

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Решением Общего собрания учредителей**  
**Некоммерческого Партнерства «Группа Э3»**  
**Протокол № 02 от « 02 » апреля 2010 г.**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО**  
**по составлению энергетических балансов**  
**установок, цехов и предприятий**

**Новосибирск 2010 г.**



## Оглавление

1. Назначение и виды энергетических балансов .....	4
2. Методы составления расходной части электробалансов .....	6
3. Методика расчета потерь электроэнергии в системах электроснабжения .....	8
3.1. Электрические сети .....	8
3.2. Трансформаторы .....	9
3.3. Электробалансы электроприводов .....	9
3.4. Электробалансы электротехнологических установок .....	12
3.5. Цеховые и общезаводские электробалансы .....	18
4. Методика расчета потерь тепла в трубопроводах теплоснабжения .....	22
5. Методика определения расчетных и фактических расходов тепла на отопление, горячее водоснабжение и вентиляцию .....	29
5.1. Определение расчетных расходов .....	29
5.2. Определение фактических расходов .....	30
6. Методика расчета теплового баланса и КПД котлов и котельных .....	31
Приложения .....	33

## 1. Назначение и виды энергетических балансов

Термин "энергетический баланс" означает полное количественное соответствие (равенство) между расходом топлива и энергии в энергетическом хозяйстве для данного момента времени. Энергетический баланс (ЭБ) состоит из двух частей: расходной и приходной. Приходная часть содержит количественный перечень энергии, поступающей посредством различных энергоносителей. Расходная часть определяет расход энергии всех видов во всевозможных ее применениях, потери при преобразовании одного вида энергии в другой и при ее транспортировке, а также энергию, накапливаемую (аккумулируемую) в специальных устройствах.

При составлении ЭБ различные энергоресурсы и виды энергии приводятся к единому измерителю. Этим измерителем является тонна условного топлива или джоуль.

В основу построения ЭБ действующего ПП должно быть положено обследование его энергетического хозяйства, технологических и энергетических характеристик оборудования. Для проектируемых предприятий ЭБ строится на основе технологических и проектных разработок. Энергетический баланс позволяет выделить из общего расхода энергии ее полезно израсходованную часть и потери по ее составляющим и тем самым выявить КПД технологического процесса, агрегата, цеха, завода.

Энергетические балансы ПП разделяются на следующие группы: по назначению - отчетные и плановые, по видам энергоносителей - частные (по отдельным видам топлива и энергии) и сводные, по объектам изучения - балансы отдельных видов технологического оборудования, цехов и предприятия в целом, по принципам составления - аналитические, синтетические, нормализованные, оптимальные, по принципам оценки использования топлива и энергии - энтропийные и эксергетические.

Отчетные ЭБ отражают фактические показатели производства и потребления топлива и энергии в истекшем периоде и уровень их использования. На основе этих ЭБ можно контролировать энергопотребление предприятия и выполнение соответствующих плановых показателей. Отчетные (фактические) ЭБ делятся на синтетические, показывающие распределение подведенных и распределенных энергоносителей внутри предприятия, и аналитические. Исходными данными для составления синтетических ЭБ служат материалы эксплуатационного приборного учета и контроля, материалы испытаний, обследований, контрольных замеров и хронометрирования работы оборудования. Разработку отчетных синтетических ЭБ следует проводить ежегодно для получения надежной и представительной информации о динамике его структуры и тенденциях совершенствования энергетического хозяйства. Синтетический ЭБ является документом, на основании которого ведется анализ фактического состояния энергетического хозяйства ПП. В процессе анализа также устанавливаются и исследуются связи энергетики и основного производства, влияние энергетики на основные показатели хозяйственной деятельности предприятия (рентабельность, производительность труда, себестоимость продукции, фондовооруженность труда и т.д.), измерение показателей, характеризующих совершенство отдельных энергетических объектов и предприятия в целом. Анализ указанных зависимостей по отдельным предприятиям позволяет изучать состояние и тенденции развития энергетического хозяйства отраслей и промышленности в целом, находить оптимальные пропорции при использовании различных видов топлива и энергии в отраслевом разрезе. Составленные по этим данным отчетные синтетические ЭБ являются документированным подтверждением того, что на рассматриваемое предприятие поступило определенное количество ТЭР и было им израсходовано на свои нужды. Однако такой баланс не выявляет степень полезного использования энергоресурсов. Глубину и характер использования подведенных энергоносителей отражают так называемые аналитические фактические ЭБ.

Разность между количеством подведенной энергии и полезной энергией, полученной от установки, составляет энергетические потери. Они классифицируются по следующим признакам.

1. По возможности и целесообразности устранения:
  - а) полные потери энергии;
  - б) потери неустранимые, определяемые принципом технологического процесса, конструкцией оборудования;
  - в) потери энергии, устранение которых в данных условиях технологически возможно;
  - г) потери энергии, устранение которых в данных условиях экономически целесообразно.
2. По месту возникновения:
  - а) потери при добыче;
  - б) при хранении;
  - в) при транспортировке;
  - г) при переработке;
  - д) при преобразовании;
  - е) при использовании.
3. По физическому признаку и характеру:
  - а) потери тепла в окружающую среду, с уходящими газами, технологической продукцией, технологическими отходами, уносом материалов, химическим и механическим недожогом, охлаждающей водой и т.д.;
  - б) потери электроэнергии в трансформаторах, дросселях, шинопроводах, линиях электропередач, преобразователях, электроприемниках и т.д.;
  - в) потери с утечками через неплотности, от усушек и т.п.;
  - г) гидравлические потери - потери напора при дросселировании, потери на трение при движении жидкости, пара и газа по трубопроводам с учетом колен, вентилях и других местных сопротивлений; д) механические потери - потери на трение.
4. По причинам возникновения (потери энергии, устранение которых в данных условиях технически возможно и экономически целесообразно):
  - а) вследствие конструктивных недостатков;
  - б) в результате неправильного выбора технологического режима работы;
  - в) из-за неправильной эксплуатации агрегата;
  - г) в результате низкого качества исполнения ремонтных работ;
  - д) вследствие брака продукции.

Характеристика использования различных энергоносителей на ПП должна отражаться в сводной форме аналитического ЭБ. При этом в качестве исходной величины, подлежащей распределению по статьям полезного использования и потерь, принимается фактическое потребление данного вида энергии, взятое из синтетического баланса. Величина невязки баланса служит критерием для оценки достоверности составленного аналитического баланса (в нормальных условиях она не должна превышать 2,5% от величины суммарного расхода энергоносителя). Аналитический баланс может служить основой для оценки энергетической эффективности рассматриваемых процессов, показателями которой являются энергетические КПД.

В зависимости от характера энергетического процесса следует различать виды полезной энергии и то сечение энергетического потока, по которому производится ее количественная оценка. Поскольку нет достаточно четкого определения понятия "полезная энергия", рекомендуется принимать для различных технологических процессов условные определения полезного использования энергии:

- в освещении - по световому потоку лампы;
- в силовых и двигательных процессах прямого действия - по расходу энергии, необходимому для процесса по теоретическому расчету (по работе на валу двигателя);
- в электрохимических и электрофизических процессах - по расходу энергии, необходимо-

- му для процесса, в соответствии с теоретическим расчетом;
- в термических процессах - по теоретическому расходу энергии на нагрев, плавку, испарение материала и проведение эндотермических реакций;
  - в отоплении, вентиляции, кондиционировании, горячем водоснабжении и хладоснабжении - по количеству тепла, полученного потребителем;
  - в средствах связи и управления - по подведенной энергии;
  - в преобразовании, хранении, переработке и транспортировке топлива и энергии - по количеству энергоресурсов, получаемых из систем преобразования, хранения, переработки или транспорта.

Часть тепловых потерь в некоторых случаях (в зависимости от организации технологического процесса) может рассматриваться как побочный энергетический ресурс, полезно используемый для целей отопления и других нужд.

Основной формой планирования энергопотребления и энергоиспользования на предприятии являются плановые ЭБ. Разработка плановых балансов осуществляется на основе анализа отчетных балансов отдельных процессов, цехов и предприятия в целом. При этом выявляются и оцениваются энергетические потери и резервы экономии энергоресурсов, а также определяются мероприятия по реализации скрытых резервов экономии топлива и энергии. Плановые балансы, составленные на основе аналитических балансов с учетом технических мероприятий по рационализации энергохозяйства, называются нормализованными. Нормализованные ЭБ строятся с учетом следующих факторов: возможностей дальнейшего совершенствования ЭБ агрегатов и процессов за счет сокращения потерь, интенсификации режима работы, рационализации энергоиспользования, внедрения новой техники и технологии; ликвидации прямых потерь топлива и энергии на всех стадиях производства, распределения и использования энергии; определения наиболее рациональных направлений использования побочных энергоресурсов; выбора наиболее рациональных энергоносителей для данного предприятия и района его размещения. При составлении нормализованных ЭБ исходят из прогрессивных нормативов полезного потребления и потерь энергии, соответствующих условиям производства. На основе этих балансов составляются планы организационно-технических мероприятий.

Другой формой планового ЭБ является оптимальный баланс. Основная задача этого баланса заключается в определении варианта энергоснабжения предприятия, при котором план выпуска продукции выполняется с минимальными затратами. В отличие от нормализованных ЭБ оптимальные балансы учитывают технико-экономические характеристики энергоснабжения района размещения предприятия. Основными показателями для составления оптимальных ЭБ являются затраты на использование топлива и энергии в технологических и энергетических процессах производства. Оптимальные ЭБ составляются по нескольким критериям: минимуму расхода топлива, минимуму суммарных затрат на производство продукции и т.д.

Приведем методы составления ЭБ для различных установок, цехов и предприятий. Методику составления балансов рассмотрим на примере балансов электроэнергии (БЭЭ).

## **2. Методы составления расходной части электробалансов**

Электробалансы позволяют судить о степени полезного использования электроэнергии, расходуемой отдельными агрегатами и их группами, цехами или предприятиями в целом. С этой точки зрения особый интерес представляет доля энергии, затрачиваемая на прямые технологические нужды. При составлении расходной части БЭЭ эта энергия всегда определяется расчетом, который может быть выполнен двумя методами: расчетным и экспериментальным.

Расчетный метод предусматривает определение расхода энергии на технологические нужды и всех видов потерь по формулам, использующим нормативные характеристики оборудования в конкретных условиях его эксплуатации. Этот способ дает хорошие результаты при составлении ЭБ агрегатов непрерывного действия или имеющих продолжительный режим работы (компрессоров, воздуходувок и вентиляторов, электрических печей и нагревателей, мельниц, каландров, смесителей, шнеков, транспортеров и т.д.). Применительно к механическому оборудованию при этом способом расчетами определяют мощность, затрачиваемую на технологический процесс (резание, обработку, ковку, прокатку, штамповку и т.д.), на потери в механизмах и приводных двигателях (механические, электрические, вентиляционные, пусковые), а также на работу вспомогательного оборудования и устройств.

Экспериментальный метод предусматривает проведение специальных испытаний оборудования и измерений всех видов потерь, входящих в расходную часть БЭЭ.

Прямой расчет электроэнергии на технологический процесс во многих случаях, в частности для механического оборудования, затруднителен, а результаты его неточны, так как основаны на ряде допущений и применении эмпирических формул и приближенных зависимостей. Поэтому наиболее целесообразно при составлении БЭЭ применение смешанного расчетно-экспериментального метода. При использовании этого метода применительно к механическому оборудованию расход энергии на технологические процессы может определяться вычитанием потерь энергии в агрегатах и сетях из энергии, израсходованной приводными двигателями (последняя замеряется счетчиком).

Все виды потерь энергии в агрегатах (постоянные, нагрузочные, пусковые и др.), а также в сетях и трансформаторах определяются расчетом с использованием результатов измерений потерь холостого хода и пусковых в агрегатах и нагрузочных токов в элементах цеховых сетей. Следует отличать потери в агрегатах и электрических сетях, которые неизбежны при преобразовании энергии и обусловлены их конструктивными данными, от дополнительных, вызываемых несоответствием номинальных мощностей агрегатов их фактической технологической нагрузке или нерациональным режимом эксплуатации. При составлении БЭЭ и его анализе учитываются обе эти составляющие потерь, однако основные возможности экономии электроэнергии заложены в сокращении дополнительных потерь.

Балансы отдельных агрегатов и цехов следует относить к смене и характерным рабочим суткам. Электробалансы отдельных агрегатов определяются по их средней суточной производительности, а цехов - по суточным графикам нагрузки за рабочие и выходные дни.

Как указывалось, для отдельных агрегатов баланс составляется по мощности. Для перехода к суточному БЭЭ необходимо знать фактическое среднее число часов работы агрегата в сутки.

Среднее время работы агрегата за смену  $t_{cm}$  при проектировании достаточно точно можно определить из следующих соотношений:

- а) для электроприемников с постоянным значением потребляемой активной мощности  $P$  и близким к неизменному значению  $\cos \varphi$  (например, насосов, вентиляторов, нагревателей)

$$t_{cm} = \bar{W}_{cm} / P \quad (1)$$

где  $\bar{W}_{cm}$  - среднее за несколько суток потребление активной энергии в дневную, наиболее загруженную смену;

- б) для агрегатов с переменным потреблением мощности и значительными изменениями  $\cos \varphi$  в зависимости от нагрузки (например, асинхронных двигателей станков)

$$t_{cm} = \bar{V}_{cm} / Q_{cm} \quad (2)$$

где  $\bar{V}_{cm}$  - средняя реактивная энергия за смену,  $Q_{cm}$  - средняя реактивная мощность агрегата за 2-3 часа непрерывной работы (обе эти величины определяются по показаниям счетчиков реактивной энергии).

Для дальнейшего перехода от сменного БЭЭ к суточному вводят коэффициент сменности

$$k_{cm} = (\bar{W}_{cym} / \bar{W}_{cm}) > 1 \quad (3)$$

где  $\bar{W}_{cym}$  - среднесуточное потребление активной энергии, кВтч.

Значения  $k_{cm}$  лежат в пределах от 1 до 3. Зная статью расходной части БЭЭ агрегата, выражающую среднюю мощность потерь, получим соответствующие среднесуточные потери энергии

$$\Delta \bar{W}_{cym} = \Delta \bar{P} \cdot t_{cm} \cdot k_{cm} = \Delta \bar{W}_{cm} \cdot k_{cm} \quad (4)$$

Расходную часть цехового БЭЭ определяют суммированием соответствующих статей расходной части БЭЭ по отдельным агрегатам. При этом нет необходимости делать измерения на каждом отдельном агрегате. Следует объединить аналогичные по типу и технологическому режиму агрегаты в группы и вести расчеты на основе измерений, выполненных на одном из них, приняв его за типичный для данной группы. Характерный агрегат выбирают по результатам изучения технологических карт и наблюдений за фактическим режимом работы механизмов группы, а также по результатам измерения времени их самоторможения.

Для предприятий в целом рекомендуется составлять годовые БЭЭ. Для перехода от суточных или сменных частных ЭБ к годовому сводному следует учесть работу цехов, производственных и культурно-бытовых подразделений в праздничные и выходные дни. Это осуществляется введением в расчеты коэффициента  $k_{вых} > 1$ . Величина его приближенно определяется из соотношения

$$k_{вых} = (5 \cdot \bar{W}'_{cym} + \bar{W}''_{cym} + \bar{W}'''_{cym}) / 5 \cdot \bar{W}'_{cym} \quad (5)$$

где  $\bar{W}'_{cym}$ ,  $\bar{W}''_{cym}$ ,  $\bar{W}'''_{cym}$  - среднее суточное потребление активной энергии в рабочий день, субботу (или предпраздничный день) и выходной день соответственно. При непрерывной работе  $k_{вых} < 1,4$ . В условиях пятидневной недели  $k_{вых} = 1,05-1,1$ .

Годовые потери энергии можно рассчитать по выражению

$$\Delta W_{\Gamma} = \Delta W_{cm} \cdot k_{cm} \cdot k_{вых} \cdot n_p'' \quad (6)$$

где  $n_p$  - число рабочих дней в году (при пятидневной рабочей неделе  $n_p = 250$ ). Если электропотребление зимой заметно отличается от летнего, то данные расчеты следует выполнять отдельно для зимнего периода, содержащего  $n_{zp}$  суток, и летних дней.

Суточный и годовой расходы энергии на освещение определяются с учетом географической широты местности.

### 3. Методика расчета потерь электроэнергии в системах электроснабжения

#### 3.1. Электрические сети

Годовые потери электрической энергии в электрических сетях определяются по выражению, кВтч:

$$\Delta W_{эс} = 0,003 \cdot \sum_{i=1}^n (I_{эс}^2 \cdot R_{эс.0} \cdot L_{эс} \cdot t_z), \quad (7)$$

где  $I_{эс}$  – средний ток сети;  $R_{эс.0}$  – активное удельное сопротивление фазы сети Ом/км;  $L_{эс}$  – длина электрической линии;  $t_z$  – число часов работы сети в году;  $n$  – количество линий. В приложении 1 даны значения  $R_{эс.0}$  для различных напряжений кабельных сетей.

### 3.2. Трансформаторы

Потери активной энергии в трансформаторах определяются по выражению, кВтч:

$$\Delta W_{mp} = \Delta P_x \cdot T_n + \kappa_{зм} \cdot \Delta P_{кз} \cdot T_{раб} \quad (8)$$

Потери реактивной энергии в трансформаторах определяются по выражению, кВАрч:

$$\Delta V_{mp} = \left( \frac{I_x \cdot T_n}{100} + \frac{\kappa_{зм}^2 \cdot U_K}{100} \cdot T_{раб} \right) \cdot S_{м.ном}, \quad (9)$$

где  $\Delta P_x, \Delta P_{кз}$  – потери холостого хода и короткого замыкания трансформаторов;  $I_x$  – ток холостого хода трансформаторов, %;  $\kappa_{зм}$  – коэффициент загрузки трансформаторов;  $T_n$  – годовое время включения трансформаторов, час;  $T_{раб}$  – годовое время работы трансформаторов под нагрузкой, час;  $U_K$  – напряжение к.з. трансформаторов в %;  $S_{м.ном}$  – номинальная мощность трансформаторов, кВА.

$$\text{Коэффициент загрузки трансформаторов: } \kappa_{зм} = \frac{S_p}{S_{м.ном}} \quad (10)$$

где  $S_p$  – расчетная (фактическая) нагрузка трансформаторов, кВА.

Полное число часов включения трансформаторов, при отсутствии данных об их отключениях, можно принимать  $T_n=744$  ч - в январе, марте, мае, июне, августе, октябре, декабре;  $T_n=720$  ч - в апреле, июле, сентябре, ноябре;  $T_n=672$  ч - в феврале. Годовое время работы с нагрузкой можно принимать:  $T_{раб} = 2400$  ч при односменной работе;  $T_{раб} = 5000$  ч при двухсменной работе;  $T_{раб} = 8400$  ч при трехсменной работе.

В приложении 2 приведены данные о  $\Delta P_x, \Delta P_{кз}, I_x$  и  $U_K$  для различных мощностей трансформаторов.

### 3.3. Электробалансы электроприводов

Постоянные потери. Потери холостого хода всего агрегата, состоящего из приводного двигателя и исполнительного механизма (металлообрабатывающего станка, компрессора, вентилятора и т.п.), включают в себя электрические потери в стали двигателя  $\Delta P_{ст}$ , его обмотках (меди)  $\Delta P_{мо}$  и механические потери в агрегате  $\Delta P_{мех}$ :

$$\Delta P_x = \Delta P_{ст} + \Delta P_{мо} + \Delta P_{мех} \quad (11)$$

Разделения потерь в стали двигателя и механических в агрегате при составлении БЭЭ обычно не требуется, так как достигаемые при этом уточнения не оправдывают усложнения расчетов и увеличения их трудоемкости. Поскольку обе эти составляющие уравнения (11) мало зависят от нагрузки, их можно считать постоянными:

$$\Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} = \Delta P_{пост} \quad (12)$$

вследствие чего  $\Delta P_x = \Delta P_{мо} + \Delta P_{пост}$  или

$$\Delta P_{пост} = \Delta P_x - \Delta P_{мо} = \Delta P_x - 3I_x^2 R_{об} 10^3 \quad (13)$$

Постоянные потери  $\Delta P_{пост}$  (кВт) определяют непосредственным измерением тока  $I_x$  и мощно-

сти  $\Delta P_x$ , потребляемых в этом режиме из сети.

Входящее в (13)  $R_{дв}$  сопротивление представляет собой сумму активного сопротивления статора двигателя при 75 °С, которое определяется по справочным данным или измеряется, и приведенного активного сопротивления ротора:

$$R_{дв} = R_{ст} + R'_{рот}, \text{ причем } R'_{рот} = (1,02 \cdot 10^3 \cdot P_{ном} \cdot s) / (n \cdot 2 \cdot I_{ном}^2),$$

где  $P_{ном}$  - номинальная мощность двигателя на валу;  $s$  - скольжение при номинальной нагрузке, %;  $n$  - номинальная частота вращения, об/мин;  $I_{ном}$  - номинальный ток двигателя.

Измерения производятся на одном агрегате (станке), принятом в качестве типового для данной группы. При необходимости определения постоянных потерь в других агрегатах группы пересчет выполняют по формуле

$$\Delta P_{пост.х} = (\Delta P_{пост.т} \cdot t_{выб.х}) / t_{выб.т},$$

где  $\Delta P_{пост.т}$  - потери в типовом двигателе;  $t_{выб.х}$ ,  $t_{выб.т}$  - время самоторможения исследуемого и типового агрегатов соответственно.

В качестве типового станка следует выбирать тот, у которого время самоторможения ближе к среднему арифметическому времени самоторможения всех станков данной группы. Измерения, связанные с определением постоянных потерь в агрегатах, надо проводить при скоростях, наиболее типичных для большинства работ, выполняемых на данном станке.

Потери при нагрузке. Средние потери активной мощности в приводном двигателе в течение смены

$$\bar{\Delta P}_{из} = 3 \cdot K_{\phi}^2 \cdot I_{см}^2 \cdot R_{дв} \cdot K_{дон} \cdot 10^{-3} \quad (14)$$

где  $K_{\phi}$  - коэффициент формы графика нагрузки;  $I_{см}$  - средний ток за смену;  $K_{дон}$  - коэффициент, отражающий дополнительные потери в двигателе при нагрузке ( $K_{дон} \approx 1$ );

$$\bar{I}_{см} = \sqrt{\bar{W}_{см}^2 + \bar{V}_{см}^2} / (\sqrt{3} U_{ном} \bar{t}_{см}).$$

Коэффициент формы определяется по выражению

$$k_{\phi} = \frac{I_{эф}}{I_{см}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{\bar{t}_{см}} \int_{t_1}^{t_2} I^2 dt}}{\frac{1}{\bar{t}_{см}} \int_{t_1}^{t_2} I dt} \approx \sqrt{\bar{t}_{см}} \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n I_k^2 \Delta t_k}}{\sum_{k=1}^n I_k \Delta t_k} \quad (15)$$

где  $t_{см} = t_2 - t_1$ ,  $I_k$  - средний ток за отрезок времени  $\Delta t_k$ .

Для расчета  $k_{\phi}$  по формуле (15) необходимо производить измерения тока (амперметром или токоизмерительными клещами) через определенные промежутки времени  $\Delta t$ , причем точность расчета будет тем выше, чем меньше эти промежутки.

Считая, что на протяжении отрезка  $\Delta t_k$  ток и напряжение неизменны, выражение (15) можно записать в виде

$$\bar{k}_{\phi} = \sqrt{\bar{t}_{см}} \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n S_k^2 \Delta t_k}}{\sum_{k=1}^n S_k \Delta t_k} \quad (16)$$

При измерении с помощью счетчиков активной и реактивной энергии полная мощность определяется

$$S_k = \sqrt{W_{ак}^2 + V_{рк}^2} / \Delta t_k.$$

Записи показаний счетчиков удобно вести через равные промежутки времени, общее количество которых в течение смены равно  $n$ , т.е.  $t_{см} = n \Delta t$ . Тогда выражение (16) примет вид

$$\bar{k}_\phi = \sqrt{n} \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n S_k^2}}{\sum_{k=1}^n S_k} = \sqrt{n} \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n (W_{ак}^2 + V_{рк}^2)}}{\sum_{k=1}^n \sqrt{W_{ак}^2 + V_{рк}^2}}$$

Дальнейшее упрощение расчета коэффициента формы сменного графика электропотребления агрегата заключается в предположении постоянства значения  $\cos \phi$ . Безусловно, это допущение применительно к отдельным приводам связано с возможностью внесения в расчет некоторой ошибки. Однако, учитывая существенное упрощение исследований при таком предположении, а также приближенный характер расчетов БЭЭ, запишем

$$\bar{k}_\phi = \sqrt{n} \sqrt{\sum_{k=1}^n W_{ак}^2} / \sum_{k=1}^n W_{ак}.$$

Заметим, что знаменатель формулы равен активной энергии, израсходованной за смену т.е.

$$\sum_{k=1}^n W_{ак} = W_{ак.см}$$

Вполне достаточной следует считать запись показаний счетчиков один раз в час, а в тех случаях, когда исследования электробаланса совмещаются с исследованиями электрических нагрузок, то один раз в 30 минут.

Формула (14) предусматривает использование в расчетах усредненных величин  $K_\phi$  и  $I_{см}$ , т.е. их математических ожиданий. Обычно ограничиваются вычислением этих величин за характерную, наиболее загруженную смену.

Средние потери энергии за смену - постоянные ( $\Delta W_{см.пост}$ ) и нагрузочные ( $\Delta W_{см.нг}$ ) - можно определить, умножая соответствующие составляющие потерь мощности (13) и (14) на  $t_{см}$ , которое находится по (1) или (2). Расход энергии на технологический процесс в течение смены

$$\bar{W}_{т.см} = \bar{W}_{см} (\Delta \bar{W}_{см.пост} + \Delta W_{см.нг}),$$

а за сутки

$$\bar{W}_{т.сут} = \bar{W}_{т.см} k_{см}.$$

Сопоставление величин отдельных статей расходной части БЭЭ позволяет судить о состоянии механической части агрегата, загрузке приводного двигателя и станка и т.п. Так, большие относительные постоянные потери свидетельствуют о плохом механическом состоянии станка, малые нагрузочные - о недогрузке приводного двигателя.

Электробалансы компрессорных агрегатов составляются на основе тех же принципов, что были изложены и проиллюстрированы выше. Некоторые особенности появляются в случае применения для привода мощных компрессоров синхронных двигателей.

### 3.4. Электробалансы электротехнологических установок

Электросварочные машины и установки. Нормализованный БЭЭ точечных, многоточечных, рельефных и шовных сварочных машин (кВтч/точка) можно составить по следующей формуле:

$$W_{\text{п}} = W_1 + W_2 + W_3 + \Delta W_4 + \Delta W_5 \quad (17)$$

Здесь  $W_n$  - энергия, полученная сварочной машиной из сети;  $W_1, W_2, W_3$  - энергия, расходуемая на нагрев и плавление металла в объеме ядра, металла, окружающего ядро, и электродов соответственно;  $\Delta W_4, \Delta W_5$  - потери энергии в сварочном трансформаторе и во вторичном контуре:

$$W_1 = 0,58 \pi d_{\text{я}} \delta c \gamma \Theta_{\text{пл}} 10^{-3}; \quad (18)$$

$$W_2 = 0,58 k_1 \pi x_2 (d_{\text{я}} + x_2) \delta c \gamma \Theta_{\text{пл}} 10^{-3} \quad (19)$$

$$W_3 = 0,58 k_2 \pi d_{\text{я}} x_3 c_3 \gamma_3 \Theta_{\text{пл}} 10^{-3}; \quad (20)$$

$$\Delta W_4 = I_{2\text{ном}}^2 R_{\text{T}}'' t_{\text{св}}; \quad (21)$$

$$\Delta W_5 = I_{2\text{ном}}^2 R_{2\text{к}} t_{\text{св}}, \quad (22)$$

где  $d_{\text{я}}$  - диаметр свариваемой точки;  $\delta$  - толщина свариваемой детали;  $c$  - теплоемкость свариваемого металла;  $\gamma$  - удельный вес металла;  $\Theta_{\text{пл}}$  - температура плавления;  $k_1 = 0,8$  - коэффициент, учитывающий уменьшение температуры окружающего металла;  $x_2 = 1,2 \sqrt{t_{\text{св}}}$  - для низкоуглеродистых сталей;  $k_2$  - коэффициент формы электродов ( $k_2=1; 1,5$  и  $2$  для цилиндрических, сферических и конических электродов соответственно);  $x_3 = 3,3 \cdot \sqrt{t_{\text{св}}}$  - для медных электродов;  $I_{2\text{ном}}$  - вторичный ток сварки;  $t_{\text{св}}$  - время сварки;  $R_{\text{T}}'', R_{2\text{к}}$  - активное сопротивление сварочного трансформатора и вторичного контура сварочной машины.

При расчетно-аналитическом методе энергию, полученную сварочной машиной из сети, определяют по формуле

$$W_{\text{п}} = (I_{2\text{ном}})^2 t_{\text{св}} R_{\text{M}}'',$$

где  $R_{\text{M}}'' = R_{\text{T}}'' + R_{2\text{к}} + R_{\text{св}}$  - полное активное сопротивление сварочной машины ( $R_{\text{св}}$  - активное сопротивление свариваемого участка). Значения  $R_{\text{T}}'', R_{2\text{к}}, R_{\text{св}}$  задаются в каталогах сварочных машин, значения  $I_{2\text{ном}}$  и  $t_{\text{св}}$  для различных толщин и марок металлов приводятся в технологических инструкциях.

В условиях эксплуатации фактическая энергия, полученная сварочной машиной, выражается формулой:  $W_{\text{пф}} = (I_{2\text{ф}})^2 t_{\text{св.ф}} R_{\text{Mф}}''$  ( $I_{2\text{ф}}, t_{\text{св.ф}}, R_{\text{Mф}}''$  - определяются путем замеров). Пример нормализованного баланса приведен в табл. 1.

Таблица 1

Нормализованный баланс рельефной сварочной машины мощностью 300 кВА

Статьи баланса	Величина $W$	
	кВтч $\cdot 10^3$	%
Приход электрической энергии	17,81	100
Расход электрической энергии:		
нагрев и плавление металла	1,07	6,0
нагрев металла, окружающего ядро	1,36	7,6
нагрев электродов	3,33	18,7
Электрические потери:		
в трансформаторе	8,0	45

во вторичном контуре	4,05	22,7
<b>Итого расход:</b>	<b>17,81</b>	<b>100</b>

Для стыковых сварочных машин нормализованный баланс (кВтч/стык) составляют по следующему выражению:

$$W_{\text{н}} = W'_1 + W''_1 + W_2 + W_3 + \Delta W_4 + \Delta W_5. \quad (23)$$

Здесь  $W'_1$  - энергия, унесенная из стыка при искрообразовании;  $W''_1$  - энергия, выделяемая в свариваемом стыке;  $W_2, W_3$  - энергия, выделяемая на собственном сопротивлении детали при оплавлении и осадке соответственно;  $\Delta W_4, \Delta W_5$  - потери энергии в сварочном трансформаторе и вторичном контуре:

$$W'_1 = 1,16 (VF \gamma (c (\Theta_{\text{опл}} - \Theta_1) + m_o)) t_{\text{опл}} 10^{-3};$$

$$W''_1 = 2,32 \lambda F t_{\text{опл}} 10^{-3} d\Theta / dx;$$

$$W_2 = 2 I_{\text{опл}}^2 R_{\text{д}} t_{\text{опл}};$$

$$W_3 = 2 I_{\text{ос}}^2 R_{\text{д}} t_{\text{ос}};$$

$$\Delta W_4 = R_{\text{т}}'' (I_{\text{опл}}^2 t_{\text{опл}} + I_{\text{ос}}^2 t_{\text{ос}});$$

$$\Delta W_5 = R_{2\text{к}} (I_{\text{опл}}^2 t_{\text{опл}} + I_{\text{ос}}^2 t_{\text{ос}});$$

$$W_{\text{пф}} = R_{\text{св}} (I_{\text{опл}}^2 t_{\text{опл}} + I_{\text{ос}}^2 t_{\text{ос}}).$$

Необходимые для расчета данные берутся из технологических инструкций и каталогов сварочных машин.

Нормализованный БЭЭ (кВтч/кг) для дуговой сварки

$$W_{\text{н}} = W_{\text{тп}} + \Delta W_2, \quad (24)$$

где  $W_{\text{тп}} = U_2 \cos\phi / k_{\text{рас}}$  - расход электроэнергии на технологический процесс сварки;  $\Delta W_2$  - потери электроэнергии в сварочном трансформаторе или выпрямителе (определяются по формулам, аналогичным (21) и (22));  $U_2$  - вторичное напряжение сварки;  $k_{\text{рас}}$  - коэффициент расплавления (зависит от материала электрода, состава покрытия, а также от рода и полярности тока. Для стальных электродов он находится в пределах 0,007 - 0,020 кг/(А·ч)).

Электрические печи сопротивления периодического действия. Нормализованный баланс за цикл работы печи можно составить по выражению

$$W_{\text{н}} = W_{\text{тп}} + \sum \Delta W, \quad (25)$$

где  $W_{\text{тп}}$  - расход электроэнергии на технологический процесс;  $\sum \Delta W$  - суммарные потери электроэнергии.

Величина полезной энергии на технологический процесс

$$W_{\text{тп}} = \sum_1^k cG(\Theta''_{\text{м}} - \Theta'_{\text{м}}) \quad (26)$$

Здесь  $c$  - удельная теплоемкость металла;  $G$  - вес отжигаемого металла;  $\Theta'_{\text{м}}, \Theta''_{\text{м}}$  - температура металла в начале и конце нагрева;  $k$  - количество циклов термообработки.

Потери электроэнергии состоят из тепловых ( $\Delta W_{\text{тп}}$ ) и электрических ( $\Delta W_{\text{пэ}}$ ). В тепловые потери входят: нагрев самой печи ( $\Delta W_{\text{ак}}$ ), теплопередача через стенки печи ( $\Delta W_{\text{q}}$ ), тепловые короткие замыкания ( $\Delta W_{\text{м.кз}}$ ). В печах сопротивления, питающихся от сети без трансформации, электрические потери малы и их можно не учитывать. При питании печей через понижающие трансформаторы следует учитывать потери в них и в сети от трансформаторов до нагревателей:

$$\Delta W_{\text{пт}} = \sum_{i=1}^m (\Delta W_{\text{ак}} + \Delta W_q + \Delta W_{\text{ткз}}); \quad (27)$$

$$(28)$$

$$\Delta W_{\text{ак}} = \sum_{i=1}^n c_i G_i (\Theta_i'' - \Theta_i') \tau; \quad (29)$$

$$\Delta W_q = q F_p \tau,$$

где  $n$  - число слоев кладки печи;  $m$  - количество циклов отжига;  $c_i$  - удельная теплоемкость материала  $i$ -го слоя;  $G_i$  - вес материала  $i$ -го слоя;  $\Theta_i'$ ,  $\Theta_i''$  - начальная и конечная средние температуры  $i$ -го слоя;  $q$  - удельный тепловой поток через стенки;  $F_p$  - расчетная площадь стенки;  $\tau$  - время прохождения теплового потока.

Удельный тепловой поток для плоской стенки определяется по выражению

$$q = \frac{\Theta_1 - \Theta_B}{1/\alpha_B + \sum_{i=1}^n \delta_i / \lambda_i + \alpha_H}, \quad (30)$$

где  $\Theta_1$  - температура внутренней поверхности кладки печи;  $\Theta_B$  - температура окружающего печь воздуха;  $\delta_i$  - толщина слоев;  $\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности материалов слоев,  $\alpha_H$  - коэффициент теплопередачи конвекцией и излучением от наружной стенки печи к окружающему воздуху.

Величина потерь на тепловые короткие замыкания принимается равной 50% потерь от теплопроводности через футеровку печи:

$$\Delta W_{\text{ткз}} = 0,5 (\Delta W_{\text{ст}} + \Delta W_{\text{св}} + \Delta W_{\text{под}}), \quad (31)$$

где  $\Delta W_{\text{ст}}$ ,  $\Delta W_{\text{св}}$ ,  $\Delta W_{\text{под}}$  - потери через стены, свод и под печи.

Пример составления баланса приведен в табл.

Таблица 2

Нормализованный баланс электрической печи сопротивления периодического действия

Статьи баланса	Величина $W$	
	кВтч	%
Приход электрической энергии	439,2	100
Расход электрической энергии:		
нагрев изделий	296,08	67,41
нагрев поддонов	57,71	13,14
Тепловые потери:		
через свод	12,37	2,82
через под	12,29	2,80
через стены	12,60	2,87
через загрузочное окно	7,40	1,69
через разгрузочное окно	1,19	0,27
Тепловые короткие замыкания	18,63	4,24
Электрические потери	20,91	4,76
<b>Итого расход:</b>	<b>439,2</b>	<b>100</b>

Дуговые электропечи. Суммарное количество электроэнергии, которую потребляет дуговая сталеплавильная печь (ДСП) в период расплавления,

$$W_{\text{п}} = W_{\text{тп}} - W_{\text{экз}} - W_{\text{г}} + \sum \Delta W_{\text{тп}} + \sum \Delta W_{\text{пз}}, \quad (32)$$

Здесь обозначено:  $W_{\text{тп}}$  - полезная энергия, идущая на нагрев и расплавление металла, шлака, а также легирующих элементов и вспомогательных добавок;  $W_{\text{экз}}$  - энергия экзотермических реакций периода расплавления;  $W_{\text{г}}$  - количество тепловой энергии, вводимой в печь топливно-

кислородными горелками;  $\sum \Delta W_{\text{тп}}$ ,  $\sum \Delta W_{\text{пэ}}$  - суммы тепловых и электрических потерь.

$$W_{\text{тп}} = \sum_{i=1}^k G_i (c_{1i} (\Theta_{\text{ни}} - \Theta_{\text{ни}}) + q_i + c_{2i} (\Theta_{\text{ви}} - \Theta_{\text{ни}})), \quad (33)$$

где  $k$  - количество компонентов шихты;  $G_i$  - вес компонентов шихты, кг;  $\Theta_{\text{ни}}$ ,  $\Theta_{\text{ни}}$ ,  $\Theta_{\text{ви}}$  - температура компонентов шихты соответственно начальная, плавления, выпуска;  $c_{1i}$ ,  $c_{2i}$  - удельная теплоемкость компонентов шихты до и после температуры плавления соответственно;  $q_i$  - скрытая теплота плавления компонентов шихты.

В тепловые потери входят: потери от теплопроводности через футеровку ( $\Delta W_{\text{ф}}$ ), на излучение через рабочее окно в период расплавления ( $\Delta W_{\text{изл}}$ ), с газами ( $\Delta W_{\text{г}}$ ), с охлаждающей водой ( $\Delta W_{\text{в}}$ ), на нагрев футеровки печи ( $\Delta W_{\text{ак}}$ ).

Электрические потери состоят из потерь в трансформаторе ( $\Delta W_{\text{т}}$ ), в "короткой сети" ( $\Delta W_{\text{кс}}$ ), в электродах ( $\Delta W_{\text{э}}$ ).

Тепловые потери:

- от теплопроводности через футеровку

$$\Delta W_{\text{ф}} = \Delta W_{\text{св}} + \Delta W_{\text{ст}} + \Delta W_{\text{дн}}, \quad (34)$$

где  $\Delta W_{\text{св}}$ ,  $\Delta W_{\text{ст}}$ ,  $\Delta W_{\text{дн}}$  - потери энергии через свод, стенки и днище соответственно;

$$\Delta W_{\text{св}} = q H \tau \quad (35)$$

( $H$  - высота цилиндрической стенки);  $\Delta W_{\text{ст}}$ ,  $\Delta W_{\text{дн}}$  определяются по формуле (29);

- на излучение

$$\Delta W_{\text{изл}} = C_{\text{пр}} \psi F_2 ((\Theta_{\text{м}}/100)^4 - (\Theta_{\text{о}}/100)^4) \tau, \quad (36)$$

где  $C_{\text{пр}}$  - приведенный коэффициент лучеиспускания;  $\psi$  - коэффициент диафрагмирования;

$F_2$  - площадь окна;  $\Theta_{\text{м}}$  - температура металла;  $\Theta_{\text{о}}$  - температура окружающей среды;

- с газами

$$\Delta W_{\text{г}} = c_{\text{г}} G_{\text{г}} (\Theta_{\text{вг}} - \Theta_{\text{о}}) \tau, \quad (37)$$

где  $c_{\text{г}}$  - средняя удельная теплоемкость воздуха;  $G_{\text{г}}$  - масса проходящего через печь воздуха;

$\Theta_{\text{вг}}$  - температура газа, выходящего из печи;

- с охлаждающей водой

$$\Delta W_{\text{в}} = 1,16 q_{\text{в}} c_{\text{в}} (\Theta_2 - \Theta_1) \tau, \quad (38)$$

где  $q_{\text{в}}$  - расход воды;  $c_{\text{в}}$  - удельная теплоемкость воды;  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  - температура воды на входе и выходе.

Электрические потери:

- в трансформаторе

$$\Delta W_{\text{т}} = \Delta P_{\text{х}} \tau + \Delta P_{\text{кз}} k_{\text{зт}}^2 \tau, \quad (39)$$

где  $\Delta P_{\text{х}}$  и  $\Delta P_{\text{кз}}$  - потери мощности при холостом ходе и коротком замыкании соответственно;

$k_{\text{зт}}$  - коэффициент загрузки печного трансформатора;

- в "короткой сети"

$$\Delta W_{\text{кс}} = (I_{\text{А}}^2 R_{\text{ксА}} + I_{\text{В}}^2 R_{\text{ксВ}} + I_{\text{С}}^2 R_{\text{ксС}}) \tau; \quad (40)$$

- в электродах

$$\Delta W_{\text{э}} = (I_{\text{А}}^2 R_{\text{эА}} + I_{\text{В}}^2 R_{\text{эВ}} + I_{\text{С}}^2 R_{\text{эС}}) \tau, \quad (41)$$

где  $I_{\text{А}}$ ,  $I_{\text{В}}$ ,  $I_{\text{С}}$  - токи в электродах фаз А, В, С;  $R_{\text{эА}}$ ,  $R_{\text{эВ}}$ ,  $R_{\text{эС}}$  - сопротивления электродов фаз А, В, С. Пример составления баланса приведен в табл. 3.

Нормализованный баланс ДСП емкостью 100 т, работающей  
без предварительного подогрева металлошихты

Статьи баланса	Величина $W$		
	кВтч/т	ГДж/т	%
<i>Приход</i>			
Электроэнергия из сети $W_{\text{п}}$	541	1,95	67,8
Энергия экзотермических реакций $W_{\text{экз}}$		0,84	29,3
Энергия от топливно-кислородных горелок $W_{\text{г}}$		0,08	2,9
<b>Итого:</b>		<b>2,87</b>	<b>100</b>
<i>Расход</i>			
Полезная энергия $W_{\text{тп}}$		1,81	63,0
Электрические потери $\sum W_{\text{пэ}}$	37	0,13	4,6
Тепловые потери $\sum W_{\text{пт}}$		0,93	32,4
В том числе:			
через футеровку и с охлаждающей водой $\Delta W_{\text{ф}} + \Delta W_{\text{в}}$		0,32	11,1
с отходящими газами $\Delta W_{\text{г}}$		0,49	17,1
на излучение $\Delta W_{\text{изл}}$ и прочие		0,12	4,2
<b>Итого:</b>		<b>2,87</b>	<b>100</b>

Индукционные печи. Методику составления нормализованного баланса рассмотрим на примере тигельных печей промышленной частоты. Уравнение нормализованного баланса для этих печей имеет вид

$$W_{\text{п}} = W_{\text{тп}} - W_{\text{экз}} - W_{\text{з}} + \sum \Delta W_{\text{пт}} + \sum \Delta W_{\text{пэ}}, \quad (42)$$

где  $W_{\text{з}}$  - тепловая энергия зумпфа (расплавленного металла, остающегося в ванне).

Составляющие тепловых потерь в (42) аналогичны составляющим в дуговых печах и определяются по выражениям (34)-(38). Полезная энергия ( $W_{\text{тп}}$ ) вычисляется по формуле (33).

В электрические потери ( $\sum W_{\text{пэ}}$ ) входят потери:

- в печном трансформаторе  $\Delta W_{\text{т}}$  (определяются по выражению (39));

- в индукторе  $\Delta W_{\text{и}} = I_{\text{и}}^2 \cdot R_{\text{и}} \cdot \tau_{\text{и}}$ ,

где  $I_{\text{и}}$  - ток в индукторе;  $R_{\text{и}}$  - активное сопротивление индуктора;

- в магнитопроводе

$$\Delta W_{\text{м}} = m k_{\text{д}} F_{\text{п}} h_{\text{п}} \gamma_{\text{с}} \Delta P_{\text{с}} \tau_{\text{п}},$$

где  $t$  - число пакетов магнитопровода;  $k_{\text{д}}$  - коэффициент дополнительных потерь, обусловленный неоднородностью поля и дефектами изготовления магнитопровода;  $F_{\text{п}}$  - сечение пакета;  $h_{\text{п}}$  - высота пакета;  $\gamma_{\text{с}}$  - плотность электротехнической стали;  $\Delta P_{\text{с}}$  - удельные электрические потери в стали;  $\tau_{\text{п}}$  - время работы печи;

- в конденсаторных установках источника питания печи

$$\Delta W_{\text{к}} = Q_{\text{кб}} \operatorname{tg} \delta \tau_{\text{п}},$$

где  $Q_{\text{кб}}$  - мощность батареи;  $\operatorname{tg} \delta$  - тангенс угла потерь;

- токопроводе

$$\Delta W_{\text{тп}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{тп}i}^2 R_i \tau_{\text{п}},$$

где  $I_{\text{тп}i}$ ,  $R_i$  - ток и активное сопротивление соответствующего участка токопровода;  $n$  - число участков токопровода.

Плазменные печи. Уравнение нормализованного баланса для плазменных печей имеет вид

$$W_{\text{п}} = W_{\text{тп}} - W_{\text{о.эл}} + \sum \Delta W_{\text{пт}} + \sum \Delta W_{\text{пэ}}.$$

Здесь  $W_{\text{о.эл}}$  - энергия от окисления электродов:  $W_{\text{о.эл}} = c_{\text{эл}} \cdot G_{\text{к}}$ , где  $c_{\text{эл}}$  - теплосодержание материала

электродов;  $G_{эл}$  - вес сгораемых электродов. Тепловые потери в плазменной печи аналогичны потерям в дуговых печах. Электрические потери включают следующие виды потерь:

- в высоковольтном кабеле
- в понижающем трансформаторе
- в сети на участке трансформатор - выпрямитель
- в выпрямителях
- в сети выпрямитель - сборные шины
- в сборных шинах
- в сети сборные шины - уравнильный реактор
- в уравнильном реакторе
- в сети уравнильный реактор - сглаживающий дроссель
- в сглаживающем дросселе
- в сети сглаживающий дроссель - сборные шины печи
- в гибком токопроводе
- в сети плазмотрона

$$\Delta W_1 = 3 \tau_n \left( \frac{I_d k_1}{k_t n_1} \right)^2 \frac{R_{01} l_1}{n_3};$$

$$\Delta W_2 = \left[ \Delta P_x + \left( \frac{I_d k_2}{k_t n_1} \cdot \frac{\sqrt{3} U_{ном}}{S_{ном}} \right) \Delta P_{кз} \right] \tau_n;$$

$$\Delta W_3 = 3 \tau_n \frac{I_d^2 k_3^2 R_{03} l_3}{n_1 n_2 n_5};$$

$$\Delta W_4 = \left( \Delta U_b I_d k_4 + \frac{I_d^2 k_4 R_b}{n_1 n_2} \right) n_6 \tau_n;$$

$$\Delta W_5 = \frac{2 I_d^2 k_5^2 R_{05} l_5}{n_1 n_2} \tau_n;$$

$$\Delta W_6 = \tau_n \sum_{i=1}^m I_i^2 R_i;$$

$$\Delta W_7 = \left( \frac{I_d}{n_1} \right)^2 \frac{R_{07} l_7}{n_6} \tau_n;$$

$$\Delta W_8 = \left( \frac{I_d}{n_1} \right)^2 R_8 \tau_n;$$

$$\Delta W_9 = I_d^2 \frac{R_{09} l_9}{n_7} \tau_n;$$

$$\Delta W_{10} = I_d^2 R_{10} \tau_n;$$

$$\Delta W_{11} = I_d^2 \frac{R_{011} l_{11}}{n_8} \tau_n;$$

$$\Delta W_{12} = I_d^2 \frac{R_{012} l_{12}}{n_8} \tau_n;$$

$$\Delta W_{13} = I_d^2 \left( \sum_{i=1}^4 \frac{\rho_i l_i}{F_i} \right) \tau_n,$$

где  $k_1 - k_5$  - коэффициент формы графика тока на участках 1 - 5;  $n_1$  - количество выпрямительных групп в выпрямителе;  $n_2$  - количество выпрямительных блоков в группе;  $n_3 - n_8$  - количество проводников в фазе;  $R_{01} - R_{012}$  - удельное сопротивление отдельных участков токопровода или кабеля;  $l_1 - l_{12}$  - длины соответствующих участков токопровода (кабеля);  $I_d$  - ток дуги плазмотрона;  $\Delta P_x$  и  $\Delta P_{кз}$  - потери мощности холостого хода и короткого замыкания понижающего трансформатора;  $S_{ном}$  - полная мощность трансформатора;  $k_t$  - коэффициент трансформации;  $\Delta U_b, R_b$  - пороговое напряжение и динамическое сопротивление одного вентиля;  $n_6$  - количество вентилях в выпрямительном шкафу;  $\rho_i$  - удельное электрическое сопротивление элемента сети плазмотрона;  $m$  - число участков сборных шин;  $I_i$  - ток в отдельных участках сборных шин;  $R_i$  - сопротивление отдельных участков сборных шин.

В табл. 4 приведен нормализованный баланс плазменной печи.

Таблица 4

Нормализованный баланс плазменной печи для плавки чугуна емкостью 12т

Статьи баланса	Величина $W$	
	кВтч	%
Приход электроэнергии из электрической сети	<b>503,67</b>	<b>100</b>
От окисления электродов	-	-
<b>Итого приход:</b>	<b>503,67</b>	<b>100</b>
Расход электрической энергии	296,08	58,78
На расплавление и перегрев металла	57,71	11,46
Тепловые потери	64,49	12,80
Электрические потери:		
в высоковольтной сети и трансформаторе	24,66	4,90
выпрямителях и сборных шинах	12,60	2,50
уравнильном реакторе	7,40	1,47
дросселе	1,19	0,24

катодной короткой сети	18,63	3,70
анодной короткой сети	20,91	4,15
<b>Итого расход:</b>	<b>503,67</b>	<b>100</b>

### 3.5. Цеховые и общезаводские электробалансы

Баланс электроэнергии по цеху получают суммированием аналогичных статей расходной части БЭЭ питающих шинопроводов (последние образуются балансами технологических агрегатов). В отличие от БЭЭ отдельных технологических установок цеховые балансы целесообразно составлять как в дифференциальной, так и в структурной форме. Кроме того, требуется учитывать баланс реактивной энергии, поскольку приходная часть формируется частично компенсирующими устройствами, установленными в отдельных цехах, и синхронными двигателями, работающими с опережающим током.

В расходной части цехового БЭЭ должны быть учтены статьи, отражающие общецеховое электропотребление осветительными и вентиляционными установками, подъемно-транспортным оборудованием, а также потери в цеховой сети и цеховых трансформаторах. Если возможно, следует учитывать также расход энергии вспомогательными механизмами и устройствами.

В табл. 5, 6 приведены примеры составления приходной и расходной частей цехового БЭЭ.

Таблица 5

Приходная часть суточного БЭЭ механического цеха

Статьи прихода	Электроэнергия	
	активная, кВтч	реактивная, кВАрч
Поступило из сети:		
по шинопроводу 1	1810	1940
по шинопроводу 2	1560	1450
по шинопроводу 3	1590	1845
по шинопроводу 4	270	-
Выработано в цехе:		
конденсаторными батареями	-	-1840
синхронными двигателями	-	-
<b>Итого:</b>	<b>5230</b>	<b>3395</b>

Таблица 6

Расходная часть суточного БЭЭ механического цеха в дифференциальной форме

Статьи расхода	Потребление электроэнергии, кВтч					
	шинопровод				всего по цеху	
	1	2	3	4	кВтч	%
<b>На основной технологический процесс</b>	<b>940</b>	<b>845</b>	<b>815</b>	<b>-</b>	<b>2600</b>	<b>49,7</b>
Потери:						
постоянные	556	520	456	-	1532	29,4
нагрузочные	128	92	90	17	327	6,3
тепловые	-	12	32	-	44	0,8
пусковые	15	-	20	-	35	0,7
в цеховой сети	16	13	14	5	48	4,7
Освещение	-	-	-	248	248	0,9

Вспомогательные нужды (подъемно-транспортное оборудование, вентиляция)	125	78	131	-	334	6,4
Бытовые нужды	30	-	32	-	62	1,1
<b>Итого:</b>	<b>1810</b>	<b>1560</b>	<b>1590</b>	<b>270</b>	<b>5230</b>	<b>100</b>

В структурной форме БЭЭ может быть представлен на основании сведений о характере используемого технологического оборудования и его назначении. Потери (кроме потерь в сети) должны быть разнесены по отдельным видам оборудования. Применительно к рассматриваемому цеху структурный баланс приведен в табл. 7. При составлении структурных БЭЭ к силовому оборудованию относят электроприводы самых разнообразных механизмов: прокатных станков, металлообрабатывающих станков, насосов, вентиляторов, каландров, дробилок, мельниц, кузнечно-прессовое и подъемно-транспортное оборудование, двигатели-генераторы и т.п. В состав электротехнологического оборудования входят: электрические печи и нагреватели, электролизные и электросварочные установки, установки электрохимической и электрофизической обработки материалов.

Таблица 7

Расходная часть суточного БЭЭ механического цеха в структурной форме

Вид оборудования и статьи расхода	Расход электроэнергии	
	кВтч	%
Силовое электрооборудование	3409	65,24
Электротехнологическое	1078	20,63
Подъемно-транспортное	209	4,00
Вентиляция	125	2,39
Освещение	248	4,75
Бытовые нужды	62	1,19
Потери в цеховой сети	43	0,82
Неучтенное оборудование	51	0,98
<b>Итого:</b>	<b>5225</b>	<b>100,00</b>

Баланс по заводу составляют суммированием цеховых БЭЭ, учитывая при этом общезаводских потребителей энергии и отпуск электроэнергии сторонним абонентам. Сюда включаются потери в трансформаторах ГПП и в линиях распределительных сетей.

Потребление электроэнергии всем предприятием колеблется по месяцам года иногда в довольно заметных пределах. Это особенно характерно для заводов с широкой номенклатурой выпускаемых изделий. Годовое электропотребление при неизменном объеме выпускаемой продукции более стабильно. Годовой прирост выпуска продукции, конечно, сказывается и на соответствующем увеличении расхода энергии, но коэффициент прироста может быть всегда учтен и в БЭЭ. Поэтому в качестве расчетного периода при составлении сводного БЭЭ удобно принять год, хотя может быть взят и месяц. Отнесение сводного БЭЭ к суткам нецелесообразно, так как в пределах такого короткого периода наблюдений процесс электропотребления предприятием нельзя считать установившимся и стационарным.

Кроме баланса потребления активной энергии для предприятия следует составлять баланс потребления реактивной энергии. Такая форма БЭЭ дает возможность проследить, в каком соотношении находится потребляемая из сети реактивная энергия с вырабатываемой на месте источниками реактивной мощности, а также определить стратегию дальнейшего обеспечения потребности предприятия в данном виде энергии.

Ввиду трудности охвата в расходной части БЭЭ всех потребителей завода БЭЭ последнего сводится с некоторой невязкой. По аналогии с расчетом электрических нагрузок можно считать до-

пустимой невязку в пределах 10%, причем она всегда положительная (приход энергии больше расхода, определенного суммированием всех частных БЭЭ, потерь в заводских сетях и общезаводского электропотребления).

В качестве примера в табл. 8 приведена расходная часть годового баланса по активной энергии крупного предприятия. Сумма числовых значений первых шести строк в таблице составляет 55%. По своей структуре эта часть расхода энергии распределяется следующим образом: силовое оборудование - 28,7%; электротехнологическое оборудование - 26,3%.

Таблица 8

Расходная часть годового БЭЭ машиностроительного завода в дифференциальной форме

Статья расхода и вид оборудования	Годовой расход электроэнергии, %
На технологический процесс	30
Потери в основном оборудовании:	
постоянные	16
нагрузочные	3,1
тепловые	3,1
пусковые	1,8
на испытания	1,0
Подъемно-транспортное оборудование	3,4
Вспомогательное	2,5
Вентиляция	10,5
Освещение	16,5
Бытовой расход	0,6
Потери в сетях	0,9
Потери в трансформаторах	2,1
Неучтенный расход (невязка)	8,5
<b>Итого:</b>	<b>100</b>

Исходной информацией при составлении и анализе ЭБ ПП (табл. 10) являются показатели использования энергии. Такими показателями следует считать удельный расход энергоносителя, норму расхода энергоносителя, КПД энергоиспользующей установки и неэнергетические затраты, связанные с осуществлением производственного процесса. Показатели использования энергии характеризуют технологическую и экономическую деятельность предприятия.

В табл. 9 представлен сводный ЭБ металлургического комбината.

Таблица 9

## Сводный энергетический баланс металлургического комбината

Наименование статей баланса	Расход по видам топлива, т у.т.									
	Природные ТЭР		Продукты переработки топлива							
	Каменный уголь	Газ	Кокс	Коксит	Мазут	Дизельное топливо	Бензин	Керосин	Коксовый газ	Доменный газ
<b>Остаток на начало отчетного года</b>	<b>310750</b>	-	<b>3762</b>	<b>1395</b>	<b>10275</b>	<b>363</b>	<b>225</b>	<b>882</b>	-	-
Произведено топлива или энергии	-	-	484110	688200	-	-	-	-	1493500	1716000
Поступило со стороны	8525000	607500	-	-	493200	4712	1500	9408	-	-
Всего ТЭР	8835750	607500	4844862	689595	503475	5075	1725	10290	1493500	1716000
<b>Израсходовано всего ТЭР</b>	<b>8487861</b>	<b>606690</b>	<b>4009990</b>	<b>620310</b>	<b>489775</b>	<b>4640</b>	<b>1575</b>	<b>9261</b>	<b>1451600</b>	<b>1627340</b>
В том числе:										
на выработку электроэнергии	1095000	81000	-	-	34250	1450	-	-	28500	57200
на выработку теплоэнергии ТЭЦ	282000	13500	-	18600	54800	-	-	-	91200	28600
на выработку теплоэнергии в котельных и утилизационных установках	87000	6750	-	6510	20550	-	-	-	22800	14300
на непосредственное потребление в качестве топлива или энергии	92075	505440	4009000	595200	379901	3190	1575	8967	1309100	1527240
на нетопливные нужды	-	-	990	-	274	-	-	294	-	-
Потери при обогащении, обессоливании и обезвоживании	260000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Потери при хранении и транспортировке	25960	810	-	-	-	-	-	-	30500	85800
Отпуск на сторону	30349	-	830907	67425	4110	-	-	-	11400	2860
<b>Израсходовано с учетом потерь и отпуска на сторону</b>	<b>8804170</b>	<b>607500</b>	<b>4840897</b>	<b>687735</b>	<b>403885</b>	<b>4640</b>	<b>1575</b>	<b>9261</b>	<b>1493500</b>	<b>1716000</b>
<b>Остаток на конец года</b>	<b>25580</b>	-	<b>3965</b>	<b>1860</b>	<b>9590</b>	<b>435</b>	<b>150</b>	<b>1029</b>	-	-

Наименование статей баланса	Электроэнергия, тыс. кВтч т у.т.	Тепловая энергия, млн. кДж/т у.т.			Суммарный расход ТЭР, т у.т.
		от ТЭЦ	от котельных	от утилизационных установок	
<b>Остаток на начало года</b>	-	-	-	-	<b>328312</b>
Произведено топлива или энергии	29000000	2642000	815000	500000	10290651
	986000	377806	116545	71500	
Поступило со стороны	<u>300000</u> 102000	-	-	-	9746510
Всего ресурсов	32000000	2642000	815000	500000	20365473
	1088000	377802	116545	71500	
<b>Израсходовано всего</b>	<b><u>2100000</u> <u>714000</u></b>	-	<b><u>3757000</u> <u>537251</u></b>	-	<b>18563083</b>
В том числе:					
на выработку электроэнергии	-	-	-	-	1297400
на выработку тепловой энергии на ТЭЦ	-	-	-	-	488700
на выработку тепловой энергии в котельных и утилизационных установках	-	-	-	-	157910
на непосредственное потребление в качестве топлива или энергии	2100000		3757000		98885729
	714000		537251		
в качестве сырья на переработку в другие виды топлива и нетопливные продукты	-	-	-	-	6731786
на нетопливные нужды	-	-	-	-	1558
Потери при обогащении, обессоливании и обезвоживании	-	-	-	-	260000
Потери и недостатки при хранении и транспортировке	200000		150000		232520
	68000		21450		
Отпуск на сторону	<u>900000</u>		<u>50000</u>		1260731
	306000		7150		
Израсходовано с учетом потерь и отпуска на сторону	32000000		3957000		20316334
	1088000		565851		
<b>Остаток на конец года</b>	-	-	-	-	<b>49139</b>

#### 4. Методика расчета потерь тепла в трубопроводах теплоснабжения

Различают два вида потерь в тепловых сетях: потери через изоляцию и потери от утечек теплоносителя, которые определяются конструкцией сети, ее состоянием и условиями эксплуатации.

Потери через изоляцию\*. Существующие нормы потери тепла в трубопроводах определяются значениями среднегодовых температур теплоносителя и окружающей среды. Определение часовых тепловых потерь при среднегодовых условиях работы тепловой сети

\* Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю "ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ". СО 153-34.20.523-2003 Часть 3.

по нормам тепловых потерь согласно соответствующим нормам проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования осуществляется отдельно для подземной и надземной прокладок по формулам:

для подземной прокладки  $Q_{\text{норм}}^{\text{ср.г}}$  [Вт (ккал/ч)] суммарно по подающему и обратному трубопроводам:

$$Q_{\text{норм}}^{\text{ср.г}} = \Sigma (q_{\text{н}} L \beta); \quad (43)$$

для надземной прокладки отдельно по подающему  $Q_{\text{норм.п}}^{\text{ср.г}}$  и обратному  $Q_{\text{норм.о}}^{\text{ср.г}}$  [Вт (ккал/ч)] трубопроводам:

$$Q_{\text{норм.п}}^{\text{ср.г}} = \Sigma (q_{\text{н.п}} L \beta); \quad Q_{\text{норм.о}}^{\text{ср.г}} = \Sigma (q_{\text{н.о}} L \beta), \quad (44)$$

где  $q_{\text{н}}$ ,  $q_{\text{н.п}}$  и  $q_{\text{н.о}}$  — удельные (на 1 м длины) часовые тепловые потери, определенные по нормам тепловых потерь в соответствии с нормами проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования для каждого диаметра трубопровода при среднегодовых условиях работы тепловой сети, для подземной прокладки суммарно по подающему и обратному трубопроводам и отдельно для надземной прокладки, Вт/м [ккал/(м·ч)];

$L$  — длина трубопроводов на участке тепловой сети с диаметром  $d$  в двухтрубном исчислении при подземной прокладке и по подающей (обратной) линии при надземной прокладке, м; диаметр  $d$  может приниматься наружным или условным в зависимости от используемых норм проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования;

$\beta$  — коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери арматурой, компенсаторами, опорами, принимается для подземной канальной и надземной прокладок равным 1,2 при диаметрах трубопроводов до 150 мм и 1,15 при диаметрах 150 мм и более, а также при всех диаметрах бесканальной прокладки.

Значения удельных часовых тепловых потерь принимаются по нормам тепловых потерь для тепловых сетей, тепловая изоляция которых выполнена согласно соответствующим нормам проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования.

Нормы тепловых потерь (плотности теплового потока) водяными теплопроводами, спроектированными с 1998 г., приведены в приложении 4 и приложении 5. Для тепловых сетей, спроектированных в период с 1959 г. по 1990 г. и с 1990 г. по 1998 г., нормы тепловых потерь (плотности теплового потока) водяными теплопроводами, приведены в приложениях 1 и 2\*.

Нормы тепловых потерь приведены в виде удельных (на 1 м длины трубопроводов) часовых тепловых потерь: ккал/(м·ч) или Вт/м.

Значения удельных часовых тепловых потерь при среднегодовой (среднесезонной) разности температур сетевой воды и окружающей среды (грунта или воздуха), отличающейся от значений, приведенных в соответствующих нормах проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования, или среднегодовой температуры теплоносителя, приведенной в строительных нормах и правилах по тепловой изоляции оборудования и трубопроводов и изменениях указанных строительных норм и правил, определяются путем линейной интерполяции.

Значения удельных часовых тепловых потерь при использовании норм проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования определяются отдельно для подземной и надземной прокладок при среднегодовой, в отдельных случаях среднесезонной разности

---

\* Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю "ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ". СО 153-34.20.523-2003 Часть 3.

температур сетевой воды и окружающей среды (грунта или наружного воздуха)  $\Delta t_{\text{cp}}^{\text{cp.g}}$ , °С.

Для подземной прокладки значение среднегодовой разности температур сетевой воды и окружающей среды (грунта)  $\Delta t_{\text{cp}}^{\text{cp.g}}$  (°С) определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{cp}}^{\text{cp.g}} = \frac{t_{\text{п}}^{\text{cp.g}} + t_{\text{о}}^{\text{cp.g}}}{2} - t_{\text{гр}}^{\text{cp.g}}, \quad (45)$$

где  $t_{\text{п}}^{\text{cp.g}}$ ,  $t_{\text{о}}^{\text{cp.g}}$  и  $t_{\text{гр}}^{\text{cp.g}}$  — соответственно значения среднегодовых температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах и температуры грунта на глубине заложения трубопроводов, °С.

Удельные часовые тепловые потери  $q_{\text{н}}$  (ккал/ч) определяются суммарно для подающего и обратного трубопроводов. Для промежуточных, отличных от табличных, значений среднегодовой разности удельные часовые тепловые потери находятся путем линейной интерполяции.

Для надземной прокладки среднегодовая разность температур сетевой воды и окружающей среды (наружного воздуха) определяются отдельно для подающего  $\Delta t_{\text{cp.п}}^{\text{cp.g}}$  и обратного  $\Delta t_{\text{cp.о}}^{\text{cp.g}}$  трубопроводов (°С) по формулам:

$$\Delta t_{\text{cp.п}}^{\text{cp.g}} = t_{\text{п}}^{\text{cp.g}} - t_{\text{в}}^{\text{cp.g}}; \quad \Delta t_{\text{cp.о}}^{\text{cp.g}} = t_{\text{о}}^{\text{cp.g}} - t_{\text{в}}^{\text{cp.g}}, \quad (46)$$

где  $t_{\text{в}}^{\text{cp.g}}$  — среднегодовая температура наружного воздуха, °С.

Удельные часовые тепловые потери определяются также отдельно для подающего  $q_{\text{н.п}}$  и обратного  $q_{\text{н.о}}$  трубопроводов. Промежуточные значения определяются линейной интерполяцией.

В отдельных случаях возникает необходимость вместо среднегодовых значений удельных часовых тепловых потерь определять среднесезонные значения, например при работе сетей только в отопительный период при отсутствии горячего водоснабжения или при самостоятельных тепловых сетях горячего водоснабжения, осуществлении горячего водоснабжения при открытой схеме по одной трубе (без циркуляции) и т.п.

В этих случаях удельные часовые тепловые потери определяются отдельно для отопительного и летнего периодов при соответствующих разностях среднесезонных температур теплоносителя и окружающей среды, определенных по тем же формулам. Среднегодовые тепловые потери определяются путем их суммирования. При этом пересчет на другие температурные условия также производится посезонно.

Определение часовых тепловых потерь тепловыми сетями, теплоизоляционные конструкции которых выполнены в соответствии с нормами, указанными в приложениях 4 и 5, принципиально не отличается от вышеприведенного. В то же время необходимо учитывать следующее:

— нормы приведены отдельно для тепловых сетей с числом часов работы в год более 5000, а также 5000 и менее;

— для подземной прокладки тепловых сетей нормы приведены отдельно для канальных и бесканальных прокладок;

— нормы приведены для абсолютных значений среднегодовых температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах, а не для разности среднегодовых температур сетевой

воды и окружающей среды; среднегодовая температура окружающей среды (воздуха и грунта) принята равной  $+5^{\circ}\text{C}$ ;

— удельные тепловые потери для участков подземной канальной и бесканальной прокладок для каждого диаметра трубопровода находятся путем суммирования тепловых потерь, определенных по нормам отдельно для подающего и обратного трубопроводов.

Среднегодовые значения температур сетевой воды  $t_{\text{п}}^{\text{ср.г}}$  и  $t_{\text{о}}^{\text{ср.г}}$  определяются как средние значения из ожидаемых среднемесячных значений температуры воды по принятому температурному графику регулирования отпуска тепла, соответствующих ожидаемым значениям температуры наружного воздуха за весь период работы тепловой сети в течение года. Среднесезонные значения температуры определяются за месяцы соответствующих сезонов, включая и неполные. При этом среднегодовые значения температур, определенные из среднесезонных значений, должны быть равны значениям среднегодовых температур, определенных по среднемесячным значениям.

Ожидаемые среднемесячные значения температуры наружного воздуха  $t_{\text{в}}^{\text{ср.г}}$  и грунта  $t_{\text{гр}}^{\text{ср.г}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) определяются как средние значения из соответствующих статистических климатологических значений за последние 5 лет по данным местной метеорологической станции или по климатологическим справочникам.

Среднегодовое значение температуры грунта  $t_{\text{гр}}^{\text{ср.г}}$  определяется как среднее значение из ожидаемых среднемесячных значений температуры грунта на глубине залегания трубопроводов. Сезонные значения определяются за месяцы работы сети в соответствующих сезонах.

Нормируемые эксплуатационные месячные тепловые потери через теплоизоляционные конструкции тепловой сети  $Q_{\text{из}}^{\text{м}}$  (ГДж (Гкал)) определяются по формуле

$$Q_{\text{из}}^{\text{м}} = 3,6 \cdot (Q_{\text{п}}^{\text{ср.м}} + Q_{\text{н.п}}^{\text{ср.м}} + Q_{\text{н.о}}^{\text{ср.м}}) \cdot n_{\text{м}}, \quad (47)$$

где  $Q_{\text{п}}^{\text{ср.м}}$ ,  $Q_{\text{н.п}}^{\text{ср.м}}$  и  $Q_{\text{н.о}}^{\text{ср.м}}$  - нормируемые эксплуатационные часовые тепловые потери участков соответственно для подземной прокладки суммарно по подающему и обратному трубопроводам и отдельно для надземной прокладки при среднемесячных условиях работы тепловой сети, МВт (Гкал/ч);

$n_{\text{м}}$  - продолжительность работы тепловой сети в рассматриваемом месяце, ч.

Нормируемые эксплуатационные часовые тепловые потери при среднемесячных условиях работы тепловой сети определяются:

— для участков подземной прокладки суммарно по подающему и обратному трубопроводам  $Q_{\text{н}}^{\text{ср.м}}$  [МВт (Гкал/ч)] по формуле

$$Q_{\text{н}}^{\text{ср.м}} = Q_{\text{н}}^{\text{ср.г}} \cdot \frac{t_{\text{п}}^{\text{ср.м}} + t_{\text{о}}^{\text{ср.м}} - 2t_{\text{гр}}^{\text{ср.м}}}{t_{\text{п}}^{\text{ср.г}} + t_{\text{о}}^{\text{ср.г}} - 2t_{\text{гр}}^{\text{ср.г}}} \cdot 10^{-6}, \quad (48)$$

— для участков надземной прокладки отдельно по подающему  $Q_{\text{н.п}}^{\text{ср.м}}$  и обратному  $Q_{\text{н.о}}^{\text{ср.м}}$  [МВт (Гкал/ч)] трубопроводам по формулам:

$$Q_{\text{н.п}}^{\text{ср.м}} = Q_{\text{н.п}}^{\text{ср.г}} \cdot \frac{t_{\text{п}}^{\text{ср.м}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.м}}}{t_{\text{п}}^{\text{ср.г}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.м}}} \cdot 10^{-6}, \quad Q_{\text{н.о}}^{\text{ср.м}} = Q_{\text{н.о}}^{\text{ср.г}} \cdot \frac{t_{\text{о}}^{\text{ср.м}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.м}}}{t_{\text{о}}^{\text{ср.г}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.м}}} \cdot 10^{-6}, \quad (49)$$

где  $t_{п}^{ср.м}$  и  $t_{о}^{ср.м}$  - ожидаемые среднемесячные значения температуры сетевой воды соответственно в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети по температурному графику при ожидаемых среднемесячных значениях температуры наружного воздуха, °С;

$t_{гр}^{ср.м}$  и  $t_{в}^{ср.м}$  - ожидаемые среднемесячные температуры соответственно грунта на глубине заложения трубопроводов и наружного воздуха, °С.

Нормируемые эксплуатационные тепловые потери через теплоизоляционные конструкции по сезонам работы тепловой сети (отопительному и летнему) и в целом за год определяются как сумма нормируемых эксплуатационных месячных тепловых потерь.

При определении сезонных потерь тепла тепловые потери переходных месяцев распределяются пропорционально числу часов работы сети в том или другом сезонах. Если при этом из работы выключается (включается) часть тепловых сетей, то тепловые потери определяются также и с учетом изменения материальной характеристики.

К полученным значениям часовых тепловых потерь по участкам тепловой сети, определенным по нормам, вводятся поправочные коэффициенты, определяемые на основании положений п. 3.1.3\*.

Фактические тепловые потери через теплоизоляционные конструкции. Тепловые потери за прошедший отрезок времени (месяц, сезон, год) через теплоизоляционные конструкции тепловых сетей по их балансовой принадлежности определяются при фактических температурных режимах работы тепловой сети (средних за соответствующие периоды значения температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах, наружного воздуха и грунта) и ее теплотехнических характеристиках, принятых для определения нормируемых эксплуатационных тепловых потерь.

Тепловые потери за прошедший месяц работы тепловой сети определяются по формулам (47) — (49) с подстановкой в них вместо ожидаемых среднемесячных значений температур сетевой воды, наружного воздуха и грунта их фактических среднемесячных значений по результатам эксплуатационных измерений и метеорологическим данным.

Определение эксплуатационных тепловых потерь за прошедший период работы тепловых сетей осуществляется в сопоставимых условиях по значению материальной характеристики сети в целом или по отдельным видам прокладки. При изменениях за прошедший период значения материальной характеристики (например, при вводе в эксплуатацию новых участков, изменении балансовой принадлежности сетей), не учтенных при нормировании эксплуатационных тепловых потерь на этот период, вносятся коррективы в исходные данные для расчета величин, входящих в формулы (47)-(49).

Тепловые потери за прошедший сезон или год работы тепловой сети определяются как сумма месячных тепловых потерь.

Потери с утечкой теплоносителя\*. Удельное значение потерь сетевой воды (ПСВ) с утечкой определяется требованиями действующих Типовой инструкции по технической эксплуатации систем транспорта и распределения тепловой энергии (тепловых сетей) и Типовой инструкции по технической эксплуатации тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения и устанавливается в размере не более 0,25% среднегодового объема воды в тепловой се-

---

\* Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю "ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ". СО 153-34.20.523-2003 Часть 3.

\* Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю "ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ". СО 153-34.20.523-2003 Часть 3, 4.

ти и подключенных к ней системах теплоснабжения в час.

Конкретное удельное значение ПСВ с утечкой для каждой системы теплоснабжения в размере, не превышающем 0,25%/ч, устанавливается на основании анализа эксплуатационных данных с учетом местных особенностей.

Объем воды в трубопроводах тепловой сети определяется в зависимости от их протяженности и диаметра по сводной спецификации. Технические характеристики трубопроводов для определения внутреннего объема тепловых сетей приведены в приложении 3.

Нормируемые эксплуатационные годовые тепловые потери с нормируемой утечкой  $Q_{ут}^г$ , ГДж (Гкал), определяются по формуле

$$Q_{ут}^г = \alpha V^{ср.г} c p^{ср.г} \left( \frac{t_{п}^{ср.г} + t_{о}^{ср.г}}{2} - t_{х}^{ср.г} \right) \cdot n_{год} \cdot 10^{-6}, \quad (50)$$

где  $\alpha$  — нормируемая среднегодовая утечка сетевой воды,  $м^3/(ч \cdot м^3)$ ; устанавливается ПТЭ не более 0,25% в час от среднегодового объема сетевой воды в тепловой сети и присоединенных к ней системах теплоснабжения ( $0,0025 м^3/(ч \cdot м^3)$ ); для конкретной тепловой сети этот процент устанавливается в размере, не превышающем значения, указанного эксплуатирующей организацией на основании анализа статистики фактических потерь сетевой воды;  $V^{ср.г}$  — среднегодовой объем сетевой воды в тепловой сети и присоединенных к ней системах теплоснабжения,  $м^3$ ;

$c$  — удельная теплоемкость сетевой воды, принимается равной 4,1868 кДж/(кг · °С) или 1 ккал/(кг · °С);

$\rho^{ср.г}$  - среднегодовая плотность воды,  $кг/м^3$ ; определяется при среднем значении среднегодовых температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах;

$t_{п}^{ср.г}$  и  $t_{о}^{ср.г}$  - среднегодовая температура сетевой воды соответственно в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, °С; принимается в соответствии с п. 3.1.10 настоящих Методических указаний;

$t_{х}^{ср.г}$  — среднегодовая температура холодной воды, поступающей на источник тепловой энергии для подготовки и использования в качестве подпитки тепловой сети, °С;

$n_{год}$  — календарная продолжительность работы тепловой сети в течение года, ч.

Среднегодовой объем сетевой воды в трубопроводах тепловой сети и в системах теплоснабжения  $V^{ср.г}$  ( $м^3$ ) определяется по формуле

$$V^{ср.г} = \frac{V_{от} n_{от} + V_{л} n_{л}}{n_{год}},$$

где  $V_{от}$  и  $V_{л}$  — объем воды в тепловой сети и системах теплоснабжения соответственно в отопительном и летнем сезонах работы тепловой сети,  $м^3$ .

Среднегодовая температура воды, поступающей на источник тепловой энергии для последующей обработки с целью подпитки тепловой сети  $t_{х}^{ср.г}$  (°С) определяется по формуле

$$t_{х}^{ср.г} = \frac{t_{х}^{от} n_{от} + t_{х}^{л} n_{л}}{n_{год}};$$

где  $t_{х}^{от}$  и  $t_{х}^{л}$  — значения температуры воды, поступающей на источник тепловой энергии, соответственно в отопительном и летнем сезонах работы тепловой сети (°С), определяются как средние значения из соответствующих среднемесячных значений температуры холодной воды; при отсутствии статистических эксплуатационных данных принимается

$$t_x^{от} = 5^{\circ}\text{C}, t_x^л = 15^{\circ}\text{C}.$$

Фактические тепловые потери с потерями сетевой воды. Тепловые потери с утечкой сетевой воды в тепловой сети и (или) системах теплоснабжения за прошедший период (месяц, сезон, год) определяются исходя из количества сетевой воды, отнесенного согласно действующим правилам учета тепловой энергии и теплоносителя к утечке, и фактических средних значений температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах и холодной воды на источнике тепловой энергии (источнике подпитки).

Тепловые потери с нормативной утечкой сетевой воды для открытой системы теплоснабжения за прошедший период работы тепловой сети (месяц, сезон, год) определяются по соответствующим формулам разд. 3.4\* с подстановкой уточненного значения внутреннего объема трубопроводов тепловой сети и систем теплоснабжения в рассматриваемом периоде и фактических значений температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах и холодной воды.

5.3. Тепловые потери за прошедший период (месяц, сезон, год) с потерями сетевой воды для закрытых систем теплоснабжения определяются по фактическим значениям расхода подпиточной воды, отнесенным на потери сетевой воды с утечкой, температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах и воды, поступающей на источник тепловой энергии для подпитки за соответствующий период.

Тепловые потери за прошедший месяц работы тепловой сети с потерями сетевой воды для закрытых систем  $Q^м$ , ГДж (Гкал), определяются по формуле

$$Q^м = cG_{псв}^{ср.м.ф} \cdot \left( \frac{t_{п}^{ср.м.ф} + t_{о}^{ср.м.ф}}{2} - t_x^{ср.м.ф} \right) n_m \cdot 10^{-3}$$

где  $G_{псв}^{ср.м.ф}$  - фактическое значение потерь сетевой воды за прошедший месяц, т/ч;

$t_{п}^{ср.м.ф}$  и  $t_{о}^{ср.м.ф}$  - фактические среднемесячные значения температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_x^{ср.м.ф}$  - фактическое среднемесячное значение температуры воды, поступающей на источник тепла для целей подпитки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$n_m$  — фактическое число часов работы тепловой сети в рассматриваемом месяце, ч.

При определении значения  $G_{псв}^{ср.м.ф}$  учитываются потери сетевой воды, измеренные по приборам учета количества сетевой воды у потребителей (или на границах балансовой принадлежности), установленные по актам при повреждениях, с несанкционированным водоразбором, а также с фактическими технологическими затратами сетевой воды на проведение плановых работ (ремонта, промывок, испытаний и т.п.). Определение значения утечки производится в соответствии с действующими Методическими указаниями по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю "потери сетевой воды".

Тепловые потери с потерями сетевой воды за прошедший период работы тепловой сети (год, сезон) определяются как сумма месячных тепловых потерь за соответствующий период или по формуле (50).

Сравнение фактических значений тепловых потерь с потерями сетевой воды с их нормируе-

\* Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю "ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ". СО 153-34.20.523-2003 Часть 3

мыми значениями производится по отдельным составляющим потерь сетевой воды (утечке, технологическим потерям и др.) в сопоставимых условиях по внутреннему объему тепловых сетей и систем теплоснабжения, а также по температурам сетевой и холодной воды.

При этом необходимо учитывать, что значения потерь сетевой воды по отдельным составляющим, в том числе по значению утечки, в значительной степени определяются принятым методом распределения по элементам системы теплоснабжения и балансовой принадлежности.

## 5. Методика определения расчетных и фактических расходов тепла на отопление, горячее водоснабжение и вентиляцию

### 5.1. Определение расчетных расходов

Отопление. Для определения максимальных часовых расходов тепла на отопление применяют усредненные удельные отопительные характеристики зданий  $q_0$ , представляющие собой удельный расход тепла на  $1 \text{ м}^3$  здания по наружному обмеру на  $1^\circ\text{C}$ , разности температур между усредненной расчетной температурой воздуха внутри отапливаемых помещений  $t_{\text{вн}}$  и расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления  $t_{\text{н.о}}$ . В соответствии с выше сказанным максимальный часовой расход тепла на отопление определяется по формуле, Вт (ккал/ч):

$$Q_0 = q_0 \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}) V_{\text{н}}, \quad (51)$$

где  $V_{\text{н}}$  - наружный строительный объем зданий (без подвалов),  $\text{м}^3$ .

Удельные отопительные характеристики жилых и общественных зданий определяют по материалам типовых серий (см. приложения 6,7,8,9,10). В прил. 6 отопительные характеристики даны для  $t_{\text{м}} = -30^\circ\text{C}$ , поэтому для климатических районов с другой  $t_{\text{м}}$  должен вводиться поправочный коэффициент  $\alpha$  (Приложение 10).

Расход тепла на отопление при температурах наружного воздуха, отличных от расчетных принимают: 1) если температура наружного воздуха выше расчетной - равным максимальному часовому расходу тепла, определенному по (51); 2) если температуры наружного воздуха выше расчетной - пропорционально расчетной разности температур по выражению

$$Q_0^x = Q_0 \frac{t_{\text{в.н}} - t_{\text{н}}^x}{t_{\text{в.н}} - t_{\text{н.о}}}; \quad (52)$$

где  $t_{\text{н}}^x$  - температура наружного воздуха при которой определяют расход тепла.

Вентиляция. Для определения максимальных часовых расходов тепла на вентиляцию применяют удельные вентиляционные характеристики зданий  $q_{\text{в}}$ , т.е. удельный расход тепла на  $1 \text{ м}^3$  вентилируемого здания по наружному объему на  $1^\circ\text{K}$  разности температур между усредненной расчетной температурой воздуха внутри вентилируемых помещений  $t_{\text{в.н}}$  и расчетной температурой наружного воздуха  $t_{\text{н.в}}$ . Максимальный часовой расход на вентиляцию:

$$Q_{\text{в}} = q_{\text{в}} (t_{\text{в.н}} - t_{\text{н.в}}) V_{\text{н}} \quad (53)$$

Расход тепла на вентиляцию при температурах наружного воздуха, отличных от расчетной принимают:

- 1) если температура наружного воздуха ниже расчетной - равным максимальному часовому расходу тепла по (53);
- 2) если температура наружного воздуха выше расчетной - пропорционально расчет-

ной разности температур по выражению:

$$Q_B^x = Q_B \frac{t_{B,H} - t_H^x}{t_{B,H} - t_{H,B}} \quad (54)$$

Горячее водоснабжение. Среднечасовой расход тепла за сутки наибольшего водопотребления для горячего водоснабжения можно определить по выражению

$$Q_{ГВ}^{cp} = 1,2 \frac{m \cdot a \cdot (t_{Г,В} - t_{Х,В})}{24} \quad (55)$$

где  $m$  - количество единиц потребления;  $a$  - норма расхода горячей воды в литрах при температуре  $65\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{Г,В}$  - температура горячей воды;  $t_{Х,В}$  - температура холодной воды подаваемой в систему горячего водоснабжения.

Норма расхода горячей воды принимается из приложения 11.

Максимальный часовой расход тепла за сутки на горячее водоснабжение определяется по выражению

$$Q_{ГВ}^{макс} = k \cdot Q_{ГВ}^{cp} \quad (56)$$

где  $k$  - коэффициент часовой неравномерности расхода горячей воды, принимается по приложению 12.

Годовой расход тепла на отопление

$$Q_{о,г} = Q_o \cdot \frac{t_{B,H} - t_{H,O}^{cp}}{t_{B,H} - t_{H,O}} \cdot n_o \quad (57)$$

Годовой расход тепла на вентиляцию

$$Q_{в,г} = \frac{Q_B \cdot Z_B}{24} \cdot \left[ n_B + \frac{t_{B,H} - t_{H,B}^{cp}}{t_{B,H} - t_{H,B}} \cdot (n_o - n_B) \right] \quad (58)$$

Годовой расход тепла на горячее водоснабжение

$$Q_{ГВ,г} = Q_{ГВ}^{cp,н} \cdot n_o + 0,8 \cdot Q_{ГВ}^{cp,н} \cdot \frac{t_{Г,В} - t_{Х,В,л}}{t_{Г,В} - t_{Х,В,з}} \cdot (8400 - n_o); \quad (59)$$

где  $t_{H,O}^{cp}$  - средняя температура наружного воздуха за отопительный период,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{H,г}^{cp}$  - средняя температура наружного воздуха в диапазоне отопительного периода для вентиляции,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{Х,в.л.}$  - температура холодной воды летом ( $+15\text{ }^\circ\text{C}$ );  $t_{Х,в.з.}$  - температура холодной воды зимой ( $+5\text{ }^\circ\text{C}$ );  $n_o$  - продолжительность отопительного периода в часах;  $n_B$  - число часов в отопительном периоде с температурами наружного воздуха для вентиляции ниже расчетной (при  $t_{H,В} = t_{H,O}$ ,  $n_B=0$ );  $Z_B$  - число часов работы вентиляции в течении суток.

Среднюю температуру наружного воздуха за любой интервал температур отопительного периода определяют по выражению

$$t_H^{cp} = \frac{n_1 \cdot t_{H1}^{cp} + n_2 \cdot t_{H2}^{cp} + \dots + n_m \cdot t_{Hm}^{cp}}{n_1 + n_2 + \dots + n_m} \quad (60)$$

## 5.2. Определение фактических расходов

На основании измерений проведенных при энергоаудите должен быть определен фактический часовой расход тепла на отопление

$$Q_{o.ф} = G_{o.ф} \cdot c \cdot (\tau_{01} - \tau_{02}), \quad (61)$$

где  $G_{o.ф}$  - расход воды в системе отопления, кг/с (т/ч);  $c$  - теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К);  $\tau_{01}$  - температура воды перед элеватором, °С;  $\tau_{02}$  - температура воды на выходе системы отопления, °С.

Фактический часовой расход тепла на горячее водоснабжение определяется по выражению:

$$Q_{ГВф}^{ср} = G_{ГВ} C_{ГВ} (t_{ГВ} - t_{ХВ}) \quad (62)$$

где  $G_{ГВ}$  - расход горячей воды, т/ч;  $C_{ГВ}$  - теплоемкость горячей воды, Дж/(кг·К);  $t_{ГВ}$  - температура горячей воды, °С;  $t_{ХВ}$  - температура холодной воды, °С.

Фактический часовой расход тепла на вентиляцию определяется по выражению:

$$Q_{Вф} = G_{В} C_{В} (t_{ВН} - t_{Н.В}), \quad (63)$$

где  $G_{В}$  - часовой расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{В}$  - теплоемкость воздуха, Дж/(м<sup>3</sup>·К).

На основании фактических часовых расходов тепла определяются фактические годовые расходы тепла на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение по выражениям аналогичным (57) - (59).

## 6. Методика расчета теплового баланса и КПД котлов и котельных

Для установившегося режима работы котла уравнение теплового баланса сжигаемого топлива имеет следующий вид

$$Q_p = Q_1 + \sum \Delta Q_{пот}, \quad (64)$$

где  $Q_1$  - полезно используемое тепло;  $\sum \Delta Q_{пот}$  - энергетические потери в котле.

Энергетические потери в котле определяются выражением

$$\sum \Delta Q_{пот} = \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \Delta Q_4 + \Delta Q_5 + \Delta Q_6, \quad (65)$$

где  $\Delta Q_2$  - потери теплоты с уходящими газами;  $\Delta Q_3$  - потери теплоты с химическим недожогом топлива;  $\Delta Q_4$  - потери теплоты с механическим недожогом топлива (для жидкого и газообразного топлива  $\Delta Q_4 = 0$ );  $\Delta Q_5$  - потери теплоты в окружающую среду;  $\Delta Q_6$  - потери теплоты с физической теплотой шлаков (для жидкого и газообразного топлива  $q_6 = 0$ ).

Приход тепла определяется следующим выражением, МДж:

$$Q_p = B_t - Q_{пн}^p, \quad (66)$$

где  $B_t$  - расход топлива, т/ч;  $Q_{пн}^p$  - низшая теплота сгорания топлива, МДж/т (МДж/м<sup>3</sup>) определяется по сертификату используемого топлива.

Полезно используемая теплота  $Q_1$  определяется по выражению:

- для паровых котлов без учета потерь с продувкой

$$Q_1 = G_0 \cdot (h_{пс} - h_{пв}) + G_{пс} \cdot (h_{п.пс}'' - h_{п.пс}') \quad (67)$$

- для паровых котлов без перегрева пара, но с отпуском тепла на сторону с горячей водой, получаемой за счет использования теплоты отходящих газов в теплофикационном экономайзере или за счет теплоты пара в контактном экономайзере (бойлере)

$$Q_1 = G_0 \cdot (h_{пс} - h_{пв}) + G_{ГВ} \cdot (h_{ГВ}'' - h_{ГВ}'), \quad (68)$$

- для водогрейных котлов

$$Q_1 = G_{ГВ} \cdot (h_{ГВ}'' - h_{ГВ}'), \quad (69)$$

- для водогрейных котлов с контактными экономайзерами

$$Q_1 = G_{ГВ} \cdot (h''_{ГВ} - h'_{ГВ}) + G_{В.КЭ} \cdot (h''_{КЭ} - h'_{КЭ}), \quad (70)$$

где  $G_0$  - расход свежего пара, т/час;  $G_{ГВ}$  - расход горячей воды;  $G_{пе}$  - расход пара промежуточного перегрева;  $O_{В.КЭ}$  - расход воды нагреваемой в контактном экономайзере;  $h_{пе}$ ,  $h_{пв}$  - энтальпия перегретого пара и питательной воды, МДж/т;  $h''_{п.пе}$ ,  $h'_{п.пе}$  - энтальпия перегретого пара на входе и выходе из промежуточного пароперегревателя;  $h''_{ГВ}$ ,  $h'_{ГВ}$  - энтальпия воды, поступившей в котел и на выходе из котла, МДж/т;  $h''_{КЭ}$ ,  $h'_{КЭ}$  - энтальпия воды на входе и выходе из контактного экономайзера.

Значения энтальпий пара и горячей воды берутся в зависимости от температуры и давления теплоносителей по справочным таблицам.

Потери тепла с уходящими газами определяются по выражению

$$\Delta Q_2 = Q_p \cdot [0,01 \cdot Z \cdot (t_{гг} - t_b)], \quad (71)$$

где  $Z$  - коэффициент, зависящий от температурного интервала продуктов сгорания (уходящих газов), их объема, определяется по справочным таблицам;  $t_{гг}$ ,  $t_b$  - температура соответственно уходящих газов и воздуха, забираемого для горения (обычно из верхней части котельной  $t_b = 27$  °С).

Остальные составляющие потерь тепла для газообразного топлива малы, и их можно не учитывать.

КПД котельной установки с учетом расхода теплоты и электроэнергии на собственные нужды котла (КПД нетто) определяется по выражению

$$\eta_{ку}^н = \frac{Q_{л} - Q_{к}^{сн} - Q_{к}^{эл}}{Q_p}; \quad (72)$$

где  $Q_{к}^{сн}$  - расход теплоты на собственные нужды котла;  $Q_{к}^{эл}$  - расход электроэнергии на собственные нужды котла.

КПД котельной с несколькими котлоагрегатами

$$\eta_{к\Sigma} = \frac{\sum_1^n Q_i \cdot \eta_i \cdot t_i}{\sum_1^n Q_i \cdot t_i} - q_{сн}, \quad (73)$$

где  $Q_i$  - среднечасовая нагрузка отдельных котлоагрегатов, МДж/ч;  $\eta$  - КПД отдельных котлоагрегатов;  $t_i$  - число часов работы котлоагрегатов в году;  $q_{сн}$  - расход на собственные нужды (2-5 %).

## Приложения

### Приложение 1

#### Удельное сопротивление кабелей с алюминиевыми жилами

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление, Ом/км при напряжениях	
	до 1000 В	6, 10 кВ
3x4	9,61	--
3x6	6,46	--
3x10	3,87	2,94
3x16	2,42	1,85
3x25	1,55	1,17
3x35	1,11	0,859
3x50	0,775	0,592
3x70	0,555	0,429
3x95	0,408	0,312
3x120	0,324	0,245
3x150	0,258	0,194
3x185	0,21	0,162
3x240	0,16	--

### Приложение 2

#### Параметры двухобмоточных понижающих трансформаторов

Тип	Номинальная мощность, кВА	Вторичное напряжение, кВ	$\Delta P_x$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$U_k$ , %	$I_x$ , %
1	2	3	4	5	6	7
TM-40/10	40	0,4	0,175	0,88	4,5	3
TM-63/10	63	0,4	0,24	1,28	4,5	2,8
TM-100/10	100	0,4	0,33	1,97	4,5	2,6
TM-160/10	160	0,4	0,51	3,1	4,5	2,4
TM-250/10	250	0,4	0,74	4,2	4,5	2,3
TM-400/10	400	0,4	0,95	5,9	4,5	2,1
TM-630/10	630	0,4	1,31	8,5	5,5	2,0
TM-1000/10	1000	0,4	1,9	10,8	5,5	1,2
TM-1600/10	1600	0,4	2,65	16,5	6	1,0
TM-2500/10	2500	0,4	3,75	24	6	0,8
TM-4000/35	4000	6,3(11)	5,6	33,5	7,5	0,9
TM-6300/110	6300	6,6 (11)	10	44	10,5	1
TM-10000/110	10000	6,6 (11)	14	58	10,5	0,9
TM-16000/110	16000	11	18	85	10,5	0,7
TM-25000/110	25000	6,3(10,5)	25	120	10,5	0,65
TM-40000/110	40000	6,3(10,5)	34	170	10,5	0,55
TM-63000/110	63000	6,3(10,5)	50,5	245	10,5	0,5
TM-80000/110	80000	6,3(10,5)	58	310	10,5	0,45

**Технические характеристики трубопроводов для определения внутреннего объема тепловых сетей**

Диаметры трубопровода, мм		Толщина стенки трубы, мм	Площадь поперечного сечения в свету $f$ , м <sup>2</sup>	Диаметры трубопровода, мм		Толщина стенки трубы, мм	Площадь поперечного сечения в свету $f$ , м <sup>2</sup>
условный $d_v$	наружный $d_n$			условный $d_v$	наружный $d_n$		
15	18	2,0	0,00015	300	325	8,0	0,075
20	25	2,0	0,00035	350	377	9,0	0,101
25	32	2,5	0,00057	400	426	6,0	0,135
32	38	2,5	0,00085	450	480	8,0	0,169
40	45	2,5	0,0013	500	530	8,0	0,207
50	57	3,0	0,0020	600	630	8,0	0,296
70	76	3,0	0,0039	700	720	9,0	0,387
80	89	3,5	0,0053	800	820	10,0	0,502
100	108	4,0	0,0079	900	920	10,0	0,636
125	133	4,0	0,0123	1000	1020	10,0	0,785
150	159	4,5	0,0177	1100	1120	12,0	0,944
175	194	5,0	0,0270	1200	1220	12,0	1,123
200	219	6,0	0,0330	1400	1420	14,0	1,520
250	273	7,0	0,0530				

**Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах и подземной бесканальной прокладке, Вт/м [ккал/(м · ч)]**

Условный проход трубопровода, мм	При числе часов работы в год 5000 и менее						При числе часов работы в год более 5000					
	Трубопровод											
	подающий	обратный	подающий	обратный	подающий	обратный	подающий	обратный	подающий	обратный	подающий	обратный
	Среднегодовая температура теплоносителя, °С											
	65	50	90	50	110	50	65	50	90	50	110	50
25	15 (13)	10 (9)	22 (19)	10 (9)	26 (22)	9 (8)	14 (12)	9 (8)	20 (17)	9 (8)	24 (21)	8 (7)
30	16 (14)	11 (9)	23 (20)	11 (9)	28 (24)	10 (9)	15 (13)	10 (9)	20 (17)	10 (9)	26 (22)	9 (8)
40	18 (16)	12 (10)	25 (22)	12 (10)	31 (27)	11 (9)	16 (14)	11 (9)	22 (19)	11 (9)	27 (23)	10 (9)
50	19 (16)	13 (11)	28 (24)	13 (11)	34 (29)	12 (10)	17 (15)	12 (10)	24 (21)	12 (10)	30 (26)	11 (9)
65	23 (20)	16 (14)	32 (28)	14 (12)	40 (34)	13 (11)	20 (17)	13 (11)	29 (25)	13 (11)	34 (29)	12 (10)
80	25 (22)	17 (15)	35 (30)	15 (13)	43 (37)	14 (12)	21 (18)	14 (12)	31 (27)	14 (12)	37 (32)	13 (11)
100	28 (24)	19 (16)	39 (34)	16 (14)	48 (41)	16 (14)	24 (21)	16 (14)	35 (30)	15 (13)	41 (35)	14 (12)
125	29 (25)	20 (17)	42 (36)	17 (15)	52 (45)	17 (15)	26 (22)	18 (16)	38 (33)	16 (14)	43 (37)	15 (13)
150	32 (28)	22 (19)	46 (40)	19 (16)	55 (47)	18 (16)	27 (23)	19 (16)	42 (36)	17 (15)	47 (41)	16 (14)
200	41 (35)	26 (22)	55 (47)	22 (19)	71 (61)	20 (17)	33 (28)	23 (20)	49 (42)	19 (16)	58 (50)	18 (16)
250	46 (40)	30 (26)	65 (56)	25 (22)	79 (68)	21 (18)	38 (33)	26 (22)	54 (47)	21 (18)	66 (57)	20 (17)
300	53 (46)	34 (29)	74 (64)	27 (23)	88 (76)	24 (21)	43 (37)	28 (24)	60 (52)	24 (21)	71 (61)	21 (18)
350	58 (50)	37 (32)	79 (68)	29 (25)	98 (84)	25 (22)	46 (40)	31 (27)	64 (55)	26 (22)	80 (69)	22 (19)
400	65 (56)	40 (34)	87 (75)	32 (28)	105 (91)	26 (22)	50 (43)	33 (28)	70 (60)	28 (24)	86 (74)	24 (21)
450	70 (60)	42 (36)	95 (82)	33 (28)	115 (99)	27 (23)	54 (47)	36 (31)	79 (68)	31 (27)	91 (78)	25 (22)
500	75 (65)	46 (40)	107 (92)	36 (31)	130 (112)	28 (24)	58 (50)	37 (32)	84 (72)	32 (28)	100 (86)	27 (23)
600	83 (72)	49 (42)	119 (103)	38 (33)	145 (125)	30 (26)	67 (58)	42 (36)	93 (80)	35 (30)	112 (97)	31 (27)
700	91 (78)	54 (47)	139 (120)	41 (35)	157 (135)	33 (28)	76 (66)	47 (41)	107 (92)	37 (32)	128 (110)	31 (27)
800	106 (91)	61 (53)	150 (129)	45 (39)	181 (156)	36 (31)	85 (73)	51 (44)	119 (103)	38 (33)	139 (120)	34 (29)
900	117 (101)	64 (55)	162 (140)	48 (41)	199 (172)	37 (32)	90 (78)	56 (48)	128 (110)	43 (37)	150 (129)	37 (32)
1000	129 (111)	66 (57)	169 (146)	51 (44)	212 (183)	42 (36)	100 (86)	60 (52)	140 (121)	46 (40)	163 (141)	40 (34)
1200	157 (135)	73 (63)	218 (188)	55 (47)	255 (220)	46 (40)	114 (98)	67 (58)	158 (136)	53 (46)	190 (164)	44 (38)
1400	173 (149)	77 (66)	241 (208)	59 (51)	274 (236)	49 (42)	130 (112)	70 (60)	179 (154)	58 (50)	224 (193)	48 (41)

**Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность  
трубопроводов на открытом воздухе, Вт/м [ккал/(м · ч)]**

Условный проход тру- бопровода, мм	При числе часов работы в год 5000 и менее			При числе часов работы в год более 5000		
	Трубопровод					
	подающий	обратный	подающий	обратный	подающий	обратный
	Среднегодовая температура теплоносителя, °С					
	50	100	150	50	100	150
15	9 (8)	18 (16)	28 (24)	8 (7)	16 (14)	24 (21)
20	11 (9)	21 (18)	31 (27)	9 (8)	18 (16)	28 (24)
25	12 (10)	23 (20)	34 (29)	11 (9)	20 (17)	30 (26)
40	15 (13)	27 (23)	40 (34)	12 (10)	24 (21)	36 (31)
50	16 (14)	30 (26)	44 (38)	14 (12)	25 (22)	38 (33)
65	19 (16)	34 (29)	50 (43)	15 (13)	29 (25)	44 (38)
80	21 (18)	37 (32)	54 (47)	17 (15)	32 (28)	47 (41)
100	23 (20)	41 (35)	60 (52)	19 (16)	35 (30)	52 (45)
125	26 (22)	46 (40)	66 (57)	22 (19)	40 (34)	57 (49)
150	29 (25)	52 (45)	73 (63)	24 (21)	44 (38)	62 (53)
200	36 (31)	63 (54)	89 (77)	30 (26)	53 (46)	75 (65)
250	42 (36)	72 (62)	103 (89)	35 (30)	61 (53)	86 (74)
300	48 (41)	83 (72)	115 (99)	40 (34)	68 (59)	96 (83)
350	54 (47)	92 (79)	127 (109)	45 (39)	75 (65)	106 (91)
400	60 (52)	100 (86)	139 (120)	49 (42)	83 (72)	115 (99)
450	66 (57)	108 (93)	149 (128)	53 (46)	88 (76)	123 (106)
500	72 (62)	117 (101)	162 (140)	58 (50)	96 (83)	135 (116)
600	82 (71)	135 (116)	185 (159)	66 (57)	110 (95)	152 (131)
700	94 (81)	151 (130)	205 (177)	75 (65)	122 (105)	169 (146)
800	105 (91)	168 (145)	228 (197)	83 (72)	135 (116)	172 (148)
900	116 (100)	185 (159)	251 (216)	92 (79)	149 (128)	205 (177)
1000	127 (109)	203 (175)	273 (235)	101 (87)	163 (141)	223 (192)

Теплотехнические показатели наиболее распространенных  
современных типовых жилых зданий

Тип дома	Расчетная наружная температура $t_{но}, ^\circ\text{C}$	Теплопотери $Q$ , кВт (ккал/ч)	Объем здания $V$ , м <sup>3</sup>	Удельная тепловая ха- рактеристика здания $q_0$ , Вт/(м <sup>3</sup> ·К) [ ккал/(м <sup>3</sup> ·ч·°С)]
1	2	3	4	5
П43/16	-26	514,8 (442 600)	24951	0,47 (0,403)
П42/16	-26	576,4 (495 560)	28676	0,46 (0,393)
П30-6/12	-26	333,1 (286 440)	22423	0,34 (0,290)
П30-5/12	-26	496,9 (427 130)	33616	0,34 (0,289)
П30-4/12	-26	327,7 (281 380)	22373	0,33 (0,286)
П30-3/12	-26	490,9 (422 070)	33552	0,33 (0,286)
П30-1/12	-26	333,1 (286 440)	22426	0,34 (0,290)
И-700А	-25	915,9 (787 520)	49665	0,43 (0,369)
П46-2/12в	-25	150,6 (129 500)	18373	0,19 (0,160)
П55-4/12	-25	190,7 (164 000)	8422	0,53 (0,453)
П55-2/12	-25	264,0 (227 000)	12279	0,50 (0,430)
П44-1/16	-25	232,7 (200 100)	14600	0,37 (0,319)
П44-4/16	-26	300,1 (258 000)	15820	0,44 (0,375)
П3/16	-26	483,6 (415 760)	33710	0,33 (0,280)
П31/12	-26	707,5 (608 290)	45430	0,35 (0,304)
П47/12	-26	560,6 (482 000)	36571	0,35 (0,300)
П68- 01/16Ю-2/78	-25	383,1 (338 000)	22828	0,40 (0,344)

И с т о ч н и к : Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник/  
В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж и др. М.: Стройиздат, 1988. - 432 с.: ил.

## Отопительные характеристики жилых зданий

Наружный строительный объем зданий V, м <sup>3</sup>	Удельная отопительная характеристика зданий q, Вт/(м <sup>3</sup> *К) [ккал/(м <sup>3</sup> *ч*°С)]	
	постройки до 1958 г.	постройки после 1958 г.
100	0,86(0,74)	1,07(0,92)
200	0,77(0,66)	0,95(0,82)
300	0,72(0,62)	0,91(0,78)
400	0,70(0,60)	0,86(0,74)
500	0,68(0,58)	0,83(0,71)
600	0,65(0,56)	0,80(0,69)
700	0,63(0,54)	0,79(0,68)
800	0,62(0,53)	0,78(0,67)
900	0,61(0,52)	0,77(0,66)
1000	0,59(0,51)	0,76(0,65)
1100	0,58(0,50)	0,72(0,62)
1200	0,57(0,49)	0,70(0,60)
1300	0,56(0,48)	0,69(0,59)
1400	0,55(0,47)	0,68(0,58)
1500	0,55(0,47)	0,66(0,57)
1700	0,54(0,46)	0,64(0,55)
2000	0,52(0,45)	0,62(0,53)
2500	0,51(0,44)	0,61(0,52)
3000	0,50(0,43)	0,58(0,50)
3500	0,49(0,42)	0,56(0,48)
4000	0,46(0,40)	0,55(0,47)
4500	0,45(0,39)	0,54(0,46)
5000	0,44(0,38)	0,52(0,45)
6000	0,43(0,37)	0,50(0,43)
7000	0,42(0,36)	0,49(0,42)
8000	0,41(0,35)	0,48(0,41)
9000	0,39(0,34)	0,46(0,40)
10000	0,38(0,33)	0,45(0,39)
11000	0,37(0,32)	0,44(0,38)
12000	0,36(0,31)	0,44(0,38)
13000	0,35(0,30)	0,43(0,37)
14000	0,35(0,30)	0,43(0,37)
15000	0,34(0,29)	0,43(0,37)
20000	0,33(0,28)	0,43(0,37)
25000	0,33(0,28)	0,43(0,37)
30000	0,33(0,28)	0,42(0,36)
35000	0,33(0,28)	0,41(0,35)
40000	0,31(0,27)	0,41(0,35)
45000	0,31(0,27)	0,39(0,34)
50000	0,30(0,26)	0,39(0,34)

\*- Для жилых зданий, расположенных в климатических районах с расчетной наружной температурой для отопления  $t_H = -30$  °С.

- Для климатических районов с другой расчетной температурой наружного воздуха к указанным в таблице 1. значениям удельных характеристик вводится поправочный коэффициент K, приведенный в приложении 10.

Удельные тепловые характеристики административных, лечебных и культурно-просветительных зданий детских учреждений

Наименование зданий	Объем зданий V, тыс. м <sup>3</sup>	Удельные тепловые характеристики, Вт/(м <sup>3</sup> -К) [ккал/(м <sup>3</sup> -ч-°С)]		Расчетная внутренняя температура (усредненная)
		отопления q <sub>0</sub>	вентиляции q <sub>в</sub>	t <sub>в</sub> , °С
Административные здания	До 5	0,5(0,43)	0,11(0,09)	18
	До 10	0,44(0,38)	0,09(0,08)	
	До 15	0,41(0,35)	0,08(0,07)	
	Более 15	0,37(0,32)	0,21(0,18)	
Клубы	До 5	0,42(0,37)	0,29(0,25)	16
	До 10	0,38(0,33)	0,27(0,23)	
	Более 10	0,35(0,30)	0,23(0,20)	
Кинотеатры	До 5	0,42(0,36)	0,50(0,43)	14
	До 10	0,37(0,32)	0,45(0,39)	
	Более 10	0,35(0,30)	0,44(0,38)	
Театры	До 10	0,34(0,29)	0,48(0,41)	15
	До 15	0,31(0,27)	0,46(0,40)	
	До 20	0,26(0,22)	0,44(0,38)	
	До 30	0,23(0,20)	0,42(0,36)	
	Более 30	0,21(0,18)	0,36(0,31)	
Универмаги	До 5	0,44(0,38)	0,09(0,08)	15
	До 10	0,38(0,33)	0,31(0,27)	
	Более 10	0,36(0,31)		
Детские ясли и сады	До 5	0,44(0,38)	0,13(0,11)	20
	Более 5	0,39(0,34)	0,12(0,10)	
Школьные и высшие учебные заведения	До 5	0,45(0,39)	0,11(0,09)	16
	До 10	0,41(0,35)	0,09(0,08)	
	Более 10	0,38(0,33)	0,08(0,07)	
Больницы	До 5	0,46(0,40)	0,34(0,29)	20
	До 10	0,42(0,36)	0,33(0,28)	
	До 15	0,37(0,32)	0,30(0,26)	
	Более 15	0,35(0,30)	0,29(0,25)	
Бани	До 5	0,33(0,28)	1,16(1,00)	25
	До 10	0,29(0,25)	1,11(0,95)	
	Более 10	0,27(0,23)	1,05(0,90)	
Прачечные	До 5	0,44(0,38)	0,93(0,80)	15
	До 10	0,38(0,33)	0,91(0,78)	
	Более 10	0,36(0,31)	0,87(0,75)	
Предприятия общественного питания, столовые	До 5	0,41(0,35)	0,81(0,70)	16
	До 10	0,38(0,33)	0,76(0,65)	
	Более 10	0,35(0,30)	0,70(0,60)	

Источник : Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник/ В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж и др. М.: Стройиздат, 1988. - 432 с.: ил.

## Удельные тепловые характеристики промышленных зданий.

Наименование зданий	Объем зданий V, тыс. м <sup>3</sup>	Удельные тепловые характеристики, Вт/(м <sup>3</sup> -К) [ккал/(м <sup>3</sup> -ч-°С)],	
		для отопления q <sub>0</sub>	для вентиляции q <sub>в</sub>
1	2	3	4
Чугунолитейные цехи	10-15	0,35 - 0,29 (0,30 - 0,25)	1,28-1,16 (1,10-1,00)
	50-100	0,29 - 0,26 (0,25 - 0,22)	1,16-1,04 (1,00-0,90)
	100-150	0,26 - 0,21 (0,22-0,18)	1,05-0,93 (0,90 - 0,80)
Меднолитейные цехи	5-10	0,46 - 0,41 (0,40-0,35)	2,91 - 2,33 (2,50 - 2,00)
	10-20	0,41 - 0,29 (0,35 - 0,25)	2,33 - 1,74 (2,00-1,50)
	20-30	0,29 - 0,23 (0,25 - 0,20)	1,74-1,40 (1,50-1,20)
Термические цехи	До 10	0,46 - 0,35 (0,40 - 0,30)	1,51 - 1,49 (1,30-1,20)
	10-30	0,35 - 0,29 (0,30 - 0,25)	1,40-1,16 (1,20-1,00)
	30-75	0,29 - 0,23 (0,25 - 0,20)	1,16-0,70 (1,00-0,60)
Кузнечные цехи	До 10	0,46 - 0,35 (0,40 - 0,30)	0,81 - 0,70 (0,70 - 0,60)
	10-50	0,35 - 0,29 (0,30 - 0,25)	0,70 - 0,58 (0,60 - 0,50)
	50-100	0,29-0,18 (0,25-0,15)	0,58 - 0,35 (0,50-0,30)
Механосборочные, механические и слесарные отделения инструментальных цехов	5-10	0,64 - 0,52 (0,55 - 0,45)	0,46 - 0,29 (0,40 - 0,25)
	10-15	0,52 - 0,46 (0,45 - 0,40)	0,29-0,18 (0,25-0,15)
	50-100	0,46 - 0,44 (0,40 - 0,38)	0,18-0,14 (0,15-0,12)
	100-200	0,44 - 0,41 (0,38 - 0,35)	0,14-0,09 (0,12-0,08)
Деревообделочные цехи	До 5	0,70 - 0,64 (0,60-0,55)	0,70 - 0,58 (0,60 - 0,50)
	5-10	0,64 - 0,52 (0,55-0,45)	0,58 - 0,52 (0,50-0,45)
	10-50	0,52 - 0,46 (0,45 - 0,40)	0,52 - 0,46 (0,45 - 0,40)
Цехи металлических конструкций	50-100	0,44 - 0,41 (0,38-0,35)	0,62 - 0,52 (0,53-0,45)
	100-150	0,41 - 0,35 (0,35 - 0,30)	0,52 - 0,41 (0,45 - 0,35)
Цехи покрытий (гальванических и др.)	До 2	0,77 - 0,70 (0,66 - 0,60)	5,80 - 4,63 (5,00 - 4,00)
	2-5	0,70 - 0,64 (0,60 - 0,55)	4,65 - 3,49 (4,00 - 3,00)
	5-10	0,64 - 0,52 (0,55-0,45)	3,49 - 2,33 (3,00 - 2,00)
Ремонтные цехи	5-10	0,70 - 0,58 (0,60 - 0,50)	0,23-0,18 (0,20-0,15)
	10-20	0,58 - 0,52 (0,50-0,45)	0,18-0,12 (0,15-0,10)
Паровозное депо	До 5	0,81 - 0,76 (0,70-0,65)	0,46 - 0,35 (0,40 - 0,30)
	5-10	0,76 - 0,70 (0,65 - 0,60)	0,35 - 0,29 (0,30 - 0,25)
Котельные цехи	100-250	0,29(0,25)	0,70(0,60)
Котельные (отопительные и па- ровые)	2-5	0,12(0,10)	0,35 - 0,58 (0,30 - 0,50)
	5-10	0,12(0,10)	0,35 - 0,58 (0,30 - 0,50)
	10-20	0,09(0,08)	0,23 - 0,46 (0,20 - 0,40)
Мастерские	5-10	0,58(0,50)	0,58(0,50)
	10-15	0,46(0,40)	0,35(0,30)
	15-20	0,41(0,35)	0,29(0,25)
	20-30	0,35(0,30)	0,23(0,20)
Насосные	До 0,5	1,22(1,05)	
	0,5-1	1,16(1,00)	
	1-2	0,70(0,60)	
	2-3	0,58(0,50)	

1	2	3	4
Компрессорные	До 0,5	0,81(0,70)	
	0,5-1	0,81 - 0,70 (0,70 - 0,60)	
	1-2	0,70 - 0,52 (0,60 - 0,45)	
	2-5	0,52 - 0,46 (0,45 - 0,40)	
	5-10	0,46 - 0,41 (0,40 - 0,35)	
Газогенераторные	5-10	0,12(0,10)	2,09(1,80)
Регенерация масел	2-3	0,87 - 0,70 (0,75 - 0,60)	0,70 - 0,58 (0,60 - 0,50)
Склады химикатов, красок и т.п.	До 1	0,99 - 0,87 (0,85 - 0,75)	--
	1-2	0,87 - 0,76 (0,75 - 0,65)	--
	2-5	0,76 - 0,68 (0,65-0,58)	0,70 - 0,52 (0,60 - 0,45)
Бытовые и административно-вспомогательные помещения	0,5-1	0,70 - 0,52 (0,60 - 0,45)	--
	1-2	0,52 - 0,46 (0,45 - 0,40)	--
	2-5	0,46 - 0,38 (0,40-0,33)	0,16-0,14 (0,14-0,12)
	5-10	0,38 - 0,35 (0,33 - 0,30)	0,14-0,13 (0,12-0,11)
	10-20	0,35 - 0,29 (0,30-0,25)	0,13-0,12 (0,11-0,10)

И с т о ч н и к : Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник/ В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж и др. М.: Стройиздат, 1988. - 432 с.: ил.

## Приложение 10

## Поправочный коэффициент для жилых зданий

Расчетная температура наружного воздуха t, °С	$\alpha$	Расчетная температура наружного воздуха t, °С	$\alpha$
0	2,05	-30	1,00
-5	1,67	-35	0,95
-10	1,45	-40	0,90
-15	1,29	-45	0,85
-20	1,17	-50	0,82
-25	1,08	-55	0,80

И с т о ч н и к : Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник/  
В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж и др. М.: Стройиздат, 1988. - 432 с.: ил.

## Ориентировочные нормы расхода горячей воды

Потребители	Единицы измерения	Норма расхода горячей воды в сутки наибольшего водопотребления, л
1	2	3
Жилые дома квартирного типа, оборудованные	1 житель	
а) умывальниками, мойками и душами		100
б) сидячими ванными и душами		110
в) ванными длиной 1500-1700 мм и душами		120
Жилые дома квартирного типа при высоте зданий более 12 этажей и повышенных требованиях к их благоустройству	То же	130
Общежития с общими душевыми	- " -	60
Общежития с общими душевыми, столовыми и прачечными	- " -	80
Гостиницы, мотели, пансионаты с общими ванными и душами	- " -	70
Гостиницы с ванными в отдельных номерах:	- " -	
а) до 25 % общего числа номеров		100
б) до 75 % общего числа номеров		160
в) во всех номерах		200
Гостиницы с душами во всех отдельных номерах	- " -	140
Больницы, санатории общего типа, дома отдыха (с общими ванными и душами)	1 койки	180
Санатории, дома отдыха с ванными при всех жилых комнатах	То же	200
Поликлиники, амбулатории	1 больной	6
Прачечные:		
немеханизированные	1 кг сухого	15
механизированные	белья	25
уборка помещений	1 м <sup>3</sup>	3
Здания и помещения учреждений управления и управлений предприятий	1 работающий	7
Учебные заведения, общеобразовательные школы и душевые при гимнастических залах	1 учащийся и преподаватель в смену	8
Школы интернаты	1 место	100
Детские ясли-сады с дневным пребыванием детей	1 ребенок	30
Детские ясли-сады с круглосуточным пребыванием детей	1 ребенок	35
Предприятия общественного питания:	1 блюдо	
а) приготовление пищи, потребляемой на предприятии		2
б) приготовление пищи, продаваемой на дом		1,5
Производственные магазины	1 рабочее место	100

1	2	3
Парикмахерские	То же	70
Театры	1 место зрителей	5
Стадионы, спортивные залы для физкультурников (с учетом приема душа)	1 физкультурник	30
Плавательные бассейны (с учетом приема душа)	1 спортсмен	60
Бани:		
а) мытье в мыльной с тазами на скамьях с обмыванием в душе	1 посетитель	120
б) мытье в мыльной с тазами на скамьях с приемом оздоровительных процедур	То же	190
в) душевая кабина	- " -	290
г) ванная комната	- " -	360
д) уборка пола помещений мыльных, душевых, парильных	1 м <sup>2</sup>	3
Обслуживающий персонал общественных зданий	1 человек в смену	7
Холодильники:		
а) мойка полов	1 м <sup>2</sup>	3
б) мойка инвентаря	1 м <sup>2</sup> поверхности	4
в) мойка подъемно-транспортных средств (электропогрузчиков, электрокаров и др.)	1 машина	150
Цехи с избытками явного тепла более 83,8 кДж (20 ккал) на 1 м <sup>3</sup> помещений в час	1 работающих в смену	24
Остальные цехи	То же	11
<p>Примечание – Среднюю температуру воды с системах централизованного горячего водоснабжения с непосредственным водоразбором горячей воды из трубопроводов тепловой сети следует принимать 65 °С, а нормы расхода воды принимать с коэффициентом 0,85.</p>		

## Приложение 12

Коэффициент часовой неравномерности потребления горячей воды в жилых зданиях

Число жителей, чел.	Коэффициент часовой неравномерности	Число жителей чел.	Коэффициент часовой неравномерности	Число жителей чел.	Коэффициент часовой неравномерности
150	4,45	1000	2,8	4000	2,4
250	3,7	1500	2,65	5000	2,35
350	3,55	2000	2,55	6000	2,35
500	3,25	2500	2,5	7500	2,3
700	3,0	3000	2,45	10000	2,25

Источники: Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник/ В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж и др. М.: Стройиздат. 1988. - 432 с.: ил.