

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ИСПЫТАНИЮ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Для студентов специальностей 26.01, 26.02, 26.03

Государственный комитет СССР по народному образованию
Московский лесотехнический институт

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ по испытанию
центробежного насоса.
Для студентов специальностей 26.01, 26.02, 26.03

Москва - 1990

Одобрено и рекомендовано к изданию в качестве методических
указаний редакционно-издательским советом института

Кафедра процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств

Составители: доц., к.т.н. Афанасьев Г.Н.,
доц., к.т.н. Булгаков В.И.,
доц., к.т.н. Тараканов Г.И.,
доц., к.т.н. Савицкий А.С.

Под общей редакцией профессора, д.т.н. Обливина А.Н.

Рецензент - доц., к.т.н. Левин А.Б.

Редактор РИО Бланк М.Г.

По тематическому плану внутривузовских изданий методической
литературы на 1989 г., поз. I30

Подписано к печати 25.01.90 Тираж 1000 экз.
Объем 0,75 уч.-изд.л., 1,0 п.л. Бесплатно Заказ № 97

Типография Московского лесотехнического института

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие методические указания к лабораторным работам по испытанию центробежного насоса и исследованию совместной работы насосов предназначены для студентов МЛТИ, изучающих курсы "Гидравлика, гидромашины и гидропривод", "Процессы и аппараты химической технологии" (специальности 26.01, 26.02, 26.03).

Лабораторные работы выполняются на гидравлическом стенде, разработанном авторами настоящих методических указаний. На этом стенде обеспечивается выполнение следующих лабораторных работ:

- определение давления в покоящейся жидкости;
- испытание центробежного насоса;
- исследование совместной работы двух центробежных насосов;

- градуировка малогабаритных датчиков давления.

Перед началом выполнения лабораторных работ студент обязан ознакомиться с описанием гидростенда и изучить порядок выполнения конкретной лабораторной работы. Студент приступает к выполнению лабораторной работы после представления преподавателю предварительно оформленного бланка для проведения лабораторной работы и ответов преподавателю на ряд контрольных вопросов о цели и порядке выполнения лабораторной работы.

Для получения зачета по лабораторной работе студент должен: 1) представить полностью оформленный бланк лабораторной работы с необходимым экспериментальным, расчетным и графическим материалом; 2) правильно ответить на контрольные вопросы; 3) решить предложенную преподавателем задачу по гидродинамике или насосам.

Все записи в бланке необходимо выполнять чернилами, а графические построения производить на миллиметровой бумаге с обозначением осей координат и масштабом.

В конце методических указаний приводится перечень контрольных вопросов, на которые студенту необходимо подготовить ответы для защиты отчета по проделанной лабораторной работе.

I. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд (рис. I) состоит из двух гидростатических колонн, водооборотного бака, двух центробежных насосов НЦ-5/17, соединительных трубопроводов с запорной арматурой, системы измерения. Для испытания центробежного насоса используют два центробежных насоса З, 15, всасывающие и напорные трубопроводы, пробковые краны 1, 4, 5, 6, 8, 9, II, 12, 13, 14, 17, центральный вентиль 10, расходомеры 18 с датчиками давления 19, манометры 20, 21. Для измерения потребляемой насосами мощности используется измерительный комплект К-50.

Электронасос НЦ-5/17 состоит из асинхронного электродвигателя, на валу которого закреплено рабочее колесо, корпуса насоса, который при помощи шпилек крепится к электродвигателю, уплотнений для предотвращения утечек жидкости, всасывающего и нагнетательного патрубков.

Рабочая характеристика центробежного насоса НЦ-5/17 представлена на рис.2.

Для измерения подачи насоса применяется диафрагмовый расходомер 18 и малогабаритный датчик давления МДДФ 19, показания которого после предварительной градуировки дают возможность определить подачу насоса. Датчик давления МДДФ (рис.3) состоит из корпуса 1, мембранны 3, образующей герметичные полости 2, 4, переменного сопротивления 6, у которого подвижный контакт 5 соединен с мембраной. Датчик через переключатель 7 присоединен к источнику постоянного тока 9 (напряжением 10 В) и к вольтметру 8. Герметичная полость 2 датчика МДДФ через штуцер сообщается с полостью перед расходной шайбой, полость 4 - с полостью после расходной шайбы. Если в полостях 2 и 4 датчика МДДФ установится различное давление, то мембра 3 прогнется, подвижный контакт 5 переместится по сопротивлению, и напряжение на выходе датчика изменится. Для расчета подачи Q насоса по выходному напряжению U датчика необходимо предварительно провести работу по градуировке датчика или воспользоваться зависимостью

$$Q = 3.28 \cdot 10^{-4} (U - 5,21)^{0,39}$$

Для измерения давления во всасывающем и нагнетательном трубопроводах служат манометры 20 и 21.

Для измерения потребляемой электродвигателем насоса мощности применяется измерительный комплект К-50, с помощью которого по показаниям входящих в него приборов (амперметра, вольтметра, ваттметра) можно определить потребляемую электродвигателем мощность на перекачивание жидкости при заданном напоре.

2. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПОДАЧИ НАСОСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ДАТЧИКОМ ДАВЛЕНИЯ МДДФ

1. Установить переключатель 7 в положение „0“ (ноль).
2. Включить источник постоянного тока 8; установить в нем напряжение 10 В и ток 0,1 А.
3. Включить вольтметр 9; нажать на нем кнопку „10 В“ и кнопку "Внутр. синхр."

На табло вольтметра должно засветиться "+10.00".

4. Для измерения подачи насоса установить переключатель 7 в положение „9“. В положении „9“ переключатель 7 подключает датчик для измерения подачи.

5. После проведения измерений установить переключатель 7 в положение „0“ и выключить все приборы.

3. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Все насосные установки для перемещения жидкостей характеризуются основными рабочими параметрами, к которым относятся подача, напор, полезная мощность, потребляемая мощность, коэффициенты полезного действия насоса и насосной установки, частота вращения рабочего колеса насоса.

Подача Q насоса - это объем жидкости, проходящей через напорный патрубок насоса в единицу времени.

Напор H (или давление P) - это энергия, сообщаемая насосом одному килограмму веса (или одному кубическому метру) перекачиваемой жидкости. Напор H выражают в метрах перекачиваемой жидкости, давление P выражают в Па.

В работающем насосе H или P определяют как сумму показаний вакуумметра на всасывающем и манометра на нагнетательном патрубках с учетом расстояния h по вертикали между точками присоединения манометра и вакуумметра и с учетом скорости движения жидкости во всасывающем и нагнетательном пат-

рубках

$$H = \left(\frac{P_{\text{вак}} + P_M}{\rho g} \right) + h + \left(\frac{U_{\text{нас}}^2 - U_{\text{бс}}^2}{2g} \right);$$

$$\cdot P = (P_{\text{вак}} + P_M) + \rho gh + \frac{\rho}{2} (U_{\text{нас}}^2 - U_{\text{бс}}^2).$$

Полезная мощность $N_{\text{плз}}$ - это энергия, сообщаемая жидкости в насосе за единицу времени, может быть рассмотрена как полезная работа в единицу времени, которую производит насос:

$$N_{\text{плз}} = \rho g H Q = PQ$$

Потребляемая мощность $N_{\text{эл}}$ - это мощность, потребляемая электродвигателем.

Мощность на валу рабочего колеса насоса N_b - это мощность, подводимая к насосу от электродвигателя. Так как на данном стенде установлен электронасос, состоящий из электродвигателя, на валу которого закреплено рабочее колесо, то $N_b = N_{\text{эл}}$.

В общем случае

$$N_b = N_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{эл}},$$

где $\eta_{\text{пер}}$ - коэффициент полезного действия передачи мощности от вала электродвигателя к валу насоса;

$\eta_{\text{эл}}$ - КПД электродвигателя.

При выполнении лабораторной работы необходимо измерять $N_{\text{эл}}$. Коэффициент полезного действия насоса η - это отношение энергии жидкости, покидающей насос, к энергии, подводимой к насосу (на валу рабочего колеса). КПД насоса характеризует совершенство конструкции и экономичность эксплуатации насоса.

$$\eta = \frac{N_{\text{плз}}}{N_b}$$

Коэффициент полезного действия насосной установки $\eta_{\text{уст}}$ - это отношение энергии жидкости, покидающей насос, к энергии, потребляемой двигателем

$$\eta_{\text{уст}} = \frac{N_{\text{плз}}}{N_{\text{эл}}} = \eta \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{эл}}.$$

На данном стенде $\eta_{\text{пер}} = 1$ и $\eta_{\text{уст}} = \eta_{\text{эл}} \cdot \eta$.

Перечисленные параметры, а именно $\eta, Q, P, N_{\text{эл}}, N_{\text{плз}}$ определяются или рассчитываются при испытаниях насосов, чтобы по полученным значениям параметров построить рабочие характеристики насосов, т.е. графики зависимостей

$$P = f(Q); N = f(Q); \eta = f(Q).$$

Примерный вид характеристик показан на рис.3.

4. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ НАСОСА

Для построения рабочих характеристик насоса НЦ-5/17 необходимо определять подачу Q , давление P , КПД η .

Подача Q измеряется с помощью дроссельной шайбы и датчика давления МДДФ в виде показания вольтметра U . Затем подача рассчитывается по формуле

$$Q = 3,28 \cdot 10^{-4} (U - 5,21)^{0,39}$$

Напор H рассчитывается по показаниям вакуумметра и манометра (разностью высот присоединения манометра и вакуумметра h можно пренебречь)

$$H = \left(\frac{P_{\text{вак}} + P_m}{\rho g} \right) + \frac{(V_{\text{наг}}^2 - V_{\text{вс}}^2)}{2g},$$

где ρ — плотность жидкости;

$V_{\text{наг}}$, $V_{\text{вс}}$ — скорость жидкости в нагнетательном и всасывающем патрубках соответственно.

Эти скорости вычисляются по формулам

$$V_{\text{наг}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{наг}}^2}; \quad V_{\text{вс}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{вс}}^2}$$

Здесь $d_{\text{наг}} = 20$ мм; $d_{\text{вс}} = 32$ мм.

Мощность, потребляемая электродвигателем $N_{\text{эл}}$, определяется по показанию ваттметра измерительного комплекта К-50. Полезная мощность насоса $N_{\text{плзН}}$, подводимая мощность к насосу

N_b рассчитываются по формулам

$$N_{\text{плзН}} = \rho g H Q;$$

$$N_b = N_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{эл}};$$

$$\eta = \frac{N_{\text{плзН}}}{N_b} = \frac{\rho g H Q}{N_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{эл}}}.$$

КПД электродвигателя $\eta_{\text{эл}}$ определяется по паспортным данным или из таблицы, закрепленной на самом электродвигателе.

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ИСПЫТАНИЮ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Цель работы

1. Изучить работу гидравлического стенда.
2. Изучить работу центробежного насоса.
3. Экспериментально определить параметры, необходимые для построения рабочих характеристик насоса.
4. Построить рабочие характеристики насоса НЦ-5/17.

Порядок проведения лабораторной работы

1. Подготовить гидравлическую схему стенда (рис. 1) для движения жидкости по замкнутому контуру: водооборотный бак 7, насос 3, диафрагмовый расходомер 18, нагруженный вентиль 10, водооборотный бак 7. Для этого закрыть краны I, 4, 6, 8, II, 12, 13, 14, 17 и открыть краны 5, 9.
2. Включить систему измерения подачи насоса (см. раздел 2).
3. Проверить присоединение измерительного комплекта К-50 к электродвигателю насоса.
4. Включить насос и приступить к измерениям параметров $P_{ак}$, P_m , $N_{эл}$, U .

Первый отсчет приборов целесообразно провести при полностью закрытом вентиле 10, второй отсчет - при полностью открытом вентиле 10, т.е. при максимальной подаче. Последующие - при постепенном закрытии вентиля 10, т.е. при уменьшении подачи. Сделать не менее 5 замеров до полного закрытия вентиля 10.

Показания приборов занести в таблицу (форма 1).

Обработка опытных данных

Обработка опытных данных заключается в расчете Q , P , N , η и построении рабочих характеристик насоса $H=f(Q)$; $N=f(Q)$; $\eta=f(Q)$. Обработка результатов экспериментов проводится в той последовательности, которая представлена в таблице (форма 2), помещенной в бланке.

1. Подача насоса

2. Скорость в нагнетательном патрубке

$$U_{нас} = \frac{Q^4}{\pi d_{нас}^2}$$

3. Скорость во всасывающем патрубке

$$U_{вс} = \frac{4Q}{\pi d_{вс}^2}$$

4. Скоростной напор в нагнетательном трубопроводе

$$H_{нас} = \frac{U_{нас}^2}{2g} = \frac{16 Q^2}{\pi^2 d_{нас}^4 \cdot 2g}$$

5. Скоростной напор во всасывающем трубопроводе

$$H_{вс} = \frac{U_{вс}^2}{2g} = \frac{16 Q^2}{\pi^2 d_{вс}^4 \cdot 2g}$$

6. Вакуумметрическая высота всасывания

$$H_{\text{нак}} = \frac{P_{\text{вак}}}{\rho g}$$

7. Манометрическая высота нагнетания

$$H_M = \frac{P_M}{\rho g}$$

8. Полный напор насоса

$$H = (H_{\text{нак}} + H_M) + (H_{\text{наг}} - H_{\text{вс}})$$

9. Мощность на валу насоса

$$N_B = N_{\text{эл}} \eta_{\text{эл}}$$

10. Полезная мощность насоса

$$N_{\text{плзн}} = \rho g HQ$$

$$\text{II. КПД насоса } \eta = \frac{N_{\text{плзн}}}{N_B}$$

По полученным данным на миллиметровой бумаге построить основные рабочие характеристики насоса

$$H = f(Q); N = f(Q); \eta = f(Q).$$

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое подача насоса?

2. Единицы измерения подачи в системе СИ?

3. Что такое напор насоса?

4. Связь между напором и давлением.

5. Что такое полезная мощность насоса?

6. Что такое КПД насоса?

7. Что такое КПД насосной установки?

8. Каким образом измеряют подачу на данном гидравлическом стенде?

9. Каким образом изменяют подачу насоса на данном гидравлическом стенде?

10. Какие Вы знаете способы и приборы для измерения подачи?

11. Каким образом рассчитывают напор насоса и какие изменения для этого необходимо сделать?

12. Каким образом измерить потребляемую мощность насосной установки?

13. С помощью рабочих характеристик определить оптимальный режим работы исследованного центробежного насоса.

14. Как изменится подача насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса?

15. Как изменится напор насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса?

16. Как изменится потребляемая насосом мощность при изменении частоты вращения рабочего колеса?

17. От чего зависит КПД насоса?

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ДВУХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Цель работы

I. Целью проведения лабораторной работы является построение по экспериментальным данным рабочей характеристики $H=f(Q)$ для двух совместно последовательно работающих насосов и сравнение экспериментально полученной характеристики с теоретической рабочей характеристикой двух совместно последовательно работающих насосов.

Последовательное соединение насосов применяется в тех случаях, когда один насос не может создать требуемый напор. При этом подача насосов одинакова, а общий напор равен сумме напоров обоих насосов, взятых при одной и той же подаче. Следовательно, суммарная характеристика насосов $I + P$ (рис.4) получается сложением ординат напорных характеристик I и P обоих насосов.

Порядок проведения лабораторной работы

I. Подготовить гидравлическую схему стенда (рис. I) для движения жидкости по замкнутому контуру: водооборотный бак 7, насос 15, диафрагмовый расходомер 18, насос 3, диафрагмовый расходомер 18, нагрузочный вентиль 10, водооборотный бак 7. Для этого закрыть краны 1, 4, 5, 8, II, I2, I4, I7 и открыть краны I3, 6, 9. При этом жидкость из бака 7 всасывается насосом 15 и подается им на вход в насос 3. Нагрузкой в сети служит вентиль 10.

2. Включить систему измерения подачи насоса (см. раздел 2).

3. Включить насосы и приступить к измерениям параметров $P_{вак}, P_m, V$ для обоих насосов. Первый отсчет целесообразно провести при полностью закрытом вентиле 10, второй отсчет - при полностью открытом вентиле 10, т.е. при максимуме

мальной подаче. Последующие - при постепенном закрытии вентиля I0, т.е. при уменьшении подачи. Сделать не менее 5 замеров до полного закрытия вентиля I0.

Показания приборов занести в таблицу (форма 3).

Обработка опытных данных

Обработка результатов эксперимента проводится в той последовательности, которая представлена в таблице (форма 3), помещенной в бланке.

I. Подача насоса

2. Скоростной напор в нагнетательном патрубке

$$H_{наг} = \frac{V_{наг}^2}{2g} = \frac{16 Q^2}{\pi^2 d_{наг}^4 \cdot 2g} = \frac{0,0827 Q^2}{d_{наг}^4}$$

3. Скоростной напор во всасывающем трубопроводе

$$H_{вс} = \frac{V_{вс}^2}{2g} = \frac{16 Q^2}{\pi^2 d_{вс}^4 \cdot 2g} = \frac{0,0827 Q^2}{d_{вс}^4}$$

4. Вакуумметрическая высота всасывания

$$H_{вак} = \frac{P_{вак}}{\rho g}$$

5. Манометрическая высота нагнетания

$$H_m = \frac{P_m}{\rho g}$$

6. Полный напор насоса

$$H^3 = (H_{вак} + H_m) + (H_{наг} - H_{вс})$$

7. Полный напор двух насосов

$$H_{\Sigma}^3 = H_I^3 + H_{II}^3$$

По полученным экспериментальным данным построить рабочие характеристики каждого насоса $H_{I,II}^3 = f(Q)$ и рабочую характеристику двух совместно последовательно работающих насосов

$$H_{\Sigma}^3 = f(Q)$$

На этом же графике построить теоретическую рабочую характеристику двух совместно последовательно работающих насосов

$$H_{\Sigma}^{теор} = f(Q)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Гидравлическая схема стенда для проведения исследования работы двух совместно последовательно работающих насосов.
2. Как строится суммарная напорная характеристика $H_{\Sigma} = f(Q)$ двух насосов, соединенных последовательно?
- Чему равна подача каждого насоса, соединенного последовательно?

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Предисловие | 3 |
| 1. Описание лабораторного стенда | 4 |
| 2. Методика измерения подачи насоса электрическим датчиком давления МДДФ | 5 |
| 3. Общие понятия и характеристики центробежного насоса | 5 |
| 4. Методика определения рабочих параметров насоса. . . | 7 |
| 5. Лабораторная работа по испытанию центробежного насоса | 7 |
| Цель работы | 7 |
| Порядок проведения лабораторной работы. | 8 |
| Обработка опытных данных | 8 |
| Вопросы для самоконтроля | 9 |
| 6. Лабораторная работа по исследованию совместной работы двух центробежных насосов | 10 |
| Цель работы | 10 |
| Порядок проведения лабораторной работы | 10 |
| Обработка опытных данных | 11 |
| Вопросы для самоконтроля | 12 |

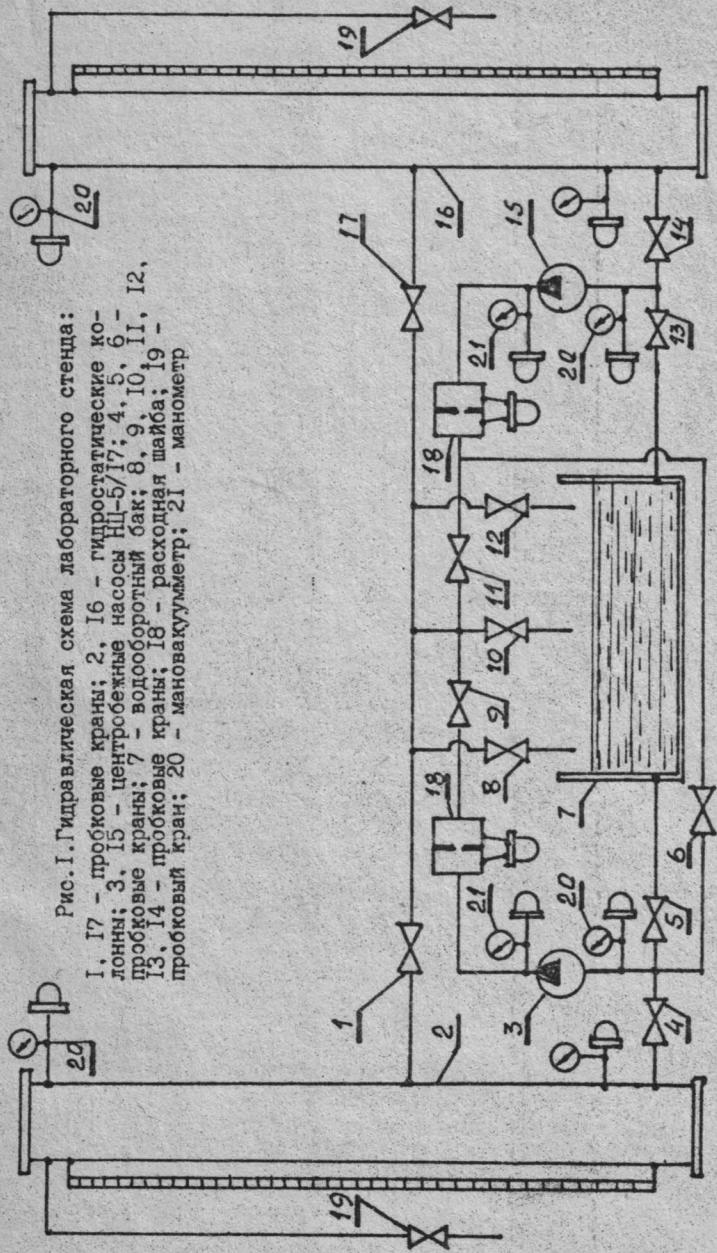


Рис. I. Гидравлическая схема лабораторного стендa:

1, 17 - пробковые краны; 2, 16 - гидростатические колонны; 3, 15 - центробежные насосы Ц-5/17; 4, 5, 6 - пробковые краны; 7 - водообратный бак; 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 - пробковые краны; 18 - расходная шайба; 19 - пробковый кран; 20 - мановакумометр; 21 - манометр

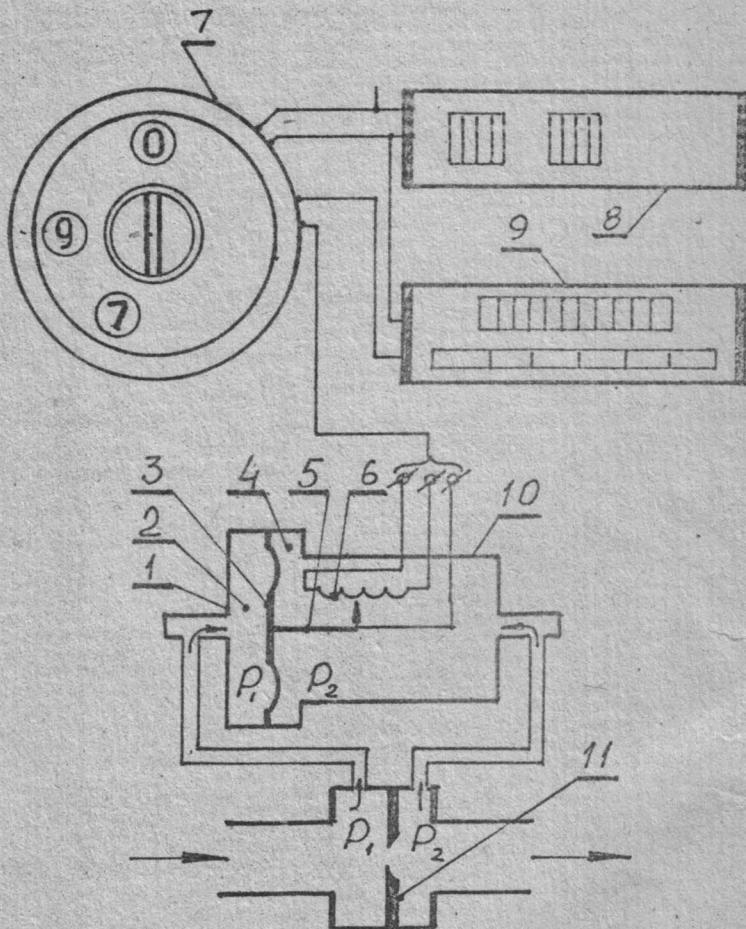


Рис.2.Принципиальная схема датчика МДДО и схема его подключения:

1 - корпус датчика; 2, 4 - полости датчика; 3 - мембрана; 5 - подвижный контакт; 6 - переменное сопротивление; 7 - переключатель; 8 - вольтметр; 9 - источник постоянного тока; 10 - дифференциальный датчик давления; 11 - дроссельная шайба

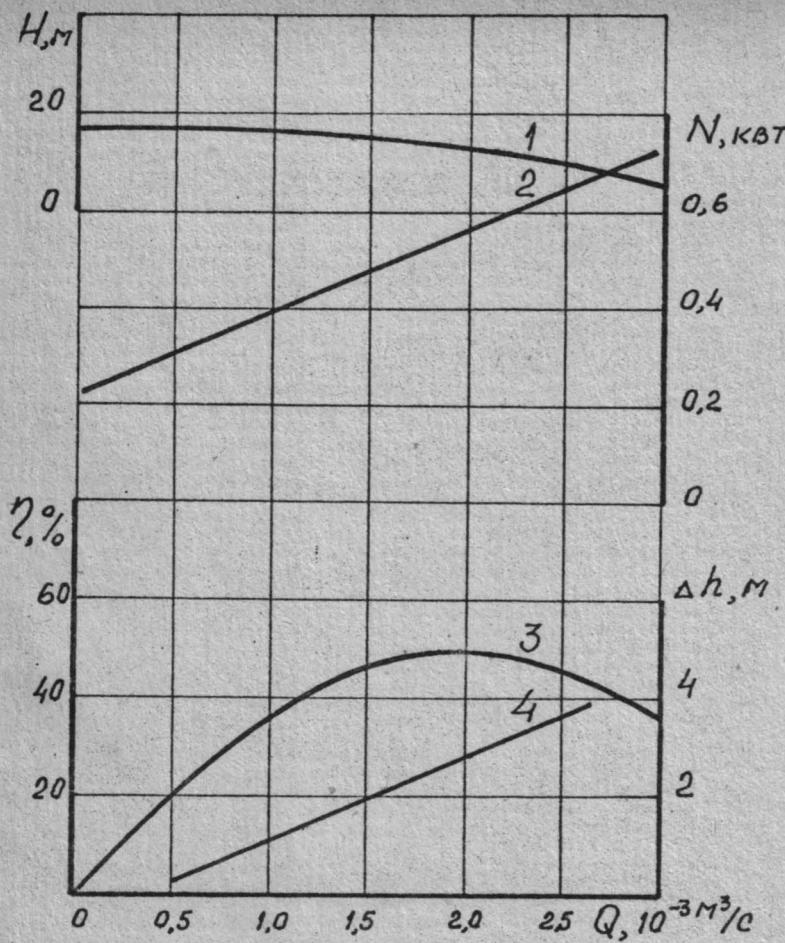


Рис.3.Основные рабочие характеристики центробежного насоса НЦ-5/17:

1 - $H=f(Q)$; 2 - $N=f(Q)$; 3 - $\eta=f(Q)$;

4 - $h_{\text{леск}}=f(Q)$

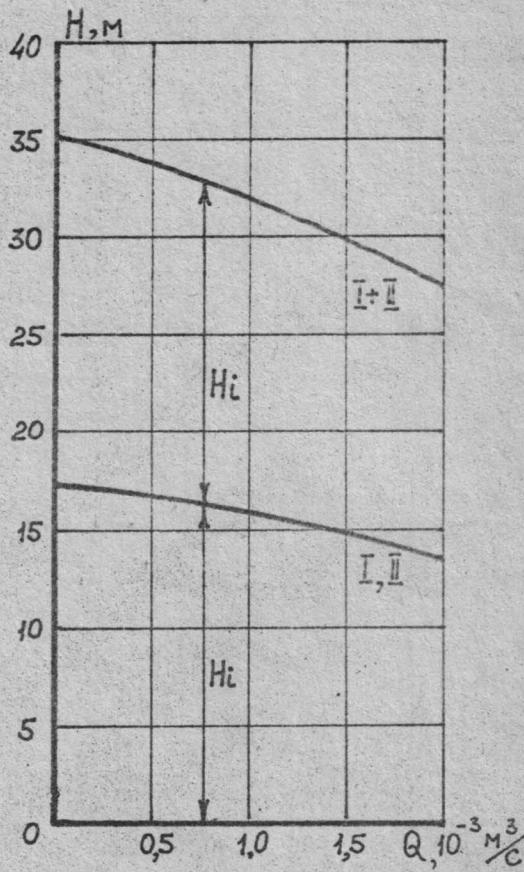


Рис.4. Суммарная паспортная напорная характеристика насосов НЦ-5/17 при последовательном их соединении