

Энергосиловое оборудование промышленных предприятий

Лекция 9. Тепловодоснабжение

Водоснабжение

Водоотведение

Теплоснабжение

Системы водоснабжения

Система водоснабжения (водопровод) – комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающих забор, очистку и обработку воды из источника, а также подачу потребителям (промышленным предприятиям, поселкам и городам).

Водопроводы могут быть **внешними** (заводские, поселковые, городские) и **внутренними** (внутри здания). По расположению в плане системы водоснабжения бывают **тупиковые, кольцевые** (с замкнутыми потоками воды) и **смешанные**.

По назначению водопроводы подразделяются на:

- **производственные** – снабжение *технической* водой ПП и отдельных цехов
- **хозяйственно-питьевые** – снабжение *питьевой* (очищенной и обеззараженной) водой ПП и население
- **противопожарные** – для тушения пожара на ПП или в поселении.

В **комплекс** внешнего хозяйственно-питьевого водопровода обычно входят:

Р – река или другой водоем большой мощности, откуда забирается вода;

1 – водозаборное сооружение (с его помощью вода забирается из открытого источника); 2 – насосная станция 1-го подъема; 3 – очистительно-обрабатывающее устройство (фильтровальная станция); 4 – резервуар чистой воды; 5 – насосная станция 2-го подъема; 6 – магистральный водопровод; 7 – водонапорная башня; 8 – водопроводная сеть, разводящая воду по жилым кварталам и к ПП .

Производственное водоснабжение

Схемы производственного водоснабжения часто изображают в виде *эпюр* – схем потоков воды с шириной, пропорциональной количеству воды ($\text{м}^3/\text{ч}$ или л/с).

По принципу действия схемы производственного водоснабжения бывают:

- **прямоточная** – использованная (отработанная) вода сбрасывается в водоем, из которого забирается – применяется при расположении мощного источника вблизи ПП (не далее 4-5 км) и при небольшом (не более 25 м) уровне расположения потребителей над уровнем воды в источнике
- **последовательная** – отработавшая в одном цехе вода используется повторно в другом (непосредственно или после обработки) – применяется при недостаточной мощности источника
- **оборотное водоснабжение** – вода, нагретая в производстве, охлаждается в градирнях или брызгальных бассейнах и используется вновь – применяется при ограниченной мощности источника или большом расстоянии от источника и высоком расположении заводской площадки над уровнем воды.

По величине напора производственные водопроводы делятся на:

- низконапорные – напор до 30 м;
- средненапорные – напор от 40 до 100 м;
- высоконапорные – напор более 100 м.

Расчет водопроводов

При гидравлическом расчете трубопроводов встречаются **3 основные задачи**:

- определение требуемого диаметра d трубопровода при заданных длине L , расходе Q и потерях напора Δh_f ;
- определение расхода трубопровода Q при заданных длине L , диаметре d трубопровода и потерях напора Δh_f ;
- определение потерь напора Δh_f при заданных длине L , диаметре d и расходе Q трубопровода.

Перед расчетом сеть разбивают на расчетные участки и определяют расход воды на каждом из них. Обычно **расчет производят только для магистральных линий**, а диаметры распределительных линий принимают без расчета.

Определение диаметра d водопроводных труб

Количество воды, протекающей по трубопроводу: $Q = v F$ [м³/с],

где v – скорость воды, м/с; F – площадь живого сечения, м².

Для труб круглого сечения **обычно задаются экономической скоростью**:
диаметр d определяется:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

- для труб малых d до 300 мм – 0,6 ... 0,9 м/с;
- средних d от 400 до 900 мм – 1,0 ... 1,4 м/с;
- больших d 1000 мм и выше – 1,5 ... 1,7 м/с.

Расчет водопроводов

Гидравлические потери складываются из *местных* потерь напора (от сопротивлений) и *линейных* потерь *по длине* трубопровода.

При большой протяженности водопроводов **местные** потери принимают равными 5–10 % от линейных потерь, а при расчете внутренних коммуникаций – по формуле:

$\Delta h_m = \chi v^2/2g$, где χ – коэффициент местного сопротивления (принимается из справочников); $v^2/2g$ – скоростной напор.

Определение потерь напора Δh_f

Основными потерями напора являются **потери по длине**. Их обычно рассчитывают по **водопроводным формулам**:

Первая водопроводная формула
(Вейсбаха-Дарси):

$$\Delta h_f = \lambda \frac{v^2 L}{2g d}$$

Вторая водопроводная формула:

$$\Delta h_f = \alpha L \frac{Q^2}{d^5}$$

$$\alpha = \frac{64}{C^2 \pi^2} \quad y = 1,5\sqrt{n} \quad C = \frac{1}{n} R^y$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (по эмпирическим формулам); C – коэффициент Шези; n – коэффициент шероховатости (для стальных и чугунных труб $n = 0,012$); R – гидравлический радиус (для круглых труб $R = d/4$)

На практике используют таблицы значений $\lambda = f(d)$ и $\alpha = f(d)$, вычисленных при $n = 0,012$

Устройство водопроводов

Водопроводы и сети состоят из **водопроводных линий** и **арматуры**.

Водопроводные линии выполняются из металлических и неметаллических труб:

- *стальные* – для рабочего давления воды более 10 атм; бывают бесшовные и сварные, с d от 529 до 630 мм, толщиной стенки 4 – 7 мм, длиной 5 – 18 м
- *чугунные* – для рабочего давления воды 10 и 16 атм; хрупкие и подвержены коррозии, имеют повышенный расход металла
- *железобетонные* – для крупных магистралей; бывают с d до 1500 мм, толщиной стенки от 35 до 135 мм, длиной от 3 до 5 м; соединяются муфтами
- *асбестоцементные* – для рабочего давления воды от 5 до 10 атм; имеют гладкие стенки, небольшой вес и хорошо устойчивы к коррозии
- *полиэтиленовые* – вода

Арматура:

- задвижки – для отключения и распределения потоков воды в линиях (с приводом);
- обратные клапаны – для автоматического отсечения обратного потока воды;
- гасители гидравлических ударов – клапан истечения воды в атмосферу;
- вантузы – для выпуска воздуха, попавшего в водовод, и выделяемых из воды газов;
- компенсаторы (сальники) – для восприятия угловых или линейных смещений.

Системы водоотведения

Система водоотведения (канализация) – комплекс канализационных сооружений и оборудования, обеспечивающих приемку отработавшей (сточной) воды, ее очистку (при необходимости) и отведение воды в водоем.

Водопроводная вода, которая используется в производственном процессе или для бытовых нужд и отводится от потребителя, называется **сточной водой**.

По назначению (виду) канализация бывает:

- **производственная** – отведение *производственных* сточных вод от ПП и отдельных цехов, их очистку и выпуск в водоем
- **бытовая** – отведение *бытовых* (хозяйственно-фекальных) сточных вод из производственных служебных и жилых зданий ПП, поселков и городов
- **ливневая** – отведение *атмосферных осадков* с территории ПП или поселений в водоем.

Все производственные сточные воды ПП можно подразделить на 2 категории: воды, **загрязненные** (содержат механические и химические загрязнения и нуждаются в очистке) и воды **условно чистые** (воды ТЭЦ, охлаждающие).

Канализация состоит из следующих основных сооружений:

1 – приемники сточных вод; 2 – сети подземных труб и каналов, уложенных с уклоном; 3 – смотровые колодцы на трубах и каналах для их осмотра и очистки; 4 – сооружений для очистки сточных вод; 5 – насосных станций перекачки воды и выпуска ее в водоем

Расчет канализации

Сточная вода движется по канализационным линиям **самотеком** или **с помощью насосов**, при этом заполняя трубы не по всему сечению (чтобы оставался запас на возможное *увеличение* объема сточных вод и для вентиляции сети и *удаления* выделяющихся из воды *газов*).

Гидравлический расчет сводится к выбору *скорости течения* воды и *степени заполнения* труб, а также к определению **уклона** (каналов, лотков) и их **размера**.

При **гидравлическом расчете** канализационных лотков, труб и каналов используют формулу:

$$Q = v F \quad [\text{м}^3/\text{с}],$$

$$v = C \sqrt{R J}$$

$$R = F / P_c$$

$$J = (z_1 - z_2) / l = \Delta z / l$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

где Q – расход сточных вод $\text{м}^3/\text{с}$; F – площадь живого сечения потока, м^2 ; v – скорость течения сточных вод, $\text{м}/\text{с}$; R – гидравлический радиус сечения, м ; P_c – смоченный периметр, м ; J – гидравлический уклон (трубы) – отношение разности отметок лотка труб в начале и в конце к длине трубы; C – коэффициент сопротивления движению сточной воды (зависит от ее физических свойств и состава, характера стенок и гидравлических условий течения воды); n – коэффициент шероховатости материала стенок труб (принимается $n = 0,012 - 0,015$).

На практике используют таблицы значений *пропускной способности труб* при $n = 0,014$

Скорость и уклон

Нормально работающая канализационная сеть должна обеспечивать **унос** потоком воды всех содержащихся в ней механических примесей во избежание засорений. Для этого в трубах должна быть обеспечена **самоочищающая скорость**. Ее величина зависит от количества и характера загрязнений.

Минимальную (самоочищающую) скорость движения производственных и бытовых сточных вод, не содержащих тяжелых примесей (песка, кусочков руды, угля, шлака, окалины) принимают:

- для труб d до 500 мм – 0,7 м/с;
- для труб d более 500 мм – 0,8 м/с;
- для вод, содержащих тяжелые примеси – 1,2 ... 1,5 м/с.

Максимальная скорость движения сточных вод:

для металлических труб – не более 10 м/с для неметаллических – 5 м/с

Расчетное **наполнение** воды в трубах (h/D) при максимуме расходов для d труб:

до 300 мм не более 0,6 350 – 450 мм не более 0,7
500 – 900 мм не более 0,75 более 900 мм не более 0,8

Минимальный уклон трубы, обеспечивающий самоочищающую скорость:

Диаметр труб, мм	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	1250 и более
Уклон	0,007	0,005	0,004	0,0033	0,003	0,002	0,0017	0,0015	0,0012	0,001	0,0005

Устройство канализации

Канализационные сети состоят из *лотков, труб* и *колодцев*.

Лотки, применяемые в канализации: *бетонные, железобетонные* и *металлические*.

Канализационные линии выполняют из металлических и неметаллических **труб**:

- *керамические* – с гладкими стенами (глазурь от NaCl), устойчивы к температурам и агрессивной воде, с d от 125 до 450 мм, длиной 800 – 1000 мм
- *асбестоцементные* – для самотечных линий и неагрессивных сточных вод, с d от 60 до 636 мм, длиной 2500 – 4000 мм
- *бетонные* и *железобетонные* – для крупных магистралей; бывают с d до 1500 мм, длиной от 3000 до 5000 мм; соединяются муфтами
- *металлические (чугунные)* – для больших внешних нагрузок и при больших уклонах (быстроток); обеспечивают высокую сопротивляемость истиранию
- *полиэтиленовые* –

Колодцы:

- *смотровые* – для наблюдения за работой линий, прочистки и промывки их;
- *перепадные* – во избежание больших уклонов и недопустимо больших скоростей;
- *промывные* – для возможности промывки отложений осадка – при малых скоростях движения воды (меньше самоочищающей).

Очистка и охлаждение вод

Очистку сточных вод от примесей осуществляют на **очистных сооружениях**.

Примеси бывают:

- по виду – нерастворенные и растворенные;
- по генезису – органические (живые и неживые) и минеральные.

Для выявления **загрязнения** сточных вод **определяют**: температуру воды, °С; запах воды (в баллах); цвет воды (описательно); степень загрязнения воды – концентрацию взвешенных веществ, г/л или мг/л; щелочность и кислотность воды, мг-экв/л; рН; общее количество растворенных в воде солей, г/л или мг/л; окисляемость, мг/л O₂; биохимическую потребность в кислороде, мг/л, за t = 5 или 20 суток (БПК₅ и БПК₂₀).

Взвешенные вещества: мазут и масла, смолы, фенолы, цианиды, CO₂, Fe, Ca²⁺, Mg²⁺

Способы очистки:

- механическая: отстойники (горизонтальные, вертикальные) и пруды-осветлители
- осадителями – в гидроциклонах: открытые (безнапорные) и закрытые (напорные)
- фильтрование: через пористую среду (песок, кварц, антрацитовая крошка), коагулирование, флотация, реагентами (адсорбция), нейтрализация кислых стоков

Охладители характеризуются **тепловой нагрузкой**: $Q_f = \Delta t c q_f$, [МДж/ч].

пруды-охладители 0,4 – 1,6 башенные капельные градирни 125 – 167

брызгальные бассейны 29 – 62 вентиляторные градирни 334 – 418

Системы теплоснабжения

Система теплоснабжения – комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающих процесс снабжения теплом потребителей, состоящий из трех операций: подготовка, транспорт и использование теплоносителя (ТН).

Система теплоснабжения **состоит из** следующих функциональных **частей**:

- источник производства тепловой энергии (котельная, ТЭЦ);
- транспортирующие устройства тепловой энергии к помещениям (тепловые сети);
- теплопотребляющие приборы (абонентские установки), передающие тепловую энергию потребителю (радиаторы отопления, калориферы).

Системы теплоснабжения **классифицируются** по:

- типу источника теплоты (месту выработки теплоты);
- роду теплоносителя;
- способу подачи воды на горячее водоснабжение;
- числу трубопроводов тепловой сети;
- способу обеспечения потребителей;
- степени централизации.

Типы систем теплоснабжения

Различают **два вида теплоснабжения**: *централизованное* и *децентрализованное*.

- централизованное (ЦТС) – источник производства тепловой энергии работает на теплоснабжение группы зданий и связан транспортными устройствами с приборами потребления тепла;
- децентрализованное (местное) – потребитель и источник тепла находятся в одном помещении или в непосредственной близости, тепловая сеть отсутствует.

По **типу источника теплоты** различают теплоснабжение:

- централизованное теплоснабжение от ТЭЦ – теплофикация;
- централизованное теплоснабжение от районных или промышленных котельных;
- децентрализованное теплоснабжение от местных котельных;
- децентрализованное от индивидуальных отопительных агрегатов (печное, котлы).

Преимущества теплофикации:

- экономия топлива за счет комбинированной выработки тепловой и электроэнергии;
- возможность широкого использования местного низкосортного топлива;
- улучшение экологии за счет размещения ТЭЦ на большом расстоянии от жилья и использования современных методов очистки дымовых газов от вредных примесей.

В зависимости от **степени централизации** системы ЦТС разделяют на **4 группы**:

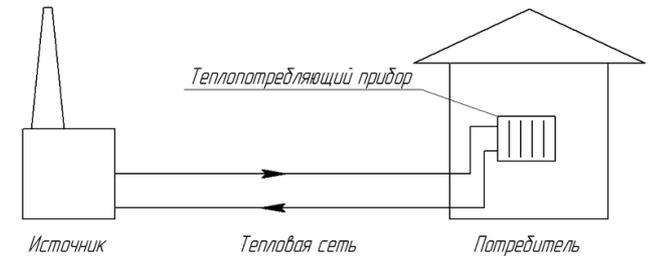
1. групповое теплоснабжение (ТС) группы зданий;
2. районное – ТС городского района;
3. городское – ТС города;
4. межгородское – ТС нескольких городов.

Типы систем ТС

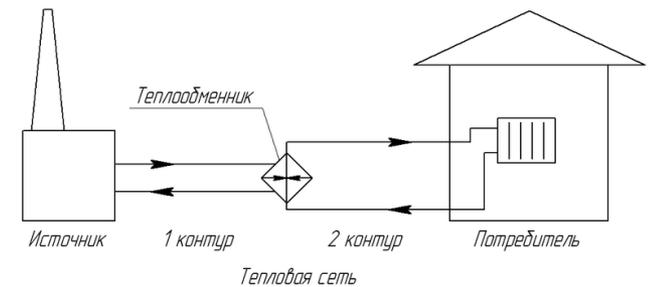
По способу обеспечения потребителей теплотой: *одноступенчатые (зависимые)* и *многоступенчатые (независимые)* системы ТС.

- **одноступенчатые** – потребители присоединяются к тепловым сетям непосредственно (через узлы присоединения к сети – абонентские вводы или местные тепловые пункты (МТП), где устанавливаются подогреватели ГВС, элеваторы, насосы, КИП и регулирующая арматура).
- **многоступенчатые** – между источником теплоты и потребителями размещаются центральные тепловые пункты (ЦТП), где размещают центральную по догревательную установку ГВС и смесительную установку сетевой воды, насосы подкачки ХВ, КИП.

Зависимая система теплоснабжения



Независимая система теплоснабжения



По роду теплоносителя системы ТС разделяются на *водяные* и *паровые*.

- **паровые** – распространены в основном на промышленных предприятиях;
- **водяные** – применяются для теплоснабжения жилищно-коммунального хозяйства и некоторых производственных потребителей.

Преимущества воды по сравнению с паром:

- возможность центрального качественного регулирования тепловой нагрузки;
- меньшие потери энергии при транспорте и большая дальность теплоснабжения;
- отсутствие потерь конденсата греющего пара; повышенная аккумулирующая способность.

Подача воды на ГВС

По способу подачи воды на ГВС системы делятся на *закрытые* и *открытые*.

- **закрытые** – сетевая вода используется только как теплоноситель и из системы не отбирается; в местные установки ГВС поступает вода из питьевого водопровода, нагретая в специальных водоводяных подогревателях за счет теплоты сетевой воды.

Достоинства: стабильное качество горячей воды, одинаковое с водопроводной; гидравлическая изолированность воды в установке ГВС от воды в тепловой сети; простота контроля герметичности системы по величине подпитки; подпитка не превышает 1 % расхода сетевой воды.

Недостатки: усложнение и удорожание оборудования и эксплуатации абонентских вводов из-за установки водоводяных подогревателей; коррозия местных установок ГВС вследствие использования недеаэрированной воды.

- **открытые** – сетевая вода непосредственно поступает в местные установки ГВС.

Достоинства: возможность утилизации на ТЭЦ теплоты низкопотенциальных сбросной и продувочной воды для подогрева большого количества подпиточной воды; меньше подвержены коррозии и более долговечны (деаэрированная вода); не нужны дополнительные теплообменники.

Недостатки: высокие потери воды в системе (от 0,5...1 % до 20...40 % общего расхода воды); состав воды, подаваемой потребителям, хуже (присутствие в ней продуктов коррозии и отсутствие биологической обработки); необходимость устройства на ТЭЦ мощной и дорогой водоподготовки для подпитки тепловой сети; усложнение и увеличение объема санитарного контроля за системой; усложнение контроля герметичности системы; нестабильность гидравлического режима сети.

По числу трубопроводов различают одно-, двух- и многотрубные системы.

Для открытой системы минимальное число трубопроводов – один, для закрытой – два. В двухтрубной системе тепловая сеть состоит из двух линий: *подающей* и *обратной*.

Потребители тепла

Различают **две** основные **категории потребления тепла**:

- для создания комфортных условий труда и быта – *коммунально-бытовая нагрузка* (системы отопления, вентиляции, кондиционирования, горячего водоснабжения).
- для выпуска продукции заданного качества – *технологическая нагрузка*.

По **уровню температуры** тепло подразделяется на:

- низкопотенциальное, с температурой до 150 °С;
- среднепотенциальное, с температурой от 150 °С до 400 °С;
- высокопотенциальное, с температурой выше 400 °С.

Коммунально-бытовая нагрузка относится к низкопотенциальным процессам. Максимальная температура в тепловых сетях не превышает 150 °С (в прямом трубопроводе), минимальная – 70 °С (в обратном). Для покрытия **технологической нагрузки** как правило применяется водяной пар с давлением до 1,4 МПа.

По **режиму потребления тепла** в течение года различают **2 группы** потребителей:

- **сезонные**, нуждающиеся в тепле только в холодный период года (отопление);
- **круглогодичные**, нуждающиеся в тепле весь год (технологические, ГВС).

По **видам теплопотребления** различают **3 характерные группы** потребителей:

- жилые здания (сезонные – отопление и вентиляция, круглогодичный – ГВС);
- общественные здания (сезонные – отопление, вентиляция и кондиционирование);
- промышленные здания и сооружения, в т.ч. сельскохозяйственные комплексы (все виды теплопотребления, их количество определяется видом производства)

Параметры теплоносителей

Основными **параметрами теплоносителя** являются *температура* и *давление*.

На практике вместо давления широко используют напор:

$$H = P / \rho g$$

где P – давление, Н/м²; ρ – плотность, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Вода как теплоноситель характеризуется *температурами*:

- t_1 – температура воды до системы теплоснабжения, °С
- t_2 – температура воды после системы теплоснабжения, °С

В системах отопления **жилых и общественных** зданий $t_1 = 95$ °С, $t_2 = 70$ °С

В системах отопления **промышленных** зданий $t_1 = 150$ °С, $t_2 = 70$ °С

Мощность теплового потока, отдаваемого **водой**:

$$Q = G c (t_1 - t_2) \text{ [кВт]}$$

Мощность теплового потока, отдаваемого **паром**:

$$Q = G (i - c_k t_{\text{нас}}) \text{ [кВт]}$$

где G – количество воды/пара, проходящих через систему теплоснабжения, кг/с;
 c , c_k – удельная теплоемкость воды/конденсата, $c = 4,19$ кДж/(кг °С); i – энтальпия (теплосодержание) сухого насыщенного пара, кДж/кг; $t_{\text{нас}}$ – температура насыщения пара, °С.

Тепловой баланс ПП

Уравнение **теплового баланса** производственного помещения:

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{инф} + Q_{ох} - \sum Q_{ТВ}$$

где $Q_{от}$ – количество тепла, необходимое на отопление помещений, кВт; $Q_{огр}$ – потери тепла через строительные ограждающие конструкции, кВт; $Q_{инф}$ – расход тепла на инфильтрацию, кВт; $Q_{ох}$ – расход тепла на подогрев холодных предметов, кВт; $\sum Q_{ТВ}$ – тепловыделения в помещении, кВт.

Потери **тепла** через **строительные ограждения** в единицу времени:

$$Q = 10^{-3} K_{огр} F (t_{вн} - t_{нар}) n$$

где $K_{огр} = 1/R_{огр}$ – коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м² °С); $R_{огр}$ – термическое сопротивление ограждающих конструкций, (м² °С)/Вт; F – площадь наружного ограждения, м²; $t_{вн}$ – внутренняя температура помещения, °С; $t_{нар}$ – наружная температура, °С; n – поправочный коэффициент на разность температур.

Наружная расчетная температура $t_{нар}$ определяется как средняя температура наиболее холодной пятидневки. **Внутренняя** расчетная температура $t_{вн}$ в зимний период принимается, °С :

Жилые и общественные здания ... 18 – 20 Цехи с большим тепловыделением ... 5 – 10

Цехи с малым тепловыделением (не более 24 Вт/м³) и большим влаговыведением ... 12 – 18

Источники тепловыделения от: солнечной радиации; производственных печей; продуктов сгорания; остывающих изделий; двигателей и станков; людей.

Лектор:

Кошарная Юлия Васильевна

к.т.н., доцент кафедры ЭПП НИУ «МЭИ»

E-mail: kosh_yulia@mail.ru

Тел. (495) 362-73-86; 8-925-524-11-39

Спасибо за внимание.