

ВВЕДЕНИЕ

Для водоснабжения применяют лопастные (центробежные, диагональные, осевые) и поршневые насосы, а также водоподъемники – тараны и эрлифты.

Центробежные насосы применяют преимущественно в тех случаях, когда небольшие расходы воды нужно подать на большую высоту.

Осевые насосы применяют при подъеме больших объемов воды на небольшую высоту [1].

Напор насоса – это разность удельных энергий жидкости на выходе и входе в насос. Насос развивает напор, равный напору в системе насосной установки, в которой он работает. Этот напор складывается из геометрического напора, гидравлических сопротивлений всасывающего и напорного трубопроводов и разности давлений после и до насоса [2].

Рассмотрим насосную установку (рис. 1) [3], подающую 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 используют пружинные манометры 6 и вакуумметры 4. Ими измеряют избыточное давление $p_{\text{ман}} = p - p_0$ и вакуум по отношению к атмосферному давлению $p_{\text{вак}} = p_0 - p$ (p_0 – атмосферное давление, p – абсолютное давление).

Манометры и вакуумметры через трёхходовые краны 7 и подводящие трубки 8 соединены с трубопроводами перед и за насосом. С помощью трёхходовых 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 подсоединения подводящей трубки к трубопроводу. Разница этих давлений соответствует давлению столба жидкости в подводящей трубке прибора. Показания вакуумметра соответствуют вакууму в точке подсоединения

подводящей трубки к трубопроводу. Это объясняется малой плотности воздуха, находящегося в подводящей трубке вакуумметра.

Геодезическая высота подъёма воды H_{Γ} (м) – это расстояние по вертикали от уровня воды в источнике (нижнем бьефе) до уровня воды в водоприёмнике (верхнем бьефе):

$$H_{\Gamma} = \nabla_{\text{вв}} - \nabla_{\text{нв}}, \quad (1)$$

где $\nabla_{\text{вв}}$, $\nabla_{\text{нв}}$ – отметки уровней воды, соответственно в верхнем и нижнем бьефах.

Геометрическая высота всасывания $h_{\text{в}}$ (м) – это расстояние по вертикали между уровнями воды в источнике (нижнем бьефе) до оси насоса. Геометрическую высоту всасывания считают положительной величиной, если ось насоса расположена выше уровня воды в источнике, и отрицательной, если ниже уровня воды в источнике.

Геометрическая высота нагнетания $h_{\text{н}}$ (м) – это расстояние по вертикали от оси насоса до уровня воды в водоприёмнике (верхнем бьефе). Геометрическую высоту нагнетания считают положительной, если ось насоса расположена ниже уровня воды в водоприёмнике, и отрицательной, если выше уровня воды в водоприёмнике.

В ходе выполнения задания для определения показаний приборов неоднократно используют 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 давления в жидкости (p) могут быть взяты в любой точке поперечного сечения потока, в том числе и на поверхности открытого источника, где оно известно и равно атмосферному (p_0).

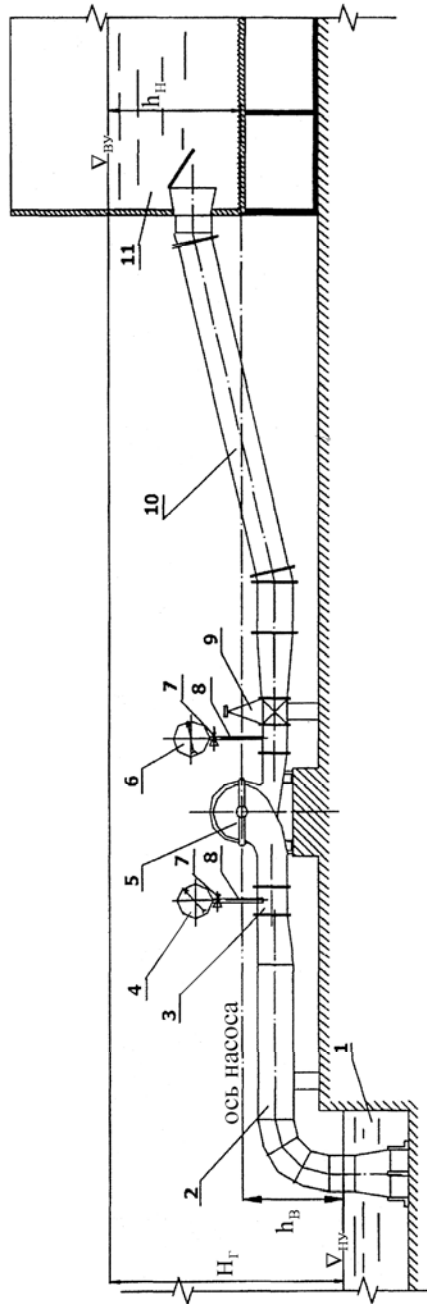


Рис. 1. Насосная установка: 1 – водоисточник (нижний бьеф); 2 – всасывающий трубопровод; 3 – монтажная вставка; 4 – вакуумметр; 5 – насос; 6 – манометр; 7 – трехходовой кран; 8 – подводящая трубка; 9 – задвижка; 10 – напорный трубопровод; 11 – водоприемник (нижний бьеф).

3. Скорости жидкости во всех поперечных сечениях потока принимают равномерными, средние величины которых

$$V = Q/F, \quad (2)$$

где Q – расход жидкости через сечение, F – площадь поперечного сечения потока.

На самом деле скорости вдоль поперечных сечений неравномерны. Однако для практических расчётов допущение об их постоянстве вполне приемлемо.

4. Горизонтальная плоскость сравнения (0–0) может быть расположена произвольно. Однако, для упрощения расчётов, в качестве плоскости сравнения лучше всего принимать плоскость, проходящую по поверхности воды в водоисточнике или в водоприёмнике, либо плоскость, проходящую через отметку оси насоса, от которой ведётся отсчёт высот всасывания и нагнетания.

Рассмотрим несколько примеров расчета насосных установок.

Пример 1.

Изображенную на рис. 2 насосную установку принято называть насосной установкой с положительной высотой всасывания.

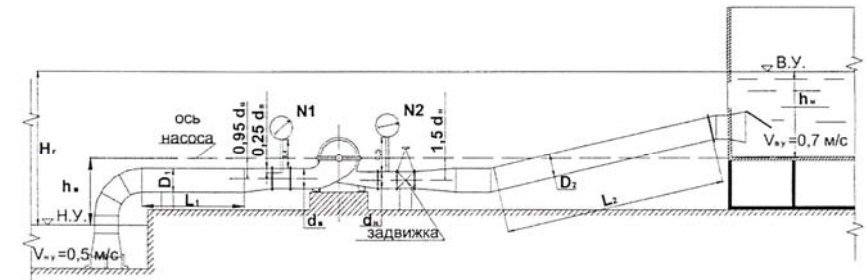


Рис. 2. Насосная установка с положительной высотой всасывания

Свободные поверхности (отметки уровня) воды в нижнем бьефе ниже, а в верхнем – выше отметки оси насоса. В этом случае насос имеет положительную высоту всасывания и нагнетания. Геодезическую высоту подъема воды определяют так:

$$H_{\Gamma} = h_{\text{в}} + h_{\text{н}}. \quad (3)$$

Порядок расчета:

1. Определение напора насоса, необходимого для подачи воды.

Для подачи воды насосом по трубопроводам из водоисточника в водоприемник необходимо затратить энергию. Энергия расходуется на подъем воды с одной отметки поверхности на другую, вышележащую, и преодоления гидравлических сопротивлений во всасывающем и напорном трубопроводах. Эта энергия, отнесенная к весу жидкости, проходящей через насос в единицу времени, называется удельной энергией, или напором насоса.

1.1. Определим геодезическую высоту подъема по формуле (1).

1.2. Определяем потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах насосной установки.

Потери напора в коммуникациях насосной установки могут быть рассчитаны с помощью справочников по гидравлике. В нашем случае (для упрощения расчетов) местные потери напора заданы, а потери напора по длине трубопровода определяются расчетом и только на участках трубопроводов длиной L_1 и L_2 . На остальных участках трубопроводов, из-за малой их длины, потери незначительны и ими можно пренебречь.

Потери напора во всасывающем трубопроводе насосной установки

$$h_{\Sigma}^{\text{в}} = h_{\text{м}}^{\text{в}} + h_{\text{дл}}^{\text{в}}, \quad (4)$$

где $h_{\text{м}}^{\text{в}}$ – местные потери напора во всасывающем трубопроводе насосной установки; $h_{\text{дл}}^{\text{в}}$ – потери напора по длине всасывающего трубопровода насосной установки.

$$h_{\text{дл}}^{\text{в}} = A \cdot Q^2 \cdot L_1, \quad (5)$$

где A – удельное сопротивление трубопровода ($\text{с}^4/\text{м}^3$); Q – подача насосной установки, $\text{м}^3/\text{с}$; L_1 – длина всасывающего трубопровода, на которой определяются потери, м.

Потери напора в напорном трубопроводе насосной установки

$$h_{\Sigma}^{\text{н}} = h_{\text{м}}^{\text{н}} + h_{\text{дл}}^{\text{н}}, \quad (6)$$

где $h_{\text{м}}^{\text{н}}$ – местные потери напора в напорном трубопроводе насосной установки, м; $h_{\text{дл}}^{\text{н}}$ – потери напора по длине в напорном трубопроводе насосной установки, м;

$$h_{\text{дл}}^{\text{н}} = A \cdot Q^2 \cdot L_1 \quad (7)$$

Потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах насосной установки равны:

$$h_{\Sigma} = h_{\Sigma}^{\text{в}} + h_{\Sigma}^{\text{н}}. \quad (8)$$

Напор насоса определяют по формуле

$$H = H_{\Gamma} + h_{\Sigma} + \frac{v_{\text{вв}}^2 - v_{\text{нв}}^2}{2g}, \quad (9)$$

где $v_{\text{вв}}$, $v_{\text{нв}}$ – соответственно скорости потока в водоприёмнике и в водоисточнике, м/с.

2. Определение показаний приборов 1 и 2

Прибор 1 – это вакуумметр, так как насос расположен выше уровня воды в водоисточнике. Для определения его показаний составим уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 2–2 (рис. 3). Плоскость сравнения 0–0 проходит через отметку оси насоса. В сечении 1–1 расчётную точку, где измеряется давление, принимаем на свободной поверхности водоисточника (точка А на рис. 3); в сечении 2–2 – в точке подсоединения подводящей трубки прибора к трубопроводу, так как прибором является вакуумметр, и его трубка заполнена воздухом (точка В на рис. 3).

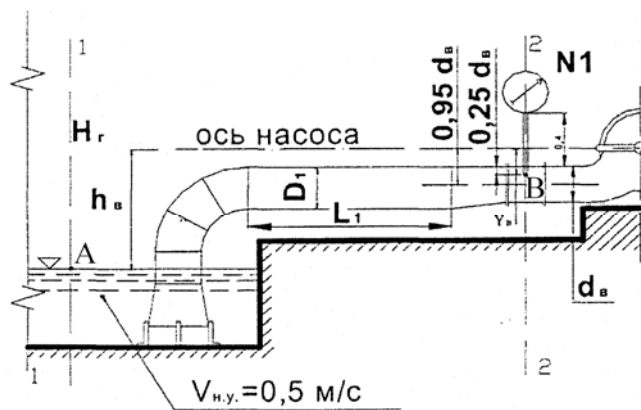


Рис. 3. Схема для определения показаний прибора 1

Запишем уравнение Бернулли для этого случая

$$\frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_{HY}^2}{2g} - h_B = \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} - y_B + h_{\Sigma}^B, \quad (10)$$

где p_0 – атмосферное давление, Па; p_B – абсолютное давление в точке В, Па; h_B , y_B – соответственно расстояния по вертикали от плоскости сравнения 0–0 до точек А и В, м; v_{HY} – скорость потока в сечении (1–1), м/с; v_B – скорость потока в сечении (2–2), м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Преобразуем полученное уравнение Бернулли:

$$h_{\text{ВАК}} = \frac{p_0 - p_B}{\rho g} = h_B - y_B + h_{\Sigma}^B + \frac{v_B^2 - v_{HY}^2}{2g}, \quad (11)$$

где $h_{\text{ВАК}}$ – показание прибора 1 (вакуумметра), выраженное в метрах водяного столба.

Отметим, что величина h_B здесь рассматривается как координата точки А, а не как геометрическая высота всасывания.

Координату точки В найдем следующим образом:

$$y_B = 0,25 \cdot d_B - 0,95 \cdot d_B, \quad (12)$$

где: d_B – диаметр трубопровода в сечении (2–2). Значение y_B получается отрицательным, так как точка В лежит ниже плоскости сравнения 0–0. Это

следует и из рис. 3. Знак «минус» учтен еще при составлении уравнения Бернулли.

Скорость потока в сечении (2–2)

$$v_B = \frac{4Q}{\pi d_B^2}. \quad (13)$$

Прибор 2 – это манометр, так как насос установлен ниже уровня воды в водоприёмнике. Для определения его показания составим расчётную схему (рис. 4) и напишем уравнение Бернулли для сечений 3–3 и 4–4. За плоскость сравнения принимаем горизонтальную плоскость 0–0, проходящую через отметку оси насоса. Присоединительная трубка манометра заполнена водой, поэтому в сечении 3–3 расчетную точку выбираем на оси трехходового крана (точка Н на рис. 4). В сечении 4–4 точку целесообразно назначить на открытой поверхности потока – точка В.

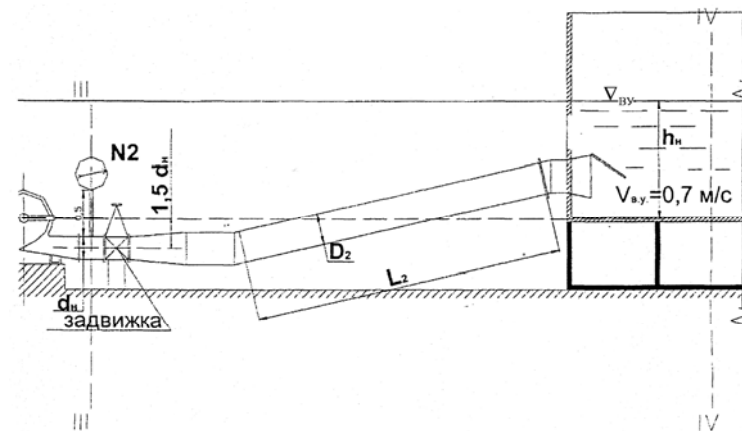


Рис. 4. Схема для определения показаний прибора 2

Составим уравнение Бернулли для этого случая

$$\frac{p_H}{\rho g} + \frac{v_H^2}{2g} + y_H = \frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_{BY}^2}{2g} + h_H + h_{\Sigma}^H, \quad (14)$$

где p_H , v_H – соответственно, давление (Па) и скорость (м/с) потока в сечении 3–3; y_H , h_H – соответственно расстояния по вертикали от плоскости сравнения

до точек Н и В, м. g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; ρ – плотность жидкости, кг/м^3 .

Преобразуем это уравнение Бернулли следующим образом:

$$h_{\text{ман}} = \frac{p_{\text{Н}} - p_0}{\rho g} = h_{\text{Н}} - y_{\text{Н}} + h_{\Sigma}^{\text{Н}} + \frac{v_{\text{ВУ}}^2 - v_{\text{Н}}^2}{2g}, \quad (15)$$

где $h_{\text{ман}}$ – показание прибора 2 (манометра), выраженное в метрах водяного столба (м).

Определим координату точки Н

$$y_{\text{Н}} = (0,5 \cdot d_{\text{Н}} + 0,5) - 1,5 \cdot d_{\text{Н}}, \quad (16)$$

где: $d_{\text{Н}}$ – диаметр трубопровода в сечении 3–3.

Отрицательное значение $y_{\text{Н}}$ означает, что с учётом заданных в таблице 1 размеров насосной установки точка Н, в действительности, расположена ниже плоскости сравнения 0–0, а не выше, как это следует из рис. 4.

Геометрическая высота нагнетания $h_{\text{Н}}$

$$h_{\text{Н}} = H_{\text{Г}} - h_{\text{В}}, \text{ м.} \quad (17)$$

Отметим, что величина $h_{\text{Н}}$ здесь рассматривается как координата точки В.

Скорость потока в сечении 3–3

$$v_{\text{Н}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{Н}}^2}, \text{ м/с.} \quad (18)$$

3. Определение напора насоса по показаниям приборов.

Напор насоса

$$H = h_{\text{ВАК}} + h_{\text{ман}} + z + \frac{v_{\text{Н}}^2 - v_{\text{В}}^2}{2g}, \quad (19)$$

где z – расстояние по вертикали между точками замера давления прибором 2 (т. Н) и прибором 1 (т. В) (рис. 4), м.

$$z = y_{\text{Н}} - y_{\text{В}}. \quad (20)$$

Напор насоса, полученный по показаниям измерительных приборов 1 и 2 равен напору насоса, полученному по формуле (9).

4. Определение стоимости электроэнергии, затраченной на подъём воды

4.1. Мощность насосной установки

$$N_{\text{НУ}} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{НУ}}}, \text{ кВт,} \quad (21)$$

где $\eta_{\text{НУ}}$ – КПД насосной установки;

$$\eta_{\text{НУ}} = \eta_{\text{Н}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{с}}, \quad (22)$$

где $\eta_{\text{Н}}$ – КПД насоса; $\eta_{\text{дв}}$ – КПД двигателя; $\eta_{\text{пер}}$ – КПД передачи, при непосредственном соединении валов двигателя и насоса с помощью муфты $\eta_{\text{пер}} = 1$; $\eta_{\text{с}}$ – КПД сети, учитывает потери электроэнергии от распределительного устройства до двигателя.

4.2. Электроэнергия, затраченная на подъём воды,

$$\mathcal{E} = N_{\text{НУ}} \cdot t, \text{ кВт} \cdot \text{ч,} \quad (23)$$

где t – время работы насосной установки, ч.

4.3. Стоимость электроэнергии

$$A = \mathcal{E} \cdot a, \text{ руб.,} \quad (24)$$

где a – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·ч; $a = 0,63$ руб/кВт·ч.

5. Определение коэффициента сопротивления прикрытой задвижки

При прикрытии задвижки, установленной на напорном трубопроводе после насоса, увеличивается её сопротивление, что приводит к уменьшению подачи насоса. Определим подачу насоса при прикрытой задвижке ($Q_{\text{Х}}$), используя для этого формулу мощности насоса

$$N_{\text{Н}} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{Н}}}. \quad (25)$$

По условию задания с прикрытием задвижки мощность насоса уменьшается на 23 %, а напор увеличивается на 18 %, КПД снижается до 85 % от исходного значения, поэтому

$$0,77 \cdot N_{\text{Н}} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot 1,18 \cdot H}{0,85 \cdot \eta_{\text{Н}}}. \quad (26)$$

откуда подача насосной установки при прикрытой задвижке составит

$$Q_x = \frac{0,77 \cdot N_H \cdot 0,85 \cdot \eta_H}{1,18 \cdot H \cdot 9,81} \quad (27)$$

Коэффициенты 0,77 перед мощностью и 1,18 перед напором насоса показывают соответственно снижение мощности насоса на 23 % и повышение напора на 18 % от исходных значений, принятых за 100 %.

С уменьшением подачи насоса снижаются скорости потока и гидравлические сопротивления во всасывающей и напорной линиях насосной установки.

Для определения потерь напора в трубопроводах насосной установки при прикрытой задвижке можно использовать выражение для определения напора насоса, учитывая, что с прикрытием задвижки напор насоса увеличился на 18 % от исходного значения:

$$h'_\Sigma = 1,18 \cdot H - H_\Gamma - \frac{(v'_{\text{ВУ}})^2 - (v'_{\text{НУ}})^2}{2g}, \quad (28)$$

где $v'_{\text{ВУ}}$, $v'_{\text{НУ}}$ – скорости потока в верхнем и нижнем бьефах при прикрытой задвижке, м/с.

Из условия неразрывности потока определим эти скорости:

$$v'_{\text{ВУ}} = v_{\text{ВУ}} \cdot \frac{Q_x}{Q} \quad \text{и} \quad v'_{\text{НУ}} = v_{\text{НУ}} \cdot \frac{Q_x}{Q}. \quad (29)$$

Потери напора во всасывающем трубопроводе насосной установки при прикрытой задвижке найдем при помощи закона квадратичного сопротивления:

$$h'_{\Sigma^B} = h_{\Sigma^B} \cdot \left(\frac{Q_x}{Q} \right). \quad (30)$$

Потери напора в напорной линии насосной установки h_{Σ^H} при прикрытой задвижке вычислить непосредственно, используя закон квадратичного сопротивления, нельзя, так как они изменяются при её прикрытии не столько за счёт изменения расхода в трубопроводе, сколько за счёт изменения

коэффициента сопротивления самой задвижки. Эти потери определяются следующим образом:

$$h'_{\Sigma^H} = h'_{\Sigma} - h'_{\Sigma^B}. \quad (31)$$

Представим потери напора в напорном трубопроводе как сумму потерь напора в задвижке $h_{\text{ЗАД}}$ и потерь напора в оставшейся части напорной линии $h_{\text{Б.ЗАД}}$:

$$h_{\Sigma^H} = h_{\text{ЗАД}} + h_{\text{Б.ЗАД}}. \quad (32)$$

Тогда потери в прикрытой задвижке

$$h'_{\text{ЗАД}} = h'_{\Sigma^H} - h'_{\text{Б.ЗАД}}. \quad (33)$$

Потери напора в напорной линии без учёта потерь в прикрытой задвижке $h'_{\text{Б.ЗАД}}$ соответствуют закону квадратичного сопротивления

$$h'_{\text{Б.ЗАД}} = h_{\text{Б.ЗАД}} \cdot \left(\frac{Q_x}{Q} \right)^2, \quad (34)$$

где $h_{\text{Б.ЗАД}}$ – потери напора в напорной линии без учёта потерь в полностью открытой задвижке, м;

$$h_{\text{Б.ЗАД}} = h_{\Sigma^H} - h_{\text{ЗАД}}, \quad (35)$$

где $h_{\text{ЗАД}}$ – потери напора в полностью открытой задвижке, м;

$$h_{\text{ЗАД}} = \xi_{\text{ЗАД}} \cdot \frac{v_H^2}{2g}, \quad (36)$$

где $\xi_{\text{ЗАД}} = 0,06$ – коэффициент сопротивления полностью открытой задвижки.

Коэффициент сопротивления прикрытой задвижки

$$\xi'_{\text{ЗАД}} = \frac{h'_{\text{ЗАД}}}{(v'_H)^2 / 2g}, \quad (37)$$

где v'_H – скорость потока в прикрытой задвижке, м/с;

$$v'_H = v_H \cdot \frac{Q_x}{Q}. \quad (38)$$

6. Определение показаний прибора 2 при закрытой задвижке

Показание прибора 2 определим по выражению (15), подставив значения скоростей потока и потерь напора, соответствующие режиму работы насосной установки при закрытой задвижке:

$$h'_{\text{МАН}} = \frac{p_H - p_0}{\rho g} = h_H - y_H + h'_\Sigma + \frac{(v'_{\text{ВУ}})^2 - (v'_H)^2}{2g}.$$

Пример 2.

Схема насосной установки приведена на рис. 5.

Уровни воды в нижнем и верхнем бьефах выше оси насоса. В этом случае насос имеет отрицательную геометрическую высоту всасывания и положительную геометрическую высоту нагнетания, а насосную установку называют насосной установкой с отрицательной высотой всасывания.

Геодезическая высота подъема:

$$H_T = -h_B + h_H.$$

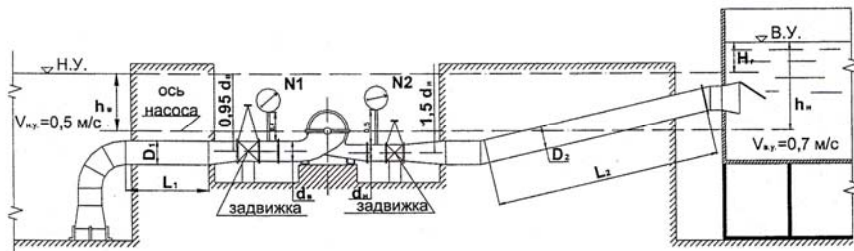


Рис. 5. Насосная установка с отрицательной высотой всасывания

Порядок расчета:

1. Определение необходимого для подъема воды напора насоса.
- 1.1. Геодезическую высоту подъема определяют по формуле (1).

1.2. Потери напора во всасывающем трубопроводе насосной установки определяют по формуле (4); потери напора в напорном трубопроводе – по формуле (5).

Общие потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах насосной установки определяют по формуле (6).

1.3. Напор насоса определяют по формуле (9).

2. Определение показаний приборов 1 и 2.

Прибором 1 является манометр, так как насос установлен ниже уровня воды в водоприёмнике.

Составим уравнение Бернулли (расчетная схема приведена на рис. 6).

$$y_B + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_{\text{НУ}}^2}{2g} = h_B + \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + h'_\Sigma.$$

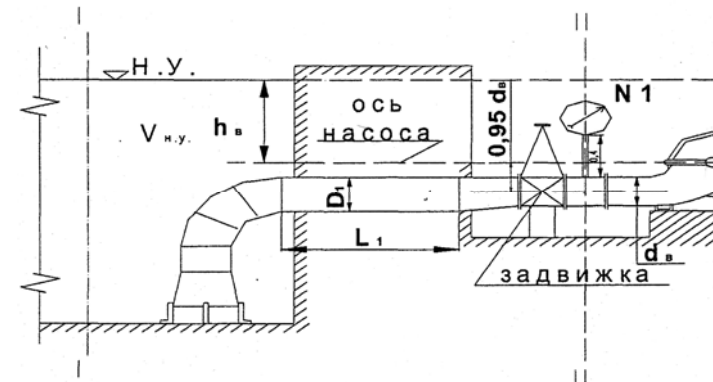


Рис. 6. Схема для определения показаний прибора 1

Следовательно,

$$h^1_{\text{МАН}} = \frac{p_B - p_0}{\rho g} = h_B - y_B + h'_\Sigma + \frac{v_{\text{НУ}}^2 - v_B^2}{2g},$$

где $y_B = (0,5 \cdot d_B + 0,4) - 0,95 \cdot d_B$.

Скорость потока во втором сечении определяют по формуле (13).

Прибором 2 является манометр, так как насос расположен ниже уровня воды в водоприёмнике.

Расчётная схема для составления уравнения Бернулли приведена на рис. 7.

Уравнение Бернулли аналогично уравнению Бернулли (14), составленному в предыдущем примере. Преобразовав его определим показания манометра.

Геометрическую высоту нагнетания h_H и скорость потока v_H определяют по формулам (17) и (18).

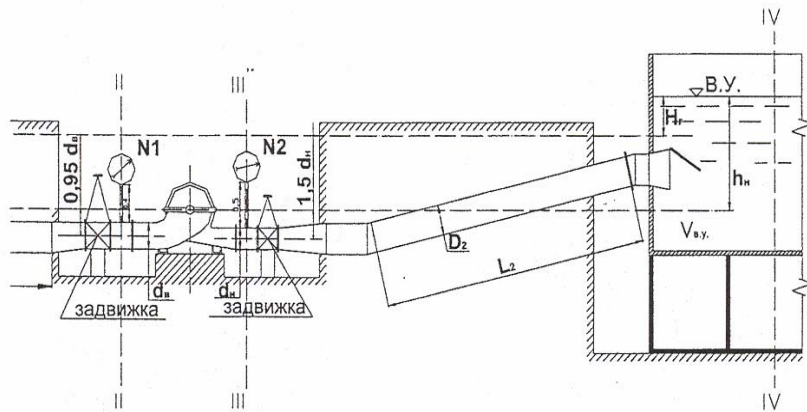


Рис. 7. Схема для определения показаний прибора 2

3. Определение напора насоса по показаниям приборов.

Напор насоса

$$H = -h_{\text{ВАК}}^1 + h_{\text{МАН}}^2 + z + \frac{v_H^2 - v_B^2}{2g}.$$

4. Определение стоимости электроэнергии, затраченной на подъём воды.

4.1. Мощность насосной установки N определяют по формуле (21).

4.2. Электроэнергию \mathcal{E} , затраченную на подъём воды, определяют по формуле (23).

4.3. Стоимость электроэнергии определяют по формуле (24).

5. Определение коэффициента сопротивления закрытой задвижки.

5.1. Подача насосной установки при закрытой задвижке

$$Q_x = \frac{0,8 \cdot N_H \cdot 0,85 \cdot \eta_H}{1,21 \cdot H \cdot 9,81}.$$

5.2. Потери напора в насосной установке при закрытой задвижке

$$h'_z = 1,21 \cdot H - H_r - \frac{(v'_{\text{ВУ}})^2 - (v'_{\text{НУ}})^2}{2g}.$$

5.3. Потери напора во всасывающей линии насосной установки при закрытой задвижке определяют по формуле (30).

5.4. Потери напора в напорной линии насосной установки при закрытой задвижке определяют по формуле (31).

5.5. Потери напора в закрытой задвижке определяют по формуле (33).

5.6. Коэффициент сопротивления закрытой задвижки определяют по формуле (37).

6. Определение показаний прибора 2 при закрытой задвижке.

Показание прибора 2 определим по выражению (15), подставив значения скоростей потока и потерь напора, соответствующие режиму работы насосной установки при закрытой задвижке.

Сравнить показания прибора 2 при закрытой задвижке с показанием прибора при полностью открытой задвижке.

Пример 3.

Схема насосной установки приведена на рис. 8.

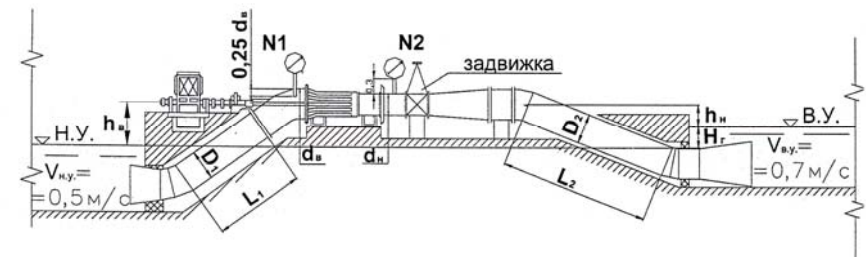


Рис. 8. Насосная установка сифонного типа

Насос имеет положительную высоту всасывания и отрицательную геометрическую высоту нагнетания. В этом случае насосную установку называют насосной установкой сифонного типа.

Геодезическая высота подъема

$$H_{\Gamma} = h_B - h_H.$$

Порядок расчета:

1. Определение необходимого для подъема воды напора насоса.
 - 1.1. Геодезическую высоту подъема определяют по формуле (1).
 - 1.2. Потери напора во всасывающем трубопроводе насосной установки определяют по формуле (4); потери напора в напорном трубопроводе – по формуле (6).

Общие потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах насосной установки определяют по формуле (8).

- 1.3. Напор насоса – по формуле (9).
2. Определение показаний приборов 1 и 2.

Прибор 1 – это манометр, так как насос расположен выше уровня воды в водоисточнике.

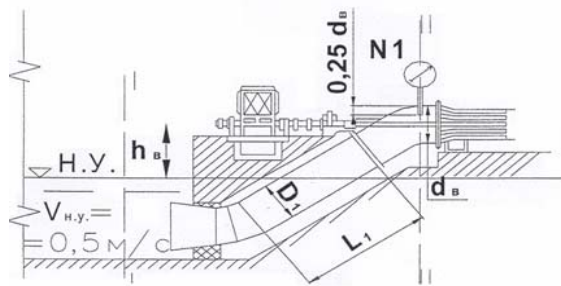


Рис. 9. Схема для определения показаний прибора 1

Составим уравнение Бернулли для случая приведенного на рис. 9.

$$-h_B + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_{HY}^2}{2g} = y_B + \frac{p}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + h_{\Sigma}^B.$$

Показание прибора

$$h_{\text{МАН}}^1 = \frac{p_0 - p}{\rho g} = h_B + y_B + h_{\Sigma}^B + \frac{v_B^2 - v_{HY}^2}{2g},$$

где $y_B = 0,25 \cdot d_B$.

Прибором 2 является вакуумметр, так как насос расположен выше уровня воды в водоприёмнике.

Составим уравнение Бернулли (смотри рис. 10).

$$y_H + \frac{p_H}{\rho g} + \frac{v_H^2}{2g} = -h_H + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_{BY}^2}{2g} + h_{\Sigma}^H.$$

Показание прибора

$$h_{\text{ВАК}}^2 = \frac{p_0 - p_H}{\rho g} = h_H - y_H + h_{\Sigma}^H + \frac{v_H^2 - v_{BY}^2}{2g},$$

где $h_H = H_{\Gamma} - h_B$.

Знак минус уже учтен при составлении уравнения Бернулли.



Рис. 10. Схема для определения показаний прибора 2

Несмотря на то что насос расположен выше уровня воды в водоприёмнике, показание вакуумметра получается отрицательным. Это означает, что измеряемое прибором 2 давление выше атмосферного. В этом случае подводящая трубка прибора заполнена водой, поэтому точку измерения давления необходимо принять на оси трёхходового крана – точка Н на рисунке 10. Учитывая это обстоятельство, вакуумметр необходимо заменить на

мановакуумметр – прибор, который может измерять давление выше и ниже атмосферного.

Тогда выражение для показания прибора 2 примет следующий вид:

$$h_{\text{МАН}}^2 = \frac{p_H - p_0}{\rho g} = -y_H + h_H - h_{\Sigma}^H + \frac{v_{\text{ВУ}}^2 - v_H^2}{2g},$$

где $y_H = 0,5 \cdot d_H + 0,3$.

Следует отметить, что при расходах меньше заданного давление в напорном патрубке насоса может быть равно атмосферному и даже ниже.

3. Определение напора насоса по показаниям приборов.

Напор насоса

$$H = h_{\text{ВАК}}^1 + h_{\text{МАН}}^2 + z + \frac{v_H^2 - v_B^2}{2g}.$$

4. Определение стоимости электроэнергии, затраченной на подъём воды.

4.1. Мощность насосной установки N определяют по формуле (21).

4.2. Электроэнергию \mathcal{E} , затраченная на подъём воды, определяют по формуле (23).

4.3. Стоимость электроэнергии определяют по формуле (24).

5. Определение коэффициента сопротивления закрытой задвижки.

5.1. Подача насосной установки при закрытой задвижке

$$Q_x = \frac{1,27 \cdot N_H \cdot 0,85 \cdot \eta_H}{1,33 \cdot H \cdot 9,81}.$$

5.2. Потери напора в насосной установке при закрытой задвижке

$$h_{\Sigma}' = 1,33 \cdot H - H_r - \frac{(v'_{\text{ВУ}})^2 - (v'_{\text{НУ}})^2}{2g}.$$

5.3. Потери напора во всасывающей линии насосной установки при закрытой задвижке определяют по формуле (30).

5.4. Потери напора в напорной линии насосной установки при закрытой задвижке определяют по формуле (31).

5.5. Потери напора в закрытой задвижке определяют по формуле (33).

5.6. Потери напора в напорной линии насосной установки без учёта потерь в закрытой задвижке

$$h'_{\text{Б.ЗАД}} = h_{\text{Б.ЗАД}} \cdot \left(\frac{Q_x}{Q}\right)^2.$$

5.7. Потери напора в напорной линии насосной установки без учёта потерь в полностью открытой задвижке, м:

$$h_{\text{Б.ЗАД}} = h_{\Sigma}^H - h_{\text{ЗАД}},$$

5.8. Потери напора в полностью открытой задвижке, м:

$$h_{\text{ЗАД}} = \xi_{\text{ЗАД}} \cdot \frac{v_H^2}{2g}.$$

5.9. Коэффициент сопротивления закрытой задвижки определяют по формуле (37).

6. Определение показания прибора 2 при закрытой задвижке.

Показание прибора 2 определим по выражению (15), подставив значения скоростей потока и потерь напора, соответствующие режиму работы насосной установки при закрытой задвижке:

$$h_{\text{МАН}}'^2 = \frac{p - p_0}{\rho g} = h_H - y_H + h_{\Sigma}'^H + \frac{(v'_{\text{ВУ}})^2 - (v'_H)^2}{2g}.$$

Сравнить показания прибора 2 при закрытой задвижке с показанием прибора при полностью открытой задвижке.

ЗАДАНИЕ

для выполнения контрольной работы

Определить гидравлические и энергетические параметры насосной установки в различных условиях ее работы. Коэффициент сопротивления задвижки $\xi_{\text{зад}}$ и подача насоса Q заданы при полностью открытой задвижке; местные потери в нагнетательной линии заданы с учетом потерь в задвижке. Материал трубопровода – сталь. Значение удельного сопротивления A для стальных труб взять из таблицы 4.

Исходные данные для вариантов №№ 1 – 40:

Схема установки представлена на рис. 2.

Таблица 1

№ вар.	Н.У., м	В.У., м	$h_{\text{в}},$ м	$d_{\text{в}},$ м	$d_{\text{н}},$ м	$D_1,$ м	$D_2,$ м	$L_1,$ м	$L_2,$ м	Местные потери		Потери по длине $h_{\text{гп}},$ м	$\xi_{\text{зад}}$	$Q,$ м ³ /с
										во всас. линии $h_{\text{вс}}^{\text{тм}},$ м	в нагн. линии $h_{\text{наг}}^{\text{тм}},$ м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	18	70	5	0,8	0,8	1,0	0,9	35	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	0,9
2	18	75	5	0,8	0,8	1,0	0,9	37	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	1
3	18	80	5	0,8	0,8	1,0	0,8	39	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	1,1
4	18	85	5	0,8	0,8	1,0	0,7	41	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	1,2
5	18	90	5	0,8	0,8	1,0	0,6	43	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	1,3
6	18	95	5	0,8	0,8	1,0	0,5	45	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	1,4
7	18	100	5	0,8	0,8	1,0	0,4	47	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	1,5
8	18	105	5	0,8	0,8	1,0	0,3	49	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	1,6
9	18	110	5	0,8	0,8	0,9	1,0	51	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	1,7
10	18	115	5	0,8	0,8	0,9	0,9	53	400	0,27	0,31	AQ ² L	0,06	1,8
11	23	75	7	0,9	0,7	0,9	0,8	36	310	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	1,8
12	23	80	7	0,9	0,7	0,9	0,7	36	320	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	1,7
13	23	85	7	0,9	0,7	0,9	0,6	36	330	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	1,6
14	23	90	7	0,9	0,7	0,9	0,5	36	340	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	1,5
15	23	95	7	0,9	0,7	0,9	0,4	36	350	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	1,4
16	23	100	7	0,9	0,7	0,9	0,3	36	360	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	1,3
17	23	105	7	0,9	0,7	0,8	1,0	36	370	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	1,2
18	23	110	7	0,9	0,7	0,8	0,9	36	380	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	1,1
19	23	115	7	0,9	0,7	0,8	0,8	36	390	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	1
20	23	120	7	0,9	0,7	0,8	0,7	36	400	0,25	0,27	AQ ² L	0,07	0,9
21	26	70	10	0,6	0,7	0,8	0,6	38	410	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9
22	26	75	10	0,6	0,7	0,8	0,5	40	420	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9
23	26	80	10	0,6	0,7	0,8	0,4	42	430	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9
24	26	85	10	0,6	0,7	0,8	0,3	44	440	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
25	26	90	10	0,6	0,7	0,7	1,0	46	450	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9
26	26	95	10	0,6	0,7	0,7	0,9	48	460	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9
27	26	100	10	0,6	0,7	0,7	0,8	50	470	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9
28	26	105	10	0,6	0,7	0,7	0,7	52	480	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9
29	26	110	10	0,6	0,7	0,7	0,6	54	490	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9
30	26	115	10	0,6	0,7	0,7	0,5	56	500	0,23	0,26	AQ ² L	0,05	0,9
31	29	70	6	0,7	0,6	0,7	0,4	34	305	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1
32	29	75	6	0,7	0,6	0,7	0,3	34	315	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1
33	29	80	6	0,7	0,6	0,6	1,0	34	325	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1
34	29	85	6	0,7	0,6	0,6	0,9	34	335	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1
35	29	90	6	0,7	0,6	0,6	0,8	34	345	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1
36	29	95	6	0,7	0,6	0,6	0,7	34	355	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1
37	29	100	6	0,7	0,6	0,6	0,6	34	365	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1
38	29	105	6	0,7	0,6	0,6	0,5	34	375	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1
39	29	110	6	0,7	0,6	0,6	0,4	34	385	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1
40	29	115	6	0,7	0,6	0,6	0,3	34	395	0,2	0,26	AQ ² L	0,04	1

Требуется:

1. Определить напор насоса по формуле

$$H = H_{\Gamma} + h_{\Sigma} + \frac{v_{\text{ВУ}}^2 - v_{\text{НУ}}^2}{2g}$$

2. Определить показания приборов 1 и 2.

3. Определить напор насоса по показаниям приборов:

$$H = h_{\text{ВАК}} + h_{\text{МАН}} + z + \frac{v_{\text{Н}}^2 - v_{\text{В}}^2}{2g}$$

4. Определить стоимость электроэнергии за 100 сут работы насосной установки при работе 21 ч в сутки с учетом удельной стоимости электроэнергии $a = 0,63$ р/кВт·ч; кпд насоса $\eta_{\text{н}} = 0,82$ и кпд двигателя $\eta_{\text{дв}} = 0,92$.

5. Определить коэффициент сопротивления прикрытой задвижки $\xi_{\text{зад}}$, если с ее прикрытием мощность насоса уменьшается на 23 %, а напор увеличивается на 18 % от исходных расчетных величин при полностью открытой задвижке; при этом кпд насоса снизится до 85 % от исходной величины, а кпд электродвигателя не изменится.

6. Определить показания прибора 2 при прикрытой задвижке.

Исходные данные для вариантов №№ 41 – 70:

Схема установки представлена на рис. 5.

Таблица 2

№ вар.	Н.У., м	В.У., м	h _{в,з} , м	d _{в,з} , м	d _{п,з} , м	D _{1,з} , м	D _{2,з} , м	L _{1,з} , м	L _{2,з} , м	Местные потери		Потери по длине H _{ГЛ} , м	ξ _{з.ад.}	Q, м ³ /с
										во всас. линии h _{вс} _{ГЛ, м}	в нагн. линии h _{наг} _{ГЛ, м}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
41	20	40	2,0	0,4	0,3	0,6	0,4	10	200	0,42	0,52	AQ ² L	0,02	0,25
42	24	48	2,5	0,5	0,4	0,7	0,5	15	250	0,32	0,42	AQ ² L	0,04	0,50
43	30	60	3,0	0,6	0,5	0,8	0,6	20	300	0,21	0,31	AQ ² L	0,06	0,75
44	35	65	3,5	0,7	0,6	0,8	0,6	5	350	0,20	0,30	AQ ² L	0,08	1,00
45	40	72	4,0	0,7	0,6	0,7	0,7	25	400	0,18	0,22	AQ ² L	0,10	1,25
46	45	78	4,5	0,8	0,7	1,0	0,8	15	450	0,16	0,20	AQ ² L	0,12	1,50
47	52	80	5,0	0,8	0,8	0,8	0,8	20	500	0,14	0,18	AQ ² L	0,14	1,75
48	15	100	3,0	0,9	0,3	0,8	0,8	10	150	0,12	0,16	AQ ² L	0,16	2,00
49	25	40	5,5	0,3	0,3	0,7	0,8	15	100	0,14	0,18	AQ ² L	0,18	0,25
50	30	50	6,0	0,4	0,4	0,6	0,5	20	50	0,16	0,20	AQ ² L	0,20	0,50
51	35	60	6,5	0,5	0,5	0,5	0,4	25	150	0,18	0,22	AQ ² L	0,02	0,75
52	40	65	7,0	0,6	0,6	0,4	0,3	10	200	0,20	0,24	AQ ² L	0,04	1,00
53	45	70	7,5	0,7	0,7	0,3	0,3	5	250	0,22	0,26	AQ ² L	0,06	1,25
54	50	75	8,0	0,8	0,8	1,0	0,9	15	300	0,24	0,28	AQ ² L	0,08	1,50
55	10	80	2,0	0,9	0,9	0,9	0,8	20	350	0,26	0,30	AQ ² L	0,10	1,75
56	15	90	2,5	1,0	0,8	0,8	0,6	25	400	0,28	0,32	AQ ² L	0,12	2,00
57	20	100	3,0	0,9	0,6	0,7	0,5	5	450	0,30	0,34	AQ ² L	0,14	0,25
58	25	40	3,5	0,8	0,5	0,6	0,4	10	500	0,32	0,36	AQ ² L	0,16	0,50
59	30	60	4,0	0,7	0,4	0,5	0,3	15	50	0,34	0,38	AQ ² L	0,18	0,75
60	35	65	4,5	0,6	0,3	0,4	0,8	20	100	0,36	0,40	AQ ² L	0,20	1,00
61	40	75	8,5	0,5	0,3	0,9	0,7	25	150	0,38	0,42	AQ ² L	0,02	1,25
62	45	80	8,0	0,4	0,4	0,8	0,6	30	200	0,40	0,44	AQ ² L	0,04	1,75
63	50	90	7,5	0,3	0,3	0,7	0,5	35	250	0,42	0,46	AQ ² L	0,06	2,00
64	10	50	2,0	0,5	0,5	0,6	0,4	40	300	0,12	0,16	AQ ² L	0,08	0,25
65	15	60	2,5	0,6	0,3	0,5	0,3	10	350	0,14	0,18	AQ ² L	0,10	0,50
66	20	70	3,0	0,7	0,3	0,4	0,6	20	400	0,16	0,20	AQ ² L	0,12	0,75
67	25	80	3,5	0,3	0,3	0,7	0,5	25	450	0,18	0,22	AQ ² L	0,14	1,00
68	30	85	4,0	0,4	0,3	0,6	0,4	15	500	0,20	0,24	AQ ² L	0,16	1,25
69	35	90	4,5	0,5	0,4	0,5	0,3	30	200	0,22	0,26	AQ ² L	0,18	1,50
70	40	100	5,0	0,6	0,5	0,4	0,3	35	350	0,24	0,28	AQ ² L	0,20	1,75

Требуется:

1. Определить напор насоса по формуле

$$H = H_{\Gamma} + h_{\Sigma} + \frac{v_{ВУ}^2 - v_{НУ}^2}{2g}$$

2. Определить показания приборов 1 и 2.

3. Определить напор насоса по показаниям приборов:

$$H = -h_{\text{ВАК}}^1 + h_{\text{МАН}}^2 + z + \frac{v_{\text{Н}}^2 - v_{\text{В}}^2}{2g}$$

4. Определить стоимость электроэнергии за 100 сут работы насосной установки при работе 21 ч в сутки с учетом удельной стоимости электроэнергии а = 6,0 р/кВт·ч; кпд насоса η_Н = 0,82 и кпд двигателя η_{ДВ} = 0,92.

5. Определить коэффициент сопротивления прикрытой задвижки ξ_{з.ад.}, если с ее прикрытием мощность насоса уменьшается на 20 %, а напор увеличивается на 21 % от исходных расчетных величин при полностью открытой задвижке; при этом кпд насоса снизится до 85 % от исходной величины, а кпд электродвигателя не изменится.

6. Определить показания прибора 2 при прикрытой задвижке.

Исходные данные для вариантов №№ 71 – 100:

Схема установки представлена на рис. 8.

Таблица 3

№ вар.	Н.У., м	В.У., м	h _{в,з} , м	d _{в,з} , м	d _{п,з} , м	D _{1,з} , м	D _{2,з} , м	L _{1,з} , м	L _{2,з} , м	Местные потери		Потери по длине H _{ГЛ} , м	ξ _{з.ад.}	Q, м ³ /с
										во всас. линии h _{вс} _{ГЛ, м}	в нагн. линии h _{наг} _{ГЛ, м}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
71	18	22	4,0	0,3	0,3	0,3	0,4	7	100	0,15	0,45	AQ ² L	0,06	0,95
72	19	23	4,1	0,4	0,3	0,4	0,4	8	105	0,20	0,50	AQ ² L	0,05	0,50
73	20	24	4,2	0,5	0,4	0,5	0,5	9	110	0,25	0,55	AQ ² L	0,04	0,55
74	22	26	4,3	0,6	0,4	0,6	0,5	10	115	0,30	0,40	AQ ² L	0,07	0,60
75	23	27	4,4	0,7	0,5	0,7	0,6	7	120	0,15	0,60	AQ ² L	0,08	0,65
76	24	28	4,5	0,8	0,5	0,8	0,6	8	125	0,20	0,40	AQ ² L	0,90	0,70
77	25	29	4,6	0,9	0,6	0,9	0,7	9	130	0,25	0,45	AQ ² L	0,10	0,75
78	26	30	4,7	1,0	0,6	1,0	0,7	10	100	0,30	0,50	AQ ² L	0,04	0,80
79	27	31	4,8	0,3	0,3	0,3	0,4	7	105	0,30	0,55	AQ ² L	0,05	0,85
80	28	32	4,9	0,4	0,3	0,4	0,4	8	110	0,25	0,60	AQ ² L	0,06	0,90
81	29	33	5,0	0,5	0,4	0,5	0,5	9	115	0,20	0,40	AQ ² L	0,07	0,95
82	30	34	4,1	0,6	0,5	0,6	0,6	10	120	0,15	0,45	AQ ² L	0,08	1,00
83	31	35	4,2	0,7	0,5	0,7	0,6	7	125	0,10	0,50	AQ ² L	0,09	1,10
84	32	36	4,3	0,8	0,6	0,8	0,7	8	130	0,35	0,55	AQ ² L	0,10	1,15
85	33	37	4,4	0,9	0,7	0,9	0,8	9	100	0,30	0,60	AQ ² L	0,04	1,20
86	34	38	4,5	1,0	0,8	1,0	0,9	10	105	0,25	0,50	AQ ² L	0,05	1,25
87	35	39	4,6	0,3	0,3	0,3	0,4	7	110	0,20	0,55	AQ ² L	0,06	0,50
88	36	40	4,7	0,4	0,3	0,4	0,4	8	115	0,15	0,40	AQ ² L	0,07	0,55
89	37	41	4,8	0,5	0,4	0,5	0,5	9	120	0,10	0,35	AQ ² L	0,08	0,60
90	38	42	4,9	0,6	0,4	0,6	0,5	10	125	0,15	0,30	AQ ² L	0,09	0,65

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
91	39	43	5,0	0,7	0,5	0,7	0,6	7	130	0,20	0,50	AQ ² L	0,10	0,70
92	40	44	4,1	0,8	0,5	0,8	0,7	8	100	0,25	0,55	AQ ² L	0,04	0,75
93	41	45	4,2	0,9	0,6	0,9	0,8	9	105	0,30	0,60	AQ ² L	0,05	0,80
94	42	46	4,3	1,0	0,7	1,0	0,9	10	110	0,35	0,40	AQ ² L	0,06	0,85
95	43	47	4,4	0,3	0,8	0,3	0,4	7	115	0,20	0,60	AQ ² L	0,07	0,90
96	44	48	4,5	0,4	0,3	0,4	0,4	8	120	0,25	0,30	AQ ² L	0,05	0,95
97	45	49	4,6	0,5	0,3	0,5	0,5	9	125	0,20	0,35	AQ ² L	0,06	1,00
98	46	50	4,7	0,6	0,4	0,6	0,5	10	130	0,35	0,40	AQ ² L	0,07	1,10
99	47	51	4,8	0,7	0,4	0,7	0,6	7	100	0,25	0,45	AQ ² L	0,09	0,60
100	48	52	4,9	0,8	0,5	0,8	0,7	8	105	0,30	0,40	AQ ² L	0,08	0,70

Требуется:

1. Определить напор насоса по формуле

$$H = H_{\Gamma} + h_{\Sigma} + \frac{v_{\text{ВВ}}^2 - v_{\text{НВ}}^2}{2g}$$

2. Определить показания приборов 1 и 2.

3. Определить напор насоса по показаниям приборов:

$$H = -h_{\text{МАН}}^1 + h_{\text{МАН}}^2 + z + \frac{v_{\text{Н}}^2 - v_{\text{В}}^2}{2g}$$

4. Определить стоимость электроэнергии за 100 сут работы насосной установки при работе 21 ч в сутки с учетом удельной стоимости электроэнергии $a = 6,0$ р/кВт·ч; кпд насоса $\eta_{\text{Н}} = 0,82$ и кпд двигателя $\eta_{\text{ДВ}} = 0,92$.

5. Определить коэффициент сопротивления прикрытой задвижки $\xi_{\text{Зад}}$, если с ее прикрытием мощность насоса уменьшается на 27 %, а напор увеличивается на 33 % от исходных расчетных величин при полностью открытой задвижке; при этом кпд насоса снизится до 85 % от исходной величины, а кпд электродвигателя не изменится.

6. Определить показания прибора 2 при прикрытой задвижке.

Удельные сопротивления А для стальных труб

Таблица 4

Диаметр D, м	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30
A (для Q, м ³ /с)	0,0017	0,003	0,0055	0,011	0,023	0,058	0,19	0,85

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флексер Я. Н. Практикум по гидравлике и сельскохозяйственному водоснабжению. – М.: Колос, 1969.
2. Васильев Б. А., Греков Н. А. Гидравлические машины. – М.: Агропромиздат, 1988.
3. Померанцев О. Н. Определение гидравлических и энергетических параметров насосной установки в различных условиях работы: Методическое пособие по выполнению домашнего задания для студентов эколого-мелиоративного и строительного факультетов. – М.: МГУП, 2002.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
Пример 1.....	6
Пример 2.....	15
Пример 3.....	18
Задание для выполнения контрольной работы.....	23
Список литературы.....	28