

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Кафедра «Сельскохозяйственное водоснабжение и водоотведение»

ЖУРНАЛ
Для лабораторных работ
НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ

Студент _____

Факультет _____

Группа _____

Преподаватель _____

Москва

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
Изучение конструкций различных центробежных насосов и определение их марок.

1.1. Цель работы

1. Изучить конструкции различных насосов, уяснить назначение их основных узлов и деталей, провести монтаж и демонтаж насосов.
2. Составить эскизы рабочих колес насосов, снять основные размеры колес и патрубков (рисунок 1), необходимые для определения марки насоса.
3. Определить марки насосов по старым и новым ГОСТам.

1.2. Конструкции различных центробежных насосов

1. Конструкция консольного насоса типа (К) приведена на рис. 2.
2. Конструкция насоса с двухсторонним входом (Д) приведена на рис. 3.
3. Конструкция многоступенчатого секционного насоса (МС) приведена на рис. 4.

1.3. Эскизы рабочих колес с обозначениями основных размеров

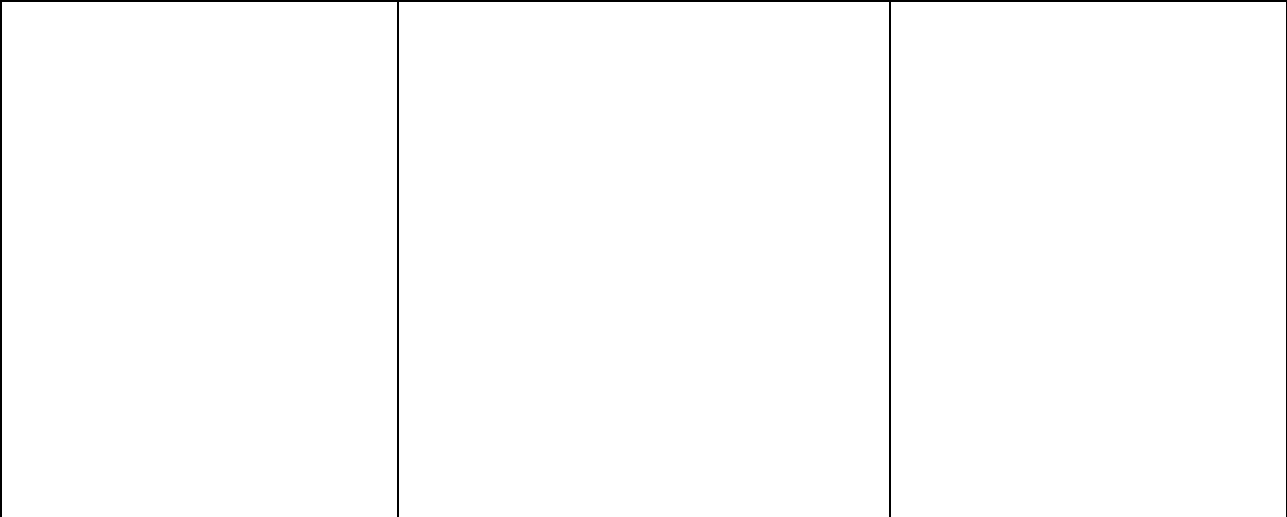
		
1. Консольный – К	2. Двухсторонним входом – Д	3. Многоступенчатый секционный – МС

Рис.1. Эскизы рабочих колес.

D_2 – наружный диаметр рабочего колеса,
 D_0 – диаметр входного сечения рабочего колеса, $d_{вт}$ – диаметр втулки

Центробежный консольный насос типа К

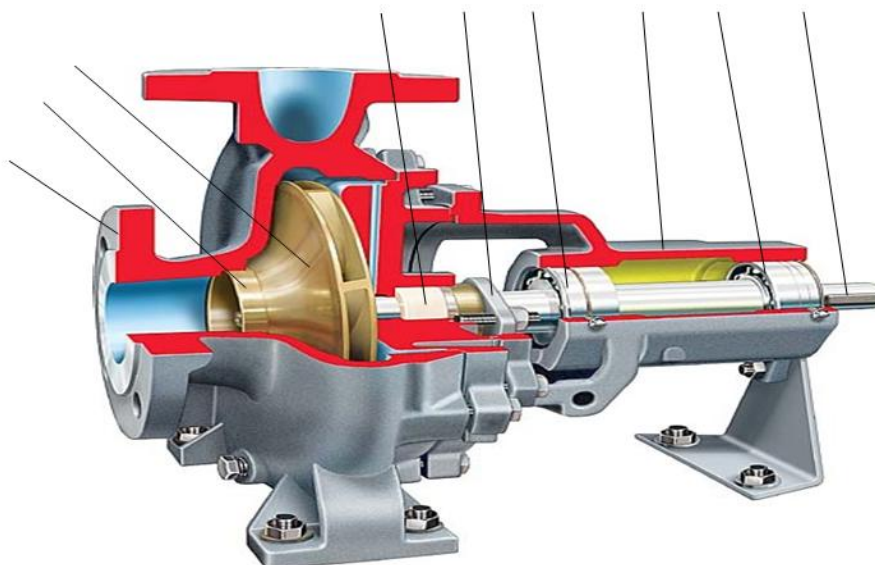


Рис. 1.2. Конструкция консольного горизонтального центробежного насоса:

- 1 – корпус насоса; 2 – сменные уплотняющие кольца; 3 – рабочее колесо;
4 – набивка сальника; 5 – крышка сальника; 6 – шарикоподшипники;
7 – опорная стойка; 8 – вал насоса

Центробежный насос с двухсторонним входом на колесо типа Д

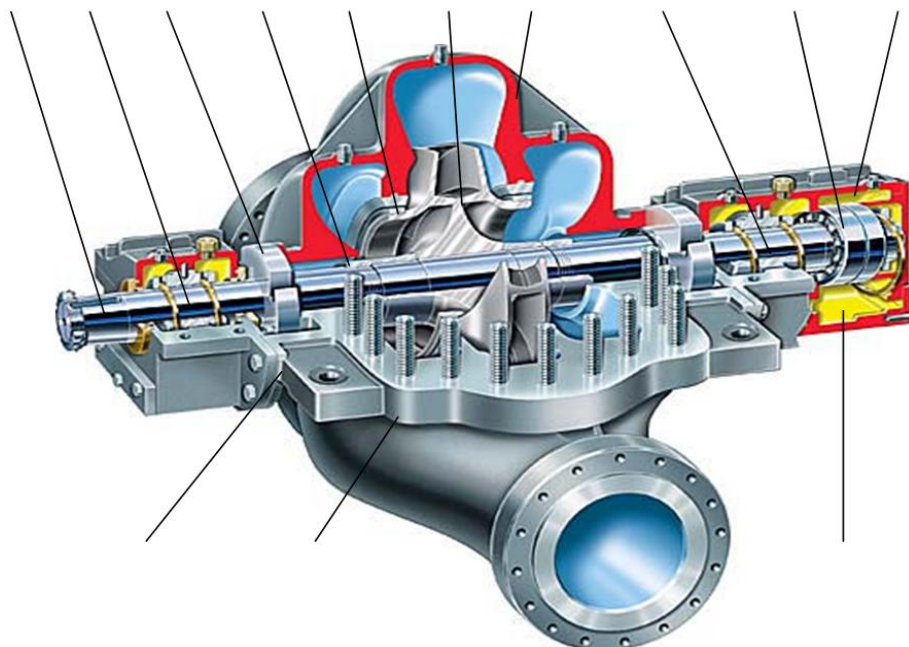


Рис. 1.3. Конструкция горизонтального центробежного насоса с двухсторонним входом в рабочее колесо:

- 1 – вал насоса; 2,9 – узлы подшипников трения скольжения; 3 – корпус сальника; 4 – грундбукса; 5 – защитно-уплотняющее кольцо; 6 – рабочее колесо; 7, 12 – корпуса насоса; 8 – уплотнение; 10 – корпус подшипников; 11 – камера для охлаждения подшипников

Многоступенчатый секционный центробежный насос типа МС

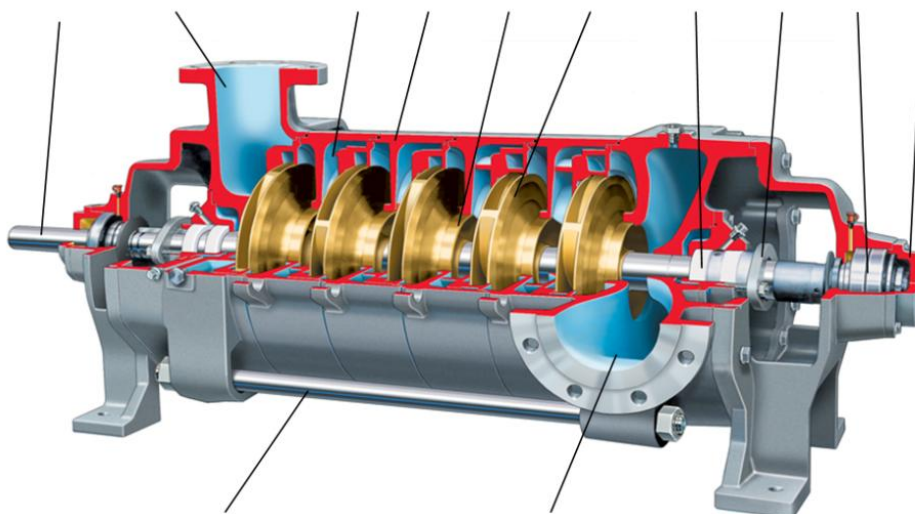


Рис.1.4. Центробежный многоступенчатый горизонтальный секционный насос типа ЦНС (МС):

1 – вал; 2 – напорный патрубок; 3– направляющий аппарат;
4– корпус секции; 5– защитно–уплотнительные кольца; 6– рабочее колесо;
7–сальник; 8 –крышка; 9– радиальный роликовый подшипник; 10– уплотнение подшипника; 11–всасывающий патрубок; 12– стяжная шпилька

Таблица 1.1

Размеры и параметры насосов, необходимые для определения их марок

№ п/п	Велич– ины Тип насоса	Размеры колеса			Число		Внутренние диаметры патрубков насоса		Частота вращения вала насоса
		D_2 , мм	D_0 , мм	$d_{вт}$ мм	сторон всасы- вания $i_{вх}$,	ступеней нагнетания, $i_{ст,,}$	всасы- вающего $d_{в,мм}$	напорного d_n , мм	n , об/мин
1	Консольный – К								
2	Двухсторон ним входом – Д								
3	Многосту- пенчатый секционный – МС								

1.5. Определение марок насосов

1. Марка насоса по старому ГОСТу имеет следующий вид:

$$d_g T - W_s - i_{cm} \quad (1.1)$$

где d_g – величина внутреннего диаметра всасывающего патрубка в мм, уменьшенная в 25 раз (величина d_g округляется до 0,5);

T – тип насоса (К – консольный, Д – с двухсторонним входом, МС – многоступенчатый секционный);

W_s – величина коэффициента быстроходности насоса в об/мин, уменьшенная в 10 раз (величина W_s округляется до 1,0);

i_{cm} – число ступеней насоса (если насос одноступенчатый, то i_{cm} из марки насоса исключается).

2. Зависимость коэффициента быстроходности n_s от отношения диаметров рабочего колеса D_2/D_0 определяется по графику на рис. 5.

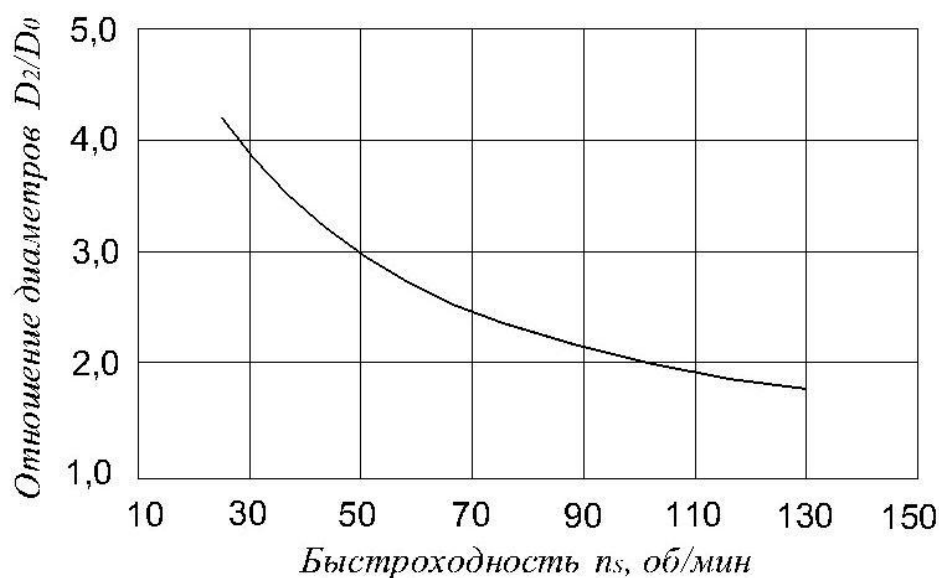


Рис. 1.5. График зависимости быстроходности насоса n_s от отношения диаметров рабочего колеса D_2/D_0

3. Марка насоса по новому ГОСТу имеет вид:

– для насоса типа «К» – $d_6 K Q/H$;

– для насоса типа «Д» – $D Q - H$;

– для насоса типа «МС» – ЦНС Q - H;

где d_6 – величина внутреннего диаметра всасывающего патрубка;

Q – подача насоса при максимальном КПД;

H – напор насоса при максимальном КПД.

4. Подача Q ($\text{м}^3/\text{с}$) и напор H (м) насоса при максимальном КПД определяется по формулам:

$$D_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{D_0^2 - d_{\text{ВТ}}^2}, \quad (1.2)$$

$$Q = \left(\frac{D_{\text{ЭКВ}}}{K_d} \right)^3 n * i_{\text{ВХ}}, \quad (1.3)$$

$$H = i_{\text{СТ}} \sqrt[3]{\left(\frac{3,65 * n * \sqrt{Q/i_{\text{ВХ}}}}{n_s} \right)^4}, \quad (1.4)$$

где $D_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный диаметр входа в колесо, м;

$K_d = 4 \dots 4,5$ – коэффициент;

n – частота вращения вала насоса, об/мин;

$i_{\text{ВХ}}$ – число сторон всасывания;

$i_{\text{СТ}}$ – число ступеней насоса;

n_s – коэффициент быстроходности насоса, об/мин.

Таблица 1.2

Определение марок насосов

№№ П/П	Величины Тип насоса	D_2/D_0	n_s , об/мин по графику	Q , m^3/c	Q , $m^3/ч$	H , м	Марка насоса	
							По старому ГОСТу	По новому ГОСТу
1	Консольный – К							
2	Двусторонним входом – Д							
3	Многосту- пенчатый секционный – МС							

Работа выполнена

Подпись преподавателя

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Испытание всасывающей линии центробежного насоса

2.1. Цель работы

1. Уяснить физический смысл геометрической высоты всасывания h_g , вакуумметрической высоты всасывания $H_{\text{вак}}$, кавитационного запаса Δh и их взаимосвязь.

2. Определить величины h_g , $H_{\text{вак}}$, Δh , а также потери во всасывающем трубопроводе $h_{\text{вт}}$.

3. Построить и проанализировать зависимости $h_g = f(Q)$, $h_{\text{вт}} = f(Q)$, $H_{\text{вак}} = f(Q)$, $\Delta h = f(Q)$, $h_{\text{вт}} = f(Q)$,

2.2. Основные сведения стенда для испытания всасывающей линии центробежного насоса

1. Схема стенда приведена на рис. 1 ;

2. Насос – марка _____, $n =$ _____ об/мин ;

3. Электродвигатель – марка _____, $n =$ _____ об/мин ;

4. Диаметр $d_g =$ _____ м; площадь сечения всасывающего трубопровода $W_g =$ _____ м², в сечении замера давления;

5. Расстояние по вертикали, от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до точки присоединения подводящей трубки прибора к всасывающей трубе $y_g =$ _____ м. (см. рис. I).

2.3. Основные определения и соотношения

1. Геометрической высотой всасывания h_g насоса с горизонтально расположенным валом называется расстояние по вертикали от уровня воды в нижнем бьефе (водоисточнике) до оси насоса. Она положительна, если ось насоса расположена выше уровня воды в нижнем бьефе, и отрицательна – если ниже.

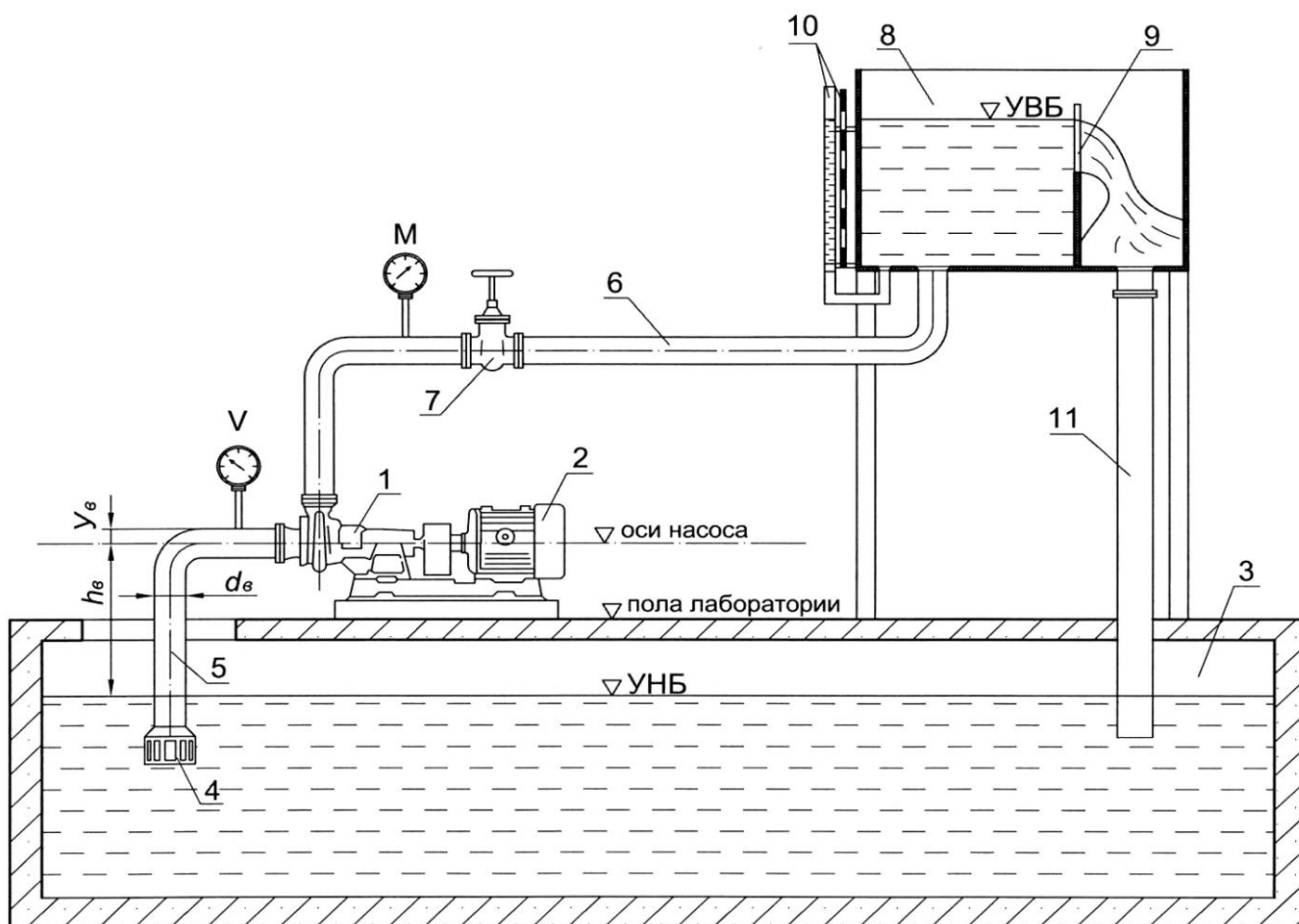


Рис.2.1. Схема стенда для испытания всасывающей линии центробежного насоса:

1 – насос; 2 – электродвигатель; 3 – бассейн; 4 – приемный клапан;
 5 – всасывающий трубопровод; 6 – напорный трубопровод; 7 – задвижка;
 8 – напорный бак; 9 – треугольный водослив; 10 – пьезометрический стакан с шпигунмасштабом; 11 – сбросной трубопровод

2. Вакууметрической высотой всасывания насоса $H_{\text{вак}}$ называется показание вакуумметра, выраженное в метрах и приведенное к точке замера на оси всасывающего трубопровода

$$H_{\text{вак}} = h_{\text{в}} + h_{\text{вТ}} + \vartheta_{\text{в}}^2 / 2g , \quad (2.1)$$

где $h_{\text{в}}$ – геометрическая высота всасывания, м;

$h_{\text{вТ}}$ – гидравлические потери во всасывающем трубопроводе, м;

$\vartheta_{\text{в}}$ – скорость воды во всасывающем трубопроводе перед насосом, м/с ;

g – ускорение свободного падения, м/с² .

3. Квитанционным запасом насоса Δh (м) называется превышение суммы статического напора $P_c/\rho \cdot g$ на оси всасывающего трубопровода и динамического напора потока $\vartheta_B^2/2g$ над напором насыщенных паров рабочей жидкости во всасывающем трубопроводе перед насосом

$$\Delta h = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{\vartheta_B^2}{2g} - \frac{P_{п.ж.}}{\rho g} \quad (2.2)$$

Или
$$\Delta h = \frac{P_a - P_{п.ж.}}{\rho g} + \frac{\vartheta_B^2}{2g} - H_{\text{вак}} ,$$

где $H_{\text{вак}}$ – вакуумметрическая высота всасывания, м,

$$H_{\text{вак}} = \frac{P_B}{\rho g} - y_B = P_{v(\text{атм})} * 10 - y_B , \quad (2.3)$$

P_V – показание вакуумметра;

P_a – атмосферное давление,

$$\frac{P_a}{\rho g} = P_{\text{бар}} * \frac{10}{735} = \text{_____ м};$$

$P_{\text{бар}}$ = мм рт.ст.;

$P_{\text{н.ж.}}$ – давление насыщенных паров жидкости,

$$\frac{P_{\text{н.ж.}}}{\rho g} = 0,2 \text{ м при температуре воды } t=20^\circ\text{C},$$

$$P_{\text{н.ж.}} = f(t);$$

ρ – удельный вес жидкости;

ϑ_B – скорость воды во всасывающем трубопроводе перед насосом, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с².

4. Потери во всасывающем трубопроводе $h_{\text{вт}}$ (м)

$$h_{\text{вТ}} = H_{\text{вак}} - h_{\text{в}} - \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}, \quad (2.4)$$

где $v_{\text{в}}$ – скорость воды во всасывающем трубопроводе перед насосом, м/с ;
 $v_{\text{в}} = 4Q/\pi d_{\text{в}}^2$.

Таблица 2.1

Результаты измерений

№№ п/п	Наименование величин	Единица измерения	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Расход Q	л/с								
2	Показание вакуумметра P_v	атм								
3	Геометрическая высота всасывания $h_{\text{в}}$	м								

This image shows a single page from a notebook or ledger. It features a series of evenly spaced horizontal black lines across its entire width, providing a guide for writing. The background is white, and there are no other markings, text, or illustrations present.

Таблица 2.2

Результаты расчетов

№№ п/п	"Наименование величин	Единица измерен ия	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Вакуумметрическа я высота вса- сывания $H_{\text{вак}} = \frac{P_{\text{в}}}{\rho g} - y_{\text{в}}$ $= P_{\text{в(атм)}} * 10 - y_{\text{в}}$	м								
2	Средняя скорость $v_{\text{с}} = 4Q/\pi d_{\text{с}}^2$	м/с								
3	Скоростной напор $\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}$	м								
4	Кавитационный запас $\Delta h = \frac{P_{\text{а}} - P_{\text{п.ж.}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{в}}^2}{2g} - H_{\text{вак}}$	м								
5	Гидравлические потери $h_{\text{вт}} = H_{\text{вак}} - h_{\text{в}} - \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}$	м								

2.5. Кривые зависимостей

$$h_B = f(Q); \quad h_{BT} = f(Q); \quad H_{BAK} = f(Q); \quad \Delta h = f(Q).$$

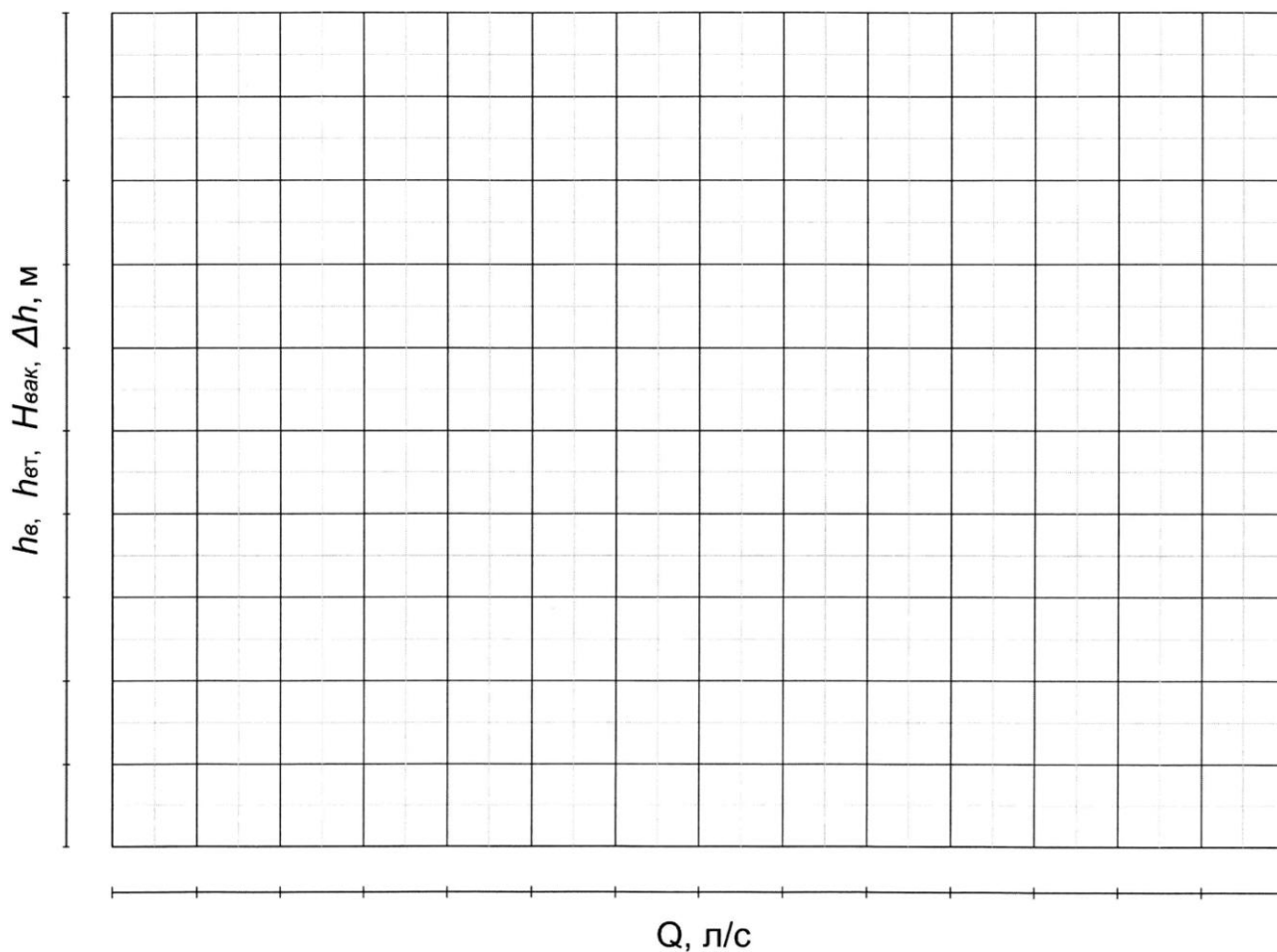


Рис. 2.2. Кривые зависимостей – $h_B = f(Q)$; $h_{BT} = f(Q)$; $H_{BAK} = f(Q)$; $\Delta h = f(Q)$

2.6. Выводы

Работа выполнена

Подпись преподавателя

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Изучение кинематики потока в рабочем колесе центробежного насоса

3.1. Цель работы

1. Уяснить связь между скоростями V , V_m , V_u , W , U ;
2. Построить планы скоростей при входе жидкости в колесо и выходе из него;
3. Определить напор насоса (H), при заданных подаче (Q), и частоте вращения вала (n), используя план скоростей на выходе из колеса;
4. Сравнить значение рассчитанного напора (H), с напором насоса по паспортным данным.

Таблица 3.1

Паспортные данные рассматриваемого насоса

Марка насоса	Частота вращения n , об/мин	Подача Q , $\text{м}^3/\text{с}$	Напор H , м	Мощность N кВт	Быстроходность n_s об/мин	Объемный к.п.д. $\eta_{об}$	Гидравлический к.п.д. η_g

3.2. Эскиз рабочего колеса

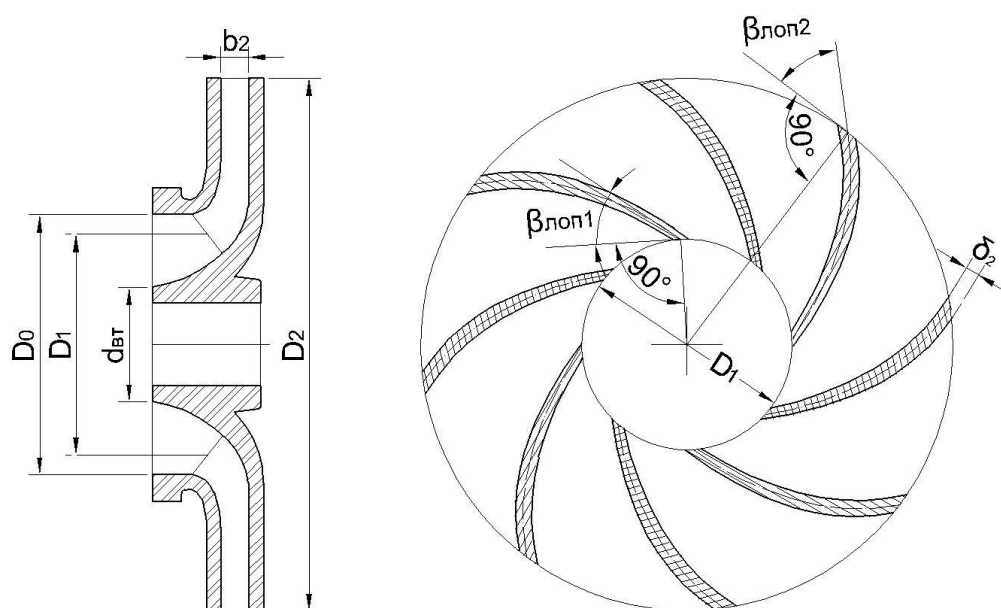


Рис. 3.1. Эскиз рабочего колеса

Таблица 3.2

Результаты обмера рабочего колеса

D_2 м	D_0 м	D_1 м	$d_{вт}$ м	b_2 м	δ_2 м	$\beta_{лоп1}$ град.	$\beta_{лоп2}$ град.	Число лопастей $Z_{л}$	Примечание

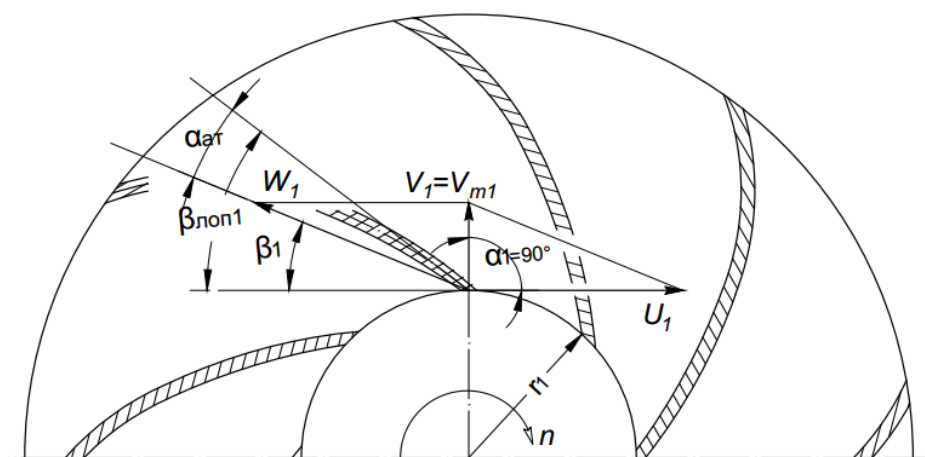
3.3. Основные определения и соотношение**I. Кинематика потока при входе в рабочее колесо.**

Рис. 3.2. План скоростей потока при входе в рабочее колесо

При рассмотрении движения жидкости внутри колеса принимают, что распределение скоростей в поперечных сечениях каналов колеса равномерно и определяется размером канала и расходом, а траектории потока полностью соответствуют очертаниями лопастей в плане. Такое допущение соответствует струйной теории течения жидкости в рабочем колесе насоса.

Скорость потока при входе в рабочее колесо равна

$$V_0 = \frac{4 Q}{\eta_{об} \pi (D_0^2 - d_{вт}^2)} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} \text{ (м/с),}$$

где Q – подача, $\text{м}^3/\text{с}$; $\eta_{об}$ – объемный КПД; D_0 – диаметр входного сечения рабочего колеса, м; $d_{вт}$ – диаметр втулки, м.

Скорость потока обычно не изменяется при движении жидкости до входа на лопасти рабочего колеса, т.е.

$$V_0 = V_1 = V_{1m} = \text{_____} (\text{м/с}),$$

где V_1 – абсолютная скорость потока при входе на лопасти, м/с;

V_{1m} – меридианная составляющая абсолютной скорости, м/с.

Средняя окружная скорость входных кромок лопастей равна

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \text{_____} = \text{_____} (\text{м/с}),$$

где D_1 – диаметр сечения, проходящего через середины входных кромок лопастей, м ;

n – частота вращения, об/мин .

Средняя скорость потока относительно лопасти рабочего колеса определяется из параллелограмма скоростей

$$\vec{V}_1 = \vec{\omega}_1 + \vec{u}_1 \quad (\text{м/с}).$$

Угол входа потока на лопасти определяется по формуле

$$\beta_1 = \arctg \frac{V_1}{u_1} = \arctg \text{_____} = \text{_____}, \text{ град.}$$

Угол атаки равен

$$\alpha_{ам} = \beta_{1лон} - \beta_1 = \text{_____} = \text{_____}, \text{ град.}$$

где $\beta_{1лон}$ – угол установки лопасти, град.

По нормативным данным величина $\alpha_{ам}$ положительна и на расчетном режиме должна находиться в пределах $3...8^\circ$.

2. Кинематика потока при выходе жидкости из рабочего колеса.

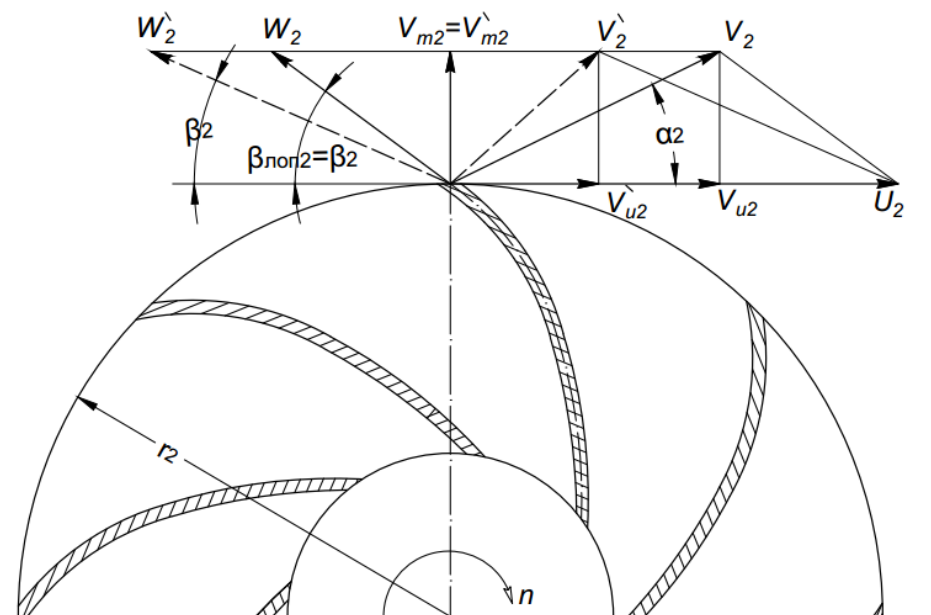


Рис. 3.3. План скоростей потока при выходе из рабочего колеса

После входа на лопасти поток движется вдоль лопастей, а траектория его соответствует очертаниям межлопастных каналов.

Окружная скорость потока жидкости при выходе из рабочего колеса равна

$$u_2 = \frac{\pi D_2 \eta}{60} = \frac{\pi D_2 \eta}{60} = \text{_____} (\text{ м/с }),$$

где D_1 – диаметр сечения, проходящего через середины входных кромок лопастей, м ; η – частота вращения, об/мин .

Меридианная (радиальная) составляющая абсолютной скорости потока на выходе находится по формуле

$$V_{2m} = \frac{Q}{\eta_{об} F_2} = \frac{Q}{\eta_{об} \left(\pi D_2 b_2 - \frac{\delta_2}{\sin \beta_{2лон}} b_2 z_l \right)} =$$

$$V_{2m} = \text{_____} = \text{_____} (\text{ м/с }),$$

где Q – подача, $\text{м}^3/\text{с}$; $\eta_{об}$ – объемный КПД; F_2 – площадь потока жидкости, выходящего из рабочего колеса, м^2 ; D_2 – наружный диаметр рабочего колеса, м ; b_2 – расстояние между дисками колеса на выходе, м ; δ_2 – толщина лопасти при выходе из колеса, м ; $\beta_{2лон}$ – угол установки лопасти, град; z_l – число лопастей рабочего колеса.

Относительная скорость потока ω_2 находится из параллелограмма скоростей, который строится по известным векторам $\vec{u}_2$ и $\vec{V}_{2m}$. Направление скорости соответствует углу $\beta_{2лон}$.

Абсолютная скорость потока при выходе из рабочего колеса равна

$$\vec{V}_2 = \vec{\omega}_2 + \vec{u}_2 \quad (\text{м/с}).$$

Проекция скорости V_2 на направление окружной скорости u_2 называется окружной составляющей абсолютной скорости потока V_{2u} .

Из теории насосов известно, что на самом деле относительная

скорость ω_2 отклоняется от направления лопастей колеса, в результате чего окружная составляющая V_{2u} становится меньше, чем это следует из построения плана скоростей.

$$V_{2u} = u_2 - V_{2m} \operatorname{ctg} \beta_{2лон} = \quad \text{м/с},$$

Действительное значение скорости V_{2u} определится по формуле

$$V'_{2u} = V_{2u} / (1 + P) = \quad \text{м/с},$$

где P – коэффициент, зависящий от числа лопастей z_l , угла установки лопастей на выходе $\beta_{2лон}$ и отношения диаметров D_1/D_2

$$P = \frac{1,2(1 + \sin \beta_{2лон})}{z_l [1 - (D_1/D_2)^2]} = \quad = \quad$$

3. Определение напора насоса

Теоретический напор насоса определяется по уравнению Эйлера

$$H_T = V'_{2u} u_2 / g = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad \text{м},$$

Действительный расчетный напор насоса равен

$$H_p = H_T \eta_{\Gamma} = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad \text{м},$$

где η_{Γ} – гидравлический коэффициент полезного действия насоса.

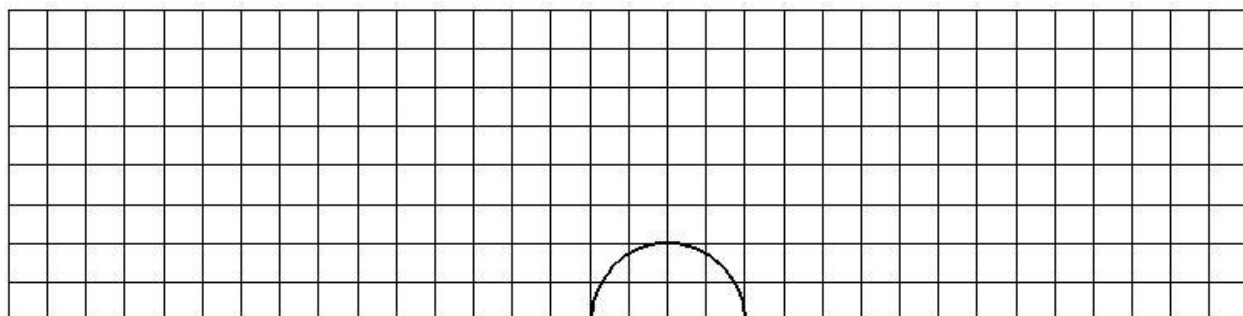
Таблица 3.3

Расчет параметров потока в колесе и напора насоса

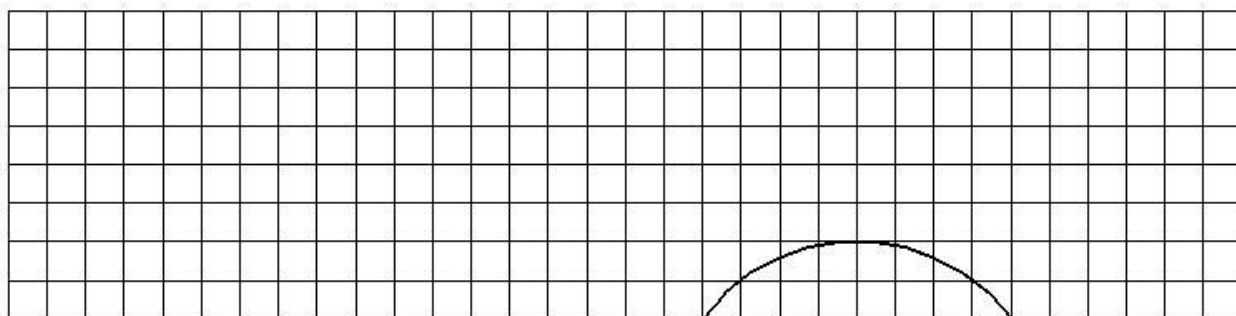
Q м ³ /с	n об/мин	U ₁ м/с	V _{m1} м/с	β ₁ град.	α _{ат} град.	U ₂ м/с	V _{m2} м/с	V _{U2} м/с	P _z	V _{U2} м/с	H _T м	H _p м	ΔH

3.4. Планы скоростей: / Масштаб: 5 мм – 1 м/с /

при входе в рабочее колесо



при выходе из рабочего колеса



3.5. Сравнение рассчитанного напора с напором по паспортным данным

$$\Delta h = \frac{H - H_p}{H} * 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

где H –напор насоса по паспорту; H_p – напор насоса, рассчитанный по построенному плану скоростей на выходе из рабочего колеса.

4.5. Выводы

Работа выполнена

Подпись преподавателя

« » 20 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Испытание центробежного насоса

4.1. Цель работы

1. Провести испытания насоса и построить его характеристики

$H = f(Q)$, $N = f(Q)$, $\eta = f(Q)$ при постоянной частоте вращения вала, т.е. $n = \text{const}$.

2. Сравнить полученные результаты с паспортными данными насоса, взятыми из каталога при $\eta = \eta_{\max}$, и определить их расхождение.

4.2. Основные сведения о стенде для испытания центробежного насоса

1. Схема стенда приведена на рис.1;

2. Паспортные данные насоса:

Марка _____, $n =$ _____ об/мин, $Q =$ _____ л/с,

$H =$ _____ м, $N =$ _____ кВт, $\eta_{\max} =$ _____ %,

$d_g =$ _____ мм, $d_n =$ _____ мм;

3. Паспортные данные электродвигателя:

Марка _____, $n =$ _____ об/мин, $\eta_{\text{дв}} =$ _____ %;

4. Расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до точки присоединения подводящей трубки и всасывающему трубопроводу $y_v =$ _____ м (см. рис. 1);

5. Расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до прибора $y_m =$ _____ м (см. рис. 1);

6. Расстояние по вертикали между теми точками жидкости, где давление соответствует показаниям манометра и вакуумметра $Z_{\text{изм}} =$ _____ м;

7. Ваттметр включен в цепь через трансформатор, коэффициент трансформации которого равен $K_{\text{тр}} =$ _____.

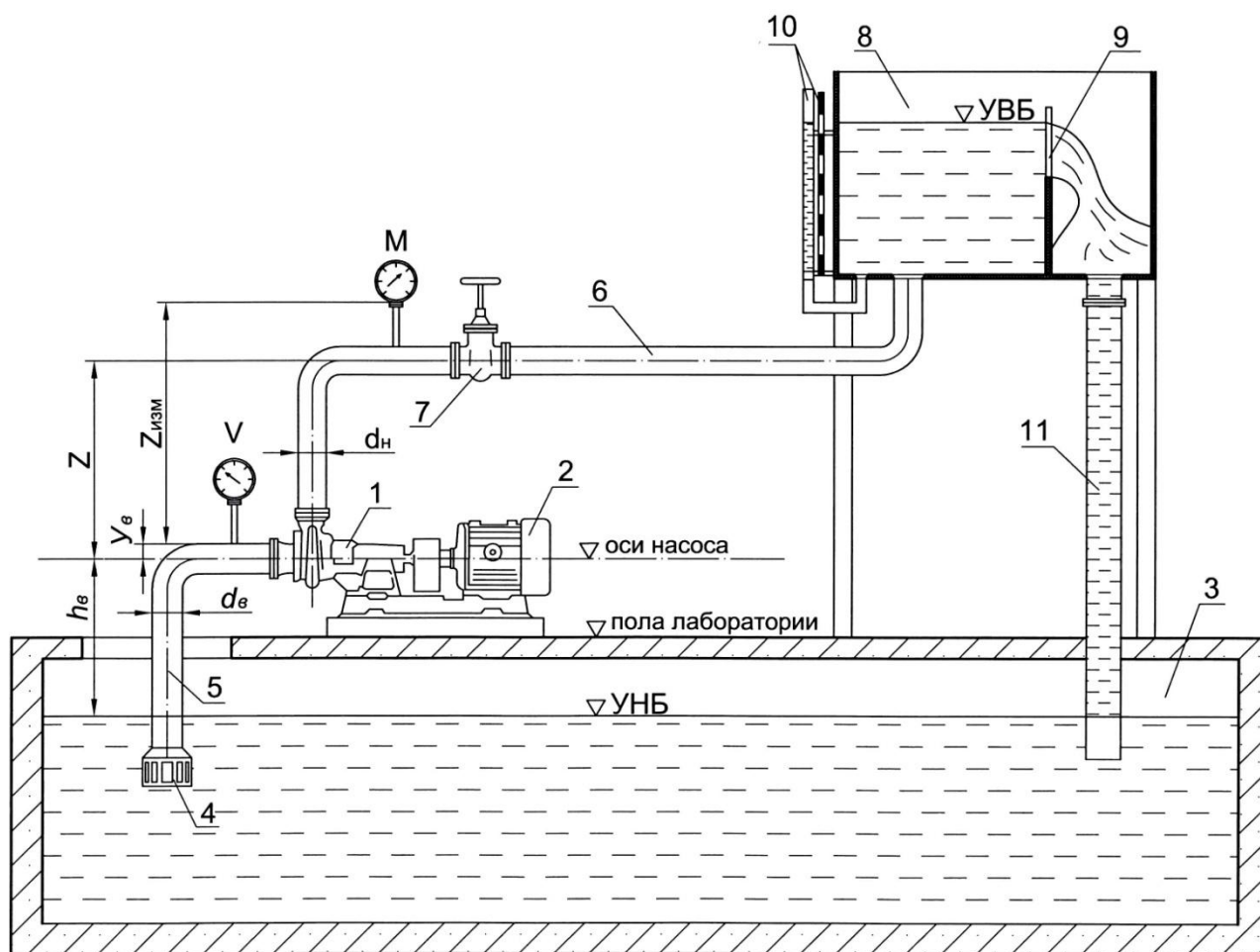


Рис. 4.1. Схема стенда для испытаний центробежного насоса:

- 1 – насос; 2 – электродвигатель; 3 – подземный бассейн; 4 – приемный клапан;
 5 – всасывающий трубопровод; 6 – напорный трубопровод; 7 – задвижка;
 8 – напорный бак, 9 – треугольный водослив; 10 – пьезометрический стакан с
 шпигунмасштабом; 11 – сбросной трубопровод

4.3. Зависимости для определения параметров насоса

1. Напор насоса

$$H_{изм} = (P_n - P_v)/\rho g + (V_n^2 - V_v^2)/2g + Z = H_m + H_v + Z_{изм} + (V_n^2 - V_v^2)/2g,$$

где P_n и P_v – абсолютные давления в точках замера (на осях трубопроводов), $P_n = P_a + P_m + y_m \gamma$, $P_v = P_a + P_v + y_v \gamma$, P_n и P_v – показания манометра и вакуумметра, P_a – атмосферное давление; V_n и V_v – скорости движения жидкости в напорном и всасывающем трубопроводах в сечения замера давления, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; Z – расстояние по вертикали между точками замера давления, м; γ – удельный вес жидкости; H_v – показание вакуумметра, м.

$$H_v = P_v/\rho g = P_v(атм) \cdot 10;$$

H_m – показания манометра, м,

$$H_m = P_m/\rho g = P_m(атм) \cdot 10;$$

$Z_{изм}$ – расстояние по вертикали между теми точками жидкости, где давление соответствует показаниям манометра и вакуумметра, м; y_v – расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до точки присоединения подводящей трубки и всасывающему трубопроводу, м; y_m – расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до прибора, м.

2. Мощность насоса

$$N_{изм} = N_{дв} \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{пер},$$

где $N_{дв}$ – электрическая мощность, подведенная к электродвигателю (измеряется с помощью ваттметра),

$$N_{\partial\delta} = K_{mp} \cdot W;$$

W – показания ваттметра;

K_{mp} – коэффициент трансформации, $K_{mp} = \text{_____}$ – ;

$\eta_{\partial\delta}$ – к.п.д. двигателя, $\eta_{\partial\delta} = \text{_____}$;

$\eta_{пер}$ – к.п.д. передачи, $\eta_{пер} = \text{_____}$.

3. Коэффициент полезного действия насоса

$$\eta = \gamma QH/N = 9,81QH/N,$$

где Q ($\text{м}^3/\text{с}$), H (м), N (кВт) – параметры насоса, приведенные к постоянной частоте вращения вала насоса n .

4. Для определения Q , H и N при заданной частоте вращения вала $n = \text{const}$ используем формулу подобия

$$Q = Q_{изм} \cdot i_n; H = H_{изм} \cdot i_n^2; N = N_{изм} \cdot i_n^3$$

где $i_n = n/n_{изм}$; n – частота вращения насоса по паспорту; $n_{изм}$ – измеренная частота вращения насоса.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Таблица 4.1

Результаты измерений

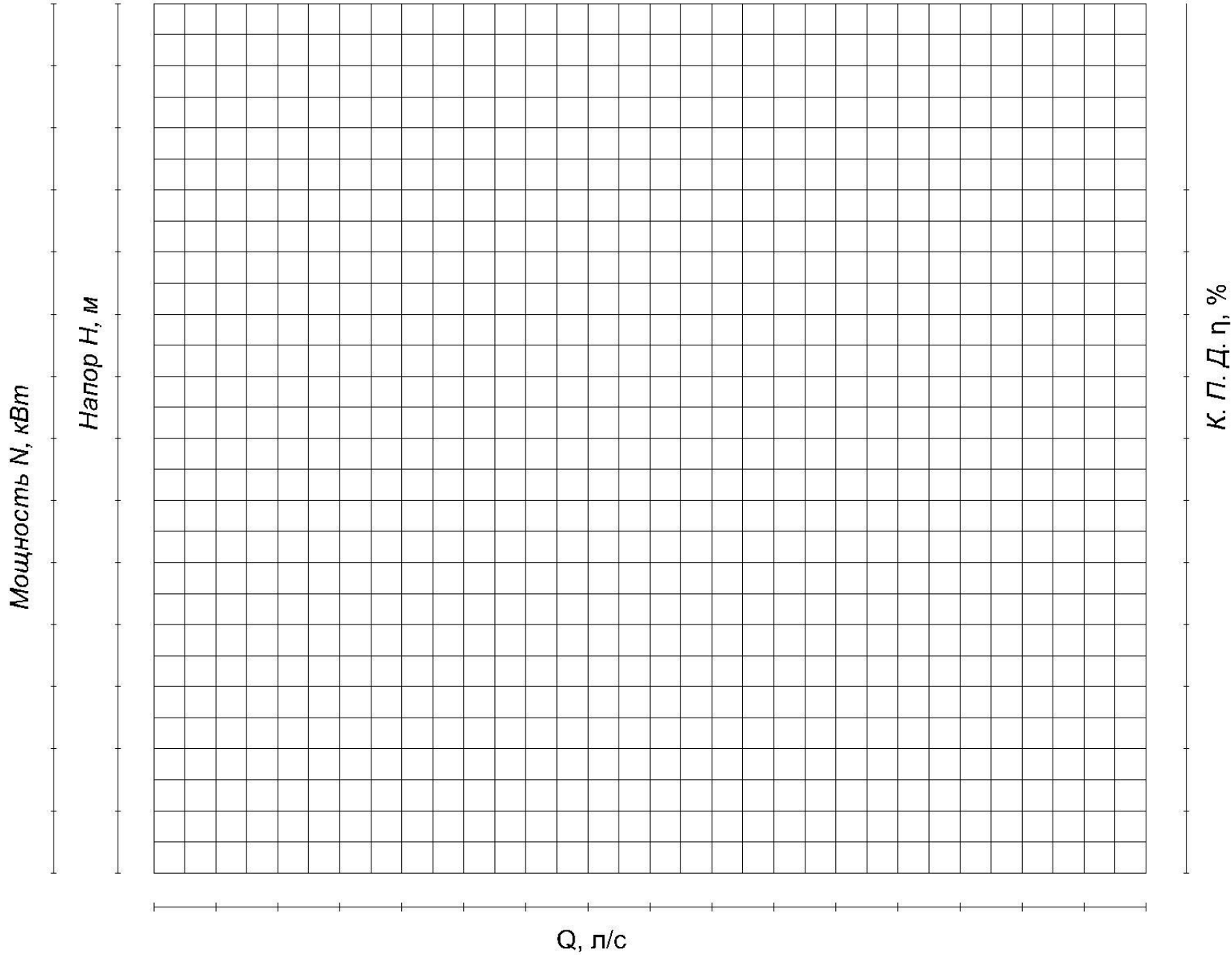
№№ п/п	Показания приборов	Ед. измер.	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Вакуумметра P_v	атм								
2	Манометра P_m	атм								
3	Ваттметра W	кВт								
4	Расходомера	л/с								
5	Частотомера $n_{изм}$	об/мин								

Таблица 4.2

Расчет основных параметров насоса

№№ п/п	Наименование величин	Ед. измер.	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Подача насоса $Q_{изм}$	л/с								
2	Показание вакуумметра $H_v = P_v(\text{атм}) \cdot 10$	м								
3	Показания манометра $H_m = P_m(\text{атм}) \cdot 10$	м								
4	Напор насоса $H_{изм} = H_m + H_v + Z_{изм}$	м								
5	Мощность насоса $N_{изм} = K_{тр} \cdot W \cdot \eta_{об} \cdot \eta_{пер}$	кВт								
6	Отношение частот $i_n = n/n_{изм}$	—								
7	i_n^2	—								
8	i_n^3	—								
9	Подача насоса $Q = Q_{изм} \cdot i_n$	л/с								
10	Напор насоса $H = H_{изм} \cdot i_n^2$	м								
11	Мощность насоса $N = N_{изм} \cdot i_n^3$	кВт								
12	К.п.д. насоса $\eta = 9,81QH/N$	—								

2.5. Характеристики насоса, $n =$ об/мин



2.6. Выводы

[illegible]

Работа выполнена

Подпись преподавателя

« _____ » _____ 20 ____ г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Испытание насосной установки с двумя параллельно работающими центробежными насосами

5.1. Цель работы

1. Определить общие напорные характеристики $H = f(Q)$ двух параллельно и последовательно работающих насосов по результатам отдельных и совместных испытаний.
2. Уяснить связь между этими характеристиками и напорными характеристиками $H = f(Q)$ отдельно работающих насосов.

5.2. Основные сведения о стенде для испытания насосной установки с двумя параллельно и последовательно работающими центробежными насосами

1. Схема стенда приведена на рис. 1;
2. Насосы: №1 – марка _____, $n =$ _____ об/мин,
№2 – марка _____, $n =$ _____ об/мин;
3. Электродвигатели: №1 – марка _____, $n =$ _____ об/мин,
№2 – марка _____, $n =$ _____ об/мин;
4. Расстояние по вертикали между точками жидкости, где давление соответствует показаниям манометра и вакуумметра – $Z_{изм} =$ _____ м;
5. Диаметры всасывающих трубопроводов – $d_в =$ _____ м;
6. Диаметры соединительного, напорного и общего напорного трубопроводов – $d_н =$ _____ м;

5.3. Основные зависимости для определения параметров насосов

Для рассматриваемой насосной установки формула для определения напора имеет вид:

$$H = (P_м + P_в)/\rho g + (V_н^2 - V_в^2)/2g + Z_{изм}, \quad (5.1)$$

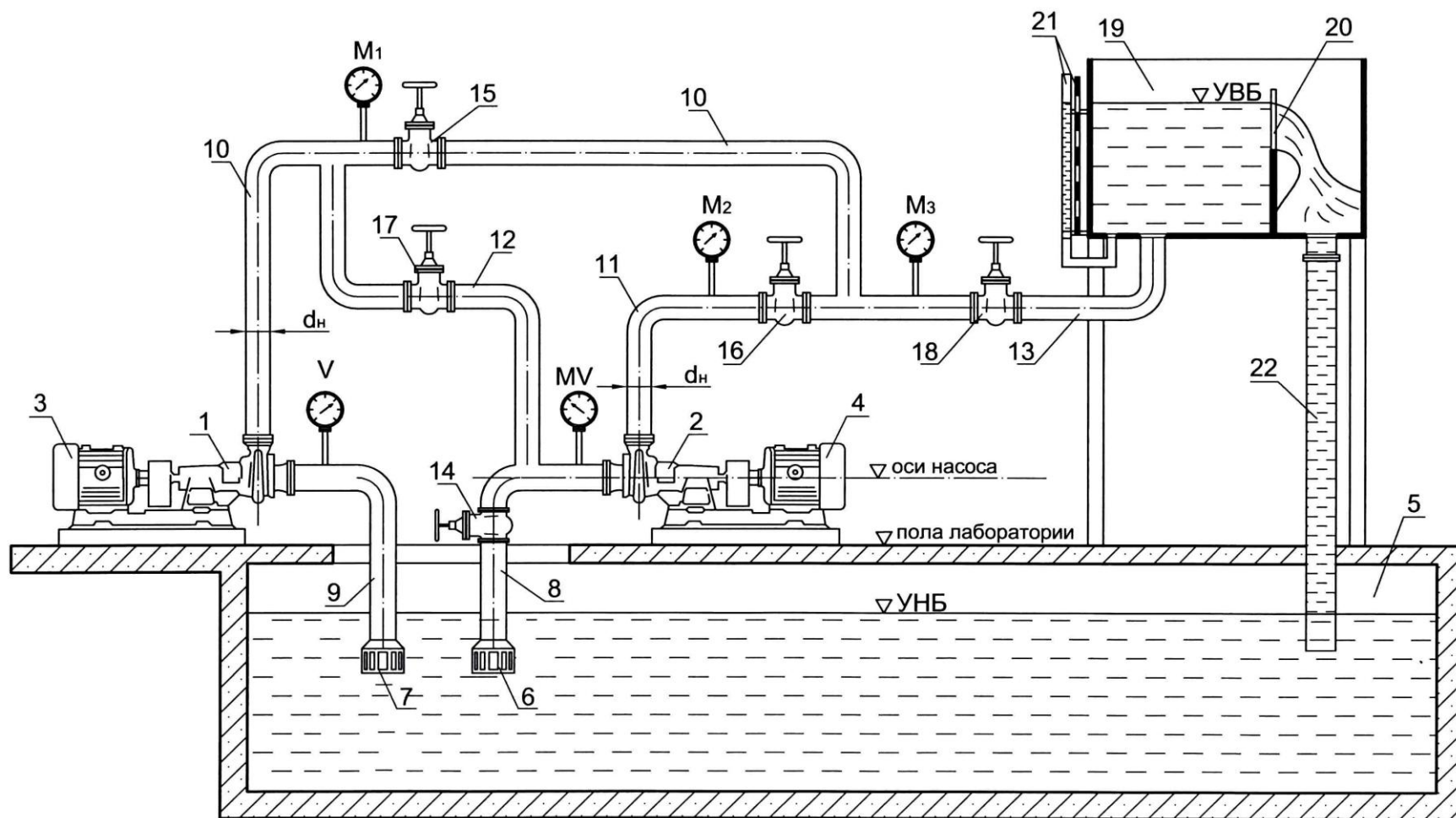


Рис. 5.1. Схема стенда для испытания насосной установки с двумя параллельно и последовательно работающими центробежными насосами:

1 и 2 – насосы; 3 и 4 – электродвигатель; 5 – подземный бассейн; 6 и 7 – приемные клапаны; 8 и 9 – всасывающие трубопроводы; 10 и 11 – напорные трубопроводы; 12 – соединительный трубопровод; 13 – общий напорный трубопровод; 14, 15, 16, 17 и 18 – задвижки; 19 – напорный бак; 20 – треугольный водослив; 21 – пьезометрический стакан с шпитценмасштабом; 24 – сборный трубопровод

где P_m – показание манометра M_3 , установленного на общем напорном трубопроводе; P_v – показание вакуумметра V , установленного на трубопроводе перед насосом; γ – удельный вес жидкости; V_n и V_g – скорости движения воды соответственно в общем напорном трубопроводе и в трубопроводе перед насосом, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; $Z_{изм}$ – расстояние по вертикали между теми точками жидкости, где давление соответствует показаниям манометра и вакуумметра, м.

1. Напор отдельно работающего насоса.

Так как внутренние диаметры всасывающего и общего напорного трубопроводов одинаковы, т.е. $d_g = d_n$, то и $V_g = V_n$, формула для определения напора насоса принимает следующий вид:

$$H = (P_m + P_v)/\rho g + Z_{изм}. \quad (5.2)$$

2. Общий напор параллельно работающих насосов.

Принимаем, что оба насоса имеют близкие характеристики $H = f(Q)$, а гидравлические потери в их трубопроводных коммуникациях мало отличаются друг от друга. Тогда при одинаковых внутренних диаметрах всасывающих трубопроводов и общего напорного трубопровода ($d_g = d_n$) общий напор параллельно работающих насосов можно вычислить по следующей формуле.

$$H_{1,2} = \frac{P_m + P_v}{\rho g} + \frac{V_n^2 - (0,5V_n)^2}{2g} + Z_{изм} = \frac{P_m + P_v}{\rho g} + \frac{0,75V_n^2}{2g} + Z_{изм}, \quad (5.3)$$

$$0,5V_n = V_g, \text{ т.к. } Q = Q_1 + Q_2 = 2Q_1 = 2Q_2,$$

где Q – расход воды в общем напорном трубопроводе; Q_1 – подача насоса №1; Q_2 – подача насоса №2.

5.5. Снятие напорных характеристик отдельно работающих насосов

Таблица 5.1

Расчет напорной характеристики насоса №1 по данным измерений

№№ п/п	Наименование величин	Ед. измер.	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Подача насоса Q	л/с								
2	Показания манометра P_m	атм								
		м								
3	Показания вакуумметра P_v	атм								
		м								
4	Напор насоса H_1	м								

Таблица 5.2

Расчет напорной характеристики насоса №2 по данным измерений

№№ п/п	Наименование величин	Ед. измер.	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Подача насоса Q	л/с								
2	Показания манометра P_m	атм								
		м								
3	Показания вакуумметра P_v	атм								
		м								
4	Напор насоса H_2	м								

5.6. Снятие напорной характеристики двух параллельно работающих насосов

Таблица 5.3

Расчет общей напорной характеристики двух параллельно работающих насосов по данным измерений

№№ п/п	Наименование величин	Ед. измер.	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Общая подача насосов Q_{1+2}	л/с								
2	Показание манометра $P_{мз}$	атм								
		м								
3	Показания вакуумметра P_v	атм								
		м								
4	Скорость V_H	м/с								
5	$\frac{0,75V_H^2}{2g}$	м								
6	Общий напор $H_{1,2}$	м								

5.7. Снятие напорной характеристики двух последовательно работающих насосов по данным измерений

Таблица 5.4

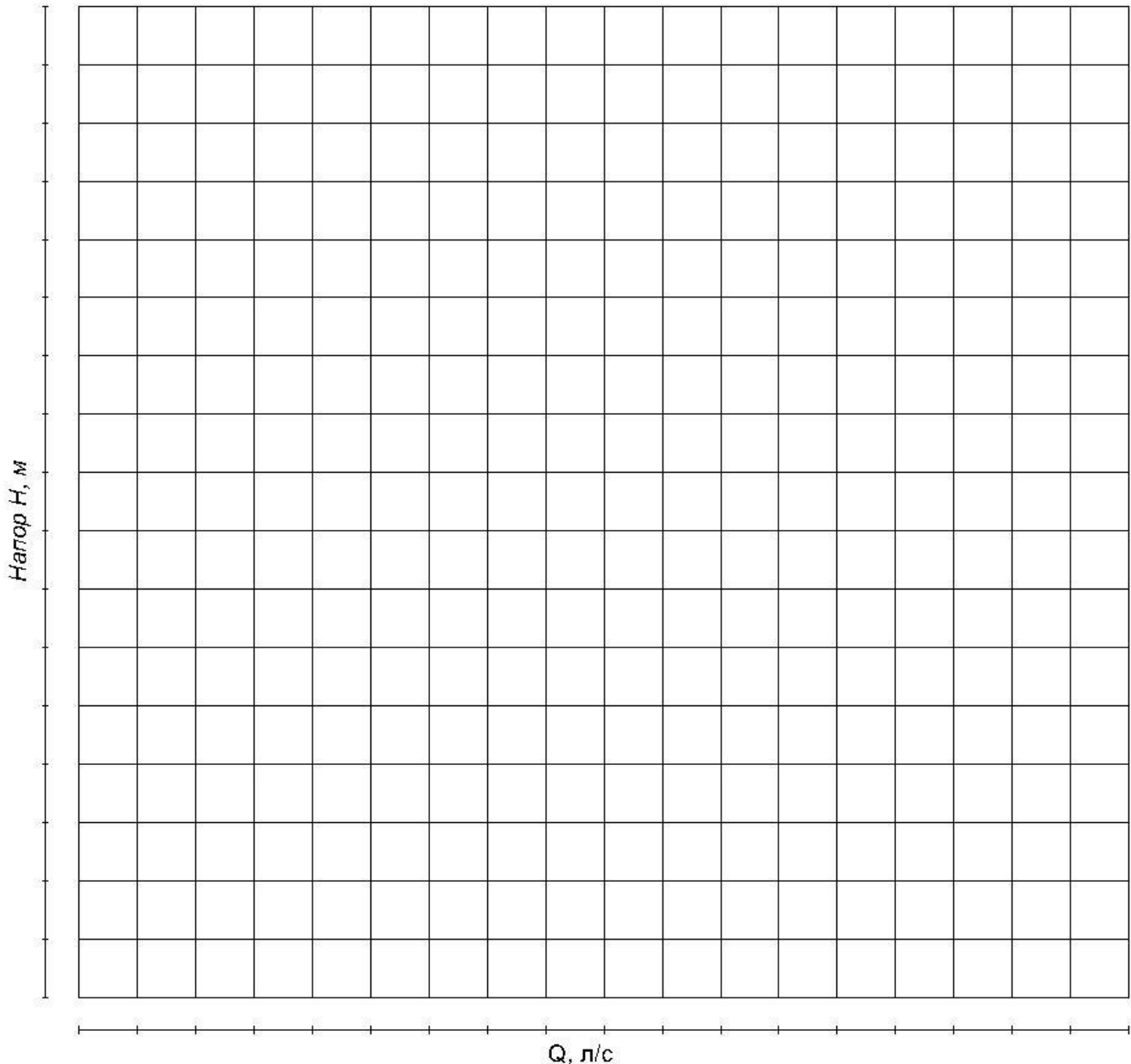
Расчет общей напорной характеристики двух последовательно работающих насосов по данным измерений

№№ п/п	Наименование величин	Ед. измер.	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Общая подача насоса Q_{1+2}	л/с								
2	Показания манометра $P_{мз}$	атм								
		м								
3	Показания манометра P_v	атм								
		м								
4	Напор насоса $H_{1,2}$	м								

5.8. Экспериментальные напорные характеристики:

– Отдельно работающих насосов №1 и №2: $H_1 = f(Q_1)$, $H_2 = f(Q_2)$ и при параллельной и последовательной их работы: $H_{1,2} = f(Q_{1+2})$, $H_{1+2} = f(Q_{1,2})$.

– Теоретические напорные характеристики при параллельной и последовательной работе двух насосов №1 и №2 /на основании имеющихся характеристик отдельно работающих насосов №1 и №2/: $H_{1,2} = f(Q_{1+2})$, $H_{1+2} = f(Q_{1,2})$.



5.9. Выводы

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Работа выполнена

Подпись преподавателя

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Кавитационные испытания центробежного насоса

6.1. Цель работы:

1. Снять экспериментальную срывную кавитационную характеристику центробежного насоса $H=f(\Delta h)$.
2. Построить кавитационные характеристики насоса $(H-\Delta h)$,
3. Определить величину критического кавитационного запаса $\Delta h_{кр}$.
4. Определить значения допустимых кавитационного запаса $\Delta h_{доп}$ и вакуумметрической высоты всасывания $H_{вак}^{доп}$.

6.2. Основные сведения о стенде для кавитационных испытаний центробежного насоса

1. Схема стенда приведена на рис.1;
2. Паспортные данные насоса:
Марка _____, $n =$ _____ об/мин, $Q =$ _____ л/с,
 $H =$ _____ м, $N =$ _____ кВт, $\eta_{max} =$ _____ %,
 $d_в =$ _____ мм, $d_н =$ _____ мм;
3. Паспортные данные электродвигателя:
Марка _____, $n =$ _____ об/мин;
4. Расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до точки присоединения подводящей трубки и всасывающему трубопроводу $y_в =$ _____ м (см. рис. 1);
5. Расстояние по вертикали между теми точками жидкости, где давление соответствует показаниям манометра и вакуумметра $Z_{изм} =$ _____ м;

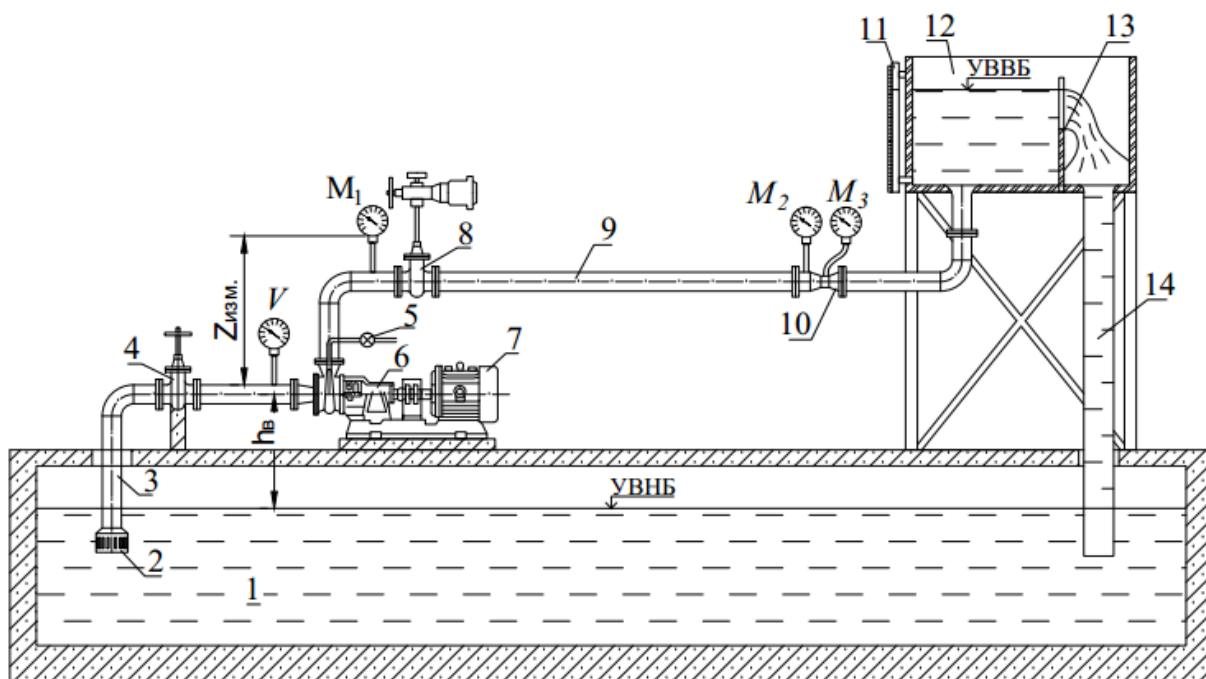


Рис.6.1. Схема стенда для кавитационных испытаний центробежного насосов:

- 1 – бассейн с водой; 2– заборное устройство; 3– всасывающий трубопровод;
 4– задвижка; 5– кран на отсасывающем трубопроводе вакуум–системы; 6– насос; 7–двигатель; 8– задвижка с электроприводом; 9– напорный трубопровод;
 10– сопло Вентури для измерения подачи насоса; 11 – пьезометрический стакан со шпитцен–масштабом; 12– напорный бак; 13–треугольный водослив;
 14– сбросной трубопровод

6.3. Основные определения и соотношения

1. Критическим кавитационным запасом $\Delta h_{кр}$ называется кавитационный запас Δh , при котором согласно ГОСТ происходит снижение напора H насоса на 2%. Определение величины $\Delta h_{кр}$ производится по экспериментальной графической зависимости $H = f(\Delta h)$ при $Q = const$.

$$\Delta h = (P_a - P_{п.ж.})/\rho g + V^2/2g - H_{вак}, \quad (6.1)$$

где P_a – атмосферное давление;

$$\frac{P_a}{\rho g} = P_{бар} \cdot \frac{10}{735} = \frac{10}{735} = \text{_____ м}$$

$$P_{бар} = \text{_____ мм рт. ст. ;}$$

$P_{п.ж.}$ – давление насыщенных паров жидкости, $P_{п.ж.}/\rho g = 0,2\text{м}$ при температуре воды $t = 20^\circ\text{C}$; $P_{п.ж.} = f(t)$; ρ – удельный вес жидкости; V – скорость воды во всасывающем трубопроводе перед насосом, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; $H_{\text{вак}}$ – вакуумметрическая высота всасывания, м.

$$H_{\text{вак}} = P_{\text{в}}/\rho g - y_{\text{в}} = P_{\text{в(атм)}} \cdot 10 - y_{\text{в}}.$$

2. Допустимый кавитационный запас насоса $\Delta h_{\text{доп}}$ подсчитывается по формуле:

$$\Delta h_{\text{доп}} = \alpha K_{\text{б}} K_{\text{ж}} \Delta h_{\text{кр}}, \quad (6.2)$$

где α – коэффициент, зависящий от величины $\Delta h_{\text{кр}}$ и принимаем по таблице 1, $\alpha = \text{_____}$; $K_{\text{б}}$ – коэффициент, зависящий от быстроходности насоса и принимаем по таблице 2, $K_{\text{б}} = \text{_____}$;

т.к. $n_s = 3,65 n \sqrt{Q}/H^{\frac{3}{4}} = \text{_____}$ об/мин;

$K_{\text{ж}}$ – коэффициент, зависящий от рода жидкости и принимаемый для воды $K_{\text{ж}} = 1$;

$\Delta h_{\text{кр}}$ – критический кавитационный запас (м), определяем по кривой зависимости $N = f(\Delta h)$ – за величину принимаем кавитационный запас Δh , соответствующий падению напора N на 2%.

Таблица 6.1

Зависимость величины α от $\Delta h_{\text{кр}}$

$\Delta h_{\text{кр}}$	0	2	4	6	7	8	10	12	14	16
α	1,6	1,37	1,2	1,13	1,1	1,09	1,08	1,07	1,06	1,06

Таблица 6.2

Зависимость величины $K_{\text{б}}$ от n_s

n_s	>170	170	100	65	50
$K_{\text{б}}$	1,1	1,094	1,052	1,014	1,0

3. Допустимую вакуумметрическую высоту всасывания подсчитывают по формуле:

$$H_{\text{Вак}}^{\text{доп}} = (P_{\text{a}} - P_{\text{п.ж.}})/\rho g + V_{\text{в}}^2/2g - \Delta h_{\text{доп}}. \quad (6.3)$$

6.4. Методика проведения испытания

[illegible]

Таблица 6.3

Результаты измерений параметров

№№ п/п	Наименование величин	Ед. измер.	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Расход Q	л/с								
2	Показания вакуумметра P_v	атм								
3	Показания манометра P_m	атм								
4	Частота вращения n	об/мин								

Таблица 6.4

Результаты расчета кавитационного запаса

№№ п/п	Наименование величин	Ед. измер.	№ опытов							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Показание вакуумметра $H_v = P_{v(атм)} \cdot 10$	м								
2	Показания манометра $H_m = P_{m(атм)} \cdot 10$	м								
3	Скорость в напорном трубопроводе V_n	м/с								
4	Скорость в напорном трубопроводе $V_n^2/2g$	м								
5	Скорость во всасывающем трубопроводе V_s	м/с								
6	Скоростной напор во всасывающем трубопроводе $V_s^2/2g$	м								
7	Разность скоростных напоров $(V_n^2 - V_s^2)/2g$	м								
8	Напор насоса $H = H_v + H_m + Z_{изм}$ $+ (V_n^2 - V_s^2)/2g$	м								
9	Кавитационный запас $\Delta h = \frac{(P_a - P_{н.жс.})}{\rho g} +$ $V^2/2g - H_{вак}$	м								

$$H_{вак} = H_v - y_B$$

6.5. График зависимости $H = f(\Delta h)$

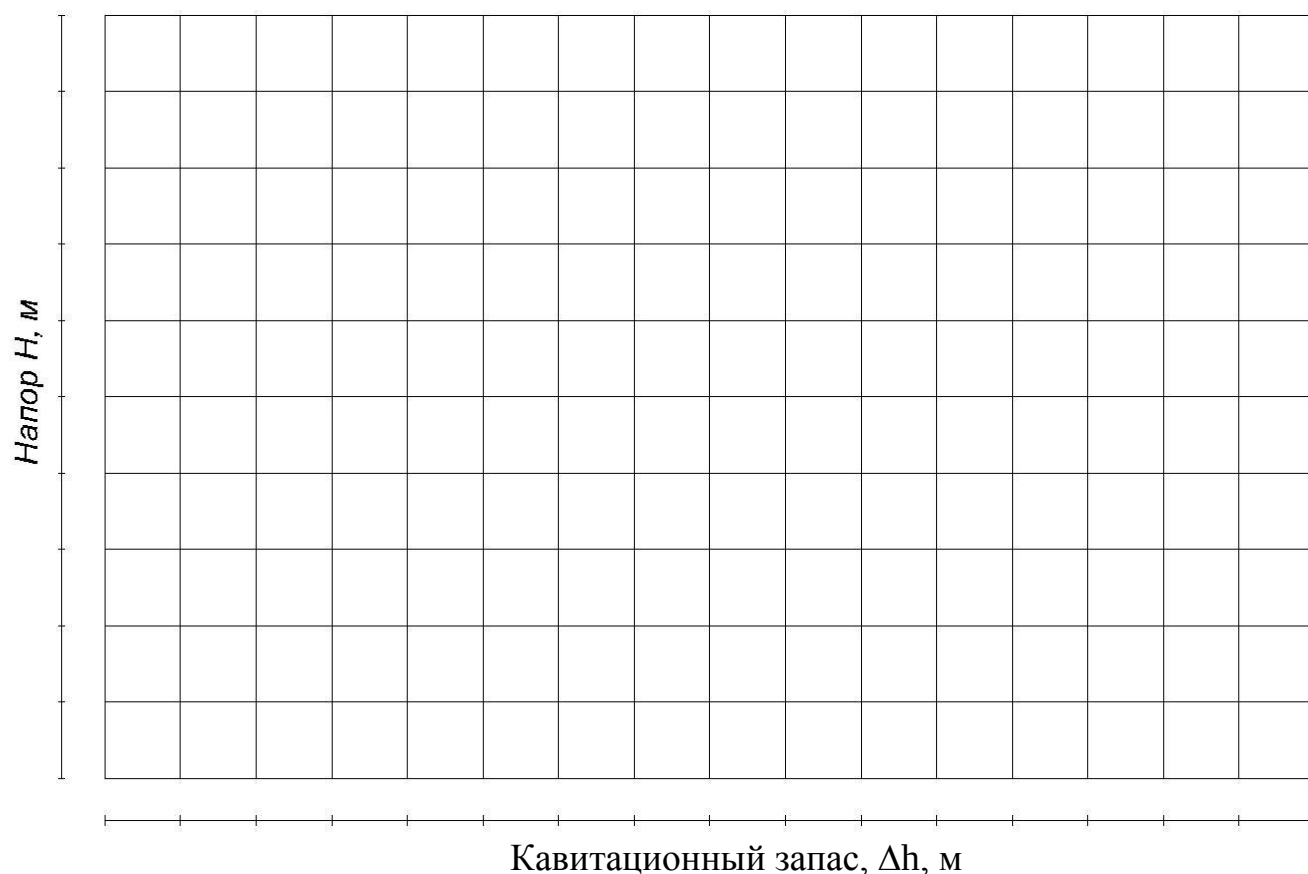


Рис.6.2. График зависимости $H = f(\Delta h)$

Таблица 6.5

Результаты расчетов допустимого кавитационного запаса $\Delta h_{\text{доп}}$ и вакуумметрической высоты всасывания $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$

№ п/п	Наименование величин	Ед. измер.	Значение величин
1	Критический кавитационный запас $h_{\text{кр}}$	м	
2	Допустимый кавитационный запас $\Delta h_{\text{доп}} = K \Delta h_{\text{кр}}, \quad K = \alpha K_{\sigma} K_{\text{жс}}$	м	
3	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = (P_a - P_{\text{н.жс.}}) / \rho g + V_6^2 / 2g - \Delta h_{\text{доп}}$	м	

6.5. Выводы

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Работа выполнена

« _____ » 20 ____ г.

Подпись преподавателя

Рабочая тетрадь

Али Мунзер Сулейман
Померанцев Олег Николаевич
Бегляров Давид Суранович
Сушко Варвара Владимировна

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ

Рабочая тетрадь

Издается в авторской редакции

Корректурa автора

Отпечатано с оригинала,
предоставленного автором

ФГБНУ «Росинформагротех»
141261, ул.Лесная, д.60, пос. Правдинский,
Пушкинский р-н Московской области
Тел.: (495) 993-44-04, (495) 993-55-83, (495) 993-42,92