

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра гидротехнических сооружений и водоснабжения

Н. В. Васильева, А. А. Боровиков

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ

*Методические указания по выполнению
лабораторных работ для студентов,
обучающихся по специальности
общего высшего образования
7-07-0732-01 - Строительство зданий и сооружений*

Горки
БГСХА
2025

УДК 628.1(072)
ББК 38.761.1я73
В 62

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета.
Протокол № 6 от 27 января 2025 г.*

Авторы:

кандидат технических наук, доцент *Н. В. Васильева*;
кандидат технических наук, доцент *А. А. Боровиков*

Рецензент:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *В. И. Желязко*;
кандидат архитектуры, доцент *Д. В. Кольчевский*

Васильева, Н. В., Боровиков, А. А.

Водоснабжение и водоотведение:

методические указания по выполнению лабораторных работ /
Н. В. Васильева, А. А. Боровиков. – Горки : БГСХА, 2025. – 99 с.

Приведены методические указания по выполнению лабораторных работ, необходимые таблицы для записи полученных результатов и основные зависимости их математической обработки.

Для студентов, обучающихся по специальности общего высшего образования 7-07-0732-01 - Строительство зданий и сооружений

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2025

ВВЕДЕНИЕ

В результате жизнедеятельности человека и его хозяйственной деятельности образуются отбросы и отходы, которые служат основным источником загрязнений в населенных местах и на территориях промышленных предприятий. Особенно сильно загрязнения оказывают влияние на состояние открытых водоемов, в которые сбрасываются сточные воды.

Лабораторные работы по курсу «Водоотведение» проводятся с целью закрепления теоретических знаний, полученных студентами на лекционных и практических занятиях. На лабораторных установках при определении расходов сточных вод исследуются вопросы кинетики осаждения взвешенных веществ, критической скорости потока сточных вод, аэрации жидкостью механическим поверхностным аэратором, основных свойств осадка сточной жидкости.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, студенты должны ознакомиться с ее целью, теоретическими основами изучаемых процессов, порядком проведения.

Перед началом работы студентам необходимо:

1) пройти инструктаж по технике безопасности на рабочем месте с записью в журнале инструктажа;

2) изучить теоретическую часть и цель работы;

3) ознакомиться с устройством установки и оборудования.

Во время работы студенты должны:

1) точно выполнять указания преподавателя и не допускать нарушения правил техники безопасности;

2) бережно относиться к точным приборам, оборудованию, мебели;

3) находиться на своем рабочем месте.

После окончания работы необходимо:

1) отключить от электропитания оборудование, установки, точные приборы;

2) убрать все материалы, химическую посуду, освободить ее от растворов, первично обработать и сдать на мойку;

3) убрать свое рабочее место.

Запрещается:

1) пользоваться неисправными электроприборами и инструментами;

2) устранять неисправность электрооборудования, находящегося под напряжением;

3) ходить по лаборатории и заниматься посторонними делами;

4) выполнять другие работы, не связанные с заданием.

Лабораторная работа 1. ТРУБЫ, СОЕДИНЕНИЯ СТЫКОВ И АРМАТУРА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Цель работы. Основной задачей лабораторной работы является изучение важнейших технических данных по выпускаемым трубам фасонных частей и оборудования на сети, ознакомление с конструктивными особенностями стыковых соединений сетей и водоводов.

Выбор тех или иных труб для устройства сетей водопровода предполагает знание сортамента выпускаемых труб и условий их применения.

Водопроводные сети, как правило, насыщены фасонными частями, запорной арматурой и оборудованием. Это предполагает знание назначения этих элементов и места их установки на сети.

В системах внутренних водопроводов применяют неметаллические и металлические трубы и фасонные части к ним. Трубопроводные системы холодной и горячей воды выполняют из труб и соединительных деталей, срок службы которых при температуре воды 20 °С и нормативном давлении составляет не менее 50 лет, а при температуре 75 °С и нормативном давлении – не менее 25 лет.

Для изготовления труб из полимерных материалов применяют следующие полимерные материалы, в том числе термопластичные материалы (термопласты):

- РЕ (ПЭ) - полиэтилен;
- РУС--и (НИВХ) - непластифицированный поливинилхлорид;
- РР–Н (ПП–Г или ПП тип 1) - полипропилен гомополимер;
- РР–В (ПП–Б или ПП тип 2) - полипропилен блоксополимер;
- К (ПП–Р или ПП тип 3) - полипропилен рандомсополимер;
- РР–КСТ (1111 РР-тип 4) - полипропилен рандомсополимер повышенной термостойкости с модифицированной кристалличностью;
- РЕ–Х (ПЭ–С) - сшитый полиэтилен;
- РВ (ПБ) - полибутен;
- РУС–С (ХПВХ) - хлорированный поливинилхлорид;
- РЕ–КТ (ПЭ–ПТ) - полиэтилен повышенной термостойкости.

Трубы из полимерных материалов делят по следующим признакам:

- по полимерному материалу: напорные трубы из полиэтилена четырех типов: ПЭ 32, ПЭ 63, ПЭ 80, ПЭ 100; полипропиленовые трубы; из поливинилхлорида; трубы из акрилонитрилбутадиенстирола (АВ8) и фторопластов; из поливинилиденфторида (РУ№); из этиленхлортрифторэтилена (ЕСТРЕ-Нalag); из стеклопластиков.

– по способу производства трубы изготавливают: методом непрерывной экструзии и литья под давлением при переработке термопластов; методом намотки и центробежного формования при изготовлении изделий из стеклопластиков;

- по номинальному внутреннему давлению (PN),
- минимальной длительной прочности (МК8),
- жесткости (8N) и трубной серии (8);
- по конструкции трубы изготавливают:
- с гладкой или гофрированной стенкой;
- однослойные и многослойные;
- армированные;
- из разнородных материалов;
- с гладким и раструбным концом.

Трубы из композиций полиэтилена ПЭ 32 выпускаются на номинальное давление 0,25 МПа, 0,4 МПа, 0,6 МПа и 1 МПа со средним наружным диаметром от 10 до 160 мм.

Трубы из композиций полиэтилена ПЭ 63, ПЭ 80, ПЭ 100 выпускаются со средним наружным диаметром от 10 до 2000 мм; номинальное давление труб из данных композиций полиэтилена в зависимости от толщины стенки трубы достигает: для ПЭ 63 - 1 МПа, для ПЭ 80 и ПЭ 100 - 2,5 МПа. Толщина стенки трубы из полиэтилена ПЭ 32 (в зависимости от диаметра и номинального давления) - от 2 до 20,8 мм; из полиэтиленов ПЭ 63, ПЭ 80, ПЭ 100 (в зависимости от диаметра и номинального давления) - от 2 до 118,5 мм. Рабочая температура воды — от 0 до 40 °С, стандартная температура - 20 °С.

– напорные многослойные М-трубы, состоящие из одного или более полимерных слоев и металлического слоя, которые рассчитаны на нагрузку (при этом не менее 60% толщины стенки трубы выполнено из полимера). – многослойная Р-труба, состоящая из более одного полимерного слоя, рассчитанного на нагрузку

Полипропиленовые трубы и соединительные детали изготавливают из следующих типов полипропилена:

- полипропилен гомополимер (PP-H) - тип 1;
- полипропилен блоксополимер (PP-B) - тип 2;
- полипропилен рандом (статистический) сополимер (PP-V.) - тип 3.

Полипропиленовые трубы выпускают диаметром от 10 до 1600 мм с толщиной стенок от 1,8 до 61,2 мм. Трубы, до диаметра 63 мм, могут поставляться в бухтах и на катушках. Для горячей воды выпускаются трубы из полипропилена PP-B. класса PN20 с противодиффузионным

барьером из алюминия, ограничивающим насыщение воды кислородом. Подобные трубы выпускают диаметром от 17 до 112 мм с толщиной стенки от 2,7 до 16,2 мм.

Трубы из поливинилхлорида изготавливаются как «Трубы напорные из непластифицированного поливинилхлорида» без раструба и с раструбом (под соединение с эластичным уплотнительным кольцом – Р или под клеевое соединение – РК). Эти предназначены для транспортирования воды при температуре от 0 до 45 °С на срок службы 50 лет.

Трубы выпускаются с МВ8 25 МПа двух марок: НПВХ-100 с коэффициентом запаса прочности С - 2,5; НПВХ-125 с С = 2,0.

Трубы из НПВХ-125 изготавливают раструбными типов С и Т с соединением с помощью резиновых колец диаметром 110, 160 и 225 мм с толщиной стенки от 3,3 до 8,7 мм. Трубы с раструбом выпускают: для соединения с помощью уплотнительного кольца восьми типоразмеров диаметром от 63 до 315 мм, а под клеевое соединение двенадцати типоразмеров диаметром от 20 до 160 мм.

Трубы из акрилонитрилбутадиенстирола (АВ8) и фторопластов выпускаются фирмами Ппгар1ре (с диаметрами от 16 до 315 мм) и беог& Р18ске г (с диаметрами от 12 до 225 мм с толщиной стенки от 4 до 100 мм) дюймовой серии (PN 9, PN 12, PN 15) и метрической серии (PN 10).

Трубы из фторопластов изготавливаются как отечественной промышленностью, так и зарубежной для технологических трубопроводов.

Трубы из фторопласта-4Д изготавливают с наружными диаметрами от 24 до 595 мм с толщиной стенки от 1,5 до 6,5 мм и работают при температуре агрессивной транспортируемой среды от - 60 до +250 °С.

Трубы из фторопласта-4 изготавливают с наружными диаметрами от 32 до 430 мм с толщиной стенки от 2,5 до 15,0 мм. Трубы выполняются защищёнными в металлической броне или без неё.

Трубы из поливинилиденфторида (ПУ№) изготавливаются фирмами (Зеог£ ПзсБег, А§ги и Сг1уплЎб Р1ре 8181ет8 диаметрами от 16 до 450 мм с толщиной стенки от 2,4 до 15,0 мм, на PN 10, PN 16, PN 20, усиленные металлом или стекловолокном. Выпускаются трубы, усиленные металлом или стеклопластиком ОРК 1атга1юп внутренними диаметрами от 32 до 1000 мм на PN 6, PN 10, PN 16.

Трубы из этиленхлортрифторэтилена (ЕСТРЕ-Налар) выпускает австрийская фирма А§ги с диаметрами от 20 до 200 мм с толщиной стенки от 1,9 до 5,5 мм на номинальное давление PN 10 длиной 5 м.

Трубы из стеклопластиков выпускают на основе эпоксидной смолы

и на основе полиэфирных смол.

Для хозяйственно-питьевого холодного и горячего водоснабжения используются трубы группы В. Трубы и фасонные части изготавливаются в зависимости от конструкции стыкового соединения следующих типов: Ф - фланцевый; Б - бугельный; М- муфтовый; МК- муфтовый клевой; Р- раструбный; С - специальный (например, резьбовой). В трубах предусмотрены защитные внутренние покрытия видов: П - для питьевой холодной воды; Г - для горячей (до 80 °С) воды хозяйственно-питьевого водоснабжения. Внутренний диаметр по сортаменту колеблется от 60 до 400 мм, а толщина стенки трубы - от 3 до 15 мм при номинальном давлении от 0,6 до 4,0 МПа. Трубы на основе полиэфирных смол изготавливаются с внутренним диаметром от 50 до 1000 мм с толщиной стенки от 3,3 до 17,9 мм при номинальном давлении от 0,6 до 1,6 МПа. Трубы выпускаются на номинальное давление от 0,6 до 3,0 МПа с классами жёсткости от 1250 до 10 000 Н/м².

К достоинствам полимерных труб можно отнести:

- коррозионную стойкость (расход материала только на обеспечение прочностных характеристик: отсутствует необходимость обеспечивать запас материала на его окислительное разрушение и делать стенку трубы толще, как в стальных трубах);
- небольшие гидравлические сопротивления;
- малый вес;
- несложное соединение;
- заменяют стальные трубы при давлении до 2,5 МПа;
- сравнительно длительный срок службы (при гидростатическом давлении 0,45 МПа 50 лет - холодный водопровод при температуре воды 20 °С, 25 лет - горячий водопровод при температуре воды 75 °С).

К недостаткам полимерных труб можно отнести:

- сравнительно низкую прочность;
- большие коэффициенты температурного удлинения (или коэффициенты радиального расширения);
- обладают «холодной текучестью» материала;
- не термостойки (нельзя применять для противопожарного водопровода);
- обладают свойством «старения» (снижение эластичности, прочности, повышение хрупкости, трещинообразование, снижение стойкости к агрессивным средам);
- применение при строго ограниченных параметрах (давление, температура).

Трубы из неполимерных материалов (из цветных и чёрных металлов). в отечественной практике для внутреннего водопровода долгое время применялись и продолжают применять. Для хозяйственно-питьевого водопровода допускается применение стальных труб с внутренним и наружным защитным покрытием от коррозии вместе с трубами из меди, бронзы и латуни. Во внутриквартирных и внутриплощадочных водопроводных сетях можно использовать трубы из стали. Во внутреннем водопроводе большое распространение получили оцинкованные стальные водогазопроводные трубы.

Трубы стальные водогазопроводные (черные и оцинкованные) выпускаются с условными диаметрами 6—150 мм трех типов: легкие (2,4 МПа), обыкновенные (2,4 МПа), усиленные (3,1 МПа). Для внутриквартирного хозяйственно-питьевого водопровода применяются и другие стальные трубы, которые классифицируются по способу их производства: бесшовные горячедеформированные, бесшовные холоднотянутые, горячедеформированные, холоднодеформированные, сварные прямошовные, сварные холоднодеформированные, бесшовные холодно- и теплодеформированные.

Медные трубы выпускают по международному стандарту и другим национальным стандартам различных стран условными диаметрами от 10 до 150 мм. Медные трубы изготавливают из дезоксидированной меди, которая известна под международным названием - медь Си-öНР. Кислород из меди удаляется добавлением 0,03 % фосфора во избежание коррозии в процессе эксплуатации. Трубы соединяются капиллярной пайкой и фасонными частями из меди, латуни и бронзы. При соединении со стальными трубами, во избежание коррозии, трубы из меди устанавливают, по ходу движения воды, после стальных труб.

Стальные трубы соединяются в трубопроводы сваркой (электрической и газовой), на резьбе и фланцами (рис. 1, *a-d*). Для соединения труб в одной плоскости применяют фасонные части (см. рис. 11): угольники, отводы, тройники, кресты, переходы, муфты, сгоны, ниппели и т.д. Фасонные части изготавливают из чугуна, стали и цветных металлов: меди, бронзы и латуни.

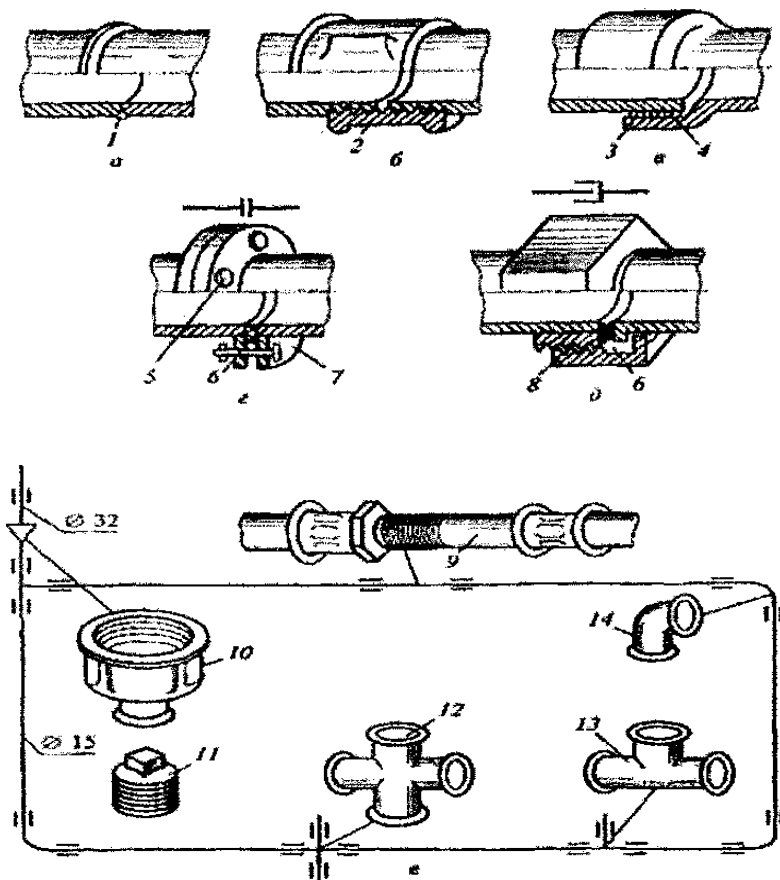


Рис. 1. Соединение водогазопроводных труб: а - сварное в стык; б - муфтово-резьбовое; в - раструбное; г - фланцевое; д - с накидной гайкой; е - соединительные части и их условное обозначение; 1 - сварной шов; 2 - муфта; 3 - раструб; 4 - уплотнение; 5 - болт с гайкой; 6 - уплотнительная прокладка; 7 - фланец; 8 - накидная гайка; 9 - сгон; 10 - муфта переходная; 11 - пробка; 12 - крестовина; 13 - тройник; 14 - угольник

В водопроводных сетях используют следующие типы арматуры:

- водоразборную (краны, смесители);
- запорную (вентили, шаровые краны, задвижки, затворы);
- регулировочную (регуляторы давления и расхода);

– предохранительную (обратные и предохранительные клапаны).

К трубопроводам арматуру присоединяют на резьбе или с помощью фланцев. Арматуру изготавливают из стали, латуни, пластмассы. Для уплотнительных элементов клапанов используют прокладки и золотники из латуни, бронзы, резины, кожи, паронита и других материалов.

К водоразборной арматуре относятся краны водоразборные (рис. 1.2), туалетные, смесительные, лабораторные, банные, поливочные, писсуарные, смывные, пожарные и т.д. В зависимости от вида перемещения затвора водоразборную арматуру подразделяют на два типа: вентильную и пробковую. К водоразборной арматуре относятся также смесители, предназначенные для смешения холодной и горячей воды.

К запорной арматуре относятся пробковые проходные краны, запорные вентили (рис. 1.3) или задвижки - предназначены для отключения отдельных участков водопроводной сети. Поплавковые клапаны, как и смывные краны, являясь водоразборными устройствами, могут быть отнесены к samozапирающей запорной арматуре. На трубопроводах диаметром более 50 мм в качестве запорной арматуры устанавливают задвижки, а на трубопроводах меньших диаметров - вентили или шаровые краны.

Регулировочная арматура предназначена для регулирования расхода и для поддержания определенного напора в сети. К регулировочной арматуре относятся регуляторы давления (рис. 1.4)



Рис. 1.2. Кран водоразборный

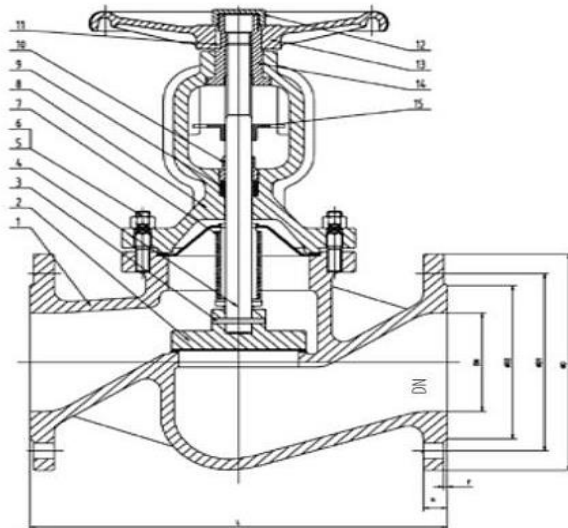


Рис. 1.3. Запорный вентиль 1 – корпус; 2 – золотник; 3 – шплинт; 4 – шток;
 5 – шпилька; 6 – гайка; 7 – сильфон; 8 – крышка; 9 – сальник; 10 – втулка сальника;
 11 – шпонка; 12 – гайка маховика; 13 – маховик; 14 – втулка штока;
 15 – указатель положения

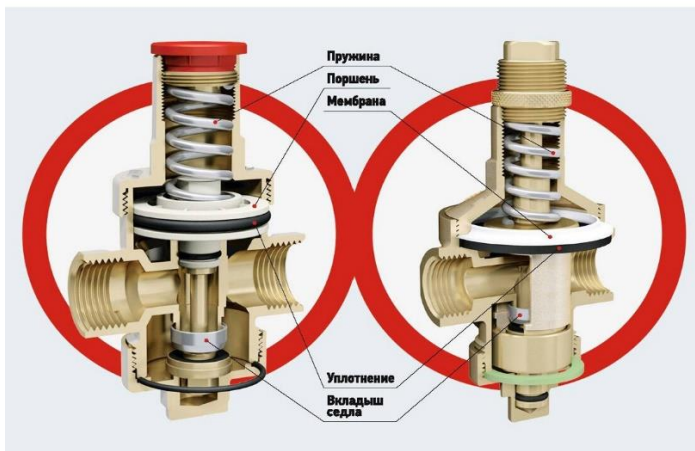


Рис. 1.4 Регулятор давления воды

К предохранительной арматуре относятся предохранительные клапаны, обеспечивающие в сети или перед приборами напор, не превышающий заданный, а также обратные клапаны (рис. 1.5), обеспечивающие движение воды в трубопроводе только в одном направлении. Излишнее повышение напора в трубопроводах может привести к повреждению сети или присоединенного к ней оборудования. Обратные клапаны устанавливаются, например, на вводах при наличии повысительных насосов на обводной линии, а также при наличии в системе водонапорного бака. При движении воды в трубопроводе в обратном направлении клапан прижимается водой к седлу и закрывает проход.

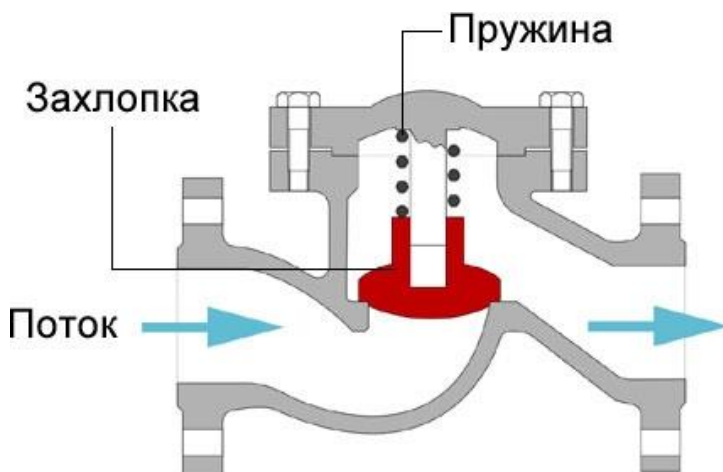


Рис. 1.5. Обратный клапан

Выполнение одних и тех же функций осуществляется различными типами арматуры, имеющими одну или другую принципиальную конструкцию затвора.

Компенсаторы применяются в сетях и водоводах для компенсации температурного изменения длин трубопроводов.

В водоснабжении применяются преимущественно одно- и двухсторонние сальниковые компенсаторы, изготавливаемые по МН 2593-61 и МН 2598-61. Устанавливаются только на стальных трубопроводах с диапазоном изменения $t = 25$ °С.

На трубопроводах с раструбными стыковыми соединениями установка компенсаторов не требуется, так как их роль выполняют сами раструбы.

Гидранты устанавливаются на водопроводной сети с целью отбора воды на нужды пожаротушения. Гидранты выпускаются подземного и надземного типов (ГОСТ 8220-85 Е). Наиболее распространены подземные пожарные гидранты ПГ-3000. Диаметр условного прохода этих гидрантов составляет 125 мм.

Пожарные гидранты этого типа устанавливаются в водопроводных колодцах на пожарные подставки с фланцевыми соединениями непосредственно на линиях водопроводной сети или специальных отводах. Высота пожарных гидрантов изменяется от 500 до 2 500 через каждые 250 мм.

Водоразборные колонки используются для отбора воды из сети населением, проживающим в индивидуальных домах без канализации.

К конструкции водозаборных колонок предъявляются следующие требования: колонка должна быть незамерзающей; в колонку не должно попадать загрязнений из водопроводного колодца и почвы; при открывании колонки не должно возникать гидравлического удара. Этим требованиям в большей мере соответствует колонка московского типа МТ-1, которая нашла наиболее широкое применение.

Колонки устанавливаются на сети или на отводах, как правило, в водопроводных колодцах, но могут быть установлены и в грунт.

Воздушные вантузы служат для автоматического удаления из сети и водоводов воздуха, скапливающегося в возвышенных местах. Вантузы выпускаются двух типоразмеров: с диаметром патрубка 25 и 50 мм. Первый устанавливается на водопроводных линиях с диаметром до 500 мм, а второй – на линиях с диаметром более 500 мм.

Размещаются вантузы в колодцах и присоединяются к трубопроводам вертикально с помощью фланцевого отрезка или тройника через задвижку или вентиль.

Водовыпуски предназначены для опорожнения отдельных участков водопроводных линий в пониженных местах сетей и водоводов. Они представляют собой отводы с задвижкой. Диаметр водовыпусков принимается в 3–4 раза меньшим диаметра опораживаемых линий. Выпуск воды из сети осуществляется в пониженные места территории или в так называемые мокрые колодцы. Поэтому конкретная длина водовыпусков зависит от местных условий.

Форма спецификации

№ п. п.	Наименование	Условное обозначение	Размер или диаметр	ГОСТ	Ед. изм.	Кол-во

Объем работы и методика ее выполнения

Работа выполняется в течение двух академических часов. За это время студент **должен**:

- изучить основные характеристики труб, фасонных частей арматуры;
- ознакомиться с конструктивными особенностями и способами соединения труб, монтажа арматуры и оборудования на сетях и водоводах.

Изучение основных характеристик производится по справочной и учебно-методической литературе, а также по имеющимся ГОСТам. Ознакомление с устройством, конструктивными особенностями, принципом работы и способами соединения элементов производится по чертежам, плакатам, моделям, макетам и образцам.

Материальное обеспечение: трубы – стальные, полиэтиленовые; фасонные части, водопроводная арматура – запорно-регулирующая, предохранительная, водоразборная; материалы для соединения стыков труб – муфта, уплотнительные материалы; инструменты и приспособления для соединения стыков труб.

Лабораторная работа 2. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ КОЛЬЦЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Цель работы. Основной целью лабораторной работы является установление направления движения потоков при трех схемах питания кольцевой сети, определение потерь напора и расходов на участках сети, установление баланса притока и оттока в узлах.

Водопроводная сеть является наиболее сложным и дорогостоящим элементом в системах водоснабжения. По геометрическому очертанию она может быть замкнутая (кольцевая), разветвленная или тупиковая. Подача воды в заданных количествах и под требуемым напором в любую точку территории водоснабжаемого объекта (основное назначение

сети) может быть осуществлена как по кольцевой, так и по тупиковой сети. Однако в отношении надежности обеспечения бесперебойной подачи воды потребителям эти схемы сетей неравноценны. Кольцевая сеть в случае аварии или ремонта любого ее участка обеспечивает водой потребителей в обход этого участка. Авария или отключение на ремонт любого участка тупиковой сети ведут к прекращению подачи воды всем потребителям, расположенным ниже этого участка по направлению движения воды. Кроме этого, кольцевая сеть в известной мере снижает действие гидравлических ударов, возникающих в сети.

Основными задачами гидравлического расчета сетей являются определение диаметров труб и потерь напора на их участках. При расчете тупиковых сетей решение этих задач не представляет затруднений, так как расчетные расходы на участках, как правило, известны. Что касается кольцевых сетей, то потокораспределение, а значит и расчетные расходы на участках замкнутого контура зависят от схем питания сети.

В зависимости от расположения насосной станции и водонапорной башни по отношению к кольцевой сети различают три схемы питания: с проходным резервуаром, с контррезервуаром и комбинированную.

При питании сети по схеме с проходным резервуаром потоки в замкнутом контуре распределяются в одном направлении, так как и насосная станция и водонапорная башня подключены к одной точке на кольцевой сети.

При питании сети по схеме с контррезервуаром имеет место встречное потокораспределение, так как насосная станция и водонапорная башня подключены в разных точках кольцевой сети.

При комбинированной схеме одна часть замкнутого контура питается по схеме с контррезервуаром, а другая (после водонапорной башни) – по схеме с проходным резервуаром.

Независимо от схемы питания кольцевых сетей потокораспределение на их участках и расходы должны удовлетворять правилу баланса расходов в узлах (1-е правило Кирхгофа). В то же время исходя из гидравлической сущности замкнутого контура должно выполняться условие баланса потерь напора в кольцах (2-е правило Кирхгофа).

Материальное обеспечение: лабораторная установка, мерные сосуды, секундомеры.

Объем работы и методика ее выполнения. Лабораторная работа рассчитана на четыре академических часа. За это время студенты должны смоделировать схемы питания сети, установить направление

Направление движения потоков на участках определяется по показаниям пьезометров, подключенных в узлах водоотвода.

Данные снимаются при установившемся режиме (незначительном переливе на водосливной воронке водонапорной башни) и заносятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Показания пьезометров

№ узла	Показания пьезометров Z, см			Примечание
	I	II	III	
1				I – схема с проходным резервуаром II – схема с контррезервуаром III – комбинированная схема
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Для решения этих вопросов необходимо произвести замеры объемов обратной воды за определенный период времени и снять показания пьезометров. Узловой отбор определяется по формуле

$$q_{уз} = \frac{W}{t}, \quad (2.1)$$

где W – объем воды в мерном сосуде, см³;

t – время наполнения сосуда, с.

Сопротивление участков сети определяется из условия

$$h = Sq^2; S = \frac{h}{q^2}; \quad (2.2)$$

где h – потери напора на участке;

q – расход на участке;

S – сопротивление участка.

Порядок выполнения задачи следующий:

– открыть краны на линиях 1-2, 1-7, 2-6, 5-6 путем открытия водоразборных кранов, во всех узлах имитировать узловые отборы;

– снять показания пьезометров, замерить объем отобранной воды за определенный промежуток времени в каждом узле и записать в таблицу.

Расчеты баланса расходов в узлах провести по зависимости

$$q_{пр} = q_{уз} + q_{тр}, \quad (2.3)$$

где $q_{пр}$ – приток воды к узлу;

$q_{уз}$ – узловой отбор;

$q_{тр}$ – транзитный расход (отток воды от узла).

Лабораторная работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЛОРИРУЕМОСТИ ВОДЫ

Цель работы:

1. Изучить методику определения показателя хлорируемости воды.
2. выяснить цель предварительного хлорирования воды.
3. Установить взаимосвязь между показателями хлорируемости и качеством воды.
4. Выяснить назначение остаточного хлора в воде.

Хлорирование – наиболее распространенный метод обеззараживания воды. Хлор окисляет и разрушает вещества, входящие в состав протоплазмы клеток бактерий. Эффективность действия хлора на бактерии в значительной степени зависит от его начальной дозы и продолжительности контакта с водой. Однако на разрушение клеток бактерий обычно расходуется лишь незначительная часть вводимого в воду хлора. Большая же часть, величина которой определяется хлорпоглощаемостью воды, расходуется на реакции с органическими и минеральными примесями воды. При этом разрушение гуминовых веществ способствует улучшению процессов коагуляции и осаждения примесей в воде.

Показатель хлорируемости воды представляет собой дробь, выражающуюся отношением единицы к наибольшей дозе вводимого хлора (в мг/л), при которой вода, контактирующая с ним в течение 30 минут (ГОСТ 2874-82), содержит $\leq 0,5$ мг/л остаточного хлора. По этому показателю устанавливают степень загрязнения воды различными примесями: чем чище вода, тем он больше. С увеличением загрязнения воды показатель хлорируемости уменьшается.

Для определения показателя хлорируемости воды устанавливают зависимость количества остаточного хлора от дозы введенного при 30-минутном контакте с ним воды.

Цель работы:

1. Изучить методику определения показателя хлорируемости воды.
2. выяснить цель предварительного хлорирования воды.
3. Установить взаимосвязь между показателями хлорируемости и качеством воды.
4. Выяснить назначение остаточного хлора в воде.

Приборы и посуда: секундомер; колба емкостью 250 мл (8 шт.); бюретка 50 мл (3 шт.); пипетки мерные емкостью 10 и 100 мл (по 2 шт.); набор корковых пробок.

Реактивы: йодистый калий KI, 10%-ный раствор; буферная смесь с pH 4,6; приготавливают, смешивая равные объемы 1 н. растворов уксусной кислоты и ацетата Na; крахмал, 1%-ный раствор; тиосульфат натрия, 0,005 н. раствор.

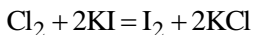
Методика проведения работы и обработка результатов наблюдений.

Для выполнения работы необходимо следующее оборудование и реактивы: секундомер; колба емкостью 250 мл (8 шт.); бюретка 50 мл (3 шт.); пипетки мерные емкостью 10 и 100 мл (по 2 шт.); набор корковых пробок; йодистый калий KI, 10%-ный раствор; буферная смесь с pH 4,6.

Для выполнения работы в 8 плоскодонных колб наливают пипеткой по 100 мл исследуемой воды и последовательно в каждую из них с интервалом в 4 минуты приливают пипеткой хлорную воду, содержащую 0,1 мл/л активного хлора в количествах, указанных в таблицах стенда.

Колбы взбалтывают и закрывают пробками. Поскольку время контакта хлора с водой должно быть 30 минут, то через 2 минуты после приливания хлорной воды в последнюю колбу приступают к определению остаточного хлора в первой колбе. В каждой последующей колбе определение ведут через 4 минуты.

Для того чтобы установить количество остаточного хлора, к 100 мл исследуемой воды добавляют 5 мл 10%-ного раствора KI, 5 мл буферной смеси и 1 мл 1%-ного раствора крахмала. Раствор окрашивается в синий цвет, так как хлор вытесняет свободный йод из KI:



Затем к раствору прибавляют по каплям из бюретки 0,0005 н. раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до его обесцвечивания.

Раствор обесцвечивается, когда весь йод связывается тиосульфатом Na.

Содержание остаточного хлора X_o (мг/л) вычисляют по формуле

$$X_o = \frac{35,5 \cdot V_1 \cdot N \cdot 10^3}{V_2}, \quad (3.1)$$

где V_1 , N – объем и нормальность раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ израсходованного на титрование;

35,5 – миллиграмм-эквивалент хлора;

V_2 – объем исследуемой воды, мл.

По полученным данным строят график в следующих координатах: доза хлора – остаточный хлор. По графику находят дозу введенного хлора, обеспечивающую 0,5 мг/л остаточного хлора, и вычисляют показатель хлорируемости воды (Π_x).

$$\Pi_x = \frac{\Pi_x}{X_n(\max)} \quad , \quad (3.2)$$

Результаты заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1 Результаты опыта

Номер сосуда	1	2	3	4	5	6	7	8
Доза вводимого хлора (X_n), мг/л								
Остаточная доза хлора (X_o), мг/л								
Активная доза ($X_a=X_n - X_o$), мг/л								

Правила соблюдения техники безопасности при выполнении работы:

1. Никаких химически химических веществ не пробовать на вкус.
2. Опыт проводить только в чистой посуде и в проветриваемом помещении.
3. Не наклоняться над сосудом, в котором проводится опыт.
4. Просыпанные или пролитые реактивы следует немедленно и тщательно убрать.

Лабораторная работа 4. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ ПО МЕТОДУ УТЕЧЕК

Цель работы:

- 1) испытать трубопровод на прочность (предварительное испытание);
- 2) испытать трубопровод на утечку (окончательное испытание);
- 3) изучить степень влияния объемов воздуха, находящегося в трубопроводе при испытании, на скорость (интенсивность) понижения давления в нем.

Гидравлическое испытание водопроводной сети является одним из основных и ответственных этапов сдачи ее в эксплуатацию. Оно проводится с целью проверки прочности и герметичности всех стыковых и монтажных соединений. Испытание проводится дважды: предварительное – до засыпки траншеи, чтобы легче было обнаружить неисправные места: окончательное – после засыпки траншеи. Окончательное испытание трубопровода проводится в присутствии заказчика проектной и эксплуатирующей организаций с составлением акта о результате испытаний по форме согласно СНиП 3.05.04-85. Оба этапа испытаний выполняются до установки гидрантов, вантузов, предохранительных клапанов, вместо которых на время испытаний устанавливаются фланцевые заглушки. Длина испытываемого участка не должна превышать одного километра. Перед испытанием трубопровод заполняется водой не менее чем на 24 ч.

Величина испытательного гидравлического давления устанавливается проектом либо принимается: для стальных трубопроводов – рабочее плюс 0,5 МПа, для чугунных со стыковыми соединениями под чеканку – рабочее плюс 0,5, для асбестоцементных – рабочее плюс 0,3 МПа, для полиэтиленовых – рабочее с коэффициентом 1,5 (СНиП Ш-30–74 § 8.6).

В соответствии с требованиями СНиП Ш-30-74 § 8.14 величина утечки из трубопровода при сдаче в эксплуатацию не должна превышать допустимую, выбираемую из табл. 4.1. для данного материала труб, диаметра и длины. При этом сопоставляемые утечки должны быть выражены в одинаковых размерностях: л/мин/км либо л/мин/м. Требуется дать заключение по результатам испытаний.

Таблица 4.1. Предельные допустимые значения утечек для труб различных диаметров

Внутренний диаметр трубопровода, мм	Допускаемая величина утечек на участок длиной 1 км и более, л/мин			
	при испытательном давлении			при рабочем давлении
	стальные трубы	чугунные трубы	асбестоцементные труба	железобетонные
1	2	3	4	5
100	0,28	0,70	1,40	–
125	0,35	0,90	1,56	–
150	0,42	1,05	1,72	–
200	0,56	1,40	1,98	–

продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5
250	0,70	1,55	2,22	–
300	0,85	1,70	2,42	–
350	0,90	1,80	2,62	–
400	1,00	1,95	2,80	–
450	1,05	2,10	2,96	–
500	1,10	2,20	3,14	3,20
600	1,20	2,40	3,44	3,40

Материальное обеспечение: лабораторная установка, мерный сосуд, линейка, секундомер.

Объем работы и методика ее выполнения. Работа выполняется в течение двух часов.

За это время студентам **необходимо:**

– ознакомиться с установкой и заполнить испытываемый трубопровод водой;

– произвести испытание на прочность;

– смоделировать утечку и произвести испытание на герметичность.

Установка представляет собой наклонный участок стальной трубы (рис. 4.1) длиной 3 м и диаметром 100 мм, закрытой по концам на период испытаний глухими фланцами 2 с упорами 3. В верхней точке трубопровода 4 присоединен специальный стояк для выпуска воздуха из трубопровода и бак 5, где может накапливаться определенный объем воздуха. В пониженной части трубопровода (точка б) осуществляется заполнение его водой и нагнетание воды в трубопровод гидравлическим прессом 7 для создания испытательного давления. Моделирование естественной утечки осуществляется через кран 8.

Задача 1. Предварительное гидравлическое испытание трубопровода на прочность проводится в строительной практике до засыпки трубопроводов траншее и установки на них арматуры. Оно осуществляется путем поддержания, заданного проектом испытательного давления в трубопроводе не менее 10 мин (для полиэтиленовых не менее 30 мин) не допуская снижения давления более чем на 0,1 МПа, производя при необходимости дополнительную подкачку воды.

Напорный трубопровод считается выдержавшим предварительное гидравлическое испытание, если в нем под испытательным давлением не произошло разрыва труб и фасонных частей, нарушения заделки стыковых соединений, а под рабочим давлением не обнаружено утечек

воды. Величина испытательного давления задается руководителем. По результатам испытаний дается заключение.

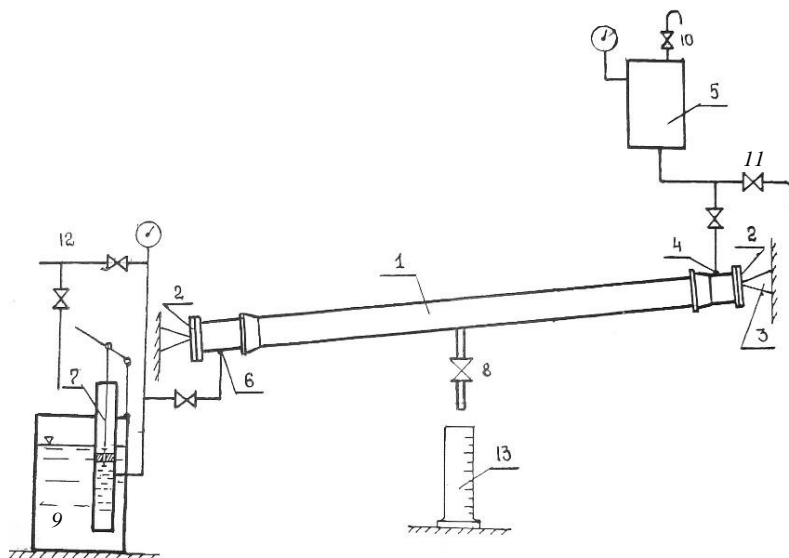


Рис. 4.1. Схема лабораторной установки для гидравлического испытания трубопроводов по методу утечек.

Задача 2. В соответствии с требованиями СНиП Ш-30-74 «Правила производства и приемки работ. Водоснабжение, канализация, теплоснабжение. Наружные сети и сооружения» окончательное гидравлическое испытание напорного трубопровода на прочность осуществляется после засыпки трубопроводов в траншеях и заключается в определении фактической утечки в литрах за минуту на участке 1 км. В лаборатории утечка моделируется открытием крана 8. Испытательное давление поддерживается путем подкачки воды гидравлическим прессом.

В строительной практике определить фактическую утечку на участке 1 км в каждом стыке (число стыков может быть 200 и более) не представляется возможным и поэтому определяется общее количество вытекшей воды за 10 мин W , когда поддерживалось испытательное давление. Оно определяется по разнице уровней воды в мерном баке 9, из которого вода расходовалась в процессе подкачки. Давление в течение

10 мин испытаний регулярной подкачкой рекомендуется держать равным испытательному или как можно ближе к испытательному. При падении же давления в период испытания на 20–40 % при определении фактической утечки ее делят на специальный коэффициент b , равный 0,9. Опыт повторяют трижды и определяют среднее значение утечки по формулам

$$q_{\text{ут}}^{\text{фак}} = \frac{W}{t} \text{ или } q_{\text{ут}}^{\text{фак}} = \frac{W}{tb}; \quad q_{\text{ут}}^{\text{ср}} = \frac{q_{\text{ут}}^{\text{I}} + q_{\text{ут}}^{\text{II}} + q_{\text{ут}}^{\text{III}}}{3}. \quad (4.1)$$

Участок трубопровода из полиэтиленовых труб считается выдержавшим гидравлическое испытание, если после последовательного нахождения трубопровода под испытательным и рабочим давлением падение давления в трубопроводе не превышало величины 0,02 МПа за 10 мин.

Задача 3. До недавнего времени отдельные трубопроводы в практике испытывались по скорости падения давления. Однако наличие воздуха в точках изгиба трубопроводов может значительно снизить скорость падения давления даже при больших утечках. При наличии воздуха в трубопроводе давление в нем даже при значительной утечке падает медленно. Поэтому современные строительные нормы рекомендуют оценивать герметичность трубопровода не по скорости падения давления, а по допустимой величине утечки из испытываемой линии.

Влияние объемов воздуха на скорость (интенсивность) падения давления в трубах устанавливается путем трехкратного испытания участка трубопровода:

- а) при заполнении водой воздушного колпака 5;
- б) при заполнении воздухом воздушного колпака;
- в) при 50%-ном заполнении воздухом воздушного колпака.

Для выполнения пункта «в» необходимо заполнить воздушный бак водой до момента перелива через кран 10, а затем отключить испытываемый трубопровод и $\frac{1}{2}$ часть воды слить из бака через нижний кран 11.

В первом опыте «а» заполняют водой из водопровода 12 испытываемый трубопровод 1 и воздушный колпак 5 (воздух из колпака выходит через кран 10). Затем водопровод 12 отключают и в трубопровод 1 воду закачивают гидравлическим прессом 7 до создания давления, несколько превышающего расчетное (расчетное давление задается преподавателем). После этого пресс отключают. Утечка воды из трубопровода осуществляется через приоткрытый кран 8. Когда давление в трубопроводе

снизится до расчетного, включают секундомер и одновременно под кран 8 подставляют мерный сосуд 13 и следят за падением давления. Как только давление снизится на 0,1 или 0,2 МПа, секундомер выключают и мерный сосуд убирают. Утечку определяют делением объема вытекшей воды на время, за которое упало давление на 0,1 или 0,2 МПа. Аналогично выполняют опыты б и в. Утечки воды в трех опытах должны быть примерно одинаковыми.

Сопоставление результатов трех наблюдений даст определенную закономерность влияния объема воздуха в трубопроводе на скорость падения давления. Результаты наблюдений заносятся в табл. 4.2. Наглядность этой зависимости можно получить, построив график в координатах (объем воздуха в %, скорость падения давления в МПа/с).

Таблица 4.2. Установление влияния объема воздуха, находящегося в трубопроводе, на скорость понижения давления в нем

№ опыта	Заполнение воздушного колпака водой, % от его объема	Давление в колпаке при гидравлическом испытании, МПа		Продолжительность наблюдения, в течение которого давление упало на 0,1 МПа, с	Количество вытекшей воды за t, см ³	Величина утечки
		начальное	конечное			

В отчете представляется схема лабораторной установки. По результатам исследований, взятых из табл. 4.2, дается заключение о закономерности влияния воздуха в трубопроводе на величину утечки и скорости падения давления в нем. Привести в журнале результаты испытания трубопровода на утечку, сравнить фактическую утечку с допустимой.

Лабораторная работа 5. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ НАСОСОВ

Конструкция центробежных насосов

В центробежных насосах жидкость подается за счет центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса. Перед пуском насоса всасывающую трубу и корпус насоса заполняют водой. Схема центробежного насоса показана на рис. 5.1.

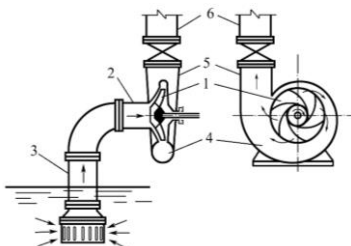


Рис. 5.1 Схема центробежного насоса

Рабочее колесо *1* состоит из двух дисков, отстоящих на некотором расстоянии друг от друга. Между дисками, соединяя их в единую конструкцию, находятся лопасти, плавно изогнутые в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Внутренние поверхности дисков и боковые поверхности лопастей образуют межлопастные каналы колеса (рис.5.2). В этих насосах жидкость при входе в рабочее колесо движется в осевом направлении, а затем в самом колесе – в радиальном.

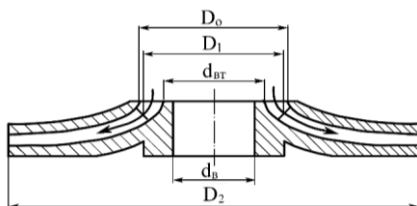


Рис. 5.2. Рабочее колесо насосов типа К (КМ)

При вращении колеса под действием центробежной силы жидкость непрерывно движется по межлопастным каналам от центра к периферии, приобретая при этом большую скорость.

Вода, выходя из каналов, создает у входа в переднем диске рабочего колеса разрежение. Жидкость подводится через отверстие в переднем диске рабочего колеса *1* с помощью всасывающего патрубка *2* и всасывающего трубопровода *3*. Движение жидкости по всасывающему трубопроводу происходит за счет разности давлений над свободной поверхностью жидкости в водоисточнике (атмосферное) и в центральной (входной) части рабочего колеса (разрежение). Отвод жидкости из рабочего колеса осуществляется через спиральный канал *4*, который переходит в короткий

диффузор, образующий напорный патрубок 5, соединяемый обычно с напорным трубопроводом 6 посредством задвижки. При выходе жидкости из рабочего колеса в спиральную камеру происходит уменьшение ее скорости за счет увеличения сечения камеры, причем часть кинетической энергии переходит в потенциальную, увеличивая тем самым первоначальное давление, создаваемое колесом.

Консольные насосы типа К и КМ. Это насосы горизонтальные одноступенчатые с односторонним подводом жидкости к рабочему колесу. Предназначены для перекачивания воды (кроме морской) с температурой от 0 до 85 °С, содержащей твердые включения размером до 0,2 мм, объемная концентрация которых не превышает 0,1 %. Они могут быть изготовлены для перекачивания воды с температурой до 105 °С.

По конструкции насосы типа К (консольные) и типа КМ (консольно-моноблочные) отличаются только тем, что первые соединяются с электродвигателем с помощью муфты, так как имеют собственную станину, вторые с электродвигателем представляют единый блок, т. е. рабочее колесо насоса располагается на консоли вала электродвигателя. Корпус насоса крепится к корпусу двигателя.

Марка этих насосов ГОСТ 22247-76 следующая: К- $Q_ч$ /Н, где $Q_ч$ и Н – соответственно часовая производительность в м³/ч и напор в метрах при максимальном КПД.

Основные детали насосов типа К: корпус насоса 3, крышка корпуса с всасывающим патрубком 2, рабочее колесо 1, вал 4, узел уплотнения вала (сальниковый узел) 6, опорная стойка 9 и соединительная упругая муфта (см. стенд).

В моноблочных насосах типа КМ рабочее колесо 6 насажено непосредственно на вал электродвигателя с удлиненным концом 7, а корпус насоса 1 прикреплен к фланцу электродвигателя (см. стенд). Таким образом, по сравнению с насосом типа К в моноблочных насосах отсутствуют опорная стойка, вал и соединительная муфта.

Корпус насоса представляет собой чугунную отливку, внутренняя полость которой изготовлена в виде спирали, переходящей в напорный патрубок. В нижней части корпуса имеется отверстие, закрытое пробкой 8, для слива жидкости из полости насоса перед длительной остановкой или его разборкой. В верхней части корпуса имеется отверстие, закрытое пробкой 10, для заливки насоса перед его пуском.

Рабочее колесо 1 (см. стенд) – закрытого типа, закреплено на валу насоса с помощью шпонки и гайки с левой резьбой. У насосов мощностью до 10 кВт рабочие колеса неразгруженные, а у насосов мощностью

более 10 кВт – разгруженные от осевых усилий. Разгрузка достигается за счет разгрузочных отверстий 11 (см. стенд) в заднем диске рабочего колеса. Благодаря разгрузке снижается давление перед узлом уплотнения вала. Уплотнение вала насоса 4 (см. стенд) осуществляется сальником с мягкой хлопчатобумажной набивкой. Набивка сальника поджимается крышкой 7.

У насосов мощностью 10 кВт и выше между кольцами набивки устанавливается кольцо гидравлического уплотнения 12. Вода на это кольцо поступает по каналу (полости) 13 из корпуса насоса. При вращении вала между ним и этим кольцом образуется водяное кольцо, обеспечивая тем самым гидрозатвор в зоне узла уплотнения вала, который препятствует проникновению воздуха в полость насоса.

Опорная стойка 9 у насосов типа К представляет собой опорный кронштейн, в котором в шарикоподшипниках 5 установлен вал насоса. Направление вращения вала – против часовой стрелки, если смотреть со стороны электродвигателя. Насосы типа К соединяются с электродвигателем упругой муфтой.

Насосы типа Д. Насосы типа Д и НД центробежные, одноступенчатые, горизонтальные, с закрытым лопастным колесом, двусторонним входом жидкости на него предназначены для подъема воды и других чистых жидкостей при температуре до 100 °С (373 К). Эти насосы применяются в мелиоративных стационарных, передвижных и плавучих насосных станциях, тепловых электростанциях и предприятиях других отраслей народного хозяйства.

По ГОСТ 22247-76 все насосы с двойным входом имеют одно название марки Д $Q_ч$ -Н, здесь $Q_ч$ и Н имеют те же значения, что и у консольных насосов.

Основные детали насосов типа Д (см. стенд): корпус 2, крышка корпуса 10, рабочее колесо 1, вал 3.

Корпус насоса 2 представляет собой сложную чугунную отливку с входным патрубком, спиральным отводящим каналом и напорным патрубком. Входной и напорный патрубки расположены в нижней части корпуса и направлены в противоположные стороны. Такое расположение патрубков, а также горизонтальный разъем корпуса позволяют осматривать, ремонтировать и заменять различные детали без демонтажа насоса.

Рабочее колесо (рис. 5.3) с двусторонним входом жидкости имеет ряд преимуществ по сравнению с колесом одностороннего входа: увеличена подача, уравновешено давление жидкости на колесо.

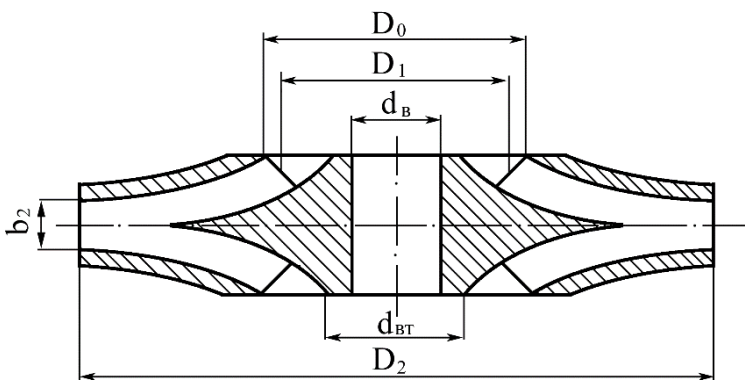


Рис. 5.3. Рабочее колесо насоса типа Д (НД).

Уплотнение вала в местах его выхода из корпуса осуществляется двумя сальниками 6 (см. стэнд). Сальники состоят из корпуса, крышки, сальниковой набивки, кольца гидравлического уплотнения и грундбуксы. Торцевая поверхность грундбуксы служит опорой для сальниковой набивки. Кольцо гидравлического уплотнения устанавливается против отверстия в крышке 10 насоса, через которое по трубкам 11 подводится к сальнику вода под давлением. Вал вращается в двух подшипниках 4, корпуса подшипников прикреплены к кронштейнам 12, отлитым за одно целое с корпусом насоса. Корпус подшипников имеет камеру, куда может быть подана вода для их охлаждения.

Насосы с вертикальным валом типа В. Насосы типа В центробежные, одноступенчатые, с осевым входом жидкости в рабочее колесо предназначены для подачи чистой жидкости от 1 до 35 м³/с при напоре 22...110 м и температуре до 35 °С (308 К). По конструкции эти насосы аналогичны консольным насосам, но с вертикальным валом (см. стэнд). Они применяются для орошения, промышленного водоснабжения и в других отраслях народного хозяйства.

Насосы типа В по ГОСТ 19740-74 имеют следующую маркировку: ДнВ – Q/Н (1000–4/40), где Дн – диаметр напорного патрубка, уменьшенный в 25 раз, мм, В – вертикальный; Q – подача (м³/с) и Н – напор (м) при максимальном значении КПД.

Насосы для перекачки загрязненных жидкостей. К ним относятся фекальные (типа Ф), песковые (типа П) и грунтовые (типа Гр). Это центробежные, одноступенчатые консольного типа насосы, которые имеют некоторое отличие от насосов типа К и КМ, предназначенных для перекачки чистой воды. Рабочее колесо этих насосов (см. стенд) имеет более широкую проточную часть и меньшее число лопаток. Изготавливается из износостойчивых материалов, а иногда и с футеровкой из резины.

В сальниковый узел и гидравлический затвор подается чистая вода из водопровода. Применяются в канализационных насосных станциях (тип Ф) для перекачки водно-песчаной смеси при строительстве намывных дамб (тип П) и в землесосных снарядах (тип Гр).

Маркируются эти насосы так же, как консольные, но с заменой букв К и КМ на Ф, П или Гр.

Многоступенчатые скважинные насосы. К числу многоступенчатых относятся артезианские насосы типа А, НА, АТН, ЦТВ и др.

Наиболее широко применяются насосы типа ЭЦВ с погружным электродвигателем. Обозначаются эти насосы следующим образом: ЭЦВ $d_{\text{скв}}-Q_{\text{ч}}-Н$, где Э – электрический; Ц – центробежный; В – для воды; $d_{\text{скв}}$ – минимальный диаметр скважины, уменьшенный в 25 раз, мм; $Q_{\text{ч}}$ и Н – соответственно производительность, м³/ч и напор, м (например, ЭЦВ 8-16-85).

В электропогружных насосах типа ЭЦВ для скважин с диаметром до 200 мм рабочие колеса и направляющие аппараты выполняются из полистирола и полипропилена, радиальные подшипники и подпятники – резинометаллические. Привод насосов осуществляется погружными водозащитными и однофазными (насосы для скважин 100 мм) и трехфазными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутыми роторами. Энергия к электродвигателю, расположенному в скважине ниже насоса, подводится сверху по специальному кабелю. Входное для воды отверстие насоса находится между двигателем и насосом и защищено сеткой 9 (см. стенд).

Насос ЭЦВ состоит из набора секций, ротора, верхнего и нижнего подшипников, головки, стяжек. Рабочие колеса 4 закреплены на валу 5 с помощью шпонки и фиксированы от осевого смещения распорными втулками 3 и гайкой. Отвод воды от рабочего колеса одной ступени и подвод ее к входному отверстию последующей ступени осуществляются с помощью направляющего аппарата 6. Удерживание направляющих аппаратов от проворачивания их в корпусе секций осуществляется выступами на разделительных дисках 10, которые устанавливаются

между ступенями и имеют резиновые уплотнительные кольца. Всаивающийся 11 и нагнетательный 2 патрубки насоса отлиты из чугуна, одновременно они служат корпусами нижнего и верхнего резинометаллических подшипников вала. В корпусе нагнетательного патрубка расположен обратный клапан. Верхняя часть нагнетательного патрубка имеет внутреннюю резьбу для присоединения насоса к водоподъемной трубе 1. Смазка и охлаждение подшипников осуществляются подаваемой жидкостью. Вал насоса для предохранения от износа в подшипниках защищен гильзами из нержавеющей стали. Частичное уравновешивание силы осевого давления в насосе достигается разгрузочными отверстиями в ведущих дисках рабочих колес. Остальная сила осевого давления, а также масса роторов насоса и двигателя воспринимаются опорной пятой электродвигателя 8. Вал насоса соединяется с валом электродвигателя жесткой муфтой 7.

Насосный агрегат, подвешенный в скважине на колонне водоподъемных труб, опускают на такую глубину, чтобы верхний фланец клапанной коробки находился ниже динамического уровня не менее чем на 1–1,5 м. Автоматизация работы насосной установки осуществляется с помощью специальной аппаратуры в зависимости от уровня воды или давления в напорно-регулирующем баке и от динамического уровня воды в скважине.

Аппаратура поставляется заводами в комплекте с насосами. В нее входят станция автоматического управления, датчики уровня или давления, датчик сухого хода.

Автоматическое включение и выключение насоса производится станцией по сигналам датчиков в зависимости от уровня воды в баке водонапорной башни или скважине (водозаборе). С помощью датчика сухого хода производится автоматическое отключение электродвигателя насоса при понижении динамического уровня воды в скважине сверх допустимого. Станция обеспечивает возможность и ручного управления.

Принцип действия и конструкции осевых насосов

Насосы типа О и ОП. Насосы осевые, одноступенчатые предназначены для подачи чистой воды с температурой не более 35 °С, содержанием взвешенных частиц не более 3 г/л, размер которых не более 0,1 мм (из них абразивных частиц не более 2 %). Насосы применяются для циркуляционного водоснабжения тепловых и атомных электростанций, в

оросительных и осушительных системах, в промышленности и других отраслях народного хозяйства. По согласованию с заводом допускается применять насосы для перекачивания других жидкостей.

В соответствии с ГОСТ 9366-80 «Насосы осевые. Общие технические условия» выпускается два типа осевых насосов: тип О – с жестко закрепленными лопастями и тип ОП – с поворотными лопастями рабочего колеса (рис. 5.4). Насосы изготавливаются с горизонтальным (Г) и вертикальным (В) расположением вала.

Осевые насосы выпускаются семи моделей (2, 3, 5, 6, 10, 11, 16), по ГОСТ 9366–80 (2, 3, 5, 6, 8, 10, 11), и восьми модификаций: К – с камерным подводом; МК – малогабаритным с камерным подводом; МБК – моноблочный с камерным подводом; МБ – моноблочный; Э – с электроприводом поворота лопастей; КЭ – с камерным подводом и электроприводом поворота лопастей; МКЭ – малогабаритный с камерным подводом и электроприводом поворота лопастей; ЭГ – с электрогидроприводом поворота лопастей.

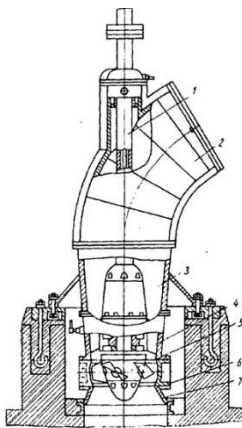


Рис. 5.4. Конструкция осевого насоса типа ОП

В осевых насосах при взаимодействии лопастей с потоком возникает подъемная сила, за счет которой жидкая среда перемещается вдоль оси колеса насоса. Вход и выход жидкости на рабочее колесо осуществляется в осевом направлении. Ввиду того, что окружные скорости вдоль радиуса рабочего колеса неодинаковы (в центре окружности скорость равна нулю, а на торце лопаток она имеет максимальное значение), то и

давления в жидкости вдоль радиуса окажутся разными, в результате чего возникает вихреобразование. Для устранения этого явления в рабочем колесе насоса устраивается массивная втулка с короткими лопатками. Жидкость при выходе из рабочего колеса приобретает вращательное движение вокруг оси вала, на что тратится часть энергии. С целью выравнивания движения и повышения КПД насоса выше рабочего колеса устанавливается выправляющий аппарат с неподвижными лопастями. В результате на выходе из рабочего колеса происходит преобразование части кинетической энергии в потенциальную, т. е. увеличивается напор насоса.

Основными узлами насоса являются (см. стенд): ротор, состоящий из вала 5 и рабочего колеса 3, корпус насоса (отвод) 8, диффузор 6 с лапами 7 для крепления насоса к фундаментным плитам, выправляющий аппарат 2, разъемная камера 9 колеса, переходное кольцо 10.

Рабочее колесо 3 состоит из втулки и лопастей, обтекателя. У насосов типа О жесткое крепление лопастей к втулке, а у насосов типа ОП имеется механизм разворота лопаток, и лопасти могут поворачиваться. Вал насоса вращается в двух подшипниках 1 с лигнофолевыми или резиновыми вкладышами с водяной смазкой. Осевая сила и масса ротора насоса воспринимаются пятой электродвигателя, за исключением насоса ОВ5-47МБК. Выправляющий аппарат имеет неподвижные лопасти, устанавливается выше рабочего колеса и служит для уменьшения закрутки потока, что уменьшает потерю напора.

Условное обозначение марок осевых насосов: ОГ6-25, ОВ5-55МК, О – осевой насос с жестко закрепленными лопатками рабочего колеса; В или Г – с вертикальным или горизонтальным расположением вала; ОП – осевой с поворотными лопастями; цифры после букв (6, 5) – модель типового колеса (номер модели насоса); следующая цифра (25, 55) – диаметр рабочего колеса, см; буквы после цифр (МК) – модификация насоса, которая может не указываться.

Погружные моноблочные осевые насосы типа ОПВ и ОМПВ. Насосы типа ОПВ представляют собой моноблочный насосный агрегат со встроенным электродвигателем со стороны всасывающей части насоса. Электродвигатель установлен в «сухом» герметичном корпусе. Ротор электродвигателя и рабочее колесо находятся на одном валу. Рабочее колесо насажено консольно и имеет жесткое крепление лопастей. На выходе вала из электродвигателя находится уплотнительный узел, который предотвращает попадание воды внутрь электродвигателя. Про-

сочившаяся вода собирается в сборнике, из которого удаляется избыточным давлением воздуха. Воздух подается в полость электродвигателя под давлением 0,03–0,05 МПа. Насосы типа ОМПВ представляют собой погружной агрегат моноблочного типа, состоящий из встроенного водозаполненного асинхронного электродвигателя и насосной части. Ротор электродвигателя насажен на вал, который вращается в двух опорах скольжения. К ротору электродвигателя крепится рабочее колесо (консольно) осевого типа с жестким креплением лопастей. Попадание перекачиваемой воды в полость электродвигателя осуществляется за счет торцового уплотнения в подшипниковых щитах.

Насосы типа ОПВ и ОМПВ имеют конический подвод (всасывающий патрубок), рабочее колесо с жестко закрепленными лопастями, рабочую камеру, лопаточный отвод (выправляющий аппарат), отвод и корпус.

Эти насосы могут поставяться на салазках (катках) или на шарнире. Условные обозначения (маркировка) насосов следующие: ОПВ $Q_ч$ -Н; ОМПВ $Q_ч$ -Н: О – осевой; М – моноблочный; П – погружной; В – для подачи воды; $Q_ч$ – подача (м³/ч); Н – напор (м). Примеры маркировки: ОПВ 2500-4,2, ОМПВ 250-10,5.

Выполнение работы

Насосы типа К, КМ. 1. Изучается конструкция и принцип действия насоса. Выявляется назначение и взаимодействие его деталей. Вычерчивается эскиз рабочего колеса.

1. Определяется марка насоса по старому ГОСТ 8337-57. Для этого необходимо измерить с точностью до 1 мм размеры деталей, указанные в табл. 2.2 журнала лабораторных работ. С помощью табл.5.1 по отношению D_2/D_0 устанавливается коэффициент быстроходности n_s , а по величине диаметра всасывающего патрубка определяется первая цифра, входящая в марку насоса.

2. Устанавливается марка ГОСТ 22247-76. Для этого необходимо по установленной марке в каталоге отыскать характеристики насоса и, используя кривую Н- Q (для замеренного диаметра рабочего колеса) при максимальном КПД, снять значения Q и Н, входящие в марку ГОСТ 22247-76.

Таблица 5.1. Классификация рабочих колес по быстроходности

№ п.п.	Наименование насосов	D_2 / D_0	n_s , об/мин	Степень быстроходности
1	Центробежные	3	60	Тихоходные
2	Центробежные	2	70–150	Нормальные
3	Центробежные	1,6–1,2	150–350	Быстроходные
4	Диагональные	1,2–1,1	350–600	Быстроходные
5	Осевые	0,8	600–1200	Быстроходные

Насосы типа Д, НД. 1. После изучения конструкции насоса и взаимодействия его деталей делаются замеры, которые заносятся в табл. 5.2.

2. Устанавливается марка насоса по ГОСТ 8337-57. При этом степень напорности (буквы н, с, в) определяется с помощью каталога характеристик по величине первой цифры, входящей в старую марку. Следует помнить, что базовой является характеристика, полученная при максимальном числе оборотов.

3. Переход от ГОСТ 8337-57 к ГОСТ 22247-76 осуществляется аналогично тому, как это делается для насоса типа К.

Насосы типа О, Оп. 1. Тип насоса (О или Оп) определяется по рабочему колесу. Если его лопасти закреплены жестко, то тип насоса О, а если они могут поворачиваться, то – Оп.

2. Марка насоса устанавливается в зависимости от числа лопаток рабочего колеса и его диаметра. Вторая модель осевого насоса имеет 5 лопастей, третья и девятая – 6, пятая и одиннадцатая – 4, шестая и восьмая – 3 лопасти.

Все установленные сведения заносятся в табл. 5.3 и вычерчивается эскиз рабочего колеса.

Насос ЭЦВ. 1. Изучается конструкция насоса с помощью разреза и плаката.

2. Марка насоса устанавливается путем замера его наружного диаметра (уменьшив его в 25 раз, получим первую цифру марки) и подсчета количества ступеней нагнетания. По этим данным с помощью каталога скваженных насосов устанавливается расход и напор, т. е. окончательная марка насоса.

3. Заполняется табл. 5.4 и вычерчивается эскиз погружного насоса.

Таблица 5.2. Результаты измерений и определений насосов К и Д

Тип	Диаметры патр., мм		Сторон всасывания	Размеры рабочего колеса, мм				п _з	Марка по ГОСТ	
	$d_{вс}$	$d_{п}$		D_2	D_0	$d_{в}$	D_2/D_0		8337-57	22247-76
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблица 5.3. Результаты измерений и определения марки насоса типа О

Диаметры патрубков, мм		Диаметр рабочего колеса, мм (D_0)	Число лопаток	Крепление лопаток	Марка насоса по ГОСТ
Всас.	Нагнет.				
1	2	3	4	5	6

Таблица 5.4. Результаты измерений и определений артезианского насоса

Тип насоса	Диаметр насоса, мм	Диаметр нап. патрубка, мм	Число ступеней нагнет.	Марка насоса по ГОСТ
1	2	3	4	5

Лабораторная работа 6. ИСПЫТАНИЕ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ

Перед началом испытаний установку нужно осмотреть, проверить наличие приборов и их исправность.

Лабораторная работа выполняется на установках «а» и «б» (см. рис. 6.1). Порядок проведения испытания следующий:

1. На установке «а» заливка насоса осуществляется через заливную пробку на корпусе насоса. На установке «б» насос находится под заливом постоянно.

2. Закрывают задвижку 4 на напорной линии.

3. Включают в работу двигатель насоса.

4. Открывают полностью задвижку 4 для того, чтобы удалить воздух из насоса и трубопроводов. Проливают соединительные трубки манометра, мановакуумметра и дифференциального манометра. В процессе испытания эту операцию систематически повторяют. Соединяют манометр и мановакуумметр с атмосферой, проверяют установку нулей шкал.

5. Закрывают задвижку 4 и снимают показания первой точки замера при $Q = 0$. При таком положении задвижки снимают показания мановакуумметра, манометра, ваттметра, замеряют частоту вращения вала двигателя. Затем задвижка 4 приоткрывается. После установления режима производят отсчет Q по расходомеру или водосливу и снимают показания остальных приборов. Аналогичным образом, увеличивая открытие задвижки 4 до максимального значения расхода, проводят 5–8 опытов. Данные, полученные при испытаниях, заносят в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Данные измерений

Номер опыта	$P_{мв}$, кгс/см ²	P_m , кгс/см ²	Расходомер, водослив	N , кВт	n_1 , об/мин
1	2	3	4	5	

Аналитическая обработка данных

1. Напор насоса H при известных показаниях манометра и мановакуумметра определяется по формуле (6.2).

2. Потребляемую мощность (Ne) снимаем по графику $N = f(W)$, построенному с учетом коэффициента полезного действия электродвигателя.

3. Полученные значения Q , H , N пересчитываются на постоянную частоту вращения ($n = \text{const}$) по формулам подобия:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2; \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3, \quad (6.1)$$

где Q_1 , H_1 , N_1 – замеренные расход, напор, мощность;

Q_2 , H_2 , N_2 – пересчитанные расход, напор и мощность;

n_1 – замеренная частота вращения;

n_2 – постоянная частота вращения.

Тогда пересчитанные значения расхода, напора и мощности определяются по следующим формулам:

$$Q_{п} = Q_1 \frac{n_2}{n_1}; \quad H_{п} = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2; \quad N_{п} = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3, \quad (6.2)$$

Если обозначить $i = \frac{n_2}{n_1}$, то формулы (6.2) примут вид

$$Q_{п} = iQ_{зам}; \quad H_{п} = i^2H_{зам}; \quad Ne_{п} = i^3Ne_{зам} \quad (6.3)$$

4. Пересчитанная полезная мощность насоса $N_{\text{пол. п}}$ определяется по формуле (6.6) по $Q_{\text{п}}$ и $H_{\text{п}}$.

5. Коэффициент полезного действия насоса η определяется по формуле (6.7) по пересчитанным мощностям.

Результаты обработки заносят в журнал лабораторных работ (табл. 6.2). После заполнения всех граф табл.6.2 строят графики $H = f(Q)$; $\eta = f(Q)$; $N = f(Q)$ при $n = \text{const}$, которые должны иметь вид, изображённый на рис. 6.1. Они называются рабочими характеристиками насоса.

Таблица 6.2. Результаты обработки опытных данных

Номер опыта	$h_{\text{мв}}$, м	$h_{\text{м}}$, м	H , м	Q , л/с	Ne , кВт	n_2 , об/мин	i	i^2	i^3	$Q_{\text{п}}$, л/с	$H_{\text{п}}$, м	$Ne_{\text{п}}$, кВт	$N_{\text{пол.п}}$, кВт	η , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

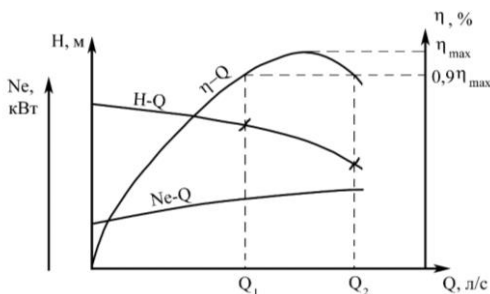


Рис. 6.1. Рабочие характеристики центробежного насоса

После построения рабочих характеристик определяют рабочую зону насоса, которая соответствует снижению максимального КПД на 10 % и показывает оптимальный диапазон изменения расхода (от Q_1 до Q_2) и соответствующего напора данного насоса.

Лабораторная работа 7. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ОДИН ТРУБОПРОВОД

Одновременная работа нескольких центробежных насосов на общий напорный трубопровод называется параллельной работой насосов (рис. 7.1).

До начала испытаний нужно построить на миллиметровой бумаге частные характеристики $H - Q_1$ насоса № 1 и $H - Q_2$ насоса № 2 и суммарную характеристику $H - (Q_1 + Q_2)$ двух насосов, работающих на отдельные трубопроводы (рис. 7.1).

Для построения характеристики первого насоса используются данные лабораторной работы 6 (см. табл. 6.2), а для характеристики второго насоса студенты получают готовые лабораторные данные расхода и напора. Суммарная характеристика $H - (Q_1 + Q_2)$ (рис. 7.2) строится путем сложения расходов Q обоих насосов при одинаковых напорах. После этого приступают к испытанию насосной установки.

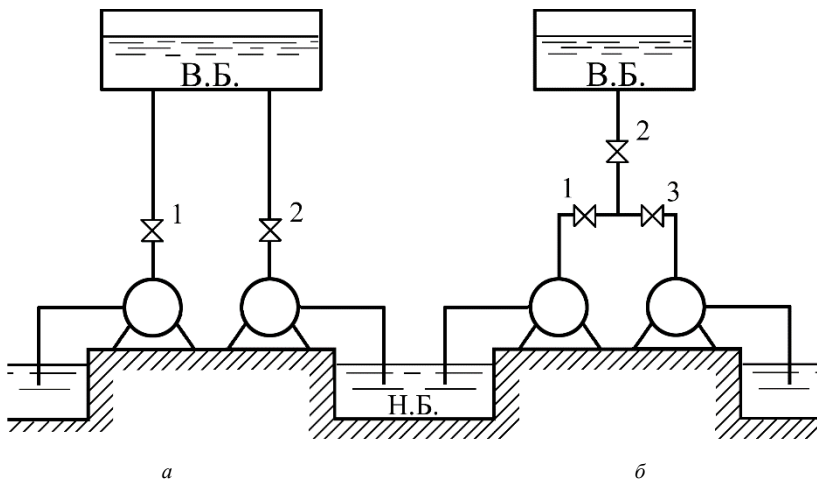


Рис. 7.1. Схема совместной работы двух центробежных насосов: а – каждого на свой напорный трубопровод; б – параллельная работа на общий напорный трубопровод

Испытания проводятся в следующем порядке:

1. Установку осматривают, проверяют наличие необходимых приборов.
2. Насосы 1 и 2 подсоединяют параллельно, т. е. по схеме «б» (рис. 4.1).
3. Насосы заливают водой, задвижки 1 и 3 закрывают, а задвижку 2 открывают.
4. Включают в работу двигатели, открывают полностью задвижки 1, 2, 3 удаляют воздух из насоса и трубопроводов.

5. Проливают соединительные трубки манометров, мановакуумметров и дифференциального манометра. Соединяют манометр и мановакуумметр с атмосферой, проверяют установку нулей шкал.

Испытания начинают при полностью закрытой задвижке 2, когда расход $Q = 0$. Задвижки 1 и 3 во время опытов держат постоянно открытыми. При таком положении получают первую точку наблюдений, для которой снимают показания мановакуумметра, манометра и заполняют частоту вращения вала двигателя насоса 1. Можно снимать показания мановакуумметра и манометра насоса 2, так как в точке объединения трубопроводов напоры насосов будут одинаковыми. Затем задвижку 2 приоткрывают и, после установления режима, производят следующее определение Q по дифманометру или водосливу и тарировочной кривой, снимают показания остальных приборов. Аналогичным образом, постепенно открывая задвижку до полного открытия, выполняют 5...8 опытов.

Опытные данные заносятся в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Данные измерений

Номер опыта	$P_{мв}$, кгс/см ²	P_m , кгс/см ²	Водослив, расходомер	n_1 , об/мин
1	2	3	4	5

Аналитическая обработка данных

Величины $h_{мв}$, h_m , N подсчитываются таким же образом, как и в работах 1 и 3. При подсчете V_v и V_n следует помнить, что подаваемый расход делится между двумя насосами. Напор и расход пересчитываются на постоянное число оборотов с помощью множителя i , как это было в предыдущей работе. Обработанные данные записываются в журнал лабораторных работ (табл. 7.2).

После заполнения таблицы на миллиметровую бумагу, где построена суммарная характеристика $N - (Q_1 + Q_2)$ двух отдельно работающих насосов, наносят данные таблицы и получают опытную суммарную характеристику $N - Q_{1+2}$ двух насосов при их параллельной работе.

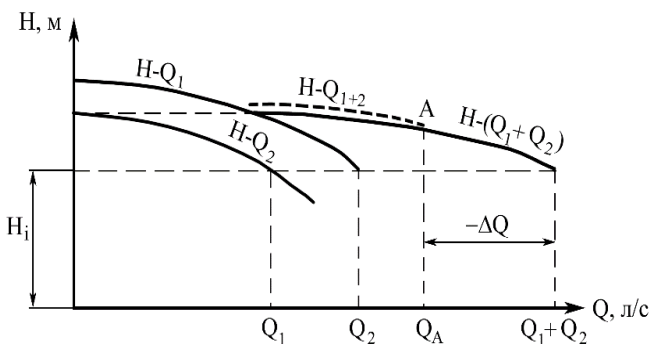


Рис. 7.2. Суммарные характеристики для двух центробежных насосов, работающих параллельно.

Максимальный суммарный расход двух насосов, работающих на отдельные трубопроводы, будет больше максимального расхода двух насосов, работающих параллельно на один трубопровод. Эта разница ΔQ определяется графическим путем и называется дефицитом в подаче при параллельной работе двух центробежных насосов на один трубопровод.

Возникает она вследствие того, что расход $Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2$ при напоре H_i , развиваемом насосом, по данному напорному трубопроводу пройти не может, так как в нем возникают потери больше, чем напор насоса H_i . Поэтому фактический расход Q_A , при котором потери напора и напор насоса равны, будет меньше на величину ΔQ .

Таблица 7.2. Результаты обработки опытных данных

Номер опыта	$h_{\text{мв}}, \text{ м}$	$h_{\text{м}}, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$Q, \text{ л/с}$	$n_2, \text{ об/мин}$	i	i^2	$Q_{\text{п}}, \text{ л/с}$	$H_{\text{п}}, \text{ м}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Лабораторная работа 8. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ РАБОТА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ОДИН ТРУБОПРОВОД

Для того чтобы увеличить напор насосной установки, насосы можно объединить либо по схеме “а”, либо по схеме “б” (рис.8.1)

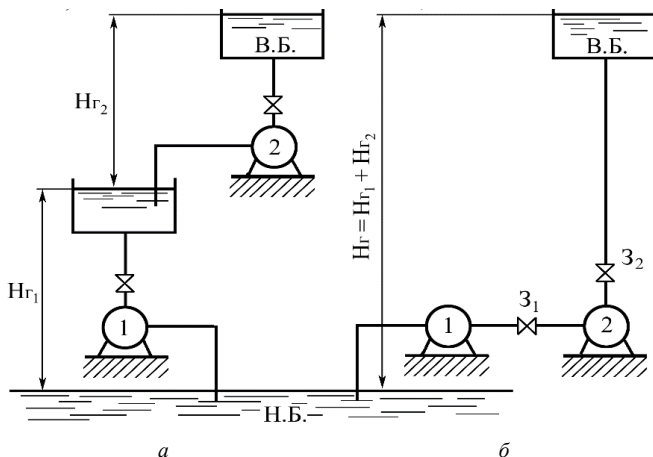


Рис. 8.1. Схемы последовательной работы двух центробежных насосов: *а* – каждого на свой напорный трубопровод; *б* – на общий трубопровод

Перед началом испытаний нужно построить на миллиметровой бумаге частные характеристики $H_1 - Q$ насоса 1 и $H_2 - Q$ насоса 2. Затем путем суммирования напоров при одинаковых расходах строят суммарную характеристику по напору $(H_1 + H_2) - Q$ двух насосов, работающих отдельно.

Для построения частной характеристики $H_1 - Q$ насоса 1 используется лабораторная работа 6 (табл. 6.2), а координаты характеристики $H_2 - Q$ насоса 2 снимаются с рис. 8.2 рабочего журнала лабораторной работы 7.

1. Проверяют наличие и исправность измерительных приборов.
2. Насосы 1 и 2 подсоединяют последовательно, т. е. по схеме *б* (рис. 5.1).
3. Насос 1 заливают водой, закрывают задвижки Z_1 и Z_2 .
4. Включают в работу двигатель первого насоса и полностью открывают задвижку Z_1 , заполняя водой насос 2.
6. Включают в работу двигатель второго насоса. Полностью открывают задвижку Z_2 для удаления воздуха из насоса и трубопроводов. Пропливают соединительные трубки манометров, мановакуумметров. Испытание начинают при полностью закрытой задвижке Z_2 , когда расход $Q = 0$. Задвижку Z_1 во время опытов держат постоянно полностью открытой. При таком положении получают первую точку наблюдений,

для которой снимают показания мановакуумметров, манометров, ваттметра (большее из двух) и частоту вращения вала того насоса, где большее показание ваттметра. Затем задвижку Z_2 приоткрывают и после установления режима производят определение расхода по расходомеру или водосливу и тарировочной кривой, снимают показания остальных приборов. Аналогичным образом, постепенно открывая задвижку до полного открытия, выполняют 5–8 опытов. Опытные данные заносят табл. 8.1.

Таблица 8.1. Данные измерений

Номер опыта	$P_{МВ1}$, кгс/см ²	$P_{М1}$, кгс/см ²	$P_{МВ2}$, кгс/см ²	$P_{М2}$, кгс/см ²	Расходомер, водослив	N , кВт	n_1 , об/мин
1	2	3	4	5	6	7	8

Аналитическая обработка данных

Величины N , $h_{МВ}$, h_M и другие (табл. 8.2) подсчитываются аналогичным образом как в работе 3. Поскольку насосы работают последовательно, суммарный напор сложится из напоров двух насосов.

В установках между двумя насосами имеется участок соединительного трубопровода с задвижкой. Такой соединительный трубопровод создает значительные сопротивления при больших расходах, вызывает большие потери напора. Эти потери определяются как разность показателей манометра насоса 1 и мановакуумметра насоса 2, т. е.

$$h_{тр} = h_{М1} - h_{МВ2}. \quad (8.1)$$

Суммарный напор, создаваемый двумя последовательно соединенными насосами, будет определяться по формуле

$$H = h_{М2} - h_{МВ1} + z + h_{тр}. \quad (8.2)$$

Пересчет всех величин производится на постоянную частоту вращения. Пересчитанные данные Q_n , N_n в виде характеристики $H_{1+2} - Q$ наносятся на ту же миллиметровую бумагу, на которой уже построена суммарная характеристика $(H_1 + H_2) - Q$ (рис. 8.2).

Из сравнения двух суммарных кривых видно, что опытная кривая H_{1+2} длиннее, т. е. насосы, соединенные последовательно, могут подать больший расход, чем они подавали при том же напорном трубопроводе, работая по отдельности.

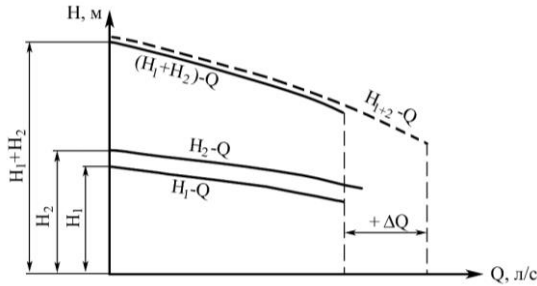


Рис. 8.2. Суммарные характеристики при последовательной работе двух центробежных насосов

Такое положение объясняется тем, что удвоенный напор установки должен потратиться на преодоление также удвоенного сопротивления трубопровода, которое может возрасти только за счет увеличившегося расхода. Однако увеличение подачи насосов влечет за собой и увеличение мощности, получаемой насосом от электродвигателя. Поэтому для выяснения степени перегрузки электродвигателя, необходимо сравнить максимальную потребляемую мощность $Ne_{п}$ с максимальным паспортным его значением $[Ne]$. Если соблюдается условие $Ne_{п} \leq [Ne]$, то двигатели насосов не перегружены.

Таблица 8.2. Результаты обработки опытных данных

Номер опыта	$h_{мв1}$, м	$h_{м1}$, м	$h_{мв2}$, м	$h_{м2}$, м	$h_{т, м}$	H, м	Q, л/с	Ne, кВт	n_2 , об/мин	i	i^2	i^3	$Q_{пв}$, л/с	$H_{пв}$, м	$Ne_{пв}$, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Лабораторная работа 9. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА СТОЧНЫХ ВОД В САМОТЕЧНЫХ ЛОТКАХ И КАНАЛАХ

Цель работы: определить расход сточной жидкости в лотке с критической глубиной при истечении через треугольный водослив и через водослив с широким порогом.

При эксплуатации водоотводящих сетей часто возникает необходимость измерять расход сточных вод. Выбор того или иного метода измерения расхода сточных вод должен производиться с учетом особенностей местных условий и требуемой точности измерения.

Наиболее часто применяемые способы измерения расхода сточных вод могут быть подразделены на две группы:

- первая – с непосредственным измерением расхода с помощью измерительных лотков и водосливов;
- вторая – с измерением площади живого сечения и средней скорости течения воды в том же сечении с помощью поплавков, вертушек, батометров-тахиметров.

Для измерения расхода, поступающего на очистные станции, применяются лотки с критической глубиной (рис. 9.1).

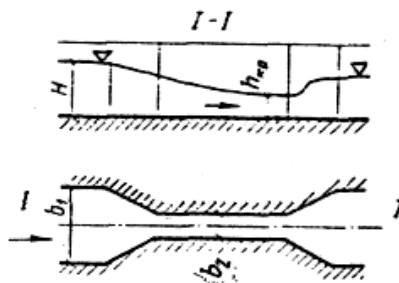


Рис. 9.1. Лоток с критической глубиной

Расход в лотке с критической глубиной определяется по формуле

$$Q = c_1 \cdot A \cdot b_2 \cdot H^{3/2}, \quad (9.1)$$

где Q – расход сточных вод;

c_1 – коэффициент расхода воды, равный 0,97;

b_2 – ширина лотка в узком сечении (горловина), м;

b_1 – ширина канала перед входом в лоток, м;

A – коэффициент зависящий от отношения $A = f(b_2 / b_1)$.

Значения A приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1. Значения A в формуле

b_1 / b_2	A	b_1 / b_2	A
0,2	1,72	0,6	1,88
0,3	1,74	0,7	1,95
0,33	1,75	0,8	2,07
0,4	1,77	0,9	2,28
0,5	1,82	1,0	3,13

Для измерения расхода сточных вод широко применяются водосливы с тонкой стенкой и широким порогом (рис. 9.2).

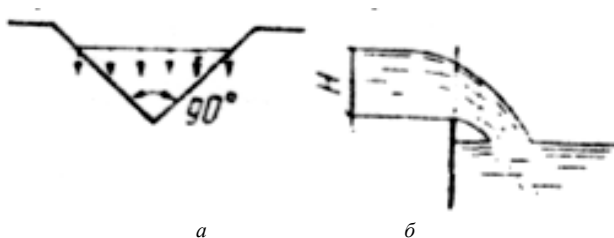


Рис. 9.2. Треугольный водослив:
a – вид с нижнего бьефа; *б* – продольный разрез

Расход через треугольный водослив с тонкой стенкой определяется по формуле

$$Q = 1,343 \cdot H^{2,47} . \quad (9.2)$$

Расход через прямоугольный водослив с тонкой стенкой определяется по формуле

$$Q = m_0 b_n b_2 \sqrt{2g} H^{3/2} . \quad (9.3)$$

Прямоугольный водослив представлен на рис. 9.3.

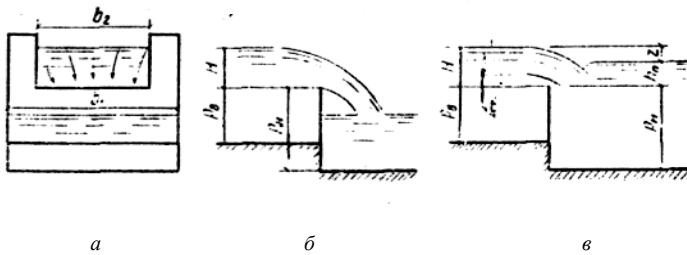


Рис. 9.3. Прямоугольный водослив:
 а – вид с нижнего бьефа; б – продольный разрез при неподтопленном истечении воды; в – то же при подтопленном истечении воды

При малых скоростях подхода коэффициент расхода m_0 определяется по формуле

$$m_0 = 0,405 + \frac{0,0027}{H}; \quad (9.4)$$

при значительных скоростях подхода

$$m_0 = \left(0,405 + \frac{0,0027}{H}\right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{H}{H + \rho_B}\right)^2\right]. \quad (9.5)$$

Коэффициент подтопления

$$\sigma_{\Pi} = 1,05 \left(1 + 0,2 \frac{h_{\Pi}}{\rho_{\Pi}}\right) \sqrt[3]{Z/H}. \quad (9.6)$$

Водослив с широким порогом представлен на рис. 9.4.

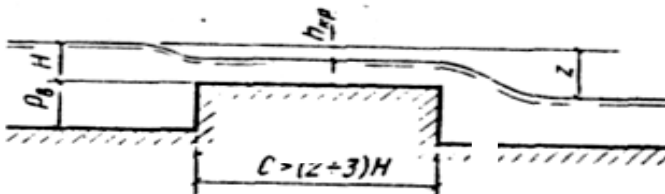


Рис. 9.4. Водослив с широким порогом
 (продольный разрез)

Расход через водослив с широким порогом определяется по формуле

$$Q = m\sigma_n b_2 \sqrt{2gH}^{3/2}, \quad (9.7)$$

где m – коэффициент расхода;

σ – коэффициент бокового сжатия.

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}, \quad (9.8)$$

где v_0 – скорость подхода.

Описание лабораторной установки

Установка для проведения лабораторной работы состоит из гидравлического лотка переменного уклона 3, бака 4 с мерным треугольным водосливом 5 и циркуляционного насоса 1 (рис. 9.5). Вся установка представляет собой циркуляционную систему; расход воды в ней может регулироваться задвижками до и после насоса.

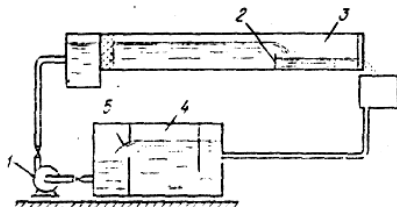


Рис. 9.5. Схема экспериментальной установки с гидравлическим лотком

Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы измеряют размеры гидравлического лотка, измерительных лотков и водосливов.
2. Наполнение воды, напоры на порогах лотков и водосливов и глубину подтопления $h_{\text{п}}$ замеряют с помощью мерных игл (шпитценмаштабов), которые устанавливают над мерным сечением.
3. Для измерения расхода с помощью гидрометрических вертушек на прямолинейном участке лотка выбирают мерное сечение.

Измерения ширины лотка или водослива следует производить с помощью двух металлических линеек враспор, каждая из которых должна иметь длину меньшую, чем вся измеряемая ширина, но больше половины ее. По высоте каждого устройства необходимо производить несколько измерений.

Глубину потока или напор на пороге водослива вычисляют как разность двух отсчетов по шпитценмасштабу, установленному на дне лотка (или на пороге водослива) и на поверхность воды. Учитывая, что перед лотком с критической глубиной и перед водосливами свободная поверхность воды имеет кривую спада, мерное сечение для измерений величины H должно располагаться перед лотком с критической глубиной и перед водосливами на расстоянии не менее $3H$.

С помощью поверхностных поплавков производятся приближенные измерения расхода.

На выбранном для измерения участке определяется площадь живого сечения F . Скорость течения жидкости на поверхности ($v_{\text{пов}}$) определяется по результатам замеров поплавками скоростей на поверхности у стенок канала (v_1 и v_3) и посередине его (v_2) и вычисляется по формуле

$$v_{\text{пов}} = \frac{v_1 + 2v_2 + v_3}{4}. \quad (9.9)$$

Расход воды определяется по формуле

$$Q = k v_{\text{пов}} F. \quad (9.10)$$

Коэффициент k , представляющий собой отношение средней скорости к скорости на поверхности, определяется по формуле

$$k = \frac{C}{C + 14}, \quad (9.11)$$

где C – коэффициент в формуле Шези.

На прямолинейном участке канала выбирают сечение для замера расхода. Намечают на нем несколько вертикалей и точек на вертикали для замера скоростей. Замер скоростей по вертикали в зависимости от глубины канала и требуемой точности измерения расхода может производиться:

- в шести точках (у поверхности воды, на глубине $0,2H$, $0,4H$, $0,6H$, $0,8H$ от поверхности воды и у дна);

- в трех точках (на глубине $0,2H$, $0,6H$ и $0,8H$ от поверхности воды);
- в двух точках (на глубине $0,2H$ и $0,8H$ от поверхности воды);
- в одной точке (у поверхности воды, при измерении скорости у стенок).

По результатам измерений вычисляют средние скорости по вертикали:

$$v = 0,1 (v_{\text{пов}} + 2v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{д}}); \quad (9.12)$$

$$v = \frac{v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}}{4}; \quad (9.13)$$

$$v = \frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2}; \quad (9.14)$$

$$v = k \cdot v_{\text{пов}}, \quad (9.15)$$

где $v_{\text{пов}}$, $v_{0,2}$, $v_{0,4}$, $v_{0,6}$, $v_{0,8}$, $v_{\text{д}}$ – скорости в точках соответственно у поверхности и на глубине $0,2H$, $0,4H$, $0,6H$, $0,8H$ и у дна;

H – глубина воды;

k – коэффициент, определяемый по формуле (9.11).

Общий расход определяется как сумма расходов между выбранными вертикалями для замера скоростей, каждый из которых равен произведению полусуммы скоростей двух смежных вертикалей на площадь живого сечения между этими же вертикалями.

Для измерения расхода сточных вод применяют гидрометрические вертушки конструкции Владыченского – Жестовского с горизонтальной осью и лопастным винтом. Вертушка этого типа в меньшей степени подвержена обволакиванию тряпьем и бумагой, содержащимися в сточной воде.

Для измерения расхода поплавками выбирают измерительный участок. Начало и конец его фиксируют на стенках лотка. Запуск поплавков следует производить до начала измерительного участка. Время движения поплавка должно определяться с помощью секундомера, который следует включать в момент прохода поплавка у начала измерительного участка, а выключать – в момент прохода у конца измерительного участка. Поверхностные скорости у стенок и в середине следует опре-

делять по результатам запусков не менее трех поплавков. В качестве поплавков можно использовать деревянные брусочки. Один конец их следует утяжелить металлическими деталями для обеспечения погружения части поплавка в воду.

Обработка результатов исследований

Данные измерений расхода лотками и водосливами при проведении опытов заносят в табл. 9.2. Расходы вычисляют по приведенным выше формулам.

Результаты измерений и вычислений скоростей и расходов заносят в табл. 9.3 и 9.4.

Над ним поперек лотка укладывается доска-мостик, на которой фиксируются положения мерных вертикалей.

Замер скоростей производят вертушкой, закрепленной на штанге, глубину потока измеряют штангой (так производится замер глубин потока при натурных измерениях).

Каждым из описанных способов рекомендуется произвести измерения при двух разных расходах, а результаты измерений одного и того же расхода разными методами сравнить между собой.

Таблица 9.2. Результаты измерений при определении расхода лотками и водосливами

Измерительное устройство	Номер опыта	До и после опыта					Во время опыта						
		b_1	b_2	ρ_v	ρ_n	C	напор или глубина			глубина подтопления			
							отсчет на дно или порог	отсчет на поверхность	H	отсчет на порог	отсчет на поверхность	h_n	
Лоток с критической глубиной	1 2												
Треугольный водослив	1 2												
Водослив с широким порогом	1 2												

Таблица 9.3. Результаты измерений при определении расхода с помощью поплавков

Место измерения скорости	Длина измерительного участка, м	Время движения поплавка на измерительном участке					Скорость на поверхности, м/с	$v_{пов}$ по формуле (1.13)
		Номер замера				Среднее		
		1	2	3	4			
У левой стенки								
В середине лотка								
У правой стенки								

Таблица 9.4. Результаты измерений при определении расходов с помощью гидрометрических вертушек

Номер вертикали	Расстояние между вертикалями, м	Глубина погружения вертушки, м	Отсчеты по секундомеру за n оборотов, с			Суммарное время, с	Частота вращения вертушки, с	Местная скорость, м/с
			1	2	3			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Окончание табл. 9.4

Средняя скорость, м/с		Сечение между вертикалями ω , м ²	Расход между вертикалями, м ³ /с	Общий расход Q , м ³ /с
по вертикали	между вертикалями			
10	11	12	13	14

Лабораторная работа 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Цель работы: определить расход сточных вод, протекающих по трубопроводу, ($d = 100$ мм) объемным способом и с помощью треугольного водослива определить скорость, соответствующую началу выпадения песка в осадок, которая называется критической.

Сточные воды сильно загрязнены различными примесями. Нерастворенная их часть может иметь как органическое, так и неорганическое происхождение. Примеси органического происхождения, обладающие малым удельным весом, хорошо транспортируются по водоотводящим сетям, а примеси неорганического происхождения (песок, шлак, бой стекла и др.) – лишь при весьма значительных скоростях.

В связи с этим расчетные скорости в водоотводящей сети выбираются исходя из условия транспортировки песка и других примесей неорганического происхождения, содержащихся в сточной жидкости.

Наблюдениями установлено, что песок при движении сточной жидкости по сети может находиться в трех состояниях:

1) осадок не выпадает, когда нерастворимые примеси находятся во взвешенном состоянии при значительных скоростях потока;

2) при сравнительно малых скоростях потока нерастворимые примеси постоянно выпадают в осадок;

3) передвижение осадка происходит постоянно при высоких скоростях потока, когда нерастворимые примеси находятся в подвижном состоянии.

Содержащиеся в сточных водах нерастворимые примеси способны выпадать в осадок, сужать сечение трубопроводов и вызывать их полное засорение. Наиболее сложно транспортируются потоком воды минеральные примеси, обладающие большей плотностью. Транспортировка нерастворенных примесей потоком является следствием его турбулентности. При определенных малых скоростях взвешенные вещества осаждаются на дно и образуют плотный слой осадка. При достижении определенной скорости осадок приходит в движение, образуя слой, имеющий форму непрерывных гряд, которые движутся в направлении потока, но с меньшей скоростью. Скорость, соответствующая началу движения осадка, называется размывающей. При дальнейшем увеличении скорости и достижении определенного значения весь осадок взве-

шивается турбулентным потоком, а трубопровод самоочищается. Скорость, соответствующая этому моменту, называется самоочищающей. Известно также понятие критической скорости, которая соответствует началу осаждения примесей (при уменьшении скорости) или полного самоочищения (при увеличении скорости).

Для определения критических скоростей в водоотводящих сетях предложен ряд формул. Наиболее распространенной и часто применяемой из них является формула профессоров Н. Ф. Федорова и А. М. Курганова:

$$v_{\text{кр}} = A^n \sqrt{R}, \quad (10.1)$$

где n – показатель степени, равный $4,5 + 0,5R$ с учетом корректировки М. И. Алексева;

$A = 1,42$;

R – гидравлический радиус, м.

Описание лабораторной установки

В работу включается насос b и трубопровод заполняется водой. Определяется положение лотка трубопровода и уровня воды в двух расчетных сечениях a и b и вычисляется уклон трубопровода по выражению

$$i = \frac{H_a - H_b}{l}. \quad (10.2)$$

Одновременно вычисляется наполнение трубопровода в расчетных точках h_a и h_b и определяется средняя величина наполнения $h_{\text{ср}}$.

Расход сточных вод определяется объемным способом с помощью бака 2 и по треугольному водосливу 3б с помощью шпитценмасштаба 4.

После определения расхода воды включается в работу песковой дозатор и визуально устанавливается выпадение песка на дно трубопровода. Если песок не выпадает, то уклон трубопровода уменьшается и опыт повторяется до момента выпадения на дно трубопровода песка. Критическая скорость определяется как величина, средняя между опытом, показавшим выпадение песка в осадок, и предшествующим ему опытом.

Для получения исследуемой жидкости, приближенной к составу сточных вод по минеральным загрязнениям, принята концентрация

песка в сточной воде, равная 300 мг/л, крупностью фракций 1 мм. Расход песка составляет в среднем 1,2 г/с.

С помощью регулятора уклона трубопровода 9 визуально устанавливается уклон, который больше, чем минимальный и соответствующий критической скорости при принятом наполнении (рис. 10.1).

Обработка результатов исследований

Расход сточных вод определяется объемным способом по формуле

$$Q = \frac{W}{t}, \text{ л/с}, \quad (10.3)$$

где W – объем воды, поступившей в бак, л за t с.

По треугольному водосливу расход сточных вод определяется по формуле

$$Q = 1,343 \cdot H^{2,47}, \quad (10.4)$$

где H – перепад уровня воды и порога водослива, который определяется с помощью шпигтенмасштаба.

Результаты опытов записываются в табл. 10.1.

Таблица 10.1. Результаты лабораторных исследований по определении критической скорости потока сточных вод

Номер опыта	Изменение уклона трубопровода				Наполнение		Измерение расхода воды, л/с						$Q_{\text{сп}}$	V	Отметка о выпадении песка в осадок		
	Отсчеты по линейкам				h_a	h_6	объемным способом			с помощью треугольного водослива							
	H_a		H_6				$h_{\text{кр}}$	W	t	Q, л/с	h_e	h_c				H	Q
	лоток	поверхность воды	лоток	поверхность воды													
уклон трубопровода																	

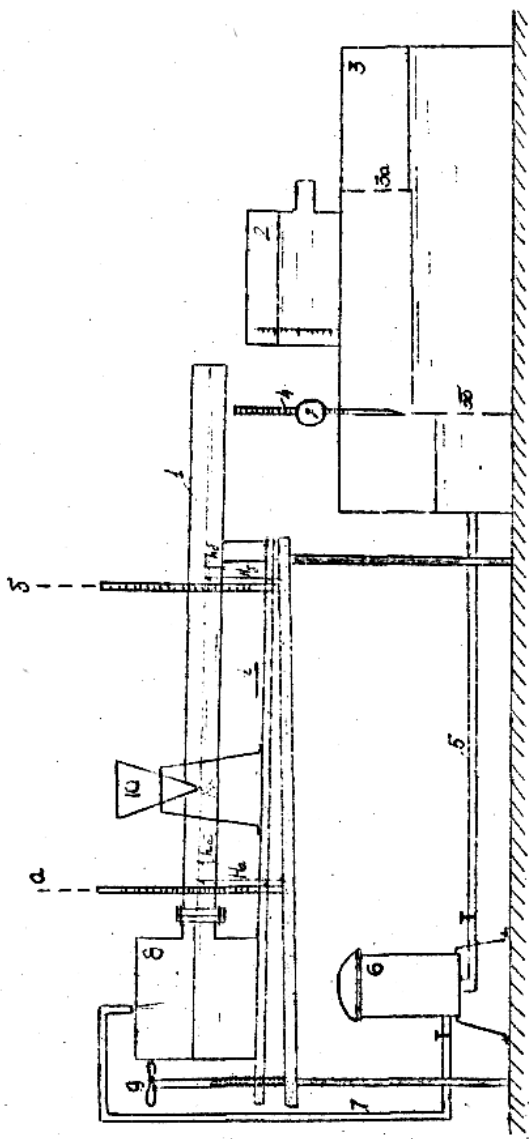


Рис. 10.1. Схема лабораторной установки по определению критической скорости потока сточных вод:
 1 – стеклянный трубопровод = 100 мм; 2 – мернорегулирующая емкость; 3 – сборная емкость; 4 – шпигуленмас-
 штаб; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – насос; 7 – напорный трубопровод; 8 – бак-гаситель; 9 – регулятор уклона

Лабораторная работа 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИКИ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Цель работы: построение кривой седиментации и изучение влияния высоты слоя исследуемой жидкости на эффект осаждения взвеси.

При рассмотрении вопроса о составе сточных вод одним из важных понятий является концентрация загрязнений, т. е. количество загрязнений, приходящееся на единицу объема воды, исчисляемое обычно в мг/л или г/м³.

Нерастворимые вещества в сточных водах могут быть в грубодисперсном (в виде грубой взвеси) и тонкодисперсном (эмульсии, суспензии, пена) состояниях.

При принятой методике анализов часть нерастворенных веществ в сточных водах, задержанных на бумажном фильтре, называют взвешенными веществами. Общее количество взвешенных веществ в бытовых сточных водах составляет около 65 г на одного человека в сутки.

Наиболее простым и часто применяемым в практике очистки методом выделения из стоков грубодисперсных примесей является способ отстаивания. На процесс осаждения взвешенных веществ влияет сложный комплекс физико-химических и гидравлических условий (вес, величина, форма примесей, взаимодействие их между собой, гидравлическая крупность и т. п.). Осветление сточных вод производится в отстойниках различных конструкций.

Кинетику осаждения грубодисперсных частиц устанавливают экспериментально путем построения кривых осаждения (седиментации). Кривую седиментации получают путем откладывания на оси ординат количества выпавшей взвеси в процентах от общего количества взвешенных веществ, а на оси абсцисс – продолжительности отстаивания (рис. 11.1). Кривые выпадения взвеси характеризуют ее дисперсный состав и поведение при отстаивании. Чем круче начальный участок кривой, тем больше крупность и неоднородность взвеси и тем быстрее она оседает. Переход кривой в прямую линию, параллельную оси абсцисс, указывает на завершение процесса отстаивания, при этом в сточной воде еще может остаться значительное количество примесей, обладающих удельным весом, равным весу самой воды. Удаление их путем отстаивания невозможно, поэтому за 100 % принимают количество грубо-

дисперсных примесей, осевших в течение 2-часового отстаивания. Поэтому расчет сооружений по осветлению сточных вод производится на 1,5–2-часовое отстаивание.

Осадок характеризуется большой влажностью. Влажность осадка представляет собой отношение веса воды в осадке к общему весу осадка и выражается в процентах. Влажность определяется путем взвешивания сырого и высушенного при 105 °С осадка.

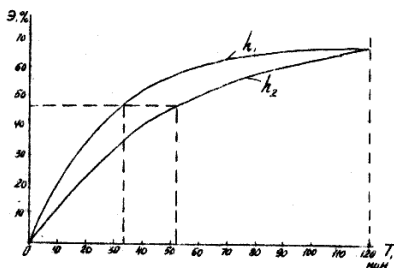


Рис. 11.1. Кривые кинетики осаждения взвеси

В настоящее время существует несколько методов, с помощью которых можно получить данные для построения кривых осаждения взвеси, основными из которых являются весовой и объемный.

Определение кинетики осаждения в лабораторных условиях осуществляется в сосудах Лисенко (рис. 11.2).

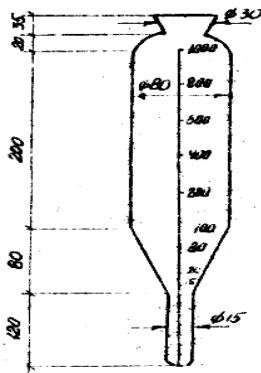


Рис. 11.2. Сосуд Лисенко

Объемный метод: в сосуде, наполненном тщательно взболтанной жидкостью, определяют объемы осадка h , образующегося через определенные интервалы времени. Количество осадка, выпадающего через указанные интервалы времени, выражают в процентах от объема осадка, образующегося за 120 мин отстаивания H . Эти проценты и указывают на эффект осаждения взвешенных веществ:

$$\Theta = \frac{H - h}{H} \cdot 100 \% \cdot \quad (11.1)$$

Весовой метод заключается в определении концентрации взвешенных веществ в исходной воде $C_{исх}$ и концентрации загрязнений в осветленной воде $C_{осв}$, полученных после определенных интервалов времени отстаивания сточных вод. Эффект осветления определяется по выражению

$$\Theta = \frac{C_{исх} - C_{осв}}{C_{исх}} \cdot 100 \% \cdot \quad (11.2)$$

При построении кривой седиментации в лабораторных условиях, нельзя сказать, что в естественных условиях при другой высоте отстаивания мы получим такой же эффект осветления.

Связь между временем и высотой отстаивания определяется зависимостью

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^n, \quad (11.3)$$

где t_1 и t_2 – время отстаивания воды, соответствующее одинаковому эффекту осветления;

h_1 и h_2 – высота слоя отстаивания;

n – показатель степени, отражающий влияние укрупнения частиц на скорость их осаждения (для агрегативно устойчивых частиц $n = 1$, для скоагулированных хлопьев в сточной воде – 0,5, для городских сточных вод – 0,3).

Получив показатель степени n , можно определить необходимую глубину отстойника для задержания взвеси по требуемому эффекту осветления.

Описание лабораторной установки

Установка состоит из цилиндра-отстойника емкостью 600 мл, суженного книзу и имеющего на конце резиновый шланг с зажимом для его опорожнения. Отстойник закрепляется в вертикальном положении в штативе. Для определения концентрации взвешенных веществ используются мерные цилиндры емкостью 100 мл, стеклянные воронки, бюксы, бумажные фильтры, сушильный шкаф и аналитические весы. Схема лабораторной установки изображена на рис. 11.3.

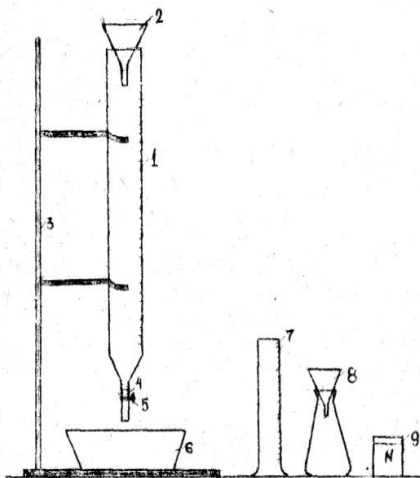


Рис. 11.3. Схема лабораторной установки:

- 1 – градуированный цилиндр-отстойник; 2 – воронка;
- 3 – штатив с зажимами; 4 – резиновый шланг; 5 – зажим;
- 6 – емкость для опорожнения сосуда; 7 – мерный цилиндр;
- 8 – воронка с колбой для фильтрации осветленной пробы;
- 9 – бюкс

Порядок выполнения работы

1. *Определение концентрации взвешенных веществ в исходной воде.* Исходная вода тщательно перемешивается и отбирается проба в объеме 100 мл. Проба профильтровывается через бумажный фильтр, который был высушен вместе с бюксом при температуре 105 °С и масса которого

нам уже известна. Фильтр с задержанными на нем взвешенными веществами помещается опять в бюкс и высушивается в сушильном шкафу, после чего бюкс взвешивается. Разница массы бюкса с высушенным осадком и массы бюкса до начала опыта, отнесенная к объему профильтрованной пробы, и даст концентрацию взвешенных веществ в исходной воде. По такой же методике определяется концентрация загрязнений и в отстоянной сточной воде.

2. *Построение кривой осаждения взвеси.* В несколько сосудов-отстойников (количество их зависит от интервалов времени, через которые производится наблюдение за процессом осветления воды) наливают одинаковые объемы исследуемой жидкости, заранее тщательно перемешанной. Каждый сосуд ставится на определенное время отстаивания (10, 20, 30 мин и т. д.). По истечении указанного времени из сосуда через спускной кран аккуратно сливается выпавший осадок и отбирается проба осветленной воды в объеме 100 мл для определения в ней концентрации загрязнений $C_{осв}$; после вычисления $C_{осв}$ и $C_{исх}$ определяются эффекты осветления, соответствующие определенной продолжительности осветления.

Обработка результатов исследований

По полученным результатам строится кривая кинетики осаждения взвеси. Для получения показателя степени строятся две кривые седиментации, для чего часть сосудов заполняется на высоту $h_1 = 500$ мм, часть сосудов – на высоту $h_2 = 1000$ мм.

Для записи опытных данных используют табл. 11.1.

Таблица 11.1. Определение эффекта осветления

Продолжительность отстаивания, мин	10	20	30	40	50
Номер бюкса					
Масса высушенного бюкса, г					
Масса бюкса с высушенным осадком, г					
Объем фильтруемой пробы, мл					
Концентрация взвешенных веществ, мг/л					

Эффект осветления определяют по формуле

$$\Theta = \frac{C_{исх} - C_{осв}}{C_{исх}} \cdot 100 \% \cdot$$

Показатель степени n можно получить из выражения

$$n = \frac{\lg \frac{t_2}{t_1}}{\lg \frac{h_2}{h_1}} = \frac{\lg \frac{t_2}{t_1}}{\lg \frac{100}{50}} = 3,33 \lg \frac{t_2}{t_1}, \quad (11.4)$$

где t_1 и t_2 – время осветления воды в сосудах глубиной соответственно $h_1 = 500$ мм и $h_2 = 1000$ мм.

Кривые седиментации представлены на графиках (рис. 11.4): 1 – при $h_1 = 500$ мм; 2 – при $h_2 = 1000$ мм; 3 – в отстойнике при разной глубине H .

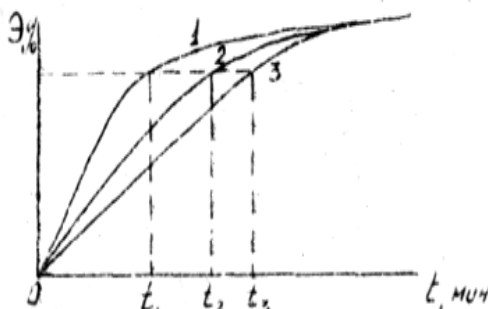


Рис. 11.4. Кривые седиментации

Для более точных вычислений величину n принимают как среднеарифметическое значение, полученное для различных величин эффекта осветления.

Результаты вычислений для определения показателя степени записываются в табл. 11.2.

Таблица 11.2. Определение показателя степени осветления

Эффект осветления Э, %	Время, мин		$\lg \frac{t_2}{t_1}$	n
	t_1	t_2		

Время осветления воды в отстойнике глубиной H , в котором эффект осветления воды будет такой же, как в сосуде глубиной $h_1 = 500$ мм, вычисляется по формуле

$$t_3 = t_1 \left(\frac{H}{h_1} \right)^n.$$

Для построения кривой седиментации отстойника глубиной H производятся вычисления, которые заносятся в табл. 11.3.

Таблица 11.3. Кривая седиментации отстойника глубиной H

Эффект осветления \mathcal{E} , %	t , мин	$\frac{H}{h_1}$	$n \lg \frac{H}{h_1}$	$\left(\frac{H}{h_1} \right)^n$	t_3 , мин

Лабораторная работа 12. ОПРЕДЕЛЕНЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕРХНОСТНОГО АЭРАТОРА ДИСКОВОГО ТИПА

Цель работы:

- 1) определить эффективную глубину погружения аэратора;
- 2) определить размер лопастей, дающих более эффективную аэрацию;
- 3) определить технологические показатели работы аэратора.

12. 1. Общие сведения

Аэрация сточных вод предназначена для обогащения их кислородом, который необходим для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, участвующих в окислении органических примесей; для поддержания активного ила во взвешенном состоянии; для перемешивания сточных вод. Применительно к канализационным очистным сооружениям различают следующие системы аэрации: пневматическую, механическую и смешанную или комбинированную.

Механические аэраторы весьма разнообразны в конструктивном отношении, но принцип их работы одинаков: вовлечение воздуха непосредственно из атмосферы вращающимися частями аэратора, ротором и перемешивание его со всем содержимым.

Механические аэраторы классифицируются следующим образом:

- 1) по принципу действия – импеллерные, кавитационные и поверхностные;

2) по расположению оси вращения ротора – с горизонтальным и вертикальным валом;

3) по конструкции ротора – конические, дисковые, колесные, турбинные и винтовые.

Механические аэраторы находят применение на станциях очистки сточных вод малой и средней производительности.

Одним из механических аэраторов является поверхностный аэратор дискового типа, представляющий собой диск с радиально направленными лопастями, прикрепленными к его нижней стороне. При вращении аэратора вокруг него вследствие отбрасывания лопастями воды образуется воронка, через которую воздух попадает в зону действия аэратора и вовлекается выходящими из него потоками жидкости в окружающую аэратор жидкость, насыщая ее кислородом. Если глубина погружения аэратора меньше или равна глубине воронки, то диск обнажается и из атмосферы в межлопастное пространство аэратора по периферийной кромке диска поступает воздух. За лопастью образуется зона пониженного давления, в которой воздух образует "мешки". Вода, выбрасываемая лопастью в виде струи, вовлекает воздух из "мешков" в окружающую аэратор воду. Встречая сопротивление кольца воды, воздух дробится в виде отдельных пузырьков и уносится потоками воды, перемешиваясь с ней.

В зависимости от глубины погружения диска аэратор может работать в трех режимах:

первый режим – режим перемешивания, наблюдается при значительной глубине погружения аэратора. Вокруг него образуется лишь неглубокая воронка, не достигающая диска. Вода, выбрасываемая аэратором, не имеет контакта с воздухом, и вовлечение воздуха водой не происходит. Затраты электроэнергии велики, так как аэрация происходит только вследствие возмущения свободной поверхности воды;

второй режим – режим эффективной аэрации, наступает при уменьшении глубины погружения аэратора до обнажения диска. Потребление электроэнергии значительно сокращается, степень насыщения воды кислородом резко возрастает. Аэрация происходит под действием трех факторов: а) вовлечение воздуха струей воды, срывающейся с лопастей; б) заземление воздуха вследствие неустойчивости воронки; в) возмущение свободной поверхности воды;

третий режим – режим разбрызгивания, наступает при дальнейшем уменьшении глубины погружения аэратора. При этом потребление электроэнергии падает, но резко снижается степень насыщения воды кислородом.

Технологическими показателями работы механического поверхностного аэратора дискового типа являются: объемный коэффициент массопередачи, окислительная способность аэратора и эффективность аэрации.

Объемный коэффициент массопередачи определяется по формуле

$$K = \frac{2,303[\lg(C_0 - C_1) - \lg(C_0 - C_2)] \cdot 60}{t_2 - t_1}, \quad (12.1)$$

где C_0 – концентрация насыщения воды кислородом при данной ее температуре, мг/л;

C_1 и C_2 – концентрация кислорода в воде в начале и в конце опыта, мг/л;

t_1 , и t_2 – время начала и конца опыта в мин.

Количество переданного в жидкость кислорода в единицу времени называется окислительной способностью аэратора, которая определяется по формуле

$$OC = K \cdot C_0 \cdot V, \text{ г/ч, кг/ч, кг/сут}, \quad (12.2)$$

где V – объем аэрируемой жидкости в л.

Эффективностью аэрации называется количество электроэнергии, кВт/кг.ч, затрачиваемое на растворение единицы кислорода. Эффективность аэрации определяется по формуле

$$\mathcal{E}_a = \frac{P}{OC}, \quad (12.3)$$

где P – энергия, затраченная на работу аэратора, Вт/ч.

12.2. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки дана на рис. 4.1.

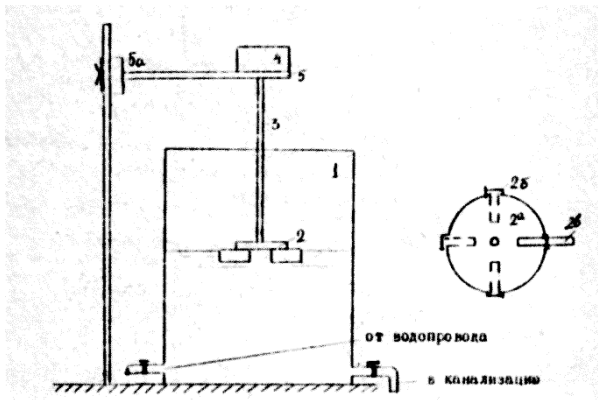


Рис. 12.1. Схема лабораторной установки механического поверхностного аэратора дискового типа:

1 – резервуар из оргстекла размером ($0,5 \times 0,5 \times 1$) м; 2 – дисковый аэратор; 2а – план дискового аэратора; 2б – прорезы для лопастей с зажимами; 2в – лопасти различных размеров; 3 – вертикальный вал; 4 – электропривод; 5 – рейка с фиксатором 5а для установления аэратора на определенной глубине.

12.3. Порядок выполнения работы

1. Бак заполняется водой до определенного уровня. Отбирается проба исходной воды и в ней определяется концентрация растворенного кислорода. Работа аэратора исследуется при различных глубинах его погружения в воду: диск на поверхности воды, лопасти погружены в воду на $1/2$ Н, диск погружен в воду на 10 см. Аэрация производится в течение 5 мин, после чего определяется содержание растворенного кислорода.

2. Исследуемый аэратор снабжен 10 комплектами лопастей различных размеров. В данной работе исследуются 3 комплекта, из которых и выбираются лопасти, дающие наиболее эффективную работу аэратора. Данная задача выполняется на глубине эффективной аэрации, выбранной при выполнении первой задачи (табл. 4.2).

По данным табл. 4.2 выбираются лопасти, дающие наиболее эффективную работу аэратора.

3. Для аэратора с выбранными размерами лопастей, при работе его на эффективной глубине аэрации, определяются технологические показатели его работы. При этом аэрация длится до полного насыщения воды кислородом, отбор проб для определения кислорода производится через каждые 2 - 3 минуты в течение 20 -30 минут.

Определение содержания растворенного в воде кислорода производится по методу Винклера. Метод основан на образовании закиси марганца в испытываемой воде. Под влиянием растворенного в воде кислорода гидрат закиси марганца быстро переходит в высшие окислы марганца, которые при подкислении в присутствии солей йодо-дородной кислоты выделяют йод в количестве, эквивалентном кислороду, содержащемуся во взятой пробе воды. Ход работы по определению содержания растворенного кислорода следующий:

Из бака, заполненного водой, отбирается колбой емкостью 130 – 150 мл проба воды (вода должна доходить до верха колбы). Затем резиновой пробкой вытесняется излишняя вода таким образом, чтобы под пробкой не было пузырьков воздуха. Затем колба открывается и в нее пипеткой добавляют 1 мл раствора хлористого марганца ($MnCl_2$), при этом пипетку погружают на дно колбы. Другой пипеткой добавляют 1 мл раствора ($KOH + KJ$), при этом кончик пипетки опускают только под уровень в горлышке колбы. В колбе образуется хлопьевидный осадок. Содержимое колбы переливают в емкость большего объема и прибавляют к нему 1 мл концентрированной HCl , после чего опять перемешивают. После добавления HCl жидкость окрашивается в соломенно-желтый цвет. Затем в емкость добавляют 1 мл крахмала. Жидкость окрашивается в синий цвет. Затем ее оттитровывают тиосульфитом натрия до исчезновения голубой окраски.

12.4. Обработка результатов исследований

Таблица 12.1 Определение оптимальной глубины погружения аэратора

Глубина погружения диска относительно поверхности воды	Диск на поверхности воды	$\frac{H^x}{2}$	-10 см
Концентрация растворенного кислорода в исходной воде, мг/л			
Концентрация растворенного кислорода после аэрации, мг/л			

где H – высота лопасти в см.

По данным табл. 4.1 выбирается глубина эффективной аэрации.

Таблица 12.2. Определение размеров лопастей, дающих более эффективную аэрацию

Размеры лопастей аэратора ($B \times H$)			
Содержание растворенного кислорода в исходной воде, мг/л			
Содержание растворенного кислорода в воде после аэрации, мг/л			

Содержание растворенного кислорода в мг/л вычисляется по формуле

$$x_{O_2} = \frac{V_1 \cdot N \cdot E \cdot 1000}{V_2 - V_3},$$

где E – эквивалент кислорода (число мг O₂, которому соответствует 1 мл 0,01 N раствора тиосульфата натрия), E = 8;

N – нормальность раствора тиосульфата натрия N = 0,01;

V₁ – объем раствора тиосульфата натрия, ушедшего на титрование;

V₂ – объем кислородной склянки, мл;

V₃ – объем реактивов, прибавленных в кислородную склянку для фиксации кислорода, мл.

Опытные данные сводятся в табл. 4.3

Примечание. При начале каждого опыта бак опорожняется и заполняется новой пробой исходной воды.

Таблица 12.3. **Определение технологических показателей работы механического поверхностного аэратора**

Продолжительность аэрации, мин	0	5	10	12	15	18	20	и т. д.
Концентрация растворенного в воде кислорода, мг/л								
Температура воды Т°С								
Концентрация насыщения воды кислородом, мг/л								
Объемный коэффициент массопередачи								
Объем бака, л								
Окислительная способность аэратора, г/ч								
Показания счетчика электроэнергии, Вт/ч								
Эффективность аэрации, Вт·ч/г O ₂								

Лабораторная работа 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗЫ КОАГУЛЯНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Цель работы:

- 1) определить оптимальную дозу коагулянта без подщелачивания;
- 2) определить оптимальную дозу коагулянта с подщелачиванием;
- 3) определить оптимальную дозу коагулянта с предварительным хлорированием очищаемой воды.

13.1. Общие сведения

Для очистки производственных сточных вод, содержащих загрязнения в виде тонкодисперсной взвеси и коллоидов, применяется метод коагуляции.

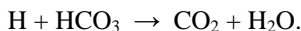
При очистке воды с применением коагуляции кроме интенсификации процесса осаждения взвесей и удаления коллоидных загрязнений возможно значительно снизить БПК, уменьшить количество бактерий, снизить концентрацию растворенных органических соединений и понизить ХПК. Очистка воды осуществляется с помощью реагентов (коагулянтов), чаще всего солей алюминия и железа, сернокислого алюминия $Al_2(SO_4)_3$, хлорного железа $FeCl_3$, сульфата окиси железа $Fe_2(SO_4)_3$, сульфата закиси железа $FeSO_4$ и др.

При введении в воду коагулянтов происходит их диссоциация. Образующиеся при этом поливалентные катионы коагулянта Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} вступают в ионный обмен с катионами адсорбционного слоя отрицательно заряженных коллоидных частиц загрязнений, понижая их стабильность.

При установлении равновесия между катионами в адсорбционном слое коллоидных частиц и в растворе происходит гидролиз избытка коагулянта. В результате гидролиза в зависимости от pH среды образуются гидрофобные коллоиды малорастворимых гидроокисей алюминия или железа либо их основных солей. Эти коллоиды имеют огромную активную поверхность и играют основную роль при очистке воды коагуляцией.

Коллоидные частицы загрязнений адсорбируются на поверхности коллоидных частиц гидроокиси, коагулирующихся под действием растворенных в воде электролитов с образованием хлопьев, которые сорбируют и захватывают при осаждении (ортокинетическая коагуляция) находящиеся в воде примеси, выпадают в осадок или задерживаются на фильтрах.

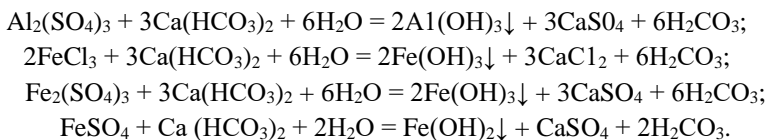
Повышение в растворе в результате гидролиза концентрации водородных ионов тормозит дальнейший гидролиз. Кроме того, снижение величины pH значительно ухудшает условия коагуляции образующихся коллоидов гидроокиси, поэтому необходимо, чтобы образующиеся при гидролизе ионы водорода связывались в малодиссоциирующие соединения. Это обеспечивается бикарбонатными ионами при их наличии в сточных водах:



Если щелочности очищаемой воды недостаточно, то ее подщелачивают введением извести $Ca(OH)_2$ или соды Na_2CO_3 .

При наличии в сточных водах большого количества органических соединений коагуляция происходит недостаточно эффективно. Расход коагулянта значительно увеличивается. В этом случае целесообразно применение хлорирования. Одновременно с коагулянтами в воду вводят хлор, который снижает стабильность органических коллоидов и улучшает процесс очистки воды.

Стехиометрические уравнения гидролиза для применяемых реагентов следующие:



Образующийся при гидролизе FeSO_4 гидрат закиси железа заметно растворим в воде и коагулирует только при величинах $\text{pH} > 9 \div 9,5$, поэтому обычно стремятся обеспечить перевод двухвалентного железа в трехвалентное, гидроксид которого коагулирует при более низких pH . Это возможно при наличии в воде достаточного количества растворенного кислорода (на 1 мг Fe^{2+} требуется 0,141 мг O_2) и $\text{pH} > 7,5 \div 8$. При более низких значениях pH окисление двухвалентного железа происходит с недостаточной скоростью.

Окисление двухвалентного железа в трехвалентное также можно осуществить хлорированием. При этом расход хлора составляет 0,24 мг на 1 мг FeSO_4 .

На процессы, происходящие при коагуляции, влияют: состав очищаемой воды, свойства загрязнений, величина pH , температура, свойства применяемого коагулянта, последовательность введения реагентов, условия смешения и другие факторы. Оптимальные условия для удаления коагуляцией одного вида загрязнений могут значительно отличаться от оптимальных условий для удаления других видов загрязнений, присутствующих в этой же воде.

Оптимальную дозу коагулянта определяют экспериментально, путем пробного коагулирования, для каждого конкретного состава производственных сточных вод.

13.2. Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка (рис 13.1) состоит из металлического каркаса (1), корытообразной верхней полки (2) и плоской нижней полки (3). На ней установлено 10 мерных цилиндров (4) с конусным дном емкостью 0,5 л. Возле установки расположен бак (5) емкостью 20 л и мешалкой, а также трубопровод б ($d=40$ мм), по которому вода из бака подается в цилиндры

и отводится из цилиндров в водоотводящую сеть. В дно корытообразной полки (2) врезана труба 10 для отвода воды при переливе из цилиндров (4). Регулирование подачи и отвода жидкости из цилиндров производится краном (8) а, из бака кранами (7 и 9)

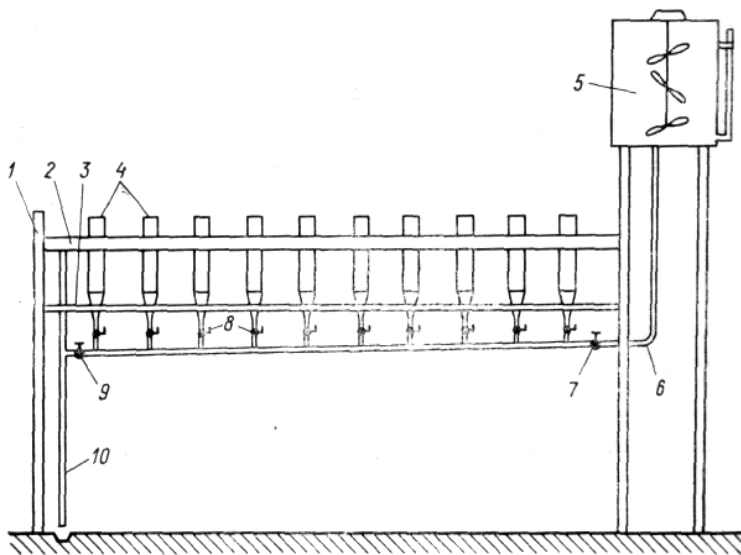


Рис. 13.1. Установка для пробного коагулирования.

- 1 – металлический каркас; 2 – корытообразная верхняя полка;
 3 – плоская нижняя полка; 4 – мерные цилиндры; 5 – бак с емкостью и мешалкой;
 6 – трубопровод для подачи воды в цилиндры; 8 – кран для отвода жидкости из цилиндров;
 7, 9 – краны для регулирования подачи жидкости в цилиндры;
 10 – трубопровод для отвода воды при переливе из цилиндров

13.3. Порядок выполнения работы

Для проведения трех серий опытов (коагуляция без подщелачивания, с подщелачиванием, с предварительным хлорированием) необходимо около 15 л сточной воды.

В пробе, отобранной из бака, определяется щелочность, pH, концентрация взвешенных веществ и других загрязнений.

Определение дозы коагулянта без подщелачивания. Открывают пробочный кран 8 и заполняют цилиндры 4 исследуемой водой. При заполнении цилиндров до метки 500 мл их отключают, перекрывая краны 8. Затем в каждый цилиндр пипеткой добавляют 1%-ный раствор

$Al_2(SO_4)_3$ или любого другого коагулянта в количествах, указанных в табл. 13.1.

Таблица 13.1. Результаты определения дозы коагулянта

Показатель	Номера цилиндра					
	1	2	3	4	5	6
Количество раствора коагулянта, мл	1,25	2,5	37,5	5	7,5	10
Доза коагулянта, мг/л	25	50	75	100	150	200

Количество вводимого раствора коагулянта может быть изменено в зависимости от диапазона, охватывающего предполагаемую оптимальную дозу коагулянта.

К сточной воде добавляют коагулянт, который быстро перемешивают в цилиндре стеклянной палочкой в течение 30 секунд, затем продолжают медленно перемешивать, в течение 10 минут. После этого цилиндры оставляют в покое на 30 минут и наблюдают за образованием и осадением хлопьев. При отстаивании воды в цилиндрах отмечают время начала образования хлопьев, время начала оседания и время конца оседания, а также вид хлопьев. Через 30 мин или через 1 ч, если за 30 мин осадение взвеси практически не закончится, из каждого цилиндра пипеткой или сифоном отбирают пробу воды из верхнего слоя, не взмучивая осадок.

После отбора проб цилиндры опорожняют, для чего закрывают кран 7, открывают кран 9 и краны 8.

13.4. Обработка результатов исследований

В пробе определяют щелочность, pH, концентрацию взвешенных веществ и других загрязнений, по которым определяется степень очистки. Все результаты заносят в таблицу 13.2.

Таблица 13.2. Определение степени очистки в зависимости от дозы коагулянта

Номер цилиндра	Название коагулянта и его доза, мг/л	Доза извести, мг/л	Доза хлора, мг/л	Время начала образования хлопьев, с	Время начала оседания хлопьев, с	Время конца оседания хлопьев, с
1	2	3	4	5	6	7

Продолжение табл. 13.2

Показатели после очистки воды коагуляцией				Степень снижения загрязнений, %	Оптимальная доза коагулянта, мг/л	Примечание
Щелочность	pH	Взвешенные вещества	Количество других видов загрязнений			
8	9	10	11	12	13	14

На основании проведенных опытов строят графики в координатах: щелочность – доза коагулянта, pH – доза коагулянта, время полного отстаивания, начиная с момента введения коагулянта, – доза коагулянта, количество взвешенных веществ – доза коагулянта. Такие же графики строят и для характерных загрязнений.

По анализу графических данных устанавливают степень очистки по различным загрязнениям и определяют оптимальную дозу коагулянта.

Определение дозы коагулянта с предварительным подщелачиванием исследуемой воды. Если коагуляция идет недостаточно интенсивно или если щелочность коагулированной воды составляет 0,5 мг-экв/л, то проводят пробное коагулирование с подщелачиванием воды. Для этого вместе с раствором коагулянта в каждый цилиндр вводят по 20, 30, 40 мл и более 0,1%-ного раствора окиси кальция, что соответствует дозам СаО, равным 40, 60, 80 мг/л и более.

Дальнейшее проведение работы и обработка опытных данных аналогичны проведению работы без подщелачивания. Результаты опыта заносят в таблицу 13.2. Оптимальной дозой коагулянта с подщелачиванием считаются наименьшие дозы коагулянта и извести, при которых достигается наилучший эффект по снижению загрязнений.

Определение дозы коагулянта с предварительным хлорированием воды. Определение проводят так же, как и при определении дозы коагулянта с подщелачиванием, но вместо раствора окиси кальция в каждый цилиндр добавляют в первой серии опытов 1 мл хлорной воды, во второй – 2 мл, в третьей – 3 мл и т. д. Дальнейшие определения аналогичны изложенным выше.

По графику зависимости эффективности осветления воды от дозы коагулянта определяется его оптимальная доза и влияние предварительного хлорирования.

Все определения проводятся по стандартным методикам.

Лабораторная работа 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

Цель работы: определить влажность, плотность и концентрацию исходного и обезвоженного осадка, его зольность и удельное сопротивление.

Дополнительное лабораторное оборудование: набор бюксов, весы, секундомер, сушильный шкаф.

В результате механической и биологической очистки сточных вод на очистных станциях образуются различного вида осадки: отбросы, задерживаемые решетками; осадок, выпадающий в первичных отстойниках; активный ил или биопленка, образующиеся в сооружениях биологической очистки сточных вод. Общий объем осадка, как правило, не превышает 1 % объема обрабатываемых стоков, при этом на долю активного ила приходится 60–70 % образующихся осадков.

Основной задачей обработки осадка является уменьшение его объема за счет отделения воды и получения транспортабельного продукта. Осадки плохо отдают воду и поэтому их относят к категории труднофильтрующихся суспензий. Соотношение в осадках между свободной и связанной водой влияет на их способность отдавать воду.

Основными свойствами осадка являются следующие показатели: влажность, зольность, плотность, концентрация, удельное сопротивление.

Влажность осадка (P_{mud}) характеризуется отношением массы воды к общей массе влажного осадка:

$$P_{mud} = \frac{M_w}{M_{mudw}} \cdot 100 \% , \quad (14.1)$$

где M_w – масса воды, кг;

M_{mudw} – масса влажного осадка, кг.

Зольность (S) характеризует содержание в осадке минеральных примесей, которая измеряется в долях от единицы. Зольность осадка городских сточных вод составляет 0,3.

Плотность осадка характеризует массу единицы его объема и выражается отношением массы всех составных компонентов осадка к его объему:

$$\rho = \frac{M_{mudw}}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (14.2)$$

где M_{mudw} – масса осадка со всеми включениями, кг;

V – объем осадка, м³.

Концентрация осадка (C) – количество твердых частиц сухого или растворенного вещества, находящегося в 1 м^3 осадка:

$$C = \frac{100 - P_{\text{муд}}}{100}, \text{ кг/м}^3. \quad (14.3)$$

Удельное сопротивление осадка характеризует сопротивление фильтрации и его водоотдачу (фильтруемость).

Удельным сопротивлением осадка называют сопротивление единицы массы (твердой фазы), отлагающейся на единице площади фильтра, при фильтровании под постоянным давлением суспензии, вязкость жидкой фазы которой равна единице.

Удельное сопротивление осадка определяется по формуле

$$r_{\text{муд}} = \frac{2 \cdot P \cdot F^2}{C \cdot \eta} \cdot b, \quad (14.4)$$

где P – давление (вакуум), при котором происходит фильтрование;

F – площадь фильтрующей поверхности;

η – вязкость фильтрата;

C – масса твердой фазы (кека), отлагающаяся на фильтре при получении единицы объема фильтрата;

b – параметр, получаемый опытным путем,

$$b = \frac{t}{V^2},$$

где t – время фильтрации;

V – объем выделяемого фильтрата.

Полученное удельное сопротивление осадков служит исходной величиной для выбора метода обработки осадка.

Описание лабораторной установки

На воронку Бюхнера I плотно укладывается смоченный фильтр, размеры которого равны размерам воронки. При закрытом запорном кране 8 включается в работу вакуумнасос 6 . В воронку Бюхнера наливают 200 мл осадка и открывают запорный кран 8 , при этом наблюдается некоторое падение вакуума, которое с помощью регулятора давления 5 доводится до начальной величины. С момента восстановления вакуума начинаются наблюдения за прибыванием фильтрата через определенные промежутки времени (10 – 20 с). Фильтрование продолжается до тех пор, пока на поверхности осадка не покажутся трещины.

Схема лабораторной установки изображена на рис. 14.1.

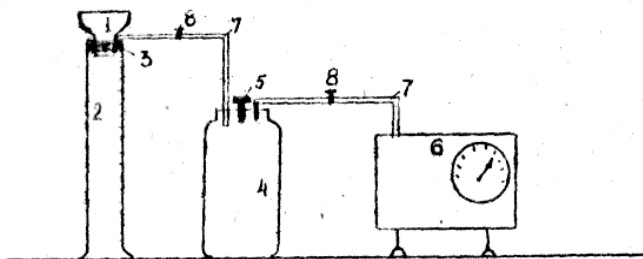


Рис. 14.1. Схема лабораторной установки:
 1 – воронка Бюхнера емкостью 200 мл;
 2 – мерный цилиндр емкостью 300–500 мл;
 3 – резиновая пробка; 4 – колба; 5 – регулятор давления;
 6 – вакуумнасос с вакууметром;
 7 – резиновые вакуумные шланги; 8 – запорный кран

Порядок выполнения работы

1. Определение влажности, плотности и концентрации осадка.

Взвесить пустой мерный стакан. Отобрать в него осадок в объеме 50–100 мл. Взвесить стакан с осадком. Разница между взвешиваниями – масса влажного осадка M_{mudw} .

Из подготовленного (высушенного и взвешенного) бюкса с фильтром взять фильтр и профильтровать через него осадок.

Фильтр с осадком заложить в бюкс и высушить его при комнатной температуре, а затем в сушильном шкафу – при температуре 105 °С. Разница между взвешиваниями бюкса до и после сушки даст массу сухого осадка M_{mud} .

Необходимые величины характеристик осадка определяем в следующей последовательности по формулам:

плотность –

$$\rho = \frac{M_{mudw}}{V}, \text{ кг/м}^3; \quad (14.5)$$

влажность –

$$\rho_{mud} = \frac{M_{mudw} - M}{M_{mudw} - M_{mud}} \cdot 100 \% ; \quad (14.6)$$

концентрация –

$$C = \frac{100 - P_{mud}}{100} \cdot \rho, \text{ кг/м}^3. \quad (14.7)$$

2. Определение зольности осадка.

Для определения зольности осадка берется навеска заранее высушенного осадка, которая помещается в фарфоровый тигель, предварительно прокаленный и взвешенный.

Тигель с осадком взвешивается и помещается в муфельную печь, где в течение 20 мин прокаливается при температуре 800 °С. После этого тигель охлаждается в эксикаторе и взвешивается.

Взвешивания производятся на аналитических весах.

3. Определение удельного сопротивления осадка.

Определение удельного сопротивления производится объемным способом, по которому параметр r_{mud} определяется графическим способом (рис. 5.2).

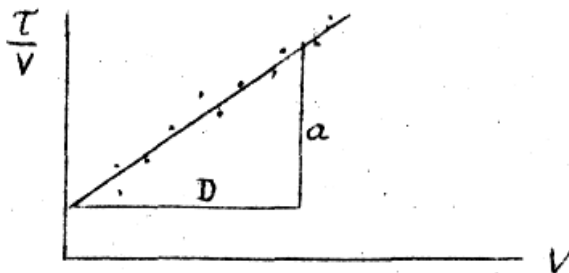


Рис. 14.2. График зависимости $V = f \frac{t}{V}$.

Благодаря графику определяются значения параметров V и t , где V – объем образующегося фильтрата при механическом обезвоживании осадка вакуумфильтрованием; t – продолжительность фильтрования.

Обработка результатов исследований

Определяем удельное сопротивление осадка по следующей формуле

$$r_{mud} = \frac{2 \cdot b \cdot \rho \cdot F^2}{C \cdot \eta}. \quad (14.8)$$

Если обозначить постоянные, входящие в уравнение $\frac{2 \cdot \rho \cdot F^2}{\eta} = K$, то-

гда формула примет следующий вид:

$$r_{mud} = K \cdot \frac{b}{C} \quad (14.9)$$

В процессе фильтрования остаются неизменными величины ρ , F , η , которые равны; $\rho = 500$ мм рт. ст. или $500 \cdot 1333,22 = 666600$ г/см \cdot с 2 ; $F = 50,24$ см 2 ; $\eta = 0,01$ пуаз, тогда коэффициент K примет величину:

$$K = \frac{2 \cdot 666600 \cdot 50 \cdot 24^2}{0,01} = 33,6 \cdot 10^{10}, \text{ см}^4/\text{с}. \quad (14.10)$$

Результаты опытов заносятся в табл. 5.1–5.3.

Таблица 14.1. Определение влажности, плотности и концентрации осадка

Номер бюкса	Масса пустого бюкса М, г	Масса бюкса с осадком, г	Масса сырого осадка M_{mudv} , г	Объем осадка V , см 3	Плотность осадка ρ , г/см 3	Масса бюкса с фильтратом М, г	Масса бюкса с сырым осадком, г	Масса бюкса с высушенным осадком, г
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Окончание табл. 14.1

Масса сырого осадка M_{mudv} , г	Масса сухого осадка M_{mud} , г	Влажность ρ_{mud} , %	Концентрация C , кг/м 3	Примечания
10	11	12	13	14

Таблица 14.2. Результаты данных опыта по определению зольности осадка

Номер тигля	Масса пустого тигля М, г	Масса тигля с высушенным осадком M_1 , г	Масса тигля с прокаленным осадком M_2 , г	Зольность $S = \frac{M_2 - M}{M_1 - M} \cdot 100$ %

Таблица 14.3. Результаты опытного определения удельного сопротивления осадка

$t, \text{с}$	Объем фильтра $V, \text{см}^3$	$V = V' - V_0$	$\frac{t}{V}$	K	$b = \frac{a}{D}$	$r_{\text{муд}}$

Примечание. V_0 – объем фильтрата, полученный до установления постоянного вакуума.

Лабораторная работа 15. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ

Цель работы: изучить конструкции колодцев из различных материалов.

На водоотводящих сетях устанавливают колодцы и камеры. По своему назначению колодцы могут быть смотровыми, соединительными, поворотными, перепадными и промывными. Они устанавливаются: в местах изменения диаметров, уклонов, направления, в местах присоединения притоков, в случаях необходимости устройства перепадов. На прямых участках при диаметре труб от 150 до 600 мм колодцы устраиваются через 50 м, при диаметре от 600 до 400 мм – через 75 м, при диаметре 1400 мм и более – через 150 м.

В начальных участках сети при слабых наполнениях труб, обеспечивающих незаиливающих скоростей движения сточных вод устанавливают промывные колодцы. Их наполняют водой и снабжают приспособлениями для быстрого (залпового) ее сброса в промывной участок сети.

По материалам изготовления колодцы могут быть железобетонные и пластиковые.

Железобетонные колодцы представляют собой сборную конструкцию, в комплект которой входят следующие элементы: плита основания, стеновые кольца, плита перекрытия, крышка или дорожная плита для закрывания основания колодца (рис. 15.1).

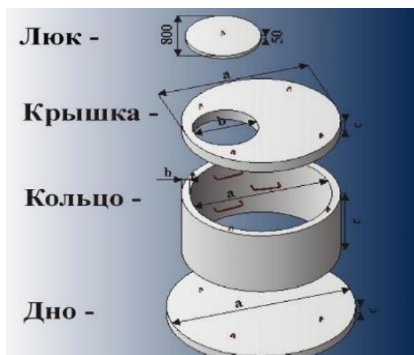


Рис. 15.1. Элементы железобетонного колодца

Колодцы обладают отличной герметичностью, а также в них можно устанавливать дополнительное оборудование. Благодаря встроенным скобам упрощается процесс перемещения человека внутри конструкции. Они имеют высокую прочность и устойчивость к температурным перепадам, выдерживают сильные морозы и зной, не утрачивая первоначальных характеристик на протяжении всего эксплуатационного срока.

Смотровой колодец (рис. 15.2) устанавливают на водоотводящих сетях для осмотра во время эксплуатации.



Рис. 15.2. Смотровой колодец

Перепадный колодец (рис. 15.3) устанавливается для трубопроводов с диаметром 125–200 мм с перепадом от 0,3 до 0,6 м, а с диаметром 250–400 мм с перепадом от 0,3 до 4,0 м.

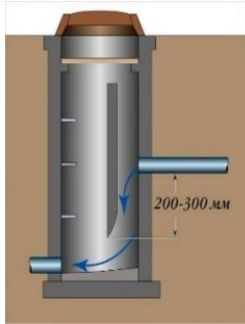


Рис. 15.3. Перепадный колодец

Поворотный колодец (рис. 15.4) применяется в условиях резких поворотов трубопроводов.



Рис. 15.4. Поворотный колодец

Пластиковые колодцы по материалам делятся на полимерпесчаные, полиэтиленовые, стеклопластиковые.

Сборный колодец из полимерпесчаного (рис. 15.5) материала состоит из колодезных колец, конуса, люка и днища. Данный материал ударопрочный, износостойкий, морозостойкий и не впитывающий влагу, не подвергающийся обледенению. Имеет высокую герметичность и срок службы около 100 лет. Данное преимущество по сравнению с железобетонным обеспечивается за счет своего состава – полимера и песка.



Рис. 15.5. Полимерпесчаный колодец

Полиэтиленовый колодец (рис. 15.6) представляет собой цельное сооружение, поэтому и гарантирует полную водонепроницаемость. Он легче монтируется, чем бетонный. Он не устойчив к ударам и иному механическому воздействию, легкий вес его обуславливает неустойчивое расположение, что может привести к выбросу колодца на поверхность вследствие присутствия высокого уровня грунтовых вод.



Рис. 15.6. Полиэтиленовый колодец

Стеклопластиковые колодцы (рис. 15.7) состоят из высокотехнических материалов и имеют множество свойств и преимуществ: коррозионную стойкость, прочность, безопасность, отсутствие внутренней и внешней коррозии. Стекловолокно выдерживает воздействие самых агрессивных химических соединений.

Конструкция колодцев и камер зависит от диаметров труб, глубины их заложения, гидрогеологических условий, положения уровня грунтовых вод, их агрессивности. Внутри колодцев и камер трубы заменяются открытыми лотками.

Лабораторная работа 16. ТРУБЫ ДЛЯ ВОДООТВЕДЕНИЯ, ФАСОННЫЕ ЧАСТИ, ПРИЕМНИКИ СТОЧНЫХ ВОД

Цель работы: изучить технические данные по выпускаемым трубам, типы фитингов, изучить конструкции приемников сточных вод.

Расчетный срок действия водоотводящих сетей устанавливается с учетом их амортизации. Учитывая, что водоотводящая сеть находится в земле, при переменных условиях влажности и наличии различных сред (кислотных, щелочных и др.), а также в ряде случаев блуждающих токов (сточная жидкость сама может быть агрессивной), материалы, которые используются для изготовления труб, должны удовлетворять строительным, технологическим и экономическим требованиям.

Строительные требования заключаются в обеспечении прочности и долговечности конструкций, а, следовательно, должны соответствовать особым условиям прочности, без деформаций воспринимать постоянную нагрузку от веса грунта, над ними расположенного, и временную нагрузку от движущегося транспорта. Самотечные водоотводящие сети в случае засора могут испытывать внутреннее давление от столба воды высотой, равной глубине заложения коллектора.

Технологические – в обеспечении водонепроницаемости и максимальной пропускной способности труб, а также исключении их истирания при механическом воздействии твердых веществ, соединяющихся в потоке сточных вод, особенно движущихся в придонном слое (песок, гравий, шлак и др.). Должны быть водонепроницаемыми, т. е. не пропускать сточные воды в грунт и грунтовые – в водоотводящую сеть. В первом случае сточные воды будут загрязнять поток грунтовых вод, если он имеется, или просто заражать окружающий грунт, что очень опасно в гигиеническом отношении. Во втором случае может значительно увеличиваться поступление сточных вод на насосные станции и очистные сооружения. Не подвергаться коррозии с внешней стороны от действия блуждающих электрических токов и агрессивных грунтовых вод; с внутренней стороны – не подвергаться действию агрессивных сточных вод. Быть стойкими против разрушающего действия высоких

температур (40 °С и выше). С гидравлической точки зрения внутренняя поверхность труб и каналов должна обладать гладкой поверхностью.

С экономической точки зрения должна обеспечиваться минимальная стоимость материалов и расходование минимального количества дефицитных материалов.

При строительстве водоотводящих сетей используют железобетонные и пластиковые трубы. Трубопроводы больших размеров (круглые, некруглые), которые часто называют коллекторами, выполняются из сборного железобетона.

Железобетонные безнапорные трубы изготавливают по ГОСТ 6482-2011 с наружным диаметром 400–3500 мм. Эти трубы выпускают раструбными, фальцовыми, трубы с подошвой (рис. 16.1). По конструкции могут быть круглые и круглые с плоской подошвой. В зависимости от прочности трубы бывают двух групп: нормальной прочности и повышенной прочности. Для герметизации стыковых соединений труб применяют уплотнительные кольца из полимерных материалов (резина круглого или трапециевидного сечения, герметики).

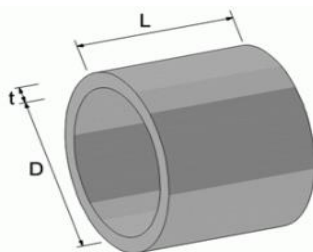


Рис. 16.1. Железобетонная фальцовая труба

Полимерные трубы обеспечивают возможность использования щадящих методов прокладки и перекладки сетей (узкотраншейный монтаж, направленное бурение, пробойные и прорезные технологии, иные бестраншейные технологии), сокращающих расходы на монтаж и уменьшающих отрицательное воздействие на окружающую среду.

Для изготовления пластиковых труб по отведению сточных вод используют три вида материала: полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид.

Полиэтилен (ПЭ) – полимер, который является морозоустойчивым и не гниет, но при температуре свыше 40 °С склонен к размягчению, поэтому подходит только для холодных стоков.

К недостаткам полиэтиленовых труб относят:

- большая стоимость по сравнению с другими видами пластиковых труб;

- более трудоемкий процесс монтажа элементов системы.

Полиэтиленовые трубы предназначены для строительства сетей напорного и безнапорного водоотведения и выпускаются гладкими и гофрированными.

Гофрированные трубы (рис. 16.2) получают путем использования специального метода изготовления, при котором обе стенки трубы производятся одновременно, соединяются между собой и образуют монолитную конструкцию. Между наружной волнистой поверхностью и внутренней гладкой образуются полости, способствующие облегчению изделия. Гофрированная наружная стенка обеспечивает достаточную кольцевую жесткость, обеспечивает сопротивляемость деформации.

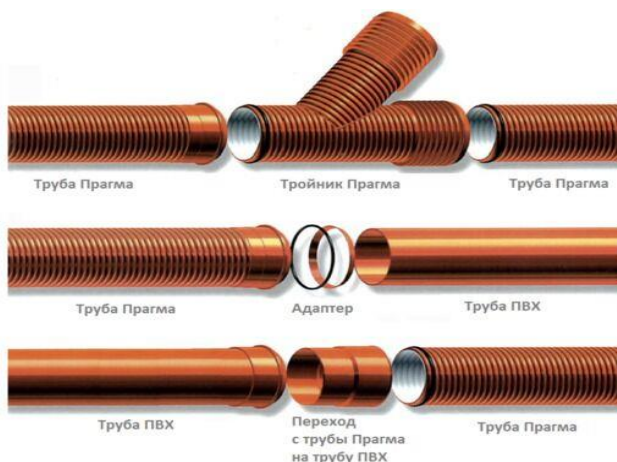


Рис. 16.2. Гофрированные трубы

Внутренний слой трубы имеет идеально гладкую поверхность и не способствует образованию отложений и накоплению ила, механических частиц.

Полиэтиленовая канализационная труба рассчитана на работу при температуре не выше $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и краткосрочное повышение температуры до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Широко используются двухслойные гофрированные трубы из полимеров. Первые подобные варианты изготавливались из ПВХ, сейчас же применяют полиэтилен как материал, который лучше противостоит воздействию агрессивных сточных вод и органических соединений.

Так как для масштабного строительства более востребованы трубы диаметром более 315 мм с классами жесткости SN16, SN8, то именно гофрированные изделия являются наиболее приемлемым вариантом при оценке соотношения цены и прочности (рис. 16.3).



Рис. 16.3. Канализационная гофрированная труба

Полипропилен (ПП). Рассчитан на постоянную эксплуатацию с температурой жидкостей 70–75 °С, даже если потребуется слить воду более высокой температуры, то трубопровод без проблем выдержит кратковременное повышение температуры до 90–95 °С. Расчетный срок службы материала составляет 50 лет, но необходимо беречь коммуникации от переохлаждения, поскольку при –5 °С стенки становятся хрупкими.

Поливинилхлорид (ПВХ) – трубы из него или его непластифицированной версии (НПВХ) имеют средний показатель термоустойчивости в 60 °С, но лучше переносят щелочи, кислоты, масла и прочие агрессивные вещества.

К достоинствам труб из ПВХ можно отнести: износостойкость, небольшой вес, широкое применение, антикоррозийные свойства, легкость монтажа, невысокая стоимость.

К недостаткам этих труб относят: минусовые температуры, чувствительность к ударам при отрицательных температурах, невозможность транспортировки через трубопровод веществ с температурой выше 45 °С.

Преимущества пластиковых труб следующие:

- дешевизна изготовления и доступная стоимость для конечного потребителя;
- простота транспортировки из-за малого веса;
- легкость укладки без использования сложного инструмента (только ножовка для отрезания и гель для смазки манжет);

- гладкость внутренних стенок, собирающих на себе меньше мусора и сохраняющих постоянный пропускной диаметр;
- отсутствие коррозии;
- срок службы 50 и более лет;
- химическая устойчивость;
- легкость выполнения поворотов и присоединения к существующим коммуникациям (модернизация, добавление новых точек отвода стоков).

Из минусов подобной продукции можно выделить недостаточную механическую прочность пластика. Он может деформироваться под нагрузками, особенно в случае прокладывания под дорогами.

Для решения этой проблемы разработаны специальные металлические гильзы, выполняющие защитную функцию. Пластиковые трубы вставляются в них и находятся внутри в свободном состоянии. Такие каркасы используют в самых высоконагруженных участках канализации, поверх которых проходят тротуары и дороги.

Трубы из поливинилхлорида относительно более дешевые по сравнению с трубами из полиэтилена и полипропилена. Все указанные трубы используют для транспортировки сточных вод с температурой до +45 °С. Пластмассовые трубы предназначены для строительства напорных и безнапорных сетей водоотведения.

Непластифицированные поливинилхлоридные трубы (ПВХ) используются: во внутренних системах водоотведения ($d = 50\text{--}100$ мм); в индивидуальных системах водоотведения для объединения хозяйственно-фекальных и ливневых вод ($d = 110\text{--}160$ мм); для ливневых и хозяйственно-фекальных сточных вод промышленных и городских систем водоотведения ($d = 200\text{--}500$ мм); уличных дождевых систем водоотведения ($d = 110\text{--}500$ мм). Они обеспечивают максимально возможную скорость потока, предотвращают появление отложений, благодаря чему уменьшается число промывок под давлением, снижаются затраты на эксплуатацию.

Сборка труб из поливинилхлорида (ПВХ) осуществляется механически в раструб с резиновым уплотнительным кольцом и фланцевым соединением при стыке ее со стальной трубой. Для фланцевого соединения ПВХ труб используют чугунный фланец с резиновой прокладкой.

Полиэтиленовые трубы предназначены для строительства сетей напорного и безнапорного водоотведения и выпускаются гладкими и гофрированными.

Полиэтиленовые трубы имеют неоспоримые преимущества перед металлическими:

- высокая коррозионная стойкость к транспортируемым жидкостям;
- высокая гибкость;
- низкий удельный вес (в три раза меньшим, чем у стали);
- повышенная пропускная способность;

- высокая механическая прочность (растяжение на разрыв от 350 до 800 %);
- незаращение изнутри и неоткладывание на стенках труб шлаков;
- возможность многократной заморозки трубопровода без его разрушения;
- нетоксичность и бактериологическая безопасность.

Для соединения полиэтиленовых труб (ПЭ), работающих под давлением, используют сварку встык или муфтовую сварку, позволяющие соединять трубы непосредственно друг с другом или фасонными частями.

Стыковая сварка – технология, которая применяется для соединения полиэтиленовых труб с диаметром более 50 мм. Концы труб устанавливают и соединяют в специальной машине для стыковой сварки.

Электромуфтовая сварка обеспечивает, разогрев труб за счет применения полиэтиленовых фасонных частей с заделанными в них при изготовлении нагревательными элементами.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИЕМНИКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Приемники сточных вод служат для непосредственного приема бытовых, производственных и атмосферных сточных вод в системах внутренней водоотводящей сети зданий.

В зависимости от своего назначения приемники сточных вод подразделяются:

- на приемники для бытовых сточных вод – санитарные приборы, устанавливаемые в санитарно-бытовых помещениях (санузлах) жилых, общественных и производственных зданий;
- приемники для производственных сточных вод – приемники сточных вод от технологических процессов производства, гидроуборки помещений и вентиляционных установок; устанавливают их в производственных зданиях и помещениях;
- приемники для атмосферных вод – приемники сточных вод, образующихся в результате атмосферных осадков;
- приемники специального назначения – приемники сточных вод, предназначенные для установки в зданиях специального назначения (например, в медицинских учреждениях).

По функциональным характеристикам приемники можно разделить:

- на периодически функционирующие – сначала наполняют свой объем или собирают стоки, а затем сбрасывают загрязненную воду в водоотводящую сеть;
- непрерывно функционирующие – проточные, работающие без наполнения своего объема.

Основные требования, которые предъявляются к санитарным приборам всех видов: удобство и простота прочистки их приемных отверстий,

а также полная промывка их рабочей поверхности. Во избежание засорения приемные отверстия всех санитарных приборов, кроме унитазов и напольных клозетных чаш, должны иметь решетки. Поверхности санитарных приборов защищают покрытиями против разрушающего воздействия сточной жидкости, слабых растворов щелочей и кислот, а также попеременного воздействия холодной и горячей (до 90 °С) воды.

Существует несколько видов приемников сточных вод.

Унитаз – санитарно-техническое приспособление для удаления продуктов дефекации и мочеиспускания, устанавливаемое в туалетах, изготавливается из сантехнической керамики (рис. 16.4).



Рис. 16.4. Унитаз

По виду установки унитазы различают: напольные, подвесные (настенные) и приставные.

Напольные унитазы в свою очередь делятся на унитазы с бачком (унитазы-компакты), отдельно стоящие унитазы, унитазы с полным примыканием к стене (приставные), чаши «Генуя» (или турецкие унитазы).

Подвесные имеют в стене скрытый бачок или систему слива без бачка.

Приставные (пристенные) унитазы устанавливаются на полу. Данная конструкция является симбиозом напольного и подвешенного унитаза и бывает с горизонтальным, вертикальным, наклонным (косым) или сифонным (американский тип) сливом, а также с нижней, боковой или задней подводкой воды к бачку.

Биде – это небольшая ванночка или раковина, установленная на уровне унитаза. Она обустроена так же, как и ванна: к биде подключают горячую и холодную воду (рис. 16.5).



Рис. 16.5. Биде

По методу крепления биде подразделяются на 2 типа – подвесные и напольные. Напольные ставят на пол, а подвесные крепят к вертикальным поверхностям, которая будет удерживать его в подвешенном состоянии.

Писсуар – разновидность унитаза, предназначенная только для мочеиспускания. Используется в основном в мужских общественных туалетах. Изготавливается из санфаянса, реже из эмалированного металла, пластмассы, нержавеющей стали (рис. 16.6).



Рис. 16.6. Писсуар

Раковина – керамическая или металлическая чаша со сливным отверстием и присоединенной к нему трубой для водослива.

Мойка – сантехническое изделие с плоским дном для удобства мытья посуды и продуктов.

Трап для душа – это сливное отверстие, которое монтируется в полу ванной комнаты под плиткой. Конструкция напоминает воронку, которая собирает воду и отводит ее в водоотводящую трубу (рис. 16.7).



Рис. 16.7. Трап для душа

Ванна – это резервуар, который предназначен для купания или принятия медицинских процедур, а также для обмывания и погружения разных частей тела. По конструкции они делятся: на прямую, угловую, круглую, овальную, многогранную, нестандартную и др.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа 1. ТРУБЫ, СОЕДИНЕНИЯ СТЫКОВ.....	4
И АРМАТУРА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ.....	4
Лабораторная работа 2. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ КОЛЬЦЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ.....	14
Лабораторная работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЛОРИРУЕМОСТИ ВОДЫ.....	18
Лабораторная работа 4. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ.....	20
ИСПЫТАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ ПО МЕТОДУ УТЕЧЕК.....	20
Лабораторная работа 5. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ.....	25
НАСОСОВ.....	25
Лабораторная работа 6. ИСПЫТАНИЕ НАСОСНОЙ.....	36
УСТАНОВКИ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМ НАСОСОМ	36
Лабораторная работа 7. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА	38
ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ОДИН ТРУБОПРОВОД.....	38
Лабораторная работа 8. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ РАБОТА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ОДИН ТРУБОПРОВОД	41
Лабораторная работа 9. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА СТОЧНЫХ ВОД В САМОТЕЧНЫХ ЛОТКАХ И КАНАЛАХ	44
Лабораторная работа 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ.....	54
СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД.....	54
Лабораторная работа 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИКИ.....	58
ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ.....	58
ИЗ СТОЧНЫХ ВОД	58
Лабораторная работа 12. ОПРЕДЕЛЕНЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕРХНОСТНОГО АЭРАТОРА ДИСКОВОГО ТИПА.....	64
Лабораторная работа 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗЫ КОАГУЛЯНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ	69
СТОЧНЫХ ВОД	69
Лабораторная работа 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД.....	75
Лабораторная работа 15. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ.....	80
СООРУЖЕНИЙ НА ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ	80
Лабораторная работа 16. ТРУБЫ ДЛЯ ВОДОТВЕДЕНИЯ, ФАСОННЫЕ ЧАСТИ, ПРИЕМНИКИ СТОЧНЫХ ВОД	85

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водоотведение: учебник / Ю. В. Воронов [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 415 с.
2. Калицун, В. И. Гидравлика, водоснабжение и канализация: учеб. пособие / В. И. Калицун, В. И. Кедров, Ю. М. Ласков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 2000. – 397 с.
3. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: учеб. пособие / В. С. Дикарский [и др.]. – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
4. Журавлев, Г. И. Гидротехнические сооружения / Г. И. Журавлев. – М.: Стройиздат, 1979. – 423 с.
5. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика / под общ. ред. В. Н. Самохина. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
6. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: учеб. пособие / В. И. Калицун [и др.]. – М.: Стройиздат, 2000. – 272 с.
7. Обработка и удаление осадков сточных вод / пер. с англ. Т. А. Карюхиной, И. Н. Чурбановой, И. Х. Заена. – М.: Стройиздат, 1985. – 236 с.
8. Проектирование пластмассовых трубопроводов. Справочные материалы / под ред. В. С. Ромейко. – М.: ТОО «Изд-во ВНИИМП», 2001. – 134 с.
9. Справочник по специальным работам: трубы, арматура и оборудование водопроводно-канализационных сооружений / под ред. А. С. Москвитана. – М.: Стройиздат, 1970. – 143 с.
10. ТКП 45-4.01-54-2007. Внутренний водопровод и водоотводящие сети / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – 100 с.
11. Усаковский, В. М. Водоснабжение и водоотведение в сельском хозяйстве / В. М. Усаковский. – М.: Колос, 2002. – 328 с.
12. Федоров, Н. Ф. Канализационные сети: учеб. пособие / Н. Ф. Федоров, А. М. Курганов, М. И. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 223 с.
13. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.

Учебное издание

Васильева Наталья Васильевна
Боровиков Алексей Александрович

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Редактор *С. Н. Кириленко*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*
Компьютерный набор и верстка *С. Б. Даньковой*

Подписано в печать 2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. . Уч.-изд. л.
Тираж 50 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.