

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра аэродинамики, конструкции и прочности
летательных аппаратов

Н.Б. Бехтина

ГИДРАВЛИКА И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВС

Учебно-методическое пособие
по проведению практических занятий
и выполнению лабораторных работ

*для студентов IV курса
направления 25.05.05
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2021

УДК 629.7.064
ББК 0565
Б55

Рецензент:

Киселев М.А. – д-р техн. наук

Б55 Бехтина Н.Б.

Гидравлика и гидромеханические системы ВС [Текст] : учебно-методическое пособие по проведению практических занятий и выполнению лабораторных работ / Н.Б. Бехтина. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 28 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с учебным планом для студентов IV курса направления подготовки 25.05.05 «Техническая эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения» всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 12.10.2021 г. и методического совета 26.10.2021 г.

УДК 629.7.064
ББК 0565

Содержание

Практическое занятие №1.....	4
Практическое занятие №2.....	9
Лабораторная работа № 1.....	14
Лабораторная работа № 2.....	18
Список литературы.....	25

Практическое занятие №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 допусаемым кавитационным запасом.

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

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

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

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. $\Delta Q = a p$.

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

$$Q_T = Q + \Delta Q \quad (2.1)$$

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

$$H = \frac{p_M \pm p_B^*}{\rho g} + Z_M + \frac{V_M^2 - V_B^2}{2g}, \quad (2.2)$$

где p_M , p_B - 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_B - Средние скорости движения жидкости в напорном и всасывающем трубопроводах, м/с.

3. Мощность насоса N - мощность, потребляемая насосом.

$$N = M \cdot \omega, \quad (2.3)$$

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

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

$$N_n = pQ = \rho g H Q. \quad (2.4)$$

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

Мощность насоса больше полезной мощности на величину потерь энергии.

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

$$\eta = \frac{N_n}{N}. \quad (2.5)$$

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.

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

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

Механический КПД насоса η_M - величина, выражающая относительную долю механических потерь энергии в насосе

$$\eta_M = \frac{N - \Delta N_M}{N} = \frac{N_T}{N}, \quad (2.6)$$

где ΔN_M - мощность механических потерь;

N_T - мощность насоса за вычетом мощности механических потерь (теоретическая мощность).

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

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

$$\eta_r = \frac{N_n}{N_n + \Delta N_r} = \frac{pQ}{pQ + \Delta p_r Q} = \frac{p}{p + \Delta p_r} = \frac{H}{H + \Delta H_r}, \quad (2.7)$$

$\Delta p_r, \Delta H_r$ - 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, где ΔN_y - мощность, потерянная с утечками.

$$\eta_0 = \frac{N_n}{N_n + \Delta N_y} = \frac{pQ}{pQ + p\Delta Q} = \frac{Q}{Q + \Delta Q} = \frac{Q}{Q_T}, \quad (2.8)$$

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

$$\eta = \frac{N_n}{N} = \frac{N_T N_\Pi}{N \cdot N_T} = \eta_M \frac{pQ}{(p + \Delta p_r)(Q + \Delta Q)} = \eta_M \eta_r \eta_0. \quad (2.9)$$

6. Допускаемый кавитационный запас $\Delta h_{доп}$ - кавитационный запас, обеспечивающий работу насоса без изменения основных технических пока-

зателей (без кавитации).

Для правильной эксплуатации насосов и их подбора необходимо знать, как изменяются основные технические показатели насоса (H , N , η , $\Delta h_{\text{доп}}$) 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 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 показана 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».

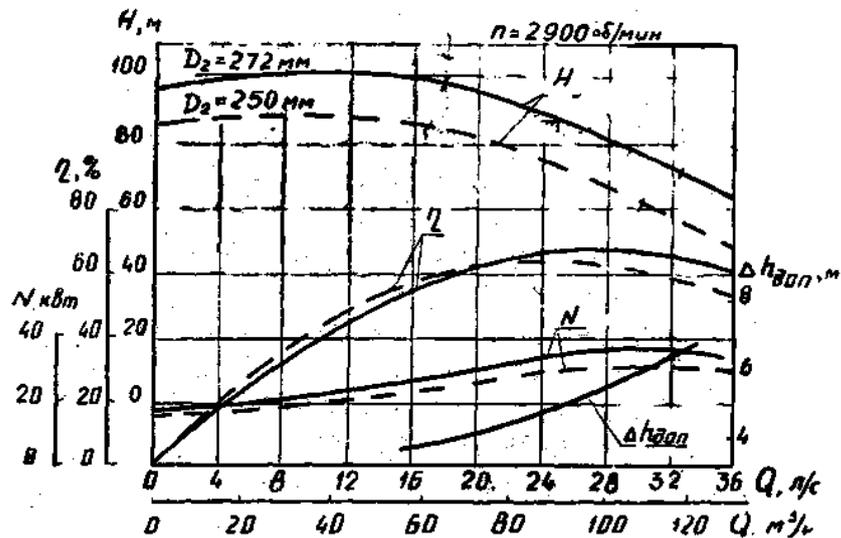


Рис.1 Характеристика насоса К90/85 (4К-6).

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).

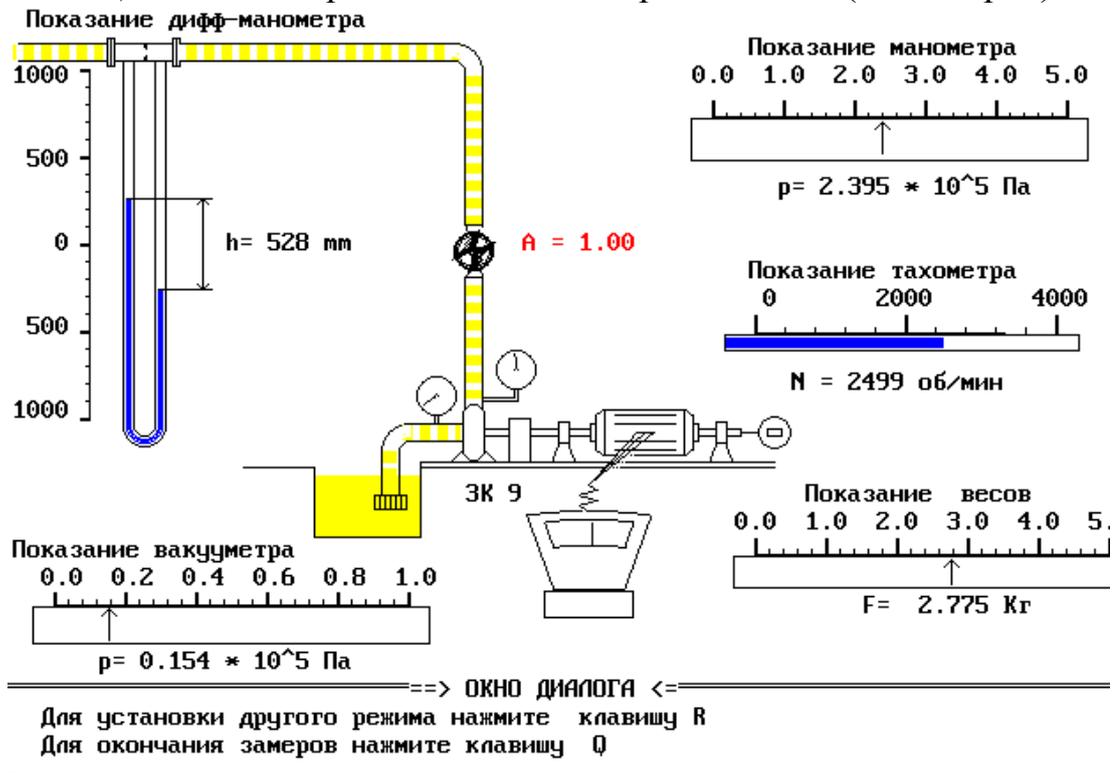


Рис. 2. Схема лабораторной установки.

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:

$$Q_{on} = C\sqrt{h}, L^3/T, \quad (2.10)$$

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

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

Напор насоса H_{on} - по формуле (2.5), в которой средние скорости движения жидкости в напорном и всасывающем трубопроводах равны:

$$V_n = \frac{4Q_{on}}{\pi d_n^2}; \quad V_v = \frac{4Q_{on}}{\pi d_v^2}. \quad (2.11)$$

здесь Q_{on} - подача насоса, м³/с;

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

Мощность насоса N_{on} - по формуле:

$$N_{on} = M\omega = (F - F_0)L \frac{\pi n_{on}}{30}, \text{ вт} \quad (2.12)$$

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:

$$Q = Q_{on} \frac{n_n}{n_{on}}; \quad H = H_{on} \left(\frac{n_n}{n_{on}} \right)^2; \quad N = N_{on} \left(\frac{n_n}{n_{on}} \right)^3. \quad (2.13)$$

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

Полезную мощность и КПД насоса вычислить по формулам (2.4) и (2.5).

Результаты вычислений записать в табл. 1.

Таблица 1

Измеряемые параметры					Рассчитываемые параметры							
p_m , Па	p_v , Па	h, мм. рт. ст	F, Н	n_{on} , об/мин	H_{on} , М	N_{on} , кВт	N_n , кВт	Q_{on} , л/с	H, М	N, кВт	Q, л/с	η

5. По данным табл. 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-H 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?

Литература к работе 2.1: 8, 20, 26, 41, 44, 58.

Практическая 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.

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.

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.

$$\Delta h = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \right) - \frac{p_{н.п}}{\rho g} \quad (2.14)$$

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.

Таблица 2

$t\text{ }^{\circ}\text{C}$,	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 Б-70				16.3			33.2	55.8	103.3	

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:

$$\Delta h_{кр} = 10 \left(\frac{n\sqrt{Q}}{C} \right)^{3/4}, \quad (2.15)$$

где n - частота вращения, об/мин;

Q - подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

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:

$$\Delta h_{доп} = A\Delta h_{кр}, \quad (2.16)$$

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

Графическая зависимость допускаемого кавитационного запаса от подачи в рабочем интервале подач $\Delta h_{доп} = f(Q)$ называется кавитационной характеристикой насоса. 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, $H = f(\Delta h)$

При испытаниях насоса кавитационный запас определяется по формуле:

$$\Delta h_{он} = \frac{p_a - p_{\phi} - p_{н.п.}}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}, \quad (2.17)$$

где p_a , p_{ϕ} - показания барометра и вакуумметра.

Полученные опытным путем значения $\Delta h_{он}$ приводятся к номинальной частоте вращения n_H по формуле:

$$\Delta h = \Delta h_{он} \left(\frac{n_H}{n_{он}} \right)^2 \quad (2.18)$$

и строится частная кавитационная характеристика насоса.

По каждой частной кавитационной характеристике находим $\Delta h_{кр}$ и Q , а затем $\Delta h_{доп}$ (по формуле 2.16).

По значениям $\Delta h_{доп}$ и Q_1 строим кавитационную характеристику $\Delta h_{доп} = f(Q)$.

Контроль работы насоса при его эксплуатации производится 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 (2.14).

$$H_{вак} = \frac{p_a - p}{\rho g} = \frac{p_B}{\rho g},$$

$$H_{вак} = \frac{p_a - p}{\rho g} = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} - \Delta h + \frac{v^2}{2g}. \quad (2.19)$$

По аналогии с (2.19) можно записать выражения для критического и допустимого вакуума.

Критический вакуум

$$H_{вак}^{кр} = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} - \Delta h_{кр} + \frac{v^2}{2g}. \quad (2.20)$$

Допускаемый вакуум

$$H_{вак}^{доп} = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} - \Delta h_{доп} + \frac{v^2}{2g}. \quad (2.21)$$

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

$$H_B = H_{вак} + \frac{v^2}{2g}. \quad \text{или} \quad H_B = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \quad (2.22)$$

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:

$$H_{вак} = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} = H_{вс} + \frac{v^2}{2g} + h_{вс}, \quad (2.23)$$

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

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

$$H_{вс}^{кр} = H_{вак}^{кр} - \frac{v^2}{2g} - h_{вс} \quad \text{или} \quad H_{вс}^{кр} = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} - \Delta h_{кр} - h_{вс}. \quad (2.24)$$

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

$$H_{вс} = H_{вак}^{доп} - \frac{v^2}{2g} - h_{вс} \quad \text{или} \quad H_{вс} = \frac{p_a - p_{н.н.}}{\rho g} - \Delta h_{доп} - h_{вс}. \quad (2.25)$$

Цель работы:

1. Убедитесь на практике в существовании явления кавитации в центро-

бежном насосе и уяснить причины ее возникновения.

2. Освоить методику кавитационных испытаний центробежного насоса.

3. Получить в результате испытаний кавитационную характеристику насоса.

Описание установки.

Установка с замкнутой схемой циркуляции жидкости (рис. 3) 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, ватт-метр 10 и тахометр 11).

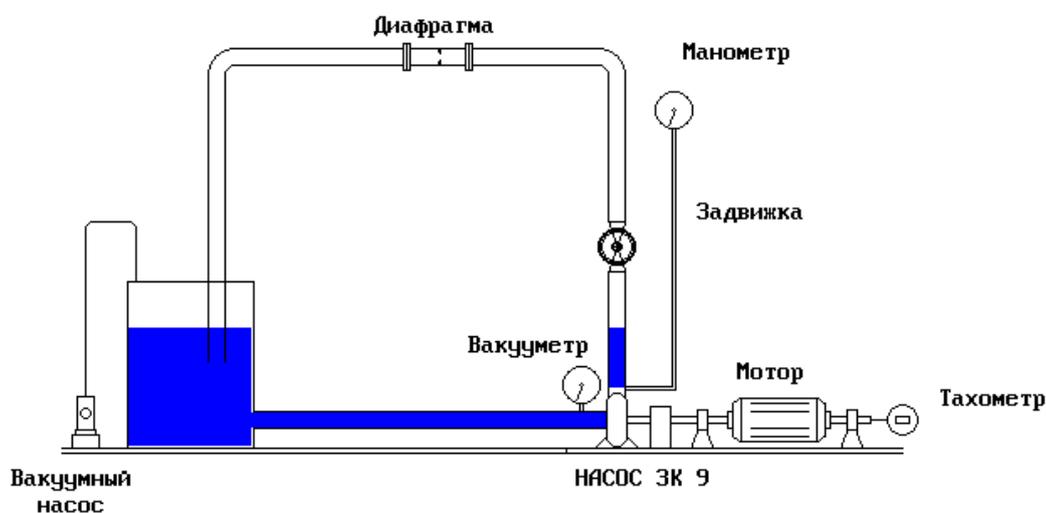


Рис 3 Схема установки для кавитационных испытаний насоса.

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

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 $Q_i = \text{const}$ 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 (2.2); подачу насоса Q - по формуле (2.9); кавитационный запас $\Delta h_{\text{оп}}$ по формуле (2.17).

Если в опытах частота вращения $n_{\text{оп}}$ отличается от номинальной n_n более чем на 0,5%, кавитационный запас $\Delta h_{\text{оп}}$ необходимо привести к n_n по формуле (2.18). Если же $n_{\text{оп}}$ отличается от n_n менее чем на 0,5%, принять $\Delta h = \Delta h_{\text{оп}}$.

4. Результаты вычислений записать в табл. 3 и построить по ним

частные кавитационные характеристики.

5. Частные кавитационные характеристики $H=f(\Delta h)$ следует получить для минимальной, номинальной и максимальной подач насоса.

Таблица 3

Изменяемые 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

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 допускаемый 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.

Таблица 4

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

2. Результаты расчетов свести в табл. 5 и построить по данным этой таблицы кавитационную характеристику.

Таблица 5

Q, л/с	$\Delta h_{кр}$, м	A	$\Delta h_{доп}$, м
Q_{min}	$\Delta h_{кр1}$	A_1	$\Delta h_{доп1}$
Q_n	$\Delta h_{кр2}$	A_2	$\Delta h_{доп2}$
Q_{max}	$\Delta h_{кр3}$	A_3	$\Delta h_{доп3}$

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?

Литература к работе 2- 2: 8, 20, 41, 51, 66.

Лабораторная работа №1

Испытания нерегулируемого объемного насоса

Объемным насосом называется насос, в котором жидкость перемещается путем периодического изменения объема занимаемой ею камеры, попеременно сообщаемой со входом и выходом насоса. К объемным «насосам относятся: возвратно-поступательные и роторные насосы.

Возвратно-поступательные насосы - объемные насосы с прямолинейным возвратно-поступательным движением рабочих органов независимо от характера движения ведущего звена насоса. Рабочими органами могут быть поршень, плунжер, диафрагма, а насосы соответственно - поршневыми, плунжерными и диафрагменными. Эти насосы широко применяются для перемещения (перекачивания) различных жидкостей. Среди них поршневые насосы являются наиболее простыми.

Роторные насосы - объемные насосы с вращательным или вращательным и возвратно-поступательным движением рабочих органов независимо от характера движения ведущего звена насоса. К ним относятся: аксиально-поршневые, радиально-поршневые, пластинчатые, шестеренные, винтовые. Роторные насосы применяются в основном в объемных гидроприводах. Объемные насосы могут развивать давление до 250 МПа. Они могут быть нерегулируемыми (с постоянной подачей) и регулируемые (с изменяемой подачей). Ниже будут рассмотрены нерегулируемые насосы.

Поршневые насосы - объемные насосы, у которых вытеснение жидкости из неподвижных рабочих камер производится в результате прямолинейного возвратно-поступательного движения поршня.

Роторные аксиально-поршневые насосы - насосы, у которых оси поршней или плунжеров параллельны оси вращения ротора (блока) цилиндров или составляют с ней угол менее 45° . Такие насосы являются наиболее распространенными в гидроприводах. Они способны обеспечить высокую подачу при большом давлении и высоком КПД, высокую частоту вращения рабочего органа и точность регулирования подачи при малых габаритах, весе и малой инерционности. Насосы развивают давление до 32 МПа, реже до 55 МПа. При оптимальном режиме объемный КПД составляет 0,97... 0,98, а КПД насоса - до 0,95. Эти насосы могут иметь до 7 ... 9 цилиндров диаметром 10-50 мм при угле наклона блока цилиндра или диска 20 ... 30".

Существует большое количество конструкций аксиально-поршневых насосов, однако их можно разделить на две группы, отличающиеся схемой связи блока цилиндров с приводом: с наклонным блоком цилиндров и с наклонным диском.

Роторные радиально-поршневые насосы - насосы, у которых

оси поршней или плунжеров перпендикулярны оси вращения ротора или составляют с ней углы более 45° .

Насосы имеют звездообразное расположение цилиндров. В одном ряду может располагаться от 5 до 13 цилиндров, а количество рядов может достигать 6. Такие насосы могут обеспечить давление до 100 Мпа. Они имеют большой срок службы, но более громоздки, чем остальные насосы и имеют более высокие моменты инерции, менее приёмисты и более тихоходные.

Основными техническими показателями объемного насоса являются: подача, рабочий объем, давление, мощность и КПД. Все они, кроме рабочего объема, были рассмотрены на практическом занятии №1.

Рабочий объем насоса q_H - разность наибольшего и наименьшего значений замкнутого объема за оборот или двойной ход рабочего органа насоса. Он связан с идеальной подачей зависимостью:

$$q_H = \frac{Q_H}{n_H}, \quad (2.26)$$

где Q_H и n_H - идеальная подача и частота вращения.

Характеристика объемного насоса - графические зависимости подачи - Q , мощности - N и КПД - η от давления p при постоянных значениях частоты вращения и плотности жидкости на входе в насос, т. е. $Q = f(p)$, $N = f(p)$, $\eta = f(p)$. Объемные насосы различных типов имеют аналогичные характеристики.

1. Напорная характеристика нерегулируемого насоса есть $Q = f(p)$. Идеальная подача Q_T не зависит от давления, поскольку $Q_T = q_H n_H$. Очевидно, что $Q_T = f(p)$ при $n_H = \text{const}$ изобразится прямой, параллельной оси p .

Напорная характеристика для реальной подачи $Q = f(P)$ при $n_H = \text{const}$ несколько отклонится вниз. Такое отклонение связано с наличием утечек жидкости ΔQ в насосе через зазоры из области нагнетания в область всасывания. Утечки жидкости прямо пропорциональны давлению и обратно пропорциональны вязкости жидкости. Если вязкость жидкости $\mu_2 < \mu_1$, то утечки будут больше и прямая будет проходить ниже, если $\mu_2 > \mu_1$ - выше.

Для того, чтобы обезопасить насос 2 и гидросеть 3 от чрезмерного повышения давления при уменьшении подачи до Q_c , параллельно насосу 2 ставят переливной (перепускной) клапан, который открывается под действием повышенного давления и пропускает часть подачи насоса $Q_{кл}$ через клапан в бак. Наличие клапана изменяет (ломает) характеристику насоса. Прямая отклоняется от вертикали. Величина участка отклонения составляет 10...15% от давления настройки клапана $p_{нк}$ и зависит от характеристики клапана.

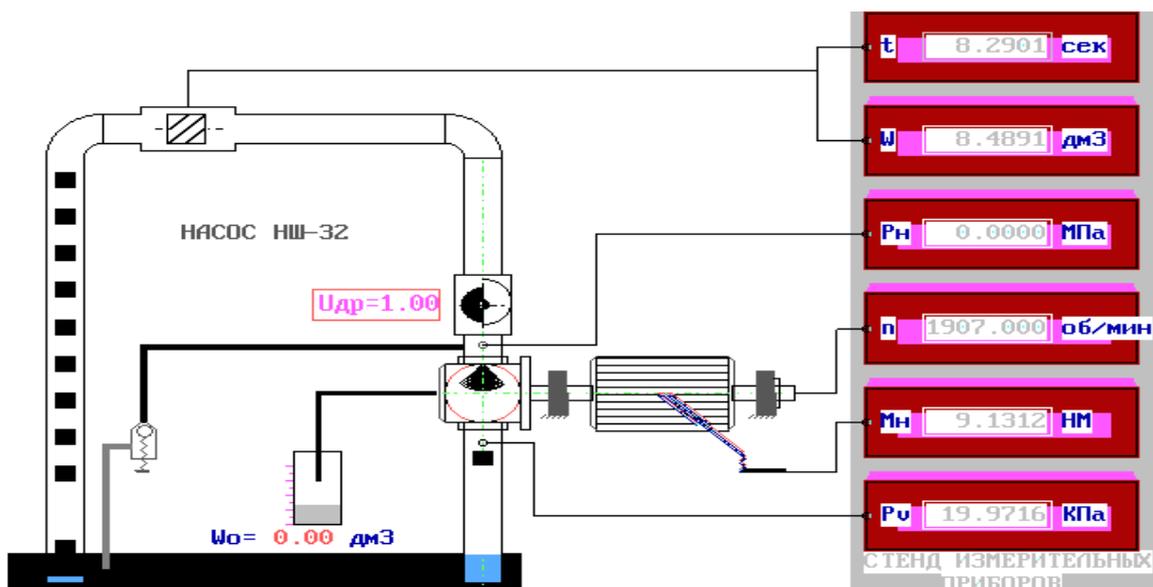


Схема лабораторного стенда для испытаний насоса

Рис.4. Установка для испытания нерегулируемого насоса.

Цель работы:

1. Усвоить принцип действия и изучить работу насосной установки с объемным нерегулируемым насосом.
2. Освоить методику испытаний нерегулируемого объемного насоса.
3. Получить характеристику нерегулируемого объемного насоса.

Описание установки.

Установка с открытой системой циркуляции жидкости (рис. 4) включает в себя: объемный насос 1, балансирный электродвигатель 114, бак 8, всасывающий 6 и нагнетательный 3 трубопроводы, дроссель 15, теплообменнике, фильтр 10, предохранительный клапан 2 и контрольно-измерительную аппаратуру, служащую для замера: подачи (расходомер II), давления (манометр 4 и вакуумметр 5), мощности насоса (балансирный электродвигатель 14 с весами и рычагом 13 и тахометром 12), температуры рабочей жидкости (термометр 7). При работе установки рабочая жидкость по всасывающему трубопроводу 6 поступает в насос, затем по напорному трубопроводу 3 через регулируемый дроссель 15 (если он открыт) к расходомеру 11, фильтру 10 и теплообменнику 9 в бак 8. В случае, если дроссель закрыт или открыт частично, давление за насосом повышается и, если станет больше давления настройки клапана $p_{нк}$, предохранительный клапан 2 откроется и будет пропускать через себя в бак всю жидкость или часть её.

Порядок выполнения работы и обработка опытных данных.

1. Включить установку и добиться требуемого температурного режима.
2. Изменяя положение дросселя 15, обеспечить давление на вы-

Характеристику насоса, т. е. графические зависимости $Q = f(p)$, $N = f(p)$, $\eta_n = f(p)$, следует построить по приведенным к номинальной частоте вращения n_n значениям подачи, мощности и значению КПД, вычисленному по формуле (2.32).

$$Q = Q_{on} \frac{n_n}{n_{on}}; \quad Q = Q_{on} \frac{n_n}{n_{on}}; \quad N = N_{on} \frac{n_n}{n_{on}}; \quad (2.35)$$

Дополнительно следует построить графики $\eta_0 = f(p)$ и $\eta_m = f(p)$.

Основные контрольные вопросы

1. Что называется объемным насосом, какие вы знаете объемные насосы?
 2. Изложите основные сведения о роторных аксиально-поршневых насосах?
 3. Какие насосы называются роторными радиально-поршневыми, основные сведения о них?
 4. Приведите основные сведения о пластинчатых и шестеренных насосах.
 5. Назовите и поясните основные технические показатели объемных насосов.
 6. Что называется характеристикой объемного насоса? Изобразите характеристику этого насоса.
 7. Что называется напорной характеристикой объемного нерегулируемого насоса, каково её графическое изображение?
 8. Изобразите напорную характеристику нерегулируемого насоса с переливным клапаном.
 9. что такое КПД насоса и как его определить при испытаниях?
- Литература к работе 2.3: 8, 9, 16, 24, 44, 58, 66.

Лабораторная работа №2

Расчет характеристик гидропривода с объемным регулированием

Объемный гидропривод - совокупность устройств, состоящая из: объемного насоса, гидродвигателя, гидросети и гидроаппаратуры, предназначенная для приведения в движение механизмов и машин посредством рабочей жидкости.

Объемная гидропередача - это силовой узел гидропривода, состоящий из объемного насоса, гидродвигателя и гидросети. В объемных гидроприводах обычно применяют роторные насосы: аксиально-поршневые, радиально-поршневые, пластинчатые и шестеренные. В качестве гидродвигателей используются гидроцилиндры, гидромоторы и поворотные гидродвигатели (с углом поворота вала менее 360°).

В зависимости от типа применяемого гидродвигателя различают гидроприводы вращательного, поступательного и поворотного движения. В первых гидродвигателем является гидромотор, у вторых — гидроцилиндр, у третьих - поворотный гидродвигатель.

Гидропривод, в котором скорость выходного звена объемного гидродвигателя может регулироваться по определенному закону, называют регулируемым.

Различают гидроприводы с объемным и дроссельным регулированием. В гидроприводе с объемным регулированием скорость выходного звена регулируется изменением количества рабочей жидкости, поступающей в гидродвигатель, что достигается путем изменения рабочего объема насоса q_n , или гидромотора q_m или того и другого одновременно (при $n_n = \text{const}$). В случае отсутствия утечек жидкости

$$Q_{H_T} = Q_{M_T} \text{ или } q_n n_n = q_m n_m \quad (2.36)$$

откуда получают зависимость для определения частоты вращения гидромотора.

$$n_m = \frac{q_n n_n}{q_m}. \quad (2.37)$$

В выражениях (2.36) и (2.37) n_n , n_m , q_n , q_m — соответственно частоты вращения и рабочие объемы насоса и гидромотора.

На основе аналогичных рассуждений можно получить формулу для определения скорости поступательного движения поршня (штока) гидропривода:

$$V = \frac{q_n n_n}{F_n}, \quad (2.38)$$

где v , F_n — скорость перемещения поршня (штока) и площадь поршня, на которую действует жидкость.

По способу циркуляции жидкости гидроприводы бывают с замкнутой и разомкнутой циркуляцией. В гидропроводах с замкнутой циркуляцией рабочая жидкость от гидродвигателя 4 поступает во всасывающую гидролинию насоса 16, а в гидропроводах с разомкнутой циркуляцией — в гидробак.

Принцип действия объемного гидропривода рассмотрим на гидравлической схеме установки, которая является типичной схемой регулируемого гидропривода вращательного движения с замкнутой циркуляцией жидкости (см. рис. 5). Гидропровод состоит из: **гидропередачи**, включающей в себя регулируемый насос 12, нерегулируемый гидромотор 4 и гидросеть 9,16; **гидроаппаратуры**, состоящей из предохранительных клапанов 8; **системы подпитки** (в нее входят: насос 26, предохранительный клапан 22, фильтр 24, охладитель 23, обратные клапаны 7) и **вспомогательных устройств** (фильтр 28, охладитель 18). Наличие реверсивного объемного насоса 12 позволяет изменять направление вращения гидромотора 4.

При включении насоса создается поток жидкости, направление движения которого показано стрелкой. Жидкость под давлением с определенной скоростью по напорной гидролинии 9 поступает в гидромотор 4, преодолевая нагрузку (момент на гидромоторе), а затем по всасывающей гидролинии 16 — в насос. Если момент на гидромоторе превысит определенную величину, что приведет к увеличению давления в напорной гидролинии выше заданного, предохранительный клапан 8 откроется и через него начнется перепуск части жидкости во всасывающую гидролинию 16.

Для компенсации утечек в гидropередаче служит система подпитки, которая обеспечивает во всасывающей гидролинии давление подпитки, равное 0,5 ... 1,0 МПа. Это происходит следующим образом. Насос подпитки 26 создает поток жидкости, который через охладитель 23 и фильтр 24 поступает к обратным клапанам 7. Если во всасывающей гидролинии 16 давление вследствие утечек снизится на некоторую величину, то часть жидкости из системы подпитки поступит через обратный клапан во всасывающую линию и компенсирует снижение давления. Остальная часть жидкости через предохранительный клапан 22 будет сливаться в гидробак. Необходимое давление во всасывающей гидролинии обеспечивается настройкой предохранительного клапана 22.

Гидропривод, по сравнению с другими приводами, обладает следующими преимуществами:

1. Позволяет в широких пределах бесступенчато изменять скорость выходного звена, обеспечивает получение больших усилий и крутящих моментов, высокое быстродействие, легко управляется и автоматизируется, что дает возможность создавать следящие системы.

2. Надежно ограничивает величину нагрузки и создает удобства в компоновке машины, благодаря возможности отделения насоса от гидродвигателя.

3. Имеет небольшие удельную массу и объем (отношение массы и объема к мощности) и высокую долговечность.

Оценка качества гидропривода в целом производится по характеристикам.

Характеристикой гидропривода называют аналитически или графически выраженные зависимости: скорости выходного звена v , n_m , коэффициента полезного действия η) и мощности N от приложенной нагрузки P , M при постоянном расходе Q , т. е. зависимости $v = f(P)$, $N = f(P)$, $\eta = f(P)$ или $n_m = f(M)$, $N = f(M)$, $\eta = f(M)$. При этом $v = f(P)$ или $n_m = f(M)$ называют механическими характеристиками рис 6, а $N = f(P)$, $\eta = f(P)$ или $N = f(M)$, $\eta = f(M)$ – энергетическими. Такой график называют универсальной характеристикой.

Цель работы: 1. Изучить принцип действия, устройство и работу гидропривода с объемным регулированием.

2. Освоить методику испытаний объемного гидропривода.

3. Получить характеристики объемного гидропривода.

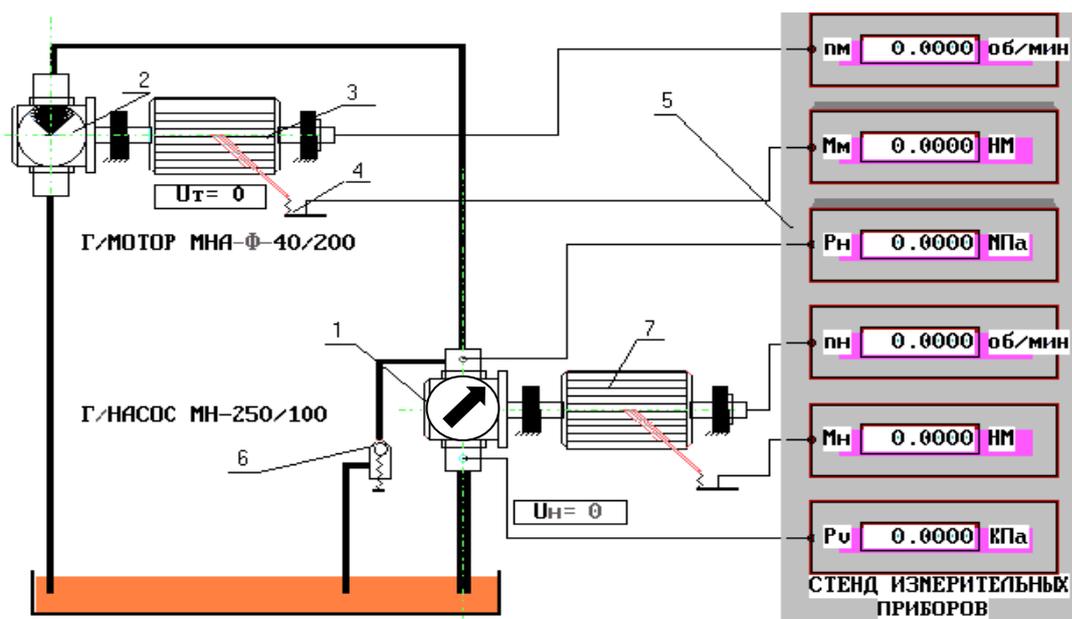


Рис. 5 Схема экспериментального стенда для испытания регулируемого гидропривода вращательного действия. 1- регулируемый насос; 2- нерегулируемый г/мотор; 3- гидравлический тормоз весы; 4- динамометр; 5 - стенд измерительных приборов; 6- предохранительный клапан; 7- мотор весы.

Описание установки. Установка (рис.5) представляет собой гидро-гидро-привод вращательного движения с замкнутой циркулирующей жидкости, оснащенный контрольно-измерительной аппаратурой. Установка включает в себя: регулируемый насос, нерегулируемый гидромотор 4, напорную 9 и всасывающую 16 гидролинии, предохранительные клапаны 8, фильтр 28, охладитель 18 и систему подпитки 19 (насос подпитки 26 с электродвигателем 27, фильтр 24, охладитель 23, предохранительный клапан 22, обратные клапаны 7 бак 25). Приборы, входящие в состав контрольно-измерительной аппаратуры, служат для замера: подачи (расходомер 29), давления на входе в насос $p_{вх}$ (манометр 11), на выходе из него $p_{вых}$ (манометр 10), давления на входе в гидромотор p_m (манометр 5), мощности насоса (балансирный электродвигатель 13 с весами и рычагом 14 и тахометром 15), полезной мощности гидромотора (тормоз 2 с весами и рычагом 3 и тахометром 1), температуры рабочей жидкости (термометр 17). При необходимости замера утечек из насоса и гидромотора по гидролиниям 20 и 21 необходимо иметь мерную емкость и секундомер.

Установка работает следующим образом. Регулируемый реверсивный насос 12 приводится в действие балансирным электродвигателем 13 с регулируемой частотой вращения. Рабочая жидкость по напорной гидролинии 9 подается в гидромотор 4, далее проходит через расходомер 29, фильтр 28, охладитель 18 и по всасывающей гидролинии 16 в насос 12. Для предохранения установки от перегрузки служат предохранительные клапаны 8, которые пропускают через себя часть жидкости во всасывающую гидролинию при давлении, большем давления настройки клапана $p_{нк}$. Утечка жидкости компенсируется системой подпитки 19. Насос подпитки 26 приводится в дей-

ствии электродвигателем 27. Уменьшение давления во всасывающей гидролинии, по сравнению с давлением подпитки $p_{\text{под}}=(0,5\div 1,0)$ МПа, на которое настроен предохранительный клапан 22, приводит к открытию обратного клапана 7, благодаря чему жидкость поступает во всасывающую гидролинию.

Когда давление во всасывающей гидролинии достигает величины давления подпитки $p_{\text{под}}$, поступление жидкости в нее прекращается и в дальнейшем жидкость от насоса подпитки через клапан 22 поступает в бак 25.

Описанная выше установка позволяет проводить испытания регулируемого (нерегулируемого) насоса, нерегулируемого (регулируемого) гидромотора и гидропривода с замкнутой циркуляцией жидкости в целом.

Порядок выполнения работы и обработка опытных данных:

1. Включить установку и обеспечить необходимый тепловой режим.
2. Установить требуемое значение $n_H = \text{const}$.

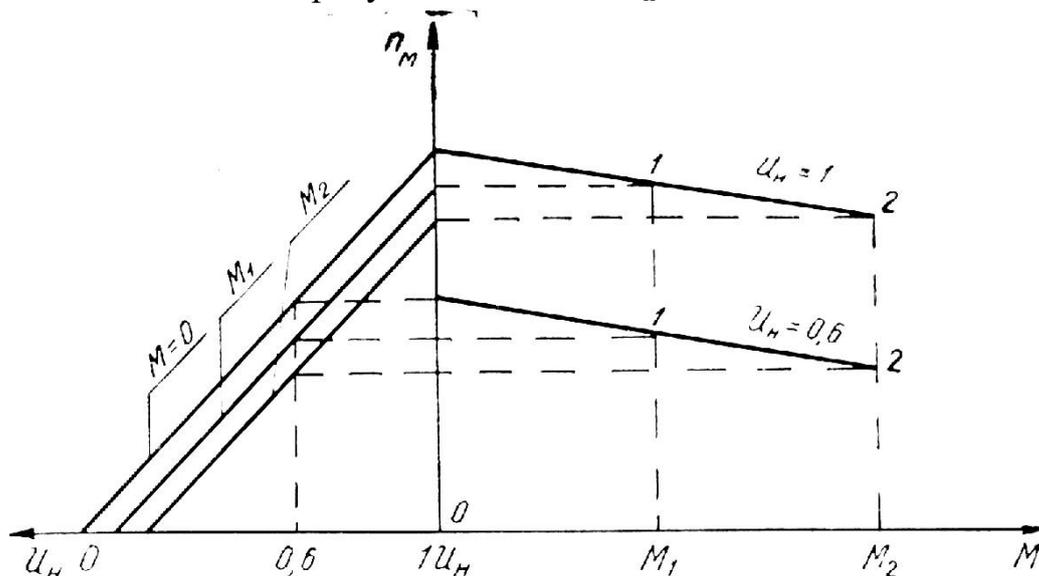


рис. 6. механические характеристики гидропривода.

3. При заданном значении параметра регулирования U_H для пяти-семи ступеней нагрузки (от нуля до максимального значения), создаваемой с помощью тормоза 2, измерить: частоты вращения насоса n_H и гидромотора n_M (тахометрами 15 и 1), а также нагрузки на насосе F и гидромоторе G (с помощью весов 14 и 3). Полученные данные занести в табл. 7.

4. Провести аналогичные измерения при пяти-шести других значениях U_H в пределах от $U_{H \text{ min}}$ до 1.

$$M_H = (F - F_0)l_H, \quad (2.39)$$

5. Разгрузить гидромотор 4 и выключить установку.

6. Вычислить следующие параметры: момент на насосе M_H , N_M , где F_0 - нагрузка на плечо при холостой работе электродвигателя,

$$M_M = Gl_M; \quad (2.40)$$

отделенного от насоса, N ; l_H -длина плеча, м; момент на гидромоторе, M_M , N_M

полезную мощность гидропривода N_n , кВт

$$N_n = M_M \frac{\pi n_M}{30}; \quad (2.41)$$

мощность гидропривода N , кВт

$$N = M_H \frac{\pi n_H}{30}; \quad (2.42)$$

КПД гидропривода η

$$\eta = \frac{N_n}{N}; \quad (2.43)$$

Результаты вычислений записать в табл. 7.

Таблица 7

Измеряемые параметры								Вычисляемые параметры		
U_H	U_T	n_H об/мин	n_M об/мин	P_H МПа	P_M МПа	M_H НМ	M_M НМ	N_H кВт	N_M кВт	$\eta_{гп}$
Регулировочная характеристика гидропередачи										
0	0									
0.2	0									
0.4	0									
0.6	0									
0.8	0									
1.0	0									
Механические характеристики гидропередачи										
1.0	0									
1.0	0.2									
1.0	0.4									
1.0	0.6									
1.0	0.8									
1.0	1.0									
0.8	0									
0.8	0.2									
0.8	0.4									
0.8	0.6									
0.8	0.8									
0.8	1.0									
0.6	0									
0.6	0.2									
0.6	0.4									
0.6	0.6									
0.6	0.8									
0.6	1.0									
0.4	0									
0.4	0.2									
0.4	0.4									
0.4	0.6									
0.4	0.8									

По данным табл. 7 построить характеристики:
 $n_m = f(M)$, $N = f(M)$, $\eta = f(M)$ и $n_m = f(u_H)$, $n_m = f(M)$.

Основные контрольные вопросы

1. Что называют объемным гидроприводом и объемной гидропередачей?
2. Что называют регулируемым гидроприводом и каким путем производится регулирование скорости выходного звена?
3. Изобразите схему гидропривода с объемным регулированием и объясните его работу.
4. Какими преимуществами обладает объемный гидропривод по сравнению с другими типами приводов?
5. Приведите примеры применения гидропривода в технике.
6. Что называют характеристикой объемного гидропривода?
7. Какие параметры необходимы для получения характеристики гидропривода?
8. Что называют полезной мощностью гидропривода и какие параметры необходимы для её определения?
9. Из каких основных узлов состоит установка для испытания объемного гидропривода, назначение этих узлов?

Литература к работе 2. 4: 8, 9, 22, 27, 37, 38, 48.

Список литературы

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): Учебник для гидротехнических специальностей вузов. - Л. Энергоиздат, 1982. - 672с.
2. Альтшуль А.Д., Кисилёв П.Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости): Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Теплогазоснабжение и вентиляция". - М.: Стройиздат, 1975. - 327с.
3. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов (Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др.) - М.: Машиностроение, 1982. - 423с.
4. Большаков В.А., Попов В.Н. Гидравлика. Общий курс: Учебник для вузов. - Киев: Высшая школа. Головное издательство, 1989. - 215с.
5. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: Учебник для вузов. - М.: Энергоиздат, 1984. - 640с.
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. - 304с.
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. - 431с.
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 (Байбаков О.В., Бутаев Д.А., Калмыкова З.А. и др. - М. : Машиностроение, 1974. - 416с.
11. Лабораторный практикум по гидравлике, гидравлическим машинам и гидроприводам: Учебное пособие для студентов вузов (Казарям С.М., Барекян А.Ш., Скубаренко Д.Д., Челышев А.К.) - Ереван: Луйс, 1984. - 319с.
12. Яковлева Л.В. Практикум по гидравлике: Учебное пособие для учащихся с.-х. техникумов. -М.: Агропромиздат, 1990. - 144 с. Башта Т.М. Объёмные насосы и гидравлические приводы гидросистем. - М.: Машиностроение, 1974. - 607с.
13. Гавриленко Б.А., Семичастнов И.Ф. Гидродинамические передачи. - М.: Машиностроение, 1980. - 224с.
14. Гейер В.Г., Дулин В.С., Боруменский А.Г., Заря А.М. Гидравлика и гидропривод. -М.: Недра. 1981. - 295с.
15. Коваль П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин. - М. Машиностроение. 1979. - 319с.
16. Данилов Ю.А., Кирилловский Ю.А., Колпаков Ю.Г. Аппаратура объёмных гидроприводов. -М. : Машиностроение, 1990. -272с.

17. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач. (Под редакцией С.С.Руднёва и Л.Г.Подвидза). - М.: Машиностроение, 1974. - 416с.

18. Васильев Б.А., Герцев Н.А. Гидравлические машины. - М.:Агропромиздат, 1988. - 272 с.

19. Пономаренко Ю.Ф. Испытание гидропередач - М.: Машиностроение, 1969. - 292 с.

20. Докукин А.В. и др. Радиально-поршневые гидромоторы многократного действия. - М.: Машиностроение, 1980. - 288с.

21. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин; Справочник. - М.: Машиностроение, 1983. - 301с.

22. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. - М.: Энергоатомиздат, 1989, - 352 с.

Для заметок

Н.Б. Бехтина

Гидравлика и гидромеханические системы ВС

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 22.11.2021 г.
Формат 60x84/16 Печ. л. 1,75 Усл. печ. л. 1,63
Заказ № 875/1004-УМПЗ4 Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (495) 973-45-68
E-mail: zakaz@itsbook.ru