

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования Иркутский государственный
аграрный университет имени А.А. Ежевского

Кафедра энергообеспечения и теплотехники

В.А. Бочкарев, А.А. Кошелев, В.Д. Очиров

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ И ГОДОВОГО ОТПУСКА
ТЕПЛОТЫ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
ПОТРЕБИТЕЛЯМ. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ И ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ
ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы
по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения предприятий»

Иркутск, 2019

УДК 697.34 (075.8)

Рецензенты:

Фролов А.Г. – доцент кафедры теплоэнергетики Иркутского национального исследовательского технического университета, кандидат технических наук, доцент.

Логинов А.Ю. – доцент кафедры электрооборудования и физики Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского, кандидат технических наук, доцент.

Определение расчетной нагрузки и годового отпуска теплоты коммунально-бытовым и технологическим потребителям. Гидравлический и тепловой расчет водяных тепловых сетей: учебно-методическое пособие / Авт.-сост.: В.А. Бочкарев, [А.А. Кошелев], В.Д. Очиров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2019. – 70 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для изучения дисциплин «Источники и системы теплоснабжения предприятий» и «Теплотехника», выполнения курсовой работы и отдельных разделов выпускной квалификационной работы студентами, обучающимися по направлениям подготовки:

- 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень бакалавриата), профиль «Энергообеспечение предприятий»;

- 35.03.06 Агроинженерия (уровень бакалавриата), профили «Электрооборудование и электротехнологии в АПК» и «Энергообеспечение сельского хозяйства».

Также пособие может быть полезным для студентов, поступившим в магистратуру по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника», не имея базового образования.

Пособие включает описание алгоритма расчета коммунально-бытовых и технологических тепловых нагрузок, годового потребления теплоты района с жилыми массивами и промышленными предприятиями, продолжительности использования установленной мощности теплофикационных отборов паровых турбин, гидравлического и теплового расчета теплопроводов.

Пособие построено на примере расчета конкретного варианта с обоснованием выбора исходных параметров, массивы которых и справочные таблицы даны в приложениях со ссылками на их источники.

Приведены контрольные вопросы для проверки и самопроверки усвоения материала, понимания сути методики для ее последующего самостоятельного применения.

Печатается по решению научно-методического совета Иркутского ГАУ (протокол №4 от 25 марта 2019 г.).

© Бочкарев В.В., [Кошелев А.А.],

Очиров В.Д., 2019.

© Издательство Иркутского ГАУ, 2019.

Предисловие

Надежное, качественное и экономичное обеспечение теплотой технологических и коммунально-бытовых потребителей является столь же важным, как электрификация производства и быта. Обеспечение тепловой и электрической энергией должно рассматриваться в едином комплексе – это признается и подчеркивается в издании основного учебника по теплоснабжению [1], где содержится определение теплофикации как «энергоснабжения на базе комбинированной, т.е. совместной выработки электрической и тепловой энергии в одной установке». Особенно значима проблема энергоснабжения в суровых климатических условиях, свойственных Приангарью. Сказанное в полной мере относится к объектам АПК – это отопление и снабжение горячей водой жилых и производственных объектов, паро- и хладоснабжение технологических процессов обработки сельскохозяйственной продукции.

Производство тепловой энергии в России превышает 2 млрд. Гкал в год, для этого расходуется около 400 млн. тонн условного топлива – это больше 40% потребляемых первичных энергоресурсов. Большая доля теплоты – свыше 70% – производится центральными источниками – крупными паровыми и водогрейными котельными и ТЭЦ (почти поровну). В условиях Восточной Сибири, где значительную часть электроэнергии дают ГЭС (это в первую очередь относится к системе Иркутскэнерго, где на долю ГЭС приходится 9 ГВт установленной мощности, на тепловые электростанции – 4 ГВт), заметную роль играет производство теплоты с использованием электроэнергии (электротеплоснабжение) – последнее относится и к объектам АПК.

Для Сибирского Федерального округа в целом, включая Иркутскую область, характерны теплоемкие отрасли промышленности, связанной с переработкой природных ресурсов и производством строительных материалов – предприятия химического и нефтехимического профиля, целлюлозно-бумажные комбинаты, заводы железобетонных изделий. Крупные энергоемкие предприятия стали основой и градообразующим фактором Ангарска, Шелехова, Байкальска, Саянска – это уникальные города в плане сплошной теп-

лофикации от промышленных ТЭЦ. Крупные источники централизованного теплоснабжения эксплуатируются в Братске и Усть-Илимске, выросших после сооружения ГЭС. В промышленную структуру этих городов наряду с электроемкими вошли и теплоемкие предприятия.

Одно из направлений развития, интенсификации и повышения эффективности АПК – это создание комплексов, в том числе небольших животноводческих ферм, птицефабрик, предприятий по сушке и переработке зерновых и технических культур, теплиц, предприятий по переработке и хранению сельскохозяйственной продукции, фермерских и личных подсобных хозяйств, предприятий рыболовства и сбора продуктов леса. Все это требует обеспечения теплотой разных параметров и его эффективного использования в разнообразных технологических процессах и аппаратах.

Если инженеры-электрики для сельского хозяйства готовятся давно, то выпуск теплоэнергетиков вузами сельскохозяйственного профиля начат чуть позже, поэтому вопросами генерации, транспорта и использования теплоты в этой сфере занимаются, как правило, либо специалисты-механики, либо электрики.

Студентам направления подготовки «Агроинженерия» читаются разделы дисциплины «Теплотехника», включающие в своей основе элементы приложения законов технической термодинамики и тепломассообмена к функционированию соответствующих машин, механизмов и оборудования. Дополнительно, в зависимости от объема, содержания и порядка реализации дисциплины «Теплотехника» определяемых вузами самостоятельно, читаются разделы «Теплоэнергетические установки» и «Применение теплоты в сельском хозяйстве». В программу подготовки бакалавров по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника» включен ряд дисциплин не только теплотехнического, но и теплоэнергетического характера, где соответствующие звенья топливно-энергетического комплекса рассматриваются с системных позиций.

Поскольку опыт подготовки бакалавров названного направления в университете небольшой, то по некоторым дисциплинам возникает дефицит специализированной учебной литературы. В этой ситуации одна из стратегических задач кафедры энергообеспечения и теплотехники – ежегодная форсированная подготовка соответствующих методических и учебных пособий. Последнее затруднено малочисленностью сотрудников кафедры, чтением каждым научно-педагогическим работником нескольких дисциплин параллельно на двух и даже трех курсах, что обусловлено малочисленностью студентов по данному направлению подготовки, то есть малой суммарной учебной нагрузкой для коллектива кафедры.

Авторы будут признательны за получение замечаний, пожеланий и предложений, которые будут учтены при подготовке следующей, дополненной и расширенной редакции этого материала с включением основ теории в части источников, транспорта и потребления теплоты с отражением новых тенденций развития отечественной и мировой энергетики.

Авторы

Введение

Настоящее пособие разработано в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения предприятий».

Выбор схемных и технологических решений для систем энергоснабжения начинается с определения потребности в энергоносителях – в данном случае это количество теплоты и его параметры. Затем выбирается схема теплоснабжения (комбинированное или раздельное производство тепловой и электрической энергии, центральный или местный источники энергии) и система транспорта теплоносителей (паровая или водяная; одно-, двух- или многотрубная) и т.п.

В данном пособии изложена методика (алгоритм) и дан пример расчета фрагментов системы централизованного водяного теплоснабжения района с коммунально-бытовым и технологическим потреблением теплоты при его дальнем транспорте от ТЭЦ – это:

- 1) определение расчетных нагрузок по видам потребления (отопление, вентиляция, горячее водоснабжение, технология);
- 2) построение графика продолжительности использования мощности и потребления теплоты;
- 3) детальный расчет теплопотребления отдельного здания;
- 4) гидравлический расчет радиальной разветвленной водяной тепловой сети;
- 5) тепловой расчет теплопровода надземной и подземной бесканальной прокладки глубокого заложения.

Материал пособия, включающего справочные данные, не только предназначен для учебных целей – выполнения курсовой работы, но и, как показал опыт работы, может быть использован при практических расчетах, в том числе, прежде всего – для гидравлических расчетов трубопроводов.

Требования по составлению пояснительной записки по курсовой работе. Пояснительную записку по курсовой работе должен составить каждый студент и оформить на бумажном листе формата А4 (210×297 мм). На титуль-

ном листе пояснительной записки указывается наименование работы и ее номер (вариант), фамилия студента, факультет, курс, группа, дата выполнения. Условные обозначения элементов на схемах должны соответствовать ГОСТам и ЕСКД. Полученные графики вычерчиваются аккуратно с правильно выбранным масштабом. На осях координат указываются буквенные обозначения величин и их размерности.

Для выполнения курсовой работы каждому студенту дается свой индивидуальный вариант исходных данных, определяемый преподавателем. Работа, выполненная по чужому варианту, к рассмотрению не принимается. Допускается текст пояснительной записки печатать на персональном компьютере. Пояснительная записка курсовой работы является текстовым документом и поэтому должна выполняться в соответствии с ГОСТ 2.105-95. Расчеты выполняются в Международной системе единиц СИ.

Пояснительная записка сначала пишется на черновике, а после согласования с руководителем переписывается начисто. Перед началом работы задание обязательно должно быть подписано руководителем и студентом.

Студент обязан систематически посещать консультации как для проверки правильности выполнения работы, так и для отметки ее объема (в процентах). На консультацию студент должен являться с заданием на курсовую работу, в котором руководитель отмечает сделанные им замечания. При отсутствии задания консультация не проводится.

Курсовая работа является комплексной, касаясь ряда разделов данной дисциплины, состоит из четырех частей (задач), связанных общностью объекта. Курсовая работа должна включать:

- 1) титульный лист;
- 2) текст задания, приведенный на страницах 9-14 (с рисунками 1 и 2), 35-36 (рисунок 5) и 46 – с подстановкой значений параметров индивидуального задания (приложение 1);

3) подробные расчеты с элементами текста, расшифровывающими используемые формулы, с подстановкой и обоснованием выбора количественных значений расчетных параметров;

4) графики рисунков 3, 4 и 6;

5) количественный анализ полученных результатов и соответствующие выводы.

б) список использованной литературы.

Прием и порядок защиты пояснительной записки по курсовой работе.

К защите курсовой работы допускается законченная, проверенная и подписанная преподавателем на титульном листе пояснительная записка. Защита проводится индивидуально и включает в себя сообщение о содержании работы и ответы на вопросы.

Для сдачи работы необходимо знание:

- цели расчетов (использование результатов в практике);
- сути использованной методики, использованных формул и входящих в них величин, их размерностей;

- ответов на контрольные вопросы, приведенные в конце пособия. Эти вопросы касаются основных разделов данной дисциплины, так что сдача курсовой работы является подготовкой к сдаче экзамена, которая по желанию студента может быть совмещена со сдачей работы (но не наоборот).

При оценке работы учитывается качество ее оформления и эрудиция, проявленная студентом в ходе сообщения и ответов на вопросы.

1 Расчет тепловой нагрузки района

1.1 Задание

Определить максимальную (расчетную) тепловую нагрузку и годовой отпуск теплоты от ТЭЦ (рисунок 1) в климатических условиях географического пункта, указанного в индивидуальном задании (приложение 1) для района, включающего в себя:

1) жилые массивы на n тысяч (значения n приведены в вариантах задания) жителей с однотипной современной многоэтажной застройкой при норме общей (полной) жилой площади $f = 20 \text{ м}^2/\text{чел.}$, норме среднего расхода горячей воды с учетом ее потребления общественными зданиями $g = 100 \text{ л/чел.сут.}$ при ее температуре $t_{\text{г}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$;

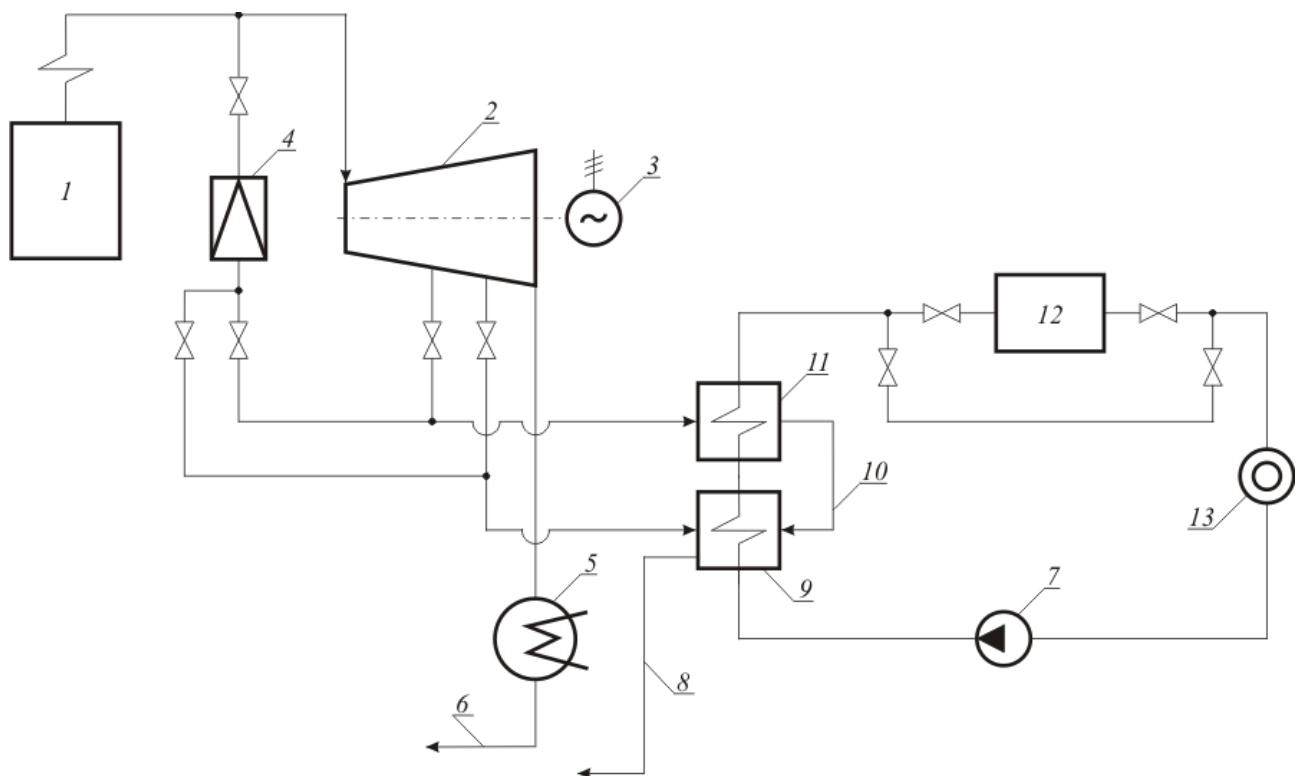
2) общественные здания при норме их строительного объема (по наружному обмеру) на 1 тыс. жителей $V, \text{ м}^3$:

административные здания	1000
школы	3000
детские сады и ясли	2000
пункты питания	1000
клубы, пункты развлечения	800
театры, кинотеатры	800
больницы	600
поликлиники	800
бани	300
прачечные	200

(анализ: жилая площадь на 1 тыс. человек – $F_{\text{ж}} = f \cdot 1000 = 20000 \text{ м}^2$; если принять расчетную высоту $h = 3 \text{ м}$, то жилой объем составит $V_{\text{ж}} = 60000 \text{ м}^3$ при суммарном объеме общественных зданий $V = 10500 \text{ м}^3$ – вероятно, общественную инфраструктуру жилых районов можно считать достаточно развитой);

3) промпредприятия с одно-, двух- или трехсменной работой (соответственно, 8, 16 или 24 ч в сутки) при пятидневной рабочей неделе для одно- и двухсменки и семидневной – для трехсменки при скользящем графике отдыха (указано в зада-

нии) со средней суммарной (расчетной) мощностью технологического потребления, приведенной в задании в долях от суммарной мощности для отопления и ГВС жилых и общественных зданий. Суммарный строительный объем производственных зданий $V = 10 \cdot n$ тыс. м³ (условно принято, что на предприятиях работает 1/3 населения и на каждого работающего приходится 10 м² производственной площади при высоте рабочих помещений 3 м). Отопление и вентиляция производственных помещений осуществляются круглосуточно. ГВС промпредприятий в нагрузках не учитывается (покрывается за счет сбросного технологического тепла или т.п.). Удельные отопительные и вентиляционные характеристики производственных зданий принять как для деревообделочных цехов.



1 – паровой котел; 2 – паровая турбина; 3 – электрический генератор; 4 – редукционно-охлаждающая установка; 5 – конденсатор паровой турбины; 6 – конденсат; 7 – сетевой насос; 8 – конденсат сетевых подогревателей; 9 – нижний сетевой подогреватель; 10 – слив конденсата греющего пара из верхнего сетевого подогревателя; 11 – верхний сетевой подогреватель; 12 – пиковый водогрейный котел; 13 – потребитель тепловой энергии в виде горячей воды

Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема ТЭЦ

Пояснение к рисунку 1. На крупных ТЭЦ для подогрева сетевой воды используется два сетевых подогревателя, которые питаются паром из двух отопительных (теплофикационных) отборов турбины, и пиковый водогрейный котел (ПВК). Давление пара в верхнем отборе регулируется обычно в пределах 0,06-0,25 МПа, а в нижнем – 0,05-0,2 МПа. Регулирование давления в от-

борах осуществляется поворотной диафрагмой, установленной за камерой нижнего отбора.

На современных ТЭЦ с отопительной нагрузкой применяют двухступенчатые сетевые подогревательные установки. Распределение подогрева сетевой воды в них при расчетной температуре, соответствующей полной нагрузке отборов турбины, принимаются примерно одинаковыми.

ПВК включается, когда количество пара из отборов недостаточно для покрытия всей тепловой нагрузки. Летом сетевая вода подогревается только в сетевом подогревателе нижней ступени.

Летнюю нагрузку горячего водоснабжения считать на 10% меньше зимней. Температура холодной воды зимой обычно принимается $t_{хз} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, летом – $t_{хл} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$; при температуре горячей воды $t_r = +55 \text{ }^\circ\text{C}$, как это задано, соотношение летней и зимней нагрузок составляет:

$$\frac{t_r - t_{хл}}{t_r - t_{хз}} = \frac{55 - 10}{55 - 5} \approx 0,9 .$$

Очевидно, что такое соотношение достаточно условно: потребление горячей воды летом может быть больше, чем зимой – за счет более частой стирки и помывки, сезонного притока населения. При расчетах для существующих объектов за основу берут статистические данные. Можно добавить, что начиная с 2004 года, в ряде районных центров Иркутской области руководители местных администраций постепенно увеличивают эту норму, которая кое-где уже превысила 200 л на человека в сутки для потребителей, у которых нет теплосчетчиков.

Потери теплоты в тепловых сетях принять 5% зимой и 2,5% летом от суммарной расчетной (максимальной – пп. 1, 2, 3) нагрузки.

Летний период – это время (суммарная годовая продолжительность) отключения отопления и прекращения подогрева воздуха для вентиляции, когда осуществляется лишь горячее водоснабжение. Принять, что это происходит при среднесуточной температуре наружного воздуха $t_n \geq +8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Годовая продолжительность работы системы теплоснабжения $T = 8400 \text{ ч}$ ($\Delta T = 8760 - 8400 = 340 \text{ ч}$, т.е. на ремонт отводится 2 недели).

Годовая продолжительность использования установленной мощности отборов турбин рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{и}} = \frac{Q}{N_{\text{р}}} \quad (1)$$

где Q – годовая выработка тепла, МВт·ч;

$N_{\text{р}}$ – расчетная установленная мощность, МВт, при значениях *коэффициента теплофикации* (соотношение расчетной мощности отборов и потребления – рисунок 1)

$$\alpha = \frac{N_{\text{отб}}}{N_{\text{и}}} = 1; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5 \text{ и } 0,4.$$

Здесь целесообразны пояснения, выходящие за рамки собственно курсовой работы и относящиеся равно к тепло- и электроэнергетике, а также к другим отраслям производства.

$T_{\text{и}}$ – один из основных схемных, технико-экономических и энергетических параметров, характеризующих *эффективность использования установленной генерирующей мощности или равномерность графика потребления энергии*, т.е. полноту загрузки оборудования, эффективность использования основных фондов энергетического хозяйства.

Уяснить смысл $T_{\text{и}}$ помогает рисунок 2. На рисунке изображены два абстрактных графика продолжительности стояния различных значений мощности N_i внутри рассматриваемого промежутка времени ΔT (обычно берется 1 год). Очевидно, что площади под кривыми $N(T)$ дают энергию:

$$W = \int N dT \cong \sum N_i \Delta T_i.$$

Таким образом, $T_{\text{и}}$ – это *горизонтальная сторона прямоугольника с вертикалью N (расчетная, максимальная мощность), площадь которого равна площади под кривой $N(T)$. Чем плотнее (равномернее) график $N(T)$, чем больше значение $T_{\text{и}}$, которое в предельном случае (абсолютно равномерный график, постоянное энергопотребление) равно продолжительности расчетного периода, т.е.*

$$T_{\text{и}} \leq \Delta T.$$

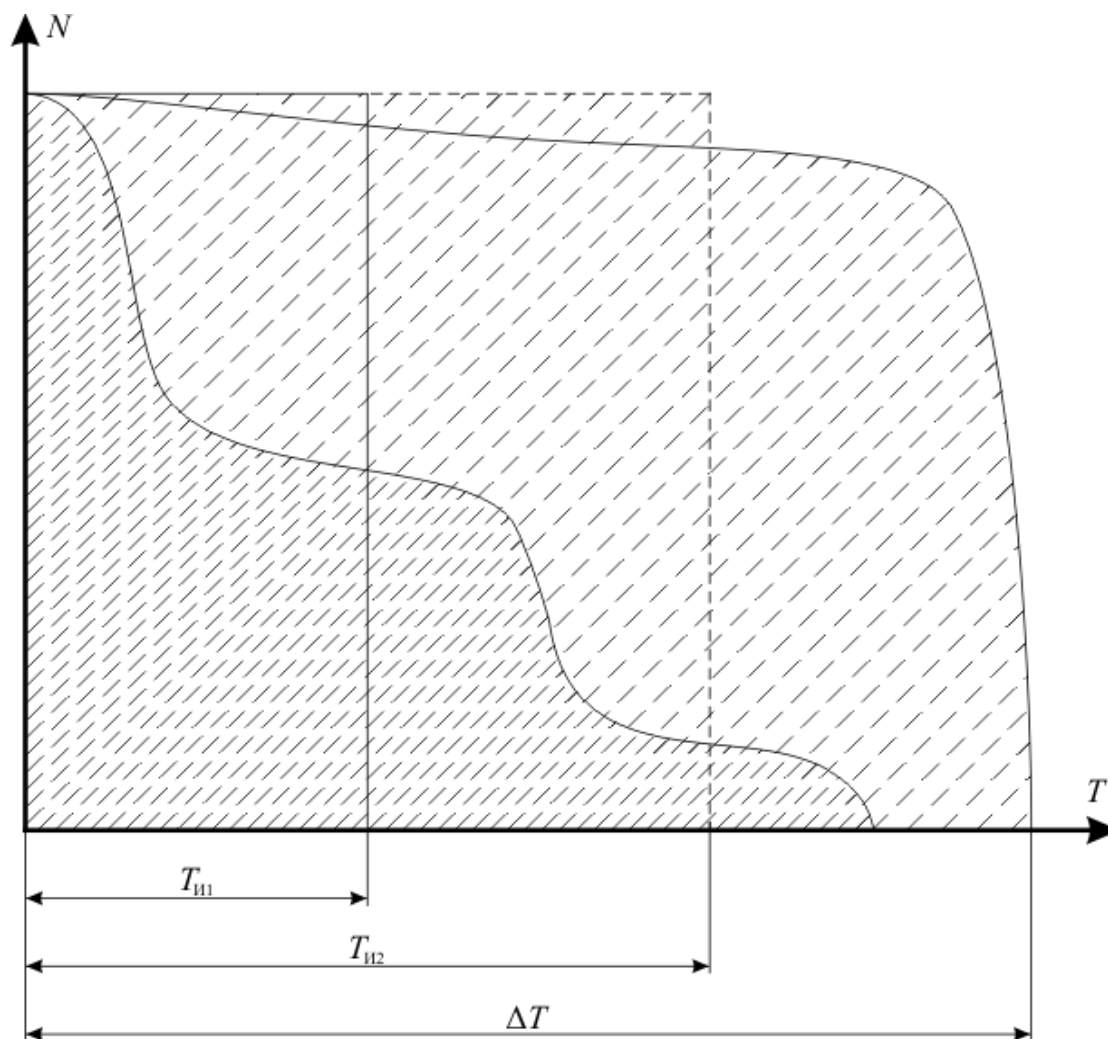


Рисунок 2 – К определению продолжительности использования установленной мощности

Полная размерность $T_{и}$, как видно из приведенной формулы – это МВт·ч/МВт, т.е. $T_{и}$ можно дать и такое определение: это *удельная выработка энергии, или выработка энергии на единицу установленной мощности*.

Значение $T_{и}$ используется при расчете инвестиционной составляющей (т.е. связанной с капиталовложениями) стоимости (себестоимости) энергии

$$Z = \frac{K [\text{руб} / \text{кВт}] \cdot (1 + a)}{T_{и} [\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{кВт} \cdot \text{год}] \cdot \tau [\text{год}]}, \text{руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч},$$

где K – удельные капиталовложения в источник энергии на единицу установленной мощности;

a – коэффициент, учитывающий банковский процент (формула в этой части упрощена – здесь нет дисконтирования, учитывающего «проценты на проценты», инфляцию и т.п.);

τ – расчетный срок возврата инвестиций или гарантированный срок службы источника.

Столь подробные пояснения даны потому, что, во-первых, понятие $T_{и}$ используется и в других курсах (например, «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», где графики генерации энергии весьма неравномерны), во-вторых, этот вопрос, как показывает практика, для многих студентов труден.

Рассчитать годовое потребление теплоты на отопление и вентиляцию также по укрупненным показателям и сравнить с результатами детальных расчетов, оценить и объяснить расхождение.

Построить температурный график и график расхода воды на отопление при качественном регулировании отпуска тепла.

1.2 Расчет

1.2.1 Жилые здания

а) отопление. Из таблиц приложений 2 и 3 выписываются климатические показатели для заданного пункта и заносятся в таблицу 1 (в рассматриваемом примере взят условный пункт).

Таблица 1 – Климатические параметры для условного пункта

Температура воздуха для проектирования с обеспеченностью 0,92		Продолжительность стояния n , ч/год, температуры наружного воздуха t_n , °C, равной и ниже								Отопительный период со среднесуточной температурой $t_n \leq 8$ °C	
отопления $t_{но},$ °C	вентиляции $t_{нв},$ °C	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+8	продолжительность, n , сут.	средняя температура $t_{нос},$ °C
-26	-11	10	100	150	280	800	1500	2800	5240	220	-3,1

Расчетная мощность

$$N_o = q_o \cdot f \cdot n, \quad (2)$$

где q_o – удельный тепловой поток (принимается по нижней кривой графика на рисунке приложения 4 при $t_{но} = -26$ °C это 97 Вт/м²);

n – число жителей, задано 90000 чел.;

f – норма общей жилой площади, по условию $20 \text{ м}^2/\text{чел.}$;

$$N_0 = 97 \cdot 20 \cdot 90000 = 174600000 \text{ Вт} = 174,6 \text{ МВт.}$$

б) горячее водоснабжение. Расчетная мощность (для упрощения – без учета неравномерности водоразбора, исходя из ее сглаживания баками-аккумуляторами на ТЭЦ; неравномерность рассмотрена в части 2):

$$N_{\text{ГВС}} = g \cdot c \cdot n \cdot (t_{\text{Г}} - t_{\text{ХЗ}}), \quad (3)$$

где g – норма потребления, принята $100 \text{ л/чел.}\cdot\text{сут.}$ [1, 4], т.е. $0,001157 \text{ л/чел.}\cdot\text{с}$;

c – теплоемкость воды (для средней температуры нагреваемой воды зимой $0,5(t_{\text{Г}} + t_{\text{ХЗ}}) = 0,5(55 + 5) = 30 \text{ }^\circ\text{C}$). По таблицам водяного пара или интерполяцией по данным приложения 6 при плотности воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3 = 1 \text{ кг/л}$, то есть объемная теплоемкость равна весовой (массовой) – $c = 4,19 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$.

Соответственно

$$N_{\text{ГВС}} = 0,001157 \cdot 4,19 \cdot 90000 \cdot (55 - 5) = 21815 \text{ кВт} = 21,8 \text{ МВт}$$

$$N_{\text{ГВС л}} = 0,9 \cdot N_{\text{ГВС}} = 0,9 \cdot 21,8 = 19,6 \text{ МВт.}$$

1.2.2 Общественные здания

Исходные данные и результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетная нагрузка на отопление и вентиляцию общественных зданий

Виды зданий	Объем V , тыс. м^3	Тепловая нагрузка			
		отопление		вентиляция	
		x_0 , $\text{Вт/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	N_0 , МВт	q_v , $\text{Вт/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	N_v , МВт
административные здания	90	0,4	-	0,21	0,548
школы	270			0,10	0,783
детские сады и ясли	180			0,12	0,626
пункты питания	90			0,84	2,192
клубы, пункты развлечения	72			0,24	0,501
театры, кинотеатры	72			0,48	1,002

Виды зданий	Объем V , тыс. м^3	Тепловая нагрузка			
		отопление		вентиляция	
		x_o , $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	N_o , МВт	q_v , $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	N_v , МВт
больницы	54	0,4	-	0,35	0,548
поликлиники	72			0,29	0,606
бани	27			1,20	0,940
прачечные	18			0,94	0,491
Всего	945	-	16,6	-	8,2

а) отопление

$$N_o = \sum x_{oi} V_i (t_b - t_{но}), \quad (4)$$

где $x_{oi} V_i$ – соответственно, отопительная характеристика и объем зданий; $x_{oi} = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^3\text{К})$ – условно принимается одинаковой для всех зданий; в этом случае можно вести расчет сразу для их суммарного объема $\Sigma V_i = 10500 [\text{м}^3/1 \text{ тыс. чел.}] \cdot 90 [\text{тыс. чел}] = 945000 \text{ м}^3$;

t_b и $t_{но}$ – соответственно, температура внутреннего воздуха и наружного, расчетная для отопления: $t_b = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{но} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ (табл. 1).

$$N_o = 0,4 \cdot 945000 \cdot (18 + 26) = 16600000 \text{ Вт} = 16,6 \text{ МВт}.$$

б) вентиляция. В отличие от отопительных, вентиляционные характеристики q_v для разных зданий отличаются. Они выбираются по приложению 5 и заносятся в таблицу 2.

Расчетная мощность:

$$N_v = \sum p_{vi} V_i (t_b - t_{нв}), \quad (5)$$

где $t_{нв}$ – температура наружного воздуха, расчетная для вентиляции; $t_{нв} = -11 \text{ }^\circ\text{C}$ (таблица 1).

Поэтапные и конечные результаты расчета N_o и N_v , представлены в таблице 2. Как обусловлено выше, $N_{гвс}$ общественных зданий входит в $N_{гвс}$ жилых зданий.

1.2.3 Промышленные здания

а) отопление. Принимается, что отопление осуществляется непрерывно при любом рабочем графике.

Расчетная мощность:

$$N_o = q_o V(t_b - t_{но}), \quad (6)$$

где $q_o = 0,53 \text{ Вт/м}^3 \cdot ^\circ\text{С}$ из приложения 5, для деревоотделочных цехов с единичным строительным объемом $V_i = 10 \text{ тыс. м}^3$;

V – суммарный объем промышленных зданий (по условию $V = 10 \cdot n = 900000 \text{ м}^3$).

$$N_o = 0,53 \cdot 900000 \cdot (18 + 26) = 20988 \text{ кВт} = 21,0 \text{ МВт}.$$

б) вентиляция. Принимается, что при односменном рабочем графике вентиляция отключается на два выходных дня в неделю. В данном примере принята двухсменная работа в течение всей недели, без отключения вентиляции.

Расчетная мощность:

$$N_b = q_b V(t_b - t_{нв}), \quad (7)$$

где $q_b = 0,53 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{К)}$ (приложение 5); совпадение с q_o – лишь для данного конкретного случая.

$$N_b = 0,53 \cdot 900000 (18 + 11) = 13833 \text{ кВт} = 13,8 \text{ МВт}.$$

Для производственных зданий разного назначения соотношение q_o и q_b может быть как меньше, так и больше единицы. Поскольку q_b зависит от кратности циркуляции воздуха, с которым удаляются поступающие в помещение вредные технологические выбросы (подобное видно в таблице 2), причем для вредных производств: химия, металлургия, лакокрасочные цеха и т.п. – вентиляционная нагрузка может превышать отопительную во много раз (приложение 5).

в) технология. Как сказано в задании, технологическая нагрузка N_T принимается в долях m от суммарной нагрузки отопления и вентиляции жилых массивов (приложение 1). В этом примере эта доля принята $m = 0,5$ и соответственно

$$N_T = 0,5(N_{o \text{ жз}} + N_{\text{ГВС жз}}) = 0,5(174,6 + 21,8) = 98,2 \text{ МВт}.$$

1.2.4 Суммарная нагрузка

Для наглядности, сопоставительного анализа и удобства последующего использования результаты сведены в таблицу 3.

Летняя нагрузка горячего водоснабжения (будет использована при построении графика нагрузки по продолжительности – рисунок 3)

$$N_{\text{ГВС л}} = 0,9 \cdot N_{\text{ГВС}} = 0,9 \cdot 21,8 = 19,4 \text{ МВт.}$$

Таблица 3 – Расчетные нагрузки

Потребители	Нагрузка N , МВт				
	отопление	вентиляция	горячее водоснабжение	технология	Всего
Жилые здания	174,6	-	21,8	-	196,4
Общественные здания	16,6	8,2	-	-	24,8
Промышленные предприятия	21,0	13,8	-	98,2	133
Всего	212,2	22,0	21,8	98,2	354,2

Потери в тепловых сетях зимой и летом составляют, соответственно

$$N_{\text{пз}} = 0,05 \cdot 354,1 = 17,7 \text{ МВт}$$

$$N_{\text{пл}} = 0,025 \cdot 354,1 = 8,8 \text{ МВт}$$

Максимальная (расчетная зимняя) нагрузка

$$N_{\text{р}} = N_{\Sigma} + N_{\text{пз}} = 354,1 + 17,7 = 371,8 \text{ МВт}$$

1.2.5 График нагрузки по продолжительности

График строится для:

- 1) визуального анализа внутригодовой (сезонной) неравномерности тепловой нагрузки;
- 2) графического суммирования годового потребления тепла;
- 3) определения годовой продолжительности использования расчетной мощности потребления и производства тепла парогенераторами и его выдачи из теплофикационных отборов турбин при разных значениях коэффициента теплофикации α (оптимальное значение α определяется технико-экономическими расчетами и не входит в задачи данной работы);
- 4) визуальной логической проверки правильности расчетов.

Порядок построения графика (рисунок 3) таков. На листе миллиметровки (оптимальный размер – А4) наносятся оси координат с предварительным назначением (прикидкой) масштабов:

- на горизонтальной оси вправо – 8400 часов, влево – от $t_{\text{но}}$ до $t_{\text{в}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$;
- на вертикальной оси вверх – от нуля до $N_{\text{р}}$.

В левом верхнем квадранте строится график $N_{\text{о}}(t_{\text{н}})$:

1) на вертикальной оси откладывается $N_{\text{о}}$ при $t_{\text{но}}$ и соединяется прямой линией с $t_{\text{н}} = t_{\text{в}} = +18 \text{ }^\circ\text{C}$;

2) от точки $t_{\text{н}} = t_{\text{нв}}$ вверх откладывается расчетная мощность вентиляции, полученная точка соединяется с $t_{\text{н}} = +18 \text{ }^\circ\text{C}$ слева, а вправо проводится *горизонтальная линия* – т.е. *вентиляционная нагрузка при $t_{\text{н}} < t_{\text{нв}}$ остается постоянной*, что обеспечивается сокращением кратности вентиляции;

3) строится график суммарной нагрузки отопления и вентиляции: на вертикальной оси к $N_{\text{о}}$ прибавляется $N_{\text{в}}$, затем влево линия $N_{\text{о}} + N_{\text{в}}$, идет *параллельно линии $N_{\text{о}}$* до температуры $t_{\text{но}}$, а дальше линия идет в точку $t_{\text{н}} = +18 \text{ }^\circ\text{C}$. Отрезки всех трех линий в диапазоне $t_{\text{н}} = +(8 \div 18) \text{ }^\circ\text{C}$ используются лишь для построения графиков, поскольку отопление и вентиляция отключается при $t_{\text{н}} \geq +8 \text{ }^\circ\text{C}$;

4) в правом верхнем квадранте строится график продолжительности стояния отопительно-вентиляционной нагрузки ($N_{\text{о}} + N_{\text{в}}$) с использованием графика в левом верхнем квадранте – по пересечениям линий, соответствующих ряду значений $t_{\text{н}}$;

5) в правом верхнем квадранте к линии $N_{\text{о}} + N_{\text{в}}$ прибавляется $N_{\text{гвс}}$ (значение для зимы и лета *различны!*);

6) пристраивается линия тепловых потерь $N_{\text{п}}$, которые имеют *разные значения* зимой и летом;

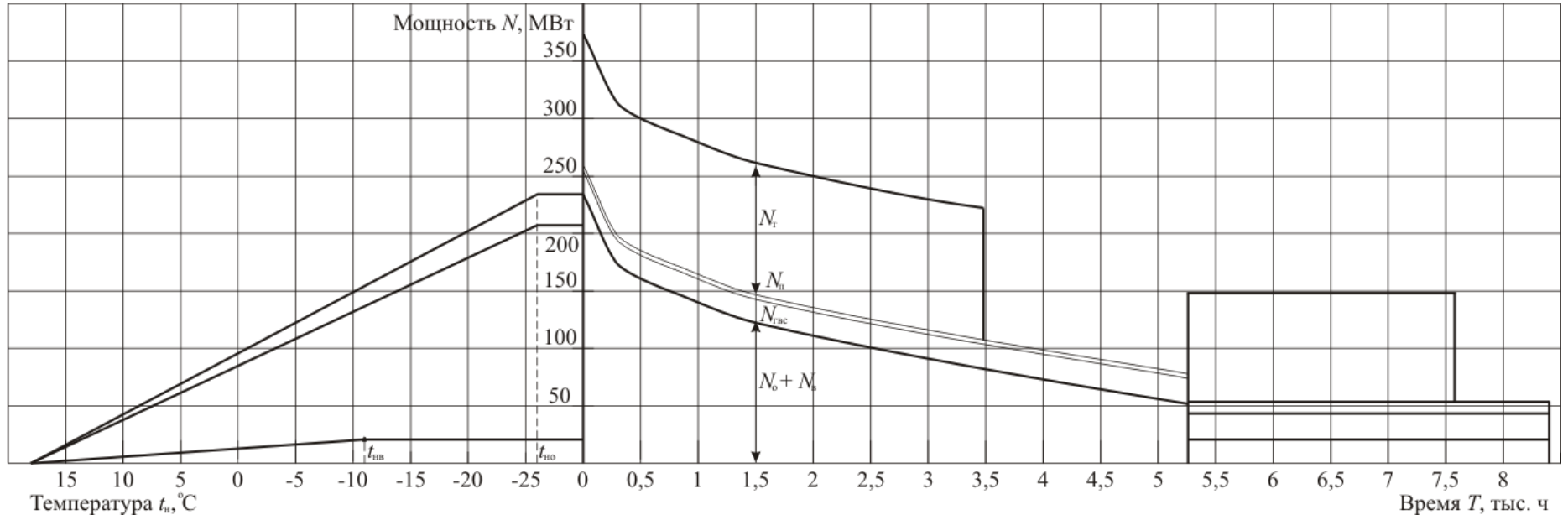


Рисунок 3 – Годовой график тепловой нагрузки по продолжительности $N_i(T_i)$

7) пристраивается линии N_T , поскольку в примере принята двухсменная работа – 16 часов в сутки, то N_T продолжается $\frac{16}{24} = 0,667$ зимнего и летнего периодов – в данном примере (таблица 1) это, соответственно, $0,667 \cdot 5240 = 3493$ ч и $0,667 \cdot (8760 - 5240) = 2348$ ч.

Огибающая линия представляет собой искомый график суммарного расхода теплоты или распределения необходимой мощности его генерации во времени $N(T)$.

1.2.6 Годовой расход тепла и его обеспечение за счет отборов турбин

Суммарное годовое потребление теплоты – это площадь под кривой, построенной в координатах N и T (верхний правый квадрант), определяется соответствующим измерением (подсчетом клеток миллиметровки с учетом принятого масштаба N и T) Q , МВт·ч. В данном примере $N_p = 371,8$ МВт, $Q = 1322000$ МВт·ч = 1322 ГВт·ч, $T_{и}=3557$ ч при $\alpha = 1$, т.е. при полном обеспечении потребления теплоты за счет регулируемых отборов турбин.

После этого проводятся горизонтальные линии, соответствующие заданным значениям коэффициента теплофикации – $N_i = N_p \alpha_i$, – и измеряются площади *ниже этих линий*. Затем определяются соответствующие значения продолжительности использования установленной мощности отборов турбин по формуле

$$T_{и} = \frac{Q}{N_i} \alpha_i.$$

Результаты сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Обеспечение потребления тепла за счет отборов турбин

Показатели	Коэффициент теплофикации α					
	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
Мощность отборов $N_{отб}$, МВт	371,6	297,4	260,2	223,0	185,8	148,7
Обеспечение потребления Q , ГВт·ч	1322	1315	1302	1260	1100	1000
	100%	99,5%	98,5%	95,3%	83,2%	75,6%
Годовая продолжительность использования мощности $T_{и}$, ч	3557	4422	5002	5650	5920	6720

Анализ таблицы показывает следующее:

1. При заданных климатических условиях (длительное стояние относительно высоких температур воздуха) и структуре потребителей теплоты (явно преобладают отопительная и технологическая нагрузка, где последняя заметно выравнивает годовой график, несмотря на двухсменное – а не непрерывное – производство) число часов использования расчетной мощности парогенераторов ТЭЦ (или отборов турбин при полном обеспечении от них потребления тепла – $\alpha = 1$) относительно высоко – $T_{\text{н}} > 3,5$ тыс. часов.

2. Без проведения экономических расчетов: определения соотношения капиталовложений и эксплуатационных расходов, т.е. структуры стоимости вырабатываемой тепловой и электрической энергии, соотношения этих показателей для вариантов комбинированного и отдельного тепло- и электро-снабжения (т.е. ТЭЦ или котельная и КЭС) – оптимальным значением коэффициента теплофикации представляется $\alpha = 0,6$, поскольку при этом достигается весьма высокое значение $T_{\text{н}}$ с обеспечением основной доли годового потребления тепла – $\geq 95\%$ – при выработке электроэнергии на ТЭЦ по теплофикационному, экономичному циклу.

3. Уменьшение α ниже 0,6 существенно снижает эту долю, хотя значение $T_{\text{н}}$ естественно, растет.

Следует подчеркнуть, что *оценки сделаны применительно к рассмотренному, конкретному (объектному) примеру, и в других условиях они могут быть качественно иными.*

Здесь действует очевидное *правило: чем более равномерен годовой график потребления теплоты (т.е. чем выше $T_{\text{н}}$ при $\alpha = 1$) и чем дороже топливо, тем выше оптимальное значение α , получаемое технико-экономическими расчетами, где критерий – минимум приведенных расчетных затрат или стоимости теплоты.*

1.2.7 Расчет коммунально-бытового потребления теплоты по укрупненным показателям

В таблице 5 даны укрупненные показатели (нормативы), рекомендованные для ориентировочных расчетов нагрузки коммунально-бытового теплоснабжения в условиях Сибири [1].

Для пересчета обоих показателей q и Q на другие климатические условия рекомендуется простейшая формула:

$$q_i = q \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{но}i}}{t_{\text{в}} - t_{\text{но}}} \quad (8)$$

Таблица 5 – Показатели коммунально-бытового потребления теплоты на одного жителя при $t_{\text{но}} = -35 \text{ }^\circ\text{C}$

Статьи расхода	Расчетная мощность q , кВт	Годовое потребление Q , МВт·ч
Отопление и вентиляция жилья	1,44	3,86
Отопление и вентиляция общественных зданий	0,35	0,95
Горячее водоснабжение	0,32	2,27
Бани	0,03	0,18
Прачечные	0,07	0,34
Предприятия общественного питания	0,18	0,33
Итого	2,39	7,93

Множитель пересчета для $t_{\text{но}} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ равен $\frac{18 + 26}{18 + 35} = 0,83$ и, соответственно $q = 0,83 \cdot 2,39 = 2,13$ кВт, $Q_i = 0,83 \cdot 7,93 = 6,58$ МВт·ч.

Суммирование показателей первой и второй строк правого столбца в таблице 3 дает 221 МВт, или на 1 человека (население $n = 90000$ чел.) $q_i = 2,5$ кВт, что относительно близко к результатам укрупненного расчета.

Если из суммарного годового потребления (вторая строка первого значащего столбика таблицы 4) вычесть потребление промышленных предприятий, то получится

$$1322000[\text{МВт}\cdot\text{ч}] - 98,2 [\text{МВт}](3493 + 2348) [\text{ч}] = 748414 \text{ МВт}\cdot\text{ч},$$

или на 1 человека $Q_i = 8,31$ МВт·ч – это существенно больше, чем по укрупненным расчетам.

В [1] имеются значения расчетных величин для условий средней полосы Ев-

ропейской России и северной части Средней Азии ($t_{\text{но}} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$, т.е. совсем близко к $t_{\text{но}i} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$) – $q = 2,19 \text{ кВт}$ и $Q = 6,89 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ – при пересчете на $t_{\text{но}} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ получается $q_i = 2,24 \text{ кВт}$ и $Q_i = 7,05 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$.

Общий вывод из этого сопоставления такой: для коммунально-бытовых потребителей расчет максимальной мощности теплоснабжения по укрупненным показателям дает результат, относительно близкий к результату подробного расчета, а результаты расчетов годового потребления теплоты сильно расходятся. Возможная причина последнего – существенно разное распределение значений $t_{\text{н}i}(T)$ для разных пунктов с достаточно близкими значениями $t_{\text{но}i}$. В этом плане более логично в формуле 8 использовать для пересчета Q значения не $t_{\text{но}}$, а средние значения $t_{\text{н}}$ за отопительный период (правый столбик таблицы 1), но в таблице 5 это значение $t_{\text{н}}$ отсутствует.

Для прикидочных экспресс-оценок без выполнения расчетов *целесообразно запомнить* такие ориентировочные показатели коммунально-бытового теплоснабжения на 1 человека в условиях средней полосы Сибири: максимальная расчетная мощность $q \leq 2,5 \text{ кВт}$ (при мощности электропотребления $q_{\text{э}} < 1 \text{ кВт}$), годовое потребление $Q \leq 8 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$, продолжительность использования мощности $T_{\text{н}} \leq 3500 \text{ ч/год}$.

Как видно из результатов расчета (таблица 3 и рисунок 3) и укрупненных показателей (таблица 5), *основная составляющая коммунально-бытовых нагрузок – это отопление*. При этом очевидно, что чем ниже температура воздуха, тем больше расход теплоты на отопление по сравнению с нагрузкой горячего водоснабжения, которая принималась постоянной в течение суток и недели и изменялась лишь при переходе от зимы к лету. Ниже, в части 2 дается пример более детального расчета этих двух нагрузок – применительно к жилому дому с учетом обоих видов неравномерности горячего водоснабжения. Климатические условия принимаются те же, что и в выполненных выше расчетах (для удобства эти условия повторяются в формулировке задачи).

Как сказано выше, в различных индивидуальных заданиях предложены разные варианты технологической нагрузки – одно-, двух- и трехсменная работа промышленных предприятий с пятидневной (первый вариант) и семидневной (непре-

рывной) рабочей неделей (второй и третий варианты). Очевидно, что в третьем варианте годовой график получается более плотным, более равномерным, т.е. продолжительность использования установленной мощности $T_{и}$ имеет при прочих равных условиях большее значение, чем во втором варианте, а во втором $T_{и}$ больше, чем в первом.

Для оценки влияния технологической нагрузки *выполнить расчет $T_{и}$, исключив технологическую нагрузку:*

1) в последнем, правом столбце таблицы 3 суммировать числа столбцов 1, 2 и 3 (без столбца 4);

2) потери в тепловых сетях (под таблицей 4) рассчитывать в процентах от нового значения суммарной мощности в нижней строке правого столбца таблицы 3;

3) затем провести расчеты новых показателей таблицы 4, проводя измерение площадей под кривой графика *коммунально-бытовой* нагрузки, который будет несколько ниже соответствующей кривой (второй сверху) за счет уменьшения тепловых потерь.

Сопоставить значения $T_{и}$ с полученными при учете технологической нагрузки и дать краткий вывод.

Здесь нужно указать на существенное упрощение (допущение), принятое для прерывистой работы предприятия (одно- и двухсменный график, наличие выходных дней) при построении графика нагрузки по продолжительности на рисунке 3. В рассмотренном примере двухсменной работы вся площадь, соответствующая расходу теплоты на технологические нужды, и для зимы, и для лета дана едиными массивами и смещена влево, хотя при постоянных, одинаковых для зимы и лета значениях N_T площадь нужно представить в виде множества полос, равномерно распределенных вдоль оси $t_{и}$. Чем больше полос, т.е. чем каждая из них уже, тем точнее получатся значения $T_{и}$. Кроме того, в рассмотренном примере двухсменной работы не учтены выходные дни, когда отсутствует технологическая нагрузка и, вероятно, целесообразно хотя бы частичное отключение отопления и вентиляции.

Следует добавить, что технологическая нагрузка чаще всего обеспечивается за счет пара, а графики $N(t_{и})$ и $N(T)$ строятся лишь для коммунально-бытовой нагрузки.

1.2.8 График температуры и расхода воды на отопление

Возможны два метода регулирования отпуска теплоты – изменением температуры воды при постоянном расходе и изменением расхода воды при постоянной температуре – их называют, соответственно, качественным и количественным регулированием. Оба метода имеют особенности, и их выбор ведется в зависимости от конкретных условий.

Первый способ явно предпочтителен при централизованном теплоснабжении и централизованном регулировании отпуска тепла, когда доминирует сезонная отопительная и вентиляционная нагрузка, которая определяется температурой наружного воздуха t_n . Постоянство расхода воды при этом (внутрисуточная неравномерность нагрузки горячего водоснабжения здесь не рассматривается) обеспечивает стабильность гидравлического режима тепловой сети и отопительно-вентиляционных систем у потребителей, т.е. постоянное подрегулирование абонентских вводов в отличие от количественного регулирования не требуется. Применяется также комбинированное регулирование – изменением температуры сетевой воды в прямой трубе t_{c1} в зависимости от t_n и дискретным изменением расхода воды у абонентов (регулирование пропусками) при постоянном или переменном значении t_n (эти методы подробно рассмотрены и сопоставлены в лекционном курсе и в [1]).

При расчете вентиляционной нагрузки N_v , и построении графика $N_v(t_n)$, а затем графика суммарной отопительно-вентиляционной нагрузки на рисунке 3 для обеспечения постоянного значения N_v в диапазон значений t_n ниже расчетной температуры $t_{нв}$ рассмотрено регулирование снижением кратности вентиляции – либо при постоянном, но уменьшенном расходе воздуха, либо двухпозиционное регулирование при периодическом кратковременном полном отключении вентиляции (регулировании пропусками, но не воды в тепловой сети или в калорифере, а воздуха в калорифере – отключении вентилятора).

На рисунке 4 показано построение графиков температуры и расхода сетевой воды на отопление при закрытом водоразборе.

Температурный график строится так. Точка с абсциссой $t_{\text{н}} = t_{\text{но}} = -26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (на рис. $t_{\text{но}} = -25 \text{ }^{\circ}\text{C}$) и ординатой $t_{\text{с1}} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ прямой линией соединяется с точкой $t_{\text{с1}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{н}} = t_{\text{в}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$; точка с абсциссой $t_{\text{н}} = -25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и ординатой $t_{\text{с2}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – с точкой $t_{\text{с1}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{н}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – получаются, соответственно, графики температур воды в прямой и обратной магистралях – $t_{\text{с1}}$ и $t_{\text{с2}}$.

На линии $t_{\text{с1}}$ делается горизонтальная срезка при $t_{\text{с1}} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (на рисунке 4 срезка сделана при $t_{\text{с1}} = 63 \text{ }^{\circ}\text{C}$) для того, чтобы можно было обеспечить температуру горячей воды не ниже $t_{\text{гв}} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$; перепад $\Delta t = t_{\text{с1}} - t_{\text{гв}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ принят для водо-водяного подогревателя.

График температуры в прямой трубе $t_{\text{с1}}(t_{\text{н}})$ обычно находится на рабочем месте персонала, обслуживающего подогреватели сетевой воды – по этому графику ведется регулирование отпуска теплоты или отслеживание, если регулирование осуществляется автоматически. Температура обратной воды $t_{\text{с2}}$, приходящей от потребителя, естественно, не регулируется и лишь отслеживается как один из параметров для оценки работы системы теплоснабжения. Существенные отклонения $t_{\text{с2}}$ от графика $t_{\text{с2}}(t_{\text{н}})$ свидетельствуют о нарушении режима. Так, рост $t_{\text{с2}}$ может иметь причиной «перетоп» зданий, увеличение циркуляции воды в системе, разверку гидравлического режима системы и т.п.

Оба графика $t_{\text{с1}}$ и $t_{\text{с2}}$ могут иметь некоторый выгиб вверх для учета зависимости коэффициента теплоотдачи отопительных приборов (это относится к обычным радиаторам) от разности температур воды и воздуха: чем больше эта разность (т.е. чем выше $t_{\text{с1}}$, тем больше коэффициент теплоотдачи). Кроме того, в закрытых системах горячего водоснабжения $t_{\text{с1}}$ поддерживается несколько выше $t_{\text{с2}}(t_{\text{н}})$, поскольку хотя бы некоторая часть воды из прямой трубы идет в теплообменники на догрев водопроводной воды (схемы присоединения независимого горячего водоснабжения к тепловым сетям рассмотрены в [1] и даются в лекционном курсе).

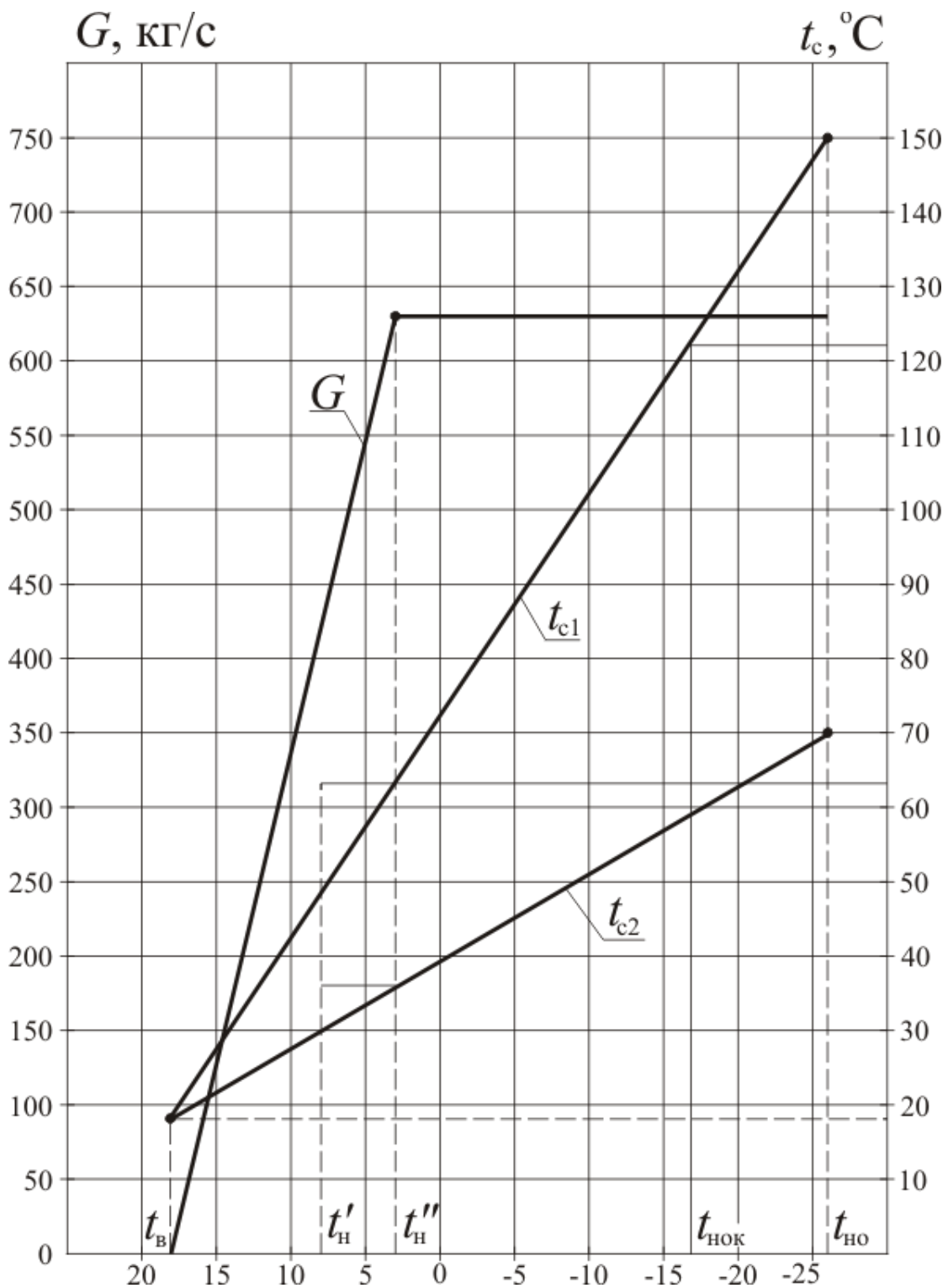


Рисунок 4 – Расход на отопление G и температура воды в тепловой сети t_c в зависимости от температуры наружного воздуха t_n

В зоне качественно регулирования (т.е. при $t_n > t_n > t_{HO}$) расход воды на отопление G_o постоянен:

$$G_o = \frac{N_o}{c_1 t_{c1} - c_2 t_{c2}}, \text{ кг/с.} \quad (9)$$

Здесь N_0 – максимальная нагрузка отопления.

c_1 и c_2 – теплоемкость воды, соответственно, при $t_{c1} = 150$ °С и $t_{c2} = 70$ °С – из приложения 6: 4,813 и 4,187 кДж/(кг·К).

В таблице 3, нижняя строка, второй столбец – 212,2 МВт; если потери в тепловых сетях разложить по видам нагрузок, то на долю отопления придется

$$N_{\text{об}} = \frac{N_0}{N} = 17,7 \frac{212,2}{353,9} = 10,6 \text{ МВт.}$$

Тогда $N_0 = 212,2 + 10,6 = 222,8$ МВт.

$$G_0 = \frac{222,8 [\text{МДж/с}]}{(4,313 \cdot 150 - 4,187 \cdot 70) [\text{кДж/кг}] \cdot 10^{-3} [\text{МДж/кДж}]} = 630 \text{ кг/с.}$$

В зоне количественного регулирования ($t'_n > t_n > t''_n$) средний расход воды уменьшается по мере роста t_n и может быть определен из пропорции:

$$\frac{G_{t_n}}{G_0} = \frac{t_{c1n} - t_{c2n}}{t_{c1n} - t_{c2n}}, \quad (10)$$

где теплоемкость воды при $t_c \leq 60$ °С принята постоянной (судя по данным приложения 6, это вполне допустимо).

Очевидно, что $G_0 = 0$ при $t_{c1n} = t_{c2n}$, т.е. при $t_n = t_b$. При графическом определении G_0 следует на рисунке 4 соединить прямой линией точки с координатами t'_n , G_0 и $t_n = t_b$, $G = 0$.

1.2.9 Максимальное значение коэффициента теплофикации при заданном давлении регулируемого отбора пара

Температуру насыщения (конденсации) пара t в зависимости от его давления p можно определять по таблице или по h,s -диаграмме водяного пара – при $p = 0,25$ МПа получается $t = 128$ °С.

Линейная интерполяция по приложению 6 дает такой результат:

$$p = 0,27 \text{ МПа} \quad t = 130 \text{ °С};$$

$$p = 0,14 \text{ МПа} \quad t = 110 \text{ °С};$$

$$p = 0,25 \text{ МПа} \quad t = 130 - \frac{130 - 110}{0,27 - 0,14} (0,27 - 0,25) = 127 \text{ °С.}$$

Как видно, такая интерполяция вполне допустима. Если принять разность температур конденсирующегося пара и сетевой воды на выходе из подогревателя

первой ступени $\Delta t = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, то получится $t_{c1} = 122 \text{ }^\circ\text{C}$ – на графике рисунка 4 этому соответствуют температуры обратной воды $t_{c2} = 58 \text{ }^\circ\text{C}$ и наружного воздуха $t_{на} = -17 \text{ }^\circ\text{C}$. Отсюда можно определить максимальную долю суммарной расчетной нагрузки теплоснабжения, которая может быть обеспечена за счет регулируемого (теплофикационного) отбора (коэффициент теплофикации) по соотношению температур нагрева воды в первой ступени и полного расчетного нагрева (здесь теплоемкость воды принята не зависящей от температуры в диапазоне $57 \leq t \leq 150 \text{ }^\circ\text{C}$):

$$\alpha_{\max} = \frac{122 - 58}{150 - 70} = 0,80 .$$

Правильность расчета можно проверить по соотношению соответствующих разностей температур внутреннего и наружного воздуха:

$$\alpha_{\max} = \frac{18 - t_{на}}{18 - t_{но}} = \frac{18 + 17}{18 + 26} = 0,795 .$$

Продолжительность использования установленной теплофикационной мощности ТЭЦ при α_{\max} может быть определена по графику рисунка 3 так же, как это сделано выше для заданных значений α :

$$T_{\text{и max}} = \frac{W_{\max}}{\alpha_{\max} N_{\max}} ,$$

где W_{\max} и N_{\max} – соответственно, отпуск теплоты за счет теплофикационных отборов пара и мощность этих отборов.

В данном примере значение α_{\max} совпало с одним из значений α_i , перечисленных в задании.

Оптимальное значение, $\alpha_{\text{опт}}$, как отмечено выше, определяется технико-экономическим расчетом – оно соответствует минимальной стоимости требуемого количества отпускаемой энергии ТЭЦ, т.е. теплоты и электричества. Очевидно, что при увеличении α растут капиталовложения (в турбогенератор) и снижаются эксплуатационные расходы (уменьшение количества пара в конденсатор, т.е. рост КПД и снижение расхода топлива). *Целесообразно повторить: чем дешевле используемое топливо, тем меньше экономия от увеличения эффективности его использования, т.е. меньше $\alpha_{\text{опт}}$.*

2 Расчет теплопотребления для здания с учетом неравномерности горячего водоразбора

2.1 Задание

Определить расчетные и годовые расходы теплоты на отопление и горячее водоснабжение семиэтажного жилого здания ($d = 7$) индивидуальной постройки длиной, шириной и высотой, соответственно, $l_1 = 100$, $l_2 = 20$ и $l_3 = 20$ м. Коэффициент остекления $\varphi = 0,2$. Коэффициенты теплопередачи через стены, окна, пол и кровлю (потолок), соответственно, $k_c = 1,20$, $k_o = 3,21$, $k_{\Pi} = 0,75$ и $k_k = 0,85$ Вт/м²·град. Коэффициенты снижения расчетной разности температур для пола и кровли $\beta_{\Pi} = 0,6$ и $\beta_k = 0,8$. Так же, как в части 1, расчетная температура для отопления наружного и внутреннего воздуха $t_{\text{нo}} = -26$ °С, $t_{\text{в}} = +18$ °С, средняя температура наружного воздуха и годовая продолжительность отопительного периода $t_{\text{нoср}} = -3,1$ °С и $n_o = 240$ суток, годовая продолжительность работы тепловой сети $n = 8400$ часов.

Обеспеченность общей жилой площадью принять $f = 20$ м²/чел., средне-недельный расход горячей воды $g = 100$ кг/(чел. сут.), температура горячей воды $t_{\text{г}} = 55$ °С, температура холодной воды зимой и летом, соответственно, $t_{\text{хз}} = 5$ °С и $t_{\text{хл}} = 10$ °С.

Коэффициенты недельной неравномерности и суточной неравномерности за сутки максимального горячего водоразбора, соответственно, $\chi_{\text{н}} = 1,2$ и $\chi_{\text{с}} = 1,83$ [1].

2.2 Решение

1. Поверхности стен, окон, пола и кровли

$$F_c = (l_1 + l_2) \cdot 2 \cdot l_3 \cdot (1 - \varphi) = (100 + 20) \cdot 2 \cdot 20 \cdot (1 - 0,2) = 3840 \text{ м}^2;$$

$$F_o = (l_1 + l_2) \cdot 2 \cdot l_3 \cdot \varphi = (100 + 20) \cdot 2 \cdot 20 \cdot 0,2 = 960 \text{ м}^2;$$

$$F_{\Pi} = F_k = l_1 \cdot l_2 = 100 \cdot 20 = 2000 \text{ м}^2.$$

2. Расчетные (максимальные) теплопотери через ограждения, или расчетный расход теплоты на отопление:

$$Q_{\text{оп}} = (t_{\text{в}} - t_{\text{нр}}) \sum k_i \cdot F_i \cdot \beta_i = (18 + 26) \cdot (1,20 \cdot 3840 + 3,21 \cdot 960 + 0,75 \cdot 2000 \cdot 0,6 +$$

$$+ 0,85 \cdot 2000 \cdot 0,8) = 44 \cdot (4608 + 3082 + 900 + 1360) = 437250 \text{ Вт} = 437 \text{ кВт.}$$

Как здесь видно, основные потери тепла получаются через стены, но потери через остекления тоже весьма велики, хотя их площадь составляет лишь 20% от площади стен. При этом остекления, в отличие от стен, практически не обладают тепловой инерцией, так что при перебоих с отоплением именно они определяют темп выстывания помещений.

3. Годовой расход тепла на отопление:

$$Q_o = Q_{op} \frac{t_B - t_{noc}}{t_B - t_{HO}} n, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (11)$$

$$Q_o = Q_{op} \frac{t_B - t_{noc}}{t_B - t_{HO}} n = 437 \frac{18 + 3,1}{18 + 26} 240 \cdot 24 = 1207764 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1,208 \text{ ГВт} \cdot \text{ч}.$$

4. Число жителей здания:

$$m = \frac{F_n d}{f}, \text{ чел.}, \quad (12)$$

$$m = \frac{F_n d}{f} = \frac{2000 \cdot 7}{20} = 700 \text{ чел.}$$

5. Теплопотребление горячего водоснабжения зимой

$$\text{- средненедельное: } Q_{ГСН} = \frac{g \cdot m \cdot c \cdot (t_r - t_x)}{\tau} =$$

$$= \frac{100 \text{ [кг/ (чел.} \cdot \text{сут.)]} \cdot 700 \text{ [чел.]} \cdot 4,174 \text{ [кДж/ (кг} \cdot \text{К)]} \cdot (55 - 5) \cdot [^\circ\text{C}]}{3600 \text{ [с/ч]} \cdot 24 \text{ [ч/сут.]}} = 169,2 \text{ кВт.}$$

- среднее за сутки максимального потребления

$$Q_{ГСС} = \chi_n \cdot Q_{ГСН}, \quad (13)$$

$$Q_{ГСС} = \chi_n \cdot Q_{ГСН} = 1,2 \cdot 169,2 = 203 \text{ кВт.}$$

- максимальное расчетное

$$Q_{ГМ} = \chi_c \cdot Q_{ГСС}, \quad (14)$$

$$Q_{ГМ} = \chi_c \cdot Q_{ГСС} = 1,83 \cdot 203 = 371,5 \text{ кВт.}$$

6. То же, что и 5, летом

$$Q_{ГСНЛ} = Q_{ГСН} \frac{t_r - t_{ХЛ}}{t_r - t_x}, \text{ кВт}, \quad (15)$$

$$Q_{\text{ГСНЛ}} = Q_{\text{ГСН}} \frac{t_{\text{Г}} - t_{\text{ХЛ}}}{t_{\text{Г}} - t_{\text{Х}}} = 169,2 \frac{55 - 10}{55 - 5} = 152,3 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ГССЛ}} = \chi_{\text{Н}} \cdot Q_{\text{ГСНЛ}}, \quad (16)$$

$$Q_{\text{ГССЛ}} = \chi_{\text{Н}} \cdot Q_{\text{ГСНЛ}} = 1,2 \cdot 152,3 = 182,7 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{ГМЛ}} = \chi_{\text{С}} \cdot Q_{\text{ГССЛ}}, \quad (17)$$

$$Q_{\text{ГМЛ}} = \chi_{\text{С}} \cdot Q_{\text{ГССЛ}} = 1,83 \cdot 182,7 = 334,3 \text{ кВт.}$$

7. Годовой расход тепла на горячее водоснабжение, равный сумме зимнего и летнего расходов

$$Q_{\text{Г}} = Q_{\text{ГСН}} \cdot n_{\text{о}} + Q_{\text{ГСНЛ}}(n - n_{\text{о}}), \quad (18)$$

$$Q_{\text{Г}} = Q_{\text{ГСН}} \cdot n_{\text{о}} + Q_{\text{ГСНЛ}}(n - n_{\text{о}}) = 169,2 \cdot 24 \cdot 240 + 152,3 \cdot (8400 - 24 \cdot 240) = 1,38 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1,38 \text{ ГВт} \cdot \text{ч.}$$

8. Суммарный годовой расход тепла:

$$Q = Q_{\text{о}} + Q_{\text{Г}}, \quad (19)$$

$$Q = Q_{\text{о}} + Q_{\text{Г}} = 1,21 + 1,38 = 2,59 \text{ ГВт} \cdot \text{ч.}$$

Как видно, годовой расход тепла на горячее водоснабжение здесь даже превышает расход на отопление и составляет 53% от суммарного.

9. Годовые расходы тепла на одного человека $q_i = \frac{Q_i}{m}$ составляют

$$q_{\text{о}} = 1,73; q_{\text{Г}} = 1,91; q = 3,7 \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

10. Максимальный (расчетный) расход тепла на одного человека:

$$q_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{m} + \frac{Q_{\text{ГМ}}}{m}, \text{ кВт}, \quad (20)$$

$$q_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{m} + \frac{Q_{\text{ГМ}}}{m} = \frac{437}{700} + \frac{371,5}{700} = 0,62 + 0,53 = 1,15 \text{ кВт},$$

или для $t_{\text{НО}} = -35 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$q_{\text{р}} = 0,62 \frac{18 + 35}{18 + 26} + 0,53 = 0,75 + 0,53 = 1,28 \text{ кВт.} \quad (21)$$

Если суммировать относящиеся к жилью удельные показатели, приведенные в таблице 5 (столбец 1, строки 1 и 3), получится:

$$q = 1,44 + 0,32 = 1,76 \text{ кВт.}$$

Как видно, *детальный расчет расхода тепла на 1 жителя рассмотренного дома дает результат, существенно превышающий норматив в части горячего водоснабжения, а в части отопления – наоборот.* Это представляется вполне логичным: современные дома (в том числе и особенно – индивидуальной постройки) имеют улучшенные теплозащитные свойства, а учет неравномерности горячего водоразбора (при отсутствии соответствующих баков-аккумуляторов и обеспечении отсутствия пульсации расхода воды в отопительных приборах) существенно увеличивает требуемую (расчетную) мощность для его обеспечения.

3 Гидравлический расчет радиальной разветвленной водяной двух-трубной тепловой сети

3.1 Задание

Определить для приведенной расчетной схемы (рисунок 5):

1) расходы воды G_i на участках при заданных тепловых нагрузках Q_i у потребителей и заданной расчетной температуре прямой воды t_n и температуре обратной воды t_o ;

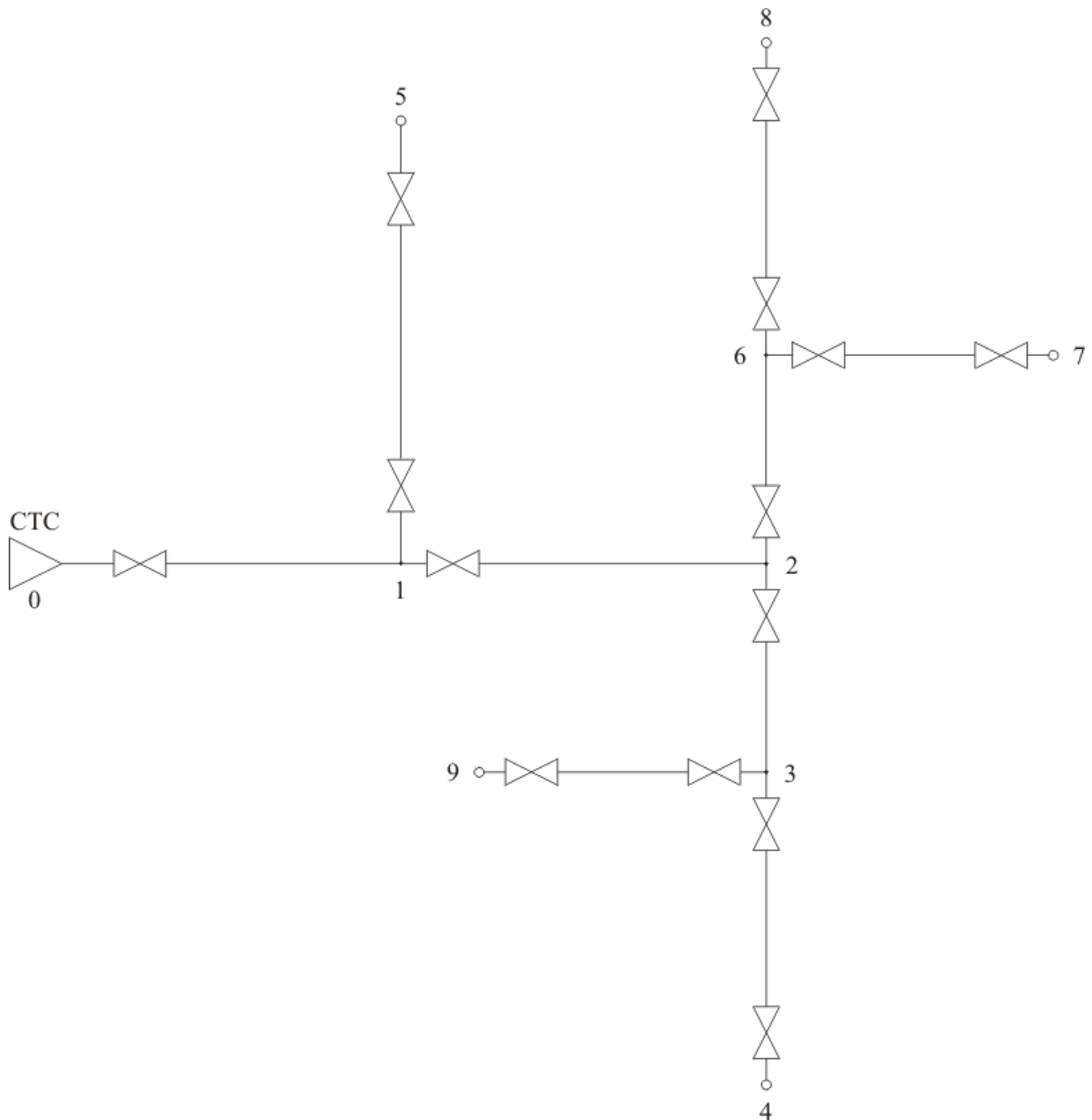


Рисунок 5 – Расчетная схема тепловой сети

2) диаметры трубопроводов d_j на участках;

3) падения давления δP_i (потери напора δH_j) на участках с построением пьезометрического графика $H(l)$.

Кроме указанных на схеме задвижек, в среднем на каждые 200 м установлено по одному сальниковому компенсатору и одному сварному трехшовному колену.

Потери напора в сетевых подогревателях и внутренних коммуникациях источника (станции теплоснабжения – СТС – в качестве которой может выступать рассмотренная ТЭЦ, или паровая котельная).

$\delta H_{\text{СТС}} = 12$ м, потери напора на абонентских вводах у потребителей (элеваторы-смесители при зависимой схеме присоединения отопления, регуляторы и т.п.) $\delta H_a = 20$ м, напор в обратном трубопроводе перед насосами СТС (подпор) $H_o = 20$ м вод. ст., высота зданий у абонентов $H_a \leq 25$ м.

Суммарную расчетную нагрузку принять равной сумме нагрузок отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий – правый столбец таблицы 3 в части 1. В рассмотренном примере это $196,4 + 24,8 = 221$ МВт; ниже для упрощения примера $N_{\Sigma} = 200$ МВт.

Нагрузку потребителей на концах ответвлений сети принять в долях от суммарной, как это представлено в таблице 6. Длины участков принять по таблице 7.

Таблица 6 – Расчетная нагрузка потребителей N_i

Номера потребителей	4	5	7	8	9	Σ
N_i %	25	30	20	10	15	100
МВт	50	60	40	20	30	200

Таблица 7 – Длина участков l_j

Номера точек	0-1	1-2	2-3	3-4	3-9	2-6	6-7	6-8	1-5	Σ
l_i , км	4	3	2	2	3	3	2	1	3	23

Расчетная температура воды в подающем трубопроводе t_n указана в задании, в обратном трубопроводе $t_o = 70$ °С.

3.2 Расчет

1) расход сетевой воды у потребителей:

$$G_i = \frac{Q_i [\text{МВт}] \cdot 10^3 [\text{кВт/МВт}]}{c_{\text{п}} t_{\text{п}} - c_{\text{о}} t_{\text{о}} [\text{кДж/кг}]} = \frac{10^3 Q_i}{h_{\text{п}} - h_{\text{о}}}, \text{ кг/с}, \quad (22)$$

где $c_{\text{п}} t_{\text{п}} = h_{\text{п}}$, $c_{\text{о}} t_{\text{о}} = h_{\text{о}}$ – соответственно, теплоемкость, температура и теплосодержание воды в прямой и обратной трубе; значения $h_{\text{п}}$ и $h_{\text{о}}$, берутся из приложения 6.

Для потребителя 5:

$$G_5 = \frac{60 \cdot 10^3}{632,5 - 293} = 176,7 \text{ кг/с}.$$

Для остальных потребителей расчеты аналогичны; результаты сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Расход воды G_i у потребителей

Номер потребителя i	4	5	7	8	9	Σ
G_i , кг/с	147,4	176,7	118,0	59,0	88,4	589,5

Расход воды на участках магистрали определяется соответствующим нарастающим суммированием.

Результаты заносятся в сводную расчетную таблицу 9 (столбец 2), которая заполняется по мере выполнения дальнейших расчетов с использованием результатов предыдущих. Как видно, расход на участке 0-1 при суммировании расходов на участках получился несколько отличным от полученного выше при суммировании расходов у потребителей, $\frac{589,5 - 589,2}{589,5} \approx 0,0006 \approx 0,06\%$ – это

неразличимо (подобные, балансовые проверки целесообразно делать в любых расчетах, чтобы в их процессе сразу выявлять возможные ошибки).

2) диаметры трубопроводов и падения напора

2.1) **участки магистрали.** В качестве магистрали берут сумму участков от СТС до *самого удаленного потребителя*; если имеются равноудаленные, то берут тот, у которого расход *наибольший* среди них. Здесь самый удаленный – потребитель 9; соответственно, *магистраль* – это цепочка участков 0-1, 1-2, 2-3, 3-9.

Удельные линейные потери давления в магистрали обычно принимаются

$R = 60-80$ Па/м = 6-8 мм вод. ст./м. Определяется диаметр трубопровода на участке 0-1 по номограмме приложения 7 (коэффициент шероховатости $k_s = 0,5$ мм) для $G_{01} = 590$ кг/с. Для $R = 60-80$ Па/м ближайший больший диаметр – $d = 612$ мм при $R = 62$ Па/м. При уменьшении R увеличивается диаметр трубопровода – тем самым растет стоимость строительства (капиталовложения) и уменьшаются затраты на транспорт воды (эксплуатационные расходы); при этом возрастает гидравлическая устойчивость системы, облегчается наладка отопительных систем у потребителей.

По таблице местных сопротивлений приложения 8 определяются их эквивалентные длины для участка 0-1.

По условию, там имеются 1 задвижка, 20 сальниковых компенсаторов и сварных трехшовных колен – их эквивалентные длины для $d = 612$ мм составляют

$$l_3 = 9,94 + 20(9,99 + 19,9) = 606,4 \text{ м.}$$

Приведенная длина участка

$$l_{\text{п}} = l + l_3, \quad (23)$$

$$l_{\text{п}} = l + l_3 = 4000 + 606 = 4606 \text{ м.}$$

Действительное падение давления на участке 0-1 в одном направлении

$$\delta P = R_{\text{л}} \cdot l_{\text{п}}, \quad (24)$$

$$\delta P = R_{\text{л}} \cdot l_{\text{п}} = 62 \cdot 4606 = 285572 \text{ Па.}$$

или потеря напора

$$\delta H = \frac{\delta P}{\rho g}, \text{ м вод. ст.} \quad (25)$$

Здесь $\rho_{\text{п}} = 917$ кг/м³, $\rho_0 = 977,8$ кг/м³, $\rho_{\text{ср}} = 947$ кг/м³

$$\delta H = \frac{285572}{947 \cdot 9,81} = 30,7 \text{ м вод. ст.}$$

Если требуется повышенная точность, расчеты δH ведутся отдельно для прямого и обратного трубопровода, т.е. без усреднения ρ .

Подобным образом рассчитываются все остальные участки магистрали. Отличием их от участка 0-1 будет наличие местных сопротивлений тройников в

начале каждого участка. Определяя их эквивалентную длину по таблице приложения 8, следует учесть, что имеются четыре возможных случая (все они есть на картинках) прохода потока, и выбрать подходящий.

Например, на участках 1-2, 2-3 и 3-9 это проход тройника при разделении потока. Если схема потоков отличается от изображенных, следует руководствоваться здравым смыслом и брать наиболее близкий случай.

Участок 1-2: $d = 514$ мм; $R = 75$ Па/м;

$$l_3 = 1,66 + 7,95 + (7,95 + 15,9) \cdot 15 = 367 \text{ м.}$$

Участок 2-3: $d = 408$ мм; $R = 85$ Па/м;

$$l_3 = 10,9 + 5,94 + (5,94 + 11,9) \cdot 10 = 195 \text{ м.}$$

Участок 3-9: $d = 309$ мм; $R = 53$ Па/м;

$$l_3 = 7,42 + 4,34 + (4,2 + 8,4) \cdot 15 = 201 \text{ м.}$$

В столбце 13 таблицы 9 подсчитано падение напора вдоль всей магистрали соответствующим суммированием падений напора на участках (столбец 12).

2.2) *ответвления. Принципиальная особенность* алгоритма расчета ответвлений состоит в следующем. Если при расчете магистрали сразу, за один такт окончательно определялись d и R по номограмме (d – ближайшее большее стандартное значение при значении R вблизи 70 Па/м), то здесь для каждого ответвления уже *имеется располагаемая потеря напора*, которую нужно как можно полнее сработать – это разность между полной потерей в магистрали и потерей напора до точки ответвления. Иными словами, в ответвлении может сработаться напор, равный срабатываемому (оставшемуся) в магистрали *после* точки ответвления. Поскольку в расчетах приходится принимать стандартный диаметр, то абсолютное равенство этих потерь не получится, так что придется срабатывать *напор*, обычно несколько *меньше располагаемого*, т.е. принимать *ближайший больший диаметр* (избыток напора будет сработан в элеваторном узле потребителя, чтобы у него не получился расход воды больше расчетного). При этом удельные линейные потери давления R на ответвлениях практически всегда получаются больше (а зачастую существенно больше), чем в магистрали.

Участок 1-5

$$\delta H = 96,3 - 30,7 = 65,6 \text{ м};$$

$$\delta P = 609429 \text{ Па.}$$

Для предварительных расчетов принимаем $l_{\text{п}}/l = 1,1$, что примерно соответствует результатам расчетов участков магистрали (сравнение столбцов 3 и 10).

$$l_{\text{п}} = 3000 \cdot 1,1 = 3300 \text{ м},$$

$$R = \frac{\delta P}{l_{\text{п}}}, \text{ Па/м}, \quad (26)$$

$$R = \frac{\delta P}{l_{\text{п}}} = \frac{609429}{3300} = 185 \text{ Па/м.}$$

По номограмме для $G = 177 \text{ кг/с}$ определяются ближайший больший диаметр $d = 359 \text{ мм}$ и $R = 95 \text{ Па/м}$. Местные сопротивления – 1 тройник, 2 задвижки, 15 сальниковых компенсаторов и колен:

$$l_{\text{э}} = 70 \text{ (перекрестная интерполяция)} + 2 \cdot 5,1 \text{ (горизонтальная интерполяция)} + 15(5 + 14) = 365 \text{ м};$$

$$l_{\text{п}} = 3000 + 365 = 3365 \text{ м};$$

$$\delta P = 95 \cdot 3365 = 319675 \text{ Па};$$

$$\delta H = \frac{319675}{9290} = 34,4 \text{ м.}$$

Участок 2-6

Помеченный в расчетной (сводной) таблице, этот участок особый: поскольку в его конце, точке 6, имеются *ответвления второго порядка* (т.е. ответвления от ответвления), то его нужно рассчитывать по алгоритму *магистрали*.

По номограмме $d = 359 \text{ мм}$, $R = 90 \text{ Па/м}$; 1 тройник, 1 задвижка, 15 компенсаторов и колен – $l_{\text{э}} = 25 + 5,1 + 15(5 + 14) = 315 \text{ м}$;

$$l_{\text{п}} = 3315 \text{ м};$$

$$\delta P = 90 \cdot 3315 = 298350 \text{ Па};$$

$$\delta H = 32,1 \text{ м.}$$

Участок 6-8

Располагаемый напор – разность располагаемого напора в точке 2 и потерь на участке 2-6:

$$\delta H = 96,3 - 59,7 - 32,1 = 4,5 \text{ м};$$

$$l_{\text{п}} = 1,1 \cdot l = 1100 \text{ м}; R = \frac{\delta P}{l_{\text{п}}} = \frac{4,5 \cdot 9290}{1100} = 38 \text{ Па/м.}$$

По номограмме – $d = 309 \text{ мм}$, $R = 24 \text{ Па/м}$; 1 тройник, 2 задвижки, 5 компенсаторов и колен – $l_{\text{э}} = 20 + 2 \cdot 4,34 + 5(4,2 + 8,4) = 91,7 \text{ м}$;

$$l_{\text{п}} = 1092 \text{ м};$$

$$\delta P = 26208 \text{ Па};$$

$$\delta H = 2,8 \text{ м.}$$

Участок 3-4

$$\delta H = 96,3 - 78 = 18,3 \text{ м};$$

$$l_{\text{п}} = 2200 \text{ м}; R = 77,3 \text{ Па/м};$$

$d = 359 \text{ мм}$; $R = 60 \text{ Па/м}$; 1 тройник, 2 задвижки, 10 компенсаторов и колен – $l_{\text{э}} = 15 + 2 \cdot 5,2 + 10(5 + 14) = 215,4 \text{ м}$;

$$l_{\text{п}} = 2215 \text{ м};$$

$$\delta P = 132900 \text{ Па};$$

$$\delta H = 14,3 \text{ м.}$$

Участок 6-7

$$\delta H = 96,3 - 57,6 - 32,1 = 6,6 \text{ м};$$

$$l_{\text{п}} = 2200 \text{ м}; R = 27,9 \text{ Па/м};$$

$d = 359 \text{ мм}$; $R = 33 \text{ Па/м}$; 1 тройник, 2 задвижки, 10 компенсаторов и колен – $l_{\text{э}} = 28 + 2 \cdot 5,2 + 10(5 + 14) = 228,4 \text{ м}$;

$$l_{\text{п}} = 2228 \text{ м};$$

$$\delta P = 73524 \text{ Па};$$

$$\delta H = 7,9 \text{ м.}$$

Поскольку потеря напора получилась больше располагаемой величины ($7,9 > 6,6$), необходимо сделать пересчет, взяв ближайший больший диаметр

$$d = 408 \text{ мм};$$

$$R = 17 \text{ мм};$$

$$l_3 = 30 + 2 \cdot 5,94 + 10(5,94 + 11,9) = 220,3 \text{ м};$$

$$l_{\text{п}} = 2220 \text{ м};$$

$$\delta P = 37740 \text{ Па};$$

$$\delta H = 4,1 \text{ м}.$$

Таблица 9 – Сводная (результатирующая) расчетная таблица

Участок	G, кг/с	l, км	Предварительный расчет			Окончательный расчет						
			δH , м	R, Па/м	d, мм	δH , м	$\Sigma \delta H$, м	R, Па/м	d, мм	l_3 , м	$l_{\text{п}}$, м	δP , м
Магистраль												
0-1	589,2	4	–	–	–	30,7	30,7	62	612	606	4606	285572
1-2	412,8	3	–	–	–	27,2	57,9	75	514	367	3367	252525
2-3	235,8	2	–	–	–	20,1	78,0	85	408	195	2195	186575
3-9	88,4	3	–	–	–	18,3	96,3	53	309	201	3201	169653
Ответвления												
1-5	176,7	3	65,6	185	359	34,4	–	95	359	365	3365	319675
2-6*	177,0	3	–	–	359	32,1	–	90	359	315	3315	998350
6-8	59,0	1	4,5	38	309	2,8	–	24	309	92	1092	26208
6-7	118,0	2	6,6	27,9	408	4,1	–	17	408	220	2220	37740
3-4	147,4	2	18,3	77,3	359	14,3	–	60	359	215	2215	132900

*Это ответвление от расчетной магистрали служит магистралью для ответвлений 6-8 и 6-7.

3.3 Построение графика давлений (пьезометра)

Цель/назначение – визуальная проверка расчетов. В практике такие графики используются при поверочных испытаниях тепловых сетей, при проектировании подсоединения новых потребителей, перекладки трубопроводов с изменением диаметров и т.п.

Порядок построения может быть таким.

1. Определение масштабов расстояний и напоров. Максимальное (базовое) расстояние – сумма длин всех участков магистрали. Здесь это $4 + 3 + 2 + 2 + 1 = 12$ км. Базовый напор – удвоенное суммарное падение напора в магистрали плюс перепад напора, необходимый на абонентском вводе, необходимый подпор на всесе сетевого насоса и потери напора на СТС. В данном примере – $2 \cdot 96,3 + 20 + 20 + 12 = 244,6$ м.

2. Нанесение слева и справа опорных точек на концах магистрали.

3. Построение пьезометра магистрали, в направлении слева направо: на концах участков откладываются потери напора для них.

Отсчет перепадов (вертикальные отрезки) удобнее вести, используя суммы падений от нуля до конца каждого отрезка. Для уменьшения вероятности ошибки целесообразно одновременно строить пьезометры для подающего и обратного трубопроводов.

Пьезометры ответвлений можно для удобства строить как влево, так и вправо от точек на пьезометре магистрали, соответствующих началу ответвлений.

Располагаемый напор в конце ответвления (разность напоров в прямой и обратной трубе) не должен быть меньше требуемого – в данном случае это $H = 20$ м вод. ст. Если располагаемый напор существенно превышает требуемый (в примере это точка 5), то следует проверить расчет этого ответвления и, если ошибки нет, попробовать перейти на ближайший меньший диаметр – это экономия капиталовложения. Избыток напора у потребителя должен быть сработан в сопле элеватора (шайбе, диафрагме), иначе расход воды, пропорциональный корню квадратному напора, будет завышен.

Анализ графика на рисунка 6 показывает, что располагаемые перепады у всех потребителей получились, действительно, не меньше 20 м вод. ст., но при этом у потребителя 5 располагаемый напор существенно превышает требуемый, т.е. минимально необходимый для работы элеватора. Проводится поверочный пересчет для меньшего стандартного диаметра $d = 309$ мм. При этом $R = 180$ Па/м, $\delta P = 180 \cdot 3365 = 605700$ Па, $\delta H = 60,6$ м. При располагаемом напоре 65,6 м вариант $d = 309$ мм представляется более обоснованным – ему соответствуют штриховые линии на рисунке 6. Таким образом, здесь показано, что пьезометрический график помогает уточнить результаты.

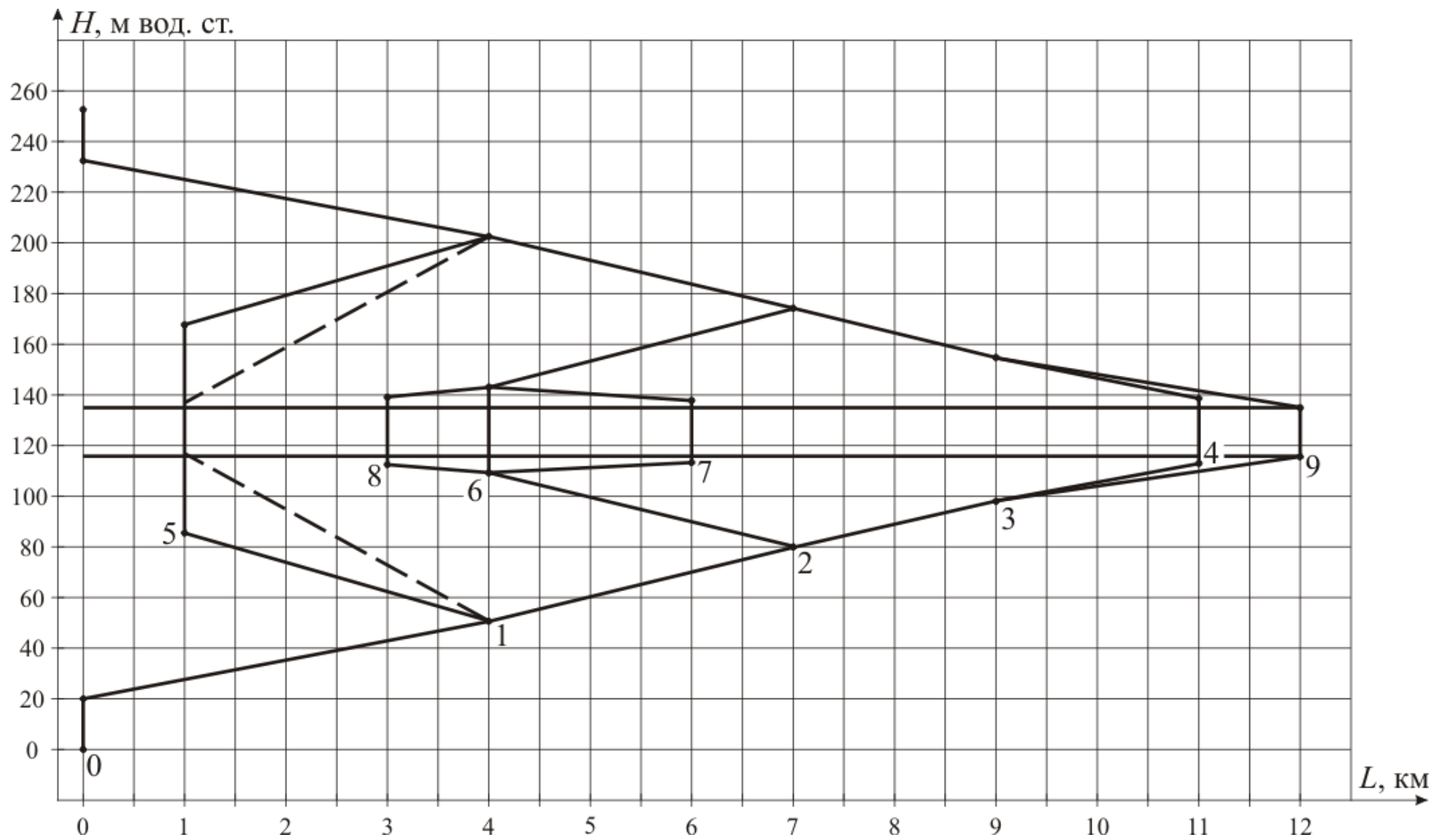


Рисунок 6 – Пьезометрический график тепловой сети

Методика детального гидравлического расчета водяной тепловой сети, включая технико-экономические расчеты для выбора оптимальных вариантов с учетом капиталовложений и эксплуатационных расходов, с соответствующими справочными материалами (в том числе – с ценовыми показателями) дана в [6].

При практических расчетах под пьезометрическим графиком строят линию (график) геодезических отметок местности вдоль трассы с нанесением высоты зданий, подключаемых к сети. При этом отметки верха зданий не должны быть выше нижних линий пьезометра сети. Если в данном примере считать, что профиль местности – горизонталь, то здания заданной высоты (25 м) к такой сети могут быть присоединены по зависимой схеме (с элеваторами). Как показано в [6], при проектировании строят также статический пьезометрический график (прекращение циркуляции).

4 Тепловой расчет трубопроводов

4.1 Задание

Рассчитать толщину изоляции $\delta_{и}$ с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,1$ Вт/м·К для всех участков тепловой сети, исходя из обеспечения падения температуры воды в прямой трубе $\Delta t \leq 1$ °С/км. Прокладка трубопроводов на участках 0-1, 1-2 и 1-5 надземная, на остальных подземная бесканальная, глубина заложения оси трубы $h = 2,5(d + 2\delta_{и})$. Расчетную температуру грунта на этой глубине принять $t_{г} = 0$ °С, коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_{г} = 1,5$ Вт/(м·К). Расчетная скорость ветра $w = 5$ м/с, коэффициент лучеиспускания поверхности изоляции в воздуха $c = 4,8$ Вт/(м²·К⁴). За расчетную температуру воздуха принять $t_{но}$, температура воды в прямом трубопроводе тепловой сети $t_{с1}$ задана в приложении 1.

Термическими сопротивлениями теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубопровода и теплопроводности стальной стенки трубы пренебречь, поскольку они заведомо несопоставимо малы по сравнению с термическими сопротивлениями теплоизоляции трубопровода и грунта.

Расход воды для расчета ее остывания при движении по трубопроводу – из таблицы 8 гидравлического расчета в части 3.

Рекомендуется вести расчет итерационным методом, задаваясь предварительно толщиной изоляции (например, $\delta_{и} = 0,25d$) и коэффициентом теплоотдачи с поверхности изоляции при надземной прокладке (например, $\alpha = 25$ Вт/(м²·К)). Допустимую невязку заданных и полученных значений δ и α принять $\leq 1,5\%$.

4.2 Расчет

Используется алгоритм, описанный в [2]. Расчетные параметры берутся из задания и по результатам гидравлического расчета в части 3.

Надземная прокладка – участок 1-5. Термическое сопротивление теплопередачи R в системе «сетевая вода – наружный воздух» складывается из сопротивления теплопроводности изоляции R_1 и сопротивления теплоотдаче от

изоляции к воздуху R_2 :

$$R = R_1 + R_2 = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{и}}} \cdot \ln \frac{d + 2\delta_{\text{и}}}{d} + \frac{1}{\alpha\pi(d + 2\delta_{\text{и}})}, \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт}, \quad (27)$$

где d – наружный диаметр трубы, м.

$\delta_{\text{и}}$ – толщина изоляции, предварительно принимается $\delta_{\text{и}} = 0,25d = 0,25 \cdot 325 \cong 80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м}$.

Сортамент стальных труб для теплопроводов приведен в [2]. Для внутреннего диаметра $d_{\text{в}} = 309 \text{ мм}$ наружный диаметр $d = 325 \text{ мм}$. В диапазоне $d_{\text{в}} = 125 \div 898 \text{ мм}$ толщина стенки $\delta_{\text{с}} = 4,0 \div 11,0 \text{ мм}$, для $d_{\text{в}} = 309 \div 612 \text{ мм}$ – $\delta_{\text{с}} = 8 \div 9 \text{ мм}$. При отсутствии конкретных данных можно определять $\delta_{\text{с}}$ соответствующей интер- или экстраполяцией.

$$R = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1} \ln \frac{0,325 + 2 \cdot 0,08}{325} + \frac{1}{25 \cdot 3,14 (0,325 + 2 \cdot 0,08)} = 0,318 + 0,026 = 0,344 \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт}.$$

Здесь видно, что термическое сопротивление теплопроводности изоляции заведомо существенно выше, чем сопротивление теплоотдаче с ее поверхности в воздух.

Температура поверхности изоляции:

$$t_{\text{и}} = t_{\text{с1}} - (t_{\text{с1}} - t_{\text{но}}) \frac{R_1}{R}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (28)$$

$$t_{\text{и}} = t_{\text{с1}} - (t_{\text{с1}} - t_{\text{но}}) \frac{R_1}{R} = 150 - (150 + 26) \frac{0,318}{0,344} = -12,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Приведенный коэффициент теплоотдачу излучением от поверхности изоляции в воздух:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{c \left[\left(\frac{t_{\text{и}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{\text{но}} + 273}{100} \right)^4 \right]}{t_{\text{и}} - t_{\text{но}}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (29)$$

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{c \left[\left(\frac{t_{\text{и}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{\text{но}} + 273}{100} \right)^4 \right]}{t_{\text{и}} - t_{\text{но}}} = \frac{c \left[\left(\frac{t_{\text{и}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{\text{но}} - 273}{100} \right)^4 \right]}{-12,7 - (-26)} = 3,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коэффициент теплоотдачи конвекций от поверхности тепловой изоляции к воздуху α_k в общем случае следует рассчитывать по формулам теплопередачи, куда входят соответствующие критерии подобия. Здесь это поперечное омывание цилиндрической стенки при естественной конвекции воздуха, при чем стенка изолирована, и сопротивление изоляции должно быть заведомо и существенно выше сопротивление теплопередаче. Поэтому представляется возможным и целесообразным определять α_k по упрощенным эмпирическим формулам, ориентированным на тепловой расчет трубопроводов – например, по формуле, рекомендованной в [2]:

$$\alpha_k = 4,65 \frac{w^{0,7}}{d^{0,3}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (30)$$

$$\alpha_k = 4,65 \frac{w^{0,7}}{d^{0,3}} = 4,65 \frac{5^{0,7}}{(0,325 + 2 \cdot 0,08)^{0,3}} = 17,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коэффициент суммарной теплоотдачи:

$$\alpha = \alpha_{\text{л}} + \alpha_k, \quad (31)$$

$$\alpha = \alpha_{\text{л}} + \alpha_k = 3,13 + 17,8 = 20,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Как видно, здесь теплоотдача конвекцией существенно превышает теплоотдачу излучением.

Уточненное термическое сопротивление теплоотдаче:

$$R_2 = \frac{1}{\alpha \pi (d + 2 \delta_{\text{н}})}, \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт}, \quad (32)$$

$$R_2 = \frac{1}{\alpha \pi (d + 2 \delta_{\text{н}})} = \frac{1}{20,9 \cdot 3,14 (0,325 + 0,485 \cdot 2 \cdot 0,08)} = 0,031 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

То есть на порядок меньше сопротивления теплопроводности изоляции.

Уточненное термическое сопротивление теплопередаче:

$$R = R_1 + R_2, \quad (33)$$

$$R = R_1 + R_2 = 0,318 + 0,031 = 0,349 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Как видно, погрешность расчета в первом приближении составила:

$$\Delta R = \frac{0,349 - 0,344}{0,349} = 0,014 < 1,5\%. \quad (34)$$

Соответственно, при дальнейших расчетах можно ограничиваться одной итерацией, принимая $\alpha = 21 \text{ м}\cdot\text{К}/\text{Вт}$.

Линейные тепловые потери трубопровода

$$q_1 = \frac{t_{c1} - t_{но}}{R}, \text{ Вт/м}, \quad (35)$$

$$q_1 = \frac{t_{c1} - t_{но}}{R} = \frac{150 - (-26)}{0,349} = 504 \text{ Вт/м}.$$

Снижение температуры сетевой воды

$$\delta t = \frac{1000 q_1}{G_c \cdot c}, \text{ }^\circ\text{С/км}, \quad (36)$$

где G – расход воды на участке 1-5; из таблицы 8 $G = 176,9 \text{ кг/с}$;

c – теплоемкость воды при $t_{c1} = 150 \text{ }^\circ\text{С}$; из таблицы приложения 6 $c = 4,316 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

Значение q_1 , должно иметь размерность $\text{кДж}/\text{с}\cdot\text{м}$, т.е. $\text{кВт}/\text{м}$.

$$\delta t = \frac{1000 \cdot 0,504}{176,9 \cdot 4,316} = 0,66 \text{ }^\circ\text{С/км} < 1 \text{ }^\circ\text{С/км}. \quad (37)$$

Здесь целесообразно отметить, что оптимальные тепловые потери при транспорте теплоносителя определяются технико-экономическим расчетом – по минимуму приведенных затрат в систему теплоснабжения. Очевидно, что чем дороже топливо, то есть произведенная теплота, тем меньше должны быть расчетные потери теплоты при транспорте.

По такому же алгоритму ведется расчет всех остальных участков надземной прокладки с занесением исходных данных и результатов в таблицу 10.

Подземная прокладка – участок 2-6. Внутренний диаметр трубы $d_b = 0,359 \text{ м}$, наружный $d = 0,377 \text{ м}$. При надземной прокладке толщина изоляции была принята $\delta_{и} \cong 0,25d$, и остывание воды в трубе получилось ниже нормативного. Поскольку при подземной прокладке грунт также выполняет роль тепловой изоляции, к тому же отдача теплоты происходит в грунт, температура которого бывает существенно ниже, чем $t_{но}$ (в задании $t_T = 0 \text{ }^\circ\text{С}$), то можно принять изоляцию, потоньше – пусть $\delta_{и} = 0,15d \cong 0,05 \text{ м}$.

Таблица 10 – Результаты расчета надземной прокладки

№ участка	Диаметр трубы, м		Толщина изоляции δ , м	Термическое сопротивление, м·К/Вт			Тепловые потери q_l , Вт/м	Снижение температуры воды δt , °С/км
	внутренний d_b	наружный d		теплопроводности и изоляции R_1	теплотдачи R_2	суммарное R		
1-5	0,309	0,325	0,08	0,318	0,031	0,349	504	0,66

Глубина заложения оси принята:

$$h = 2,5(d + 2\delta_n), \quad (38)$$

$$h = 2,5(d + 2\delta_n) = 2,5(0,377 + 2 \cdot 0,05) = 1,2 \text{ м.}$$

При $h/(d + 2\delta_n) \geq 2$ термическое сопротивление системы «вода – трубопровод – грунт» вычисляется по формуле:

$$R = R_1 + R_2 = \frac{1}{2\pi\lambda_n} \ln \frac{d + 2\delta_n}{d} + \frac{1}{2\pi\lambda_r} \ln \frac{4h}{d + 2\delta_n}, \text{ м·К/Вт.} \quad (39)$$

При коэффициенте теплопроводности грунта $\lambda_r = 0,15 \text{ Вт/(м·К)}$

$$R = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1} \ln \frac{0,477}{0,377} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5} \ln \frac{4 \cdot 1,2}{0,477} = 0,366 + 0,244 = 0,610 \text{ м·К/Вт.} \quad (40)$$

Линейные тепловые потери:

$$q_1 = \frac{t_{cl} - t_{cr}}{R}, \text{ Вт/м,} \quad (41)$$

$$q_1 = \frac{t_{cl} - t_{cr}}{R} = \frac{150 - 0}{0,61} = 246 \text{ Вт/м} = 246 \text{ кВт/км.}$$

Остывания воды:

$$\delta t = \frac{q_1}{G \cdot c}, \text{ °С/км.} \quad (42)$$

$$\delta t = \frac{q_1}{G \cdot c} = \frac{246}{177 \cdot 4,813} = 0,3 \text{ °С/км.}$$

Как видно, величина δt получилась заметно меньше нормативного значения, но брать изоляцию тоньше $\delta_n = 0,05 \text{ м} = 50 \text{ мм}$, вероятно, не следует, исходя из обеспечения ее достаточной надежности, предотвращения местных повреждений.

Остальные участки подземной прокладки рассчитываются по аналогии с рассмотренным примером, а результаты расчета сводятся в таблицу 11.

Таблица 11 – Результаты расчета подземной прокладки

№ участка	Диаметр трубы d , м		Расход воды G , кг/с	Толщина изоляции $\delta_{и}$, м	Глубина заложения h , м	Термическое сопротивление, м·К/Вт			Тепловые потери q_1 , Вт/м	Остывание воды δt , °С/км
	внутренний	наружный				изоляции R_1	грунта R_2	суммарное R		
2-6	0,359	0,377	177	0,05	1,2	0,366	0,244	0,610	246	0,3

Далее рассчитывается остывание воды на всем протяжении магистрали – абсолютное в градусах и относительное в процентах от расчетной разности температур в прямой и обратной трубах:

$$\delta t_m = \delta t_{01} + \delta t_{12} + \delta t_{23} + \delta t_{39}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (43)$$

$$\Delta t_m = \frac{\delta t_m}{t_{c1} - t_{c2}} \cdot 100 \%. \quad (44)$$

Величина Δt_m сопоставляется с величиной тепловых потерь в системе теплоснабжения, принятых при расчете теплопотребления в части 1 ($N_{п} = 5\%N$), и делаются соответствующие выводы.

В качестве примечаний к приведенному примеру можно добавить следующее. Формула (35) рекомендована в [2] для трубопроводов глубокого заложения. При мелком заложении ($h/d + 2\delta_{и} < 2$) за температуру окружающей среды принимается температура наружного воздуха (представляется, что с учетом тепловой инерции слоя грунта над трубой следует брать температуру значительно выше $t_{но}$ – например, среднюю температуру относительного периода $t_{нс}$ (столбец 5 таблицы в приложении 2) и подставлять не действительную, а приведенную глубину заложения:

$$h_{п} = h + h_{ф}, \quad (45)$$

Здесь $h_{ф}$ – толщина фиктивного слоя фунда:

$$h_{ф} = \lambda_r / \alpha_{в}, \quad (46)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи от поверхности грунта к воздуху. Расчеты надземной прокладки показали, что сопротивление теплоотдаче существенно меньше сопротивления теплопроводности изоляции, значение $\alpha_{\text{в}}$ можно принимать ориентировочно. Для скорости ветра $w = 5$ м/с, которая принимается в строительных расчетах, можно рекомендовать $\alpha_{\text{в}} = 25$ Вт/(м²·К).

В примере рассмотрена подземная бесканальная прокладка однониточного трубопровода. В [2] приведены методики и примеры учета взаимного влияния труб при двухниточной прокладке и теплового расчета теплопроводов при прокладке в каналах.

В [2] значение коэффициента теплопроводности грунта рекомендовано $\lambda_{\text{г}} = 1,5$ Вт/м·°С. В справочной литературе значения этого параметра для глины, песка и земли не превышают 1,2 – вероятно, в [2] учтено «подтягивание» влаги к трубе как источнику теплоты.

В приведенном примере расчеты выполнены без учета теплоизолирующего влияния снежного покрова грунта или надземного трубопровода (как показано, температура поверхности изоляции получилась существенно ниже 0 °С, то есть снег на ней не тает).

После выполнения расчетов в части 4, как и во всех остальных частях курсовой работы, для самопроверки усвоения методики предлагается дать качественный анализ результатов, выводы из них.

Контрольные вопросы

- 1.1 Что такое теплофикация?
- 1.2 Нарисуйте принципиальную тепловую схему ТЭЦ?
- 1.3 Виды сезонной и круглогодичной тепловых нагрузок?
- 1.4 Что такое продолжительность использования установленной мощности электрогенератора ($T_{и}$)?
- 1.5 Для чего строится годовой график расхода теплоты по продолжительности?
- 1.6 Что такое коэффициент теплофикации ($\alpha_{тэц}$)?
- 1.7 Как определяется максимальное значение $\alpha_{тэц}$?
- 2.1 Как рассчитываются суммарные тепловые потери отапливаемого здания?
- 2.2 Как рассчитывается средняя и максимальная нагрузка горячего водоснабжения?
- 3.1 Как определяется расход теплоносителя у потребителей и на участках тепловой сети?
- 3.2 В чем принципиальное отличие алгоритмов гидравлического расчета магистрали и ответвлений трубопроводной сети?
- 3.3 Что такое распределенные (линейные) и сосредоточенные (местные) потери напора в трубопроводах?
- 3.4 Для чего строится пьезометрический график трубопроводной системы?
- 4.1 Способы прокладки теплопроводов?
- 4.2 Назовите особенности этих прокладок?
- 4.3 Основные формулы и порядок теплового расчета теплопроводов при наземной прокладке?
- 4.4 Формулы для теплового расчета теплопроводов при подземной бесканальной прокладке?
- 4.5 Критерий достаточности тепловой изоляции теплопроводов?

Список использованной литературы

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. – 7-е изд., стереоп. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
2. Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям / А.П. Сафонов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.
3. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче / Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 280 с.
4. СНиП 2.04.07-86*. Тепловые сети. – М.: Минстрой, 1994.
5. СНиП 23.01.99*. Строительная климатология. – М.: Госстрой, 2000.
6. Ермаков Р.Л. Основной гидравлический расчет водяных тепловых сетей / Р.Л. Ермаков. – Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2005. – 122 с.

Варианты заданий курсовой работы

№ варианта	Номер географического пункта по приложениям 2 и 3	Количество жителей n , тыс. чел.	Количество рабочих смен	Доля мощности технологической нагрузки m	Температура воды в подающей трубе t_{cl} , °С	Максимальное давление регулируемого отбора P , МПа
1	1	100	1	0,9	130	0,20
2	2	200	2	0,8	180	0,80
3	3	150	3	1,0	150	0,25
4	4	250	3	0,7	180	0,80
5	5	90	2	1,2	130	0,20
6	6	200	1	1,3	180	0,80
7	7	250	2	1,1	180	0,80
8	8	100	3	1,0	130	0,20
9	9	200	2	0,9	150	0,25
10	10	250	1	0,8	180	0,80
11	11	200	2	0,7	180	0,80
12	12	180	3	1,0	150	0,25
13	13	190	2	1,2	150	0,25
14	14	200	1	1,3	130	0,20
15	15	210	2	1,0	150	0,25
16	16	220	3	0,9	180	0,80
17	17	250	2	0,8	180	0,80
18	18	150	1	0,7	150	0,25
19	19	140	2	1,0	150	0,25
20	20	130	3	1,1	130	0,20
21	21	120	2	1,2	130	0,20
22	22	100	1	0,9	130	0,20
23	23	130	3	0,8	130	0,20
24	24	140	3	0,7	150	0,25
25	25	150	3	0,9	150	0,25
26	26	160	2	1,1	150	0,25
27	27	120	2	1,2	130	0,20
28	28	130	2	1,0	130	0,20
29	29	200	3	0,9	180	0,80
30	30	210	3	1,3	180	0,80
31	31	190	3	1,5	150	0,25
32	32	200	2	1,3	180	0,80
33	1	180	1	1,6	180	0,80
34	2	130	2	1,2	130	0,20
35	3	200	3	1,1	180	0,80
36	4	180	2	1,2	150	0,25
37	5	120	1	0,9	130	0,20
38	6	110	2	1,1	130	0,20
39	12	200	3	1,0	150	0,25
40	13	150	3	0,9	130	0,20

Климатические параметры холодного периода года [1, 5]

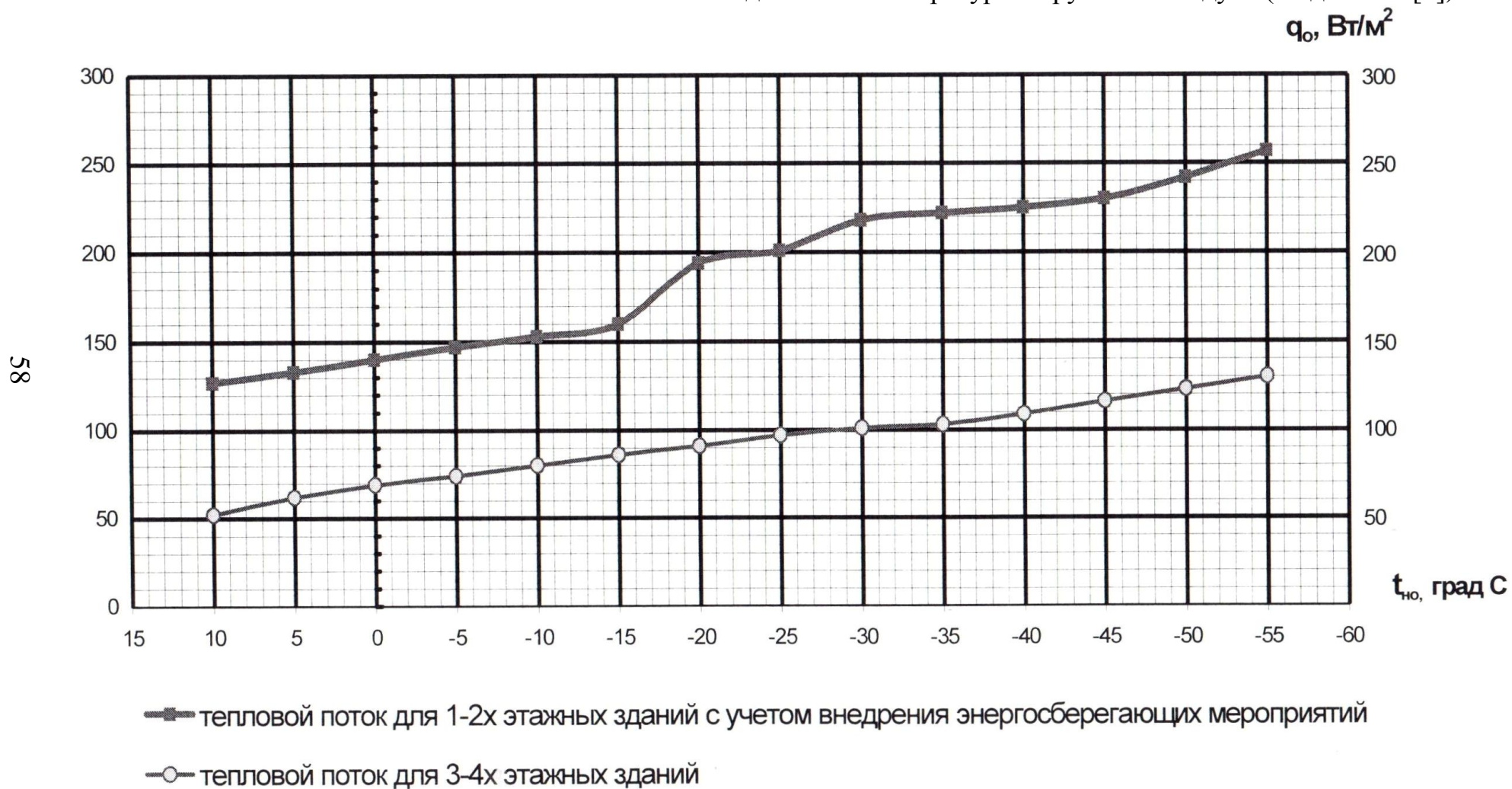
№ п/п	Город	Температура воздуха, t_n , °С с обеспеченностью 0,92 для проектирования		Продолжительность n , сут. и средняя температура воздуха $t_{нс}$, °С периода со средней су- точной температурой воздуха ≤ 8 °С	
		отопления $t_{но}$	вентиляции $t_{нв}$	n	$t_{нс}$
Азиатская Россия					
1	Барнаул	-39	-23	221	-7,7
2	Владивосток	-24	-16	196	-3,9
3	Иркутск	-38	-25	240	-8,5
4	Красноярск	-40	-22	234	-7,1
5	Минусинск	-40	-27	225	-8,8
6	Новосибирск	-39	-24	230	-8,7
7	Омск	-37	-23	221	-8,4
8	Тобольск	-39	-22	232	-8,1
9	Томск	-40	-25	236	-8,4
10	Тюмень	-38	-21	225	-7,2
11	Хабаровск	-31	-23	211	-9,3
12	Чита	-38	30	242	-11,4
Европейская Россия					
13	Архангельск	-31	-19	253	-4,4
14	Астрахань	-23	-8	167	-1,2
15	Воронеж	-26	-14	196	-3,1
16	Волгоград	-25	-13	178	-2,2
17	Екатеринбург	-35	-20	230	-6,0
18	Иваново	-30	-16	219	-3,9
19	Казань	-32	-18	215	-5,2
20	Киров	-31	-19	231	-5,8
21	Курск	-26	-14	198	-2,4
22	Магнитогорск	-34	-22	218	-7,9
23	Москва	-28	-14	214	-3,1
24	Мурманск	-27	-18	275	-3,2
25	Нижний Новгород	-31	-16	215	-4,1
26	Нижний Тагил	-34	-21	238	-6,6
27	Пермь	-35	-20	229	-5,9
28	Петрозаводск	-29	-14	240	-3,1
29	Ростов-на-Дону	-22	-8	171	-0,6
30	Санкт-Петербург	-26	-11	220	-1,8
31	Уфа	-29	-19	211	-6,4
32	Челябинск	-29	-20	216	-7,1

Приложение 3

Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой
наружного воздуха, равной и ниже данной [1]

№ п/п	Город	Температура наружного воздуха, t_n , °С										
		Ниже -45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+8
Азиатская Россия												
1	Барнаул	1	12	52	170	415	792	1430	2260	3120	4130	5250
2	Владивосток	-	-	-	-	2	91	518	1350	2210	3320	4820
3	Иркутск	-	7	58	172	458	864	1730	2600	3300	4320	5780
4	Красноярск	1	18	82	210	468	828	1360	2110	3000	4050	5650
5	Минусинск	-	25	105	282	600	1065	1660	2390	3140	4130	5430
6	Новосибирск	-	15	89	205	488	910	1550	2430	3290	4270	5450
7	Омск	1	6	64	195	485	950	1660	2480	3310	4250	5280
8	Тобольск	-	6	43	158	386	820	1500	2360	3290	4070	5500
9	Томск	3	17	82	228	500	932	1600	2500	3360	4400	5600
10	Тюмень	-	5	25	118	294	670	1270	2120	3050	4050	5280
11	Хабаровск	-	-	2	53	348	1050	1880	2600	3240	3900	4920
12	Чита	-	22	146	478	1050	1800	2540	3160	3340	4400	5760
Европейская Россия												
13	Архангельск	-	1	10	48	150	380	820	1580	2670	4300	6024
14	Астрахань	-	-	-	3	32	114	291	601	1238	2460	4128
15	Воронеж	-	-	-	7	34	144	470	1020	1850	3380	4780
16	Волгоград	-	-	-	1	13	126	420	930	1650	3100	4368
17	Екатеринбург	-	1	11	54	198	494	1070	1980	3020	4000	5470
18	Иваново	-	-	5	42	102	275	635	1300	2070	3800	5210
19	Казань	-	-	1	20	117	328	790	1520	2480	3800	5230
20	Киров	-	-	6	61	173	428	960	1750	2790	4080	5550
21	Курск	-	-	-	3	15	97	343	872	1740	3260	4750
22	Магнитогорск	-	7	26	65	190	566	1250	2560	3360	4100	5250
23	Москва	-	-	3	15	47	172	418	905	1734	3033	4910
24	Мурманск	-	-	-	6	38	135	452	1117	2276	4002	6740
25	Нижний Новгород	-	-	2	25	99	281	685	1350	2320	3820	5230
26	Нижний Тагил	-	5	19	50	154	465	1030	2340	3300	4080	5700
27	Пермь	-	3	15	75	220	504	1050	1840	2850	4080	5420
28	Петрозаводск	-	-	-	4	40	172	480	1070	2050	3890	5690
29	Ростов-на- Дону	-	-	-	-	5	41	178	494	1130	2720	4200
30	Санкт- Петербург	-	-	-	-	21	83	273	708	1533	2878	5240
31	Уфа	-	-	5	40	160	436	980	1780	2770	3900	5060
32	Челябинск	-	-	7	39	166	520	1110	1950	2980	3920	5180

Зависимость теплового потока на отопление жилых зданий от температуры наружного воздуха (по данным [4])



Удельные теплотери q_0 и удельные расходы теплоты q_v
на вентиляцию промышленных, служебных и общественных зданий
(для ориентировочных расчетов) [1]

А. Промышленные здания

Назначение зданий	Строительный объ- ем зданий, тыс. м ³	Удельная характеристика, Вт/(м ³ ·К)	
		для отопления q_0	для вентиляции q_v
Чугунолитейные цехи	10...50	0,35...0,29	1,28...1,17
	50...100	0,29...0,25	1,17...1,05
	100...150	0,25...0,21	1,05...0,95
Сталелитейные цехи	10...50	0,35...0,29	1,12...0,97
	50...100	0,29...0,25	0,97...0,85
	100...150	0,25...0,21	0,86...0,80
Меднолитейные цехи	5...10	0,47...0,42	2,80...2,36
	10...20	0,42...0,29	2,36...1,86
	20...30	0,29...0,24	1,86...1,38
Термические цехи	до 10	0,47...0,35	1,52...1,40
	10...30	0,35...0,29	1,40...1,17
	30...75	0,29...0,24	1,17...0,70
Кузнечные цехи	до 10	0,47...0,35	0,80...0,70
	10...50	0,35...0,29	0,70...0,58
	50...100	0,29...0,18	0,58...0,35
Механосборочные и механические цехи, слесарные мастерские	5...10	0,65...0,53	0,47...0,29
	10...50	0,53...0,47	0,29...0,17
	50...100	0,47...0,44	0,17...0,14
	100...200	0,44...0,42	0,14...0,10
Деревообделочные цехи	до 5	0,69...0,64	0,69...0,58
	5...10	0,64...0,53	0,58...0,53
	10...50	0,53...0,47	0,53...0,47
Цехи металлических покрытий	50...100	0,45...0,42	0,61...0,53
	100...150	0,42...0,35	0,53...0,42
Цехи покрытий металлами	до 2	0,75...0,69	5,85...4,70
	2...5	0,69...0,64	4,70...3,45
	5...10	0,64...0,53	3,45...2,36
Ремонтные цехи	5...10	0,69...0,58	0,23...0,18
	10...20	0,58...0,53	0,18...0,12
Локомотивное депо	до 5	0,81...0,75	0,47...0,35
	5...10	0,75...0,69	0,35...0,29
Склады химикатов, красок и т.п.	до 1	1,0...0,86	—
	1...2	0,86...0,75	—
	2...5	0,75...0,67	0,7...0,53
Склады моделей и главные магазины	1...2	0,95...0,80	—
	2...5	0,80...0,70	—
	5...10	0,70...0,53	—

А. Промышленные здания

Назначение зданий	Строительный объем зданий, тыс. м ³	Удельная характеристика, Вт/(м ³ ·К)	
		для отопления q_o	для вентиляции q_v
Бытовые и административные вспомогательные помещения	0,5...1	0,70...0,53	–
	1...2	0,53...0,47	–
	2...5	0,47...0,39	0,17...0,14
	5...10	0,39...0,35	0,14...0,13
	10...20	0,35...0,29	0,13...0,11
Проходные	до 0,5	1,53...1,40	–
	0,5...2,0	1,40...0,80	–
	2...5	0,80...0,58	0,18...0,12
Казармы и помещения ВОХР	5...10	0,44...0,39	–
	10...15	0,39...0,36	–

Б. Удельные расходы теплоты на вентиляцию служебных и общественных зданий, Вт/(м³·К)

Назначение зданий	q_v
Административные здания, здания научно-исследовательских и проектных институтов	0,21
Клубы	0,24
Театры и кинотеатры	0,48
Магазины, учебные заведения, пожарные депо	0,12
Поликлиники, диспансеры, амбулатории	0,29
Больницы	0,35
Бани, лаборатории	1,20
Прачечные	0,94
Предприятия общественного питания, гаражи	0,84
Детские ясли-сады	0,12
Школы общеобразовательные	0,10

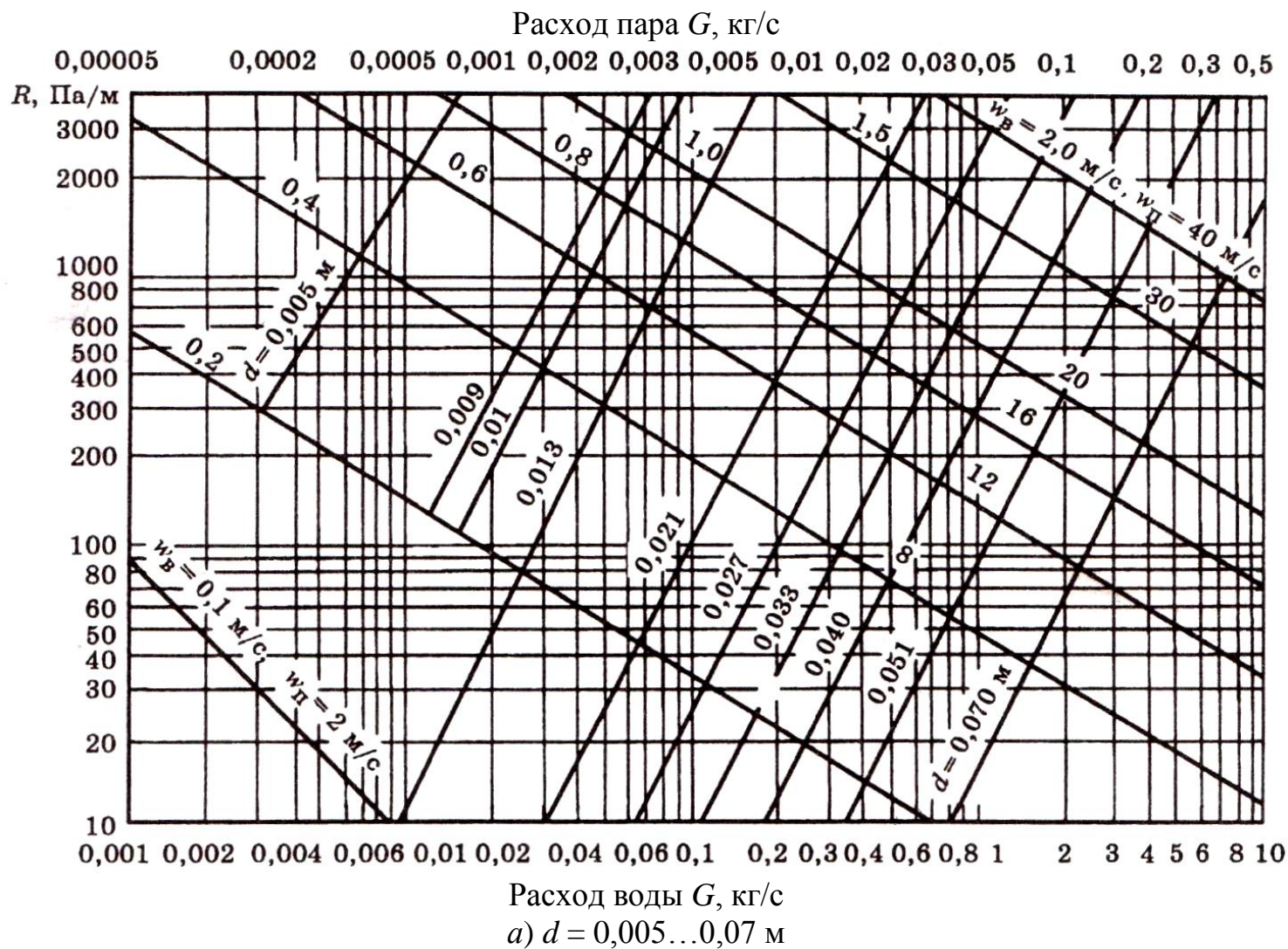
Примечание. При отсутствии перечня общественных зданий можно принимать для ориентировочных расчетов $q_v = 0,235$ Вт/(м³·К) для суммарного объема всех общественных зданий, взяв его равным 15% от объема жилых зданий.

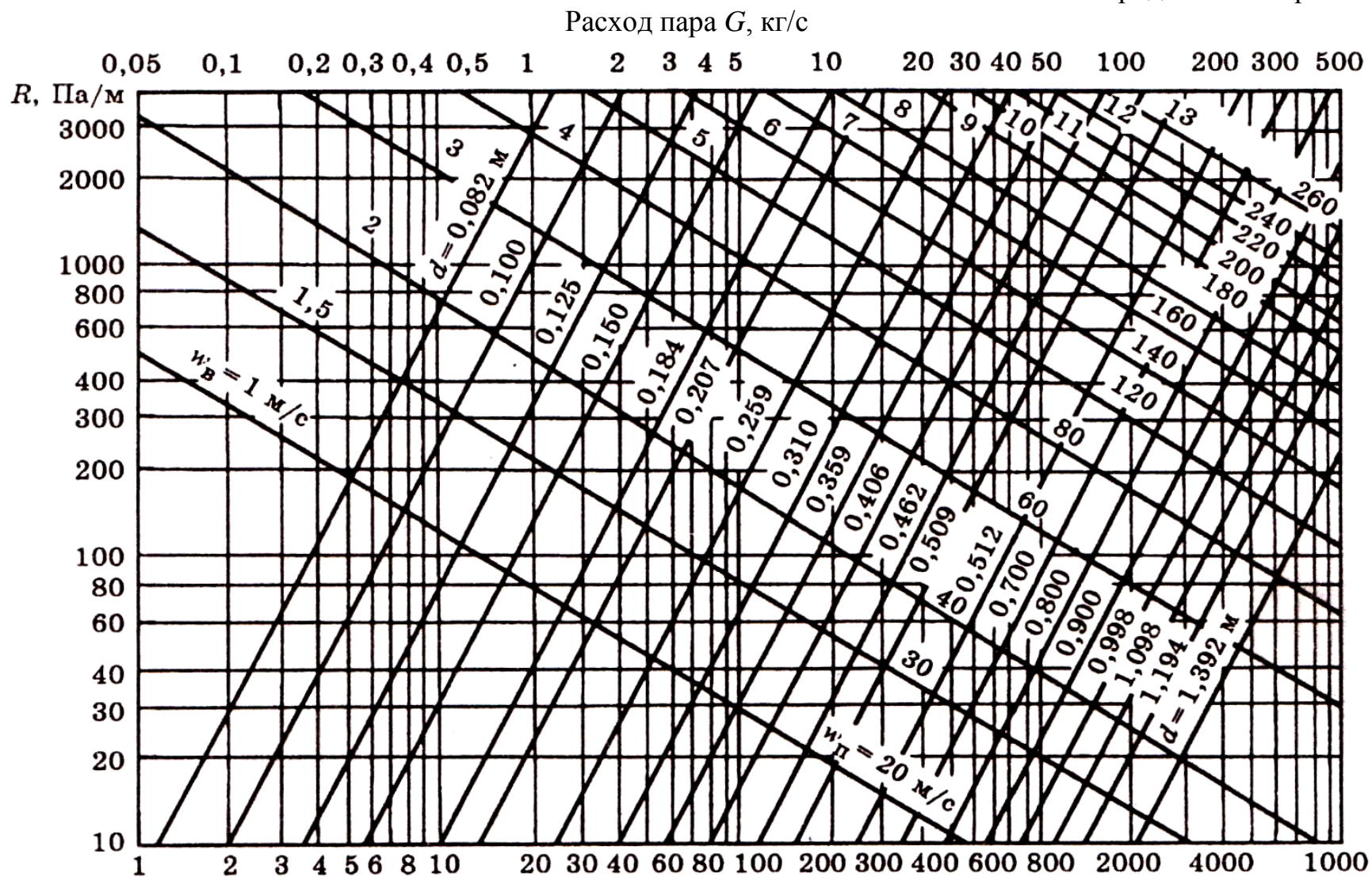
Приложение 6

Плотность ρ , кг/м³, теплоемкость c , кДж/(кг·К) и энтальпия воды h , кДж/кг при температуре t , °С [3]

t , °С	ρ , кг/м ³	c , кДж/(кг·К)	h , кДж/кг
5	999,8	4,202	21,02
10	999,7	4,191	42,04
70	977,8	4,187	293,0
95	961,8	4,214	398,0
110	951,0	4,233	461,4
130	934,8	4,266	546,4
150	917,0	4,813	632,5
180	886,0	4,417	763,3

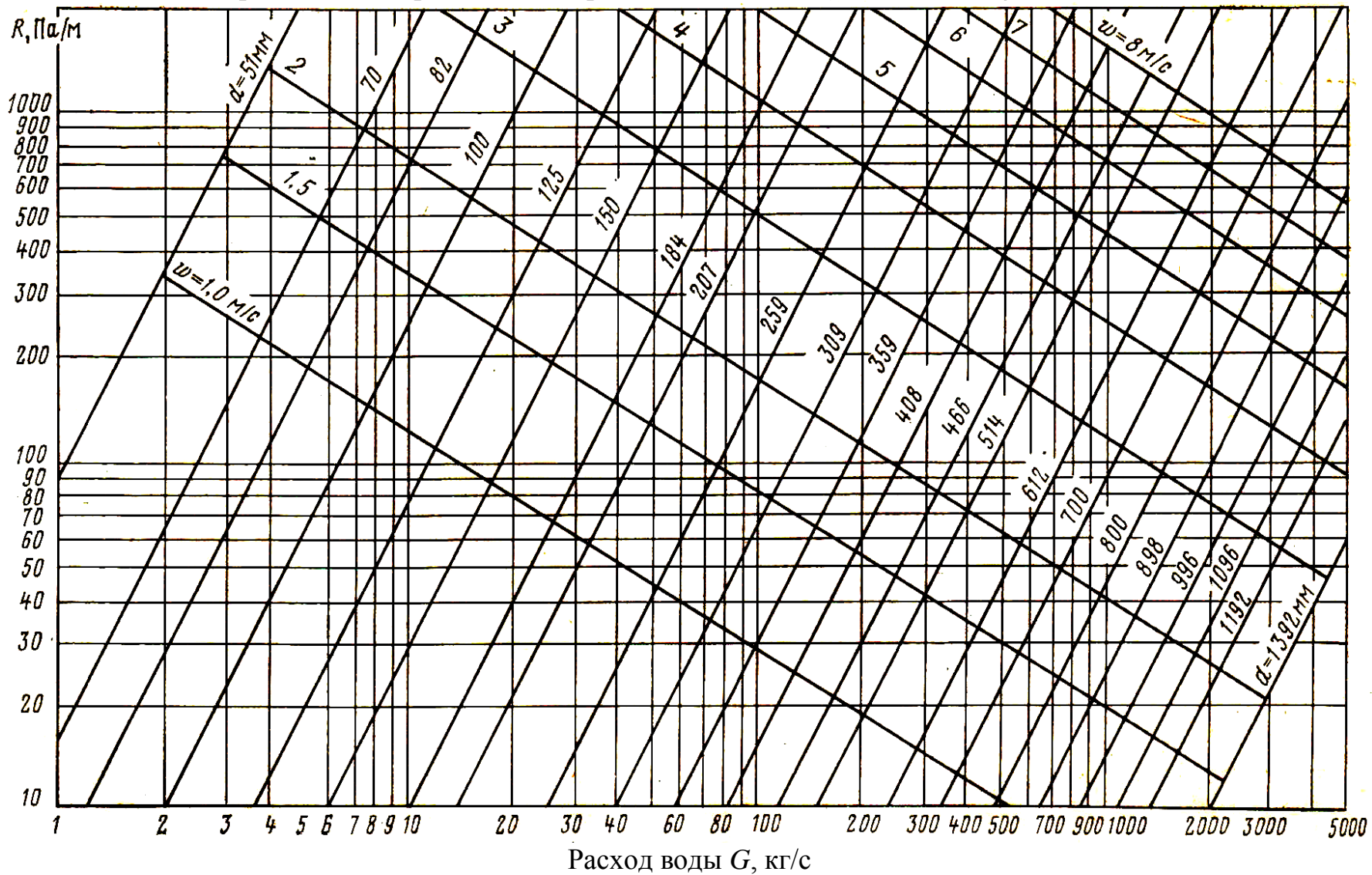
Номограмма для гидравлического расчета трубопроводов [1]
 $k_3 = 0,0005 \text{ м}; \rho_в = 975 \text{ кг/м}^3$; при другой плотности пара $R_2 = (2,45/\rho_2)R_1$



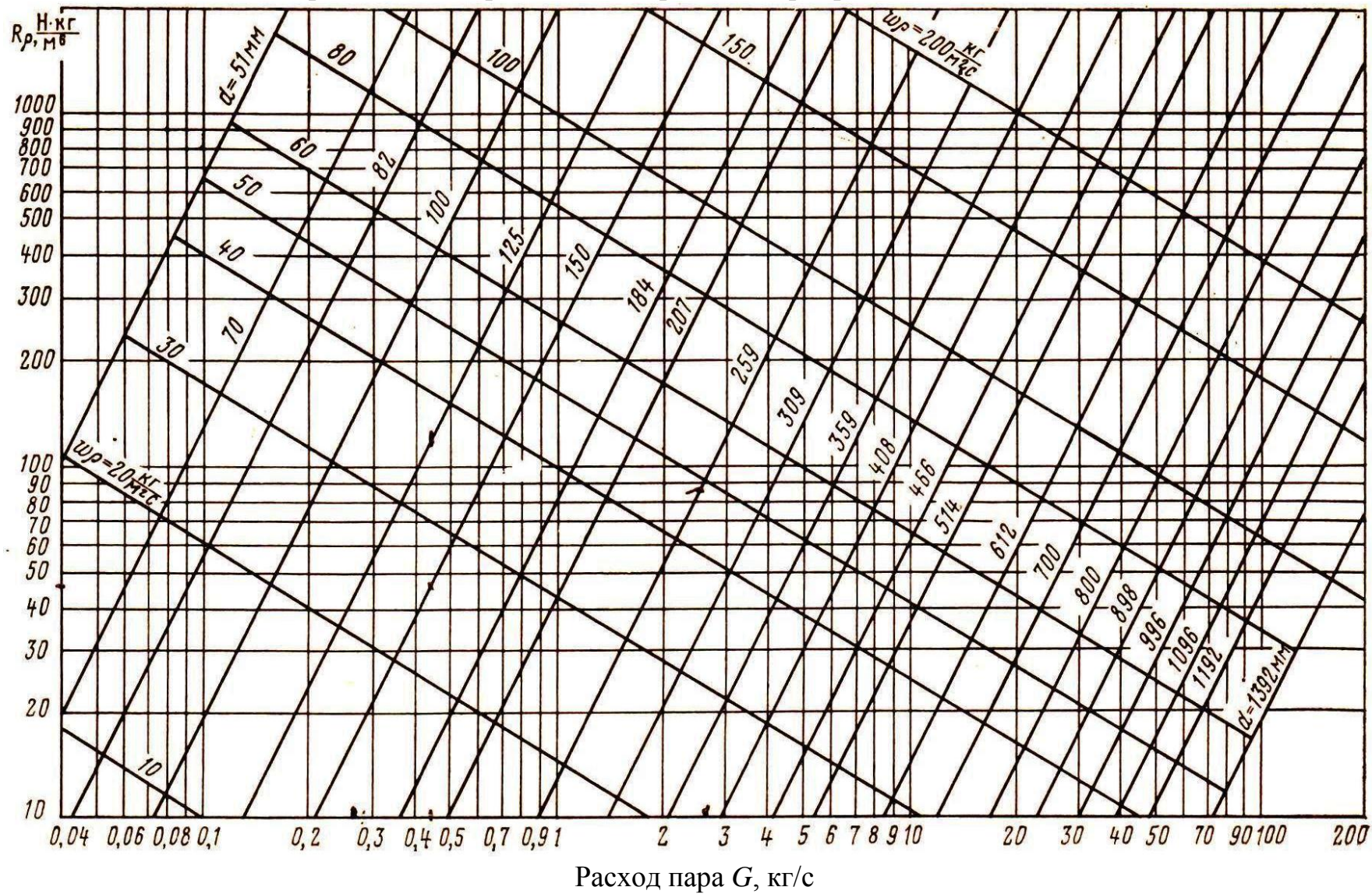


Расход воды G , кг/с
 б) $d = 0,07 \dots 1,392$ м

Номограмма для гидравлического расчета водоводов ($k_3 = 0,0005 \text{ м}$; $\rho_v = 975 \text{ кг/м}^3$) [2]

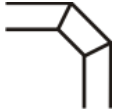


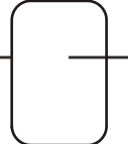
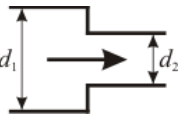
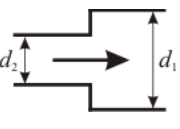


Номограмма для гидравлического расчета паропроводов ($k_3 = 0,0002 \text{ м}$) [2]



Коэффициенты местных сопротивлений и эквивалентные длины при $k_3 = 0,5$ мм

Местные сопротивления	Схема	Коэффициент местных сопротивлений	Эквивалентные длины l_3 , м, при внутреннем диаметре труб, мм														
			50	100	150	207	259	309	403	514	612	700	800	898	996	1192	1392
Параллельная задвижка Клапан нормальный Клапан «Косва»		0,5...0,3	0,72	1,53	2,11	2,9	3,6	4,34	5,94	7,95	9,94	11,8	13,9	16,0	18,2	–	–
		5,0...7,7	7,2	18,4	33,1	52,7	74,0	98	153	220	–	–	–	–	–	–	–
		2,9...0,87	4,2	7,8	10,3	11,9	13,5	14,0	17,2	21,2	–	–	–	–	–	–	–
Обратный затвор: повторный подъемный		1,3...2,95	1,87	5,1	9,7	18,1	22,4	29,4	45,6	66	89,5	112	133	158	179	–	–
		6,4...6,9	9,2	21,8	39,1	58,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Водомер Компенсатор однолинзовый: без рубашки с рубашкой		3,0...1,5	4,31	5,1	8,58	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		1,6...0,5 0,1	– –	5,55 0,34	8,0 0,57	10,5 0,85	12,6 1,12	14 1,4	16,0 1,98	17,2 2,65	19,9 3,31	22,5 3,92	24,7 4,62	26,6 5,34	30,4 6,08	37,8 7,6	46 9,2
П-образный компенсатор: $r = (1,5 \div 2)d$ $r = 3d$		2,5	3,6	8,5	14,3	21,3	28,0	35,0	49,5	66,2	82,8	98,0	115,5	133,4	152	189	230
		1,9	2,74	6,46	10,8	16,1	21,3	26,6	37,5	–	–	–	–	–	–	–	–
Сальниковый компенсатор		0,3	–	1,02	1,71	2,55	3,36	4,2	5,94	7,95	9,94	11,8	13,9	16,0	18,2	22,7	27,6
Гнутое колено гладкое: $r = (1,5 \div 2)d$ $r = 3d$		0,55	0,79	1,88	3,14	4,67	6,16	7,7	10,9	14,6	18,2	21,5	25,4	29,3	33,4	41,6	50,5
		0,4	0,58	1,36	2,28	3,4	4,48	5,6	7,92	–	–	–	–	–	–	–	–
Сварное колено 90°: одношовное		1,3	1,87	4,42	7,43	11,0	14,6	18,2	25,8	34,5	43,1	51,0	60,1	69,4	79,1	98,4	119

Местные со- противления	Схема	Коэффициент местных со- противлений	Эквивалентные длины l_3 , м, при внутреннем диаметре труб, мм															
			50	100	150	207	259	309	403	514	612	700	800	898	996	1192	1392	
двухшовное		0,7	1,01	2,38	4,0	5,95	7,84	9,8	13,9	18,5	23,2	27,4	32,3	37,4	42,6	53	64,3	
трехшовное		0,6	0,86	2,04	3,43	5,1	6,73	8,4	11,9	15,9	19,9	23,5	27,7	32,0	35,5	45,4	54,6	
Сварное коле- но одношовное 120°		0,7	1,01	2,38	4,0	5,95	7,84	9,8	13,9	18,5	23,2	27,4	32,3	37,4	42,6	53	64,3	
Грязевик		7	10,1	23,8	40,0	59,5	78,4	98,9	139	185	232	274	323	374	426	530	546	
Внезапное сужение ¹ :		$d_1/d_2 = 1,5$	0,3	0,43	1,02	1,71	2,55	3,36	4,2	5,94	7,95	9,93	11,8	13,9	16,0	18,3	22,7	27,6
$d_1/d_2 = 2$		0,4	0,58	1,36	2,28	3,4	4,48	5,6	7,92	10,6	13,2	15,7	18,5	21,4	24,4	30,3	36,7	
$d_1/d_2 = 3$		0,5	0,72	1,7	2,88	4,3	5,6	7,0	9,9	13,3	16,6	19,6	23,1	26,7	30,4	37,9	46	
$d_1/d_2 = 10$		0,6	0,83	2,04	3,42	5,1	6,72	8,4	11,88	15,9	19,86	23,6	27,8	32,0	36,6	45,4	54,6	
Внезапное расширение:		$d_1/d_2 = 1,5$	0,3	0,43	1,02	1,71	2,55	3,36	4,2	5,94	7,95	9,93	11,8	13,9	16,0	18,3	22,7	27,6
$d_1/d_2 = 2$		0,6	0,86	2,04	3,42	5,10	6,72	8,4	11,88	15,90	19,86	23,6	27,8	32,0	36,6	45,4	54,6	
$d_1/d_2 = 3$		0,8	1,15	2,72	4,56	6,8	8,97	11,2	15,8	21,2	26,5	31,4	37,0	42,7	48,6	61	73,5	
$d_1/d_2 = 10$		1,0	1,44	3,4	5,71	8,5	11,21	14,0	19,8	26,5	33,1	39,2	46,2	53,4	60,8	75,9	91,9	

Местные со- противления	Схема	Коэффициент местных со- противлений	Эквивалентные длины l_3 , м, при внутреннем диаметре труб, мм														
			50	100	150	207	259	309	403	514	612	700	800	898	996	1192	1392
Диафрагма: $d/D = 0,35$ $d/D = 0,40$ $d/D = 0,45$ $d/D = 0,5$ $d/D = 0,6$ $d/D = 0,7$ $d/D = 0,8$		150 75 45 28 11 4 1,5	216 108 65 40,3 15,8 5,76 2,16	510 255 153 95,2 37,4 13,6 5,1	858 429 257 157 62,8 22,8 8,58	1276 638 382 238 93,5 34,0 12,8	1680 840 504 314 123 44,8 16,8	2100 1050 630 392 154 56 21	2970 1485 890 554 218 79,2 29,7	3980 1990 1190 742 292 106 39,8	4960 2480 1490 927 364 132 49,6	5880 2940 1760 1098 461 157 58,8	6940 3470 2080 1290 508 185 69,4	8020 4010 2400 1495 587 214 80,2	9130 4565 2740 1700 669 244 91,3	11360 5580 3400 2120 833 303 114	13970 6890 4135 2570 1010 368 138
Проход тройника $d = d_1$ при раз- делении пото- ка ² : $G_1/G = 0,2$ $G_1/G = 0,4$ $G_1/G = 0,6$ $G_1/G = 0,8$ $G_1/G = 1,0$		5,3 0,5 0,1 0,05 0,05	7,63 0,7 0,14 0,07 0,07	18,0 1,7 0,34 0,17 0,17	30,3 2,86 0,57 0,29 0,29	45,0 4,3 0,85 0,43 0,43	59,5 5,6 1,12 0,56 0,56	74,2 7,0 1,4 0,7 0,7	105 9,9 1,98 0,99 0,99	141 13,3 2,65 1,33 1,33	75 16,6 3,31 1,66 1,66	208 19,6 3,31 1,96 1,96	245 23,1 4,62 2,31 2,31	283 26,7 5,34 2,67 2,67	332 30,4 6,08 3,04 3,04	401 37,9 7,6 3,8 3,8	487 46 9,2 4,6 4,6
Ответвление тройника $d_2 =$ d при разделе- нии потока ³ : $G_2/G = 0,4$ $G_2/G = 0,6$ $G_2/G = 0,8$ $G_2/G = 1,0$		5,5 2,6 1,7 1,3	7,92 3,74 2,45 1,87	18,7 8,84 5,78 4,42	31,4 14,8 9,7 7,43	46,7 22,1 14,4 11,0	61,7 29,1 19,0 14,6	77 36,4 23,8 18,2	109 51,5 33,7 25,8	146 69 45 34,5	182 86 56,2 43,1	216 102 66,6 51,0	254 120 78,6 60,1	293 139 90,8 69,5	334 158 103 79,1	416 197 129 98,4	505 239 156 119

Местные сопротивления	Схема	Коэффициент местных сопротивлений	Эквивалентные длины l_3 , м, при внутреннем диаметре труб, мм														
			50	100	150	207	259	309	403	514	612	700	800	898	996	1192	1392
Проход тройника $d = d_1$ при соединении потоков ⁴ : $G_1/G = 0,2$ $G_1/G = 0,4$ $G_1/G = 0,6$ $G_1/G = 0,8$		14	20,2	47,6	80	119	157	196	277	371	463	549	647	748	851	1060	1290
		3,4	4,9	11,6	19,4	28,8	38,0	47,6	67,4	90	112,4	133,2	157,2	181,6	206	257	312
		1,3	1,87	4,42	7,43	11,0	14,6	18,2	25,8	34,5	43,1	51,0	60,1	69,5	79,1	98,4	119
		0,5	0,72	1,7	2,86	4,3	5,6	7,0	9,9	13,3	16,6	19,6	23,1	26,7	30,4	37,9	46
Ответвление тройника $d_2 = d$ при соединении потоков ⁵ : $G_2/G = 0,4$ $G_2/G = 0,6$ $G_2/G = 0,8$ $G_2/G = 1,0$		1,5	2,16	5,1	8,58	12,8	16,8	21	29,7	39,8	49,6	58,8	69,4	80,2	91,3	114	138
		1,7	2,45	5,78	9,7	14,4	19,0	23,8	23,8	45,0	56,2	66,6	78,6	90,8	103	129	156
		1,4	2,02	4,76	8,0	11,9	15,7	19,6	19,6	37,1	46,3	54,9	64,7	74,8	85,1	106	129
		1,1	1,59	3,74	6,28	9,35	12,3	15,4	15,4	29,2	32,1	43,1	50,9	58,7	66,9	83,2	101
Произвольное местное сопротивление с ξ_1		1	1,44	3,4	5,71	8,5	11,21	14,0	19,8	26,5	33,1	39,2	46,2	53,4	60,8	75,7	91,9

¹Значения ξ и l_3 отнесены к большей скорости

²Значение ξ и l_3 отнесены к расходу G_1

³Величины ξ и l_3 отнесены к расходу G_2

⁴Величины ξ и l_3 отнесены к расходу G

⁵При значении эквивалентной шероховатости, отличной от $k_3 = 0,5$ мм, эквивалентная длина находится путем умножения табличных данных на следующие поправочные множители:

Эквивалентная шероховатость k_3 , мм.....0,2 0,5 1,0

Поправочный множитель.....1,26 1,0 0,84

Содержание

Предисловие	3
Введение	6
1 Расчет тепловой нагрузки района	9
1.1 Задание.....	9
1.2 Расчет.....	14
1.2.1 Жилые здания.....	14
1.2.2 Общественные здания.....	15
1.2.3 Промышленные здания.....	16
1.2.4 Суммарная нагрузка.....	18
1.2.5 График нагрузки по продолжительности.....	18
1.2.6 Годовой расход тепла и его обеспечение за счет отборов турбин....	21
1.2.7 Расчет коммунально-бытового потребления теплоты по укруп- ненным показателям.....	23
1.2.8 График температуры и расхода воды на отопление.....	26
1.2.9 Максимальное значение коэффициента теплофикации при задан- ном давлении регулируемого отбора пара.....	29
2 Расчет теплотребления для здания с учетом неравномерности го- рячего водоразбора	31
2.1 Задание.....	31
2.2 Решение.....	31
3 Гидравлический расчет радиальной разветвленной водяной двух- трубной тепловой сети	35
3.1 Задание.....	35
3.2 Расчет.....	36
3.3 Построение графика давлений (пьезометра).....	42
4 Тепловой расчет трубопроводов	46
4.1 Задание.....	46
4.2 Расчет.....	46
Контрольные вопросы	53
Список использованной литературы	54
Приложения	55

В.А. Бочкарев, А.А. Кошелев, В.Д. Очиров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ И ГОДОВОГО ОТПУСКА
ТЕПЛОТЫ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
ПОТРЕБИТЕЛЯМ. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ И ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ
ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы
по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения предприятий»

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР №070444 от 11.03.1998 г.

Подписано в печать 02.04.2019 г.

Тираж 50 экз.

Издательство Иркутского государственного
аграрного университета имени А.А. Ежевского
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н,
пос. Молодежный