

**В.М. Копко**



# **ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ**



В.М. Копко

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
вузов РФ по образованию в области строительства  
в качестве учебника для студентов, обучающихся  
по направлению 270100 «Строительство»*

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по образованию в области строительства и архитектуры  
в качестве учебного издания для студентов  
специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение,  
вентиляция и охрана воздушного бассейна»*



Издательство Ассоциации строительных вузов  
Москва  
2012

УДК 697.34 (075.8)  
ББК 31.38  
К 65

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор *П.И. Дячек*;  
кандидат технических наук, профессор *В.Д. Акельев*;  
доцент *Н.А. Харламова*.

**Копко, В.М.**

К 65 Теплоснабжение: курс лекций для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» высших учебных заведений / В.М. Копко. – М: Изд-во АСВ, 2012. – 336 с.

ISBN 978–5–93093–890–6

В книге рассмотрены теплофикационные и централизованные системы теплоснабжения. Приводятся методы определения расходов теплоты потребителями. Изложены вопросы конструирования и проектирования систем горячего водоснабжения. Рассмотрены схемы систем присоединения потребителей к тепловым сетям, схемы теплосетей, их конструктивные элементы. Приведены методы гидравлического, механического и теплового расчета тепловых сетей, а также их гидравлические режимы. Рассматриваются также источники тепла в контексте теплоснабжения. Уделяется внимание вопросам эксплуатации тепловых сетей и систем теплоснабжения.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

УДК 697.34 (075.8)  
ББК 31.38

ISBN 978–5–93093–890–6

© Копко В.М., 2012  
© БНТУ, 2012  
© Издательство АСВ, 2012

## Оглавление

Предисловие .....	7
Введение .....	8
<b>1. Тепловое потребление .....</b>	<b>15</b>
1.1. Тепловые нагрузки .....	15
1.2. Определение тепловых нагрузок для жилых районов города и населенных пунктов .....	16
1.3. Определение тепловых нагрузок для отдельных зданий и сооружений .....	19
1.4. Часовые и суточные графики потребления горячей воды .....	23
1.5. Интегральные графики расхода тепла. Аккумуляторы тепла .....	26
1.6. Годовые графики потребления тепла .....	29
<b>2. Системы теплоснабжения .....</b>	<b>32</b>
2.1. Классификация систем теплоснабжения. Теплоносители .....	32
2.2. Водяные системы .....	35
2.2.1. Закрытые системы .....	36
2.2.2. Открытые системы .....	46
2.2.3. Однотрубные системы .....	49
2.2.4. Преимущества и недостатки закрытых и открытых систем теплоснабжения .....	52
2.3. Паровые системы .....	53
<b>3. Горячее водоснабжение .....</b>	<b>57</b>
3.1. Автономные системы горячего водоснабжения .....	57
3.2. Централизованные системы горячего водоснабжения .....	60
3.3. Расчетный расход горячей воды .....	70
3.4. Гидравлический расчет подающих теплопроводов системы горячего водоснабжения .....	71
3.5. Основные гидравлические режимы циркуляционных систем горячего водоснабжения .....	75
3.6. Гидравлический расчет циркуляционных теплопроводов .....	76
3.7. Подбор циркуляционных насосов .....	83
<b>4. Регулирование централизованного теплоснабжения .....</b>	<b>86</b>
4.1. Задачи и виды регулирования .....	86
4.2. Общее уравнение регулирования .....	88
4.3. Тепловые характеристики теплообменных аппаратов .....	91
4.4. Центральное качественное регулирование .....	95
4.5. Центральное количественное регулирование .....	98
4.6. Центральное качественно-количественное регулирование .....	100
4.7. Центральное качественное регулирование по отопительной нагрузке .....	100
4.7.1. Графики тепловой нагрузки, температур и расходов сетевой воды на отопление .....	101
4.7.2. Графики тепловой нагрузки, температур и расходов сетевой воды на вентиляцию .....	103

4.7.3. Графики тепловой нагрузки, температур и расходов сетевой воды на горячее водоснабжение при закрытой системе теплоснабжения .....	104
4.7.4. Графики тепловой нагрузки, температур и расходов сетевой воды на горячее водоснабжение при открытой системе теплоснабжения .....	104
4.7.5. Суммарный расход воды в теплосети .....	106
4.7.6. Средняя температура воды в обратном трубопроводе теплосети .....	108
4.8. Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения .....	108
4.9. Регулирование отпуска теплоты в открытых системах теплоснабжения .....	111
<b>5. Тепловые сети .....</b>	<b>115</b>
5.1. Схемы тепловых сетей.....	115
5.2. Конструктивные элементы тепловых сетей.....	118
5.2.1. Трубы и детали трубопроводов .....	118
5.2.2. Запорная арматура .....	122
5.2.3. Подвижные опоры .....	126
5.2.4. Неподвижные опоры.....	129
5.2.5. Компенсаторы .....	131
5.2.6. Вспомогательное оборудование .....	140
<b>6. Трасса и способы прокладки тепловых сетей.....</b>	<b>142</b>
6.1. Трасса тепловых сетей.....	142
6.2. Надземные прокладки тепловых сетей .....	145
6.3. Подземные канальные прокладки тепловых сетей .....	149
6.4. Бесканальные прокладки тепловых сетей.....	151
6.5. Бесканальные прокладки из предварительно изолированных труб.....	152
6.5.1. Общие положения.....	152
6.5.2. Компенсационный метод прокладки предизолированных труб .....	155
6.5.3. Прокладка труб с предварительным подогревом.....	160
6.5.4. Прокладка труб с применением сильфонных компенсаторов.....	163
6.5.5. Компенсационные зоны .....	164
6.5.6. Неподвижные опоры.....	165
6.5.7. Ответвления трубопроводов .....	166
6.5.8. Присоединение к теплопроводам канальной прокладки .....	168
6.5.9. Установка арматуры и фасонных изделий.....	169
6.5.10. Система оперативного дистанционного контроля .....	170
6.5.11. Гибкие предизолированные трубы .....	172
6.6. Камеры обслуживания и контроля .....	172
6.7. Защита подземных прокладок от грунтовых вод .....	175
6.8. Пересечение трубопроводов теплосетей с инженерными сооружениями и естественными препятствиями .....	176

<b>7. Гидравлический расчет тепловых сетей</b> .....	182
7.1. Определение расчетных расходов теплоносителя .....	182
7.1.1. Закрытые системы теплоснабжения.....	182
7.1.2. Открытые системы теплоснабжения.....	184
7.2. Основные положения гидравлического расчета .....	185
7.3. Порядок гидравлического расчета трубопроводов водяных тепловых сетей.....	188
7.4. Гидравлический расчет паропроводов.....	189
7.4.1. Расчет паропроводов насыщенного пара.....	192
7.4.2. Расчет паропроводов перегретого пара.....	193
7.5. Гидравлический расчет конденсатопроводов.....	193
<b>8. Гидравлические режимы тепловых сетей</b> .....	195
8.1. Пьезометрические графики .....	195
8.2. Выбор схем присоединения абонентов .....	202
8.3. Расчет гидравлических режимов .....	205
8.4. Гидравлическая устойчивость систем теплоснабжения .....	208
8.5. Подпитка тепловых сетей.....	211
8.6. Гидравлический режим открытых систем теплоснабжения.....	212
8.7. Насосные подстанции .....	214
8.8. Определение параметров сетевых, подпиточных и конденсатных насосов .....	218
8.8.1. Сетевые насосы .....	218
8.8.2. Подпиточные насосы .....	219
8.8.3. Конденсатные насосы .....	220
<b>9. Расчет трубопроводов на прочность и компенсацию тепловых удлинений</b> .....	221
9.1. Определение расстояний между подвижными опорами .....	222
9.2. Определение нагрузок на опоры трубопроводов .....	223
9.3. Компенсация температурных удлинений .....	227
9.3.1. Расчет Г-образного компенсатора .....	231
9.3.2. Г-образный отвод с углом менее 90°.....	231
9.3.3. П-образный компенсатор .....	232
<b>10. Тепловая изоляция и тепловой расчет</b> .....	234
10.1. Требования, предъявляемые к теплоизоляционным материалам, и их свойства.....	234
10.2. Теплоизоляционные материалы, изделия и конструкции при надземной и подземной прокладке тепловых сетей в каналах.....	236
10.2.1. Теплоизоляционные материалы .....	236
10.2.2. Теплоизоляционные конструкции.....	238
10.2.3. Теплоизоляционные материалы и конструкции бесканальных прокладок .....	241
10.3. Тепловой расчет изоляции.....	245
10.3.1. Основные расчетные зависимости.....	245
10.3.2. Расчет теплопроводов надземной прокладки.....	251

10.3.3. Тепловой расчет изоляции при канальной прокладке .....	252
10.3.4. Тепловой расчет изоляции при бесканальной прокладке .....	253
10.3.5. Определение толщины изоляции по температуре на поверхности .....	254
10.3.6. Определение температурного поля грунта вокруг теплопроводов подземной прокладки .....	255
10.3.7. Падение температуры теплоносителя по длине изолированного теплопровода .....	256
10.3.8. Определение экономической толщины слоя изоляции .....	257
<b>11. Источники тепла .....</b>	<b>259</b>
11.1. Виды источников тепла для теплоснабжения .....	259
11.2. Паротурбинные ТЭЦ .....	261
11.3. Водоподогревательные установки ТЭЦ .....	268
11.4. Котельные и их принципиальные схемы .....	275
11.5. Атомные ТЭЦ .....	279
11.6. Когенерационные системы .....	286
11.7. Гелиотеплоснабжение .....	289
11.8. Геотермальное теплоснабжение .....	291
11.9. Теплонасосные установки .....	292
11.10. Совместная работа нескольких источников теплоты .....	294
11.11. Гидравлический удар в теплосетях .....	296
<b>12. Основы эксплуатации систем теплоснабжения .....</b>	<b>301</b>
12.1. Испытание, промывка и пуск теплосетей .....	301
12.2. Наладка систем теплоснабжения .....	307
12.3. Организация эксплуатации систем теплоснабжения .....	309
12.4. Защита трубопроводов от наружной коррозии .....	313
12.5. Защита систем горячего водоснабжения от внутренней коррозии .....	320
12.5.1. Требования к качеству воды на горячее водоснабжение .....	320
12.5.2. Противокоррозионная и противонакипная обработка воды для нужд горячего водоснабжения .....	322
Список использованных источников .....	328
<b>Приложения .....</b>	<b>329</b>
Приложение 1 .....	329
Приложение 2 .....	330
Приложение 3 .....	331
Приложение 4 .....	332

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Теплоснабжение является одной из специальных дисциплин специальности «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» и базируется на предварительном изучении студентами основополагающих дисциплин, таких как «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Механика жидкости и газа», «Строительная теплофизика», поэтому изложение материала основано на знании студентами выше названных дисциплин, а также спецкурсов «Отопление» и «Теплогенерирующие установки».

Курс лекций «Теплоснабжение» содержит основные разделы учебной программы. Раздел о схемах и оборудовании тепловых пунктов, расчет этих схем, подбор теплообменников и другого оборудования, а также расчет графиков регулирования, выносимые на практические занятия, не приведены. Эти материалы изложены автором в ранее изданных учебных пособиях («Теплоснабжение и вентиляция»: учебное пособие для вузов / под ред. Б.М. Хрусталева. – М.: АСВ, 2007, 2008, 2010. – 783 с.), а также «Пластинчатые теплообменники в системах централизованного теплоснабжения»: учебное пособие для вузов / В.М. Копко. – Минск: БНТУ, 2005. – 199 с.

Изложение курса лекций в значительной мере основывается на материалах учебников Е.Я. Соколова «Теплофикация и тепловые сети», А.А. Ионина и др. «Теплоснабжение», а также учебного пособия В.Е. Козина и др. «Теплоснабжение», указанных в списке использованной литературы. Автор выражает благодарность рецензентам – доктору технических наук, профессору П.И. Дячку и кандидату технических наук, профессору В.Д. Акельеву за просмотр рукописи и замечания. Особая признательность автора – рецензенту доценту кафедры ТТГС Московского государственного строительного университета Н.А. Харламовой за ценные замечания и предложения, высказанные по рукописи.

В издании книги также принимал участие профессор кафедры «Отопление и вентиляция» МГСУ Л.М. Махов, за что автор его благодарит.



## ВВЕДЕНИЕ

Теплоснабжение есть составная часть ведущей отрасли народного хозяйства – энергетики, куда входят также электроснабжение и газоснабжение.

Различают три вида систем теплоснабжения: децентрализованные (автономные), централизованные и теплофикационные.

Децентрализованные или автономные системы – это системы теплоснабжения с небольшими индивидуальными источниками тепла, такими как отопительные печи, котельные на различных видах топлива, другие теплогенераторы. Децентрализованные системы, как правило, состоят из источника тепла и системы теплопотребления (отопление, горячее водоснабжение), теплосети, как таковые, отсутствуют.

Централизованные системы – основной способ теплоснабжения, состоят из источника тепла, тепловых сетей (теплопроводов) и систем потребления теплоты. В качестве источников тепла являются квартальные, районные или промышленно-отопительные котельные различной мощности. В зависимости от вырабатываемого теплоносителя котельные могут быть водогрейные, паровые и пароводяные. Теплоноситель пар используется для обеспечения технологической нагрузки.

В городах имеют место следующие виды тепловых нагрузок: технологическая, на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Величина отдельных видов тепловых нагрузок зависит от ряда факторов – энергоемкости (по тепловой энергии) технологических процессов, степени застройки жилой зоны относительно общей территории, наличия общественных и коммунально-бытовых учреждений, степени благоустройства зданий и т.д. Например, в жилищно-коммунальном хозяйстве теплота примерно может распределяться так: на отопление 75%, на горячее водоснабжение 20% и на вентиляцию 5% (административные и общественные здания).

Централизованное теплоснабжение имеет целый ряд преимуществ перед децентрализованным. В этом случае отсутствуют мелкие отопительные котельные, являющиеся источниками загрязнения воздушной среды, так как газовые выбросы их содержат больше токсичных веществ по сравнению с крупными котельными, у которых процесс горения топлива является более совершенным. Это есть элемент охраны окружающей среды.

При централизованном теплоснабжении сокращается расход топлива, снижаются капитальные и эксплуатационные затраты.

Централизация теплоснабжения имеет большое социальное значение, способствуя повышению производительности труда, вытесняя малоквалифицированные профессии, улучшая условия труда, повышая культуру производства и существенно улучшает бытовые условия жизни населения. Высшей формой централизованного теплоснабжения является теплофикация, когда тепловая и электрическая энергия вырабатывается комбинированным путем на ТЭЦ. При централизованном же теплоснабжении теплота вырабатывается в котельных, а электроэнергия – на тепловых (конденсационных) электрических станциях (КЭС).

На ТЭЦ теплота рабочего тела (водяного пара) с высокими параметрами давления и температуры вначале используется для выработки электроэнергии в турбогенераторе, затем теплота уже отработавшего пара с низкими параметрами используется для подогрева сетевой воды на централизованное теплоснабжение. При таком способе использования теплоты пара удельный расход топлива на выработку электроэнергии значительно ниже, чем при раздельном получении электроэнергии на КЭС и теплоты в котельных. КПД цикла ТЭЦ при этом повышается до 75–80% против 45–50% КПД цикла КЭС, когда теплота рабочего тела, отработавшего в турбинах, отводится в окружающую среду. Среднегодовой удельный расход топлива на производство электроэнергии на ТЭЦ с обеспеченной тепловой нагрузкой не превышает 210–240 г/(кВт ч), тогда как на конденсационных электростанциях расход топлива составляет 320–360 г/(кВт ч).

Начало советской теплофикации положено в 1924 г., когда в Ленинграде под руководством проф. В.В. Дмитриева и инженера Л.Л. Гинтера от тепловой электростанции № 3 было осуществлено теплоснабжение жилого дома, больницы и бани. Широкое развитие теплофикация получила в 30-е гг. после Постановления июньского 1931 г. Пленума ЦК ВКП(б). Уже в 1980 г. в СССР работало более 1000 ТЭЦ, снабжающих теплом и электроэнергией свыше 800 городов и промышленных районов. Например, г. Ленинград уже в 1980 г. снабжался теплом от 17 ТЭЦ по теплосетям протяженностью более 1000 км.

В Беларуси начало теплофикации положено в сентябре 1929 г. пуском на Бобруйском лесокомбинате ТЭЦ мощностью 3,5 МВт. По технико-экономическому уровню, масштабам и темпам развития отечественная теплофикация стран СНГ с первых дней и по настоя-

щее время прочно занимает ведущее место в мире и прошла путь от первой турбины мощностью 680 кВт до крупнейшей теплофикационной турбины в 250 МВт, от первых ТЭЦ мощностью 2–8 МВт до ТЭЦ в 1000–2000 МВт, от первого теплопровода длиной в четверть километра до крупных магистральных теплопроводов протяженностью в десятки километров.

В крупных городах созданы мощные высокоэкономичные теплофикационные комплексы и один из первых в г. Минске, удостоенный премии Совета Министров СССР за 1983 г. Комплекс включает в себя ТЭЦ-4, работающую в основном режиме и пять котельных, работающих в пиковом режиме. Это котельные «Харьковская», «Орловская», «Курасовщина», «Западная» и «Масюковщина». В летний период, а также в отопительный период от температуры наружного воздуха  $t_e = +8\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+3,2\text{ }^\circ\text{C}$  теплоснабжение районов пиковых котельных осуществляется путем подмешивания к прямой сетевой воде от ТЭЦ-4 сетевой воды из обратных трубопроводов теплосетей второго контура смесительными насосами на пиковых котельных. Здесь же установлены подкачивающие насосы, обеспечивающие подачу обратной воды в транзитные магистрали первого контура к ТЭЦ-4. Пиковые котельные включаются в работу при температуре наружного воздуха около  $+3\text{ }^\circ\text{C}$  для догрева сетевой воды, поступающей от ТЭЦ-4 до необходимой температуры по графику регулирования.

Заложенные в Минском теплофикационном комплексе принципы формирования и развития теплофикационных систем использованы во многих городах СНГ.

Сегодня в Республике Беларусь действует 21 ТЭЦ мощностью от 5 до более 1000 МВт. Среди них Минская ТЭЦ-4 мощностью 1030 МВт с крупными современными блоками по 250 МВт, Гомельская ТЭЦ-2 мощностью 540 МВт с блоками по 180 МВт, Новополоцкая ТЭЦ мощностью 505 МВт с блоком 135 МВт и другие ТЭЦ меньшей мощности.

На ТЭЦ приходится почти 50% вырабатываемой электроэнергии в Беларуси и 46% потребляемой теплоты. В Новополоцке, Жодино, Светлогорске теплоснабжение до 95% осуществляется по теплофикационному циклу.

Централизованное теплоснабжение в городах Республики также осуществляется как от крупных районных котельных производительностью 500–2500 ГДж/ч, так и от квартальных и местных котельных малой мощности.

В республике проложено свыше 9000 км тепловых сетей (в двухтрубном исчислении) в основном канальной прокладки диаметром от 50 до 1400 мм. Схемы тепловых сетей в городах радиальные с резервными перемычками.

Регулирование отпуска теплоты – центральное качественное по отопительному графику в основном 150/70 °С. Системы теплоснабжения – закрытые и только в Мозыре и Новополоцке частично используются открытые системы.

В настоящее время теплоснабжение столицы Беларуси г. Минска осуществляется от уже упомянутого теплофикационного комплекса, включающего: ТЭЦ-4 тепловой мощностью около 50 т/ч по пару и более 8500 ГДж/ч по горячей воде; пиковые котельные «Харьковская», «Орловская» и «Масюковщина» с тепловой мощностью более 700 ГДж/ч каждая, «Курасовщина» и «Западная» с тепловой мощностью более 1000 ГДж/ч каждая.

Кроме того функционируют 3 районные котельные: «Кедышко» тепловой производительностью около 1400 ГДж/ч, «Шабаны» – более 2700 ГДж/ч, «Академгородок» – более 500 ГДж/ч и промышленная котельная «Колядичи» теплопроизводительностью более 10 т/ч по пару и более 400 ГДж/ч по горячей воде.

Также в Минске действуют более 230 промышленных и коммунальных котельных суммарной тепловой мощностью более 6500 ГДж/ч. Около 3% от суммарной тепловой нагрузки города приходится на индивидуальные источники тепла.

Суммарная протяженность тепловых сетей в г. Минске диаметром от 400 мм и более составляет более 350 км (в двухтрубном исчислении) и около 27 км паропроводов. Все тепловые сети города закольцованы перемычками, все основные источники теплоты соединены между собой резервирующими магистралями. Регулирование – центральное качественное по графику 150-70, по некоторым магистралям в зоне ТЭЦ-3 график 170-70 со срезкой на 150 °С. Прокладка теплосетей в основном в каналах, однако новые теплопроводы и реконструируемые прокладываются бесканально по современной технологии с предварительно изолируемыми трубами.

В последние годы наметилась тенденция повышения экономичности котельных за счет внедрения принципов теплофикации, т.е. комбинированного производства электроэнергии на базе выработки тепловой энергии.

На многих паровых котельных внедряется паротурбинная теплофикация, где имеется спрос на пар более низкого давления, чем

вырабатывается в котлах. В сложившейся за многие годы практике требуемое давление пара достигается дросселированием пара в редуциционной установке, когда понижение давления происходит без совершения работы. В период низкой цены на топливо это было оправданным. В процессе адиабатного расширения пара в турбине совершается полезная работа. Заменой редуциционных установок паровыми турбинами малой мощности (100 кВт – 3 МВт) осуществляется перевод паровых котельных в режим теплофикации, т.е. осуществляется перевод котельных в мини ТЭЦ.

Перевод котельной в режим ТЭЦ повышает коэффициент использования топлива, так как энергетический КПД системы составляет до 90%, что несет прямую экономическую выгоду от теплофикации.

В последнее время также находят применение новые технологии комбинированного производства тепловой и электрической энергии на основе тепловых двигателей внутреннего сгорания (ДВС), когда рабочим телом термодинамического цикла является газ и в частности непосредственно продукты сгорания газа. Применяются газотурбинные установки (ГТУ) и газопоршневые агрегаты (ГПА), относящиеся к ДВС, у которых температура рабочего тела в цикле достигает у ГТУ 1200–1400 °С, у ГПА – около 2000 °С. Очевидно, что эти значения не сопоставимы с максимальным значением температуры рабочего тела у паросиловой установки (ПСУ) – 565 °С. Принципиальное различие заключается в том, что если пар после расширения в паровой турбине имеет температуру около 30 °С, то после расширения в газовой турбине рабочее тело имеет температуру порядка 580–400 °С и выхлопные газы ГПА – 400–500 °С. В этом случае можно не только нагреть сетевую воду до 100–150 °С, но и вырабатывать пар с температурой до 500 °С, обеспечивать различные теплотехнологические процессы (нагрев, сушка и т.д.) Настоящая комбинация высокотемпературной технологии ДВС для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии является развитием теплофикации и называется когенерацией.

Применение двигателей внутреннего сгорания для комбинированного производства тепловой и электрической энергии позволяет значительно расширить круг тепловых потребителей по сравнению с традиционной теплофикацией, так как кроме коммунально-бытовых потребителей тепла с уровнем до 150 °С имеется возможность снабжения технологических потребителей теплом с параметрами до 500 °С. Если теплофикация в паротурбинном исполнении

предусматривалась при строительстве крупных источников энергии – ТЭЦ для городов с числом жителей больше 100 000 с соответствующей инфраструктурой и крупными промышленными потребителями энергии, то когенерационные установки возможны в осуществлении и экономически оправданы любой производительности вплоть до отдельного потребителя. Кроме того, строительство крупной ТЭЦ требует значительно больших сроков строительства.

Уже существуют когенерационные системы, использующие существующие теплосети, имеются также мини-системы без теплосетей.

Перевод котельных в коммунальной энергетике в когенерационный режим сулит большой экономический эффект. Вырабатывать дополнительно электроэнергию, при этом снижая долю выработки в конденсационном цикле с КПД не более 38% и увеличивая долю выработки в теплофикационном цикле с КПД равным 80–90% безусловно выгодно. При отсутствии роста энергопотребления в сфере коммунального хозяйства сжигаться газа при этом будет приблизительно в полтора раза меньше.

Удорожание газа и других видов органического топлива вынуждает обратить внимание на альтернативные виды топлива и энергии. Одним из реальных видов является энергия атома в качестве топлива на тепловых электрических станциях (АТЭЦ) и на атомных котельных. Примером этому является строительство в Беларуси атомной электрической станции.

Широко развивающееся в мире использование солнечной энергии для теплоснабжения сдерживается в Республике Беларусь вследствие географического расположения и неблагоприятных метеорологических условий. Однако, экспериментальные исследования, в том числе белорусских ученых, показали возможность использования гелиоустановок в летний период для теплоснабжения сезонных потребителей (летних санаториев, домов отдыха, спортивно-оздоровительных баз и детских летних учреждений). В этих случаях возможны комбинированные источники тепла с резервными котлами на местных видах топлива.

Другим видом возобновляемого источника энергии является энергия геотермальных вод. В Беларуси имеются значительные запасы геотермальных вод в районе Припятской низменности, в Гомельской и Брестской областях, в западной части республики. Например, в Гомельской области геотермальный потенциал равен 0,5–1 т условного топлива на один квадратный метр поверхности земли. Тем-

пература воды составляет порядка 20–115 °С на глубине залегания 2000–5000 м.

В качестве примера можно привести опыт тепличного комбината «Берестье» (возле г. Бреста), где для теплоснабжения тепличного хозяйства используют геотермальную воду температурой 30 °С из скважины глубиной около 1500 м. Однако широкое использование геотермальных вод сдерживается следующими факторами – глубокое залегание, порядка 2000–5000 м, и высокая минерализация (200–500 г на один литр). Поэтому использование геотермальных вод требует тщательного экономического обоснования.

Значительную долю в теплоснабжении промышленных предприятий низкотемпературным теплом в случае большой энергоемкости технологических процессов могут составлять вторичные энергоресурсы (ВЭР). ВЭР содержат тепло в виде отходящих газов печей и установок, в горячей воде и паре после технологических установок. Это тепло может быть использовано для отопления помещений и горячего водоснабжения. Вопросам использования ВЭР в настоящее время уделяется должное внимание.

Кроме рассмотренных видов энергии для теплоснабжения весьма актуальным является использование низкотемпературного природного тепла воздуха, грунта, воды водоемов и низкотемпературного тепла ВЭР с помощью тепловых насосов. Последние повышают потенциал тепла среды до необходимого уровня, затрачивая при этом дополнительно некоторое количество электрической энергии на привод компрессора.

Также важным вопросом в развитии теплоснабжения в Беларуси является разумное, т.е. экономически оправданное сочетание теплофикации с централизованным и автономным теплоснабжением, причем с широким использованием местных видов топлива.

Не менее важным является своевременная модернизация систем теплоснабжения с использованием современных технологий, материалов и оборудования, с широкой автоматизацией как технологических процессов, так и управления в системе источник тепла – теплосеть – установки теплопотребления.

# 1. ТЕПЛОВОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ

## 1.1. Тепловые нагрузки

По режиму потребления тепла в течение года различают сезонные и круглогодичные тепловые нагрузки.

К сезонным относят тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха. График каждой из этих нагрузок не имеет круглогодичного характера, а действует только в течение отопительного периода. Характер изменения величины сезонных нагрузок зависит от географического положения теплопотребляющего объекта и от изменяющихся климатических условий (температуры наружного воздуха, его влажности, скорости и направления ветра).

Сезонные тепловые нагрузки имеют относительно постоянный суточный график и переменный годовой график.

Величина отопительной нагрузки в течение года зависит от метеорологических условий данного отопительного периода и может значительно отличаться от нагрузок отопительных периодов предыдущих лет. Изменение отопительной нагрузки в течение суток зависит от теплоустойчивости ограждающих конструкций здания.

Тепловая нагрузка на вентиляцию по часам суток может отличаться большим разнообразием в зависимости от типа предприятий, режима работы и технологии. Если в системах кондиционирования воздуха искусственный холод производится на основе использования тепловой энергии из теплосети, то такие системы относятся к круглогодичным потребителям.

К круглогодичным тепловым нагрузкам относят нагрузку горячего водоснабжения и технологическую нагрузку.

Величина и характер нагрузки горячего водоснабжения зависят от типа теплопотребляющего объекта (жилые здания, общежития, гостиницы, общественные здания, коммунальные потребители и т.д.), степени благоустройства жилых и других зданий, от вида теплопотребителей и от режима потребления горячей воды потребителями.

В теплый период года тепловая нагрузка на горячее водоснабжение уменьшается по сравнению с холодным периодом на 30–35%, так как летом температура холодной воды в водопроводе на 10–12 °С выше, чем зимой. Кроме того, в теплый период уменьшается количество потребителей (отпуска, дачи и т.п.).



Технологические нагрузки зависят от типа предприятий, количества потребляемого тепла и его вида (горячая вода, пар), режима работы предприятий (количество смен) и от технологии.

Круглогодичные тепловые нагрузки не зависят от метеорологических факторов. Они имеют переменный суточный график и относительно постоянный годовой график.

При проектировании систем теплоснабжения расчетные величины тепловых нагрузок следует принимать по типовым проектам отопления, вентиляции и горячего водоснабжения теплопотребляющих объектов, технологическим проектам или по эксплуатационным данным. При перспективном строительстве расчетные тепловые нагрузки из типовых проектов следует принимать с соответствующими корректировками по климатическим условиям и новым нормативным требованиям.

При отсутствии вышеуказанных сведений расчетные тепловые нагрузки определяются расчетом по укрупненным показателям. Степень укрупнения при этом может быть различной.

Например, при расчете теплопотребления проектируемого района города удельные тепловые нагрузки можно рассчитывать на одного жителя, на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади и относить ко всей территории, к микрорайону или к кварталу, так как соотношение жилых, общественных, административных и промышленных зданий обычно бывает различным.

Из укрупненных показателей тепловых нагрузок наименьшую степень укрупнения имеют показатели по отдельным зданиям, следовательно, они обладают наибольшей точностью.

## **1.2. Определение тепловых нагрузок для жилых районов городов и населенных пунктов**

При отсутствии нормативных данных, т.е. при отсутствии проектов отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых, общественных и производственных зданий, а также технологических проектов производств тепловые нагрузки должны определяться [17]:

- для предприятий – по укрупненным ведомственным нормам расхода тепла или по проектам аналогичных предприятий;
- для жилых районов городов и населенных пунктов – по формулам, приведенным ниже.

Максимальный тепловой поток (тепловая нагрузка), Вт, на отопление жилых и общественных зданий

$$Q_{o \max} = q_o A(1 + K_1), \quad (1.1)$$

где  $q_o$  – укрупненный показатель максимального теплового потока (тепловой нагрузки) на отопление жилых зданий на  $1 \text{ м}^2$  общей площади, принимаемый по прил. А [17] в зависимости от  $t_o$ , этажности и периода строительства здания, Вт;

$A$  – общая площадь жилых зданий,  $\text{м}^2$ ;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий. При отсутствии данных следует принимать  $K_1 = 0,25$ .

Общая и жилая площадь связаны соотношением

$$K = F_{\text{ж}} / A = 0,6-0,72.$$

Общую площадь жилых зданий  $A$ ,  $\text{м}^2$ , определяют исходя из жилой площади  $F_{\text{ж}}$  и безразмерного планировочного коэффициента квартиры  $K$ , величину которого рекомендуется принимать равной  $0,6-0,72$  [18, с. 10]. Пользуясь табл. 4.1 и 4.1, а [20] можно определить жилую площадь квартала и количество населения, проживающего в квартале:

$$m = F_{\text{ж}} / f_{\text{ж}},$$

где  $f_{\text{ж}}$  – норма жилой площади на одного жителя, принимается местными органами власти,  $f_{\text{ж}} = 9, 15, 18 \text{ м}^2/\text{чел}$ .

Максимальный тепловой поток, Вт, на вентиляцию общественных зданий

$$Q_{v \max} = q_o A K_1 K_2, \quad (1.2)$$

где  $K_2$  – коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий; при отсутствии данных следует принимать для общественных зданий постройки до 1985 г. –  $0,4$ ; для зданий постройки после 1985 г. –  $0,6$ .

Средний тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий

$$Q_{hm} = \frac{m \cdot c(a + b)(t_m^h - t_c) \cdot 1,2}{24 \cdot 3600} \quad (1.3)$$

или

$$Q_{hm} = q_h \cdot m,$$

где  $m$  – количество жителей (в квартале, микрорайоне), чел.;  
 $c$  – удельная теплоемкость воды,  $c = 4187$  Дж/(кг·°C);  
 $a$  – норма расхода горячей воды в литрах при температуре 55 °C одного человека в средние сутки за отопительный период [11, прил. Б];  
 $b$  – то же для общественных зданий. При отсутствии данных принимать равной 25 кг/сут на одного человека (25 л/сут·чел.);  
 $t_m^h$  – средняя температура горячей воды в водоразборных стояках:  $t_m^h = 55$  °C;  
 $t_c$  – температура холодной воды в зимний период:  $t_c = 5$  °C (при отсутствии данных);  
 $1,2$  – коэффициент, учитывающий теплоотдачу в помещения от трубопроводов системы горячего водоснабжения, в том числе на отопление ванных комнат;  
 $q_h$  – укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение на одного человека (с учетом общественных зданий), Вт/чел. [17, прил. А].  
 Максимальный тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий

$$Q_{h \max} = 2,4 Q_{hm}. \quad (1.4)$$

Средний тепловой поток на отопление, Вт, за отопительный период следует определять по выражению

$$Q_{от} = Q_{о \max} \frac{t_i - t_{от}}{t_i - t_o}, \quad (1.5)$$

где  $t_i$  – расчетная температура внутреннего воздуха в помещениях. В расчетах теплопотребления следует принимать для жилых зданий  $t_i = 18$  °C, для производственных зданий  $t_i = 16$  °C; при расчете теплопотребления городов (районов)  $t_i = 18$  °C;  
 $t_{от}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °C;  
 $t_o$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °C.

Средний тепловой поток на вентиляцию, Вт (также за отопительный период)

$$Q_{вм} = Q_{в \max} \frac{t_i - t_{ом}}{t_i - t_o}. \quad (1.6)$$

Средний тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение в теплый период года

Учебное издание

**Виктор Михайлович Копко**

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

Курс лекций

для студентов специальности 1-70 04 02

«Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»  
высших учебных заведений

Редактор: *Т. Н. Микулик*

Компьютерная верстка: *В. Ю. Алексеев*

Компьют. дизайн обложки: *Н. С. Романова*

Диaposитивы предоставлены издательством

Подписано в печать 12.07.2012. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.  
Усл. 21 печ. л. Тираж 500 экз. Заказ №

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации: оф. 511  
**тел., факс:** (499) 183-56-83  
**http://www.iasv.ru, e-mail:** [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru)