

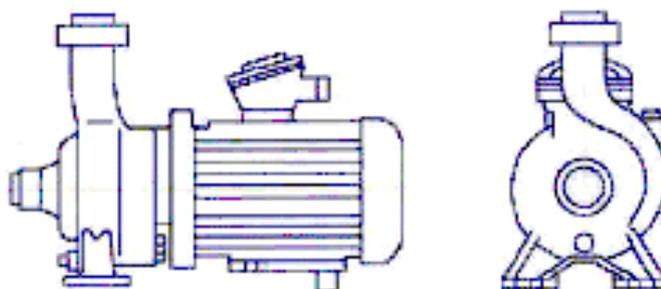
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Брянская государственная сельскохозяйственная академия

Кафедра природообустройства и водопользования

**Каничева Н.В.**

**Методические указания к расчетной работе  
по дисциплине «Насосы и насосные станции»**

для студентов очной и заочной формы обучения  
по направлению: природообустройство  
профиль: инженерные системы с/х водоснабжения, обводнения и водоотведения;  
мелиорация, рекультивация и охрана земель;  
экспертиза и управление земельными ресурсами  
по направлению: землеустройство и кадастры  
профиль: геодезическое обеспечение землеустройства и кадастров



**Брянск 2009**

УДК 621.65:631.6(076)  
ББК 31.56:40.6  
К 19

Каничева Н.В. Методические указания к расчетной работе по дисциплине:  
«Насосы и насосные станции». Брянск. Издательство Брянской ГСХА, 2009 .- 38 с.

В методических указаниях изложена методика выполнения расчетной работы по насосам и насосным станциям. Предназначены для студентов очного заочного обучения специальности «Инженерные системы с/х водонабжения, обводнения и водоотведения», «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»

Методические указания к расчетной работе одобрены методической комиссией кафедры природообустройства и водопользования.

Рецензенты:

к.т.н., доцент БГСХА .

к.т.н., доцент БГИТА Мельникова Е.А.

© Брянская ГСХА, 2009

© Каничева Н.В., 2009

Определение напора насоса и мощности насосной  
установки. Расчет стоимости электроэнергии потребной для  
подъема воды. Регулирование работы насосной установки  
задвижкой.

Насосная установка (рис. 1) подает воду из источника к потребителю с помощью насоса (5). На всасывающем (2) и напорном (10) трубопроводах насосной установки установлены задвижки (9) и монтажные вставки (3). Для измерения давления и вакуума в трубопроводах перед и за насосом чаще всего используются пружинные манометры (6) и вакуумметры (4), которые измеряют соответственно избыточное над атмосферным давлением  $\frac{P_{\text{ман}}}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P}{\gamma}$  - где  $\frac{P}{\gamma}$  абсолютное давление;  $\frac{P_a}{\gamma}$  - атмосферное давление; и вакуум по отношению к атмосферному  $\frac{P_{\text{вак}}}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P}{\gamma}$  выраженные в метрах, водного столба  $\frac{1}{\gamma}$ .

Манометры и вакуумметры через трехходовые краны (7) и подводящие трубки (8) соединены с трубопроводами перед и за насосом. С помощью трехходовых кранов производится «проливка» или «продувка» подводящих трубок в зависимости от наличия в них давления или вакуума. В результате этого подводящие трубки манометров заполняются водой, а вакуумметров - воздухом. Манометр показывает давление, отличное от давления в точке соединения подводящей трубки к трубопроводу. Разница этих давлений соответствует давлению столба жидкости в подводящей трубке. Показания вакуумметра соответствуют вакууму в точке подсоединения подводящей трубки к трубопроводу из-за относительно ничтожно малой плотности воздуха, находящегося в подводящей трубке вакуумметра.

На рис.1 обозначены:

$H_{\Gamma}$  - геодезическая высота подъема воды (м) - расстояние по вертикали между уровнями воды в водоприемнике (верхний бьеф) -  $\nabla \text{ВБ}$  и водоисточнике (нижней бьеф) -  $\nabla \text{НБ}$ .

$$H_{\Gamma} = \nabla \text{ВБ} - \nabla \text{НБ}$$

$h_{\text{в}}$  - геометрическая высота всасывания (м) - расстояние по вертикали от уровня воды в источнике (нижнем бьефе) до оси насоса;

$h_{\text{н}}$  - геометрическая высота нагнетания (м) - расстояние по вертикали от оси насоса до уровня воды в водоприемнике (верхнем бьефе).

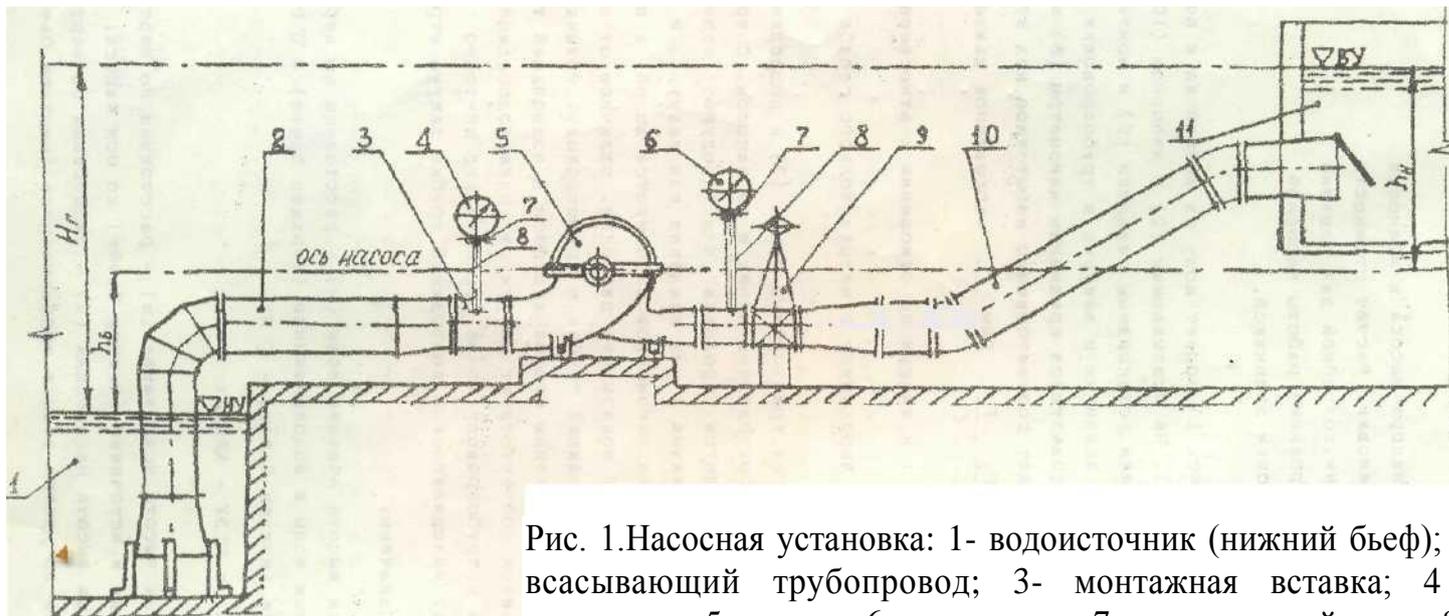


Рис. 1. Насосная установка: 1- водоисточник (нижний бьеф); 2- всасывающий трубопровод; 3- монтажная вставка; 4 - вакуумметр; 5 - насос; 6 – манометр; 7 - трехходовой кран; 8 - подводная трубка; 9 – задвижка; 10 - напорный трубопровод; 11 - водоприемник (верхний бьеф).

$U_{в,н}$  - расстояние по вертикали от центра сечения до точки замера (м) в уравнение Бернулли входит как координата точки с учетом знака относительно центра сечения;

$Z_{в,н}$  - расстояние по вертикали от плоскости сравнения до центра расчетного сечения (м), в уравнение Бернулли входит как координата точки центра сечения с учетом знака относительно плоскости сравнения;

$Z_{изм}$  - расстояние по вертикали между точками замера давления.

$$Z_{изм} = (Z_{в} - U_{в}) - (Z_{н} - U_{н})$$

Может быть так же определено непосредственно из уравнения Бернулли величины  $U_{в,н}$ ,  $Z_{в,н}$ ,  $Z_{изм}$  см. на схемах к примерам.

Геометрическую высоту всасывания считают положительной величиной, если ось насоса расположена выше уровня воды в источнике и отрицательной, если ниже уровня воды в источнике.

Геометрическую высоту нагнетания считают положительной величиной, если ось насоса расположена ниже уровня воды в водоприемнике и отрицательной, если выше уровня воды в водоприемнике.

В пособии рассматриваются три типа насосных установок:

- с положительной высотой всасывания;
- с отрицательной высотой всасывания;
- сифонного типа.

В ходе, выполнения расчетной работы неоднократно используется уравнение Бернулли, при записи которого необходимо иметь в виду следующее:

1. Для двух поперечных сечений потока жидкости должны быть учтены все источники потерь и повышения энергии, находящиеся между этими сечениями.
2. Входящие в уравнение Бернулли величины давлений в жидкости ( $p$ ) могут быть взяты в левой точке поперечного сечения потока, в том числе и на поверхности открытого источника, где оно известно и равно атмосферному.
3. Скорости жидкости во всех поперечных сечениях потока принимаются равномерными, средние величины которых  $V = Q/\omega$ , где  $Q$  – расход жидкости через сечение,  $\omega$  - площадь поперечного сечения потока. На самом деле скорости вдоль поперечных сечений неравномерны. Однако, для практических расчетов допущение об их постоянстве вполне приемлемо.
4. Горизонтальная плоскость сравнения может быть расположена произвольно. Однако, для упрощения расчетов в качестве плоскости сравнения лучше всего принимать плоскость, проходящую по поверхности воды в водоисточнике или в водоприемнике, либо горизонтальную плоскость, проходящую через отметку оси насоса, от которой ведется отсчет высот всасывания и нагнетания.

З А Д А Н И Е № 1

«Определение напора и мощности насосной установки»

Студент \_\_\_\_\_, факультет \_\_\_\_\_, группа \_\_\_\_\_

Исходные данные:

| УНБ | УВБ | $h_B$ , м | $d_B$ , м | $d_H$ , м | $D$ , м | $L_H$ , м | Местные потери |              | $\zeta$ | $Q$ м <sup>3</sup> /с |
|-----|-----|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|----------------|--------------|---------|-----------------------|
|     |     |           |           |           |         |           | $h_{TB}$ , м   | $h_{TH}$ , м |         |                       |
| 100 | 152 | 5         | 0,8       | 0,8       | 0,9     | 400       | 0,27           | 0,31         | 0,06    | 0,9                   |

Примечания:

1. коэф. сопротивления задвижки  $\zeta$  и подача насоса  $Q$  заданы при полностью открытой задвижке,
- 2- местные потери в нагнетательной линии заданы с учетом потерь в задвижке.

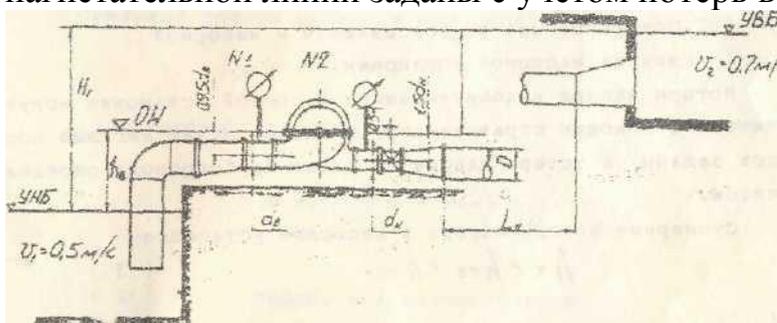


Рис.2. Насосная установка с положительной высотой всасывания

Таблица 2. Удельные сопротивления  $A$  для стальных труб.

|         |        |       |        |        |        |        |       |      |
|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| Диаметр | 1,00   | 0,90  | 0,80   | 0,70   | 0,60   | 0,50   | 0,40  | 0,30 |
| $A$     | 0,0017 | 0,003 | 0,0055 | 0,0110 | 0,0230 | 0,0580 | 0,190 | 0,85 |

Требуется:

1. Определить напор насоса по формуле:  $H = H_T + h_T + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$
2. Определить показания приборов №1 и №2.
3. Определить напор насоса по показаниям приборов.
4. Определить стоимость электроэнергии за 100 суток работы установки при 21-часовой работе в сутки с учетом стоимости электроэнергии  $a = 200$  руб/кВт х час; к.п.д. насоса  $\eta_H = 0,82$  и к.п.д. электродвигателя  $\eta_D = 0,92$ .
5. Определить коэффициент сопротивления закрытой задвижки, если с закрытием ее мощность насоса уменьшается на 23%, а напор увеличивается на 18% от исходных величин при полностью открытой задвижке, при этом КПД насоса снизится до 85% от исходного, а у двигателя не изменится.

Срок выдачи задания \_\_\_\_\_ Срок сдачи задания \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_ Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

## ПРИМЕР 1

Схема насосной установки, исходные и справочные данные приведены на рис.1 и в таблицах 1 и 2.

Отметка уровня воды в нижней бьефе ниже, а в верхнем-выше отметки оси насоса. В этом случае насос имеет положительные высоты всасывания и нагнетания. Геодезическая высота подъема воды

$$H_r = h_B + h_n, \text{ м} \quad (1)$$

Порядок расчета:

### 1.Определение напора насоса.

#### 1.1.Геодезическая высота подъем

$$H_r = \nabla ВБ - \nabla НБ, \text{ м} \quad (2)$$

где

$\nabla ВБ, \nabla НБ$  - отметки уровней воды в верхнем и нижнем бьефах

$$H_r = 152 - 100 = 52, \text{ м}$$

#### 1.2.Потери напора во всасывающей и напорной линиях насосной установки.

Потери напора в коммуникациях насосной установки могут быть рассчитаны с помощью справочников, в нашем случае местные потери напора заданы, а потери напора по длине трубопровода определяются расчетом.

Суммарные потери напора в насосной установке

$$h_T = h_{ТВ} + h_{ТН} \quad (3)$$

где

$h_{ТВ}, h_{ТН}$  - потери напора во всасывающей и напорной линиях соответственно,

$$h_{ТВ} = h_{ТВМ} + h_{ТВЛ}, \text{ м} \quad (4)$$

$$h_{ТН} = h_{ТНМ} + h_{ТНЛ}, \text{ м} \quad (5)$$

здесь

$h_{ТВМ}, h_{ТНМ}$  – местные потери напора на всасывающей и напорной линиях. Их величины приведены в задании.

$h_{ТВЛ}, h_{ТНЛ}$  – потери напора по длине трубопровода.

Потери напора по длине трубопровода можно определить по удельным сопротивлениям, зависящим от диаметра трубопровода.

$$h_{ТЛ} = A \times Q^2 L_{ТЛ}, \text{ м} \quad (6)$$

где  $A$  - удельное сопротивление трубопровода ( $\text{сек}^4/\text{м}^3$ ),

$Q$  – подача насосной установки ( $\text{м}^3/\text{сек}$ ),

$L_{ТЛ}$  – длина трубопровода, м.

В нашем случае принимаем, что длина всасывающего трубопровода мала, поэтому потери напора по длине его близки к нулю и в расчете не учитываются, т.е.

$$h_{ТВЛ} = 0$$

Потери напора по длине напорного трубопровода из стали диаметром  $D=0,9\text{ м}$  ( $A= 0,003 \text{ сек}^4/\text{м}^3$ ), длиной  $L = 400\text{ м}$ .

$$h_{\text{ТН}}=A \times Q^2L = 0,003 \times 0,9^2 \times 400 = 0,97 \text{ м}$$

Потери напора во всасывающей и напорной линиях (в соответствии с (4) и (5)):

$$h_{\text{ТВ}}= 0,27+0= 0,27 \text{ м}$$

$$h_{\text{ТН}}= 0,31+0,97= 1,28 \text{ м}$$

Суммарные потери напора в насосной установке (по (3)):

$$h_{\text{т}} = 0,27+1,28 = 1,55 \text{ м.}$$

### 1.3. Напор насоса:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{т}} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \text{ м,} \quad (7)$$

Где  $V_1 = 0,5 \text{ м/с}$  - скорость в водоисточнике;

$V_2 = 0,7 \text{ м/с}$  скорость в водоприемнике.

$$H = 52+1,55+ \frac{0,7^2 - 0,5^2}{19,62} = 53,56 \text{ м}$$

## 2. Определение показаний приборов на всасывающей и напорной линиях насосной установки.

### 2.1. Прибор на всасывающей линии.

На всасывающей линии насосной установки с положительной высотой всасывания устанавливается вакуумметр. Для определения его показаний составляется уравнение Бернулли для сечений 1 - 1 и В - В. Плоскость сравнений 0 - 0 проходит через ось насоса. В сечении I - 1 расчетную точку, где измеряется давление назначаем на свободной поверхности водоисточника (точка 1 на рис.3).

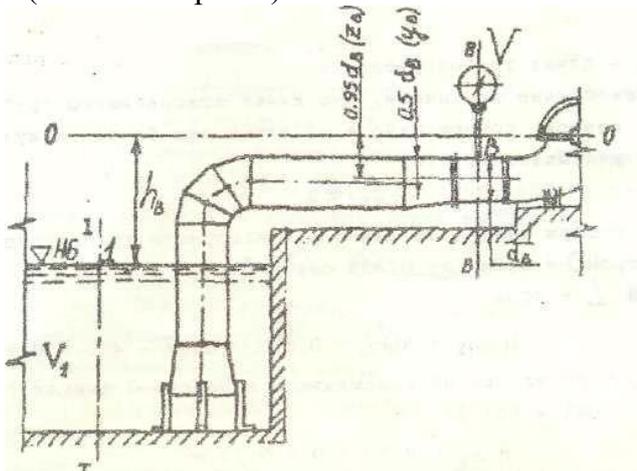


Рис. 3. Схема для определения показаний прибора №1.

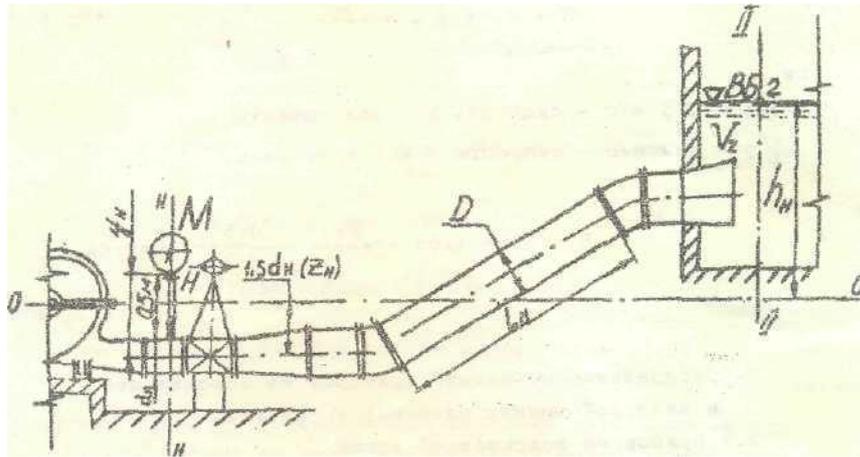


Рис.4. Схеме для определения показаний прибора №2.

В сечении B-B- на образе присоединительной трубки вакуумметра (точка В на рис.3):

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - h_B = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} - Z_B + y_B - h_{TB} \quad (8)$$

где  $\frac{P_a}{\gamma}$  - атмосферное давление, выраженное в метрах водного столба, м;

$\frac{P_B}{\gamma}$  - абсолютное давление в точке В, отнесенное к объемному весу воды, м;

$h_B$  - высота всасывания,  $h_B = 5$  м (см. задание);

$Z_B$ - расстояние по вертикали от плоскости сравнения до центра сечения В-В, м;

$$Z_B = 0,95 d_B;$$

$y_B$  - расстояние по вертикали от центра сечения до точки замера давления, м ;

$$y_B = 0,5 d_B;$$

$V_1, V_B$  - скорости потока соответственно в сечениях 1 - 1 и В - В;

$h_{TB}$  - потери напора во всасывающей линии насосной установки (см. п.1.2.)

$\gamma$  - объемный вес воды,  $1 \text{ т/м}^3$ ;

$g$  - ускорение свободного падения,  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

Необходимо отметить, что величина  $h_B$  рассматривается в (8) как координата точки 1 относительно плоскости сравнения 0-0, а не как геометрическая высота всасывания - понятие характеризующее насосную установку.

Записываем уравнение (8) с учетом, того, что

$$\frac{P_B}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{B\text{вак}}}{\gamma}$$

т.е.

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - h_B = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{B\text{вак}}}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} - Z_B + y_B + h_{TB} \quad (9)$$

здесь  $\frac{P_{\text{вак}}}{\gamma} = h_{B\text{вак}}$  - показания вакуумметра, выраженное в метрах водного столба.

Преобразуем уравнение (9), перенеся  $\frac{P_{B\text{вак}}}{\gamma}$  в левую часть и окончательно получим

$$h_{\text{ввак}} = h_{\text{в}} + h_{\text{ТВ}} + \frac{V_B^2 - V_1^2}{2g} - Z_B + y_B \quad (10)$$

Для решения уравнения (10) необходимо определить:

$$V_B = \frac{Q}{\omega_B} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 0,8^2} = 1,79 \text{ м/с},$$

$$Z_B = 0,95 \times 0,8 = 0,76 \text{ м}$$

$$y_B = 0,5 \times 0,8 = 0,4 \text{ м}$$

тогда:  $h_{\text{ввак}} = 5 + 0,27 + \frac{1,79^2 - 0,5^2}{19,62} - 0,76 + 0,4 = 5,06 \text{ м}$

## 2.2. Прибор на напорной линии (рис.4).

На напорной линии установки данного типа установлен манометр, так как насос установлен ниже уровня воды в водоприемнике. Для определения его показаний составляем уравнение Бернулли для сечений Н - Н и 2 - 2. Плоскость сравнения 0 - 0 проходит через ось насоса. В сечении Н-Н расчетную точку Н назначаем на оси трехходового крана, а в сечении 2 - 2 расчетную точку целесообразно выбрать на поверхности воды - точка 2.

Аналогично (8), с учетом параметров рассматриваемой схемы запишем:

$$\frac{P_H}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - Z_H + y_H = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_H + h_{\text{ТН}} \quad (11)$$

где  $\frac{P_H}{\gamma}$  - абсолютное давление в точке Н, отнесенное к объемному весу

воды  $\gamma$ , м;

$V_H, V_2$  - скорость в сечениях Н - Н и 2 - 2 ;

$Z_H$  - расстояние по вертикали от плоскости сравнения 0 - 0 до центра сечения Н - Н, м;

$y_H$  - расстояние по вертикали от центра сечения Н - Н до точки замера давления, м;

$h_H$  - высота нагнетания, в данном уравнении имеет значение координаты точки 2 относительно плоскости сравнения 0 - 0, м (см. п.1.2);

$h_{\text{ТН}}$  - потери напора в нагнетательной линии установки, м.

Перепишем (11) с учетом того, что

$$\frac{P_H}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_{\text{НМАН}}}{\gamma}, \quad (12)$$

$$\text{т.е. } \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_{\text{НМАН}}}{\gamma} + \frac{V_H^2}{2g} - Z_H + y_H = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_H + h_{\text{ТН}} \quad (13)$$

Здесь

$\frac{P_{\text{НМАН}}}{\gamma} = h_{\text{НМАН}}$  - показание манометра, выраженное в метрах водного столба.

Преобразуем (13), оставив части  $\frac{P_{HMAH}}{\gamma}$  и собрав в правой части остальные члены уравнения

$$\frac{P_{HMAH}}{\gamma} = h_{HMAH} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_a}{\gamma} + h_H + h_{TH} + \frac{V_2^2 - V_H^2}{2g} + Z_H - y_H \quad (14)$$

Окончательно получим:

$$h_{HMAH} = h_H + h_{TH} + \frac{V_2^2 - V_H^2}{2g} + Z_H - y_H \quad (15)$$

Для решения уравнения (15) определяем;

$$Z_H = 1,5 \text{ д}_H = 1,5 \times 0,8 = 1,2 \text{ м}$$

$$y_H = 0,5 \text{ д}_H + 0,5 \text{ м} = 0,5 \times 0,8 + 0,5 = 0,9 \text{ м}$$

$$h_H = H_{\Gamma} - h_B = 52 - 5 = 47 \text{ м}$$

$$V_H = \frac{Q}{\omega_H} = \frac{4 \cdot Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 0,8^2} = 1,79 \text{ м/с}$$

$$\text{Тогда } h_{HMAH} = 47 + 1,28 \text{ м} + \frac{0,7^2 - 1,79^2}{19,62} + 1,2 - 0,9 = 48,44 \text{ м}$$

### 3. Определение напора насоса по показаниям прибора.

Исходным уравнением для расчета напора в этом случае также является уравнение Бернулли для сечений В - В и Н - Н относительно плоскости сравнения 0-0, проходящую как и ранее через ось насоса.

$$\frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} - Z_B + y_B = \frac{P_H}{\gamma} + \frac{V_H^2}{2g} - Z_H + y_H - H \quad (16)$$

В этом уравнении используются величины, определенные в предыдущих разделах расчетной работы и здесь не поясняются.

Преобразуем уравнение (16), перенеся Н в левую часть, остальное - в правую.

После исключения  $\frac{P_a}{\gamma}$ , получим

$$H = h_{BBAH} + h_{HMAH} + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g} + (Z_B - Z_H + y_H - y_a) \quad (17)$$

Здесь  $Z_B - Z_H + y_H - y_B = Z_{изм}$  - расстояние по вертикали между точками

$$Z_{изм} = 0,76 - 1,2 + 0,9 - 0,4 = 0,06 \text{ м}$$

Подставив в уравнение (17) определенные ранее величины получим:

$$H = 5,06 + 48,44 + \frac{1,79^2 - 1,79^2}{19,62} + 0,06 = 53,56 \text{ м}$$

#### 4. Определение стоимости электроэнергии, затраченной на подъем воды.

##### 4.1. Мощность насосной установки.

$$N = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_H \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{пер}} \eta_c}, \text{ кВт} \quad (18)$$

Где

$\eta_H$  - КПД насоса,  $\eta_H = 0,82$ ;

$\eta_{\text{дв}}$  - КПД электродвигателя,  $\eta_{\text{дв}} = 0,92$ ;

$\eta_{\text{пер}}$  - КПД передачи, при соединении двигателя и насоса с помощью механической муфты,  $\eta_{\text{пер}} = 1$ ;

$\eta_c$  - КПД сети, учитывает потери от распределительного устройства до двигателя, в данном случае  $\eta_c = 1$ .

$$N = \frac{9,81 \cdot 0,9 \cdot 53,56}{0,82 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot 1} = 626,83, \text{ кВт}$$

##### 4.2. Электроэнергия, затраченная на подъем воды.

$$\mathcal{E} = N \times T \quad (19)$$

где

$T$  - время работы насосной установки, ч.

$$T = 21 \times 100 = 2100 \text{ ч}$$

$$\mathcal{E} = 626,83 \times 2100 = 1316343, \text{ кВтч}$$

##### 4.3. Стоимость электроэнергии.

$$A = \mathcal{E} \times a \quad (20)$$

здесь

$a$  - стоимость 1 кВтч электроэнергии, руб/кВтч (см. задание)

$$A = 1316343 \times 200 = 263268600 \text{ руб}$$

## 5. Определение коэффициента сопротивления прикрытой задвижки.

При прикрытии задвижки, установленной на напорном трубопроводе после насоса, увеличивается её сопротивление, что приводит к уменьшению подачи насоса.

Подачу насоса при прикрытой задвижке ( $Q_x$ ) определим, используя для этого формулу мощности насоса:

$$N_H = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_H} \quad (21)$$

По условию задания с прикрытием задвижки мощность насоса уменьшается на 23 %, напор увеличится на 18 %, КПД снижается до 85 % от исходного значения, т.е.

$$N_{HX} = (1-0,23) N_H = 0,77 N_H$$

$$H_x = (1+0,18)H = 1,18 H$$

$$\eta_{HX} = 0,85 \eta_H$$

С учетом этого выражения (21) можно записать следующим образом:

$$0,77 N_H = \frac{9,81 \cdot Q_x \cdot 1,18H}{0,85 \cdot \eta_H}$$

откуда

$$Q_x = \frac{0,77 N_H \cdot 0,85 \eta_H}{1,18 H \cdot 9,81}$$

Подставив вместо  $N_H$  выражение (21) получим:

$$Q_x = \frac{0,77 \cdot 0,85 \eta_H}{1,18 H \cdot 9,81}$$

$$\frac{9,81 Q_H}{\eta_H} = \frac{0,77 \cdot 0,85 \cdot Q}{1,18} \quad (22)$$

тогда

$$Q_x = \frac{0,77 \cdot 0,85 \cdot 0,9}{1,18} = 0,499 \text{ м}^3 \text{ с}$$

С изменением подачи насоса изменяются скорости потока и гидравлические сопротивления во всасывающей и напорной линиях насосной установки. Скорости и потери напора для нового расхода  $Q$  можно рассчитать по рассмотренным ранее формулам. Однако с достаточной степенью точности можно использовать квадратичный закон гидравлических сопротивлений, согласно которому

$$\frac{h_{ТХ}}{h_{Т}} = \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2; \quad \frac{V_X}{V} = \frac{Q_X}{Q}, \text{ т.е}$$

$$h_{ТХ} = h_{Т} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2; \quad \frac{V_X^2}{2g} = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2$$

Учитывая также, что с прикрытием задвижки напор насоса увеличился на 18 % из выражения напора (7), получим

$$h_{ТХ} = 1,18H - h_{Г} - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2 = 1,18 \times 53,56 - 52 - \frac{0,7^2 - 0,5^2}{19,62} \cdot \left(\frac{0,499}{0,9}\right)^2 = 11,197 \text{ м}$$

Потери напора во всасывающей линии насосной установки при прикрытой задвижке:

$$h_{ТВХ} = h_{ТВ} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2 = 0,27 \left(\frac{0,499}{0,9}\right)^2 = 0,083 \text{ м}$$

Потери напора определим взяв за основу уравнение (3)

$$h_{ТНХ} = h_{ТХ} - h_{ТВХ} = 11,197 - 0,083 = 11,11 \text{ м}$$

Для того, чтобы найти потери напора в прикрытой задвижке, представим потери напора в напорной линии как сумму потерь напора в задвижке  $h_{зХ}$  и в оставшейся части напорной линии  $h_{БзХ}$ .

$$h_{ТНХ} = h_{БзХ} + h_{зХ}, \text{ м} \quad (23)$$

тогда

$$h_{зХ} = h_{ТНХ} - h_{БзХ} \quad (24)$$

Для определения потерь напора в напорной линии можно воспользоваться законом квадратичного сопротивления

$$h_{БЗХ} = h_{БЗ} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2 \quad (25)$$

где 
$$h_{БЗ} = h_{ТН} - h_3 \quad (26)$$

в свою очередь

$$h_3 = \zeta_3 \frac{V_H^2}{2g} \quad (27)$$

где  $\zeta_3 = 0,06$  - коэффициент сопротивления полностью открытой задвижки (см. задание)

$$h_3 = 0,06 \frac{1,97^2}{19,62} = 0,0098 \text{ м}$$

Тогда

$$h_{БЗ} = h_{ТН} - h_3 = 1,28 - 0,0098 = 1,27 \text{ м}$$

$$h_{БЗХ} = 1,27 \left(\frac{0,499}{0,9}\right)^2 = 0,39 \text{ м}$$

Теперь можно определить потери в прикрытой задвижке по уравнению (24)

$$h_{3X} = 11,11 - 0,39 = 10,72 \text{ м}$$

Коэффициент сопротивления прикрытой задвижки определится из уравнения (27) с учетом необходимых изменений и дополнений

$$\zeta_{3X} = \frac{h_{3X}}{\frac{V_H^2}{2g} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2} \quad (28)$$

$$\zeta_{3X} = \frac{10,72}{\frac{1,79^2}{2 \cdot 9,81} \left(\frac{0,499}{0,9}\right)^2} = 213,5$$

## 6. Определение показаний прибора №2 (манометра) при прикрытой задвижке.

Показания манометра определим по выражению (15) с учетом изменения потерь напора и скоростей после прикрытия задвижки.

$$h_{\text{НМАНХ}} = h_{\text{Н}} + h_{\text{ТНХ}} + \frac{V_2^2 - V_H^2}{2g} \left( \frac{Q_x}{Q} \right)^2 + Z_{\text{Н}} - y_{\text{Н}} \quad (29)$$

$$h_{\text{НМАНХ}} = 47 + 11,11 + \frac{0,72 - 1,79^2}{2 \cdot 9,81} \left( \frac{0,499}{0,9} \right)^2 + 1,2 - 0,9 = 58,36 \text{ м}$$

Выводы:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

# БРЯНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра «Природообустройства и водопользования»

## З А Д А Н И Е № 1

«Определение напора и мощности насосной установки»

Студент \_\_\_\_\_, факультет \_\_\_\_\_, группа \_\_\_\_\_

Исходные данные:

Таблица 3

| УНБ | УВБ | $h_B$ , м | $d_B$ , м | $d_H$ , м | D, м | $L_H$ , м | Местные потери |              | $\zeta$ | Q м <sup>3</sup> /с |
|-----|-----|-----------|-----------|-----------|------|-----------|----------------|--------------|---------|---------------------|
|     |     |           |           |           |      |           | $h_{TB}$ , м   | $h_{TH}$ , м |         |                     |
| 45  | 90  | 4         | 0,6       | 0,5       | 0,7  | 500       | 0,21           | 0,31         | 0,06    | 1,0                 |

Примечания:

1. коэф. сопротивления задвижки  $\zeta$  и подача насоса Q заданы при полностью открытой задвижке,
- 2- местные потери в нагнетательной линии заданы с учетом потерь в задвижке.

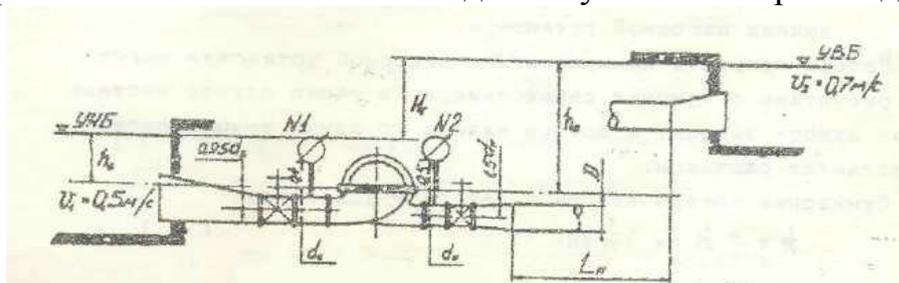


Таблица 4. Удельные сопротивления A для стальных труб.

| Диаметр | 1,00   | 0,90  | 0,80   | 0,70   | 0,60   | 0,50   | 0,40   | 0,30   |
|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A       | 0,0017 | 0,003 | 0,0055 | 0,0110 | 0,0230 | 0,0580 | 0,1900 | 0,8500 |

Требуется:

1. Определить напор насоса по формуле:  $H = H_T + h_T + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$
2. Определить показания приборов №1 и №2.
3. Определить напор насоса по показаниям приборов.
4. Определить стоимость электроэнергии за 100 суток работы установки при 21-часовой работе в сутки с учетом стоимости электроэнергии  $a = 200$  руб/кВт х час; к.п.д. насоса  $\eta_H = 0,82$  и к.п.д. электродвигателя  $\eta_{\text{Э}} = 0,92$ .
5. Определить коэффициент сопротивления закрытой задвижки, если с закрытием ее мощность насоса уменьшается на 23%, а напор увеличивается на 18% от исходных величин при полностью открытой задвижке, при этом КПД насоса снизится до 85% от исходного, а у двигателя не изменится.

Срок выдачи задания \_\_\_\_\_ Срок сдачи задания \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_ Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

## ПРИМЕР 2

Схема насосной установки, исходные и справочные данные для расчета приведены на рис. 5 и в таблицах 3 и 4.

Уровни воды в нижнем и верхнем бьефах выше отметки оси насоса. В этом случае насос имеет отрицательную геометрическую высоту всасывания и положительную геометрическую высоту нагнетания. Геодезическая высота подъема воды

$$H_r = h_B + h_n, \text{ м} \quad (1)$$

Порядок расчета:

### 1. Определение напора насоса.

#### 1.1. Геодезическая высота подъем

$$H_r = \nabla ВБ - \nabla НБ, \text{ м} \quad (2)$$

где

$\nabla ВБ, \nabla НБ$  - отметки уровней воды в верхнем и нижнем бьефах

$$H_r = 90 - 45 = 45, \text{ м}$$

#### 1.2. Потери напора во всасывающей и напорной линиях насосной установки.

Потери напора в коммуникациях насосной установки могут быть рассчитаны с помощью справочников, в нашем случае местные потери напора заданы, а потери напора по длине трубопровода определяются расчетом.

Суммарные потери напора в насосной установке

$$h_r = h_{ТВ} + h_{ТН} \quad (3)$$

где

$h_{ТВ}, h_{ТН}$  - потери напора во всасывающей и напорной линиях соответственно,

$$h_{ТВ} = h_{ТВМ} + h_{ТВЛ}, \text{ м} \quad (4)$$

$$h_{ТН} = h_{ТНМ} + h_{ТНЛ}, \text{ м} \quad (5)$$

здесь

$h_{ТВМ}, h_{ТНМ}$  – местные потери напора на всасывающей и напорной линиях. Их величины приведены в задании.

$h_{ТВЛ}, h_{ТНЛ}$  – потери напора по длине трубопровода.

Потери напора по длине трубопровода можно определить по удельным сопротивлениям, зависящим от диаметра трубопровода.

$$h_{ТЛ} = A \times Q^2 L_{ТЛ}, \text{ м} \quad (6)$$

где  $A$  - удельное сопротивление трубопровода ( $\text{сек}^4/\text{м}^3$ ),

$Q$  – подача насосной установки ( $\text{м}^3/\text{сек}$ ),

$L_{ТЛ}$  – длина трубопровода, м.

В нашем случае принимаем, что длина всасывающего трубопровода мала, поэтому

потери напора по длине его близки к нулю и в расчете не учитываются, т.е.

$$h_{ТВ1} = 0$$

Потери напора по длине напорного трубопровода из стали диаметром  $D=0,7$  м ( $A= 0,011$  сек<sup>4</sup>/м<sup>3</sup>), длиной  $L = 500$  м.

$$h_{ТН}=A \times Q^2L = 0,011 \times 1^2 \times 500 = 5,5 \text{ м}$$

Потери напора во всасывающей и напорной линиях (в соответствии с (4) и (5)):

$$h_{ТВ} = 0,21 + 0 = 0,21 \text{ м}$$

$$h_{ТН} = 0,31 + 5,5 = 5,81 \text{ м}$$

Суммарные потери напора в насосной установке (по (3)):

$$h_{Т} = 0,21 + 5,81 = 6,02 \text{ м.}$$

### **1.3. Напор насоса:**

$$H = H_{Г} + h_{Т} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \text{ м,} \quad (7)$$

Где  $V_1 = 0,5$  м/с - скорость в водоисточнике;

$V_2 = 0,7$  м/с скорость в водоприемнике.

$$H = 45 + 6,02 + \frac{0,7^2 - 0,5^2}{19,62} = 51,03 \text{ м}$$

## **2. Определение показаний приборов на всасывающей и напорной линиях насосной установки.**

### **2.1. Прибор на всасывающей линии.**

На всасывающей линии насосной установки с отрицательной высотой всасывания устанавливается манометр. Для определения его показаний составляется уравнение Бернулли для сечений 1 - 1 и В - В. Плоскость сравнений 0 - 0 проходит через ось насоса. В сечении I - 1 расчетную точку, где измеряется давление назначаем на свободной поверхности водоисточника (точка 1 на рис.6) в сечении В-В на образе присоединительной трубки манометра (точка В на рис.6).

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_B = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} - Z_B + y_B + h_{ТВ} \quad (8)$$

где  $\frac{P_a}{\gamma}$  - атмосферное давление, выраженное в метрах водного столба, м;

$\frac{P_B}{\gamma}$  - абсолютное давление в точке В, отнесенное к объемному весу воды, м;

$h_B$  - высота всасывания,  $h_B = 4$  м (см. задание);

$Z_B$  - расстояние по вертикали от плоскости сравнения до центра сечения В-В, м;

$$Z_B = 0,95 d_B;$$

$y_B$  - расстояние по вертикали от центра сечения до точки замера давления, м ;

$$y_B = 0,5 d_B + 0,4;$$

$V_1, V_B$  - скорости потока соответственно в сечениях 1 - 1 и В - В;

$h_{TB}$  - потери напора во всасывающей линии насосной установки (см. п.1.2.)

$\gamma$  - объемный вес воды,  $1 \text{ т/м}^3$ ;

$g$  - ускорение свободного падения,  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

Необходимо отметить, что величина  $h_B$  рассматривается в (8) как координата точки 1 относительно плоскости сравнения 0-0, а не как геометрическая высота всасывания - понятие характеризующее насосную установку.

Записываем уравнение (8) с учетом, того, что

$$\frac{P_B}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{B,ман}}{\gamma}$$

т.е.

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_B = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_{B,ман}}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} - Z_B + y_B + h_{TB} \quad (9)$$

здесь  $\frac{P_{ман}}{\gamma} = h_{B,ман}$  - показания менометра, выраженное в метрах водного столба.

Преобразуем уравнение (9), перенеся  $\frac{P_{B,ман}}{\gamma}$  в левую часть и окончательно получим

$$h_{B,ман} = h_B - h_{TB} - \frac{V_B^2 - V_1^2}{2g} + Z_B - y_B \quad (10)$$

Для решения уравнения (10) необходимо определить:

$$V_B = \frac{Q}{\omega_B} = \frac{4Q}{\pi d_B^2} = \frac{4 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,6^2} = 3,54 \text{ м/с},$$

$$Z_B = 0,95 \times 0,6 = 0,57 \text{ м}$$

$$y_B = 0,5 \times 0,8 + 0,4 = 0,7 \text{ м}$$

$$\text{тогда: } h_{B,ман} = 4 - 0,21 - \frac{3,54^2 - 0,5^2}{19,62} + 0,57 - 0,7 = 3,03 \text{ м}$$

## 2.2. Прибор на напорной линии (рис.7).

На напорной линии установки данного типа установлен манометр, так как насос установлен ниже уровня воды в водоприемнике. Для определения его показаний составляем уравнение Бернулли для сечений Н - Н и 2 - 2. Плоскость сравнения 0 - 0 проходит через ось насоса.

Аналогично (8), с учетом параметров рассматриваемой схемы запишем:

$$\frac{P_H}{\gamma} + \frac{V_H^2}{2g} - Z_H + y_H = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_H + h_{TH} \quad (11)$$

где  $\frac{P_H}{\gamma}$  – абсолютное давление в точке Н, отнесенное к объемному весу

воды  $\gamma$ , м;

$V_H, V_2$  - скорость в сечениях Н - Н и 2 - 2 ;

$Z_H$  - расстояние по вертикали от плоскости сравнения 0 - 0 до центра сечения Н – Н, м;

$Y_H$  - расстояние по вертикали от центра сечения Н - Н до точки замера давления, м;

$h_H$  - высота нагнетания, в данном уравнении имеет значение координаты точки 2 относительно плоскости сравнения 0 - 0, м (см. п.1.2);

$h_{TH}$  -потери напора в нагнетательной линии установки, м.

Перепишем (11) с учетом того, что

$$\frac{P_H}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_{HMAH}}{\gamma}, \quad (12)$$

$$\text{т.е. } \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_{HMAH}}{\gamma} + \frac{V_H^2}{2g} - Z_H + y_H = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_H + h_{TH} \quad (13)$$

Здесь

$\frac{P_{HMAH}}{\gamma} = h_{HMAH}$  – показание манометра, выраженное в метрах водного столба.

Преобразуем (13), оставив части  $\frac{P_{HMAH}}{\gamma}$  и собрав в правой части остальные члены уравнения

$$\frac{P_{HMAH}}{\gamma} = h_{HMAH} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_a}{\gamma} + h_H + h_{TH} + \frac{V_2^2 - V_H^2}{2g} + Z_H - y_H \quad (14)$$

Окончательно получим:

$$h_{HMAH} = h_H + h_{TH} + \frac{V_2^2 - V_H^2}{2g} + Z_H - y_H \quad (15)$$

Для решения уравнения (15) определяем;

$$Z_H = 1,5 \text{ д}_H = 1,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ м}$$

$$Y_H = 0,5 \text{ д}_H + 0,5 \text{ м} = 0,5 \times 0,5 + 0,5 = 0,75 \text{ м}$$

$$h_H = H_{\Gamma} + h_B = 45 - (-4) = 49 \text{ м}$$

$$V_H = \frac{Q}{\omega_H} = \frac{4 \cdot Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,5^2} = 5,096 \text{ м/с}$$

$$\text{Тогда } h_{HMAH} = 49 + 5,81 \text{ м} + \frac{0,7^2 - 5,096^2}{19,62} + 0,25 - 0,75 = 51,38 \text{ м}$$

### 3. Определение напора насоса по показаниям прибора.

Исходным уравнением для расчета напора в этом случае также является уравнение Бернулли для сечений В - В и И - И относительно плоскости сравнения 0-0, проходящую как и ранее через ось насоса.

$$\frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} - Z_B + y_B = \frac{P_H}{\gamma} + \frac{V_H^2}{2g} - Z_H + y_H - H \quad (16)$$

В этом уравнении используются величины, определенные в предыдущих разделах расчетной работы и здесь не поясняются.

Преобразуем уравнение (16), перенеся  $H$  в левую часть, остальное - в правую.

После исключения  $\frac{P_a}{\gamma}$ , получим

$$H = h_{HMAH} - h_{BBAH} + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g} + y_H - Z_H + Z_B - y_B \quad (17)$$

Здесь  $Z_B - Z_H + y_H - y_B = Z_{ИЗМ}$  - расстояние по вертикали между точками  
 $Z_{ИЗМ} = 0,75 - 0,7 + 0,57 - 0,25 = 0,37$  м

Подставив в уравнение (17) определенные ранее величины получим:

$$H = 51,38 - 3,03 + \frac{5,096^2 - 3,54^2}{19,62} + 0,37 = 49,41 \text{ м}$$

#### 4. Определение стоимости электроэнергии, затраченной на подъем воды.

##### 4.1. Мощность насосной установки.

$$N = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_H \eta_{дв} \eta_{пер} \eta_c}, \text{ кВт} \quad (18)$$

Где

$\eta_H$  - КПД насоса,  $\eta_H = 0,82$ ;

$\eta_{дв}$  - КПД электродвигателя,  $\eta_{дв} = 0,92$ ;

$\eta_{пер}$  - КПД передачи, при соединении двигателя и насоса с помощью механической муфты,  $\eta_{пер} = 1$ ;

$\eta_c$  - КПД сети, учитывает потери от распределительного устройства до двигателя, в данном случае  $\eta_c = 1$ .

$$N = \frac{9,81 \cdot 1 \cdot 49,41}{0,82 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot 1} = 646,83, \text{ кВт}$$

#### **4.2. Электроэнергия, затраченная на подъем воды.**

$$\mathcal{E} = N \times T \quad (19)$$

где

T - время работы насосной установки, ч.

$$T = 21 \times 100 = 2100 \text{ ч}$$

$$\mathcal{E} = 646,83 \times 2100 = 1358343, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

#### **4.3. Стоимость электроэнергии.**

$$A = \mathcal{E} \times a \quad (20)$$

здесь

a - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·ч (см. задание)

$$A = 1358343 \times 200 = 171668600 \text{ руб}$$

### **5. Определение коэффициента сопротивления прикрытой задвижки.**

При прикрытии задвижки, установленной на напорном трубопроводе после насоса, увеличивается её сопротивление, что приводит к уменьшению подачи насоса.

Подачу насоса при прикрытой задвижке ( $Q_x$ ) определим, используя для этого формулу мощности насоса:

$$N_H = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_H} \quad (21)$$

По условию задания с прикрытием задвижки мощность насоса уменьшается на 23 %, напор увеличится на 18 %, КПД снижается до 85 % от исходного значения, т.е.

$$N_{HX} = (1-0,23) N_H = 0,77 N_H$$

$$H_x = (1+0,18)H = 1,18 H$$

$$\eta_{\text{HX}} = 0,85 \eta_{\text{H}}$$

С учетом этого выражения (21) можно записать следующим образом:

$$0,77 N_{\text{H}} = \frac{9,81 \cdot Q_{\text{X}} \cdot 1,18H}{0,85 \cdot \eta_{\text{H}}}$$

откуда

$$Q_{\text{X}} = \frac{0,77 N_{\text{H}} \cdot 0,85 \eta_{\text{H}}}{1,18H \cdot 9,81}$$

Подставив вместо  $N_{\text{H}}$  выражение (21) получим:

$$Q_{\text{X}} = \frac{0,77 \cdot 0,85 \eta_{\text{H}}}{1,18H \cdot 9,81}$$

$$\frac{9,81 Q_{\text{H}}}{\eta_{\text{H}}} = \frac{0,77 \cdot 0,85 \cdot Q}{1,18} \quad (22)$$

тогда

$$Q_{\text{X}} = \frac{0,77 \cdot 0,85 \cdot 1}{1,18} = 0,555 \text{ м}^3/\text{с}$$

С изменением подачи насоса изменяются скорости потока и гидравлические сопротивления во всасывающей и напорной линиях насосной установки. Скорости и потери напора для нового расхода  $Q$  можно рассчитать по рассмотренным ранее формулам. Однако с достаточной степенью точности можно использовать квадратичный закон гидравлических сопротивлений, согласно которому

$$\frac{h_{\text{TX}}}{h_{\text{T}}} = \left(\frac{Q_{\text{X}}}{Q}\right)^2; \quad \frac{V_{\text{X}}}{V} = \frac{Q_{\text{X}}}{Q}, \text{ т.е}$$

$$h_{\text{TX}} = h_{\text{T}} \left(\frac{Q_{\text{X}}}{Q}\right)^2; \quad \frac{V_{\text{X}}^2}{2g} = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{Q_{\text{X}}}{Q}\right)$$

Учитывая также, что с прикрытием задвижки напор насоса увеличился на 18 % из выражения напора (7), получим

$$h_{ТХ} = 1,18H - h_{Г} - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2 = 1,18 \times 49,41 - 45 - \frac{0,7^2 \cdot 0,5^2}{19,62} \cdot \left(\frac{0,555}{1,0}\right)^2 = 13,3 м$$

Потери напора во всасывающей линии насосной установки при прикрытой задвижке:

$$h_{ТВХ} = h_{ТВ} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2 = 0,21 \left(\frac{0,555}{1,0}\right)^2 = 0,065 м$$

Потери напора определим взяв за основу уравнение (3)

$$h_{ТНХ} = h_{ТХ} - h_{ТВХ} = 13,3 - 0,065 = 13,23 м$$

Для того, чтобы найти потери напора в прикрытой задвижке, представим потери напора в напорной линии как сумму потерь напора в задвижке  $h_{зх}$  и в оставшейся части напорной линии  $h_{БЗХ}$ .

$$h_{ТНХ} = h_{БЗХ} + h_{зх}, м \quad (23)$$

тогда

$$h_{зх} = h_{ТНХ} - h_{БЗХ} \quad (24)$$

Для определения потерь напора в напорной линии можно воспользоваться законом квадратичного сопротивления

$$h_{БЗХ} = h_{БЗ} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2 \quad (25)$$

где 
$$h_{БЗ} = h_{ТН} - h_3 \quad (26)$$

в свою очередь

$$h_3 = \zeta_3 \frac{V_H^2}{2g} \quad (27)$$

где  $\zeta_3 = 0,06$  - коэффициент сопротивления полностью открытой задвижки (см. задание)

$$h_3 = 0,06 \frac{5,096^2}{19,62} = 0,079 м$$

Тогда

$$h_{БЗ} = h_{ТН} - h_3 = 5,81 - 0,079 = 5,73 \text{ м}$$

$$h_{БЗХ} = 5,73 \left( \frac{0,555}{1,0} \right)^2 = 1,77 \text{ м}$$

Теперь можно определить потери в прикрытой задвижке по уравнению (24)

$$h_{3Х} = 13,24 - 1,77 = 11,47 \text{ м}$$

Коэффициент сопротивления прикрытой задвижки определится из уравнения (27) с учетом необходимых изменений и дополнений

$$\zeta_{3Х} = \frac{h_{3Х}}{\frac{V_H^2}{2g} \left( \frac{Q_X}{Q} \right)^2} \quad (28)$$

$$\zeta_{3Х} = \frac{11,47}{\frac{5,096^2}{2 \cdot 9,81} \left( \frac{0,555}{1,0} \right)^2} = 28,11$$

## 6. Определение показаний прибора №2 (манометра) при прикрытой задвижке.

Показания манометра определим по выражению (15) с учетом изменения потерь напора и скоростей после прикрытия задвижки.

$$h_{НМАН} = h_H + h_{ТНХ} + \frac{V_2^2 - V_H^2}{2g} \left( \frac{Q_X}{Q} \right)^2 + Z_H - y_H \quad (29)$$

$$h_{НМАН} = 49 + 13,24 + \frac{0,7^2 \cdot 0,96^2}{19,62} \left( \frac{0,555}{1,0} \right)^2 - 0,25 - 0,75 = 60,84 \text{ м}$$

**Выводы:**

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

БРЯНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра «Природообустройства и водопользования»

З А Д А Н И Е № 1

«Определение напора и мощности насосной установки»

Студент \_\_\_\_\_, факультет \_\_\_\_\_, группа \_\_\_\_\_

Исходные данные:

Таблица 5

| УНБ | УВБ | $h_B$ , м | $d_B$ , м | $d_H$ , м | D, м | $L_H$ , м | Местные потери |              | $\zeta$ | Q м <sup>3</sup> /с |
|-----|-----|-----------|-----------|-----------|------|-----------|----------------|--------------|---------|---------------------|
|     |     |           |           |           |      |           | $h_{TB}$ , м   | $h_{TH}$ , м |         |                     |
| 21  | 25  | 4,5       | 0,9       | 0,6       | 0,7  | 130       | 0,34           | 0,47         | 0,06    | 0,95                |

Примечания:

1. коэф. сопротивления задвижки  $\zeta$  и подача насоса Q заданы при полностью открытой задвижке,
- 2- местные потери в нагнетательной линии заданы с учетом потерь в задвижке.

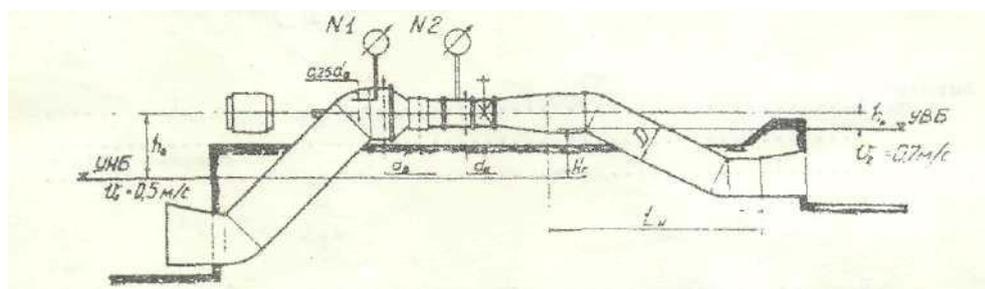


Рис. 8. Насосная установка сифонного типа.

Таблица 6. Удельные сопротивления A для стальных труб.

|         |        |       |        |        |        |        |        |        |
|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Диаметр | 1,00   | 0,90  | 0,80   | 0,70   | 0,60   | 0,50   | 0,40   | 0,30   |
| A       | 0,0017 | 0,003 | 0,0055 | 0,0110 | 0,0230 | 0,0580 | 0,1900 | 0,8500 |

Требуется:

1. Определить напор насоса по формуле:  $H = H_T + h_T + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$
2. Определить показания приборов №1 и №2.
3. Определить напор насоса по показаниям приборов.
4. Определить стоимость электроэнергии за 100 суток работы установки при 21-часовой работе в сутки с учетом стоимости электроэнергии  $a = 200$  руб/кВт х час; к.п.д. насоса  $\eta_n = 0,82$  и к.п.д. электродвигателя  $\eta_{\text{э}} = 0,92$ .
5. Определить коэффициент сопротивления закрытой задвижки, если с закрытием ее мощность насоса уменьшается на 23%, а напор увеличивается на 18% от исходных величин при полностью открытой задвижке, при этом КПД насоса снизится до 85% от исходного, а у двигателя не изменится.

Срок выдачи задания \_\_\_\_\_ Срок сдачи задания \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_ Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

### ПРИМЕР 3

Схема насосной установки, исходные и справочные данные для расчета приведены на рис. 8 и в таблицах 5 и 6.

В данном случае насос имеет положительную высоту всасывания и отрицательную высоту нагнетания. Геодезическая высота подъема воды

$$H_r = h_B + h_n, \text{ м} \quad (1)$$

Порядок расчета:

#### 1. Определение напора насоса.

##### 1.1. Геодезическая высота подъем

$$H_r = \nabla ВБ - \nabla НБ, \text{ м} \quad (2)$$

где

$\nabla ВБ, \nabla НБ$  - отметки уровней воды в верхнем и нижнем бьефах

$$H_r = 25 - 21 = 4, \text{ м}$$

##### 1.2. Потери напора во всасывающей и напорной линиях насосной установки.

Потери напора в коммуникациях насосной установки могут быть рассчитаны с помощью справочников, в нашем случае местные потери напора заданы, а потери напора по длине трубопровода определяются расчетом.

Суммарные потери напора в насосной установке

$$h_t = h_{ТВ} + h_{ТН} \quad (3)$$

где

$h_{ТВ}, h_{ТН}$  - потери напора во всасывающей и напорной линиях соответственно,

$$h_{ТВ} = h_{ТВМ} + h_{ТВЛ}, \text{ м} \quad (4)$$

$$h_{ТН} = h_{ТНМ} + h_{ТНЛ}, \text{ м} \quad (5)$$

здесь

$h_{ТВМ}, h_{ТНМ}$  – местные потери напора на всасывающей и напорной линиях. Их величины приведены в задании.

$h_{ТВЛ}, h_{ТНЛ}$  – потери напора по длине трубопровода.

Потери напора по длине трубопровода можно определить по удельным сопротивлениям, зависящим от диаметра трубопровода.

$$h_{ТЛ} = A \times Q^2 L_{ТЛ}, \text{ м} \quad (6)$$

где  $A$  - удельное сопротивление трубопровода ( $\text{сек}^4/\text{м}^3$ ),

$Q$  – подача насосной установки ( $\text{м}^3/\text{сек}$ ),

$L_{ТЛ}$  – длина трубопровода, м.

В нашем случае принимаем, что длина всасывающего трубопровода мала, поэтому потери напора по длине его близки к нулю и в расчете не учитываются, т.е.

$$h_{ТВЛ} = 0$$

Потери напора по ДЛИНЕ напорного трубопровода из стали диаметром  $D=0,7\text{ м}$  ( $A=0,011\text{ сек}^4/\text{м}^3$ ), длиной  $L=130\text{ м}$ .

$$h_{\Gamma H}=A \times Q^2 L=0,011 \times 0,95^2 \times 130=1,29\text{ м}$$

Потери напора во всасывающей и напорной линиях (в соответствии с (4) и (5)):

$$h_{\Gamma B}=0,34+0=0,34\text{ м}$$

$$h_{\Gamma H}=0,47+1,29=1,76\text{ м}$$

Суммарные потери напора в насосной установке (по (3)):

$$h_{\Gamma}=0,34+1,76=2,1\text{ м.}$$

### **1.3. Напор насоса:**

$$H=H_{\Gamma}+h_{\Gamma}+\frac{V_2^2-V_1^2}{2g}\text{ м,} \quad (7)$$

Где  $V_1=0,5\text{ м/с}$  - скорость в водоисточнике;

$V_2=0,7\text{ м/с}$  скорость в водоприемнике.

$$H=4+2,1+\frac{0,7^2-0,5^2}{19,62}=6,11\text{ м}$$

## **2. Определение показаний приборов на всасывающей и напорной линиях насосной установки.**

### **2.1. Прибор на всасывающей линии.**

На всасывающей линии насосной установки с положительной высотой всасывания устанавливается вакуумметр. Для определения его показаний составляется уравнение Бернулли для сечений 1 - 1 и В - В. Плоскость сравнений 0 - 0 проходит через ось насоса. В сечении 1 - 1 расчетную точку, где измеряется давление назначаем на свободной поверхности водоисточника (точка 1 на рис.9) в сечении В-В на образе присоединительной трубки вакуумметра (точка В на рис.9).

$$\frac{P_a}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}-h_b=\frac{P_B}{\gamma}+\frac{V_B^2}{2g}+Z_B+h_{\Gamma B} \quad (8)$$

где  $\frac{P_a}{\gamma}$  - атмосферное давление, выраженное в метрах водного столба, м;

$\frac{P_B}{\gamma}$  - абсолютное давление в точке В, отнесенное к объемному весу воды, м;

$h_b$  - высота всасывания,  $h_b=4,5\text{ м}$  (см. задание);

$Z_B$  - расстояние по вертикали от плоскости сравнения до центра сечения В-В, м;

$$Z_B = 0,25 d_B;$$

$V_1, V_B$  - скорости потока соответственно в сечениях 1 - 1 и В - В;

$h_{тв}$  - потери напора во всасывающей линии насосной установки (см. п.1.2.)

$\gamma$  - объемный вес воды,  $1\text{т}/\text{м}^3$ ;

$g$  - ускорение свободного падения,  $9,81\text{ м}/\text{с}^2$ .

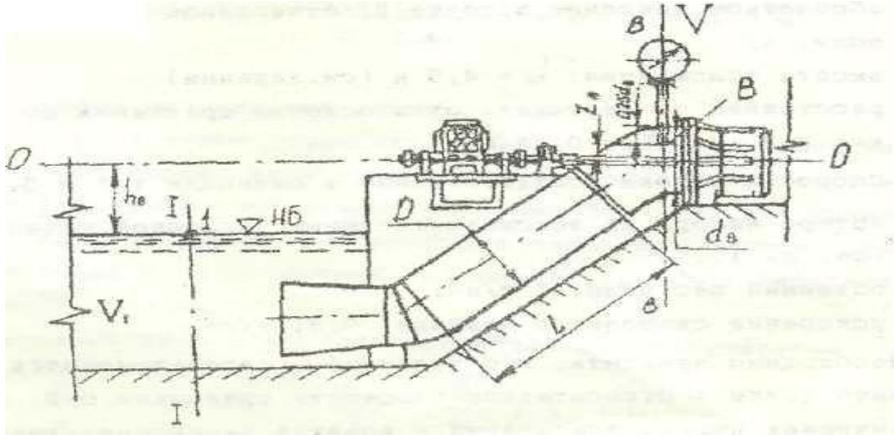


Рис. 9. Схема для определения показаний прибора № 1

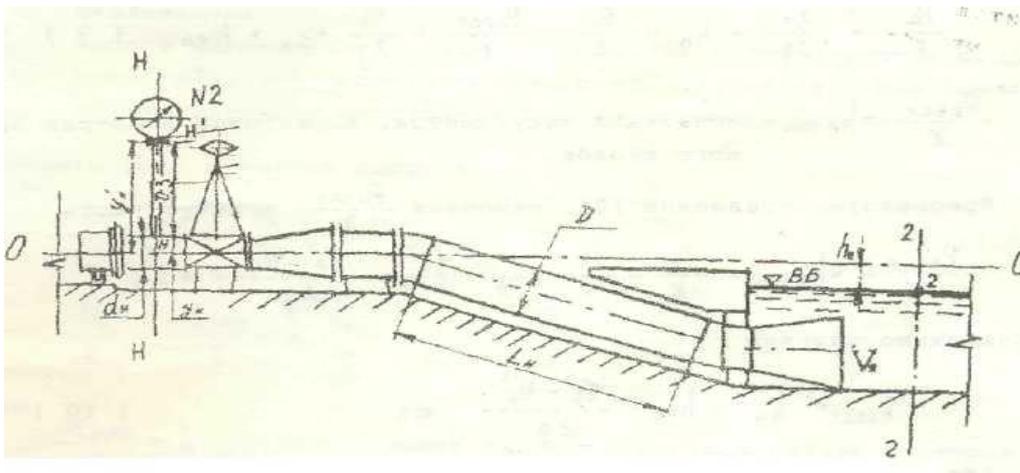


Рис. 10. Схема для определения показаний прибора № 2

Необходимо отметить, что величина  $h_b$  рассматривается в (8) как координата точки 1 относительно плоскости сравнения 0-0, а не как геометрическая высота всасывания - понятие характеризующее насосную установку.

Записываем уравнение (8) с учетом, того, что

$$\frac{P_B}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{BBAK}}{\gamma}$$

т.е.

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - h_B = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_{BBAK}}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B + h_{TB} \quad (9)$$

здесь  $\frac{P_{бак}}{\gamma} = h_{BBAK}$  – показания манометра, выраженное в метрах водного столба.

Преобразуем уравнение (9), перенеся  $\frac{P_{BBAK}}{\gamma}$  в левую часть и окончательно получим

$$h_{BBAK} = h_B + h_{TB} - \frac{V_B^2 - V_1^2}{2g} + Z_B \quad (10)$$

Для решения уравнения (10) необходимо определить:

$$V_B = \frac{Q}{\omega_B} = \frac{4Q}{\pi d_B^2} = \frac{4 \cdot 0,95}{3,14 \cdot 0,9^2} = 1,49 \text{ м/с},$$

$$Z_B = 0,25 \times 0,9 = 0,23 \text{ м}$$

тогда:  $h_{BBAK} = 4,5 + 0,34 + \frac{1,49^2 - 0,5^2}{19,62} + 0,23 = 5,17 \text{ м}$

## 2.2. Прибор на напорной линии (рис.10).

На напорной линии установки данного типа установлен вакуумметр, так как насос установлен выше уровня воды в водоприемнике. Для определения его показаний составляем уравнение Бернулли для сечений Н - Н и 2 - 2. Плоскость сравнения 0 - 0 проходит через ось насоса.

В сечении Н-Н расчетная точка Н, а в сечении 2-2 расчетную точку выбираем на поверхности воды – точка 2.

Аналогично (8), с учетом параметров рассматриваемой схемы запишем:

$$\frac{P_H}{\gamma} + \frac{V_H^2}{2g} + y_H = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_H + h_{TH} \quad (11)$$

где  $\frac{P_H}{\gamma}$  – абсолютное давление в точке Н, отнесенное к объемному весу

воды  $\gamma$ , м;

$V_H, V_2$  - скорость в сечениях Н - Н и 2 - 2 ;

$y_H$  - расстояние по вертикали от центра сечения Н - Н до точки замера давления, м;

$h_H$  - высота нагнетания, в данном уравнении имеет значение координаты точки 2 относительно плоскости сравнения 0 - О, м (см. п.1.2);

$h_{TH}$  -потери напора в нагнетательной линии установки, м.

Перепишем (11) с учетом того, что

$$\frac{P_H}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_{HBAK}}{\gamma}, \quad (12)$$

$$\text{т.е. } \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_{HBAK}}{\gamma} + \frac{V_H^2}{2g} + y_H = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_H + h_{TH} \quad (13)$$

Здесь

$\frac{P_{HBAK}}{\gamma} = h_{HBAK}$  – показание манометра, выраженное в метрах водного столба.

Преобразуем (13), оставив части  $\frac{P_{HBAK}}{\gamma}$  и собрав в правой части остальные члены уравнения

$$\frac{P_{HBAK}}{\gamma} = h_{HBAK} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_a}{\gamma} - h_H - h_{TH} + \frac{V_H^2 - V_2^2}{2g} + y_H \quad (14)$$

Окончательно получим:

$$h_{HBAK} = \frac{V_H^2 - V_2^2}{2g} + y_H - h_H - h_{TH} \quad (15)$$

Для решения уравнения (15) определяем;

$$y_H = 0,5 \quad d_H = 0,5 \times 0,6 = 0,3 \text{ м}$$

$$h_H = H_{\Gamma} + h_B = 4 - 4,5 = -0,5 \text{ м}$$

$$V_H = \frac{Q}{\omega_H} = \frac{4 \cdot Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,95}{3,14 \cdot 0,6^2} = 3,36 \text{ м/с}$$

$$\text{Тогда } h_{HBAK} = \frac{3,36^2 - 0,7^2}{19,62} + 0,3 - (-0,5) - 1,76 = -0,41 \text{ м}$$

Показания вакуумметра получилось отрицательным. Это означает, что измеряемое прибором №2 давление выше атмосферного. Учитывая это обстоятельство, вакуумметр необходимо заменить на манометр, несмотря на то, что насос расположен выше уровня воды в водоприемнике. Подводящая трубка заполнена водой, поэтому точку измерения давления необходимо принять на оси трехходового крана – точка Н' – на рис. 10. Тогда уравнение Бернулли будет иметь вид:

$$\frac{P_H}{\gamma} + \frac{V_H^2}{2g} + y'_H = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - h_H + h_{TH} \quad (16)$$

Преобразуем уравнение (16) с учетом того, что

$$\frac{P_H}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_{HMAH}}{\gamma} \quad (17)$$

Окончательно получим

$$h_{HMAH} = \frac{V_2^2 - V_H^2}{2g} - h_H - y'_H + h_{TH} \quad (18)$$

Для решения уравнения (18) определим:

$$y_H' = 0,5d_H + 0,3 = 0,5 \times 0,6 + 0,3 = 0,6 \text{ м,}$$

$$\text{тогда } h_{\text{НМАН}} = \frac{0,7^2 - 3,36^2}{19,62} - 0,5 - 0,6 + 1,76 = 0,11 \text{ м}$$

### 3. Определение напора насоса по показаниям прибора.

Исходным уравнением для расчета напора в этом случае также является уравнение Бернулли для сечений В - В и И - И относительно плоскости сравнения 0-0, проходящую как и ранее через ось насоса.

$$\frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} - Z_B + y_B = \frac{P_H}{\gamma} + \frac{V_H^2}{2g} - Z_H + y_H - H \quad (16)$$

В этом уравнении используются величины, определенные в предыдущих разделах расчетной работы и здесь не поясняются.

Преобразуем уравнение (16), перенеся  $H$  в левую часть, остальное - в правую.

После исключения  $\frac{P_a}{\gamma}$ , получим

$$H = h_{\text{НМАН}} - h_{\text{ВВАХ}} + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g} + y_H - Z_H + Z_B - y_B \quad (17)$$

Здесь  $Z_B - Z_H + y_H - y_B = Z_{\text{ИЗМ}}$  - расстояние по вертикали между точками  
 $Z_{\text{ИЗМ}} = 0,75 - 0,7 + 0,57 - 0,25 = 0,37 \text{ м}$

Подставив в уравнение (17) определенные ранее величины получим:

$$H = 51,38 - 3,03 + \frac{5,096^2 - 3,54^2}{19,62} + 0,37 = 49,41 \text{ м}$$

## 4. Определение стоимости электроэнергии, затраченной на подъем воды.

### 4.1. Мощность насосной установки.

$$N = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_H \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{пер}} \eta_c}, \text{ кВт} \quad (18)$$

Где

$\eta_H$  - КПД насоса,  $\eta_H = 0,82$ ;

$\eta_{\text{дв}}$  - КПД электродвигателя,  $\eta_{\text{дв}} = 0,92$ ;

$\eta_{\text{пер}}$  - КПД передачи, при соединении двигателя и насоса с помощью механической муфты,  $\eta_{\text{пер}} = 1$ ;

$\eta_c$  - КПД сети, учитывает потери от распределительного устройства до двигателя, в данном случае  $\eta_c = 1$ .

$$N = \frac{9,81 \cdot 1 \cdot 49,41}{0,82 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot 1} = 646,83, \text{ кВт}$$

#### ***4.2. Электроэнергия, затраченная на подъем воды.***

$$\mathcal{E} = N \times T \quad (19)$$

где

T - время работы насосной установки, ч.

$$T = 21 \times 100 = 2100 \text{ ч}$$

$$\mathcal{E} = 646,83 \times 2100 = 1358343, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

#### ***4.3. Стоимость электроэнергии.***

$$A = \mathcal{E} \times a \quad (20)$$

здесь

a - стоимость 1 кВт-ч электроэнергии, руб/кВт-ч (см. задание)

$$A = 1358343 \times 200 = 171668600 \text{ руб}$$

### **5. Определение коэффициента сопротивления прикрытой задвижки.**

При прикрытии задвижки, установленной на напорном трубопроводе после насоса, увеличивается её сопротивление, что приводит к уменьшению подачи насоса.

Подачу насоса при прикрытой задвижке ( $Q_x$ ) определим, используя для этого формулу мощности насоса:

$$N_H = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_H} \quad (21)$$

По условию задания с прикрытием задвижки мощность насоса уменьшается на 23 %, напор увеличится на 18 %, КПД снижается до 85 % от исходного значения, т.е.

$$N_{HX} = (1-0,23) N_H = 0,77 N_H$$

$$H_X = (1+0,18)H = 1,18 H$$

$$\eta_{HX} = 0,85 \eta_H$$

С учетом этого выражения (21) можно записать следующим образом:

$$0,77 N_H = \frac{9,81 \cdot Q_X \cdot 1,18H}{0,85 \cdot \eta_H}$$

откуда

$$Q_X = \frac{0,77 N_H \cdot 0,85 \eta_H}{1,18 H \cdot 9,81}$$

Подставив вместо  $N_H$  выражение (21) получим:

$$Q_X = \frac{0,77 \cdot 0,85 \eta_H}{1,18 H \cdot 9,81}$$

$$\frac{9,81 Q_H}{\eta_H} = \frac{0,77 \cdot 0,85 \cdot Q}{1,18} \quad (22)$$

тогда

$$Q_X = \frac{0,77 \cdot 0,85 \cdot 1}{1,18} = 0,555 \text{ м}^3/\text{с}$$

С изменением подачи насоса изменяются скорости потока и гидравлические сопротивления во всасывающей и напорной линиях насосной установки. Скорости и потери напора для нового расхода  $Q$  можно рассчитать по рассмотренным ранее формулам. Однако с достаточной степенью точности можно использовать квадратичный закон гидравлических сопротивлений, согласно которому

$$\frac{h_{TX}}{h_T} = \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2; \quad \frac{V_X}{V} = \frac{Q_X}{Q}, \text{ т.е}$$

$$h_{TX} = h_T \left(\frac{Q_X}{Q}\right)^2; \quad \frac{V_X^2}{2g} = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{Q_X}{Q}\right)$$

Учитывая также, что с прикрытием задвижки напор насоса увеличился на 18 % из выражения напора (7), получим

$$h_{ТХ} = 1,18H - h_{Г} - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \left(\frac{Q_x}{Q}\right)^2 = 1,18 \times 49,41 - 45 - \frac{0,7^2 \cdot 0,5^2}{19,62} \cdot \left(\frac{0,555}{1,0}\right)^2 = 13,3 м$$

Потери напора во всасывающей линии насосной установки при прикрытой задвижке:

$$h_{ТВХ} = h_{ТВ} \left(\frac{Q_x}{Q}\right)^2 = 0,21 \left(\frac{0,555}{1,0}\right)^2 = 0,065 м$$

Потери напора определим взяв за основу уравнение (3)

$$h_{ТНХ} = h_{ТХ} - h_{ТВХ} = 13,3 - 0,065 = 13,23 м$$

Для того, чтобы найти потери напора в прикрытой задвижке, представим потери напора в напорной линии как сумму потерь напора в задвижке  $h_{зх}$  и в оставшейся части напорной линии  $h_{БЗХ}$ .

$$h_{ТНХ} = h_{БЗХ} + h_{зх}, м \quad (23)$$

тогда

$$h_{зх} = h_{ТНХ} - h_{БЗХ} \quad (24)$$

Для определения потерь напора в напорной линии можно воспользоваться законом квадратичного сопротивления

$$h_{БЗХ} = h_{БЗ} \left(\frac{Q_x}{Q}\right)^2 \quad (25)$$

где 
$$h_{БЗ} = h_{ТН} - h_3 \quad (26)$$

в свою очередь

$$h_3 = \zeta_3 \frac{V_H^2}{2g} \quad (27)$$

где  $\zeta_3 = 0,06$  - коэффициент сопротивления полностью открытой задвижки (см. задание)

$$h_3 = 0,06 \frac{5,096^2}{19,62} = 0,079 м$$

Тогда

$$h_{БЗ} = h_{ТН} - h_3 = 5,81 - 0,079 = 5,73 \text{ м}$$

$$h_{БЗХ} = 5,73 \left( \frac{0,555}{1,0} \right)^2 = 1,77 \text{ м}$$

Теперь можно определить потери в прикрытой задвижке по уравнению (24)

$$h_{3Х} = 13,24 - 1,77 = 11,47 \text{ м}$$

Коэффициент сопротивления прикрытой задвижки определится из уравнения (27) с учетом необходимых изменений и дополнений

$$\zeta_{3Х} = \frac{h_{3Х}}{\frac{V_H^2}{2g} \left( \frac{Q_X}{Q} \right)^2} \quad (28)$$

$$\zeta_{3Х} = \frac{11,47}{\frac{5,096^2}{2 \cdot 9,81} \left( \frac{0,555}{1,0} \right)^2} = 28,11$$

## 6. Определение показаний прибора №2 (манометра) при прикрытой задвижке.

Показания манометра определим по выражению (15) с учетом изменения потерь напора и скоростей после прикрытия задвижки.

$$h_{НМАН} = h_H + h_{ТНХ} + \frac{V_2^2 - V_H^2}{2g} \left( \frac{Q_X}{Q} \right)^2 + Z_H - y_H \quad (29)$$

$$h_{НМАН} = 49 + 13,24 + \frac{0,7^2 \cdot 0,96^2}{19,62} \left( \frac{0,555}{1,0} \right)^2 - 0,25 - 0,75 = 60,84 \text{ м}$$

Выводы:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Учебное издание

**КАНИЧЕВА  
НАДЕЖДА ВАЛЕНТИНОВНА**

***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТНОЙ РАБОТЕ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ»***

для студентов очной и заочной формы обучения  
по направлению: природообустройство  
профиль: инженерные системы с/х водоснабжения, обводнения и водоотведения;  
мелиорация, рекультивация и охрана земель;  
экспертиза и управление земельными ресурсами  
по направлению: землеустройство и кадастры  
профиль: геодезическое обеспечение землеустройства и кадастров

Компьютерную верстку выполнила Пашковская А.А.

---

Подписано к печати 01.10.2009. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага печатная. Усл.п.л.4,99 . Тираж 100 экз. Изд.№844 .

---

Издательство Брянской государственной сельскохозяйственной академии

2433365, Брянская обл., Выгоничский р-он., с.Кокино, Брянская ГСХА.