

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции

РАСЧЕТ ГИДРОСИСТЕМ С ПОСТРОЕНИЕМ
НАПОРНОЙ И ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ЛИНИЙ

Методические указания к выполнению расчетно-графической работы

Казань

2015

Составители: Варсегова Е.В.

УДК 532-642

Расчет гидросистем с построением напорной и пьезометрической линий:
Методические указания к выполнению расчетно-графической работы. Изд. 2-е
перераб. и доп. Сост.: Варсегова Е.В. КГАСУ, 2015.- 26 с.

В данных методических, указаниях приводятся краткие теоретические
сведения и рекомендации, облегчающие самостоятельное выполнение
расчетно-графической работы.

Табл.8, илл.6, библиогр. 5 наим,

Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2015 г.

ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Работа выполняется на стандартных листах 210-300 мм. Текст на одной стороне листа. Схемы и рисунки могут быть помещены в текстовой части работы. Расчетно-графическая работа оформляется в виде пояснительной записки по предлагаемому образцу.

КГАСУ

Кафедра теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции

Расчетно-графическая работа
Расчет гидросистем с построением
напорной и пьезометрической линий

Вариант №...

Выполнил студент группы

Принял преподаватель

Казань, 20_

Условие задачи РГР должно быть полностью (без сокращений текста и слов) приведено в начале записки. По условиям задачи составляется расчетная схема с буквенными обозначениями заданных и искомых величин. Весь текст и расчеты должны быть написаны четко авторучкой, только схемы и рисунки можно выполнить в карандаше.

Решение задач должно сопровождаться кратким пояснительным текстом и связующими словами, поясняющими последовательность решения. Сокращения слов в тексте расчета не допускаются, за исключением общепринятых, например: табл. (таблица), рис. (рисунок), с. (страница), изд. (издание) и т.д.

В конце выполненной работы следует дать список использованной литературы, а в тексте расчета должны быть указаны ссылки на литературу, из которой берутся формулы, коэффициенты, рекомендации. Автор и название книги в тексте не приводятся. Делается сноска из списка использованной литературы, например: [1, 3.32]. При повторений в работе одинаковых формул и справочных материалов - ссылка на литературу дается один раз.

Все расчеты следует выполнять с применением международной системы единиц измерения (СИ). Для сопоставления с единицами старой системы МКГСС (технической) рекомендуется итоговые результаты измерений приводить как в единицах международной системы, так и в технической системе.

Выполненное задание сдается преподавателю на проверку.

ЗАЩИТА РГР

Студент должен выполнить и защитить РГР в установленные сроки. При защите работы преподаватель выясняет усвоение студентом темы в целом, его способность решить любую другую расчетную схему в пределах данной темы.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ. УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Основным уравнением гидродинамики является уравнение Бернулли, которое для установившегося; плавно изменяющегося потока реальной жидкости имеет вид:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{1-2} \quad (1)$$

где $z + \frac{P}{\gamma}$ – удельная потенциальная энергия сечения;

$\frac{\alpha v^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия сечения;

$z_2 + \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}$ – полная удельная энергия сечения;

h_{1-2} – суммарные потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений между сечениями 1 и 2.

Уравнение Бернулли выражает сохранения энергии в потоке жидкости. Суммарные потери напора

$$h_{1-2} = \sum h_l + \sum h_m \quad (2)$$

где $\sum h_l$ – сумма путевых (т.е. по длине) потерь напора на отдельных участках трубопровода;

$\sum h_m$ – сумма потерь напора на преодоление всех местных сопротивлений на расчетных участках.

Путевые потери напора вычисляются по формуле Дарси–Вейсбаха

$$h_l = \lambda \frac{l v^2}{d 2g} \quad (3)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения или коэффициент Дарси;

l – длина участка между двумя рассматриваемыми сечениями;

d – диаметр трубы;

v – средняя скорость в живом сечении;

g – ускорение свободного падения.

Величина коэффициента Дарси λ зависит от режимов движения и вычисляется по эмпирическим и полуэмпирическим формулам. В гидравлике рассматриваются два режима движения жидкости: ламинарный и турбулентный. Критерием перехода от ламинарного режима к турбулентному является критическое число Рейнольдса, которое для труб круглого сечения равно:

$$Re = \frac{vd}{\nu} = 2320 \quad (4)$$

Условно принято: если $Re < 2320$ – режим ламинарный; если $2320 \leq Re \leq 4000$ – переходный; если $Re > 4000$ – турбулентный. Здесь ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости, зависящий от рода жидкости и температуры.

Значения кинематического коэффициента вязкости воды в зависимости от температуры даются в таблице 1.

Таблица 1

t°C	10	12	14	16	18	20	22	24
v, см ² /с	0,0131	0,0124	0,0118	0,0112	0,0106	0,0101	0,0099	0,0092

Путевые потери напора при турбулентном режиме движения существенно зависят от соотношения абсолютной высоты выступа шероховатости трубы Δ и толщины вязкого подслоя (ламинарной пленки δ), в пределах которого движение ламинарное. Так как фактическая высота всех выступов шероховатости не является одинаковой, кроме того, различны форма и густота расположения выступов, вводится понятие эквивалентной шероховатости $\Delta_{\text{экв}}$, т.е. такой равномерной шероховатости, которая дает одинаковую с заданной шероховатостью величину λ . Значения эквивалентной шероховатости для труб из различного материала приведены в таблице 2,

Таблица 2

Трубы, их материал и состояние	мм
Трубы из металлопластика новые	0,0004
Тянутые трубы из стекла и цветных металлов	0,0001
Трубы стальные	
бесшовные новые чистые	0,014(0,01-0,02)
сварные новые чистые	0,05(0,03-0,12)
сварные умеренно заржавевшие	0,5(0,3-0,7)
Трубы чугунные	
новые	0,7(0,25-1,0)
бывшие в употреблении	1,3(1,0-1,5)

В таблице 2 приведены наиболее вероятные значения шероховатости для средних условий; в скобках указаны возможные пределы колебаний.

При ламинарном режиме коэффициент λ вычисляется по формуле Пуазейля

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

В области, переходной от ламинарного режима к турбулентному, т.е. при $2320 \leq Re \leq 4000$ коэффициент λ вычисляется по формуле

$$\lambda = \frac{Re^{0,625}}{4470} \quad (6)$$

В турбулентном режиме движения различают три области гидравлических сопротивлений, в которых λ вычисляется по разным формулам.

1. Область гидравлически гладких труб

Выступы шероховатости погружены в вязкий ламинарный подслей ($\Delta_{\text{экв}} < \delta$) и не нарушают его целостности. Выступы обтекаются без отрывов и вихреобразований в подслое δ . В этом случае шероховатость Δ не влияет на

гидравлическое сопротивление и коэффициент трения λ . Ориентировочно можно сказать, что область гидравлических гладких труб существует при

$$4000 < Re < 20 \frac{d}{\Delta}$$

Коэффициент λ в этой области может быть подсчитан по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (7)$$

которая справедлива для чисел Re от 4000 до 100000.

2. Переходная область сопротивления

Высота выступов шероховатости $\Delta_{\text{ЭКВ}}$ того же порядка, что и толщина вязкого подслоя δ . В этом случае на гидравлические сопротивления будут влиять как число Re , так и величина выступов шероховатости. Эта область существует при

$$20 \frac{d}{\Delta} \leq Re \leq \frac{d}{\Delta}$$

В этой области коэффициент λ может быть подсчитан по формуле Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (8)$$

Выступы шероховатости выходят за пределы вязкого подслоя ($\Delta_{\text{ЭКВ}} \gg \delta$), трубы гидравлически шероховатые. Эта область существует при

$$Re > 500 \frac{d}{\Delta}$$

Здесь λ вычисляется по формуле Шифринсона

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \quad (9)$$

Нужно сказать, что формула (8) Альтшуля может быть использована во всех трех областях сопротивления, т.е. для любых поверхностей при турбулентном режиме.

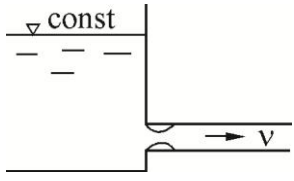
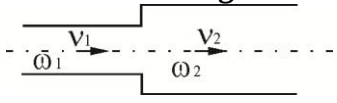
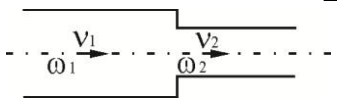
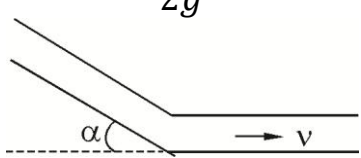
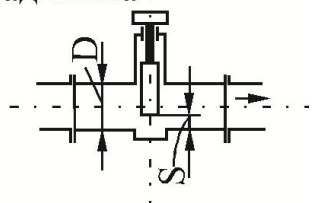
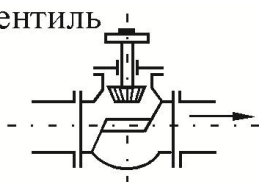
Местные потери напора h_m определяются по формуле Вейсбаха

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

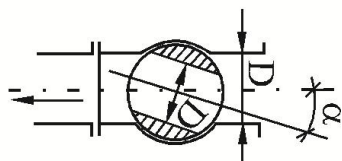
где ζ , - безразмерный коэффициент, величина которого зависит от вида местного сопротивления (вход в трубу, резкое изменение живого сечения, поворот, клапан ит.д); v - средняя скорость в потоке за местным сопротивлением.

Числовые значения коэффициентов местных потерь ζ , находятся в справочных таблицах. Ниже приведены численные значения ζ для некоторых видов местных сопротивлений в квадратичной области сопротивления.

Таблица 3

Схема сопротивления	Коэффициент потерь																					
<p>Вход в трубу $h = \zeta_{\text{вх}} \cdot \frac{v^2}{2g}$</p> 	<p>При острых кромках $\zeta_{\text{вх}} = 0,50$. При закругленных кромках и плавном входе $\zeta_{\text{вх}} = 0,20$. При весьма плавном входе $\zeta_{\text{вх}} = 0,05$</p>																					
<p>Внезапное расширение</p> $h = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \zeta_{\text{в.р}} \cdot \frac{v^2}{2g}$ 	$\zeta_{\text{в.р}} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$																					
<p>Внезапное сужение</p> $h = \zeta_{\text{в.с}} \cdot \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_{\text{в.с}} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$																					
<p>Поворот трубы (колесо)</p> $h = \zeta_{\text{кол}} \cdot \frac{v^2}{2g}$ 	<p style="text-align: center;">$\zeta_{\text{кол}} = A \cdot B$</p> <table border="1" data-bbox="758 1115 1417 1249"> <thead> <tr> <th>α°</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>45</th> <th>60</th> <th>75</th> <th>90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>2,50</td> <td>2,22</td> <td>1,87</td> <td>1,5</td> <td>1,28</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0,05</td> <td>0,07</td> <td>0,17</td> <td>0,37</td> <td>0,63</td> <td>0,99</td> </tr> </tbody> </table>	α°	20	30	45	60	75	90	A	2,50	2,22	1,87	1,5	1,28	1,20	B	0,05	0,07	0,17	0,37	0,63	0,99
α°	20	30	45	60	75	90																
A	2,50	2,22	1,87	1,5	1,28	1,20																
B	0,05	0,07	0,17	0,37	0,63	0,99																
<p>Задвижка</p> 	<table border="1" data-bbox="801 1438 1433 1706"> <thead> <tr> <th>S/d \ D, мм</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,23</td> <td>0,16</td> <td>0,14</td> </tr> <tr> <td>3/4</td> <td>0,9</td> <td>0,68</td> <td>0,55</td> </tr> <tr> <td>1/2</td> <td>4,1</td> <td>3</td> <td>2,6</td> </tr> <tr> <td>1/4</td> <td>32</td> <td>20</td> <td>16</td> </tr> </tbody> </table>	S/d \ D, мм	25	50	100	1	0,23	0,16	0,14	3/4	0,9	0,68	0,55	1/2	4,1	3	2,6	1/4	32	20	16	
S/d \ D, мм	25	50	100																			
1	0,23	0,16	0,14																			
3/4	0,9	0,68	0,55																			
1/2	4,1	3	2,6																			
1/4	32	20	16																			
<p>Вентиль</p> 	<p style="text-align: center;">Полностью открытый</p> <table border="1" data-bbox="758 1825 1388 1915"> <thead> <tr> <th>D, мм</th> <th>13</th> <th>25</th> <th>50</th> <th>100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ζ</td> <td>10,8</td> <td>6,1</td> <td>4,6</td> <td>4,1</td> </tr> </tbody> </table>	D, мм	13	25	50	100	ζ	10,8	6,1	4,6	4,1											
D, мм	13	25	50	100																		
ζ	10,8	6,1	4,6	4,1																		

Кран



α°	5	10	20	30	40	50	60
$\zeta_{кр}$	0,05	0,29	1,56	5,47	17,3	52,6	206

Методика применения уравнения Бернулли для потока вязкой жидкости

Применение уравнения Бернулли для гидравлических расчетов предусматривает ряд последовательных действий, а именно: выбор положения плоскости сравнения, выбор расчетных сечений, определение потерь напора, построение напорной линии, построение пьезометрической линии. Рассмотрим их на примере напорной системы, показанной на рис. 1.

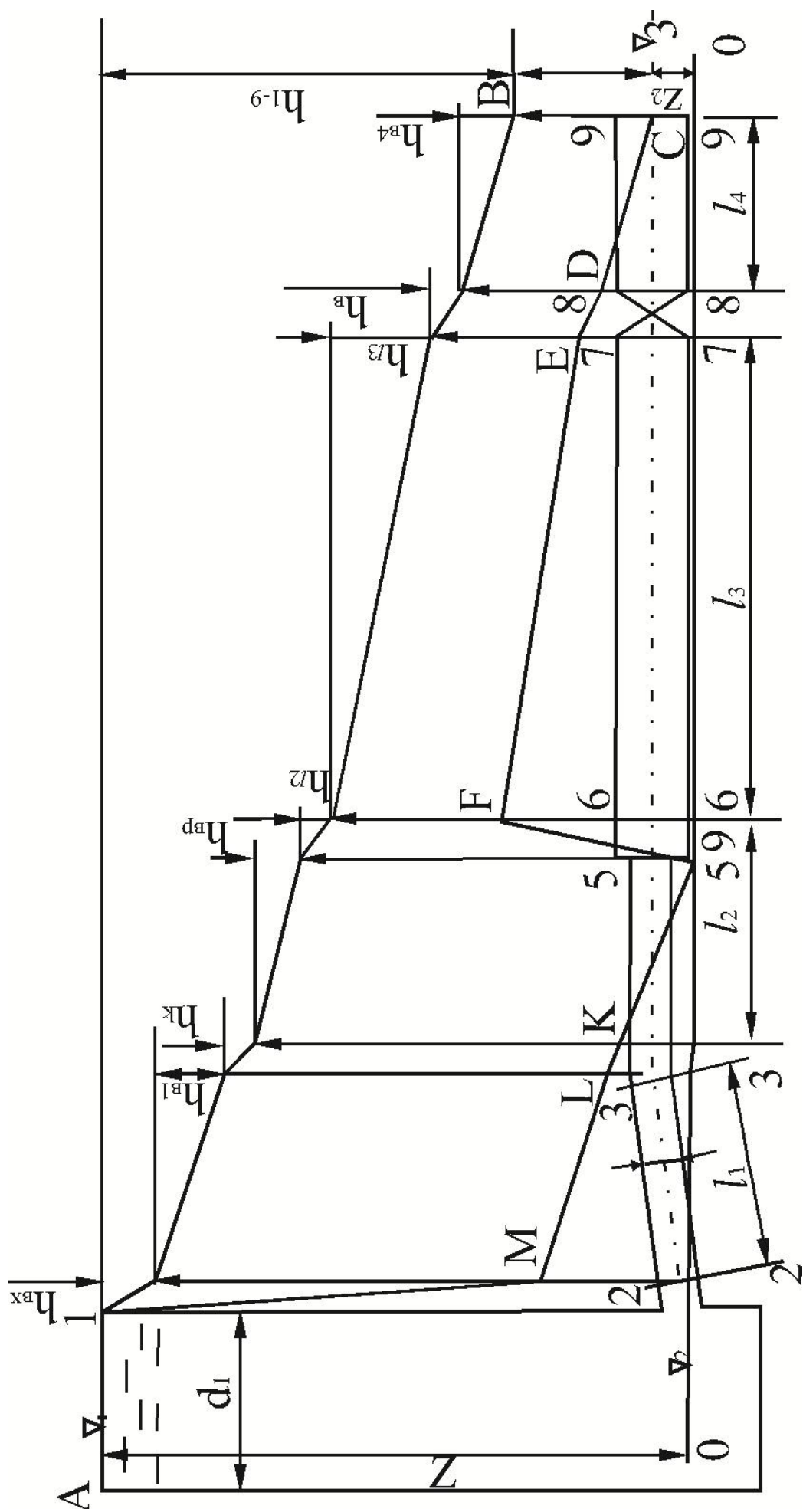


Рис.1

Выбор положения плоскости сравнения

Обязательным требованием является горизонтальность плоскости сравнения, т.е. она должна быть перпендикулярна линии действия сил тяжести. Для упрощения техники расчета и исключения возможных ошибок стараются назначить плоскость сравнения так, чтобы обеспечить во всех расчетных сечениях $z \geq 0$.

Выбор расчетных сечений и определение потерь напора

В качестве расчетных назначаются сечения, где известно максимальное число слагаемых уравнения (3). Например, в сечениях 1-1 и 9-9 (рис.1) заданы геометрические высоты и давления, т.е. пьезометрические высоты.

Расчет потерь напора связан с выявлением характерных гидравлических сопротивлений. На цилиндрических участках 2-3, 4-5, 6-7, 8-9 с плавноизменяющимся движением будут наблюдаться потери напора с постоянной интенсивностью по всей длине, т.е. путевые потери. Они вычисляются по формуле (3), а коэффициент λ надо вычислять по формуле, подобранной в зависимости от численного значения числа Рейнольдса.

Местные потери напора происходят на участках с резкоизменяющимся движением. В приводимом примере (рис. 1) - это потери на участках входа в трубу $h_{вх}$, поворота h_n , расширения h_p , вентиля h_v . Следовательно, выявление отдельных потерь напора, составляющих полную потерю h_{1-9} , связано с назначением живых сечений, отделяющих участки с плавно изменяющимся движением - сечения 2-2 8-8 на рис. 1.

Построение напорной линии

К построению напорной линии можно приступить после того, как в результате решения уравнения Бернулли станут известными величины: гидродинамические напоры в начальном и конечном сечениях (1-1 и 9-9 на рис. 1); расход и потери напора. При этом важно учесть одно обстоятельство, характерное для многих задач: сравнивая различные сечения, можно обнаружить, что некоторые из них значительно больше остальных. В нашем примере таким является сечение 1-1 ($d_1 \gg d_9 > d_2$). Из уравнения неразрывности следует, что скорости обратно пропорциональны площадям живых сечений, например: $v_1 \omega_1 = v_9 \omega_9$ или

$$v_1 = v_9 \frac{\omega_9}{\omega_1} = v_9 \left(\frac{d_9}{d_1} \right)^2$$

Скоростные напоры - функция квадрата скоростей, поэтому они обратно пропорциональны четвертой степени диаметров:

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{\alpha_9 v_9^2}{2g} \left(\frac{d_9}{d_1} \right)^2$$

Следовательно, скоростные напоры в больших сечениях малы по сравнению с другими членами уравнения Бернулли и часто ими можно пренебречь.

Построение напорной линии начинается с исходного сечения 1-1. Находим для него гидродинамический напор, считая в соответствии с изложенным выше, что $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \approx 0$. При этом гидродинамический напор в сечении 1-1 оказывается равным геометрической высоте $H_{01} \approx z_1$, так как избыточное давление в сечении 1-1 тоже равно нулю. В данном сечении напорная линия и пьезометрическая совпадают с уровнем ∇_1 ; $H_{01} \approx H_1 \approx z_1$.

В результате можно сделать важное обобщение для безнапорных потоков, находящихся под атмосферным давлением: их свободная поверхность и пьезометрическая линия совпадают, а уклон свободной поверхности таких потоков - это пьезометрический уклон.

Если бы жидкость была идеальной, т.е. невязкой, то напорная линия проходила бы параллельно плоскости сравнения 0-0 на высоте ∇_1 , постоянного гидродинамического напора $H_0 = const$.

В случае реальной, т.е. вязкой жидкости исходный гидродинамический напор будет уменьшаться на величину путевых и местных потерь напора. Потеря напора на вход на участке 1-2 понизит напорную линию на величину h_{ex} , на длине l_1 , - на h_l и т.д. В результате получится напорная линия АВ. Ее гидравлический уклон выражает интенсивность потерь энергии на каждом участке. Он равен отношению потерь напора к длине соответствующего участка, например: $J_4 = \frac{h_4}{l_4}$.

Построение пьезометрической линии

Пьезометрическую линию обычно строят, начиная с конечного сечения 9-9, где пьезометрический напор равен высоте $H_9 = z_9$ (т.к. P_9 равно нулю), т.е. пьезометрическая линия должна проходить через точку С. Причем расстояние СВ есть не что иное, как скоростной напор, т.е. удельная кинетическая энергия потока в сечении 9-9:

$$CB = \frac{\alpha_9 v_9^2}{2g}$$

Зная скоростной напор хотя бы в одном из сечений системы, например в сечении 9-9, дальнейшее построение ведут, используя уравнение неразрывности. При известном расходе или скорости в одном из сечений по этому уравнению можно найти скорости в других сечениях, а по ним - скоростные напоры.

Для построения пьезометрической линии определяют пьезометрические напоры для выбранных сечений. Их находят, вычитая из значений гидродинамических напоров соответствующие скоростные напоры. Графически это осуществляют, откладывая вниз соответствующие значения величин $\frac{\alpha v_i^2}{2g}$.

На всех цилиндрических участках, где движение равномерное, скорости и скоростные напоры постоянны: скоростные напоры на участках СД и ЕФ равны $\frac{\alpha_9 v_9^2}{2g}$; на участках УК и ЛМ они тоже одинаковы, но больше скоростного напора в сечении 9-9, т.к. сечение трубы на длинах l_1 и l_2 меньше, чем на участках l_3 и l_4 . Поэтому на участках СД, ЕФ, УК и ЛМ пьезометрическая линия параллельна напорной. Для окончательного построения достаточно соединить перечисленные отрезки пьезометрической линии прямыми в пределах участков резко изменяющегося движения, учитывая при этом, что в сечении 1-1 пьезометрический и гидродинамический напоры равны.

Следует обратить внимание на то, что напорная линия, т.е. линия суммарной удельной энергии, всегда понижается, т.е. движение происходит за счет затрат- потерь энергии. Линия же потенциальной энергии, или пьезометрическая линия, в целом, тоже понижается, но в некоторых местах может повышаться в связи с увеличением сечения и соответственным уменьшением скорости потока.

Еще одно замечание. Если в первом сечении, т.е. на свободной поверхности в резервуаре, давление не равно атмосферному, а скажем, больше или меньше атмосферного, то начало напорной и пьезометрической линий будет находиться не на уровне ∇_1 , свободной поверхности в резервуаре, а соответственно, выше или ниже этого уровня на величину избыточного пьезометрического напора (манометрического, либо вакуумметрического).

Пример решения задачи.

Определить напор H , необходимый для пропускa заданного расхода Q через систему коротких трубопроводов, показанных на рис.2. Построить линии потенциальной и суммарной удельных энергий при следующих данных: $Q = 40$ л/с; $l_1 = 100$ м; $l_2 = 200$ м; $l_3 = 200$ м; $d_1 = 200$ мм; $d_2 = 300$ мм; $d_3 = 200$ мм. Трубы чугунные водопроводные, бывшие в эксплуатации. Температура воды $t = 20^\circ\text{C}$. Вход в трубу - с острыми кромками.

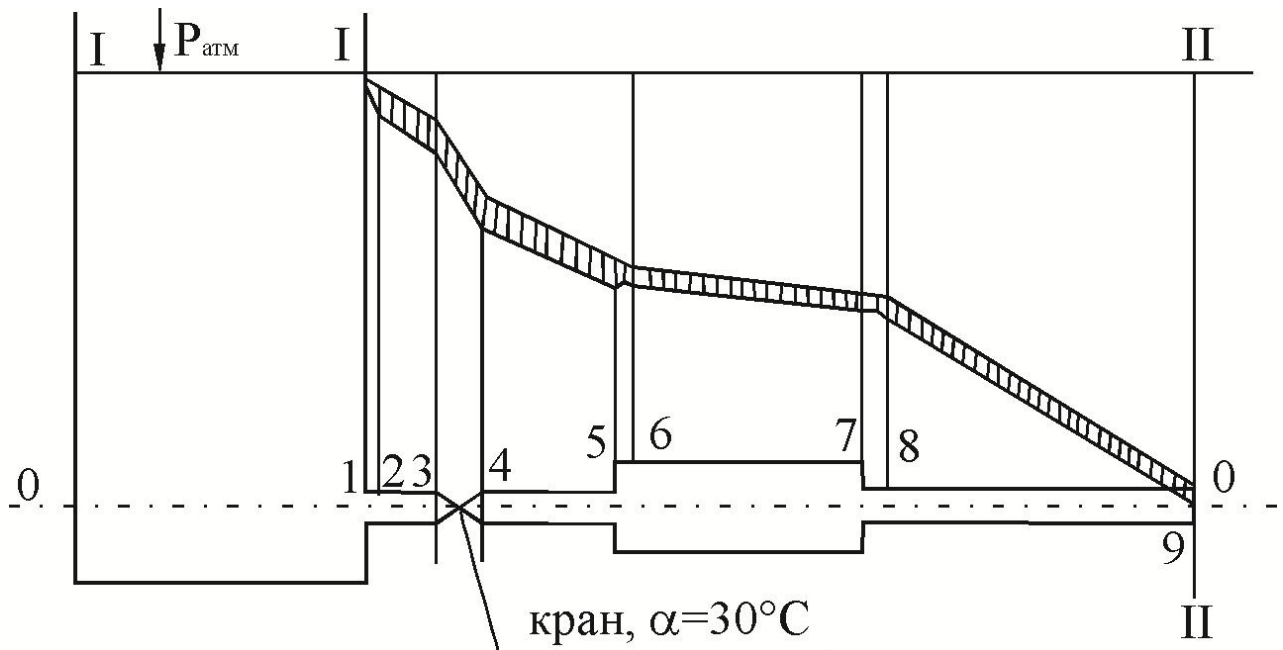


Рис.2

Решение.

Запишем уравнение Бернулли в общем виде:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_{II} + \frac{P_{II}}{\gamma} + \frac{\alpha_{II} v_{II}^2}{2g} + h_{1-II}$$

Сечение 1-1 совместим со свободной поверхностью в резервуаре, а II-II - с выходным сечением трубопровода. За ось сравнения 0-0 выбираем линию, совпадающую с осью трубопроводов. Тогда $z_1 = H$, $P_1 = P_{атм}$, $P_{II} = P_{атм}$. Скоростным напором в первом сечении пренебрегаем ввиду его малости по сравнению с другими членами уравнения Бернулли. Конкретный вид уравнения Бернулли будет следующим:

$$H = \frac{\alpha_{II} v_{II}^2}{2g} + h_{1-II}$$

Рассмотрим потери напора.

1. Потери напора на вход в трубу:

$$h_{вх} = \zeta_{вх} \frac{v_1^2}{2g}$$

где v_1 , - скорость в первой трубе Коэффициент потерь на вход в трубу возьмем из таблицы 3.

$\zeta_{вх} = 0,5$. Средняя скорость в первой трубе:

$$v_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot (200 \cdot 10^{-3})^2} = 1,27 \frac{м}{с}$$

Скоростной напор в первой трубе (принимая $\alpha \approx 1$):

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{1,27^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{1,61}{19,62} = 0,082 \text{ м}$$

Потери на вход равны:

$$h_{вх} = 0,5 \cdot 0,082 = 0,041 \text{ м} \approx 0,04 \text{ м}$$

2. Потери на трение по длине в первой трубе:

$$h_1 = \lambda_1 \frac{l_1 v_1^2}{d_1 2g}$$

Определим режим движения в первой трубе, для этого найдем значение числа Рейнольдса $Re = vd/\nu$. Значение ν при температуре воды 20 °С возьмем из табл. 1. $\nu = 0,0101$ см²/с.

Тогда

$$Re = \frac{127 \cdot 20}{0,0101} = 251485 > 2320$$

Следовательно, режим движения турбулентный.

Из таблицы 2 находим, что для чугунных нормальных (т.е. бывших в эксплуатации) водопроводных труб высота выступов эквивалентной равномернойзернистой шероховатости равна

$$\Delta \approx 1,4 \text{ мм}$$

Вычислим число Рейнольдса, соответствующее переходу от доквадратичной области к квадратичной.

$$Re_{\text{кв}} = 500 \frac{d}{\Delta} = 500 \frac{200}{1,4} = 71429$$

Так как $251485 > 71429$, то область сопротивления квадратичная. Коэффициент путевых потерь λ в этом случае вычисляем по формуле (9) Шифринсона

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d}\right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{1,4}{200}\right)^{0,25} = 0,0318,$$
$$h_{l1} = \lambda_1 \frac{l_1 v_1^2}{d_1 2g} = 0,0318 \cdot \frac{100}{0,2} \cdot 0,082 = 1,304 \approx 1,3 \text{ м.}$$

3. Потери в кране.

Значение коэффициента потерь в кране $\zeta_{\text{кр}} = 5,47$ (см. таблицу 3).

$$h_{\text{кр}} = \zeta_{\text{кр}} \frac{v_1^2}{2g} = 5,47 \cdot 0,082 = 0,448 \text{ м} \approx 0,45 \text{ м.}$$

4. Потери напора на внезапное расширение трубы.

В случае внезапного расширения трубопровода местные потери напора определяются по формуле Борда:

$$h_{\text{вн.р}} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

где v_1 и v_2 - средние скорости в сечениях, выбранных соответственно до и после расширения потока.

Определим:

$$v_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{0,070686} = 0,566 \text{ м/с} \approx \frac{0,57 \text{ м}}{\text{с}};$$
$$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{0,57^2}{2 \cdot 9,81} = 0,016 \text{ м}; \quad v_1 = 1,27 \text{ м/с};$$
$$h_{\text{вн.р}} = \frac{(1,27 - 0,57)^2}{19,62} = 0,024 \text{ м} \approx 0,02 \text{ м.}$$

5. Потери на трение по длине второй трубы:

$$h_{l2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2g}$$

Определим режим движения во второй трубе

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{57 \cdot 30}{0,0101} = 169273 > 2320.$$

Следовательно, режим движения турбулентный.

Вычислим

$$Re_{кв} = 500 \frac{d}{\Delta} = 500 \cdot \frac{300}{1,4} = 107143$$

Наше число Рейнольдса 169273 больше, чем $Re_{кв}$ т.е. область сопротивления квадратичная и $\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d}\right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{1,4}{300}\right)^{0,25} = 0,0287$

$$h_{l2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2g} = 0,0287 \cdot \frac{200}{0,3} \cdot 0,016 = 0,306 \approx 0,31 \text{ м.}$$

6. Потери на внезапное сужение.

$$\zeta_{в.с} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_3}{\omega_2}\right) = 0,5 \left(1 - \frac{0,0314}{0,0707}\right) = 0,28,$$

$$h_{о.с} \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 0,28 \cdot 0,082 = 0,023 \text{ м} \approx 0,02 \text{ м.}$$

$v_3 = v_1$, т.к. диаметры труб на первом и третьем участках одинаковые и $\frac{v_3^2}{2g} = 0,082 \text{ м};$

7. Потери на трение по длине в третьей трубе

$$h_{l3} = \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \frac{v_3^2}{2g}$$

Так как диаметр и материал третьей трубы такой же, как и первой, то $\lambda_1 = \lambda_3 = 0,0318$

$$h_{l3} = 0,0318 \cdot \frac{200}{0,2} \cdot 0,082 = 2,608 \text{ м} \approx 2,61 \text{ м.}$$

Суммируем все потери:

$$\sum h = h_{вх} + h_{l1} + h_{кр} + h_{вн.р} + h_{l2} + h_{вн.с} + h_{l3},$$

$$\sum h = 0,04 + 1,3 + 0,45 + 0,02 + 0,31 + 0,02 + 2,61 = 4,75 \text{ м.}$$

Искомый напор будет равен

$$H = \sum h + \frac{\alpha v_{II}^2}{2g} = \sum h + \frac{\alpha v_3^2}{2g} = 4,75 + 0,08 = 4,83 \text{ м.}$$

Построение линии полной удельной энергии

Для построения линии полной удельной энергии нужно из напора H вычесть сумму потерь до рассматриваемого сечения B в качестве расчетных выберем девять сечений, для которых определим значения полной удельной энергии E .

$$\begin{aligned}
E_1 &= H - \sum h_{1-1} = H = 4,83 \text{ м; величиной, } \sum h_{1-1} \text{ пренебрегаем;} \\
E_2 &= H - \sum_{1-2} h = H - h_{\text{вх}} = 4,83 - 0,04 = 4,79 \text{ м;} \\
E_3 &= H - \sum_{1-3} h = H - h_{\text{вх}} - \frac{h_{l1}}{3} = 4,79 - \frac{1,3}{3} = 4,36 \text{ м;} \\
E_4 &= H - \sum_{1-4} h = H - h_{\text{вх}} - \frac{h_{l1}}{3} - h_{\text{кр}} = 4,36 - 0,45 = 3,91 \text{ м;} \\
E_5 &= H - \sum_{1-5} h = H - h_{\text{вх}} - h_{l1} - h_{\text{кр}} = 3,91 - 0,87 = 3,04 \text{ м;} \\
E_6 &= H - \sum_{1-6} h = H - h_{\text{вх}} - h_{l1} - h_{\text{кр}} - h_{\text{вн.р}} = 3,04 - 0,02 = 3,02 \text{ м;} \\
E_7 &= H - \sum_{1-7} h = H - h_{\text{вх}} - h_{l1} - h_{\text{кр}} - h_{\text{вн.р}} - h_{l2} = 3,02 - 0,31 = 2,71 \text{ м;} \\
E_8 &= H - \sum_{1-8} h = H - h_{\text{вх}} - h_{l1} - h_{\text{кр}} - h_{\text{вн.р}} - \\
&\quad - h_{l2} - h_{\text{вн.с}} = 2,71 - 0,02 = 2,69 \text{ м;} \\
E_{89} &= H - \sum_{1-9} h = H - h_{\text{вх}} - h_{l1} - h_{\text{кр}} - h_{\text{вн.р}} - \\
&\quad - h_{l2} - h_{\text{вн.с}} - h_{l3} = 2,69 - 2,61 = 0,08 \text{ м;}
\end{aligned}$$

Значение полной удельной энергии E_9 равно $\frac{v_3^2}{2g} = 0,08$, т.е. равно кинетической энергии на выходе.

Построение пьезометрической линии (линии удельной потенциальной энергии)

Для построения линии удельной потенциальной энергии $z + \frac{P}{\gamma}$ нужно из полученных значений полной удельной энергии в сечениях вычесть соответствующие скоростные напоры.

Скоростные напоры:

$$\begin{aligned}
\frac{v_1^2}{2g} &= \frac{v_3^2}{2g} = 0,082 \approx 0,08 \text{ м;} \\
\frac{v_3^2}{2g} &= 0,016 \approx 0,02 \text{ м.}
\end{aligned}$$

Коэффициент кинетической энергии (коэффициент Кориолиса) в расчетах принимаем равным $\alpha = 1$.

В сечении перед входом в трубопровод

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = E_1 - 0 = 4,83 \text{ м.}$$

В последующих сечениях:

$$z_2 + \frac{P_2}{\gamma} = E_2 - \frac{\alpha v_1^2}{2g} = 4,79 - 0,08 = 4,71 \text{ м;}$$

$$z_3 + \frac{P_3}{\gamma} = E_3 - \frac{\alpha v_1^2}{2g} = 4,36 - 0,08 = 4,28 \text{ м};$$

$$z_4 + \frac{P_4}{\gamma} = E_4 - \frac{\alpha v_1^2}{2g} = 3,91 - 0,08 = 3,83 \text{ м};$$

$$z_5 + \frac{P_5}{\gamma} = E_5 - \frac{\alpha v_1^2}{2g} = 3,04 - 0,08 = 2,96 \text{ м};$$

$$z_6 + \frac{P_6}{\gamma} = E_6 - \frac{\alpha v_1^2}{2g} = 3,02 - 0,02 = 3,00 \text{ м};$$

$$z_7 + \frac{P_7}{\gamma} = E_{27} - \frac{\alpha v_1^2}{2g} = 2,71 - 0,02 = 2,69 \text{ м};$$

$$z_8 + \frac{P_8}{\gamma} = E_{82} - \frac{\alpha v_1^2}{2g} = 2,69 - 0,08 = 2,61 \text{ м};$$

$$z_9 + \frac{P_9}{\gamma} = E_9 - \frac{\alpha v_1^2}{2g} = 0,08 - 0,08 = 0 \text{ м};$$

На выходе из трубопровода давление (избыточное) равно нулю, и конец пьезометрической линии совпадает с центром выходного сечения. Построение линий удельной энергии следует вести в масштабе. Построенные линии показаны на рис. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Д. Гиргидов. Техническая механика жидкости и газа. С,-П.: Изд-во СПбГТУ, 1999.
2. Константинов Н.М., Петров Н.А., Высоцкий Л.И. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. М.: Высшая школа, 1987.
3. Примеры расчетов по гидравлике. Под ред. А.Д.Альтшуля, М.: Строй - издат, 1976.
4. Константинов Ю.М. Гидравлика. Киев.: Вита школа, 1968.
5. СтП КИСИ, Казань, 1983

Варианты заданий

Вариант 1.

Из бака (рис. 3) при постоянном напоре H по прямому горизонтальному трубопроводу с последовательным соединением вытекает вода в атмосферу, а на расстоянии l_3 от конца трубопровода установлена задвижка. Определить расход воды в трубопроводе, если задвижка открыта наполовину и построить пьезометрическую и напорную линии при следующих данных: $l_1 = 100$ м, $l_2 = 140$ м, $l_3 = 90$ м, $l'_3 = 10$ м, $d_1 = 25$ мм, $d_2 = 75$ мм, $d_3 = 50$ мм. Трубы стальные сварные новые. Температура воды 18°C . Давление P_0 над поверхностью воды в резервуаре равно атмосферному:

- а) $H = 4$ м, б) $H = 8$ м, в) $H = 16$ м.

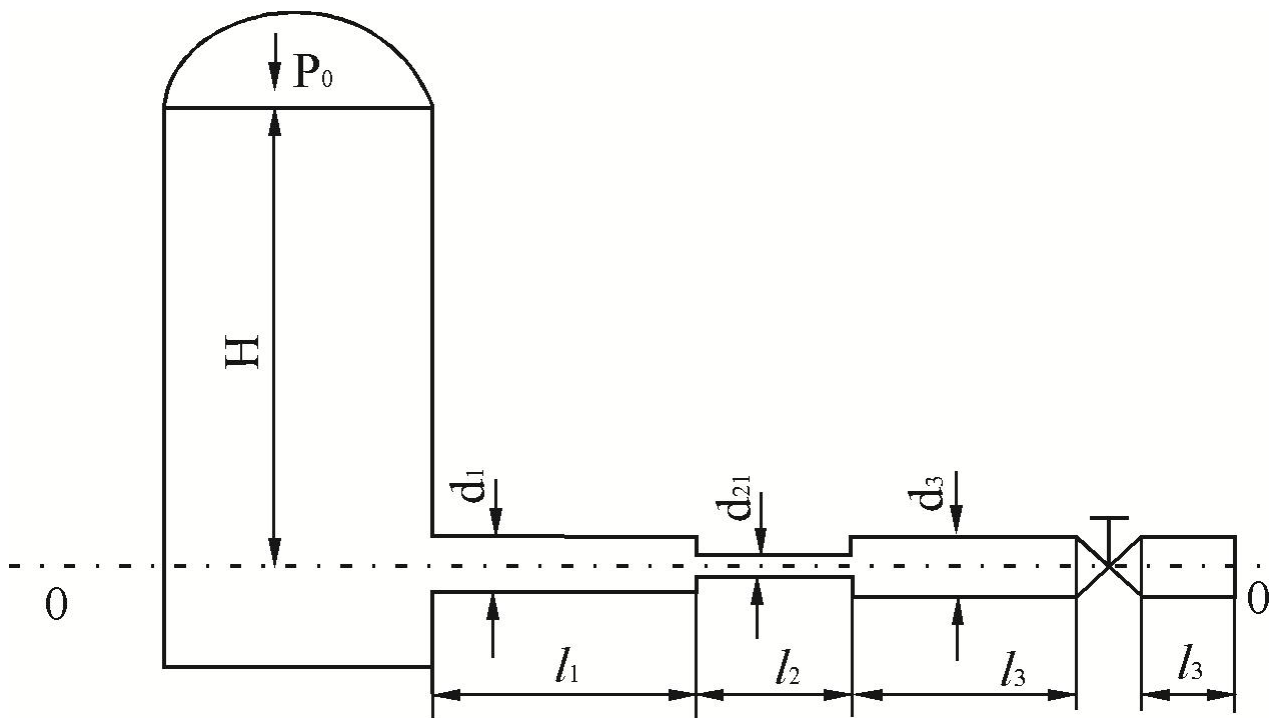


Рис.3

Вариант 2.

Определить, высоту напорной башни H для обеспечения работы системы, показанной на рис. 3, а также построить пьезометрическую и напорную линии при следующих условиях: $l_1 = 80$ м, $l_2 = 120$ м, $l_3 = 60$ м, $l'_3 = 10$ м, $d_1 = 0,075$ м, $d_2 = 0,025$ м, $d_3 = 0,05$ м. Задвижка открыта наполовину, температура воды $t = 20^\circ\text{C}$. Трубы стальные сварные новые.

- Расход Q равен: а) $Q = 0,5$ л/с, б) $Q = 0,75$ л/с, в) $Q = 1,0$ л/с.

Вариант 3.

Определить напор H , необходимый для пропускa расхода $Q = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ через систему труб диаметрами $d_1=100 \text{ мм}$, $d_2=50 \text{ мм}$, $d_3=75 \text{ мм}$ длинами $l_1 = 10 \text{ м}$, $l_2 = 5 \text{ м}$, $l_3 = 6 \text{ м}$, $l'_3 = 1 \text{ м}$ (рис.3) Трубы чугунные, бывшие в употреблении, температура воды $t = 10^\circ\text{C}$. Задвижка открыта на одну четверть. Манометрическое давление на поверхности воды в резервуаре:

а) $P_o = P_{ман} = 24,5 \text{ кПа}$ ($0,25 \text{ атм}$), б) $P_{ман} = 0,4 \text{ атм}$, в) $P_{ман} = 0,6 \text{ атм}$.

Построить напорную и пьезометрическую линии.

Вариант 4.

Определить манометрическое давление $P_{ман}$ над поверхностью воды в резервуаре, необходимое для пропускa расхода $Q = 0,012 \text{ м}^3/\text{с}$ через систему труб, показанную на рис 3, с диаметрами $d_1 = 100 \text{ мм}$, $d_2 = 50 \text{ мм}$, $d_3 = 75 \text{ мм}$ и длинами участков $l_1 = 10 \text{ м}$, $l_2 = 5 \text{ м}$, $l_3 = 6 \text{ м}$, $l'_3 = 1 \text{ м}$. Трубы чугунные, бывшие в употреблении, температура воды $t = 10^\circ\text{C}$. Задвижка открыта на одну четверть.

Построить напорную и пьезометрическую линии.

Глубина воды в резервуаре:

а) $H = 10 \text{ м}$, б) $H = 8 \text{ м}$, в) $H = 5 \text{ м}$.

Вариант 5.

Определить вакуум над поверхностью воды в резервуаре $P_{вак}$ при напоре $H = 12 \text{ м}$ и пропуске расхода $Q = 0,0125 \text{ м}^3/\text{с}$ через систему труб, показанную на рис.3 с диаметрами $d_1=100 \text{ мм}$, $d_2=50 \text{ мм}$, $d_3=100 \text{ мм}$ длинами $l_1 = 10 \text{ м}$, $l_2 = 5 \text{ м}$, $l_3 = 8 \text{ м}$, $l'_3 = 1 \text{ м}$. Температура воды $t = 20^\circ\text{C}$. Задвижка открыта полностью. Трубы чугунные новые. Построить пьезометрическую и напорную линии.

а) $Q = 0,0125 \text{ м}^3/\text{с}$, б) $Q = 0,0118 \text{ м}^3/\text{с}$, в) $Q = 0,0110 \text{ м}^3/\text{с}$.

Вариант 6.

Определить расход Q через систему труб как рис. 3 с диаметрами $d_1=100 \text{ мм}$, $d_2=50 \text{ мм}$, $d_3=100 \text{ мм}$ длинами $l_1 = 10 \text{ м}$, $l_2 = 5 \text{ м}$, $l_3 = 8 \text{ м}$, $l'_3 = 1 \text{ м}$. Задвижка открыта полностью Трубы чугунные новые. Температура воды $t = 20^\circ\text{C}$. Построить напорную и пьезометрическую линии, если вакуум над поверхностью воды с глубиной $H = 12 \text{ м}$ равен:

а) $P_{вак} = 3 \text{ м вод.ст}$, б) $P_{вак} = 4 \text{ м вод.ст}$, в) $P_{вак} = 5 \text{ м вод.ст}$.

Вариант 7.

Найти угол открытия крана α для пропускa расхода Q через систему труб с диаметрами $d_1=25 \text{ мм}$, $d_2=50 \text{ мм}$, $d_3=25 \text{ мм}$, длинами $l_1 = 5 \text{ м}$, $l_2 = 5 \text{ м}$, $l_3 = 5 \text{ м}$, $l'_3 = 1 \text{ м}$ при напоре воды в резервуаре $H=3 \text{ м}$ (рис. 4;). Трубы новые стальные сварные. Вход в трубу из резервуара с острыми кромками. Температура воды $t = 20^\circ\text{C}$. Построить напорную и пьезометрическую линии.

а) $Q = 1 \text{ л/с}$, б) $Q = 0,75 \text{ л/с}$, в) $Q = 0,5 \text{ л/с}$.

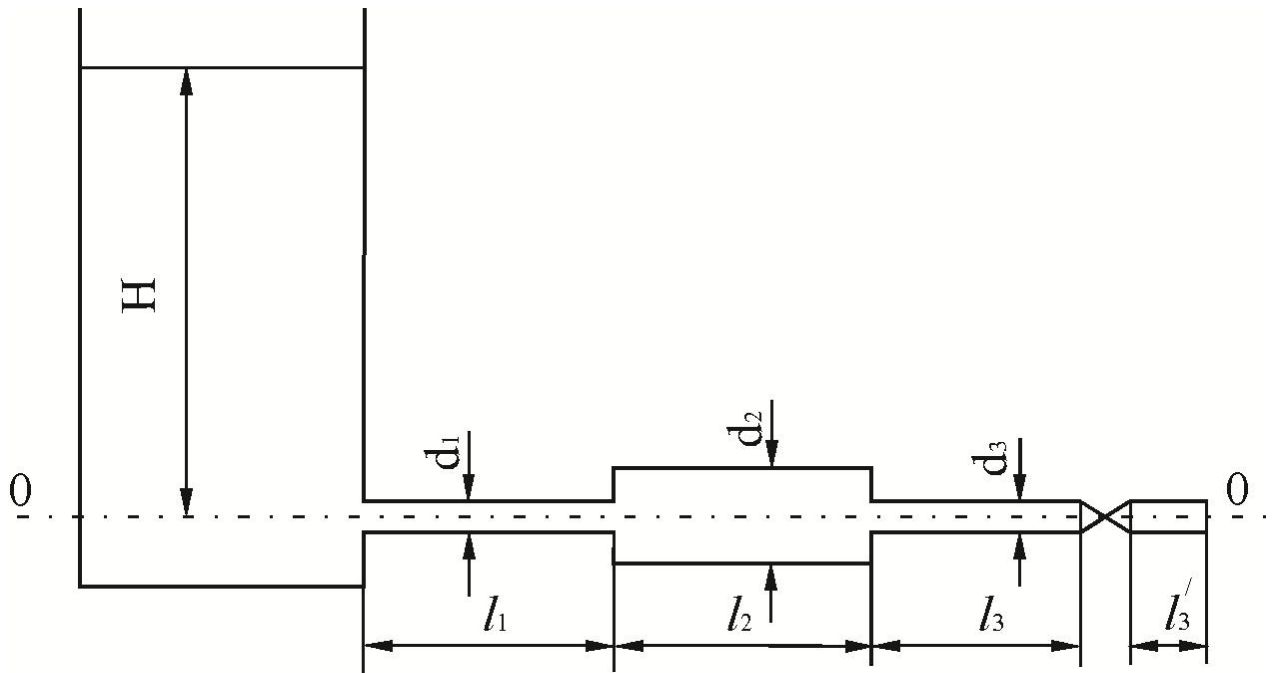


Рис.4

Вариант 8.

Определить напор H , необходимый для пропуска расхода Q через систему труб, показанную на рис. 5. Трубы новые стальные бесшовные с диаметрами; $d_1=50$ мм, $d_2=25$ мм, $d_3=d_2$. Длины участков, $l_1 = 10$ м, $l_2 = 10$ м, $l_3 = 10$ м. Конец последнего участка поднят на высоту $z = 1,6$ м.

В середине второго участка находится вентиль, он полностью открыт.

Температура воды $t = 10^\circ\text{C}$.

Построить напорную и пьезометрическую линии:

а) $Q = 0,3$ л/с, б) $Q = 0,6$ л/с, в) $Q = 1$ л/с.

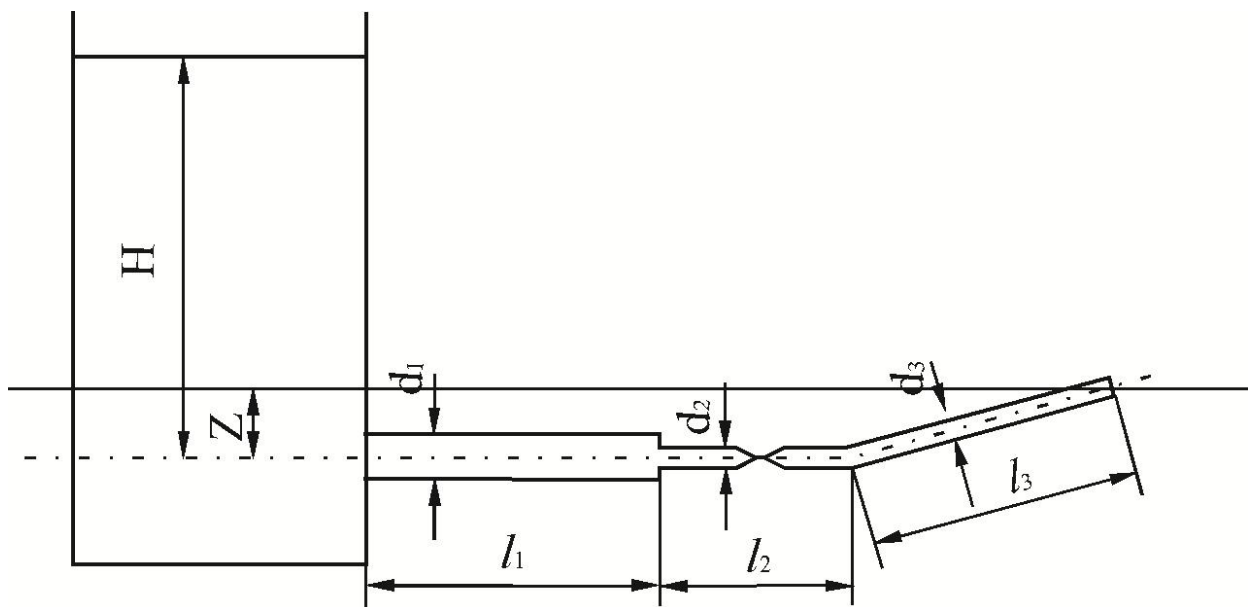


Рис.5

Вариант 9.

Определить напор H , необходимый для пропуска расхода Q через систему труб, показанную на рис. 6. Трубы стальные сварные умеренно заржавевшие. Диаметры труб $d_1=150$ мм, $d_2=d_3=100$ мм. Длины участков $l_1 = 15$ м, $l_2 = 10$ м, $l_3 = 10$ м. В середине второго участка имеется вентиль, он полностью открыт. Колено с углом $\alpha = 25^\circ$.

Построить напорную и пьезометрическую линии.

а) $Q = 20$ л/с, б) $Q = 30$ л/с, в) $Q = 40$ л/с.

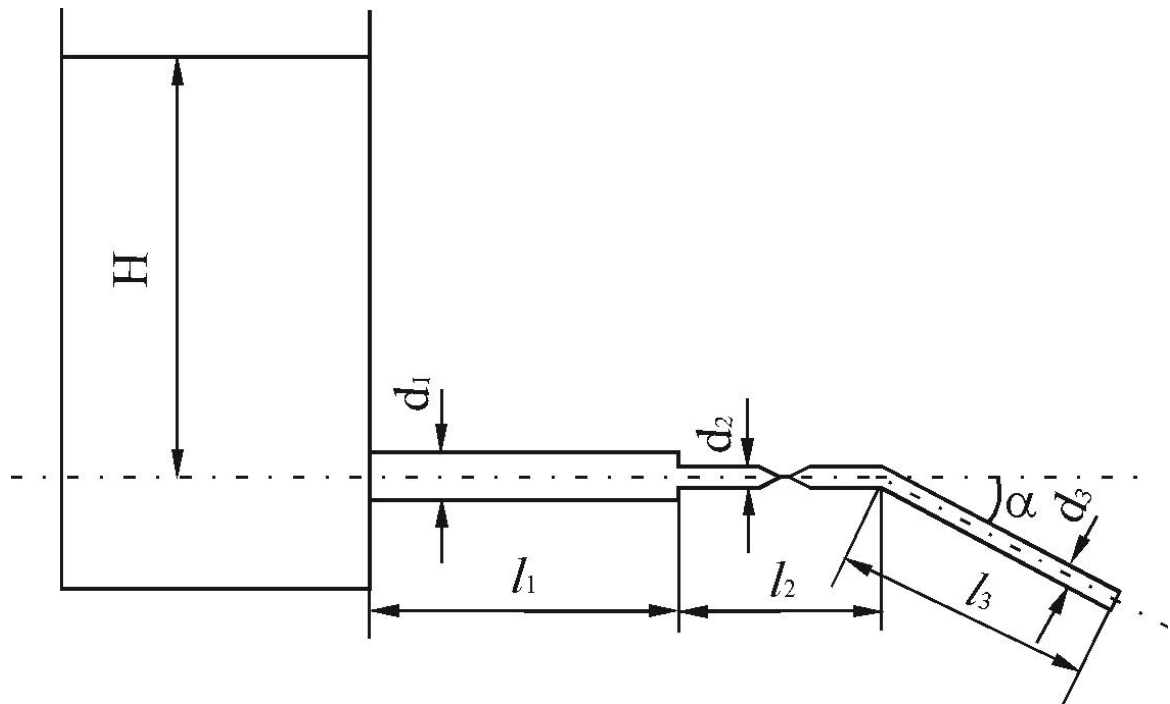


Рис.6

Вариант 10.

Определить расход воды, проходящий через систему труб, показанную на рис.6. Трубы чугунные водопроводные бывшие в эксплуатации. Вентиль в середине второго участка полностью открыт. Диаметры $d_1=100$ мм, $d_2 = d_3= 50$ мм. Длины участков $l_1 = l_2 = l_3 = 10$ м. Колено с углом $\alpha = 20^\circ$. Температура воды $t = 15^\circ\text{C}$. Построить напорную и пьезометрическую линии.

а) $H = 5$ м, б) $H = 6$ м, в) $H = 7$ м.

РАСЧЁТ ГИДРОСИСТЕМ С ПОСТРОЕНИЕМ НАПОРНОЙ И ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ЛИНИЙ

Методические указания к выполнению
расчетно-графической работы

Составители: Варсегова Е.В.

Редактор:

Редакционно-издательский отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать	Формат 60x84/16	
Заказ	Тираж экз.	Усл-печ.л. 1,6
Бумага тип. N 1	Печать офсетная	Уч.-изд.д. 1,6

Печатно-множительный отдел КГАСУ
420043, Казань, Зеленая, 1