

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

**Кафедра автоматизации технологических
процессов и производств**

ГИДРАВЛИКА, ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОД

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов бакалавриата направления 23.03.03*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

УДК 665.6.65 (073)

ГИДРАВЛИКА, ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОД: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Д.В. Горленков, Н.А. Романова, Я.В.Кускова*. СПб, 2020. 24 с.

Приведены методические указания для проведения лабораторных работ по курсу «Гидравлика, гидро- и пневмопривод».

Предназначены для студентов бакалавриата направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство».

Научный редактор *В.Ю. Бажин*

Рецензент *В.С. Леонтьев*

I

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Методика выполнения лабораторных работ в виртуальной лаборатории	5
Работа 1. Параметрические испытания центробежного насоса.....	6
Работа 2. Кавитационные испытания центробежного насоса.....	14
Основные контрольные вопросы	21
Приложение	22
Библиографический список.....	23

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерная версия лаборатории гидромеханики, гидравлических машин и гидроприводов:

Эксперимент является неотъемлемой частью гидравлических исследований. Особенно большое значение эксперимент приобретает при рассмотрении задач, связанных с таким движением жидкости, которое не поддается теоретической схематизации. Например, для потоков в некоторых местных сопротивлениях и в каналах гидравлических машин.

При изучении таких курсов как «Гидравлические и пневматические системы транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования», «Гидравлика, гидро- и пневмопривод», весьма важно ознакомить студентов на практике (в лабораториях) с методикой экспериментальных гидравлических исследований напорных трубопроводов и гидротехнических сооружений, конструкциями насосов, гидроприводов и методами их испытаний. Для этой цели в основном и предназначен предполагаемый лабораторный практикум.

Выполнение описанных в практикуме лабораторных работ по «Гидравлические и пневматические системы транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования», позволяет студентам глубже понять физическую сущность основных законов гидромеханики, получить реальное представление о возможностях гидромашин и гидроприводов для механизации и автоматизации производственных процессов и технологий в области избранной ими специальности, а также разобраться в принципах работы гидромашин и гидроприводов и освоить методы их испытаний в соответствии с требованиями государственных стандартов.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Методика отработки лабораторной работы с применением компьютерной версии лаборатории сводится к следующему:

- В соответствии с выполняемой работой в разделах 1 или 2 настоящего руководства выбирается описание работы

- Выполняется изучение теоретических основ выбранной работы, ознакомление с описанием и принципом действия лабораторной установки или стенда, целью и порядком выполнения экспериментов, формой таблицы для записи и обработки получаемых данных, основными расчетными формулами и контрольными вопросами.

- Выполняется подготовка протокола выполняемой работы по следующей форме:

1. Номер и название лабораторной работы. Фамилия, И. О. и № группы исполнителя

2. Теоретическая часть.

3. Схема экспериментальной установки и ее состав.

4. Цель и порядок выполнения работы (заполняется после проведения экспериментов на установке или стенде).

5. Результаты измерений и вычислений. Форма таблицы принимается в соответствии с формой, приведенной в руководстве по выполняемой работе.

6. Основные расчетные формулы. Приводятся формулы необходимые для расчета таблицы.

7. Вкладыш из миллиметровой бумаги для графического представления результатов работы.

8. Вывод по работе. Заполняется после полного завершения и обработки работы и представляет самостоятельную оценку и анализ проведенного исследования.

РАБОТА 1. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Параметрические испытания проводятся с целью определения технических показателей (параметров) и характеристик насосов.

Работа насоса характеризуется следующими основными техническими показателями: подачей, напором, мощностью, коэффициентом полезного действия, частотой вращения и допускаемым кавитационным запасом.

1. Подача насоса Q - объем жидкости, перекачиваемый насосом в единицу времени ($\text{м}^3/\text{с}$, л/с, $\text{м}^3/\text{ч}$).

Массовая подача насоса G - масса жидкости, перекачиваемая насосом в единицу времени (кг/с, кг/ч). Массовая подача связана с объемной зависимостью $G = \rho Q$.

Идеальная (теоретическая) подача насоса Q_T - сумма подачи насоса Q и объемных потерь ΔQ

$$Q_T = Q + \Delta Q \quad (1)$$

Объемные потери возникают в результате перетекания (утечек) жидкости под действием перепада давления из напорной полости во всасывающую и изменяются при прочих равных условиях практически прямо пропорционально перепаду давления, т. е. $\Delta Q = ap$.

Подача насоса зависит от геометрических размеров насоса, скорости движения рабочих органов и гидравлического сопротивления сети, на которую работает насос.

2. Напор насоса H - приращение полной удельной энергии жидкости, проходящей через насос (м). Для работающего насоса напор можно определить по показаниям манометра и вакуумметра

$$H = \frac{p_M \pm p_B^*}{\rho g} + Z_M + \frac{V_M^2 - V_B^2}{2g}, \quad (2)$$

где p_m , p_v - показания манометра и вакуумметра, расположенных соответственно на напорном и всасывающем патрубках насоса, Па; z_m - превышение оси вращения стрелки манометра над точкой подключения вакуумметра, м;

v , v_v - средние скорости движения жидкости в напорном и всасывающем трубопроводах, м/с.

3. Мощность насоса N - мощность, потребляемая насосом.

где M , ω - крутящий момент на валу и угловая скорость вала насоса.

$$N = M \cdot \omega, \quad (3)$$

Полезная мощность N_n - мощность, сообщаемая насосом перекачиваемой жидкости и определяемая зависимостью

Мощность насоса больше полезной мощности на величину потерь энергии.

$$N_n = pQ = \rho gHQ. \quad (4)$$

4. КПД насоса η - отношение полезной мощности и мощности насоса

$$\eta = \frac{N_n}{N}. \quad (5)$$

КПД насоса учитывает все виды потерь энергии, связанные с передачей её перекачиваемой жидкости. Потери энергии в насосе складываются из механических, гидравлических и объемных.

Механические потери- потери на трение в подшипниках, сальниках, поршня о стенки цилиндра и т. п.

* Знак «минус» перед p_v ставится в том случае, когда на входе в насос избыточное давление, т. е. насос работает в подпоре.

Гидравлические потери- потери, связанные с преодолением гидравлических сопротивлений в рабочих органах насоса.

Объемные потери - потери, обусловленные утечкой жидкости из напорной полости насоса во всасывающую через зазоры. В связи с этим следует различать механический, гидравлический и объемный КПД.

$$\eta_M = \frac{N - \Delta N_M}{N} = \frac{N_T}{N}, \quad (6)$$

Механический КПД насоса η_M - величина, выражающая относительную долю механических потерь энергии в насосе, где ΔN_M - мощность механических потерь; N_T - мощность насоса за вычетом мощности механических потерь (теоретическая мощность).

Гидравлический КПД насоса η_G - отношение полезной мощности насоса к сумме полезной мощности и мощности, затраченной на преодоление гидравлических сопротивлений в насосе

$$\eta_G = \frac{N_n}{N_n + \Delta N_G} = \frac{pQ}{pQ + \Delta p_G Q} = \frac{p}{p + \Delta p_G} = \frac{H}{H + \Delta H_G}, \quad (7)$$

где ΔN_G - мощность, затраченная на преодоление гидравлических сопротивлений в насосе;

Δp_G , ΔH_G - потери давления или напора на преодоление гидравлических сопротивлений в рабочих органах насоса.

Объемный КПД насоса η_0 - отношение полезной мощности насоса к сумме полезной мощности и мощности, потерянной с утечками

$$\eta_0 = \frac{N_n}{N_n + \Delta N_y} = \frac{pQ}{pQ + p\Delta Q} = \frac{Q}{Q + \Delta Q} = \frac{Q}{Q_T}, \quad (8)$$

где ΔN_y - мощность, потерянная с утечками.

Связь КПД насоса с другими частными КПД можно представить в виде:

$$\eta = \frac{N_n}{N} = \frac{N_T N_{II}}{N \cdot N_T} = \eta_M \frac{pQ}{(p + \Delta p_G)(Q + \Delta Q)} = \eta_M \eta_G \eta_0. \quad (9)$$

5. Допускаемый кавитационный запас $\Delta h_{\text{доп}}$ - кавитационный запас, обеспечивающий работу насоса без изменения основных технических показателей (без кавитации).

Для правильной эксплуатации насосов и их подбора необходимо знать, как изменяются основные технические показатели насоса ($H, N, \eta, \Delta h_{\text{доп}}$) при изменении его подачи Q , т. е. знать его характеристику.

Характеристика центробежного насоса - графическая зависимость напора H , мощности N , КПД η и допускаемого кавитационного запаса $\Delta h_{\text{доп}}$ (или допускаемого вакуума $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$) от подачи Q при постоянных

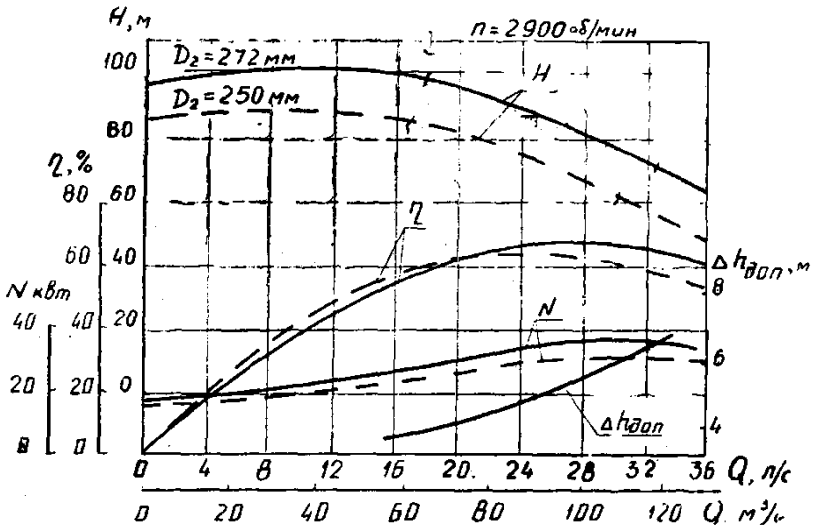


Рис. 1 Характеристика насоса К90/85 (4К-6).

значениях частоты вращения рабочего колеса, вязкости и плотности жидкости на входе в насос. Она включает три характеристики: напорную - $H=f(Q)$, энергетическую (две кривых) - $N=f(Q)$; $\eta=f(Q)$ и кавитационную - $\Delta h_{\text{доп}}=f(Q)$. Характеристики получают в результате параметрических испытаний насосов на заводах-изготовителях и помещают в каталогах. На рис. 1 приведены характеристики насоса К 90/85 (4К-6) при $n=2900$ об/мин для диаметра рабочего колеса $D_2=272$ мм и обточенного $D_2=250$ мм, для последнего кривые показаны пунктиром.

На напорных характеристиках волнистыми линиями показа-

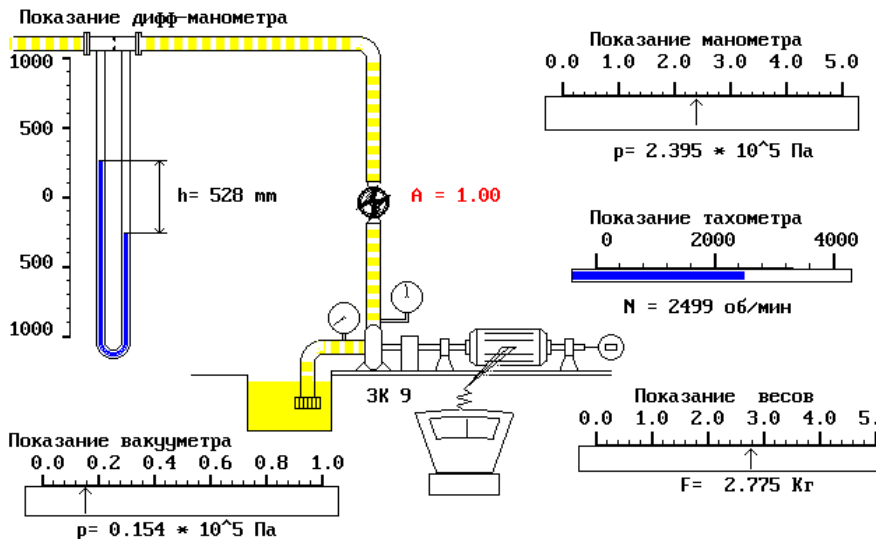
на рекомендуемая область применения насоса по подаче и напору (поле насоса $Q-H$), получаемая изменением частоты вращения или обточкой рабочего колеса по внешнему диаметру. В пределах поля насоса КПД имеет максимальное значение или меньше его не более чем на 10%.

Параметрические испытания насосов проводятся в соответствии с ГОСТ 6134—71 «Насосы динамические. Методы испытаний».

Цель работы: 1. Изучить работу насосной установки с центробежным насосом. 2. Освоить методику параметрических испытаний центробежного насоса. 3. Получить характеристику центробежного насоса.

Описание установки. Для испытания насосов используются установки с открытой или закрытой циркуляцией жидкости. На рис. 2 приведена лабораторная установка открытого типа. Она состоит из центробежного насоса 1 с электродвигателем 11, всасывающего трубопровода 3 с обратным клапаном 2, напорного трубопровода 7 с задвижкой 8, напорного резервуара 4 и контрольно-измерительной аппаратуры 5, 6 и 9-14.

Контрольно-измерительная аппаратура служит для замера подачи (диафрагма 5 и ртутный дифференциальный манометр 6), давления на выходе из насоса (манометр 10), вакуума на входе в насос (вакуумметр 9), крутящего момента на валу насоса (балансирный электродвигатель 11 с рычагом 14 и весами 13) и частоты вращения вала электродвигателя (тахометр 12).



Для установки другого режима нажмите клавишу R
Для окончания замеров нажмите клавишу Q

Рис. 2. Схема лабораторной установки.

Для заливки водой насоса и всасывающего трубопровода последний соединяется с вакуумным насосом, который создает необходимый вакуум во всасывающем трубопроводе 3 перед пуском насоса. Под разностью давлений на свободной поверхности воды в приемном резервуаре и во всасывающем трубопроводе 3 открывается клапан 2 и вода заполняет трубопровод и насос.

Порядок выполнения работы и обработка опытных данных:

1. При закрытой задвижке 8 залить водой всасывающий трубопровод 3 и насос 1, а затем включить насос.

2. При режиме работы насоса, когда ($Q=0$) снять показания дифференциального манометра 6, вакуумметра 9, манометра 10, весов 13 и тахометра 12.

3. Создать не менее восьми различных режимов работы насоса с помощью задвижки 8, обеспечивая различную подачу вплоть до Q_{\max} . При каждом режиме снимать показания приборов,

перечисленных в п. 2. Результаты замеров записать в табл. 1.

4. Вычислить параметры, необходимые для построения напорной и энергетической характеристик.

Подачу насоса Q - по формуле

$$Q_{on} = C\sqrt{h}, L^3/T, \quad (10)$$

где C - постоянная диафрагмы $L^{2.5}/T$;

h - перепад давлений по дифманометру 6, мм. рт. ст.

Напор насоса H_{on} - по формуле (5), в которой средние скорости движения жидкости в напорном и всасывающем трубопроводах равны:

$$V_n = \frac{4Q_{on}}{\pi d_n^2}; \quad V_g = \frac{4Q_{on}}{\pi d_g^2}. \quad (11)$$

Здесь Q_{on} - подача насоса, м³/с;

d_n, d_g - диаметры напорного и всасывающего трубопроводов, м.

Мощность насоса N_{on} - по формуле:

$$N_{on} = M\omega = (F - F_0)L \frac{\pi n_{on}}{30}, \text{ вт} \quad (12)$$

где M - крутящий момент на валу насоса, Н. м;

ω - угловая скорость вала насоса, рад/с;

F - показания весов, н;

F_0 - показания весов при отключенном насосе, н;

L - длина рычага, м;

n_{on} - частота вращения вала насоса, об/мин.

Поскольку при каждом режиме работы частота n_{on} может отличаться от номинальной n_n , подачу Q_{on} , напор H_{on} и мощность N_{on} необходимо привести к величине n_n по формулам подобия:

Если $n_{on} = n_n$, то $Q = Q_{on}$; $H = H_{on}$; $N = N_{on}$.

Полезную мощность и КПД насоса вычислить по формулам

$$Q = Q_{on} \frac{n_n}{n_{on}}; \quad H = H_{on} \left(\frac{n_n}{n_{on}} \right)^2; \quad N = N_{on} \left(\frac{n_n}{n_{on}} \right)^3. \quad (13)$$

(4) и (5).

Результаты вычислений записать в табл. 1 (см. приложение А).

5. По данным табл. 2.1 построить графические зависимости $H = f(Q)$, $N = f(Q)$; $\eta = f(Q)$.

Основные контрольные вопросы

1. Назовите технические показатели насоса.
2. Что такое подача насоса, идеальная подача и как она определяется при испытаниях?
3. Что такое напор насоса и как его определить по показаниям приборов?
4. Что такое мощность насоса и полезная мощность?
5. Что такое КПД насоса? Какие потери учитывает КПД насоса и его связь с другими КПД?
6. Что называется характеристикой насоса?
7. Что называется полем насоса Q-N и связь его с КПД насоса?
8. Показания каких приборов необходимо знать для определения мощности насоса и полезной мощности?
9. Как изменяются подача, напор и мощность насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса?

РАБОТА 2.КАВИТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Кавитацией называется нарушение сплошности потока жидкости, обусловленное появлением в ней пузырьков или полостей, наполненных паром и газом. Кавитация возникает, когда абсолютное давление в потоке падает до давления насыщенных паров жидкости при данной температуре. При этом из жидкости интенсивно выделяются пузырьки, заполненные парами жидкости и растворенными в ней газами (жидкость закипает). Обычно выделение газа из жидкости незначительно и не оказывает существенного влияния на технические параметры работы насосов, поэтому кавитацию называют паровой. В дальнейшем под термином кавитация будем подразумевать паровую кавитацию.

Выделяющиеся из жидкости в местах пониженного давления пузырьки, заполненные паром, уносятся потоком и, попадая в область с повышенным давлением, конденсируются. При этом частицы жидкости, окружающие пузырьки пара, с весьма большими скоростями устремляются в пространство, занимаемое ранее паром. Происходит столкновение частиц жидкости, сопровождающееся мгновенным местным повышением давления, достигающим сотен и даже тысяч атмосфер. Если конденсация происходит у стенок каналов насоса, то материал стенок быстро разрушается. Причем в первую очередь разрушаются те места, в которых имеются микроскопические трещины на поверхности стенок.

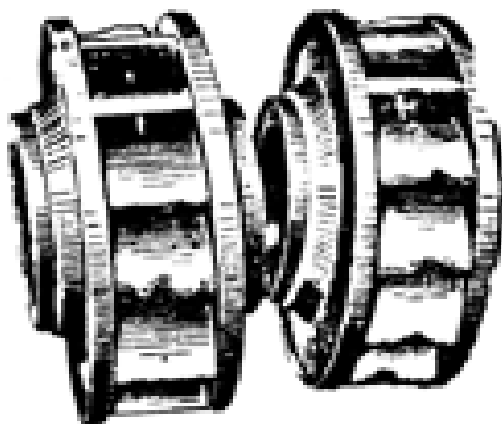


Рис 3. Разрушение рабочих колес вследствие кавитации

Например, из чугуна прежде всего выбиваются графитовые включения, а затем жидкость, действуя как клин, еще более интенсивно разрушает материал стенок, образуя на их поверхности значительные раковины.

Кроме того, материал стенок подвергается разрушению от химического воздействия воздуха богатого кислородом, и различных газов, выделяющихся из жидкости. Описанный процесс разрушения стенок каналов называется эрозией и является очень опасным следствием кавитации. Разрушения рабочих колес вследствие кавитации приведены на рис. 3.

Внешним проявлением кавитации является наличие шума, вибрации, падение напора, подачи, мощности и КПД. Очевидно, что работа насоса в кавитационном режиме недопустима.

Возникновение и характер кавитационных явлений определяются кавитационным запасом Δh - превышением удельной энергии жидкости при входе в насос над удельной энергией её насыщенных паров

$$\Delta h = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \right) - \frac{p_{н-н}}{\rho g} \quad (14)$$

где p, v - абсолютное давление и скорость на входе в насос;
 $p_{н.п}$ - давление насыщенных паров жидкости на входе в насос, зависящее от рода жидкости и её температуры. Для воды и бензина $p_{н.п}$ в кПа приведены в табл. 2 (Приложение А).

Начальная стадия кавитации определяется критическим кавитационным запасом $\Delta h_{кр}$ - кавитационным запасом, при котором в насосе наблюдается падение напора на 2% на частной кавитационной характеристике ($H = f(\Delta H)$) или на 1 м при напоре насоса более 50 м.

Величину критического кавитационного запаса $\Delta h_{кр}$ можно определить при кавитационных испытаниях насоса по частной кавитационной характеристике или по формуле С. С. Руднева:

$$\Delta h_{кр} = 10 \left(\frac{n\sqrt{Q}}{C} \right)^{3/4}, \quad (15)$$

где n - частота вращения, об/мин;

Q - подача насоса, м³/с;

C - кавитационный коэффициент быстроходности, величина которого зависит от конструктивных особенностей насоса и равна: 600-800- для тихоходных насосов; 800-1000- для нормальных, насосов; 1000-1200- для быстроходных насосов.

Работа насоса без изменения основных технических показателей, т. е. без кавитации, определяется допускаемым кавитационным запасом $\Delta h_{доп}$, вычисляемым по формуле :

где A - коэффициент кавитационного запаса $A=f(\Delta h_{кр})$ ($A=1,05-1,3$).

$$\Delta h_{доп} = A\Delta h_{кр}, \quad (16)$$

Графическая зависимость допускаемого кавитационного запаса от подачи в рабочем интервале подач $\Delta h_{доп} = f(Q)$ называется **кавитационной характеристикой** насоса (см. рис. 9 и 12). Её получают при кавитационных испытаниях насоса по частным кавитационным характеристикам.

Частная кавитационная характеристика- это зависимость напора насоса от кавитационного запаса при постоянной частоте вращения, подаче и температуре жидкости, $H = f(\Delta h)$ (рис. 5)

При испытаниях насоса кавитационный запас определяется по формуле:

$$\Delta h_{on} = \frac{P_a - P_b - P_{н.н.}}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}, \quad (17)$$

где p_a, p_b - показания барометра и вакуумметра.

Полученные опытным путем значения Δh_{on} приводятся к номинальной частоте вращения n_n по формуле:

$$\Delta h = \Delta h_{оп} \left(\frac{n_H}{n_{оп}} \right)^2 \quad (18)$$

и строится частная кавитационная характеристика насоса.

По каждой частной кавитационной характеристике находим $\Delta h_{кр}$ и Q , а затем $\Delta h_{доп}$ (по формуле 16). По значениям $\Delta h_{доп}$ и Q_1 строим кавитационную характеристику $\Delta h_{доп} = f(Q)$ (см. рис. 4).

Контроль работы насоса при его эксплуатации производится

$$H_{вак} = \frac{P_a - P}{\rho g} = \frac{P_B}{\rho g},$$

по показаниям вакуумметра, установленного на входе в насос. Связь кавитационного запаса с вакуумом можно найти из выражения, подставив в него значение абсолютного давления p из формулы (14).

$$H_{вак} = \frac{P_a - P}{\rho g} = \frac{P_a - P_{н.н.}}{\rho g} - \Delta h + \frac{v^2}{2g}. \quad (19)$$

По аналогии с (19) можно записать выражения для критического и допускаемого вакуума.

Допускаемый вакуум

$$H_{вак}^{доп} = \frac{P_a - P_{н.н.}}{\rho g} - \Delta h_{доп} + \frac{v^2}{2g}. \quad (20)$$

Употребляется также понятие вакуумметрической высоты всасывания H_v , которая связана с вакуумом зависимостью:

$$H_v = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

$$H_v = H_{вак} + \frac{v^2}{2g}. \quad (22)$$

Вакуум на входе в насос зависит от расположения насоса по отношению к свободной поверхности жидкости в приемном резервуаре геометрической высоты всасывания $H_{вс}$, режима работы насосов и других факторов.

Такая зависимость находится с помощью уравнения Бернулли:

$$H_{вак} = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} = H_{вс} + \frac{v^2}{2g} + h_{вс}, \quad (23)$$

где $h_{вс}$ - потери насоса во всасывающем трубопроводе.

Максимальная (критическая) высота всасывания, т.е. высота, при которой начинается кавитация, вычисляется по формуле:

$$H_{вс}^{кр} = H_{вак}^{кр} - \frac{v^2}{2g} - h_{вс} \quad (24)$$

или

$$H_{вс}^{кр} = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} - \Delta h_{кр} - h_{вс}.$$

Допускаемая высота всасывания $H_{вс}$, т.е. высота при которой обеспечивается бескавитационная работа насоса, равна:

$$H_{вс} = H_{вак}^{дон} - \frac{v^2}{2g} - h_{вс}$$

Цель работы:

1. Убедиться на практике в существовании явления кавитации в центробежном насосе и уяснить причины ее возникновения.

2. Освоить методику кавитационных испытаний центробеж-

$$H_{\text{вс}} = \frac{P_a - P_{\text{н.п.}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{дон}} - h_{\text{вс}}. \quad (25)$$

ного насоса.

3. Получить в результате испытаний кавитационную характеристику насоса

Описание установки. Установка с замкнутой схемой циркуляции жидкости (рис. 4) включает в себя: испытуемый центробежный насос 1, бак 3, всасывающий 2 и нагнетательный 6 трубопроводы, задвижку 5, вакуумный насос 4, контрольно-измерительную аппаратуру (манометр 9 и вакуумметр 8, диафрагму с подключенным к ней дифференциальным манометром 7, ваттметр 10 и тахометр 11).

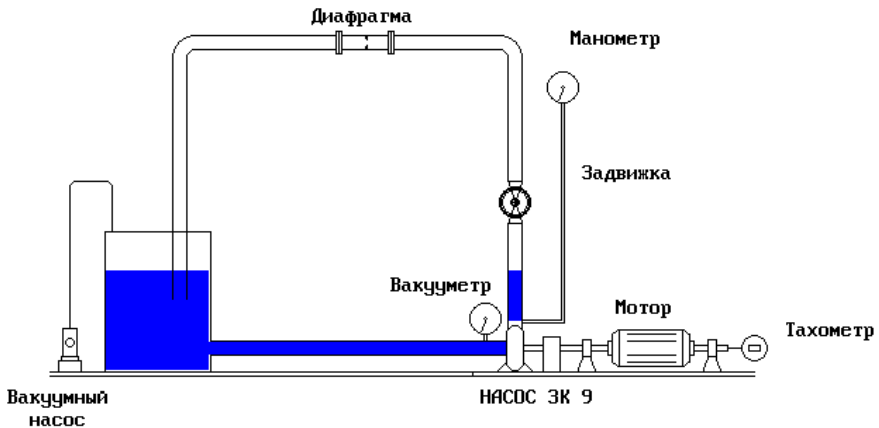


Рис 2.4 Схема установки для кавитационных испытаний насоса.

Порядок выполнения работы и обработка опытных данных для получения частных кавитационных характеристик:

Частные кавитационные характеристики $H = f(\Delta h)$ следует

получить для минимальной, номинальной и максимальной подач насоса.

С этой целью необходимо:

1. Включить насос 1 и обеспечить заданную подачу задвижкой 5.

2. Уменьшать ступенчато давление на входе в насос, включением вакуумного насоса 4, начиная с давления, заведомо исключающего кавитацию, и заканчивая при резком падении напора, обеспечивая при этом $Q_i = const$ и снимая на каждой ступени показания манометра 9, вакуумметра 8, дифманометра 7 и тахометра 11. Результаты измерений записать в табл. 3.

3. Вычислить параметры, необходимые для построения частной кавитационной характеристики: напор насоса H - по формуле (2); подачу насоса Q - по формуле (2.9); кавитационный запас $\Delta h_{оп}$ по формуле (17).

Если в опытах частота вращения $n_{оп}$ отличается от номинальной n_n более чем на 0,5%, кавитационный запас $\Delta h_{оп}$ необходимо привести к n_n по формуле (18). Если же $n_{оп}$ отличается от n_n менее чем на 0,5%, принять $\Delta h = \Delta h_{оп}$.

4. Результаты вычисления записать в табл. 3 (Приложение А) и построить по ним частные кавитационные характеристики

Порядок выполнения работы и обработка опытных данных для получения кавитационной характеристики. Для получения кавитационной характеристики $\Delta h_{доп} = f(Q)$ необходимо:

1. По каждой частной кавитационной характеристике $H_i = f(\Delta h)$ определить допустимый кавитационный запас $\Delta h_{доп} = A \Delta h_{кр}$, предварительно определив критический кавитационный запас $\Delta h_{кр}$ по падению напора на 2% на кривой $H_i = f(\Delta h)$ и коэффициент кавитационного запаса $A = f(\Delta h_{кр})$ из табл. 4 (Приложение А).

2. Результаты расчетов свести в табл. 5 (Приложение А) и построить по данным этой таблицы кавитационную характеристику $\Delta h_{доп} = f(Q)$ (см. рис. 4).

ОСНОВНЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое кавитация, каковы её внешние признаки?
2. Что называется кавитационным запасом Δh и как его определить при испытаниях?
3. Что называется критическим кавитационным запасом $\Delta h_{кр}$?
4. Что называется допускаемым кавитационным запасом $\Delta h_{доп}$?
5. Формула Руднева для определения критического кавитационного запаса?
6. Что такое высота всасывания и как она связана с кавитацией?
7. Что называется кавитационной характеристикой и как она изображается графически?
8. Что называется частной кавитационной характеристикой и как её получить при испытаниях?
9. Порядок работы при снятии частной кавитационной характеристики
10. Как получают кавитационную характеристику центробежного насоса?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Измеряемые параметры						Рассчитываемые параметры						
P_m , Па	P_b , Па	h , мм.рт.ст	F , Н	$n_{оп}$, об/мин	$H_{оп}$, М	$N_{оп}$, кВт	N_p , кВт	$Q_{оп}$, л/с	H , М	N , кВт	Q , л/с	η

Таблица 2

tC,	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
Вода	0.32	1.21	1.69	2.34	3.17	4.24	7.37	20.2	48.2	103.3
Бензин				16.3			33.2	55.8	103.3	
Б-70										

Таблица 3

Измеряемые параметры					Рассчитываемые параметры					
P_a , Па	P_m , Па	P_b , Па	h , мм.рт.ст	$n_{оп}$, об/мин	H , М	Q , л/с	v , м/с	$\Delta h_{оп}$, М	Δh , М	

Таблица 4

$\Delta h_{кр}$, М	0-2.5	3	4	6	7	8	10	12	≥ 14
А	1.3	1.25	1.2	1.13	1.1	1.09	1.08	1.07	1.06

Таблица 5

Q , л/с	$\Delta h_{кр}$, М	А	$\Delta h_{доп}$, М
-----------	---------------------	---	----------------------

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): Учебник для гидротехнических специальностей вузов. Л.: Энергоиздат, 1982. 672 с.
2. Альтшуль А. Д., Кисилёв П. Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости): Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Теплогасоснабжение и вентиляция". М.: Стройиздат, 1975. 327 с.
3. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасови др. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
4. Большаков В. А., Попов В. Н. Гидравлика. Общий курс: Учебник для вузов. Киев: Высшая школа. Головное издательство, 1989. 215 с.
5. Штеренлихт Д. В. Гидравлика: Учебник для вузов. М.: Энергоиздат, 1984. 640 с.
6. Константинов Н. М., Петров Н. А., Высоцкий Л. И. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: Учебник для вузов: В 2 ч. Ч. 1. Общие законы. М.: Высшая школа, 1987. 304 с.
7. Константинов Н. М., Петров Н. А., Высоцкий Л. И. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: Учебник для вузов: В 2 ч. Ч. 2. Специальные вопросы. М.: Высшая школа, 1987. 431 с.
8. Богомолов А. И., Михайлов К. А. Гидравлика: Учебник для гидротехнических специальностей вузов. М.: Стройиздат, 1972. 648 с.
9. Кисилёв П. Г. Гидравлика. Основы механики жидкости: Учебное пособие для студентов гидротехнических специальностей вузов. М.: Энергия, 1980. 360 с.
10. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередат: Учебное пособие для машиностроительных вузов / О. В. Байбаков, Д. А. Бутаев, З. А. Калмыкова и др. М.: Машиностроение, 1974. 416 с.
11. Лабораторный практикум по гидравлике, гидравлическим машинам и гидроприводам: Учебное пособие для студентов вузов / С. М. Казарям, А. Ш. Барекян, Д. Д. Скубаренко, А. К. Чельшев. Ереван: Луйс, 1984. 319 с.

12. Яковлева Л.В. Практикум по гидравлике: Учебное пособие для учащихся с.-х. техникумов. М.: Агропромиздат, 1990. 144 с.
13. Башта Г.М. Объёмные насосы и гидравлические приводы гидросистем. М.: Машиностроение, 1974. 607 с.
14. Гавриленко Б.А., Семичастнов И.Ф. Гидродинамические передачи. М.: Машиностроение, 1980. 224 с.
15. Гидравлика и гидропривод / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Г. Боруменский, А.М. Заря. М.: Недра, 1981. 295 с.
16. Коваль П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин. М.: Машиностроение. 1979. 319 с.
17. Данилов Ю.А., Кирилловский Ю.А., Колпаков Ю.Г. Аппаратура объёмных гидроприводов. М.: Машиностроение, 1990. 272 с.
18. Руднёв С.С., Подвидз Л.Г. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидropередач. М.: Машиностроение, 1974. 416 с.
19. Васильев Б.А., Герцев Н.А. Гидравлические машины. М.: Агропромиздат, 1988. 272 с.
20. Пономаренко Ю.Ф. Испытание гидропередач. М.: Машиностроение, 1969. 292 с.
21. Докукин А.В. и др. Радиально-поршневые гидромоторы многократного действия. М.: Машиностроение, 1980. 288 с.
22. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1983. 301 с.
23. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1989. 352 с.
24. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1989. 352 с.

ГИДРАВЛИКА, ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОД

***Методические указания к лабораторным работам
для студентов бакалавриата направления 23.03.03***

Сост.: Д.В. Горленков, Н.А. Романова, Я.В. Кускова

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
автоматизации технологических процессов и производств

Ответственный за выпуск *Д.В. Горленков*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 28.10.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,4. Усл.кр.-отт. 1,4. Уч.-изд.л. 1,2. Тираж 75 экз. Заказ 768.

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