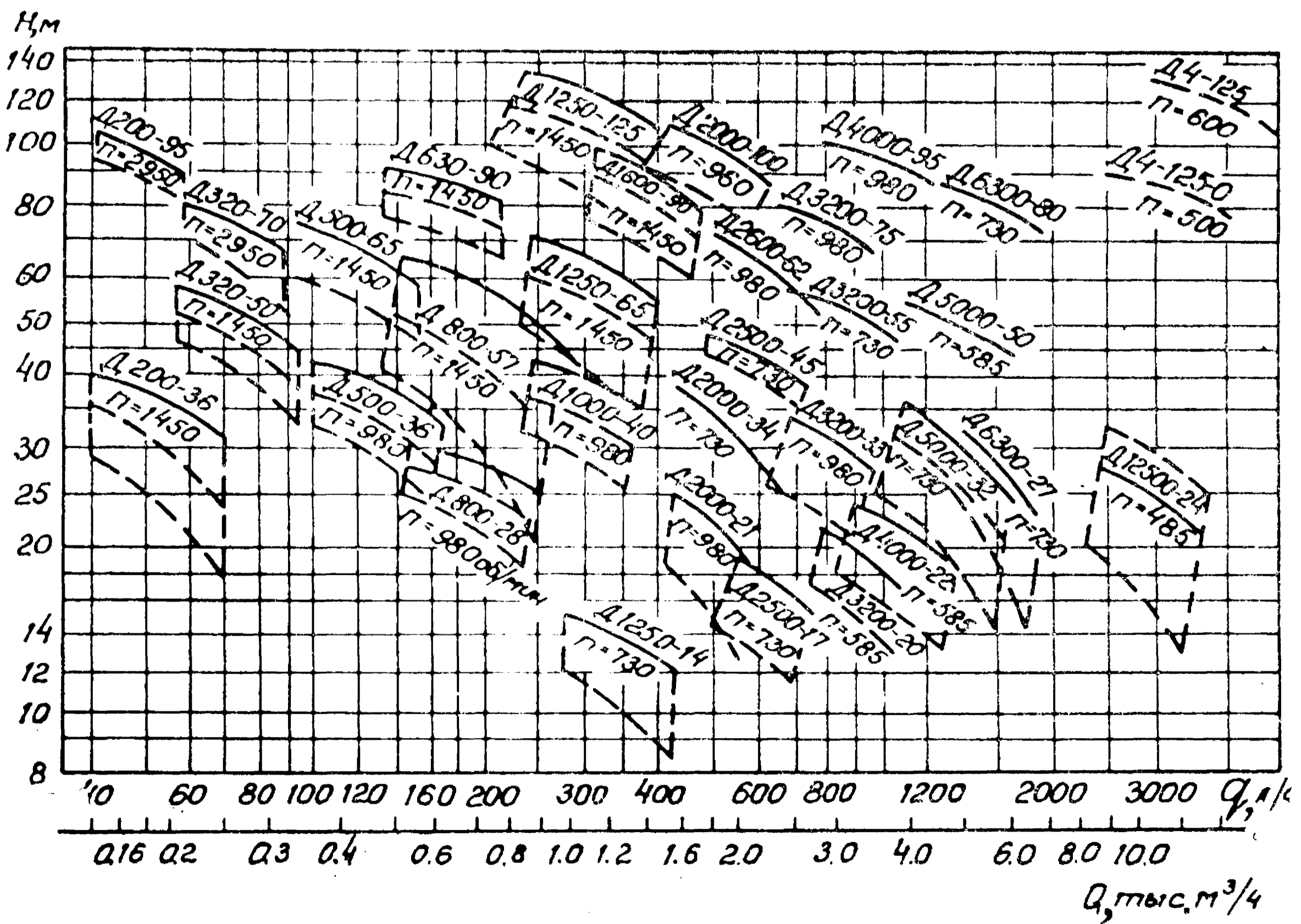
# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Сводные характеристики центробежных насосов:  
 а — насосов типа К и КМ; б — насосов типа Д

а)

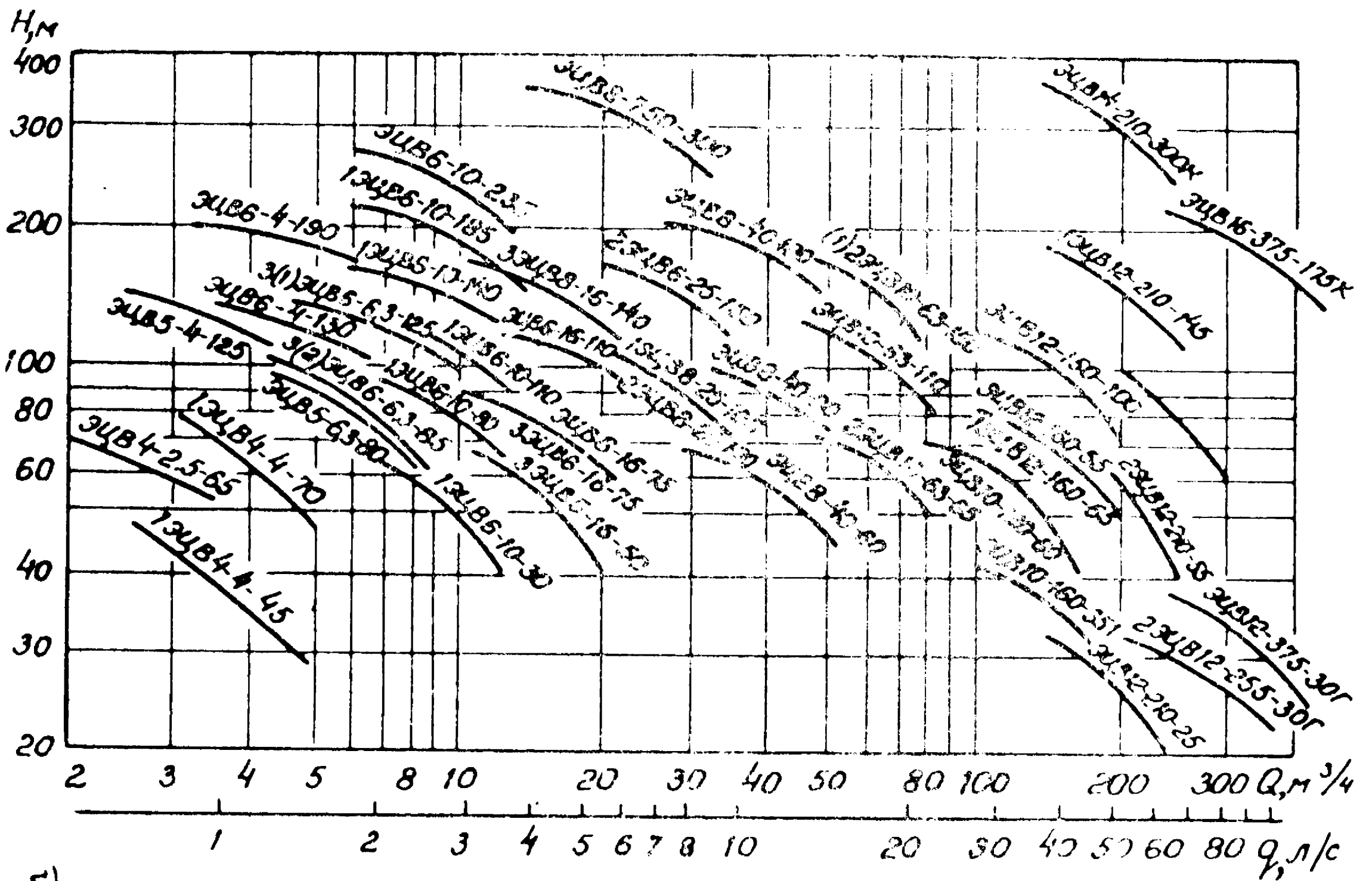


б)

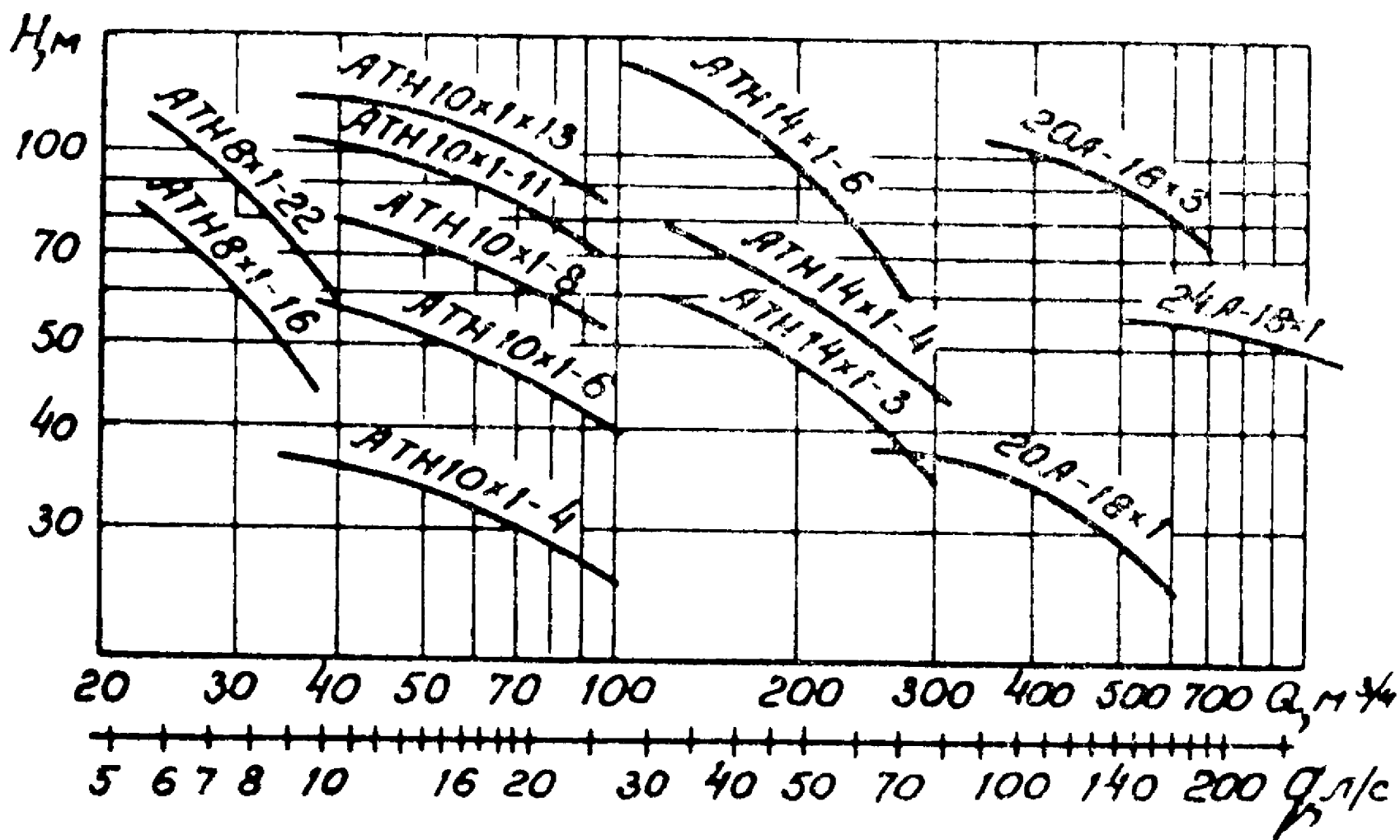


Сводные характеристики скважинных насосов:  
 а — насосов типа ЭЦВ; б — насосов типа АТН и А

а)



б)



## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Значения удельных сопротивлений  $\lambda$  при  $v=1$  м/с для новых  
стальных и чугунных водопроводных труб

Трубы стальные водогазопроводные		Трубы стальные электросварные		Трубы чугунные напорные	
$d$ , мм	$\lambda$ (для $Q$ в м <sup>3</sup> /с)	$d$ , мм	$\lambda$ (для $Q$ в м <sup>3</sup> /с)	$d$ , мм	$\lambda$ (для $Q$ в м <sup>3</sup> /с)
6	508 800 000	50	2362,0	75	2556,0
8	68 510 000	60	1494,0	80	831,7
10	4 222 000	75	624,8	100	276,1
15	3 962 000	80	307,8	125	83,61
20	824 600	100	119,8	150	34,09
25	228 500	125	53,88	200	7,399
32	52 570	150	22,04	250	2,299
40	26 260	175	15,09	300	0,8336
50	6864	200	5,149	350	0,4151
65	1940	250	1,653	400	0,2085
80	772,7	300	0,6619	450	0,1134
90	360,1	350	0,2948	500	0,06479
100	192,7	400	0,1521	600	0,02493
125	60,65	450	0,08001	700	0,01111
150	24,35	500	0,04692	800	0,005452
—	—	600	0,01859	900	0,002937
—	—	700	0,009119	1000	0,001699
—	—	800	0,004622	—	—
—	—	900	0,002504	—	—
—	—	1000	0,001417	—	—
—	—	1200	0,0005651	—	—
—	—	1400	0,0002547	—	—
—	—	1500	0,0001776	—	—
—	—	1600	0,0001268	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Значения удельных сопротивлений  $A$  при  $v=1$  м/с  
для асбестоцементных и железобетонных труб

Асбестоцементные трубы		Железобетонные трубы	
$d$ , мм	$A$ (для $Q$ в м <sup>3</sup> /с)	$d$ , мм	$A$ (для $Q$ в м <sup>3</sup> .с)
100	187,7	500	0,06323
150	31,55	600	0,02451
200	6,898	700	0,01102
250	2,227	800	0,005515
300	0,9140	900	0,002992
350	0,4342	1000	0,001732
400	0,2171	1200	0,0006723
500	0,07138	1400	0,0003021
—	—	1600	0,0001510

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### Поправочные коэффициенты к значениям $A$

$v$ , м/с	Значения $k$ для труб		
	НОВЫХ СТАЛЬНЫХ	НОВЫХ ЧУГУННЫХ	АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
1	2	3	4
0,20	1,244	1,462	1,308
0,25	1,198	1,380	1,257
0,30	1,163	1,317	1,217
0,35	1,138	1,267	1,185
0,40	1,113	1,226	1,158
0,45	1,095	1,192	1,135
0,50	1,081	1,163	1,115
0,55	1,067	1,138	1,098
0,60	1,057	1,115	1,082
0,65	1,046	1,096	1,069
0,70	1,039	1,078	1,056
0,75	1,029	1,062	1,045
0,80	1,021	1,047	1,034
0,85	1,016	1,034	1,025
0,90	1,011	1,021	1,016
1,0	1,0	1,0	1,0
1,1	0,993	0,988	0,986
1,2	0,986	0,965	0,974
1,3	0,979	0,951	0,963
1,4	0,972	0,938	0,953
1,5	0,968	0,927	0,944
1,6	0,965	0,917	0,936
1,7	0,961	0,907	0,928
1,8	0,958	0,899	0,922
1,9	0,954	0,891	0,916
2,0	0,951	0,884	0,910
2,1	0,947	0,878	0,905
2,2	0,946	0,871	0,900
2,3	0,943	0,866	0,895
2,4	0,941	0,861	0,891

## Продолжение прил. 5

1	2	3	4
2,5	0,939	0,856	0,887
2,6	0,937	0,851	0,883
2,7	0,936	0,847	0,880
2,8	0,934	0,843	0,876
2,9	0,933	0,839	0,873
3,0	0,932	0,836	0,870

# ПРИЛОЖЕНИЕ 6

## Значения коэффициента местного сопротивления









<p>1</p>  <p>Вход в трубу без расширения <math>\zeta = 0.5</math></p>	<p>2</p>  <p>Плавный очерк-ный вход в трубу <math>\zeta = 0.1</math></p>	<p>3</p>  <p>Приемная сетка без клапана <math>\zeta = 2...3</math></p>													
<p>4</p>  <p>Приемный клапан с сеткой <math>\zeta = 5...8</math></p>	<p>5</p>  <p>Обратный клапан <math>\zeta = 1.7</math></p>	<p>6</p>  <p>Колено с углом <math>90^\circ</math> <math>\zeta = 0.5...0.6</math></p>													
<p>7</p>  <p>Колено с углом <math>45^\circ</math> <math>\zeta = 0.1-0.15</math></p>	<p>8</p>  <p>Переход сужающийся <math>\zeta = 0.1</math></p>	<p>9</p>  <p>Переход расширяющийся <math>\zeta = 0.25</math></p>													
<p>10</p>  <p>Тройник в одном направлении <math>\zeta = 0.1</math></p>	<p>11</p>  <p>Тройник в направлении отхождения <math>\zeta = 2.0</math></p>	<p>12</p>  <p>Тройник при ответвлении <math>\zeta = 1.5</math></p>													
 <p>Задвижка</p>		<table border="1"> <tbody> <tr> <td><math>\frac{h}{d}</math></td> <td>1</td> <td>0.5</td> <td>0.2</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>3</td> <td>8</td> <td>80</td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table>				$\frac{h}{d}$	1	0.5	0.2	0.1	$\zeta$	3	8	80	500
$\frac{h}{d}$	1	0.5	0.2	0.1											
$\zeta$	3	8	80	500											



Таблица коэффициентов сопротивлений в задвижке  
при разных степенях ее открытия

Степень открытия $h/d$			Для диаметров $d = 500$ мм		Для диаметров $d = 500$ мм	
			$\zeta_3$	$A_3$	$\zeta_4$	$A_3$
2/16	1 8	0,125	97,8	8,088	83,0	6,86
13/72		0,180	43,0	3,556	41,21	3,408
3/16		0,187	36,8	3,043	36,5	3,020
7/36		0,195	35,0	2,895	35,36	2,924
5/24		0,208	28,6	2,365	31,35	2,593
4/16	2 8	0,250	17,0	1,406	22,68	1,875
5/16		0,312	9,45	0,780	14,00	1,156
1/3		0,33	7,92	0,655	11,89	0,983
6/16	3 8	0,375	5,52	0,457	8,63	0,713
5/12		0,416	3,97	0,328	6,33	0,523
7/16		0,439	3,20	0,265	5,35	0,412
11/24		0,459	2,89	0,246	4,57	0,378
8/16	4 8	0,500	2,06	0,170	3,27	0,270
9/16		0,563	1,33	0,110	1,88	0,1553
7/12		0,583	1,11	0,0981	1,55	0,128
10/16	5 8	0,625	0,81	0,0670	1,08	0,0892
2/3		0,666	0,57	0,0471	0,77	0,0637
11/16		0,686	0,48	0,0400	0,66	0,0545
12/16	6 8	0,750	0,26	0,0215	0,41	0,0339
13/16		0,812	—	—	0,23	0,0190
14/16	7/8	0,875	0,07	0,00579	0,12	0,0099
15/16		0,937	—	—	0,13	0,0025
16/16	8 8	1,000	0,0	0,0	0,0	0,0

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
<b>1. Параметры и характеристика центробежного насоса. Характеристика трубопроводов. Определение режима работы насосной установки . . . . .</b>	<b>4</b>
1.1. Определение параметров насоса и построение характеристик насоса . . . . .	11
1.2. Построение характеристики системы трубопроводов . . . . .	16
1.3. Определение режима работы насосной установки . . . . .	20
1.4. Определение режима работы насосной установки при подаче воды в разветвленную сеть . . . . .	26
<b>2. Параллельная работа центробежных насосов . . . . .</b>	<b>36</b>
2.1. Определение параметров параллельной работы центробежных насосов с одинаковыми характеристиками . . . . .	40
2.2. Определение параметров параллельной работы центробежных насосов с различными характеристиками . . . . .	46
2.3. Определение параметров параллельной работы центробежных насосов при длинном соединительном трубопроводе . . . . .	53
2.4. Определение параметров параллельной работы центробежных насосов, принимающих воду с различных горизонтов . . . . .	61
<b>3. Последовательная работа центробежных насосов . . . . .</b>	<b>66</b>
3.1. Определение параметров последовательной работы центробежных насосов с одинаковыми характеристиками . . . . .	70
3.2. Определение параметров последовательной работы центробежных насосов с разными характеристиками . . . . .	73
3.3. Определение параметров последовательной работы центробежных насосов при длинном соединительном трубопроводе . . . . .	77
<b>4. Регулирование работы центробежных насосов . . . . .</b>	<b>81</b>
4.1. Регулирование работы центробежных насосов изменением частоты вращения рабочего колеса . . . . .	85
4.2. Регулирование работы центробежных насосов срезкой рабочего колеса . . . . .	91
4.3. Регулирование работы центробежных насосов задвижкой на напорном трубопроводе . . . . .	95
Список литературы . . . . .	98

Приложение 1. Сводные характеристики центробежных насосов: а — насосов типа К и КМ; б — насосов типа Д	99
Приложение 2. Сводные характеристики скважинных насосов: а — насосов типа ЭЦВ; б — насосов типа АТН и А	100
Приложение 3. Значения удельных сопротивлений $\Lambda$ при $v=1$ м/с для новых стальных и чугунных водопроводных труб	101
Приложение 4. Значения удельных сопротивлений $\Lambda$ при $v=1$ м/с для асбестоцементных и железобетонных труб	102
Приложение 5. Поправочные коэффициенты к значениям $\Lambda$	103
Приложение 6. Значения коэффициента местного сопротивления	105
Приложение 7. Таблица коэффициентов сопротивлений в задвижке при разных степенях ее открытия	106

---

**Учебное издание**

**ЯКУБЧИК ПЕТР ПЕТРОВИЧ**

**НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ**

**Учебное пособие**

Редактор **Н. В. Фролова**  
Технический редактор **М. С. Савастеева**  
Корректор **Н. В. Фролова**

Лицензия ЛР 020974 от 28.03.95.

План 1996 г., № 68

---

Слано в набор 19.12.96. Подписано в печать 24.04.97.

Формат 60 × 84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага для множ. лист. Гарнитура литературная.

Печать высокая. Усл. печ. л. 6,875 (1 вкл. Уч. изд. л. 6,875.

Тираж 500. Заказ 918. Цена свободная.

По перепечатки государственнй университет путей сообщения.

190031, С. По, Московский пр., 9.

Изготовлено ИИУ ИО – 190031, С. По, Московский пр., 9.