



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Гидравлика»

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

*Методические указания
к выполнению контрольных
и курсовых работ*

Минск
БНТУ
2012

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Гидравлика»

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Методические указания к выполнению контрольных
и курсовых работ для студентов заочного отделения
строительных специальностей

Минск
БНТУ
2012

УДК [532.5+533.6] (075.8)

ББК 22.253я7

М 55

Составители:

*И.М. Шаталов, В.В. Кулебякин,
А.Н. Кондратович, М.М. Михновец*

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент кафедры «Сопротивление материалов
машиностроительного профиля» *А.А. Хмелев*;

канд. техн. наук, ст. научный сотрудник Института тепло-
и массообмена им. А.В. Лыкова *А.В. Матвейчук*

Методические указания по механике жидкости и газа составлены для студентов строительного профиля, обучающихся как на заочной, так и дневной форме обучения. Расчетные схемы были разработаны доцентом кафедры «Гидравлика» БПИ И.П. Вопнярским, детализированы и доработаны авторами предлагаемых методических указаний. В оформлении методических указаний приняли непосредственное участие студенты факультета энергетического строительства специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Д. Валевач, Н. Карпова.

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по механике жидкости и газа содержат краткие теоретические пояснения по основным разделам одноименной дисциплины, расчетные схемы и исходные данные к ним для выполнения курсовой или расчетно-графической работы студентами, обучающимися на специальностях строительного профиля дневного или заочного отделения.

Целью методических указаний является: научить студентов практически использовать современные методы гидравлического расчета систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов.

В методических указаниях приведены реальные расчетные схемы систем водоснабжения и водоотведения небольших населенных пунктов с целью лучшего усвоения студентами основных принципов и структуры гидравлического расчета этих систем в целом.

В тексте методических указаний кроме теоретических пояснений приведены также и некоторые справочные данные.

Курсовая или расчетно-графическая работа выполняется в соответствии с существующими нормативными правилами и стандартами.

Пояснительная записка может быть представлена в рукописном или компьютерном варианте (что желательно) на листах писчей бумаги формата А4 (210 x 297 мм) с текстом, имеющем поле для замечаний преподавателя, схемы и чертежи выполняются в карандаше на миллиметровке, возможен также и компьютерный вариант. Исходные данные записываются по выданному варианту без сокращений, затем следует подробное решение. Буквенные обозначения, входящие в расчетные формулы, должны быть пояснены. Числовые значения подставляются в формулу в последовательности ее написания. Аналитические и эмпирические формулы, различные справочные величины, применяемые в расчетах, должны сопровождаться ссылками (однократно) на литературные источники, из которых они взяты.

Расчеты необходимо выполнить в Международной системе единиц измерений. При подстановке величин в формулы нужно следить за соблюдением размерностей. Единицы измерения употребляемых и получаемых в расчетах физических величин должны быть обязательно указаны.

При необходимости выполнения большого количества однотипных расчетов в пояснительной записке показывается в полном объеме только один пример расчета; результаты остальных сводятся в таблицу. В тексте нужно дать пояснения к составлению таблицы и выводы по полученным результатам.

В конце пояснительной записки приводится список использованной литературы.

При приеме задания преподаватель проверяет не только правильность выполнения расчетов, но и качество знаний студента по проработанным темам.

При оформлении задания выполнение требований ГОСТ обязательны.

Расчетные схемы и исходные данные выбираются по таблице приложения глава 8 в соответствии с порядковым номером студента в экзаменационной (зачетной) ведомости или выдаются непосредственно преподавателем.

Глава 1 ГИДРОСТАТИКА

1.1 ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ

Гидростатическим давлением в данной точке называется напряжение сжатия в ней, равное

$$p = \lim_{\Delta W \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta W} \right),$$

где ΔW – элементарная площадка, содержащая данную точку;

ΔP – нормальная сжимающая сила, действующая на эту площадку.

Гидростатическое давление в точке, являющееся нормальным сжимающим напряжением, по всем направлениям одинаково и зависит от положения точек в покоящейся жидкости.

Единицей давления в СИ является Паскаль (Па):

$$1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} = \frac{1 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}}{1 \text{ м}^2} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2} = 10^{-3} \text{ кПа}.$$

В технике для измерения давления используют еще техническую атмосферу

$$1 \text{ ат} = \frac{1 \text{ кгс}}{\text{см}^2} = 10 \text{ м вод. ст.} = 9,81 \cdot 10^{-4} \text{ Па}.$$

При решении большинства задач данного раздела используется основное уравнение гидростатики

$$\frac{p}{\rho g} + z = \text{const},$$

где ρ – плотность жидкости;

z – координата или отметка точки;

g – ускорение свободного падения.

В литературе встречается и такая запись основного уравнения гидростатики:

$$\frac{\rho}{\gamma} + z = const$$

где γ – удельный вес жидкости, $\gamma = \rho g$.

Для несжимаемой жидкости, находящейся в равновесии под действием силы тяжести, полное (абсолютное) давление в точке

$$p = p_0 + \rho g h,$$

где p_0 – давление на свободной поверхности жидкости;

$\rho g h$ – вес столба жидкости высотой h с площадью поперечного сечения, равной единице (h – глубина погружения точки).

При решении задач могут быть приняты такие значения плотности ρ некоторых жидкостей: вода – 1000 кг/м^3 ; ртуть – 13600 кг/м^3 ; бензин – 750 кг/м^3 ; глицерин – 1250 кг/м^3 ; нефть – 900 кг/м^3 .

Избыток абсолютного давления над атмосферным называется избыточным, или манометрическим, давлением:

$$p_{\text{ман}} = p - p_a = p_0 + \rho g h - p_a.$$

Недостаток абсолютного давления до атмосферного называется вакуумом, или вакуумметрическим давлением:

$$p_{\text{вак}} = p_a - p.$$

Отношение манометрического давления к ρg называется пьезометрической высотой, а вакуума к ρg – вакуумметрической высотой

$$\frac{p_{\text{ман}}}{\rho g} = \frac{p - p_a}{\rho g};$$

$$h_{\text{вак}} = \frac{p}{\rho g} = \frac{p_a - p}{\rho g}.$$

1.2 СИЛА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПЛОСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Сила гидростатического давления на плоскую поверхность

$$P = (\rho_0 + \rho g h_{\text{ц}}) W,$$

где $h_{\text{ц}}$ – глубина погружения центра тяжести смоченной части площади поверхности;

W – площадь смоченной части поверхности.

Единицей силы в системе СИ является ньютон:

$$1 \text{ Н} = 10^{-3} \text{ кН} = 10^{-6} \text{ МН}.$$

Сила избыточного давления при $\rho_0 = \rho_a$

$$P = \rho g h_{\text{ц}} W.$$

Она приложена в центре давления, координата которого определяется по формуле

$$Z_{\text{д}} = Z_{\text{ц}} + \frac{I_0}{W Z_{\text{ц}}},$$

где $Z_{\text{ц}}$ – координата центра тяжести смоченной части поверхности;

I_0 – момент инерции площади смоченной части поверхности относительно горизонтальной оси, проходящей через центр ее тяжести.

Сила гидростатического давления на плоскую поверхность может быть определена и с помощью эпюры давления, которая представляет собой график изменения давления в зависимости от глубины. Эпюру гидростатического давления строят с помощью основного уравнения гидростатики. Объем эпюры равен силе гидростатического давления на плоскую поверхность.

Сила проходит через центр тяжести эпюры S , место положение которого может быть определено графически или по формулам.

1.3 СИЛА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Сила гидростатического давления на криволинейную поверхность определяют по формуле

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2},$$

где P_x, P_y, P_z – составляющие силы избыточного давления по соответствующим координатным осям.

В случае цилиндрической криволинейной поверхности

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$$

где P_x, P_z – горизонтальная и вертикальная составляющие силы P .

Горизонтальная составляющая избыточного давления P_x равна силе давления на вертикальную проекцию криволинейной поверхности

$$P_x = (\rho_m + \rho g h_{\text{ц}}) W_z,$$

где ρ_m – манометрическое давление на поверхности жидкости;

$h_{\text{ц}}$ – глубина погружения центра тяжести вертикальной проекции криволинейной поверхности;

W_z – площадь вертикальной проекции криволинейной поверхности.

Если манометрическое давление на свободную поверхность жидкости равна нулю ($\rho_0 = \rho_a$), то

$$P_x = \rho g h_{\text{ц}} W_z.$$

Вертикальная составляющая P_z равна весу жидкости в объеме тела давления. Тело давления расположено между вертикальными плоскостями, проходящими через крайние образующие цилиндрической поверхности, самой цилиндрической поверхностью и свободной поверхностью жидкости или ее продолжением.

$$P_z = \rho g W,$$

где W – объем тела давления.

Если давление на свободной поверхности жидкости $\rho_0 \neq \rho_a$, то тело давления ограничивается сверху пьезометрической плоскостью, удаленной от свободной поверхности жидкости на расстояние

$$\frac{\rho_m}{\rho g} = \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho g}.$$

Направление силы P определяется тангенсом угла α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\rho_z}{\rho_x}.$$

Если криволинейная поверхность не цилиндрическая, то горизонтальную составляющую P_y определяют аналогично силе P_x .

Глава 2 ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

2.1 ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

Основные определения. *Линия тока* – это линия, касательная к которой в каждой точке в данный момент времени совпадает с направлением скорости в этой точке. Скорость в точке называется *местной скоростью* u .

Элементарной струйкой называется бесконечно малый объем вокруг линии тока.

Потоком называется совокупность элементарных струек

Живым сечением потока называется сечение, нормальное в каждой своей точке, соответствующей линии тока.

Смоченным периметром χ называется часть периметра поперечного сечения русла, соприкасающаяся с жидкостью.

Гидравлическим радиусом R называется отношение площади живого сечения ω к смоченному периметру

$$R = \omega / \chi$$

Расходом потока Q называется количество жидкости, проходящее через живое сечение русла за единицу времени.

Средней скоростью в живом сечении V называется условная, одинаковая для всех точек сечения скорость, при которой расход потока будет такой же, как и при различных местных скоростях.

Расход и средняя скорость связаны между собой формулами

$$Q = V \cdot \omega$$

и

$$V = Q / \omega.$$

Средняя скорость в живом сечении может быть также определена из формулы

$$V = \frac{\int_{\omega} u d\omega}{\omega}$$

или приближенно

$$V = \frac{\sum u d\omega}{\omega} = \frac{Q}{\omega}$$

где $\Delta\omega = \omega/n$ – часть площади живого сечения, разбитой на n равных частей;

u – скорость в центре тяжести этой части площади.

Виды движения жидкости. Движение жидкости может быть неустановившееся или установившееся.

Неустановившимся движением называют такое движение, при котором элементы потока (расход, скорость, глубина, давление и др.) изменяются во времени. При *установившемся движении* элементы потока во времени не изменяются. Такое движение в свою очередь может быть неравномерным или равномерным.

Неравномерным называется движение, при котором элементы потока изменяются вдоль движения. При *равномерном* движении элементы потока (скорость, глубина, площадь живого сечения) вдоль движения не изменяются.

Движение жидкости также может быть напорным и безнапорным. *Напорным* называется движение, при котором поток соприкасается по всему периметру живого сечения со стенками русла. При *безнапорном* движении поток имеет свободную поверхность. Так как при установившемся движении расход в различных живых сечениях потока является величиной постоянной, то средние скорости и площади этих живых сечений связаны между собой уравнением неразрывности (сплошности) потока

$$V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 = \dots = V_n \omega_n = Q = const.$$

2.2 УРАВНЕНИЕ Д. БЕРНУЛЛИ БЕЗ УЧЕТА ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ

Уравнение Д. Бернулли для потока невязкой жидкости без учета потерь энергии, составленное для двух расчетных сечений 1-1 и 2-2 относительно произвольной горизонтальной плоскости сравнения, записывается в следующем виде:

$$z_1 + \frac{\rho_1}{\rho g} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{\rho_2}{\rho g} + \frac{\alpha V_2^2}{2g}$$

В литературе встречается также запись уравнения Д. Бернулли в виде

$$z_1 + \frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g},$$

где $\gamma = \rho g$ – удельный вес жидкости.

С энергетической точки зрения уравнение Д. Бернулли выражает закон сохранения энергии в потоке движущейся жидкости. Левая и правая части этого уравнения представляют собой сумму двух видов удельной энергии: потенциальной, состоящей из энергии положения z и энергии давления $P/\rho g$, и кинетической $V^2/2g$. Коэффициент кинетической энергии α при движении невязкой жидкости с достаточной степенью точности может быть принят равным единице.

С геометрической точки зрения уравнение Д. Бернулли представляет собой уравнение напоров. Полный (гидромеханический) напор H_0 состоит из суммы пьезометрического напора $H = z + P/\rho g$ и скоростного напора $h_v = \frac{V^2}{2g}$.

При составлении уравнения Д. Бернулли расчетные сечения выбираются так, чтобы в них движение было *плавноизменяющимся*, при котором живые сечения являются плоскими поверхностями. Отметка z и пьезометрическая высота $P/\rho g$ принимаются для центра тяжести живого сечения. При выборе расчетных сечений и плоско-

сти сравнения следует стремиться к тому, чтобы как можно большее количество величин, входящих в уравнение, были известными, и в уравнение входили бы искомые величины.

При расчете движения жидкости совместно с уравнением Д. Бернулли применяется также уравнение неразрывности (сплошности) потока.

2.3 РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Движение вязкой (реальной) жидкости сопровождается затратами энергии на преодоление сопротивлений движению. Эти потери энергии определяются по-разному при различных режимах движения. Существует два режима движения жидкости: ламинарный и турбулентный. При ламинарном режиме жидкость движется слоями, а при турбулентном режиме движения наблюдается беспорядочное перемешивание частиц жидкости.

Режим движения жидкости характеризуется числом Рейнольдса Re , которое в общем случае определяется по формуле

$$Re_R = \frac{VR}{\nu}$$

Для напорного движения в круглых трубах применяется формула

$$Re_D = \frac{VD}{\nu}$$

В этих формулах: V – средняя в сечении скорость движения; R – гидравлический радиус; D – диаметр трубы; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Если число Рейнольдса больше некоторого критического значения ($Re > Re_{кр}$), то поток движется при турбулентном режиме, а при числах Рейнольдса $Re < Re_{кр}$ устанавливается ламинарный режим.

Для круглых напорных труб принимается $Re_{D\text{кр}} = 2320$. Для безнапорных потоков $Re_{R\text{кр}} = 300 \div 500$, можно принимать в расчетах $Re_{D\text{кр}} = 580$.

Значения кинематического коэффициента вязкости ν для некоторых жидкостей приведены в таблица 2.1.

Таблица 2.1

Наименование жидкости	Температура, $t^{\circ}\text{C}$	ν , cm^2/c
Вода	5	0,0152
»	10	0,0131
»	15	0,0115
»	20	0,0101
»	45	0,0060
Нефть (плотность 800 кг/м^3)	15	0,28 – 0,34

При ламинарном режиме движения жидкости в круглой трубе распределение скоростей по сечению характеризуется зависимостью

$$u = u_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right),$$

где r – расстояние от оси трубы до рассматриваемой точки в живом сечении;

r_0 – радиус трубы;

u_{\max} – максимальная скорость в живом сечении (по оси трубы), определяемая по формуле

$$u_{\max} = \frac{\tau_0 r_0}{2\nu\rho}.$$

Касательные напряжения у стенки трубы

$$\tau_0 = \frac{8\nu\rho V}{D}.$$

При ламинарном режиме движения средняя скорость потока в живом сечении

$$V = \frac{u_{\max}}{2},$$

а касательные напряжения по сечению трубы распределяются по зависимости

$$\tau = \frac{\tau_0}{r_0} r.$$

При турбулентном режиме движения распределение осредненных скоростей u по сечению трубы может быть приближенно принято по зависимости

$$\bar{u} = u_* \left(5,75 \lg \frac{y u_*}{V} + 5,5 \right),$$

где y – расстояние от стенки трубы до рассматриваемой точки (при определении значения \bar{u} у стенки трубы в формулу следует подставить достаточно малое конечное значение y);

u_* – величина, имеющая размерность скорости, которая называется динамической скоростью и определяется по формуле

$$u_* = \frac{V \sqrt{\lambda}}{2\sqrt{2}},$$

где λ – гидравлический коэффициент трения, определяемый по эмпирическим формулам (подробнее см. главу 2.4).

Зависимость между максимальной \bar{u}_{\max} и средней V в сечении скоростями движения определяется по приближенной формуле

$$\bar{u}_{\max} = V + 3,75 u_*.$$

2.4 ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Гидравлические сопротивления разделяются на сопротивления по длине и местные. Сопротивления по длине проявляются на всей длине рассматриваемого участка потока. Местные сопротивления характеризуются резким изменением конфигурации живого сечения потока. В соответствии с этим и потери напора (энергии) бывают по длине и местные.

Потери напора по длине в общем случае определяются по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_f = \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g},$$

где λ – гидравлический коэффициент трения (коэффициент Дарси);
 l – длина расчетного участка трубы;
 D – диаметр трубы.

При ламинарном режиме движения гидравлический коэффициент трения зависит от числа Рейнольдса Re и для круглых труб определяется по формуле

$$\lambda = \frac{64}{Re}.$$

Потери напора по длине при ламинарном режиме движения определяются по формуле

$$h_f = \frac{32\nu}{gD^2} l V / \psi,$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости;

ψ – коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора на начальном участке и определяемый по формуле

$$\psi = 1 + \frac{Re D}{400l}.$$

При длине трубы $l > 0,05 ReD$ значение Ψ с достаточной степенью точности можно принимать равным единице.

При турбулентном режиме движения различают три области гидравлических сопротивлений:

- 1) область гидравлически гладких труб при числе Рейнольдса $Re = 2320 \div 20 \frac{D}{\Delta_{эк}}$ (здесь $\Delta_{эк}$ – эквивалентная шероховатость);
- 2) переходная область сопротивлений при $Re = 20 \div 500 \frac{D}{\Delta_{эк}}$;
- 3) область гидравлически шероховатых труб (или квадратичная область) при $Re > 500 \frac{D}{\Delta_{эк}}$.

Эквивалентная шероховатость $\Delta_{эк}$, мм, для труб имеет следующие значения приводятся в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Стальные цельнотянутые трубы новые	0,02 – 0,05
То же, неновые (бывшие в эксплуатации)	0,15 – 0,3
Стальные сварные новые	0,04 – 0,1
Чугунные новые	0,25 – 1
Чугунные и стальные сварные неновые	0,8 – 1,5
Асбестоцементные новые	0,05 – 0,1
То же, неновые	0,6
Бетонные и железобетонные	0,3 – 0,8

В области гидравлически гладких труб гидравлический коэффициент трения λ может быть определен по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}.$$

Для полиэтиленовых водопроводных труб, обычно работающих в области гидравлически гладких труб, также применяется формула Ф.А. Шевелева

$$\lambda = \frac{0,0134}{[DV]^{0,026}}.$$

При переходной области сопротивления применяются: формула А.Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,01 \left[\frac{\Delta_{\text{эк}}}{D} + \frac{68}{\text{Re}} \right]^{0,25}.$$

и для водопроводных труб формула Ф.А. Шевелева

$$\lambda = \frac{m}{D^n} \left(1 + \frac{f}{V} \right)^n,$$

где значения коэффициентов m , n , f принимаются по таблице 2.3.

Таблица 2.3

Вид труб	Коэффициенты			
	m	n	f	m_1
Стальные новые	0,0159	0,226	0,684	0,0121
Чугунные новые	0,0144	0,284	2,36	0,0143
Стальные и чугунные неновые:				
при $V \leq 1,2$ м/с	0,0179	0,3	0,867	—
при $V \geq 1,2$ м/с	—	0,3	—	0,021
Асбестоцементные	0,011	0,19	3,51	—

В области гидравлически шероховатых труб коэффициент гидравлического трения λ может быть определен по формуле Прандтля

$$\lambda = \frac{0,25}{\ln \left[\frac{3,7D}{\Delta_{\text{эк}}} \right]^2}.$$

или по формуле Б.Л. Шифринсона

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{эк}}}{D} \right)^{0,25}.$$

Для водопроводных труб применяется формула Ф.А. Шевелева

$$\lambda = \frac{m_1}{D^n},$$

где значения коэффициентов m_1 и n принимаются по таблице 2.2.

Местные потери определяются по формуле

$$h_1 = \xi \frac{V^2}{2g},$$

где ξ – коэффициент местных сопротивлений.

В квадратичной области сопротивлений коэффициент местных сопротивлений зависит от вида сопротивления. Некоторые значения $\xi = \xi_{\text{кв}}$ приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Вид сопротивления	$\xi_{\text{кв}}$	B
Пробочный кран	0,4–1,5	150
Вентиль	2,5–6	900–3000
Задвижка, полностью открытая	0,15	75
Вход из резервуара в трубу	0,5	30

Окончание таблицы 2.4

Вид сопротивления	$\xi_{\text{кв}}$	В
Выход трубы в резервуар	1	30
Вход в трубу с сеткой	6	–
То же, с обратным клапаном	10	–
Резкий поворот трубы на угол 30°	0,155	–
То же, 45°	0,318	–
То же, 60°	0,555	–
То же, 90°	1,19	400
Плавный поворот трубы на угол φ° :		
при радиусе поворота $R_{\text{п}} = 1,5 D$	$0,45 \frac{\varphi}{90^\circ}$	180
То же, $R_{\text{п}} = 2,5$	$0,42 \frac{\varphi}{90^\circ}$	180

Примечание. Для запорной арматуры при полном открытии и отсутствии необходимых данных о величине В можно приближенно принимать $B \approx \xi_{\text{кв}}$.

Коэффициенты сопротивления при внезапном расширении трубопровода определяются по формуле

$$\xi_{\text{в.р}} = \alpha_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2,$$

где ω_1 и ω_2 – площади живых сечений до и после расширения;

α_1 – коэффициент кинетической энергии в сечении до расширения. Для труб круглого сечения значения α_1 могут быть определены по формуле А.Д. Альтшуля

$$\alpha_1 = 1 + 2,65\lambda,$$

где λ – гидравлический коэффициент трения, определяемый по формулам или задаваемый по условиям задачи.

Для труб круглого сечения при определении $\xi_{в.р}$ можно пользоваться следующими данными:

$\frac{D_2}{D_1}$	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	3	2,75
$\frac{\xi_{расш}}{\alpha_1}$	0	0,31	1,56	4,24	9	16,4	27,5	64	42,7

Здесь D_1 и D_2 – диаметры трубы до и после внезапного расширения.

Коэффициенты сопротивления при внезапном сужении трубы имеют такие значения:

$\frac{D_2}{D_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\frac{\xi_{расш}}{\alpha_1}$	0,5	0,49	0,46	0,43	0,4	0,35	0,29	0,22	0,14	0

При вычислении местных потерь напора в формулу подставляется значение скорости за сопротивлением, а при определении потерь напора на выходе из трубы скорости до сопротивления.

При небольших числах Рейнольдса Re коэффициент местного сопротивления определяется по формуле

$$\xi = \xi_{кв} + \frac{B}{Re},$$

где B – коэффициент, определяемый табличным методом.

При наличии в трубопроводе нескольких местных сопротивлений потери напора на них складываются. Однако при небольших расстояниях между местными сопротивлениями общие потери напора могут отличаться от суммы потерь напора на каждом из них.

Расстояние, на котором сказывается взаимное влияние, определяется по формуле А.Д. Альтшуля

$$l_{\text{вл}} = 5,0 D \frac{\xi_{1\text{КВ}}}{\lambda},$$

где $\xi_{1\text{КВ}}$ – коэффициент первого сопротивления в квадратичной области.

Приближенно

$$l_{\text{вл}} = (40 \div 60) D.$$

Если расстояние между сопротивлениями меньше, чем $l_{\text{вл}}$, суммарный коэффициент двух местных сопротивлений может быть определен по формуле

$$\xi_{1-2} = (\xi_1 + \xi_2) k.$$

Значение k приближенно можно определить по данным Ю.А. Скобельцина и П.В. Хомутова:

l/D	0	10	20	30	40	50	60
k	0,6	0,72	0,82	0,9	0,96	0,99	1

2.5 УРАВНЕНИЕ Д. БЕРНУЛЛИ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ

При установившемся, плавноизменяющемся движении вязкой (реальной) жидкости уравнение Д. Бернулли для двух сечений 1-1 и 2-2 записывается в виде

$$z_1 + \frac{\rho_1}{\rho g} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{\rho_2}{\rho g} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{\text{п} 1-2}.$$

В литературе встречается также запись уравнения Д. Бернулли в виде

$$z_1 + \frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{п\ 1-2}.$$

В этих уравнениях основные обозначения те же, что и в уравнении Д. Бернулли без учета потерь энергии.

Слагаемое $h_{п\ 1-2}$ – потери энергии (напора) между сечениями 1-1 и 2-2, которые состоят из потерь по длине h_l и местных h_m :

$$h_{п\ 1-2} = \sum h_l + \sum h_m.$$

Знак суммы Σ означает, что если трубопровод имеет несколько участков и несколько видов местных сопротивлений, то потери энергии на них необходимо складывать. При этом следует учитывать взаимное влияние местных сопротивлений.

Коэффициент кинетической энергии α принимается при ламинарном режиме движения равным 2, а при турбулентном – в пределах $\alpha = 1 \div 1,1$.

Глава 3 ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРСТИЙ И НАСАДКОВ

3.1 ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРСТИЙ

В гидравлике различают малые и большие отверстия. Малым называют отверстие, если его вертикальный размер не превышает 0,1–0,2 напора H .

При истечении из малого отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре скорость и расход жидкости определяются по формулам:

$$V = \varphi \sqrt{2g \left(H + \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} \right)},$$
$$Q = \mu \omega \sqrt{2g \left(H + \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} \right)},$$

где φ и μ – коэффициенты скорости и расхода, значения которых приведены в таблице;

ω – площадь отверстия;

H – геометрический напор над центром тяжести отверстия;

p_1 – давление на свободной поверхности жидкости;

p_2 – давление в среде, в которую происходит истечение.

Коэффициенты φ и μ связаны между собой соотношением

$$\mu = \varepsilon \varphi,$$

где ε – коэффициент сжатия струи, который представляет собой отношение струи в сжатом сечении к площади отверстия.

Коэффициент скорости φ выражается через коэффициент местного сопротивления формулой

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}},$$

где α – коэффициент кинетической энергии.

При истечении из открытого резервуара в атмосферу ($p_1 = p_2 = p_a$) формулы упрощаются:

$$V = \varphi \sqrt{2gH},$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}.$$

Координаты x и u точек осевой линии струи в этом случае связаны между собой соотношением

$$x = 2\varphi \sqrt{Hy}.$$

При истечении под уровень (в этом случае отверстие называется затопленным) скорость и расход выражаются следующим образом:

$$V = \varphi \sqrt{2g\Delta H},$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g\Delta H}.$$

где ΔH – разность уровней.

Время частичного опорожнения открытого призматического резервуара через отверстие в тонкой стенке, за которое напор меняется от H_1 и H_2 , определяется по формуле

$$T = \frac{2\Omega(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu \omega \sqrt{2g}},$$

которая при $H_2 = 0$ (полное опорожнение резервуара) после преобразования примет такой вид:

$$T = \frac{2W}{Q},$$

где Ω – площадь поперечного сечения резервуара;

W – объем жидкости в резервуаре в начальный момент;

$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_1}$ – расход жидкости через малое отверстие площадью ω при напоре H_1 .

При истечении из больших прямоугольных отверстий в вертикальной стенке резервуара

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} (H_2^{3/2} - H_1^{3/2}),$$

где b – ширина отверстия;

H_2 – напор над нижней кромкой отверстия;

H_1 – напор над верхней кромкой отверстия.

3.2 ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ НАСАДКОВ

Насадком называется короткая трубка (длиной 3-4 диаметра), присоединенная к отверстию. В зависимости от формы насадки делятся на: цилиндрические – внешние и внутренние; конические – сходящиеся и расходящиеся; коноидальные.

При истечении из внешнего цилиндрического насадка образуется вакуум, вследствие чего жидкость подсасывается из резервуара. Поэтому коэффициент расхода для насадка больше, чем для отверстия в тонкой стенке такого же диаметра. Величина вакуума в насадке зависит от напора H и может быть определена по формуле

$$\frac{p_{\text{вак}}}{\rho g} = 0,75 H.$$

Если при истечении воды с температурой 0–50° С напор H превысит 12–13 м, то в насадке произойдет срыв вакуума и тогда истечение из насадка будет происходить так же, как и через отверстие в тонкой стенке.

Расход и скорость при истечении из насадка определяются по тем же формулам, что и при истечении из малого отверстия.

Значения коэффициентов расхода μ , скорости φ и сжатия струи ε для насадков и отверстий приводятся в справочной литературе.

В предварительных расчетах можно принимать при турбулентном режиме движения для отверстия: $\mu = 0,62$; $\varphi = 0,97$; $\varepsilon = 0,64$; $\xi = 0,06$; для внешнего цилиндрического насадка: $\mu = \varphi = 0,82$; $\varepsilon = 1$; $\xi = 0,5$.

Глава 4 РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ И ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

4.1 РАСЧЕТ КОРОТКИХ И ДЛИННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Трубопроводы делятся на короткие и длинные. В длинных трубопроводах потери напора по длине значительно больше местных потерь напора, а в коротких эти потери соизмеримы между собой. Ориентировочно считают при длине $l < 50$ м трубопровод коротким, а при $l > 100$ м длинным. При $l = 50 \div 100$ м, в зависимости от соотношения потерь напора, трубопровод может быть длинным или коротким.

Короткие трубопроводы рассчитывают непосредственно по уравнению Бернулли, представленному в виде

$$H_n + B_n Q^2 = H_k + B_k Q^2 l + \sum B \xi Q^2 . .$$

Здесь $B = \frac{8}{g \pi^2 D_p^4}$ – величина, зависящая от расчетного диаметра

трубы и определяемая по таблицам; ξ – коэффициент местных сопротивлений, определяемый по данным 2.4; $S_0 = \frac{8\lambda}{g \pi^2 D_p^5}$ – удельное

сопротивление трубы; l – длины участков трубопровода; H_n , H_k – пьезометрические напоры в начале и конце трубопроводы, определяемые по формуле

$$H = z + \frac{p}{\rho g} ,$$

где z – геодезическая отметка какой-либо точки трубопровода;

p – избыточное давление в этой точке;

$\frac{p}{\rho g}$ – пьезометрическая высота (свободный напор).

Удельные сопротивления $S_{0кв}$ для бывших в эксплуатации стальных и чугунных труб, работающих в квадратичной области сопро-

тивления (при скорости $V \geq 1,2$ м/с) с учетом гидравлического коэффициента трения λ по формулам Ф.А. Шевелева, приводятся в справочной литературе или специальных таблицах.

При скоростях движения воды в трубе $V < 1,2$ м/с удельные сопротивления S_0 определяются по формуле

$$S_0 = S_{0\text{кв}} \cdot \theta,$$

где θ – поправочный коэффициент, определяемый в зависимости от скорости:

Скорость V , м/с	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1	1,1	1,2
Коэффициент	1,41	1,2	1,11	1,06	1,04	1,03	1,015	1

Удельные сопротивления S_0 , $\text{с}^2/\text{м}^6$, асбестоцементных и полиэтиленовых труб определяются в зависимости от скорости движения воды по таблице.

При расчете трубопроводов обычно определяют в зависимости от условий задачи расход Q или необходимый напор в начале трубопровода H_n , или его диаметр и т.д.

Длинные трубопроводы также рассчитываются по уравнению Бернулли, но с пренебрежением (ввиду их относительной малости) местными потерями и скоростными напорами. Для большей надежности местные потери напора можно приближенно учесть, приняв расчетную длину трубопровода 5–10 % больше фактической. С учетом этого уравнение принимает вид

$$H_n - H_k = \sum S_0 Q^2 l.$$

Знак Σ указывает, что если трубопровод состоит из нескольких последовательных участков, то потери напора на них складываются.

Для одиночного трубопровода

$$H_n - H_k = S_0 Q^2 l$$

Для расчета длинных трубопроводов применяется также формула

$$Q = K\sqrt{i_p},$$

где $i_p = \frac{H_n - H_k}{l}$ – пьезометрический уклон;

K – расходная характеристика, зависящая, как и удельное сопротивление S_0 , в основном от диаметра и материала трубы, а также от скорости движения воды, причем $S_0 = \frac{1}{k^2}$.

4.2 РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННЫХ (ТУПИКОВЫХ) ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Тупиковая водопроводная сеть состоит из основной (главной) магистрали и ответвлений. Величины отдачи (потребления) воды из сети в точках разветвления отдельных ее участков (узлов) в конечных точках принято называть узловыми расходами и обозначать Q_{1-2} , Q_{2-3} , Q_{1-4} и т. д.

Путевые расходы приводятся к узловым путем добавления к узловому расходу в конце участка $0,55 Q_{\text{пут}}$, а к узловому расходу в начале участка $0,45 Q_{\text{пут}}$. Однако для упрощения расчетов водопроводных сетей путевые расходы на каждом участке делят на две равные части и добавляют их к узловым расходам в начале и в конце участка.

Расчетные расходы, проходящие по отдельным участкам сети, называются линейными расходами и обозначаются q_{1-2} , q_{2-3} и т. д. Расчетный расход состоит из суммы расходов в узлах (в том числе приведенных), находящихся после данного участка.

Обычно при расчете тупиковой сети определяют диаметры труб на всех участках и напоры в каждой узловой точке сети. В этом случае предварительно выбирают главную магистраль, соединяющую начальную точку сети с наиболее удаленной и возвышенной из конечных ее точек. Диаметры участков главной магистрали в зависимости от линейных расходов определяют по трубопроводной формуле, после чего по той же формуле находят напоры в каждой узловой точке.

Диаметры ответвлений от главной магистрали определяют из трубопроводной формулы по известной разнице напоров в начале и конце каждого ответвления. Если ответвление состоит из нескольких участков, то можно определить средний пьезометрический уклон всего ответвления по формуле

$$i_{\text{р ср}} = \frac{H_{\text{н}} - H_{\text{к}}}{\sum l}.$$

По этому уклону можно принять ориентировочные напоры в каждой узловой точке ответвления, а затем определить диаметры каждого участка. Таким же образом рассчитывают и главную магистраль при известных пьезометрических напорах в ее начале и конце.

Применяя трубопроводные формулы, можно определить также пропускную способность участков сети при известных диаметрах и напорах в начальной и конечных точках сети.

4.3 РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Кольцевые (замкнутые) водопроводные сети представляют собой систему замкнутых смежных между собой колец-контуров.

Расчет кольцевой сети состоит из следующих этапов:

- 1) определения путевых расходов для всех участков $Q_{\text{пут}} = q_0 l$;
- 2) определения узловых расходов в каждом узле Q_n (расчетный узловой расход складывается из заданного сосредоточенного узлового расхода и полусуммы путевых расходов на участках, примыкающих к данному узлу);
- 3) предварительного назначения величины и направлений линейных расходов q_n на каждом участке сети, соответствующего принципу подачи воды по кратчайшему пути в наиболее отдаленные точки (для каждого узла нужно соблюдать условие: сумма входящих к узлу расходов равна сумме уходящих от узла расходов, включая узловой);
- 4) определения диаметров участков по трубопроводной формуле с учетом намеченных линейных расходов и предельных скоростей;

5) собственно гидравлического расчета (увязки) сети, состоящего из определения действительных линейных расходов и пьезометрических напоров в узловых точках сети. При этом в каждом кольце сумма потерь напора на участках с движением воды по часовой стрелке должна равняться сумме потерь напора на участках с движением против часовой стрелки. Принимая потери напора по часовой стрелке положительными, а против часовой стрелки отрицательными, получим для первого кольца

$$h_{1-2} + h_{2-5} - h_{1-4} - h_{4-5} = 0$$

или в общем случае

$$\sum h_i = 0.$$

Обычно такое равенство сразу не получается, так как линейными расходами задаются ориентировочно, а поэтому следует уточнить распределение расходов, т. е. провести увязку сети в соответствии с уравнением.

4.4 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ТРУБАХ

Гидравлический удар в трубопроводе возникает при резком изменении скорости движения жидкости из-за полного или частичного закрытия задвижки, включения или выключения насосов и сопровождается большим повышением давления.

Прямой гидравлический удар бывает тогда, когда время закрытия задвижки t_3 меньше фазы удара T , определяемой по формуле

$$T = \frac{2l}{C_v}.$$

Здесь l – длина трубопровода от места удара до сечения, в котором поддерживается постоянное давление (например, до резервуара больших размеров или до места присоединения к другому трубопроводу большего диаметра); C_v – скорость распространения ударной волны в трубопроводе, определяемая по формуле Н.Е. Жуковского, м/с,

$$C_v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{E}{E_{тр}} \frac{D}{\delta} k}};$$

где E – модуль объемной упругости жидкости;
для воды $E = 2,03 \cdot 10^3$ МПа ($2,07 \cdot 10^4$ кгс/см²);

ρ – плотность жидкости; для воды $\rho = 1000$ кг/м³ ($102 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2}$);

$\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ – скорость распространения звука в жидкости (для воды $\sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1425$ м/с);

$E_{тр}$ – модуль упругости материала стенок трубы;

D – диаметр трубы;

δ – толщина стенок трубы.

Для воды отношение $E/E_{тр}$ зависит от материала труб и может быть принято: для стальных труб – 0,01; для чугунных – 0,02; для железобетонных – 0,1–0,14; для асбестоцементных – 0,11; для полиэтиленовых – 1–1,45.

Коэффициент k для тонкостенных трубопроводов (стальных, чугунных, асбестоцементных, полиэтиленовых) принимается равным 1.

Для железобетонных трубопроводов

$$k = \frac{1}{1 + 9,5\alpha'}.$$

где $\alpha' = f/\delta$ – коэффициент армирования кольцевой арматурой (f – площадь сечения кольцевой арматуры на 1 м длины стенки трубы).

Обычно $\alpha' = 0,015 \div 0,05$.

Повышение давления при прямом ударе определяется по формуле

$$\Delta p = \rho C_v V_0,$$

где V_0 – скорость движения воды в трубопроводе до закрытия задвижки.

Если время закрытия задвижки больше фазы удара ($t_3 > T$), то такой удар называется непрямым. В этом случае дополнительное давление может быть определено по формуле

$$\Delta p = \frac{2\rho V_0 l}{t_3}.$$

Результат действия удара выражают также величиной повышения напора ΔH , которая равна:

при прямом ударе

$$\Delta H = \frac{C_v V_0}{g};$$

при непрямом ударе

$$\Delta H = \frac{2V_0 l}{gt_3}.$$

Глава 5 РАСЧЕТ РУСЕЛ ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ

При равномерном движении потока в открытом русле средняя в сечении скорость

$$V = W\sqrt{i},$$

где i – уклон дна русла;

W – скоростная характеристика.

Соответственно расход воды в русле

$$Q = \omega V = \omega W\sqrt{i},$$

или

$$Q = K\sqrt{i},$$

где $K = \omega W$ – расходная характеристика.

С учетом формулы Н.Н. Павловского,

$$W = C\sqrt{R} = \frac{1}{n} R^y R^{0,5} = \frac{1}{n} R^z,$$

где n – коэффициент шероховатости;

$z = y + 0,5$ – показатель степени, который приближенно может быть определен так:

$$\text{при } R < 1 \text{ м, } z = 1,5\sqrt{n} + 0,5$$

$$\text{при } R > 1 \text{ м, } z = 1,3\sqrt{n} + 0,5.$$

Значения расходных k и скоростных W характеристик определяются по справочнику в зависимости от значений n (относительной шероховатости русла) и гидравлического радиуса R .

Глава 6 ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОТОКА

Построение кривых подпора или спада при протекании потока заключается в определении расстояния между сечениями, глубины потока в которых известны (либо по условию задачи, либо на основании исследования формы кривой), и должно в итоге обеспечить нахождение глубины потока в любом сечении, расположенном на заданном расстоянии от какого-либо начального сечения, гидравлические элементы потока в котором известны.

Расстояние l_{1-2} между сечениями с глубинами h_1 и h_2 при прямом уклоне дна ($i > 0$) может быть определено по способу Чарномского.

Способ В.И. Чарномского. Расстояние между сечениями определяется по зависимости

$$l_{1-2} = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}{i - i_{fcp}},$$

где \mathcal{E} – удельная энергия сечения;

i – уклон дна русла;

i_{fcp} – средний уклон трения в пределах рассматриваемого участка, определяемый из формулы Шези.

Глава 7 ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Задание № А

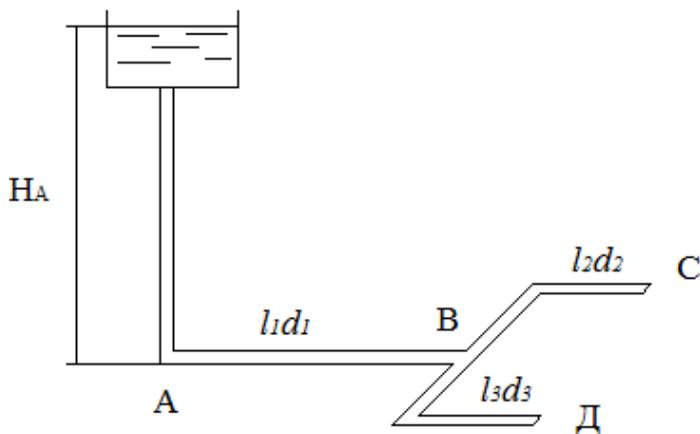


Рисунок 1

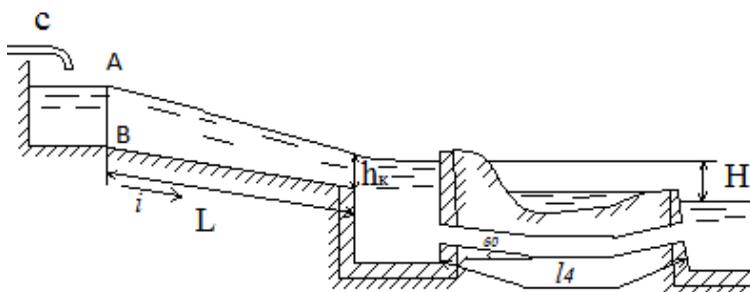


Рисунок 2

Вода при напоре H_A подается в сеть, состоящую из трех стальных трубопроводов, соединенных как указано на рисунке. Отметки точек $Z_D = Z_C = 3$ м относительно горизонтально проложенного трубопровода АВ. Из резервуара С вода по бетонному трапецидальному лотку длиной L , уклоном i , шириной по дну « b » и коэффициентом откоса « m » направляется в сборный бассейн, откуда поступает в стальной дюкер длиной l_4 и диаметром d_4 .

Определить:

1. Величины расходов воды, притекающих в пункты С и D.
2. Вид и построить кривую свободной поверхности в лотке, если глубина в конце лотка h_k .
3. Необходимый напор H для пропуска воды по дюкеру.
4. Определить силу гидростатического давления и координату точки ее приложения на плоский затвор АВ, расположенный в начале лотка.
5. Определить повышение давления при мгновенном закрытии задвижки в трубопроводах С и D.

Исходные данные:

Данные №	H_A м	l_1 м	d_1 м	l_2 м	d_2 м	l_3 м	d_3 м	L м	i	b м	m	l_4 м	d_4 м	h_k м	АВ м
1	40	200	0,3	100	0,3	150	0,2	120	0,003	0,4	1,00	20	0,3	0,6	0,75
2	50	250	0,4	150	0,2	200	0,3	140	0,003	0,4	1,25	30	0,4	0,7	2,0
3	60	400	0,4	200	0,3	150	0,3	160	0,004	0,5	1,30	40	0,5	0,8	1,25
4	70	450	0,5	300	0,5	200	0,4	180	0,004	0,6	1,50	50	0,6	0,9	1,5
5	80	500	0,5	200	0,5	200	0,4	200	0,005	0,8	1,75	60	0,7	1,0	1,75
6	100	600	0,6	300	0,6	250	0,5	250	0,005	1,0	2,00	80	0,8	1,2	2,0

Задание № В

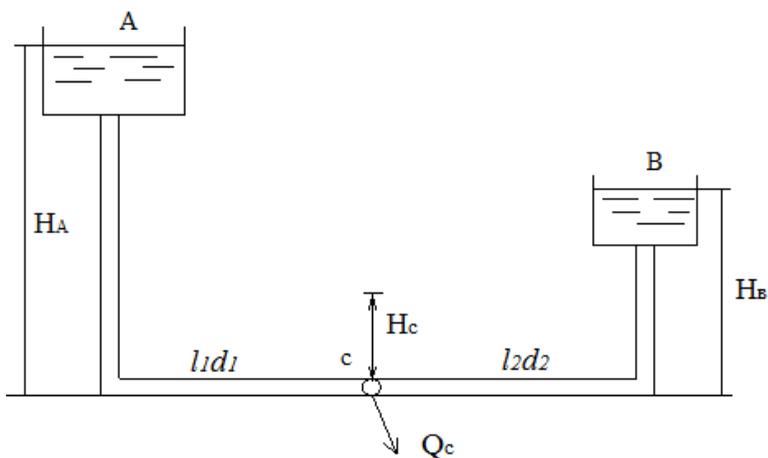


Рисунок 1

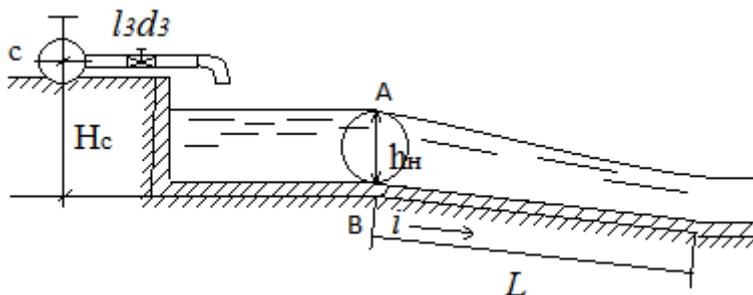


Рисунок 2

Вода подается в точку С из двух резервуаров А и В по стальным трубопроводам длинами l_1 , l_2 и диаметрами d_1 , d_2 . Пьезометрические напоры в точках В и С – H_B и H_C . Узловой расход в точке С – Q_C поступает по горизонтальному трубопроводу длиной l_3 и диаметром d_3 , снабженному вентилем со степенью открытия 0,5 и отводом ($\zeta = 0,3$), в трапецидальный деревянный лоток длиной L , уклоном i , шириной по дну « b », коэффициентом откоса « m ».

Определите:

1. Необходимый напор в точке А.
2. Вид и построить кривую свободной поверхности в лотке, если глубина в начале лотка h_n .
3. Определить силу давления на криволинейную цилиндрическую поверхность АВ и координату точки ее приложения, расположенную в начале лотка.
4. Определить повышение давления в горизонтальном трубопроводе l_3 , если время полного закрытия вентиля составит t_b .

Исходные данные:

Данные №	H_B м	H_C м	Длины, м			Диаметры, м			L м	i	B м	m	h_n м	АВ м	t_b , с
			l_1	l_2	l_3	d_1	d_2	d_3							
1	18,0	12,0	500	400	50	0,20	0,30	0,15	200	1,00	1,50	0,004	1,00	0,75	1
2	16,0	10,0	400	600	40	0,15	0,20	0,10	150	1,00	1,50	0,004	1,00	1,0	2
3	14,0	9,0	300	500	30	0,15	0,20	0,10	120	1,50	1,00	0,005	0,80	1,25	3
4	12,0	9,0	300	600	30	0,20	0,30	0,15	100	1,50	1,00	0,005	0,80	1,5	4
5	10,0	7,0	200	400	20	0,30	0,25	0,20	80	1,75	0,80	0,006	0,60	1,75	5
6	8,0	5,0	200	300	20	0,30	0,25	0,20	60	1,75	0,80	0,006	0,60	2,0	6

Задание № С

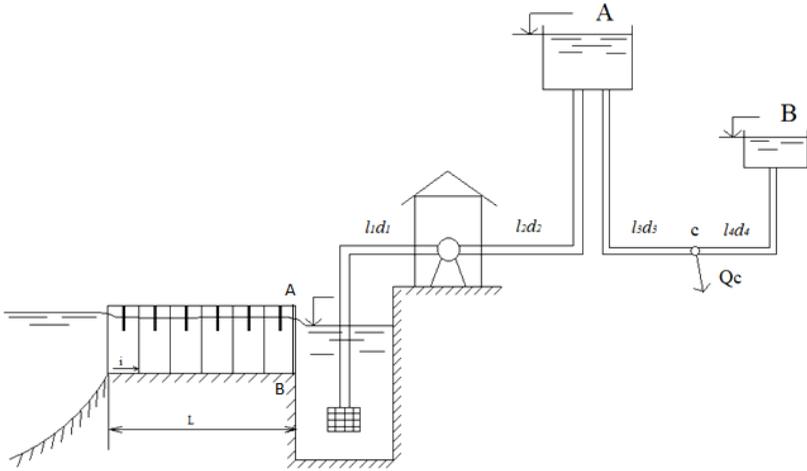


Рисунок 1

Расход воды Q по самотечному трапецидальному бетонному лотку (каналу) длиной L , уклоном i , шириной по дну « b », коэффициентом откоса « m » поступает в сборный бассейн, откуда насосом подается по стальному трубопроводу длиной l_1 и диаметром d_1 в бак А.

Баки А и В являются уравнительными баками, подключенными трубопроводами размерами l_3, d_3 и l_4, d_4 к водозаборному пункту «С», расход в котором Q изменяется во времени.

Определить:

1. Вид и построить кривую свободной поверхности в лотке, если глубина в начале лотка h_n .
2. Высоту установки насоса над уровнем воды в сборном бассейне при $h_{\text{вак. доп.}}$ во всасывающей линии длиной l_1 и диаметром d_1 .
3. Отметку свободной поверхности Z_A в баке А относительно оси насоса при давлении $p_{\text{ман}}$ на выходе насоса и размерах трубопровода l_2 и d_2 .
4. Отметку свободной поверхности Z_B в баке В в двух случаях:
 $Q_c = 0,6Q$ и $Q_c = 1,2Q$ при значении Z_A , определенному в п.3.

Примечание: Построение кривой свободной поверхности выполнять в масштабе на миллиметровой бумаге.

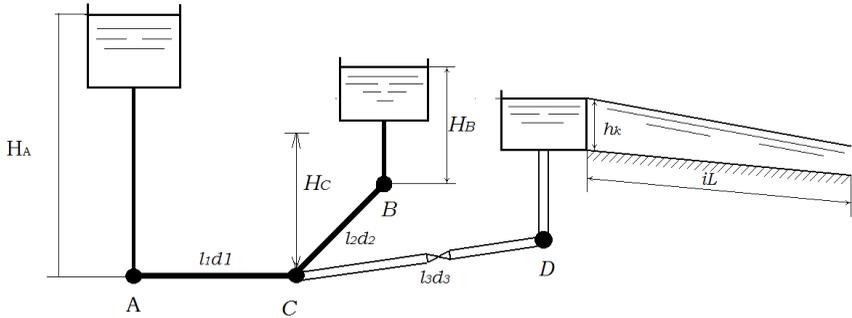
5. Определить силу гидростатического давления и координату точки ее приложения на плоскую поверхность АВ, расположенную в конце лотка.

6. Определить время закрытия задвижки на трубопровод 2, чтобы давление не превышало величину ρ_m .

Исходные данные:

Данные №	Q , м ³ /с	L , м	i	b , м	m	h_n , м	$h_{\text{вак доп вод. ст.}}$	h , м	d_1 , м	$\rho_{\text{ман}}$, Мпа	l_2 , м	d_2 , м	l_3 , м	d_3 , м	l_4 , м	d_4 , м	АВ, м	t_3 , с
1	0,25	150	0,004	0,4	1,00	0,5	4,0	30	0,4	0,3	400	0,3	300	0,4	200	0,3	0,75	1
2	0,30	180	0,005	0,5	1,10	0,5	4,5	35	0,4	0,3	450	0,3	350	0,4	250	0,3	1,0	2
3	0,50	200	0,006	0,6	1,25	0,6	5,0	20	0,5	0,4	500	0,4	400	0,5	300	0,4	1,25	3
4	0,80	250	0,007	0,7	1,40	0,6	5,0	25	0,5	0,5	550	0,4	450	0,5	350	0,4	1,5	4
5	1,00	300	0,008	0,8	1,50	0,8	5,5	10	0,7	0,5	600	0,5	500	0,6	400	0,5	1,75	5
6	1,20	400	0,009	1,0	1,75	0,8	5,5	15	0,7	0,6	700	0,6	600	0,6	500	0,5	2,0	6

Задание № D



Условие задания:

Водозаборный пункт С питается двумя водонапорными башнями А и В при напорах H_A и H_B . Длины и диаметры участков l_1, d_1 и l_2, d_2 , трубы чугунные неновые. При напоре в точке С H_C вода поступает по стальному трубопроводу длиной l_3 и диаметром d_3 , имеющему три поворота на 90° и задвижку со степенью открытия a/d в бак D трапециевидального канала (лотка), проложенного в грунте, длиной L , уклоном i , шириной по дну b и коэффициентом откоса m . Отметка точек А, В, С, D – Z_A, Z_B, Z_C, Z_D .

Определить:

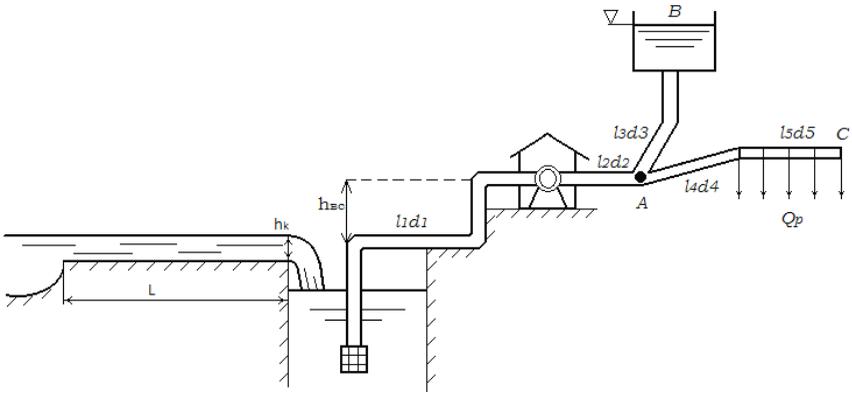
1. Максимально возможный водозабор в точке С при питании из обоих баков и расход Q_C , при котором башня В выключается из работы системы.
2. Отметку свободной поверхности в баке D при пропуске $Q_{C \max}$.
3. Вид и построить кривую свободной поверхности в лотке, если глубина в начале лотка h_n .
4. Определить силу гидростатического давления и точку ее приложения на плоскую поверхность АВ, расположенную в начале канала.
5. Определить повышение давления при мгновенном закрытии задвижки на трубопроводе СД.

Исходные данные:

Данные Вариант	H_A ,	H_B ,	H_C ,	a/d	L ,	i	b ,	m	h_n ,	AB
	м	м	м							
1	15,0	11,0	8,0	0,70	80	0,003	30,00	1,00	0,8	1,0
2	18,0	14,0	11,0	0,70	80	0,003	30,00	1,00	0,8	1,2
3	20,0	15,0	12,0	0,80	100	0,004	40,00	1,50	0,9	1,5
4	23,0	18,0	15,0	0,80	100	0,004	40,00	1,50	0,9	1,7
5	25,0	21,0	18,0	0,90	120	0,005	60,00	1,75	1,0	2,0
6	27,0	24,0	21,0	0,90	120	0,005	60,00	1,75	1,0	2,2

Данные Вариант	Длины, м			Диаметры, м			Отметки, м			
	h_1	h_2	h_3	d_1	d_2	d_3	z_A	z_B	z_C	z_D
1	200	400	20	0,25	0,20	0,15	2,0	3,0	2,0	0,8
2	600	300	20	0,25	0,20	0,15	3,0	3,0	2,0	0,8
3	300	500	30	0,40	0,30	0,20	4,0	2,0	2,0	2,0
4	300	500	30	0,40	0,30	0,20	2,0	3,0	3,0	1,0
5	400	600	40	0,50	0,40	0,30	2,0	3,0	3,0	1,0
6	500	400	50	0,50	0,40	0,30	2,0	3,0	3,0	1,0

Задание № E



Условие задания:

Расход воды Q по самотечному деревянному трапецидальному лотку длиной L , уклоном i , шириной по дну b , коэффициентом откоса m поступает в сборный бассейн, откуда насосом подается по стальным трубопроводам в сеть.

Определить:

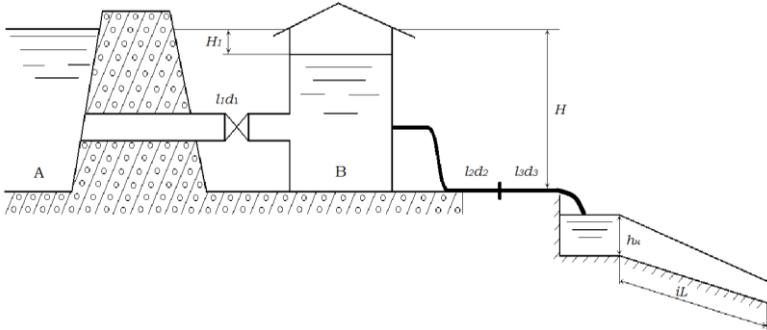
1. Вид и построить кривую свободной поверхности в лотке, если глубина в конце лотка h_k .
2. Высоту установки насоса над уровнем воды в сборном бассейне при условии, чтобы величина вакуума во всасывающей линии длиной L_1 и диаметром d_1 не превосходила бы $h_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 4,5$ м водного столба.
3. Расход воды, поступающей в бак В, с отметкой свободной поверхности Z_B .
4. Расход воды в точке С, отметка которой Z_C .
5. Силу давления и координату точки ее приложения на криволинейную цилиндрическую поверхность АВ, расположенную в начале лотка.
6. Определить время закрытия задвижки, расположенной на трубопроводе 2, чтобы давление составляло в нем величину не превышающую P_M .

Исходные данные:

Данные	Q , м ³ /с	L , м	i	b , м	m	h_k , м	АВ м
Вариант							
1	0,25	40	0,002	0,30	1,50	0,50	1,0
2	0,35	50	0,002	0,30	1,50	0,50	1,25
3	0,40	60	0,003	0,50	1,25	0,70	1,50
4	0,60	80	0,003	0,50	1,25	0,70	1,75
5	0,80	100	0,004	0,80	1,0	0,90	2,0
6	1,0	120	0,005	0,80	1,0	0,90	2,5

Данные	Длины, м					Диаметры, м					Отметки, м			Q_p , м	P МПа
	Вариант	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	z_A	z_B		
1	20	300	400	500	100	0,30	0,20	0,25	0,15	0,10	2,0	12,0	6,0	0,10	м ³ /с
2	30	300	400	500	120	0,30	0,20	0,25	0,15	0,10	3,0	10,0	7,0	0,15	0,10
3	35	400	300	500	140	0,40	0,30	0,30	0,20	0,15	4,0	10,0	7,0	0,25	0,15
4	40	400	300	500	160	0,40	0,30	0,30	0,20	0,15	4,0	18,0	8,0	0,30	0,25
5	40	500	400	300	180	0,50	0,40	0,25	0,25	0,20	4,5	18,0	8,0	0,35	0,30
6	40	500	400	300	200	0,60	0,40	0,25	0,25	0,20	4,5	20,0	10,0	0,40	0,35

Задание № F



Условие задания:

Из бассейна А вода по стальному трубопроводу длиной l_1 и диаметром d_1 со степенью открытия задвижки a/d поступает в бак В, а из него по трубопроводам длинами l_2 и l_3 , диаметрами d_2 и d_3 (трубы чугунные) в оголовок бетонного трапецидального лотка длиной L , уклоном i , шириной b и коэффициентом откоса m .

Определить:

1. Расход воды Q в системе
2. Разность уровней H_1 в бассейне и баке, если задан напор H .
3. Вид и построить кривую свободной поверхности, если глубина в начале лотка h_n .
4. Определить силу гидростатического давления и координату точки ее приложения на плоскую поверхность АВ, расположенную в начале лотка.
5. Определить повышение давления при полном закрытии задвижки на трубопроводе 1 в течении времени t_3 .

Исходные данные:

Данные Вариант	$H,$ м	Длины, м			Диаметры, м			$L,$ м	j	$b,$ м	m	$h_{и},$ м	a/d	$\Delta B,$ м	$t_3,$ с
		l_1	l_2	l_3	d_1	d_2	d_3								
1	10	10	150	200	0,30	0,20	0,25	30	0,003	0,80	0,60	0,40	1,15	0,5	2
2	12	10	150	200	0,30	0,20	0,25	40	0,003	0,80	0,60	0,40	1,15	0,75	4
3	14	15	200	150	0,50	0,25	0,20	50	0,004	0,90	0,70	0,50	1,25	1,0	6
4	16	15	200	150	0,50	0,25	0,20	60	0,004	0,90	0,70	0,50	1,25	1,25	8
5	18	20	300	200	0,60	0,30	0,25	70	0,005	1,00	0,80	0,60	1,50	1,5	10
6	20	25	300	200	0,60	0,30	0,25	80	0,006	1,00	0,80	0,60	1,50	1,75	12

Глава 8 ТАБЛИЦА ВЫБОРА ДАННЫХ

Порядковый номер в экзаменационной ведомости	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
№ расчетной схемы	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Цифровой № исходных данных	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	1	3	4	5

Порядковый номер в экзаменационной ведомости	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
№ расчетной схемы	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
Цифровой № исходных данных	6	1	2	4	5	6	1	2	3	5	6	1	2	3	4

Порядковый номер в экзаменационной ведомости	31	32	33	34	35	36
№ расчетной схемы	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
Цифровой № исходных данных	6	1	2	3	4	5

ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов, Ю.М. Гидравлика / Ю.М. Константинов. – Киев. Вища школа, 1981. – 360 с.
2. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика: учебник для вузов / Д.В. Штеренлихт. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос С, 2006. – 656 с.
3. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
4. Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: справочное пособие / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. – 8-е изд. – М., 2008. – 351 с.
5. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / под ред. Б.Б. Некрасова. – Минск: Высшая школа, 1985. – 382 с.
6. Сборник задач по гидравлике / под ред. В.А. Большакова. – Киев: Вища школа, 1979. – 337 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Глава 1 ГИДРОСТАТИКА.....	5
1.1 ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ.....	5
1.2 СИЛА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПЛОСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ.....	7
1.3 СИЛА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ.....	8
Глава 2 ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ.....	10
2.1 ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ.....	10
2.2. УРАВНЕНИЕ Д. БЕРНУЛЛИ БЕЗ УЧЕТА ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ.....	12
2.3 РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ.....	13
2.4 ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ.....	16
2.5. УРАВНЕНИЕ Д. БЕРНУЛЛИ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ.....	22
Глава 3 ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРСТИЙ И НАСАДКОВ.....	24
3.1 ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРСТИЙ.....	24
3.2 ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ НАСАДКОВ.....	26
Глава 4 РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ И ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ.....	27
4.1 РАСЧЕТ КОРОТКИХ И ДЛИННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ... ..	27
4.2 РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННЫХ (ТУПИКОВЫХ) ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ.....	29
4.3 РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ.....	30
4.4 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ТРУБАХ.....	31
Глава 5 РАСЧЕТ РУСЕЛ ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ ...	34
Глава 6 ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОТОКА.....	35
Глава 7 ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	36
Глава 8 ТАБЛИЦА ВЫБОРА ДАННЫХ.....	48
Литература.....	49

Учебное издание

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Методические указания к выполнению контрольных
и курсовых работ для студентов заочного отделения
строительных специальностей

Составители:

ШАТАЛОВ Игорь Михайлович
КУЛЕБЯКИН Виталий Васильевич
КОНДРАТОВИЧ Александр Николаевич
МИХНОВЕЦ Марина Марковна

Технический редактор О.В. Песенько
Компьютерная верстка А.Г. Занкевич

Подписано в печать 20.01.2012.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,96. Уч.-изд. л. 2,32. Тираж 100. Заказ 1006.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.