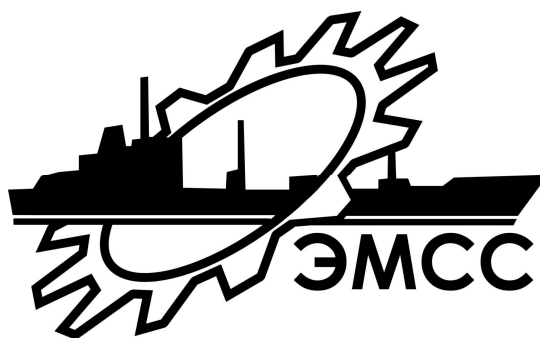




КАВИТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Методические указания
к проведению практического занятия №4
на компьютерном тренажере
со студентами дневной и заочной формы обучения
специальности «Эксплуатация СЭУ»
по дисциплине
«Судовые вспомогательные механизмы,
системы и их эксплуатация»



Севастополь
2010



Кавитационные испытания центробежного насоса: Методические указания к проведению практического занятия №4 на компьютерном тренажере со студентами дневной и заочной формы обучения специальности «Эксплуатация СЭУ» по дисциплине «Судовые вспомогательные механизмы, системы и их эксплуатация» /Сост. С.Н. Ткач, Е.С. Ткач. - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010.- 20с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок» в приобретении навыков проведения кавитационных испытаний центробежного насоса на имитационном компьютерном тренажере при изучении дисциплины «Судовые вспомогательные механизмы, системы и их эксплуатация».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры Энергоустановок морских судов и сооружений, протокол № 1 от 23.08.2010 г.

Рецензент: Гоголев Г.В., канд.техн.наук, доцент кафедры ЭМСС.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Цель работы.....	3
2. Теоретический раздел.....	3
3. Описание испытательного стенда.....	8
4. Порядок выполнения теоретических расчетов.....	9
5. Порядок проведения экспериментальных исследований.....	12
6. Контрольные вопросы	14
Библиографический список.....	14
Приложение А. Физические свойства воды.....	15
Приложение Б. Справочные данные электронасосного агрегата.....	16
Приложение В. Протокол кавитационных испытаний насоса.....	17
Приложение Г. Типы кавитационных испытаний.....	19
Приложение Д. Исходные данные к практическому занятию	20

ВВЕДЕНИЕ

Для надежной эксплуатации центробежного насоса на различных режимах работы, необходимо учитывать его кавитационные качества. Они определяются в результате кавитационных испытаний насоса на специальных стендах по построенным кавитационным характеристикам.

Практическое занятие, выполняемое на компьютерном тренажере, имитирует работу центробежного насоса в составе специального стендового оборудования, предназначенного для проведения кавитационных испытаний насосов.

В процессе испытаний в протокол заносятся показания приборов и результаты расчетов, по которым строятся кавитационные характеристика насоса. Насос считается прошедшим испытания, если параметры и характеристики, полученные при испытаниях, соответствуют техническим данным насоса.

Для сдачи работы необходимо предоставить полностью заполненный и подписанный студентом протокол испытаний насоса с построенными кавитационными характеристиками и анализом технического состояния насоса.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью практического занятия на компьютерном тренажере является:

- проведение кавитационных испытаний центробежного насоса;
- заполнение протокола испытаний;
- построение кавитационных характеристик;
- сопоставление реальных параметров насоса с параметрами, заявленными производителем насоса.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Сущность кавитационных явлений

Кавитацией называют комплекс явлений, протекающих с большими скоростями в центробежных насосах. Эти явления включают ряд последовательно происходящих процессов:

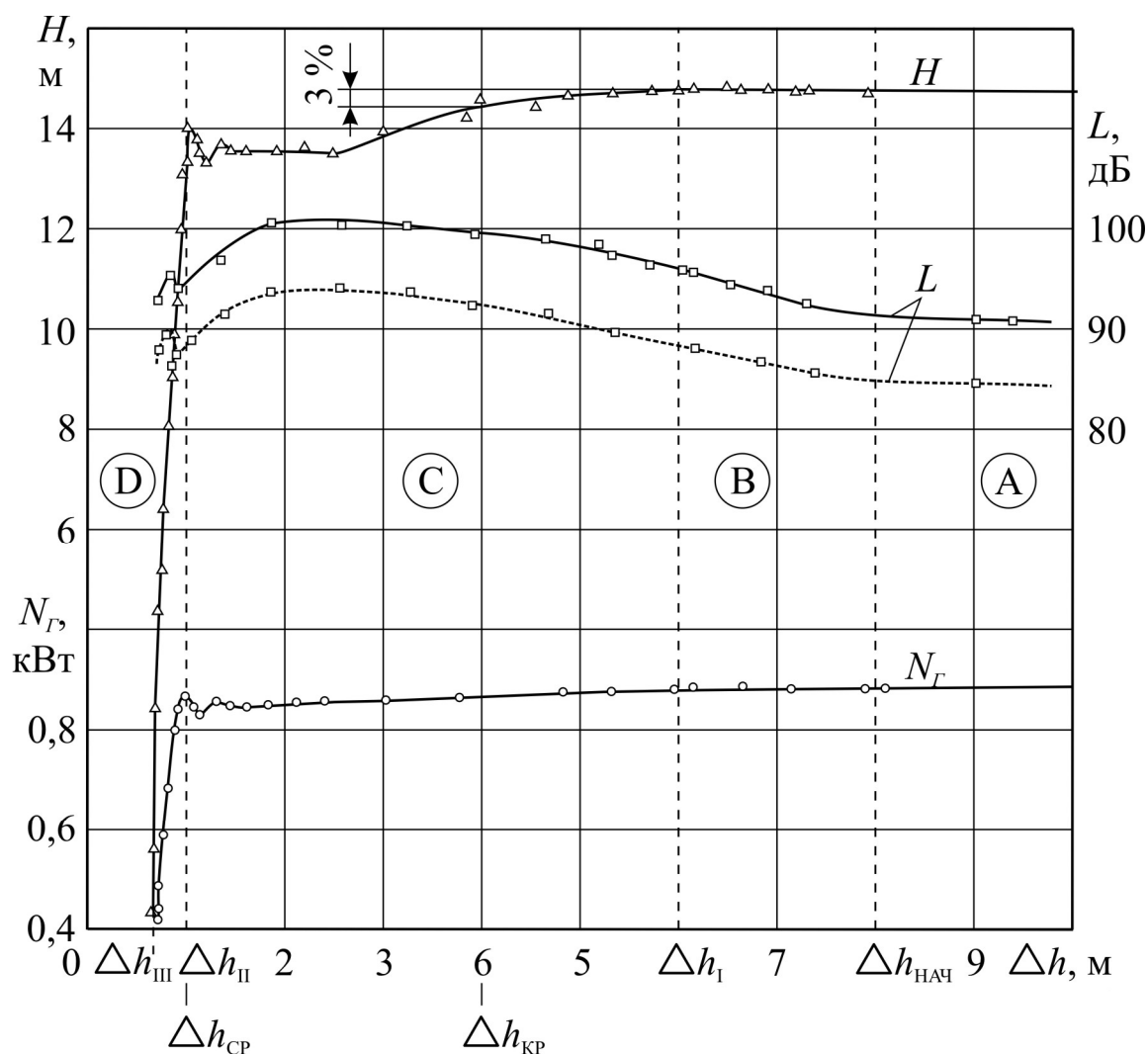
- вскипание жидкости в местах понижения давления в потоке до давления насыщенного пара $P_{\text{н}}$ (для данной температуры жидкости);
- образование пузырьков, заполненных парогазовой смесью;
- перенос потоком пузырьков в канал рабочего колеса в область, где начинается передача энергии от колеса потоку жидкости. Давление повышается, пар мгновенно конденсируется (пузырьки исчезают – схлопываются). В результате столкновения частиц жидкости, стремящейся с большой скоростью заполнить пространство, ранее занимаемое паром, кинетическая энергия переходит в потенциальную с резким повышением местного давления (гидроудар).

Конденсация пузырьков сопровождается эрозионным разрушением конструктивных материалов, характерными гидравлическими шумами, треском, ударами, а также вибрацией насоса [8].

На рисунке 1 показана типичная кавитационная характеристика, полученная при исследовании опытного центробежного консольного насоса [4]. Для обнаружения и исследования кавитации применялись следующие экспериментальные методы: *энергетический* – получение зависимости напора H и гидравлической мощности N_{Γ} от кавитационного запаса Δh при постоянном расходе Q и частоте вращения n ; *виброакустический* – регистрация уровня воздушного шума и вибрации корпуса насоса L ; *визуализации* – изучение картины кавитационного течения с помощью стробоскопа и скоростной (5000 кадров в секунду) киносъемки; *экспресс-метод* – применение двухслойного легкоразрушаемого лакового покрытия для сравнительного эрозионного воздействия различных форм кавитации на поверхность проточной части насоса.

На кавитационной характеристике по мере снижения кавитационного запаса насоса можно отметить четыре области, характеризующиеся различной формой течения.

В области A наблюдается безкавитационное течение (рисунок 1).



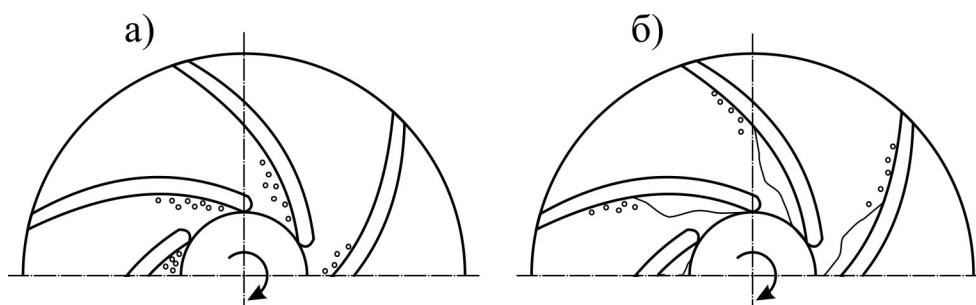
A – область бескавитационного течения; B – неустановившаяся кавитация; C – установившаяся кавитация; D – срывная кавитации

Рисунок 1 – Кавитационная характеристика центробежного насоса

При $\Delta h = \Delta h_{\text{нач}}$ начало возникновения кавитации в образующихся вихрях. Появляется облако пузырьков в пограничном слое на лопастях рабочего колеса и в основном потоке (рисунок 2а). Отмечается появление шума и вибрации насоса. На этой стадии не изменяется величина напора и мощности насоса, а кавитация характеризуется как неустановившаяся (область В).

$\Delta h = \Delta h_I$ – наблюдается начало падения напора и мощности. Отмечается появление каверн и повышается шум и вибрация. Пузырьки сливаются в крупные полости, которые охватывают значительную часть нерабочей поверхности лопастей и загромождают проходное сечение каналов рабочего колеса, что приводит к медленному снижению параметров насоса (рисунок 2б). Эта стадия кавитации характеризуется как установившаяся и определяется областью С на рисунке 1.

$\Delta h = \Delta h_{II}$ – резкое падение напора и мощности. Шум и вибрация падают до уровня безкавитационной работы. Образуются стационарные каверны с вихревым замыканием. Резко снижаются энергетические параметры (напор, подача, мощность), происходит срыв работы насоса. $\Delta h = \Delta h_{III}$ – значительное падение напора и мощности до минимально возможных значений из-за отрыва кавитационной каверны от лопасти и распространение парогазовой полости за пределы межлопастного канала рабочего колеса (область D).



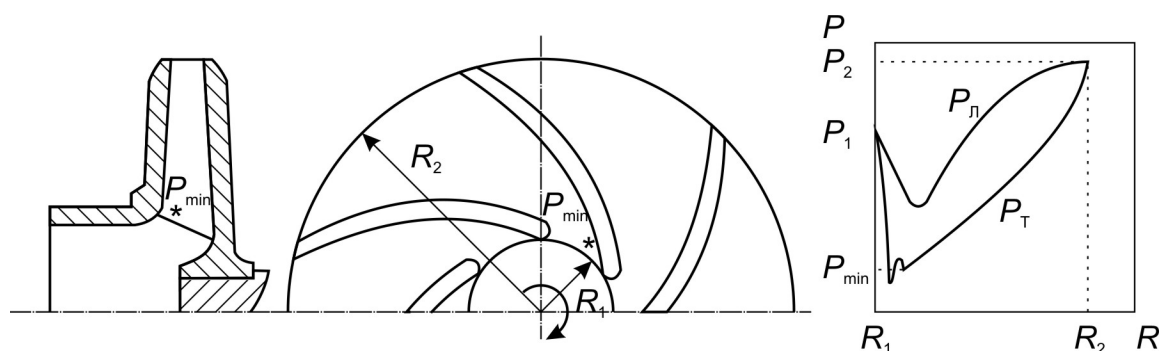
а – неустановившаяся кавитация; б – установившаяся кавитация

Рисунок 2 – Стадии кавитации

Обычно рассматривают следующие критические режимы кавитации [1]:

- первый критический режим, который соответствует падению напора на 3% в установившейся стадии кавитации ($\Delta h = \Delta h_{\text{кр}}$, рисунок 1);
- второй критический (срывной) соответствует резкому падению энергетических параметров насоса, т.е. срыву работы насоса ($\Delta h = \Delta h_{\text{ср}}$);
- третий критический (суперкавитационный) режим соответствует падению напора в несколько раз относительно нормального значения.

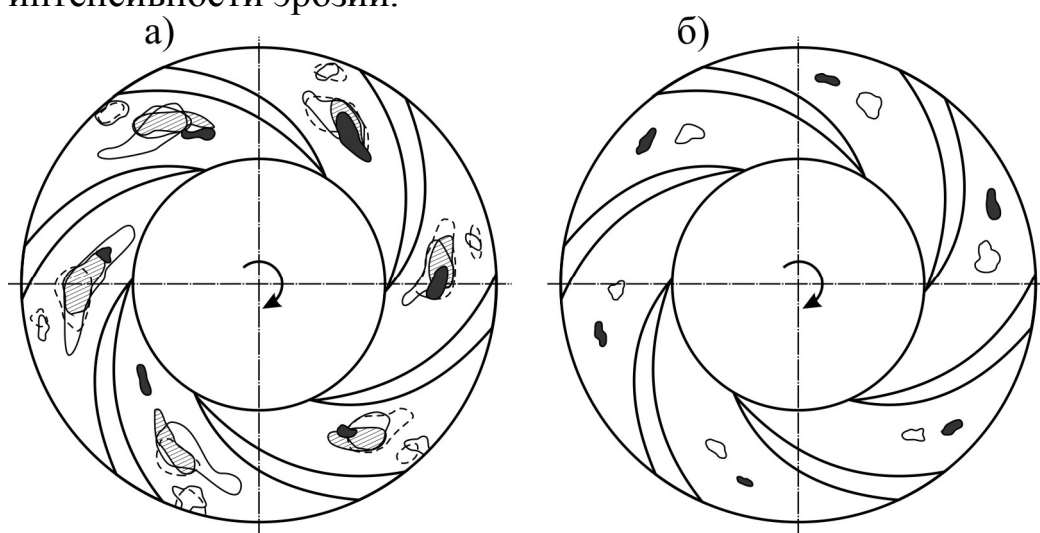
Кавитация возникает на нерабочей (тыльной) поверхности лопасти вблизи ее входной кромки в области падения давления (точка P_{min} на рисунке 3 отмечена звездочкой) до критического значения, равного давлению парообразования $P_{\text{п}}$ при данной температуре жидкости.



P_L – давление на лицевой стороне лопасти; P_T – давление на тыльной стороне лопасти

Рисунок 3 – Распределение давления вдоль лопасти рабочего колеса

Кавитация в насосе приводит к образованию кавитационной эрозии, разрушающей насос. Зоны разрушений диска рабочего колеса, полученные с помощью экспресс-метода, показаны на рисунке 4 и дают примерное представление об интенсивности эрозии.



а) установившаяся кавитация: $\bullet$ – $\Delta h = 6$ м; $\bullet$ – $4,4$ м; $\square$ – $2,93$ м; $\square$ – 2 м;
 б) срывная кавитация: $\square$ – $\Delta h = 1$ м; $\bullet$ – $0,9$ м

Рисунок 4 – Разрушения при кавитационных течениях

Кавитационному разрушению подвержены все материалы. Быстрее всего разрушается чугун, наиболее прочная – аустенитная сталь [8]. Основным преимуществом сталей аустенитного класса являются их высокие служебные характеристики (прочность, пластичность, коррозионная стойкость в большинстве рабочих сред).

Кавитация ограничивает всасывающую способность насоса и зависит как от гидродинамических качеств насоса, так и от физических свойств перекачиваемой жидкости. Получить кавитационные характеристики насоса можно как расчетным, так и экспериментальным путем, который обладает большей точностью [2].

Способы кавитационных испытаний

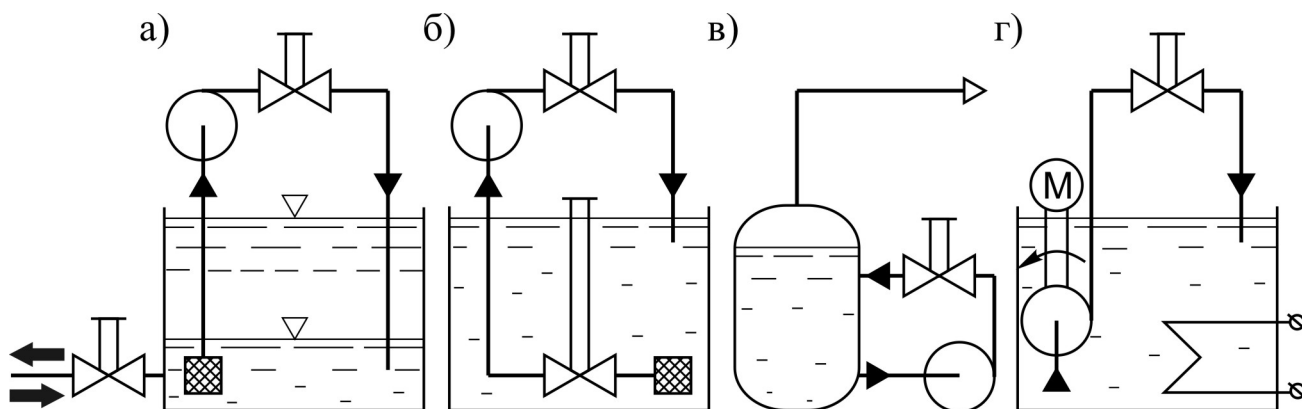
В практике кавитационных испытаний насосов нашли применение несколько способов получения кавитационных характеристик [3, 9].

Серия напорных характеристик, снимаемых при различной высоте всасывания и малом гидравлическом сопротивлении на входе в насос, является наиболее наглядной и лучше всего имитирует эксплуатационные условия. Но испытания трудоемки и требуют высокого стенда, из-за открытости которого не достаточно обеспечивается деаэрация воды (рисунок 5а).

При снятии частных кавитационных характеристик разрежение на входе может регулироваться двумя путями: с помощью дросселя на подводящем трубопроводе (рисунок 5б) и путем создания разрежения в герметичном стенде (рисунок 5в). В первом случае регулирование разрежения приводит к изменению гидравлического сопротивления системы, т.е. для поддержания постоянной подачи при каждом замере приходится устанавливать режим двумя задвижками, что не всегда удобно. Во втором – положение регулирующего подачу органа остается неизменным.

Частные кавитационные характеристики допускается определять и другими методами, приведенными в таблице Г.1 (Приложение Г).

Для насосов, у которых нельзя регулировать давление на входе (например, погружных) рекомендуется снятие напорных характеристик производить при различной температуре жидкости (рисунок 5г).



- а) снятие характеристик при различной высоте всасывания и неизменном гидравлическом сопротивлении на входе в насос; б) регулирование давления перед насосом с помощью дросселя на входе; в) регулирование давления перед насосом путем создания разрежения в герметичном стенде;
- г) снятие характеристик при различной температуре жидкости

Рисунок 5 – Способы получения кавитационных характеристик

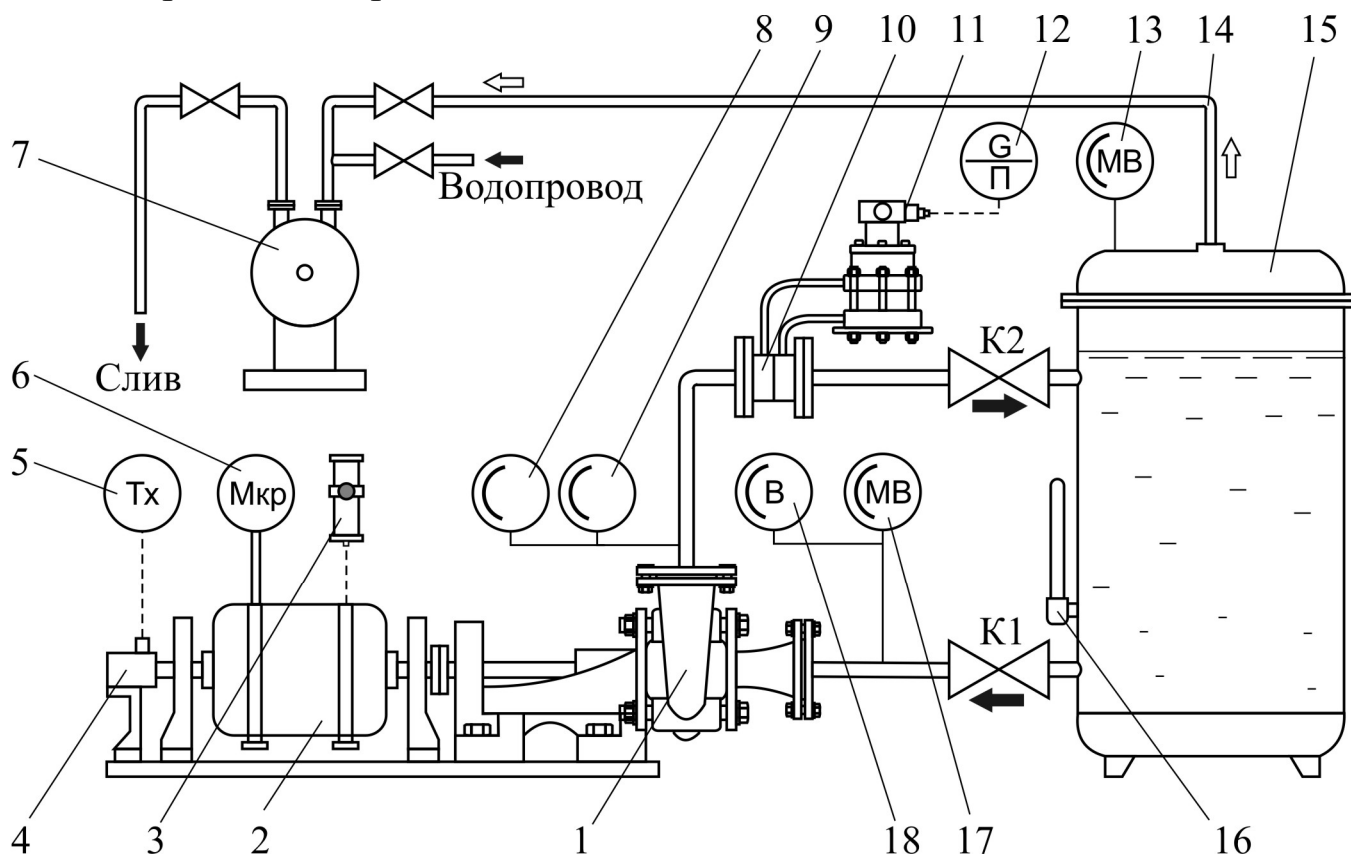
Для крупных насосов кавитационную характеристику следует пересчитывать с характеристики, полученной при модельных испытаниях.

Можно использовать другой критерий кавитации (например, повышение шума) и соответствующий тип кавитационных испытаний.

3. ОПИСАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА

Кавитационные испытания центробежного насоса проводятся на герметичном стенде, принципиальная схема которого представлена на рисунке 6.

Рабочая жидкость из емкости 15 поступает через клапан $K1$ с гидрозатвором к испытуемому насосу. Приводом для вращения насоса 1 является балансирный двигатель 2, который находится в свободном состоянии относительно своей оси с целью измерения крутящего момента динамометром 6. После насоса рабочая жидкость проходит расходомерную диафрагму 10, клапан $K2$ и возвращается обратно в емкость.



1 – центробежный насос; 2 – балансирный двигатель; 3 – реостат; 4 – датчик тахометра; 5 – тахометр; 6 – динамометр для измерения крутящего момента; 7 – вакуумный насос; 8 – манометр (грубый); 9 – манометр точных измерений; 10 – расходомерная диафрагма; 11 – первичный прибор (измерительный); 12 – вторичный прибор (показывающий); 13 – мановакуумметр; 14 – вакуумная магистраль бака; 15 – емкость для рабочей жидкости; 16 – термометр; 17 – мановакуумметр (грубый); 18 – вакуумметр точных измерений; $K1$ – задвижка с гидрозатвором на всасывающем участке трубопровода; $K2$ – затвор регулирования режима

Рисунок 6 – Принципиальная схема герметичного испытательного стенда

Изменение давления в емкости и давления на всасывающем участке создается вакуумным насосом 7 (вакуумметрическое давление) или заполнением емкости из водопровода (избыточное давление).

Стенд имеет следующие контрольно-измерительные приборы:

- тахометр 5 с датчиком 4 для контроля частоты вращения вала насоса n ;
- динамометр 6 для измерения крутящего момента и мощности, потребляемой насосом;
- манометр 8 грубой оценки и манометр 9 для точных измерений избыточного давления воды на выходе из насоса;
- мановакуумметр 17 для грубых и вакуумметр 18 для точных измерений избыточного и вакуумметрического давления жидкости на входе в насос;
- мановакуумметр 13 для измерений избыточного и вакуумметрического давления в емкости;
- первичный 11 и вторичный 12 прибор для контроля перепада давления на расходомерной диафрагме;
- термометр 16 для измерения температуры воды в контуре (закреплен на баке).

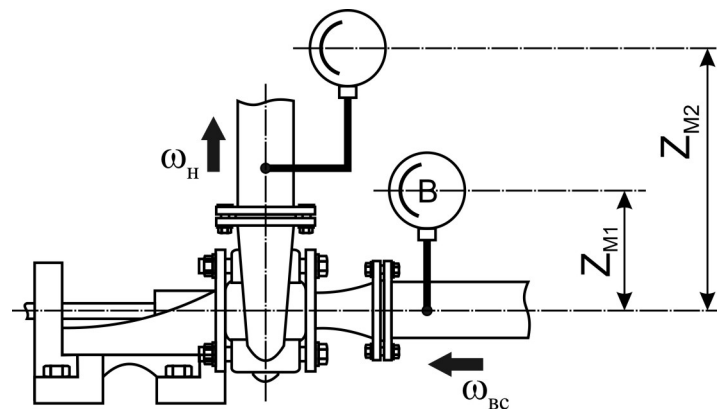


Рисунок 7 – Схема расположения измерительных приборов давления

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Подача насоса Q , м³/с определяется по величине перепада давления ΔP на расходомерной диафрагме

$$Q = 3,39 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot K_t \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}},$$

где α — коэффициент расхода;

ε — поправочный множитель на расширение измеряемой среды;

K_t — поправочный множитель на расширение материала диафрагмы;

d — диаметр отверстия диафрагмы в мм при температуре 20 °С;

ρ — плотность жидкости перед диафрагмой, кг/м³;

ΔP — перепад давления на диафрагме, кгс/см².

Исходя из условий испытаний коэффициент диафрагмы

$$K = 3,39 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot K_t \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho}}$$

принимает постоянное значение $K = 5,02 \cdot 10^{-3}$, а подача насоса Q , м³/с находится по зависимости $Q = K \cdot \sqrt{\Delta P}$.

Напор H , м, создаваемый насосом, находим по формуле

$$H = \frac{P_{\text{н}} - P_{\text{вс}}}{\rho \cdot g} + \frac{\omega_{\text{н}}^2 - \omega_{\text{вс}}^2}{2 \cdot g} + \Delta Z_{\text{м}},$$

где $P_{\text{н}}$ — давление в нагнетательном трубопроводе на выходе из насоса, Па;

$P_{\text{вс}}$ — давление во всасывающем трубопроводе на входе в насос, Па;

ρ — плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;

$\Delta Z_{\text{м}}$ — разность отметок положения приборов для измерения давления в мерных сечениях при входе ($Z_{\text{м1}}$) и на выходе ($Z_{\text{м2}}$) из насоса относительно выбранной эталонной (базовой) плоскости, м (рисунок 7);

$\omega_{\text{н}}$ — скорость жидкости в нагнетательном трубопроводе в месте замера давления, м/с;

$\omega_{\text{вс}}$ — скорость жидкости во всасывающем трубопроводе в месте замера давления, м/с.

g — ускорение свободного падения $g = 9,81$, м/с².

Равенство диаметров трубопровода в месте замера давления на всасывающем и нагнетательном участке циркуляционного контура приводит к равенству скоростей $\omega_{\text{н}}^2 - \omega_{\text{вс}}^2$ и обнуляет динамическую составляющую напора $\frac{\omega_{\text{н}}^2 - \omega_{\text{вс}}^2}{2} = 0$. Равенство положения манометра и вакуумметра на испытательном стенде упрощает нахождение напора, так как $\Delta Z_{\text{м}} = 0$. Тогда напор находим по формуле

$$H = \frac{P_{\text{н}} - P_{\text{вс}}}{\rho \cdot g}.$$

Полезная мощность насоса, Вт, сообщаемая перекачиваемой жидкости вычисляется по формуле

$$N_{\text{пол}} = \rho \cdot Q \cdot H \cdot g,$$

где Q — подача насоса, м³/с;

H — напор, развиваемый насосом, м;

ρ — плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³.

Крутящий момент насоса $M_{\text{кр}}$, Н·м измеряется с помощью корпуса балансира двигателя, который свободно подвешен относительно своей оси. Через рычаг заданной длины он упирается в динамометр. Измеряемый крутящий момент и противодействующий момент равны друг другу. Обычно шкала динамометра градуируется в единицах момента. Тогда, задаваясь длиной рычага и зная измеренную с помощью динамометра силу, крутящий момент находится по формуле

$$M_{\text{кр}} = F_{\text{д}} \cdot r,$$

где $F_{\text{д}}$ — показания динамометра, Н;

r — длина рычага ($r = 0,5$), м.

Потребляемая насосом мощность, Вт находится по формуле

$$N_{\text{потр}} = M_{\text{кр}} \cdot n / 60,$$

где n_1 — обороты двигателя, об/мин.

КПД насоса $\eta_{\text{нас}}$ находится из выражения

$$\eta_{\text{нас}} = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{потр}}}.$$

Кавитационные качества насоса описывают такие понятия, как:

- кавитационный запас Δh ;
- кавитационный коэффициент быстроходности C ;
- вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{в}}$;
- кавитационная характеристика насоса.

Кавитационный запас представляет собой превышение полного напора жидкости во входном патрубке насоса над упругостью ее паров при данной температуре. При этом решающее значение для появления кавитации имеет не абсолютное давление, а его превышение.

Кавитационный запас Δh , м определяют по формуле

$$\Delta h = \frac{P_{\text{вс}}^{\text{абс}} - P_{\text{п}}}{\rho \cdot g} + \frac{\omega_{\text{вс}}^2}{2 \cdot g},$$

где $P_{\text{вс}}^{\text{абс}}$ — абсолютное давление на входе в насос, Па.

$P_{\text{п}}$ — давление паров жидкости, Па. Значение $P_{\text{п}}$ в зависимости от температуры перекачиваемой воды приведены в таблице А.1 (Приложение А);

ρ — плотность жидкости, кг/м³;

$\omega_{\text{вс}}$ — скорость жидкости на входе в насос, м/с.

Абсолютное давление жидкости на входе в насос находится из выражения $P_{\text{вс}}^{\text{абс}} = P_{\text{б}} - P_{\text{вс}}$, Па, если приборы для измерения давления показывают давление на входе меньше атмосферного. Если давление больше атмосферного, то из выражения $P_{\text{вс}}^{\text{абс}} = P_{\text{б}} + P_{\text{вс}}$, где $P_{\text{б}}$ — барометрическое давление при испытании насоса, Па.

При кавитационных испытаниях различают:

$\Delta h_{\text{кр}}$ — критический кавитационный запас, определяемый экспериментально по 3 %-ному падению полного напора первой ступени насоса;

$\Delta h_{\text{доп}}$ — допускаемый кавитационный запас, обеспечивающий работу насоса без изменения основных технических показателей. Для обеспечения безкавитационной работы насоса рекомендуется увеличить критическое значение кавитационного запаса в A раз, т.е. допускаемый кавитационный запас будет равен

$$\Delta h_{\text{доп}} = A \cdot \Delta h_{\text{кр}},$$

где A – коэффициент кавитационного запаса, принимаемый в пределах от 1,0 до 1,3 [3].

Кавитационная характеристика насоса – это графическая зависимость допускаемого кавитационного запаса $\Delta h_{\text{доп}}$ от подачи насоса при постоянных значениях частоты вращения насоса.

Частная кавитационная характеристика – это графическая зависимость основных технических показателей насоса H , N , η от кавитационного запаса Δh при постоянных значениях частоты вращения, подачи, вязкости и плотности жидкости на входе в насос.

Кавитационную характеристику получают в результате снятия частных кавитационных характеристик для постоянных значений подачи $Q_i = \text{const}$ и числа оборотов $n_i = \text{const}$ в рабочей области характеристики насоса. Обычно частные кавитационные характеристики снимают при наименьшей, номинальной и наибольшей подачах рабочего интервала характеристики насоса с отклонениями не более $\pm 5\%$ [3].

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кавитационные испытания насоса проводятся группой из трех студентов в соответствии с заданием, указанным в таблице Д.1 (Приложение Д).

Изменение в широких пределах оборотов двигателя 2 (рисунок 6) производится реостатом 3. Давление на входе в центробежный насос регулируется вакуумным насосом 7.

Пуск насоса

1. Открыть клапан $K1$ на всасывании и $K2$ на нагнетании и заполнить насос рабочей жидкостью.

2. Закрыть клапан $K2$ на нагнетании.

2. Подать электропитание к стенду.

3. Пустить насос, наблюдая за показаниями приборов. Резкие изменения показаний приборов свидетельствуют о ненормальной работе насоса. После создания насосом напора постепенно открыть клапан $K2$ [5].

Проведение замеров

1. Регулируя положение штока клапана $K2$ и изменяя положение рукоятки реостата, установить соответствие Q и n номинальным значениям из таблицы Б.1 (Приложение Б).

2. Регулировочным реостатом установить заданное значение оборотов двигателя n . При этом подача насоса несколько изменится.

3. С помощью вакуумного насоса установить по вакуумметру на входе разрежение исходя из задания в таблице Д.1 (точка №6).

4. Записать показания контрольно-измерительных приборов в протокол испытаний (Приложение В) как точку замера №6 в таблице В.1.

5. Для замера №7 увеличить вакуумным насосом разрежение на входе (точка №7 в таблице Д.1). Записать показания приборов в протокол, как точку №7. Подобным образом, установить показания вакуумметра, соответствующие точкам №8, 9, 10. На каждом режиме записать показания приборов. Стараться не допустить в точке №10 резкого снижения подачи насоса, т.е. срыва в его работе. Это может произойти при слишком большом вакууме на входе. При срыве в работе насоса в точке №10 замер необходимо повторить.

6. Реостатом устанавливаем обороты двигателя n_1 на 40% меньше от заданного значения n . При этом подача насоса примет новое значение.

7. Таким же образом, как в пункте 4...7 произвести замеры, но устанавливая показания вакуумметра для точек №1, 2, 3, 4, 5 (таблица Д.1). Результаты замеров занести в протокол испытаний в точки замера с №1 по №5.

8. Реостатом устанавливаем обороты двигателя n_2 на 40% больше от заданного значения n . При этом подача насоса примет новое значение.

9. Таким же образом, как в пункте 4...7 произвести замеры, но устанавливая показания вакуумметра для точек №11, 12, 13, 14, 15 (таблица Д.1). Результаты замеров занести в протокол испытаний в точки замера с №11 по №15.

10. Записать в протокол испытаний значения барометрического давления и температуры воздуха, свойства перекачиваемой жидкости.

Остановка насоса

1. Плавное закрытие клапана К2. Выключить двигатель.

3. Закрыть клапан К1. Обесточить стенд.

Обработка результатов испытаний

1. Заполнить протокол испытаний, производя вычисления по формулам, приведенным и описанным выше. Привести значения напора H_i , мощности N_i и допустимого кавитационного запаса $\Delta h_{\text{доп}}^i$ к частоте вращения n исходя из задания в таблице Д.1, для чего воспользоваться уравнениями пропорциональности [3]: $H = H_i \cdot (n / n_i)^2$; $N = N_i \cdot (n / n_i)^3$; $\Delta h_{\text{доп}} = \Delta h_{\text{доп}}^i \cdot (n / n_i)^2$.

2. Скорость жидкости на входе в насос $\omega_{\text{вс}}$ рассчитать с учетом, что диаметр трубопровода на входе в насос К50-32-125б равен 50 мм.

3. Кавитационный запас Δh рассчитать по формулам, приведенным в теоретических расчетах.

4. Построить частные кавитационные характеристики для нахождения $\Delta h_{\text{кр}}$ для трех значений подач, полученных при оборотах двигателя n_1 , n , n_2 . Для нахождения критического запаса $\Delta h_{\text{кр}}$ на напорной характеристике отметить падение напора на 3%. Допускаемое значение кавитационного запаса $\Delta h_{\text{доп}}$ найти с учетом коэффициента кавитационного запаса, принимаемого в пределах от 1,0 до 1,3 по формуле, приведенной в теоретических расчетах.

5. Построить кавитационную характеристику зависимости $\Delta h_{\text{доп}} = f(Q)$ на примере рисунка Б.1 (Приложение Б) по трем точкам в рабочем интервале характеристики насоса при заданном значении оборотов насоса n .

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется кавитацией? Как она протекает? Причины появления?
2. Какие стадии развития проходит кавитация?
3. Что называется кавитационным запасом энергии?
4. Что называется критическим и допустимым кавитационным запасом?
5. С какой целью проводятся кавитационные испытания?
6. Как определить срывной кавитационный запас?
7. Способы получения кавитационных характеристик?
8. Какие экспериментальные методы применяют для обнаружения и исследования кавитации?
9. В каком интервале энергетической характеристики строится кавитационная характеристика?
10. В каких пределах принимается коэффициент кавитационного запаса?
11. При каких подачах снимают частные кавитационные характеристики?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрющенко Р.С. Судовое вспомогательное энергетическое оборудование: Учебник/ Р.С. Андрющенко, В.Д. Шилов, Б.Г. Дементьев. - Л.:Судостроение, 1991.-392с.
2. Боровский Б.И., Ершов Н.С. и др. Высокооборотные лопаточные насосы /Под ред. Б.В. Овсянникова, В.Ф. Чебаевского.-М.: Машиностроение, 1975.- 336с.
3. ГОСТ 6134-2007. Насосы динамические. Методы испытаний; Введ. 01.06.2008.-М.:Стандартинформ, 2008.-96с.
4. Лопастные насосы. Под ред. к.т.н. Л.П. Грянко и А.Н. Папира.-Л.: Машиностроение, 1975.- 432с.
5. Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Вспомогательные судовые технические средства. КНД 31.2.002.08-96.-Министерство транспорта Украины, 1996.- 45с.
6. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т.1.-М.: Энергоатомиздат, 1988.-456с.
7. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов.-2-е изд., перераб. и доп. / В.М. Черкасский.-М.:Энергоатомиздат, 1984.-416с.
8. Чиняев И.А. Судовые вспомогательные механизмы. Учебник для вузов водн. трансп. / И.А. Чиняев.-М.:Транспорт, 1989.-295с.
9. Яременко О.В. Испытания насосов. Справочное пособие / О.В. Яременко.-М.:Машиностроение, 1976.-225с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Физические свойства воды

Таблица А.1 – Давление насыщенного пара и плотность воды

Темпера- тура T , °C	Давление пара $P_{\text{п}}$, Па	Плотность ρ , кг/м ³	Темпера- тура T , °C	Давление пара $P_{\text{п}}$, Па	Плотность ρ , кг/м ³
0	610,7	999,80	26	3359,7	996,84
1	656,4	999,88	27	3563,7	996,56
2	705,9	999,92	28	3778,5	996,30
3	757,4	999,96	29	4004,0	996,00
4	812,9	1000,00	30	4241,3	995,70
5	871,8	999,98	31	4491,4	995,36
6	934,9	999,94	32	4557,1	995,00
7	1001,2	999,90	33	5018,8	994,64
8	1072,0	999,84	34	5318,1	994,26
9	1147,3	999,78	35	5622,1	993,90
10	1227,1	999,70	36	5939,9	993,54
11	1311,7	999,60	37	6274,3	993,20
12	1401,5	999,48	38	6624,4	992,80
13	1496,6	999,34	39	6991,2	992,44
14	1597,4	999,20	40	7374,6	992,20
15	1704,0	999,00	41	7776,7	991,70
16	1816,9	998,88	42	8198,3	991,32
17	1936,3	998,72	43	8638,7	990,94
18	2062,3	998,54	44	9099,6	990,54
19	2159,7	998,36	45	9582,1	990,20
20	2336,9	998,20	46	10085,1	989,74
21	2485,0	997,96	47	10611,8	989,34
22	2641,9	997,74	48	11161,9	988,97
23	2807,6	997,54	49	11735,6	988,52
24	2982,2	997,32	50	12334,8	988,10
25	3166,6	997,10			

Примечание – Пересчет давления пара, приведенного в Паскалях (Па) на давление в (кгс/см²), проводят из соотношения: $P_{\text{п}} (\text{Па}) \cdot 1,02 \cdot 10^{-5} = P_{\text{п}} (\text{кгс/см}^2)$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Справочные данные электронасосного агрегата

Таблица Б.1 – Технические данные насоса К50-32-125б в номинальном режиме

Напор H_n , м	Подача Q_n , м ³ /ч	Наружный диаметр ко- леса D_k , мм	Допускаемый кавитац. запас $\Delta h_{д.}$, м	Частота вращения n_n , об/мин	Утечка через сальниковое уплотнение $Q_{ут.}$, л/ч	КПД общий η_n	Мощность насоса $N_{потр.}$, кВт
16	10	115	3,0	2900	0,3...1,0	0,5	0,9

Таблица Б.2 – Технические данные электродвигателя типа 4ПФ [6]

N_n , кВт	I_n , А (220 В)	КПД	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг
4,0	24	0,72	900	5000	0,047	90

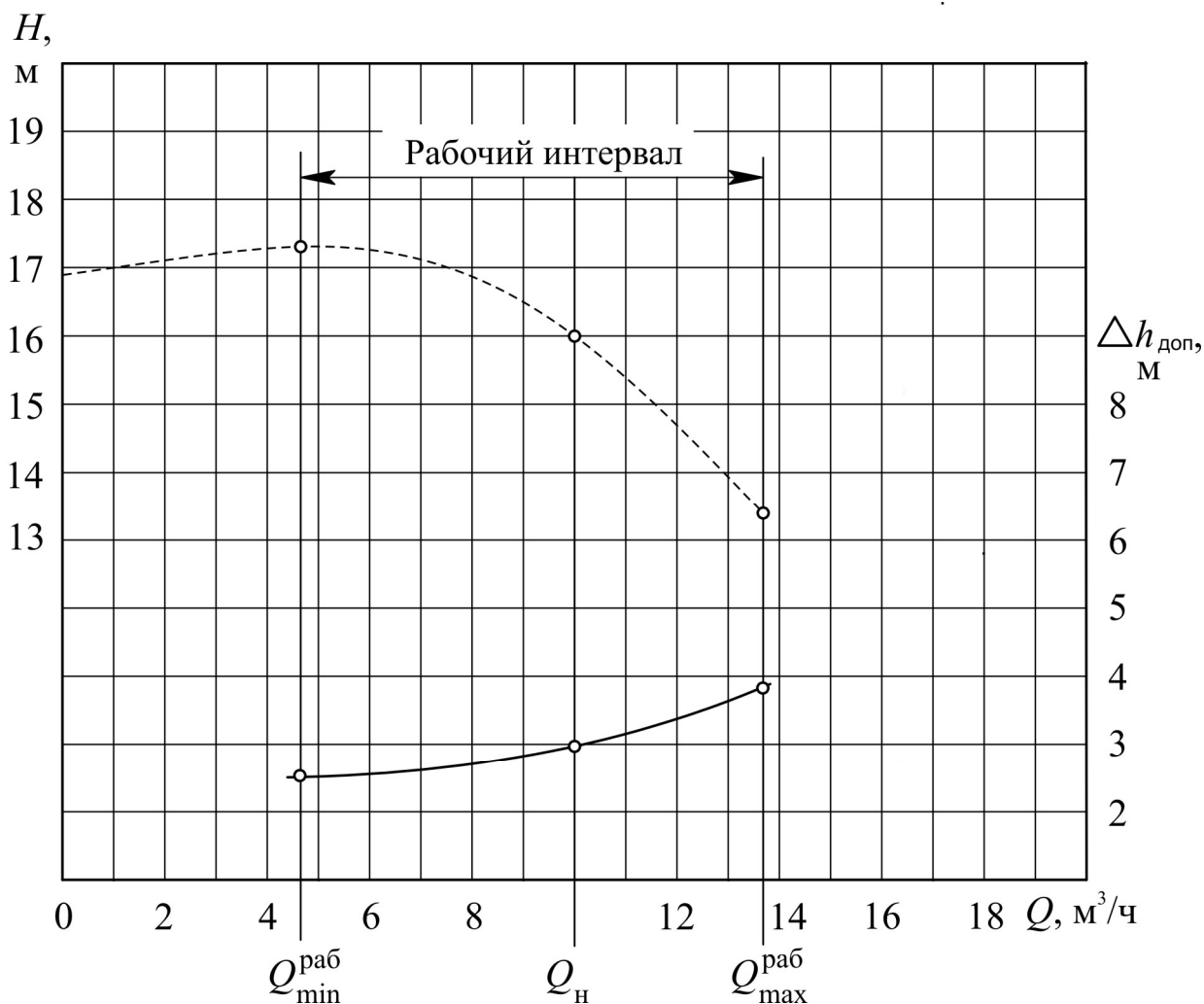


Рисунок Б.1 – Кавитационная характеристика насоса К50-32-125б при частоте вращения – 48 с⁻¹ (2900 об/мин), жидкость – вода, $\rho = 1000$ кг/м³

ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) **Протокол кавитационных испытаний насоса**

Таблица В.1 – Образец протокола кавитационных испытаний консольного центробежного насоса

Номер протокола испытаний		Насос (агрегат)			Дата испытания														
Номинальные показатели насоса		Подача Q_n Напор H_n			Частота вращения n_n Номинальный КПД η_n														
Испытательная среда		Температура $T_{\text{ж}}$ Плотность $\rho_{\text{ж}}$			Давление упругости паров жидкости P_n														
Привод (двигатель)		Изготовитель			Число фаз														
Метод измерения		Тип и исполнение			Частота вращения n														
		Подача Q			Давление входа $P_{\text{вс}}$														
		Использованный метод			Давление выхода P_n														
		Постоянные величины			Разрежение входа $P_{\text{вс}}$														
Условия испытаний		Температура воздуха $T_{\text{возд}}$			Барометрическое давление P_6														
					Поправка на разность отметок установок манометров $\Delta Z_{\text{м}}$														
		Значения измерений																	
Наименование измеряемых величин (параметров)		Единица измерения			при оборотах $n_1 = n \cdot 0,6$									при оборотах $n_2 = n \cdot 1,4$					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Подача Q		Частота вращения n_i			об/мин														
		Перепад на диафрагме ΔP			кгс/см ²														
		Значение подачи Q			м ³ /с														

Заклучение:

Заклучение:

Руководитель испытаний:

(личная подпись)

(ф.и.о)

Представитель заказчика:

(личная подпись)

(ф.и.о)

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Типы кавитационных испытаний

Таблица Г.1 – Методы определения критического кавитационного запаса

Тип установки	Регулируемый орган или показатель	Нерегулируемый орган или показатель	Показатель, изменение которого следует контролировать при регулировании	Кривая напорной характеристики в зависимости от подачи и Δh	Кривая кавитационной характеристики в зависимости от подачи
Открытая схема	Дроссельный клапан на входе	Дроссельный клапан на выходе	Напор, подача, Δh , уровень воды	Рисунок Г.1а	Рисунок Г.1д
	Дроссельный клапан на выходе	Дроссельный клапан на входе		Рисунок Г.1б	Рисунок Г.1е
	Уровень воды	Дроссельный клапан на входе и выходе	Напор, подача, Δh	Рисунок Г.1в	Рисунок Г.1ж
	Дроссельный клапан на входе	Подача	Δh , напор, дроссельный клапан на входе (для постоянной подачи)	Рисунок Г.1и	Рисунок Г.1к
	Уровень воды	Подача	Δh , напор, дроссельный клапан на выходе		
Закрыва́тая схема	Давление в резервуаре	Подача	Δh , напор, дроссельный клапан на выходе (для постоянной подачи, когда напор начинает падать)		
	Температура (давление пара)	Подача	Δh , напор, дроссельный клапан на выходе (для постоянной подачи, когда напор начинает падать)	Рисунок Г.1г	Рисунок Г.3з
	Давление в резервуаре Температура (давление пара)	Дроссельный клапан на входе и выходе	Δh , напор и подача, когда достигнут определенный уровень кавитации		



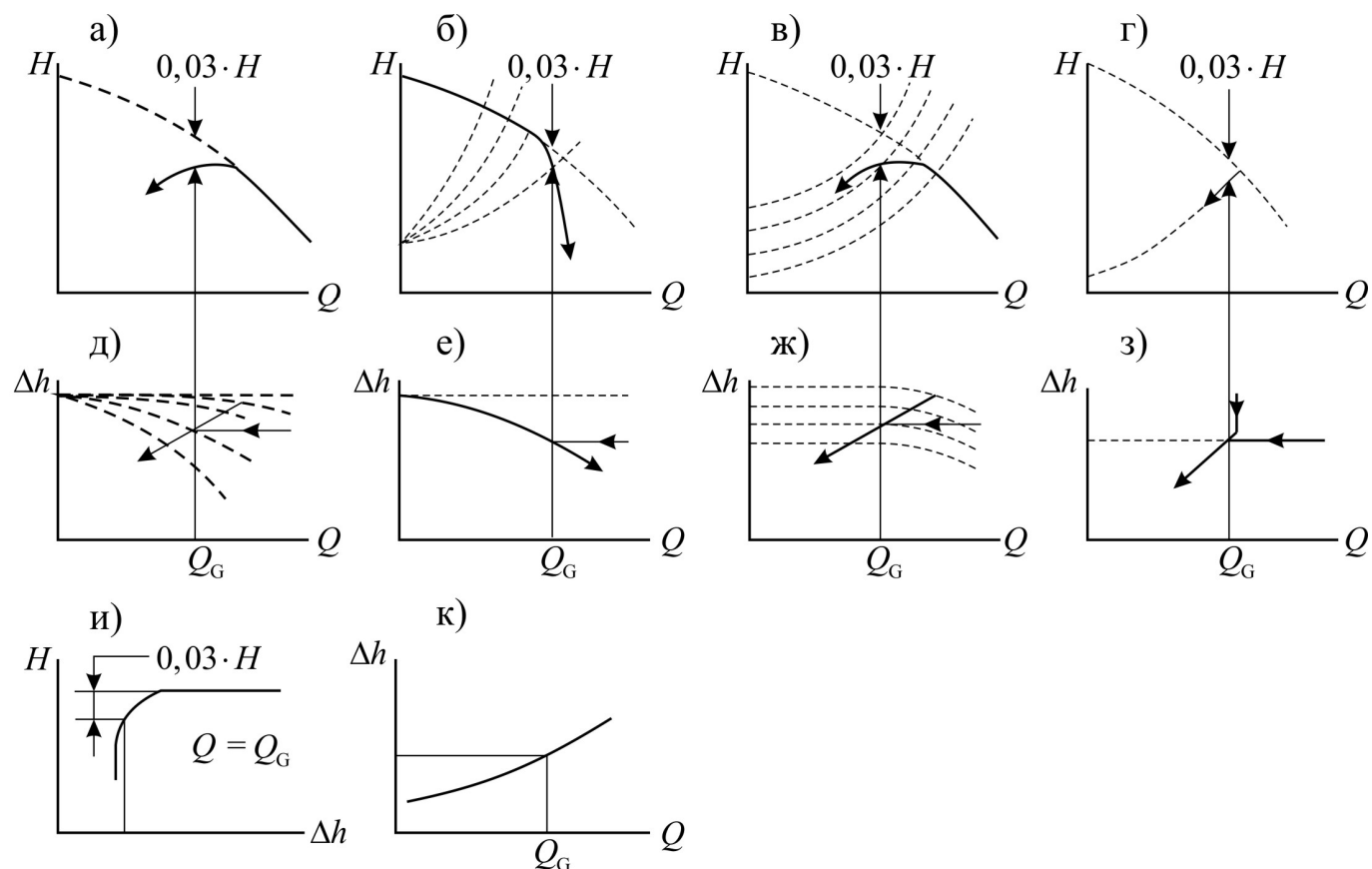


Рисунок Г.1 – Формы характеристик насоса в зависимости от метода определения критического кавитационного запаса

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

Исходные данные к практическому занятию

Таблица Д.1 – Задание для расчета

№ группы	Обороты насоса n , об/мин	Показания вакуумметра, %														
		при оборотах $n_1 = n \cdot 0,6$					при оборотах n					при оборотах $n_2 = n \cdot 1,4$				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2950															
2	2900															
3	2850															
4	2800															
5	2750															
6	2700															
7	2650															
8	2600															
9	2550															
10	2500															

Заказ № _____ от « _____ » _____ 20 ____ . Тираж _____ экз.

Изд-во СевНТУ

