

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

Кафедра транспортно-технологических процессов и машин

ГИДРОМЕХАНИКА

*Методические указания к самостоятельным работам
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

УДК 622.6 (073)

ГИДРОМЕХАНИКА: Методические указания к самостоятельным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Р.Б. Кускильдин, М.А. Васильева, А.А. Волчихина* СПб, 2021. 22 с.

Методические указания предназначены для студентов при изучении дисциплины «Гидромеханика». Решение практических задач предназначено для привития устойчивых навыков, в процессе приобретения которых отрабатывается способность применения общих теоретических закономерностей к отдельным конкретным практическим вопросам, что способствует более глубокому изучению дисциплины. Приведен справочный материал, методические рекомендации к проведению расчетов.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело».

Научный редактор проф. *В.И. Александров*

Рецензент д.т.н. *А.Е. Пушкарев* (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

Введение

Гидравлика – механика жидкости (гидромеханика) – является общепрофессиональной дисциплиной, при изучении которой студенты знакомятся с физическими свойствами жидкости, основными законами кинематики, гидростатики и гидродинамики, теоретическими основами ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости и др.

Гидравлика содержит большое число опытных коэффициентов, эмпирических и полуэмпирических формул, методика применения которых, а также их физический смысл хорошо осваиваются в процессе решения различных задач. Поэтому каждый раздел пособия содержит краткое изложение теории вопроса и формулы с тем, чтобы разбор примеров расчётов производился студентом осознанно, с закреплением теоретических знаний.

Выполнение самостоятельно расчетов по дисциплине «Гидромеханика» способствует обобщению и закреплению теоретических знаний студентов, имеет целью развитие навыков самостоятельной творческой работы студентов, пользования справочной литературой, выполнения расчетов.

Варианты заданий для расчета выдаются преподавателем индивидуально.

Единицы измерения физических величин должны соответствовать международной системе (СИ).

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

Целью расчета водоотливных установок является выбор современных технических средств водоотлива с учётом максимальной экономичности откачки воды на поверхность.

В задачи проектирования входят выбор схемы водоотлива, насоса (тип, основные параметры, число), подбор диаметров всасывающего и нагревательного трубопроводов, графическое определение режима работы водоотливной установки, определение мощности на валу насоса.

Для расчёта водоотливных установок необходимы следующие исходные данные:

притоки воды: нормальный $Q_{\text{норм}}$ и максимальный $Q_{\text{макс}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$;
геометрический напор насосной установки, т.е. полная высота водоподъема по вертикали H_{Γ} , м;
физико-химическая характеристика откачиваемой воды.

Методика расчета

1. Определяется минимальная подача насоса определяется исходя из условия, что один насос должен откачивать нормальный суточный приток не более чем за 20 часов, тогда:

$$Q_{\text{min}} = \frac{24 \cdot Q_{\text{норм}}}{20}, \quad (1)$$

2. Определить ориентировочный напор насоса для водоотливных установок с расположением напорных трубопроводов в вертикальных стволах

$$H_{\text{оп}} = \frac{H_{\Gamma}}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (2)$$

где:

$\eta_{\text{тр}} = 0,9 \div 0,95$ – к.п.д. трубопровода.

3. Для определения типа насоса необходимо на сводный график рабочих зон характеристик насосов нанести точку с координатами Q_{min} , $H_{\text{оп}}$.

4. После того, как выбран тип насоса необходимо определить его подачу Q и напор на одно колесо H_k в оптимальном режиме (при максимальном к.п.д.) и нулевой подаче $H_{к0}$.

5. Определяется число рабочих колес насоса $z = H_{ор} / H_k$ и округляется до большего целого числа.

6. Вычисляется напор насоса при закрытой задвижке $H_0 = H_{к0} \cdot z$.

7. Выбранный насос проверяется на наличие рабочего режима на устойчивость. При этом должно соблюдаться условие $H_{ор} \leq 0,95 \cdot H_0$.

8. Определяется диаметр напорного трубопровода

$$d_{нап} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{min}}{3600 \cdot v_n \cdot \pi}}, \quad (3)$$

В расчетах можно принять $v_n = 1,5 \div 2,25$ м/с. Диаметр всасывающего трубопровода выбирают из расчета, что скорость в нем не превышала 1м/с, и в то же время он должен быть на 25-50 мм больше диаметра напорного и не меньше диаметра подводящего патрубка насоса.

9. Составляется уравнение характеристики трубопровода

$$H = H_{г} + R_c \cdot Q^2, \quad (4)$$

где:

R_c – сопротивление трубопровода.

Гидравлическую схему разбивают на два участка: 1 – всасывающий трубопровод и его арматура; 2 – нагнетательный трубопровод и его арматура, тогда сопротивление всего трубопровода будет состоять из двух частей и определяться по выражению:

$$R_c = R_{вс} + R_n, \quad (5)$$

где:

$R_{вс} = A_{дл} \cdot l_1 + A_m \cdot \sum \xi$ – сопротивление всасывающего трубопровода;

$R_n = A_{дл} \cdot l_2 + A_m \cdot \Sigma \xi$ - сопротивление нагнетательного трубопровода.

Величины $A_{дл}$, A_m представляют собой удельные сопротивления по длине и местным сопротивлениям, и определяются по выражениям:

$$A_{дл} = \frac{8\lambda}{3600^2 \pi^2 g \cdot d^5}, \quad (6)$$

$$A_m = \frac{8}{3600^2 \pi^2 g \cdot d^4}, \quad (7)$$

где:

λ – коэффициент гидравлического трения;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

d – диаметр трубопровода, м.

Коэффициент гидравлического трения λ определяется по выражению:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta_3}{d} \right)^{0,25}, \quad (8)$$

где:

Re - число Рейнольдса;

Δ_3 – эквивалентная шероховатость, мм (для труб бывших в эксплуатации можно принять $\Delta_3 = 0,5$ мм).

10. Графически находится рабочий режим насоса ($Q_{раб}$, $H_{раб}$, $\eta_{раб}$). Для этого, задаваясь различными подачами в уравнении характеристики трубопровода, находим соответствующие значения H . На характеристики по этим данным строится характеристики трубопровода. Точка пересечения напорных характеристик насоса и трубопровода определяет рабочий режим. При этом следует соблюдать одинаковый масштаб для обеих характеристик и, кроме этого, необходимо, чтобы $Q_{раб}$ находилась в пределах рабочей зоны насоса.

11. Установка проверяется на допустимую высоту всасывания, которая рассчитывается по формуле

$$H_B = H_{BC} + (A_{дл} \cdot l_1 + A_M \cdot \Sigma \xi + 1) Q^2 \quad (9)$$

По характеристике насоса определяется допустимая вакуумметрическая высота $H_{доп.в}$ при $Q_{раб}$. Для избежания кавитации необходимо обеспечить условие $H_B < H_{доп.в}$.

12. Устанавливается необходимая мощность двигателя насоса $N_{дв}$ (кВт)

$$N_{дв} = 1,1 \frac{Q_{раб} \cdot H_{раб} \rho g}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{раб}} \quad (10)$$

13. Определяется время работы насосов в сутки при откачке нормального и максимального водопритока:

$$T_n = \frac{24 \cdot Q_{норм}}{Q_{раб}}; T_{макс} = \frac{24 \cdot Q_{макс}}{Q_{раб}}; \quad (11)$$

ПРИМЕР РАСЧЕТА ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ

Исходные данные:

нормальный водоприток $Q_{\text{норм}} = 190 \text{ м}^3/\text{ч}$;

максимальный водоприток $Q_{\text{макс}}, 240 \text{ м}^3/\text{ч}$;

геометрический напор $H_{\Gamma} = 300 \text{ м}$;

плотность откачиваемой воды $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$

Минимальная подача насоса:

$$Q_{\text{min}} = \frac{24 \cdot Q_{\text{норм}}}{20} = \frac{24 \cdot 190}{20} = 228 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Ориентировочный напор насоса

$$H_{\text{ор}} = \frac{H_{\Gamma}}{\eta_{\text{тр}}} = \frac{300}{0,95} = 316 \text{ м}$$

На сводном графике наносим точку с координатами $Q_{\text{min}} = 190 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $H_{\text{ор}} = 316 \text{ м}$. Это соответствует рабочей зоне насоса ЦНС 300÷360.

Параметры насоса:

$Q = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_{\text{к}} = 60 \text{ м}$; $H_{\text{к}0} = 67 \text{ м}$ (напор рабочего колеса при закрытой задвижке), $\eta = 0,72$.

Число рабочих колес $z = H_{\text{ор}}/H_{\text{к}} = 316/60 = 5,3$. Выбирается насос с шестью рабочими колесами ($z = 6$).

Напор насоса при закрытой задвижке

$$H_0 = z \cdot H_{\text{к}0} = 6 \cdot 67 = 402 \text{ м}.$$

Проверка на устойчивость работы насоса:

$$H_{\text{ор}} < 0,95 \cdot H_0 = 0,95 \cdot 402 = 381,9 \text{ м}.$$

Работа насоса устойчива.

Диаметр напорного трубопровода:

$$d_{\text{нап}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{min}}}{3600 \cdot v_{\text{н}} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 228}{3600 \cdot 2 \cdot 3,14}} = 0,220 \text{ м}$$

В расчетах скорость воды принимается $v_{\text{н}} = 1,5 \div 2,25$ м/с.
Принимаем диаметр трубопровода $d_{\text{н}} = 250$ мм.

Диаметр всасывающего трубопровода

$$d_{\text{вс}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{min}}}{3600 \cdot v_{\text{н}} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 228}{3600 \cdot 1,5 \cdot 3,14}} = 0,270 \text{ м}$$

Принимаем диаметр всасывающего трубопровода $d_{\text{вс}} = 300$

мм.

В расчетах скорость воды принимается $v_{\text{н}} = 1,25 \div 1,75$ м/с.

Для улучшения условий всасывания диаметр нагнетательного трубопровода принимаем $d_{\text{вс}} = 300$ мм.

Характеристика трубопровода определяется расчетной схемой с учетом местных сопротивлений.

Всасывающий типовой трубопровод оборудован приемным клапаном с сеткой $\xi = 3,7$; двумя коленами $\xi = 1,2$; Всасывающий трубопровод имеет длину $l_1 = 10$ м. Тогда сопротивление всасывающего става:

$$R_{\text{вс}} = A_{\text{дл}} \cdot l_1 + A_{\text{м}} \cdot \Sigma \xi = (0,07906 \cdot 10 + 0,7871 \cdot 4,9) \cdot 10^{-6} = 4,725 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^2/\text{м}^5.$$

Нагнетательный трубопровод имеет длину $l_{\text{н}} = H_{\text{оп}} + l_{\text{мп}}$, где $l_{\text{мп}} = 35$ м – длина трубного ходка, сопротивление задвижки равно $\xi = 0,5$, обратного клапана $\xi = 10,5$, тройника $\xi = 4,5$ будет иметь сопротивление:

$$R_{\text{н}} = A_{\text{дл}} \cdot l_2 + A_{\text{м}} \cdot \Sigma \xi = (0,2078 \cdot 341 + 1,6321 \cdot 15,5) \cdot 10^{-6} = 105,98 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^2/\text{м}^5.$$

Суммарное сопротивление трубопровода

$$R_{\text{с}} = R_{\text{вс}} + R_{\text{н}} = 4,725 \cdot 10^{-6} + 105,98 \cdot 10^{-6} = 0,000110 \text{ ч}^2/\text{м}^5.$$

Характеристика трубопровода имеет вид:

$$H = H_{\Gamma} + R_{\text{с}} \cdot Q^2 = 300 + 0,000110 \cdot Q^2$$

Задаваясь различными значениями Q строим характеристику шахтного трубопровода по данным расчетной таблицы.

Таблица 1

Данные расчета значений напорной характеристики шахтного трубопровода

Q	0	75	150	225	300	375
Q ²	0	5625	22500	50625	90000	140625
R _c · Q ²	0	0,61	2,41	5,56	9,91	15,46
H	300	300,61	302,41	305,56	309,91	315,46

На характеристике насоса ЦНС 300-360 наносим характеристику трубопровода. Точка пересечения их характеристик определяет рабочий режим работы. $Q_{\text{раб}} = 318 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_{\text{раб}} = 320 \text{ м}$; $\eta = 0,72$; $H_{\text{вак. доп}} = 4,3 \text{ м}$.

Принимаем $H_{\text{вс}} = 3,5 \text{ м}$. Тогда

$$H_{\text{вак. доп}} = H_{\text{вс}} + (A_{\text{дл}} \cdot l_1 + A_{\text{м}} \cdot (\Sigma \xi + 1)) \cdot Q^2 =$$

$$= 3,5 + (0,07906 \cdot 10 + 0,7871 \cdot (4,9 + 1) \cdot 10^{-6}) \cdot 318^2 = 4,05 \text{ м}.$$

Мощность двигателя на валу

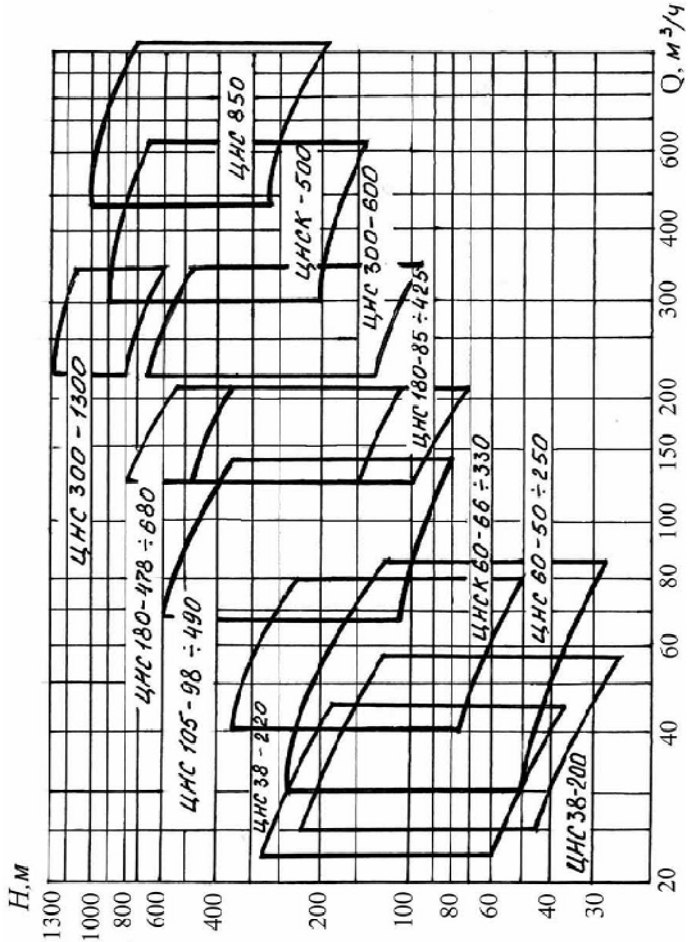
$$N_{\text{дв}} = 1,1 \frac{Q_{\text{раб}} \cdot H_{\text{раб}} \rho g}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{\text{раб}}} = 1,1 \frac{318 \cdot 320 \cdot 1050 \cdot 9,81}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,72} = 445 \text{ кВт}$$

Время работы насоса при нормальном и максимальном водопроитоке:

$$T_{\text{н}} = \frac{24 \cdot 190}{318} = 14,3 \text{ ч}$$

$$T_{\text{макс}} = \frac{24 \cdot 240}{318} = 18,2 \text{ ч}$$

Сводные графики областей промышленного использования шахтных центробежных насосов



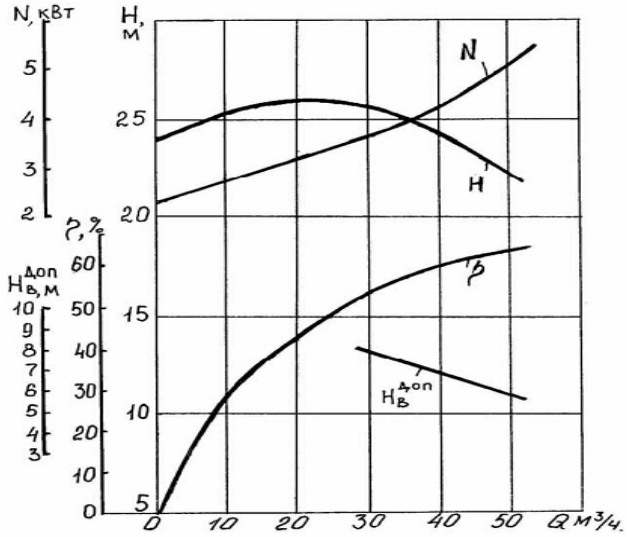
Удельные сопротивления по длине и коэффициенты гидравлического сопротивления трубопровода

$d_v, \text{ мм}$	λ	$A_{\text{дл}} \cdot 10^{-6}, \text{ ч}^2/\text{м}$	$A_{\text{м}} \cdot 10^{-6}, \text{ ч}^2/\text{м}$
50	0,05158	1052,4	1020,1
75	0,04567	122,72	201,5
100	0,04190	26,714	63,755
125	0,03918	8,186	26,114
150	0,03710	3,115	12,594
175	0,03542	1,376	6,797
200	0,03403	0,678	3,984
225	0,03285	0,363	2,487
250	0,03183	0,207	1,632
275	0,03093	0,125	1,114
300	0,03036	0,079	0,787
325	0,02942	0,051	0,571
350	0,02877	0,034	0,424
375	0,02818	0,0242	0,322
400	0,02764	0,0172	0,249
425	0,02714	0,0124	0,195
450	0,02668	0,0042	0,155
475	0,02625	0,0069	0,125
500	0,02585	0,0052	0,102

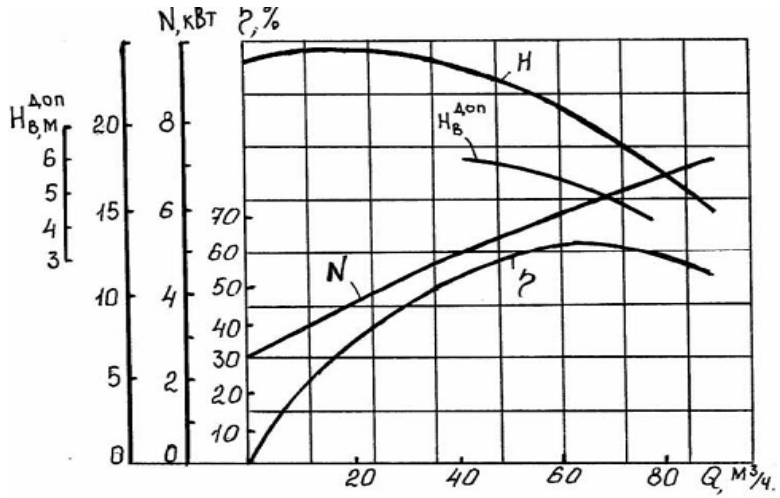
Коэффициенты местных сопротивлений

Приемное устройство с клапаном	8,0
Приемная сетка без клапана	1,0
Колено изогнутое на 90°	0,4
Задвижка	0,25
Тройник равнопроходный	1,0
Вход в трубу	0,2
Выход из трубы	1,0

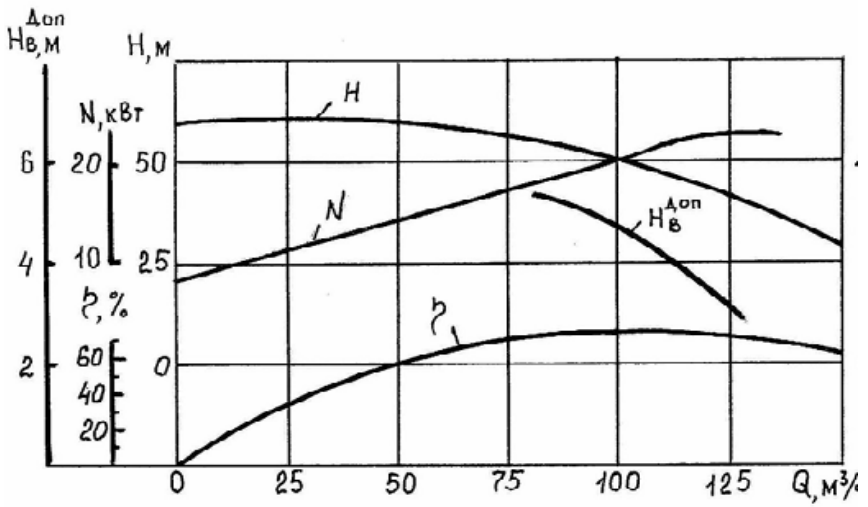
Характеристики насоса ЦНС 38-50...250



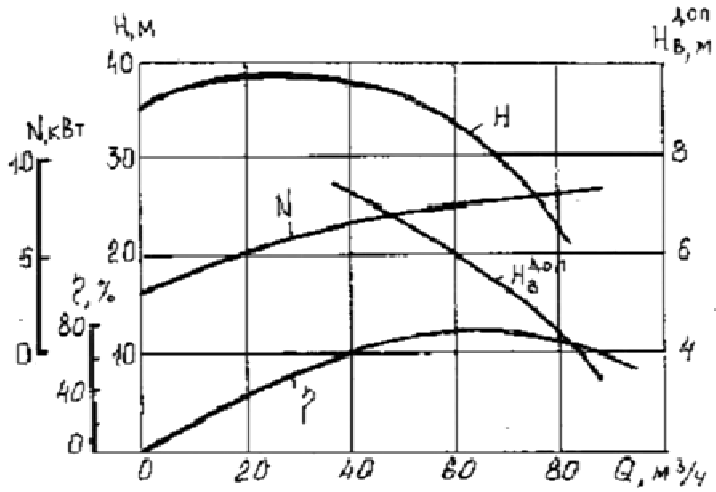
Характеристика насоса ЦНСК 60-40 ...200



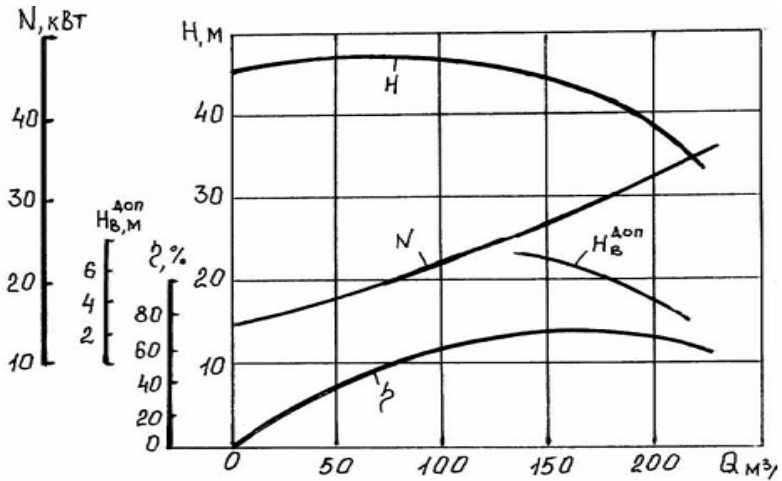
Характеристики насоса ЦНС 105-98...490



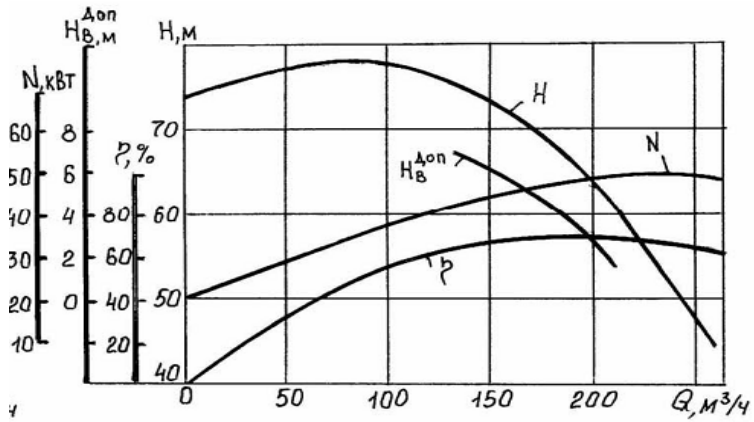
Характеристики насоса ЦНС 60-98...330



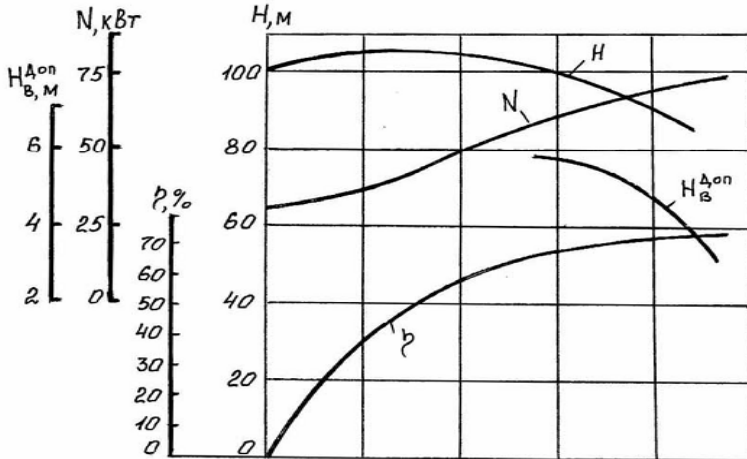
Характеристики насоса ЦНС 180-85...425



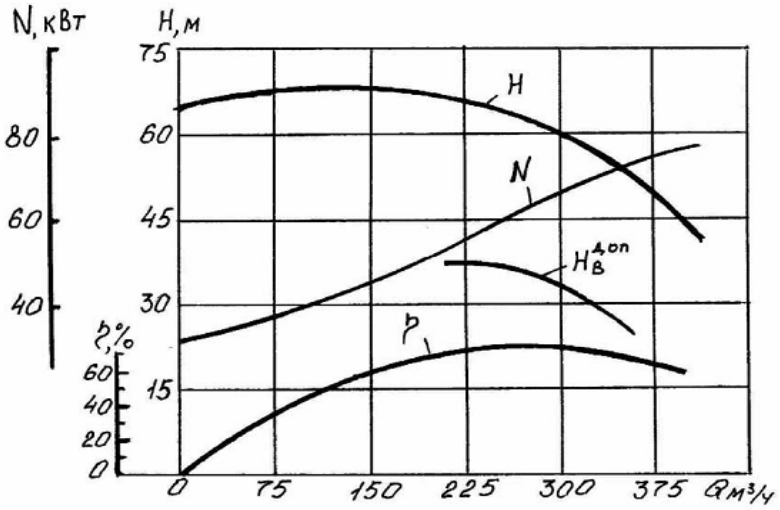
Характеристики насоса ЦНС 180-85...680



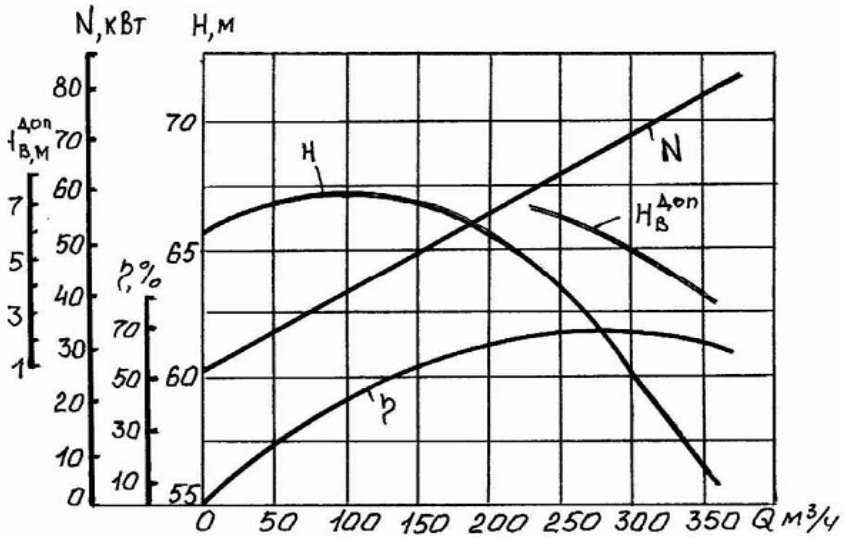
Характеристики насоса ЦНС 180-150...900



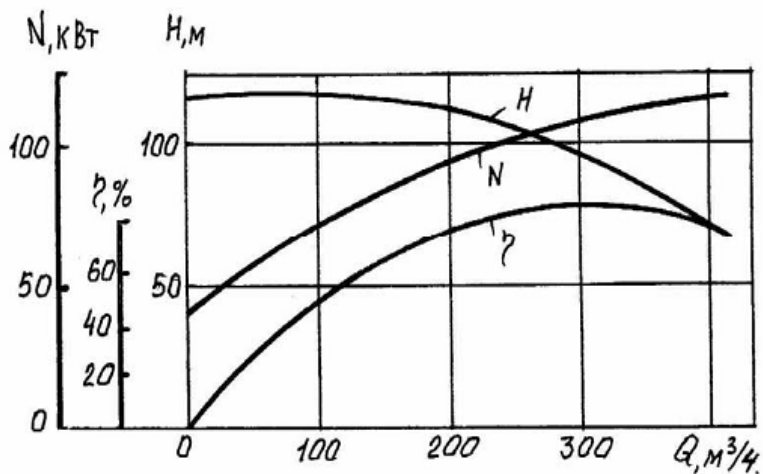
Характеристики насоса ЦНС 300-120...600



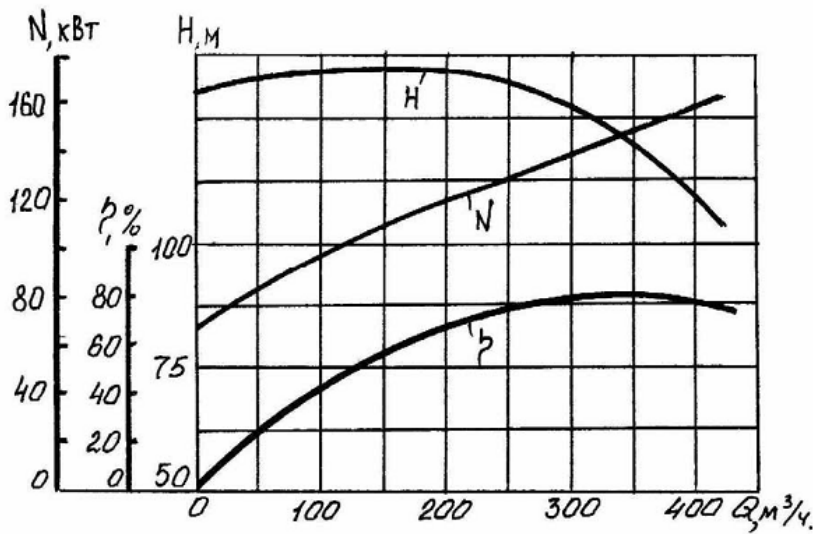
Характеристики насоса ЦНСК 300-120...600



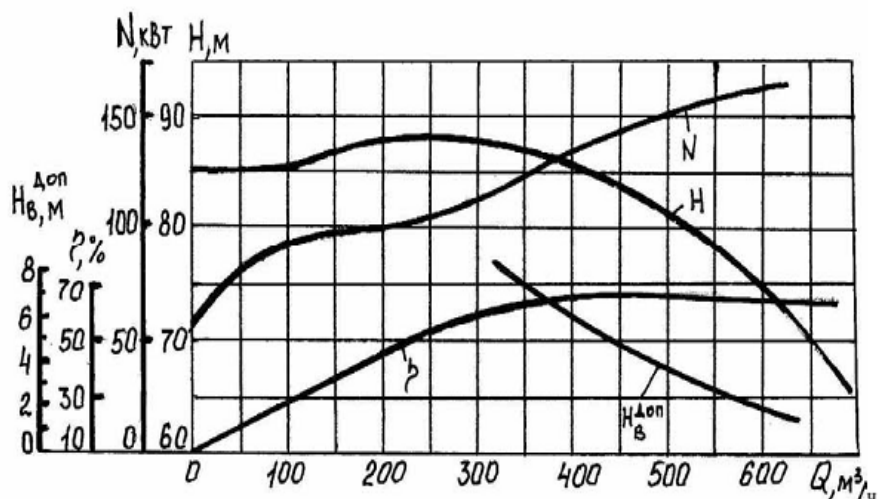
Характеристики насоса ЦНСК 300-100...700



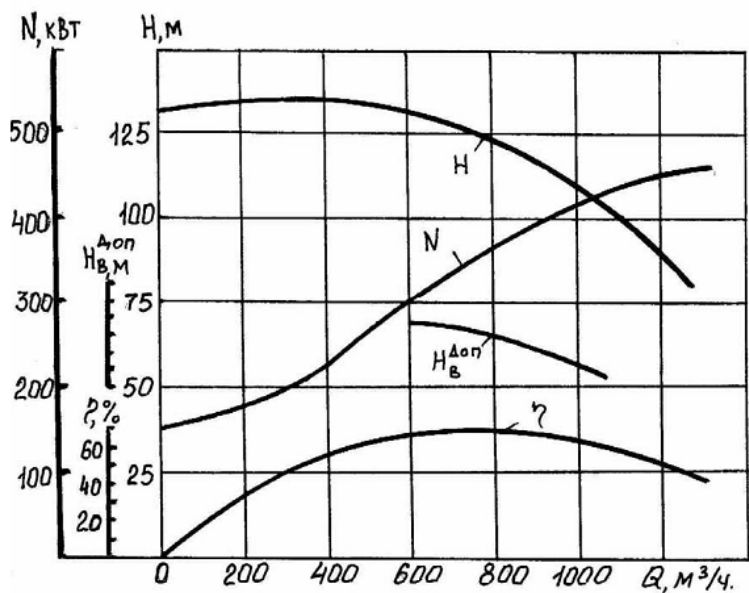
Характеристики насоса ЦНСК 300-125...1300



Характеристики насоса ЦНСК 500-160...800



Характеристики насоса ЦНСГ 800-250...1000



Варианты заданий

№ варианта	$H_{г, м}$	$Q_{\text{норм}}$	$Q_{\text{макс}}$
1	250	100	120
2	450	190	240
3	350	120	160
4	200	130	180
5	400	220	260
6	500	300	360
7	450	280	340
8	600	350	400
9	550	400	440
10	180	200	260
11	240	120	150
12	300	180	220
13	360	220	260
14	420	250	300
15	520	300	340
16	550	250	290
17	600	180	240
18	700	300	360
19	150	100	140
20	200	300	360
21	220	160	200
22	320	220	270
23	418	190	250
24	530	260	300
25	440	200	250
26	470	250	310
27	570	320	360
28	670	330	370
29	280	135	175
30	370	140	180

Библиографический список

1. *Гуляев Ю.Н.* Задачник по гидравлике и гидроприводу для студентов горных / Ю.Н.Гуляев, О.В.Кабанов, Б.С.Маховиков, Ленинградский горный ин-т. Л. 1989. 98 с.

2. *Попов В.М.* Водоотливные установки: Справочное пособие М.: Недра, 1990. 254 с.

3. Примеры расчетов по гидравлике. Учеб. пособие для вузов. Под ред. А. Д. Альтшуля. М., Стройиздат, 1977. 255 с.

4. *Абрамов А.П.* Стационарные машины. Расчет водоотливных установок горнодобывающих предприятий: Учебное пособие/А.П. Абрамов, В.Н. Бизенков; ГУ КузГТУ. Кемерово, 2003. 143 с. ISBN 5 -89070-218-1

5. *Рипп М.Г.* Рудничные водоотливные и вентиляторные установки М.Г. Рипп, А.И. Петухов, А.И. Мирошник, М.:Недра, 1968. 296 С.

6. Сборник задач по гидравлике: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.А. Большакова. – 4-е изд., перераб. и доп. Киев: Вища школа. 1979. 336 С.

7. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтегазовых вузов: Учеб. Пособие / Под ред. В.В. Кадета. М.: Российский государственный университет (НИУ) нефти и газа имени И.М. Губкина, 2017. 295 с. ISBN 978-5-91961-236-0

ГИДРОМЕХАНИКА

*Методические указания к самостоятельным работам
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *Р.Б. Кускильдин, М.А. Васильева, А.А. Волчихина*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
транспортно-технологических процессов и машин

Ответственный за выпуск *Р.Б. Кускильдин*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 07.12.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,3. Усл.кр.-отт. 1,3. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 50 экз. Заказ 1105.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2