

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Г. С. Маршалова

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АУДИТ И МЕНЕДЖМЕНТ

*Рекомендовано
учебно-методическим объединением по образованию
в области энергетики и энергетического оборудования
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальности 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника»*

Минск 2025

УДК 620.9(075.8)
ББК 31.19я73
М30

Рецензенты:

кафедра «Метрология и энергетика» филиала БНТУ
«Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
по новым направлениям развития техники, технологии и экономики»
(кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой *В. В. Лешкевич*);
кандидат физико-математических наук, доцент,
заведующий лабораторией турбулентности
ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова
НАН Беларуси» *А. Д. Чорный*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Маршалова, Г. С.

М30 Энергетический аудит и менеджмент : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника» / Г. С. Маршалова. – Минск : БГТУ, 2025. – 92 с.
ISBN 978-985-897-310-0.

Учебно-методическое пособие содержит теоретические сведения, основные понятия и определения, рисунки и схемы, необходимые студентам для понимания основных принципов расчета потерь топливно-энергетических ресурсов, описание методов и инструментов, используемых при проведении энергоаудита. Особое внимание уделяется вопросам анализа энергетических балансов, выявления источников потерь энергии и оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий, а также разработке норм расхода энергетических ресурсов и внедрению систем энергетического менеджмента на предприятиях.

УДК 620.9(075.8)
ББК 31.19я73

ISBN 978-985-897-310-0

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2025
© Маршалова Г. С., 2025

В современном мире вопросы энергетической безопасности, экономической эффективности и экологической устойчивости приобретают первостепенное значение. В связи с этим эффективное управление энергоресурсами становится жизненно необходимым для предприятий и организаций любого масштаба и сферы деятельности. Стремительно возрастающая конкуренция, растущие тарифы на энергоносители, ужесточение экологических требований стимулируют организации к поиску путей снижения расходов энергетических ресурсов за счет внедрения энергоэффективных технологий и методов повышения энергоэффективности. В этом контексте энергетический аудит и менеджмент становятся ключевыми инструментами для достижения поставленных целей.

Энергетический аудит – это обследование предприятий, организаций и отдельных производств по их инициативе с целью определения возможностей экономии потребляемой энергии и помощи предприятию в осуществлении экономии на практике путем внедрения механизмов энергетической эффективности, а также с целью введения в действие на предприятии системы энергетического менеджмента.

Предметом энергетического аудита выступает система обследования потребления топлива и энергии, анализа и выдачи рекомендаций по эффективному использованию энергоресурсов.

Согласно Закону об энергосбережении [1], задачами энергетического аудита являются оценка эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и определение реального потенциала энергосбережения; выработка обоснованных предложений по переходу на прогрессивные нормы расхода топливно-энергетических ресурсов; определение возможных направлений экономии топливно-энергетических ресурсов; разработка энергосберегающих мероприятий и энергетического паспорта объекта обследования.

Настоящее учебно-методическое пособие содержит теоретические основы расчета потерь топливно-энергетических ресурсов, описание методов и инструментов, используемых при проведении энергоаудита. Особое внимание уделяется вопросам анализа энергетических балансов, выявления источников потерь энергии и оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий.

Издание предназначено для студентов, магистрантов и аспирантов, изучающих энергетические дисциплины, а также для специалистов широкого круга, заинтересованных в вопросах энергосбережения, в том числе инженеров-энергетиков, руководителей предприятий, специалистов по охране окружающей среды.

Целью учебно-методического пособия является не только предоставление теоретических знаний, но и формирование практических навыков, необходимых для успешного проведения энергоаудитов, разработки норм расхода энергетических ресурсов и внедрения систем энергетического менеджмента на предприятиях. Автор полагает, что данное издание будет полезно для специалистов, стремящихся к повышению энергоэффективности своих организаций и внесению вклада в устойчивое энергетическое развитие страны.

1. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

Тепловым режимом помещения в здании называется совокупность всех факторов и процессов, которые определяют его тепловую обстановку [2].

Наружные ограждения защищают помещения от атмосферных воздействий, а системы кондиционирования воздуха, которые включают системы охлаждения – нагрева воздуха и вентиляции (активные элементы систем кондиционирования микроклимата), поддерживают заданные параметры внутренней среды. Под действием разности наружной и внутренней температур, солнечного излучения и ветра помещение теряет часть теплоты через ограждения в зимний период и перегревается в летний. Гравитационные силы, действие ветра и вентиляция создают перепады давлений, приводящие к перетеканию воздуха между помещениями и его фильтрации через поры материала и неплотности ограждений.

Тепловой режим внутри зданий играет ключевую роль, оказывая воздействие на комфорт людей, эффективность производственных процессов, а также на состояние и долговечность конструкций здания и его оборудования. Он формируется под влиянием множества факторов: температуры, скорости и влажности воздуха, воздушных потоков, распределения этих параметров по всему помещению, а также излучения тепла от окружающих поверхностей, зависящего от их температуры, формы и радиационных свойств. Под действием конвективного и лучистого теплообмена и процессов массопереноса температура воздуха и температура поверхностей в помещении взаимосвязаны и оказывают влияние друг на друга.

Потери тепловой энергии в зданиях и сооружениях обусловлены теплопередачей и инфильтрацией.

Теплопередачей называется перенос теплоты от одной подвижной среды (горячей) к другой (холодной) через твердую стенку. Теплопередача представляет собой сложный процесс, в котором теплота передается всеми способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением.

Теплопроводность – это молекулярный процесс передачи теплоты. Частицы более нагретой части тела, сталкиваясь при своем беспорядочном движении с соседними частицами тела, сообщают им часть своей кинетической энергии. Этот процесс постепенно распространяется по всему телу.

Конвекция происходит только в газах и жидкостях. Этот вид переноса теплоты осуществляется при перемещении всей массы неравномерно нагретых жидкости или газа.

Процесс передачи теплоты излучением между двумя телами происходит в три стадии: превращение части внутренней энергии одного из тел в энергию электромагнитных волн, распространение электромагнитных волн в пространстве, поглощение энергии излучения другим телом.

Процесс теплопередачи описывается формулой

$$Q = k \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot F, \quad (1.1)$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · °C); $t_{\text{вн}}$ – температура воздуха внутри помещения, °C; $t_{\text{н}}$ – температура воздуха снаружи, °C; F – площадь поверхности стены, м².

Коэффициент теплопередачи является количественной характеристикой, его численная величина определяется количеством теплоты, проходящей через единицу поверхности стенки в единицу времени от горячего к холодному теплоносителю при разности температур между ними в один градус.

Коэффициент теплопередачи вычисляется по следующей формуле:

$$k = \left[\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right]^{-1}, \quad (1.2)$$

где $\alpha_{\text{вн}}$, $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициенты теплоотдачи соответственно от внутренней и наружной стены к воздуху, Вт/(м² · °C); R_i – термическое сопротивление стены, м² · °C/Вт, рассчитываемое по формуле $R_i = \delta_i / \lambda_i$, здесь δ_i – толщина стены, м; λ_i – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °C).

Тепловой поток за счет воздухообмена через неплотности в конструкции здания определяется объемным расходом воздуха $V_{\text{в}}$, м³/ч, который может быть выражен через коэффициент инфильтрации m .

Инфильтрация – проникновение холодного наружного воздуха в помещение через неплотности ограждения.

Коэффициент инфильтрации – кратность воздухообмена помещения объемом $V_{\text{п}}$ за 1 ч:

$$m = \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{п}}}, \quad (1.3)$$

где $V_{\text{в}}$ – объем приточного воздуха, м³.

Тепловой поток инфильтрации $Q_{\text{и}}$, Вт, находится по формуле

$$Q_{\text{и}} = \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{в}} \cdot c_{p,\text{в}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) = \frac{m \cdot V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c_{p,\text{в}}}{3600} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) = \frac{m \cdot V_{\text{п}}}{3} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}), \quad (1.4)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³; $c_{p,\text{в}}$ – удельная массовая изобарная теплоемкость воздуха, Дж/(кг · К).

Основной составляющей процесса передачи теплоты через ограждения является теплопроводность через материальные слои ограждения.

Процесс теплопроводности в материальных слоях конструкции подчиняется закону Фурье:

$$Q_{\text{т}} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta t \cdot F, \quad (1.5)$$

где λ – теплопроводность материала, Вт/(м · °C); δ – толщина материала, м; Δt – разность температур между наружной и внутренней поверхностями стенок, °C, определяемая по формуле $\Delta t = t_2 - t_1$, здесь t_2 – температура внутренней поверхности стенки, °C; t_1 – температура наружной поверхности стенки, °C.

Коэффициент теплопроводности характеризует свойство материалов проводить теплоту.

Строительные материалы являются в своем большинстве сложными капиллярно-пористыми телами, поры которых могут быть заполнены влажным воздухом, жидкой влагой и льдом. Особенности строения определяют большую изменчивость теплофизических характеристик строительных материалов. В толще влажного материала передача теплоты происходит несколькими путями. Через твердый скелет, а также пленки жидкой влаги и лед теплота передается посредством теплопроводности. В порах, заполненных влажным воздухом, помимо теплопроводности, теплообмен происходит конвекцией и излучением. Определенное количество теплоты переносится фильтрующимся через материал воздухом. Свойство теплопроводности зависит при прочих равных условиях от размера пор. В сообщающихся порах могут возникать конвективные токи воздуха, которые повышают проводимость теплоты. Всю совокупность явлений, участвующих в передаче теплоты в толще материалов, обычно выражают через теплопроводность [2].

Важной для строительных материалов является зависимость λ от влажности. С увеличением влажности материалов коэффициент теплопроводности возрастает. Увеличение коэффициента связано с замещением воздуха в порах жидкой влагой, имеющей более высокий коэффициент теплопроводности.

Серьезной проблемой, связанной с влажностью материалов строительных конструкций, является замерзание воды в порах материала. Это приводит к увеличению ее объема, что создает внутренние напряжения и микротрещины. После оттаивания эти микротрещины остаются, повышая пористость материала и его способность впитывать влагу в будущем, что, в свою очередь, еще больше увеличивает теплопроводность.

В процессе эксплуатации зданий коэффициент теплопроводности ограждающих конструкций также может изменяться. Под действием нагрузки с течением времени происходит уплотнение материалов, особенно рыхлых утеплителей (например, минеральной ваты, эковаты). Уплотнение приводит к уменьшению объема воздуха в порах и увеличению плотности материала, что также повышает его теплопроводность.

Еще одной проблемой, оказывающей влияние на теплопроводность зданий и сооружений, является загрязнение пор материала пылью, сажой, грибом и другими веществами. В зависимости от природы загрязнителя теплопроводность может как увеличиться, так и уменьшиться. Например, заполнение пор материалом с высокой теплопроводностью (например, минеральными отложениями) способно увеличить общую теплопроводность материала.

Для восстановления уровня теплотехнических характеристик здания используют термореновацию.

Термореновация зданий – это комплекс мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности существующих зданий, снижение теплопотерь и уменьшение затрат на отопление и кондиционирование.

Экономический эффект за счет термореновации ограждающих конструкций достигается за счет увеличения термического сопротивления конструкции и снижения тепловых потерь, что уменьшает затраты на отопление и вентиляцию.

Количество тепла, затрачиваемое на системы отопления $Q_{от}$, Гкал, и вентиляции $Q_{в}$, Гкал, вычисляется соответственно по следующим формулам [3]:

$$Q_{от} = A \cdot V_{зд} \cdot q_{от} \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot T_{от} \cdot \tau_{от} \cdot 10^{-6}; \quad (1.6)$$

$$Q_{в} = A \cdot V_{зд} \cdot q_{в} \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot T_{в} \cdot \tau_{в} \cdot 10^{-6}, \quad (1.7)$$

где A – поправочный коэффициент для условий Республики Беларусь, равный 1,08; $V_{зд}$ – строительный объем здания, м^3 ; $q_{от}$, $q_{в}$ – удельные расходы тепловой энергии соответственно на отопление и вентиляцию, $\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч})$ [4]; $t_{вн}$, $t_{н}$ – соответственно температура воздуха внутри помещения и наружного воздуха, $^\circ\text{C}$; $T_{от}$, $T_{в}$ – длительность периода соответственно отопления и вентиляции, сут; $\tau_{от}$, $\tau_{в}$ – время работы в сутки соответственно отопления и вентиляции для административных зданий, ч.

Годовая экономия тепловой энергии за счет снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции $\Delta Q_{от}$, Гкал, рассчитывается по формуле

$$\Delta Q_{от} = F_{зд} \cdot \left(\frac{1}{R_{т.факт}} - \frac{1}{R_{т.дост}} \right) \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot n \cdot T_{от} \cdot \tau_{от} \cdot 0,86 \cdot 10^{-6}, \quad (1.8)$$

где $F_{зд}$ – площадь ограждающих конструкций, подвергнутых термореновации, м^2 ; $R_{т.факт}$, $R_{т.дост}$ – соответственно фактическое и достигнутое термическое сопротивление ограждающих конструкций здания до и после выполнения мероприятия, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (находятся по [5]); n – поправочный коэффициент на разность температур, принимаемый по климатологическим данным для региона, где внедряется мероприятие (для регионов Беларуси $n = 0,4-1,2$); $0,86 \cdot 10^{-6}$ – переводной коэффициент ваттов (Вт) в гигакалории в час (Гкал/ч).

Пример 1.1

Определить денежную экономию и толщину материала (экструдированного пенополистирола) при термореновации ограждающих конструкций здания, стены которого состоят из железобетонных панелей толщиной $\delta_{ж.п} = 0,2$ м, утепленных минеральной ватой толщиной $\delta_{м.в} = 0,05$ м. Внутренняя и наружная отделка выполнены из штукатурки толщиной $\delta_{шт} = 0,01$ м. Разность температур между наружным и внутренним воздухом составляет 30°C . Площадь ограждающих конструкций, подвергнутых термореновации, равна 1500 м^2 .

Решение

Фактическое термическое сопротивление ограждающих конструкций здания вычисляется по формуле

$$R_{т.факт} = \frac{\delta_{ж.п}}{\lambda_{ж.п}} + \frac{\delta_{м.в}}{\lambda_{м.в}} + 2 \cdot \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}}.$$

Теплопроводность железобетонной панели, минеральной ваты и штукатурки по [5] составляет $\lambda_{ж.п} = 1,69 \cdot \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, $\lambda_{м.в} = 0,042 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, $\lambda_{шт} = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ соответственно.

Выполним подстановку:

$$R_{т.факт} = \frac{0,2}{1,69} + \frac{0,05}{0,042} + 2 \cdot \frac{0,01}{0,081} = 1,55 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Согласно [3], нормативное сопротивление теплопередаче для наружных стен крупнопанельных домов составляет не менее $2,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Существующие ограждающие конструкции не соответствуют принятым стандартам и требуют проведения термореновации.

Определим толщину экструдированного пенополистирола, принятого для проведения термореновации, из уравнения

$$R_{\text{т.норм}} = \frac{\delta_{\text{ж.п}}}{\lambda_{\text{ж.п}}} + \frac{\delta_{\text{м.б}}}{\lambda_{\text{м.б}}} + 2 \cdot \frac{\delta_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{ш}}} + \frac{\delta_{\text{э.п}}}{\lambda_{\text{э.п}}} = 2,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$\delta_{\text{э.п}} = \left[2,0 - \left(\frac{\delta_{\text{ж.п}}}{\lambda_{\text{ж.п}}} + \frac{\delta_{\text{м.б}}}{\lambda_{\text{м.б}}} + 2 \cdot \frac{\delta_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{ш}}} \right) \right] \cdot \lambda_{\text{э.п}} =$$

$$= \left[2,0 - \left(\frac{0,2}{1,69} + \frac{0,05}{0,042} + 2 \cdot \frac{0,01}{0,081} \right) \right] \cdot 0,03 = 0,013 \text{ м}.$$

Для восстановления теплотехнических характеристик возьмем экструдированный пенополистирол толщиной $0,015 \text{ м}$.

Годовая экономия тепловой энергии за счет снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции составит:

$$\Delta Q_{\text{от}} = F_{\text{зд}} \cdot \left(\frac{1}{R_{\text{т.факт}}} - \frac{1}{R_{\text{т.дост}}} \right) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot T_{\text{от}} \cdot \tau_{\text{от}} \cdot 0,86 \cdot 10^{-6} =$$

$$= 1500 \cdot \left(\frac{1}{1,55} - \frac{1}{2} \right) \cdot 30 \cdot 0,4 \cdot 202 \cdot 24 \cdot 0,86 \cdot 10^{-6} = 10,89 \text{ Гкал}.$$

По состоянию на 01.02.2025 стоимость 1 Гкал равна $163,23 \text{ руб./Гкал}$.

Таким образом, экономия денежных средств составит:

$$\mathcal{E} = 10,89 \cdot 163,23 = 1777,57 \text{ руб.}$$

Ответ: $\mathcal{E} = 1777,57 \text{ руб.}; \delta_{\text{э.п}} = 0,013 \text{ м}$.

Пример 1.2

Рассчитать количество тепла, расходуемого на систему отопления здания объемом 1000 м^3 , при разности температур между наружным и внутренним воздухом 30°C .

Решение

По справочнику [4] удельный расход тепловой энергии на отопление $q_{\text{от}} = 22,5 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}) = 0,809 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч})$. Период отопления длится 202 дня. Система отопления функционирует 24 ч в сутки.

Количество тепла, затрачиваемое на систему отопления, составит:

$$Q_{\text{от}} = A \cdot V_{\text{зд}} \cdot q_{\text{от}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot T_{\text{от}} \cdot \tau_{\text{от}} \cdot 10^{-6} =$$

$$= 1,08 \cdot 1000 \cdot 0,809 \cdot 30 \cdot 202 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = 127,07 \text{ Гкал}.$$

Ответ: $Q_{\text{от}} = 127,07 \text{ Гкал}$.

Задания для самостоятельной работы

1. Определить термическое сопротивление ограждающих конструкций здания, стены которого состоят из шлакобетона толщиной $\delta_{\text{шл}} = (N / 100 + 0,3)$ м и теплопроводностью $\lambda_{\text{шл}} = 0,6$ Вт/(м · °С). Во сколько раз изменятся потери при утеплении стен минеральной ватой толщиной $\delta_{\text{м.в}} = 0,05$ м и теплопроводностью $\lambda_{\text{м.в}} = 0,04$ Вт/(м · °С)? Соответствует ли полученное значение термического сопротивления принятым нормативам?

2. Здание старой постройки не удовлетворяет современным теплотехническим требованиям, что приводит к значительным потерям теплоты через наружные стеновые ограждения, выполненные из двойного силикатного кирпича толщиной $\delta_{\text{с.к}} = 0,138$ м и теплопроводностью $\lambda_{\text{с.к}} = 0,78$ Вт/(м · °С)). После утепления здания теплоизоляционным материалом с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{\text{и}} = 0,05$ Вт/(м · °С) термическое сопротивление наружной стены стало $R = 3$ м · °С/Вт. Во время отопительного сезона температура помещения поддерживается равной $t_{\text{вн}} = 21^\circ\text{C}$, средняя температура наружного воздуха самого холодного месяца года составляет $t_{\text{н}} = (-5 - N / 2)^\circ\text{C}$. Коэффициенты теплоотдачи со стороны воздуха помещения и наружного воздуха соответственно равны $\alpha_{\text{вн}} = 5$ Вт/(м² · К) и $\alpha_{\text{н}} = 25$ Вт/(м² · К). Определить толщину изоляции и экономию энергии (Гкал) за отопительный сезон после термореновации здания площадью $F = (1000 + 20 \cdot N)$ м².

3. Рассчитать денежную экономию при термореновации ограждающих конструкций здания с помощью экструдированного пенополистирола толщиной 0,1 м для следующих случаев:

а) стены состоят из керамического кирпича толщиной $\delta_{\text{к.к}} = 0,12$ м, утепленного минеральной ватой толщиной $\delta_{\text{м.в}} = 0,05$ м;

б) стены состоят из керамического кирпича железобетона толщиной $\delta_{\text{к.к}} = 0,2$ м, утепленного древесноволокнистыми плитами толщиной $\delta_{\text{д.п}} = 0,05$ м.

Теплопроводность строительных материалов принимать в соответствии с [4].

Внутренняя и наружная отделка выполнены из штукатурки толщиной $\delta_{\text{шт}} = 0,01$ м. Температура помещения поддерживается равной $t_{\text{вн}} = 21^\circ\text{C}$, расчетная температура наружного воздуха составляет $t_{\text{н}} = (-5 - N / 2)^\circ\text{C}$. Площадь ограждающих конструкций, подвергнутых термореновации, равна $(1000 + 20 \cdot N)$ м².

4. Рассчитать количество тепла, расходуемого на систему отопления здания объемом $(1000 + 50 \cdot N)$ м³. Температура помещения поддерживается равной $t_{\text{вн}} = 21^\circ\text{C}$, температура наружного воздуха составляет $t_{\text{н}} = (-6 - N / 2)^\circ\text{C}$. Как изменится расходуемое количество теплоты, если отопительный сезон увеличится на 30 дней?

Вопросы для самоподготовки и самоконтроля

1. Дайте определение теплопередаче и инфильтрации.
2. Чем отличается передача тепла теплопроводностью, конвекцией и излучением?
3. Сформулируйте закон Фурье.
4. От каких параметров зависит термическое сопротивление теплопередаче?
5. Как влияет влажность строительных материалов на их теплопроводность?
6. Что такое термореновация зданий?
7. От каких параметров зависит количество теплоты, необходимое для системы отопления и вентиляции?

2. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Система теплоснабжения – совокупность установок, предназначенных для обеспечения предприятия тепловой энергией. Их основная задача заключается в обеспечении тепловой энергией требуемых параметров.

В *децентрализованных системах теплоснабжения* источник и потребитель теплоты совмещены в одной установке, при этом не требуется устройств для передачи теплоты (сетей). Такие системы бывают:

1) индивидуальные – в каждом помещении теплоснабжение осуществляется от собственного источника (печное отопление);

2) местные – все помещения здания отапливаются от отдельного общего источника (домовая котельная).

В *централизованных системах теплоснабжения* источник и потребитель значительно удалены друг от друга, передача тепловой энергии ведется с помощью тепловых сетей.

Различают следующие виды теплоснабжения:

- групповое – теплоснабжение группы зданий от одного источника;
- районное – теплоснабжение района от одного источника;
- городское – теплоснабжение города от одного источника;
- межгородское – теплоснабжение нескольких городов от одного источника.

Любую систему теплоснабжения для анализа можно условно разбить на три основных участка:

- 1) получение тепловой энергии (например, котельная);
- 2) транспортировка тепловой энергии к потребителю (тепловые сети);
- 3) потребление тепловой энергии.

Каждый из вышеперечисленных участков характеризуется потерями энергии, снижение которых является основной задачей энергосбережения.

2.1. Потери энергии в котле

Главным элементом любого источника тепловой энергии выступает котельная установка, служащая для выработки пара или горячей воды. Основным звеном на участке получения тепловой энергии является котел, который преобразует химическую энергию топлива в тепловую и передает эту энергию к теплоносителю. Выполнение данной функции происходит благодаря ряду физико-технических процессов, каждый из которых характеризуется своим КПД. Поэтому насколько совершенным не был бы котел, в нем обязательно теряется часть энергии топлива при совершении этих процессов.

Введенная в котел теплота Q_p^p , кДж/кг, расходуется на полезно использованное тепло Q_1 и суммарные потери $\sum Q_{\text{пот}}$:

$$Q_p^p = Q_1 + \sum Q_{\text{пот}}. \quad (2.1)$$

При этом суммарные потери находятся по формуле

$$\sum Q_{\text{пот}} = Q_{\text{ух.г}} + Q_{\text{х.н}} + Q_{\text{м.н}} + Q_{\text{о.с}} + Q_{\text{шл}}, \quad (2.2)$$

где $Q_{\text{ух.г}}$ – потери тепла с уходящими газами, кДж/кг; $Q_{\text{х.н}}$ – потери тепла с химическим недожогом, кДж/кг; $Q_{\text{м.н}}$ – потери тепла с механическим недожогом, кДж/кг; $Q_{\text{о.с}}$ – потери тепла от наружного охлаждения внешних ограждений котла, кДж/кг; $Q_{\text{шл}}$ – потери тепла с физической теплотой шлаков, кДж/кг.

Введенная теплота Q_p^p , кДж/кг, также вычисляется по выражению

$$Q_p^p = Q_H^p + Q_B + Q_T + Q_\phi - Q_{\text{карб}}, \quad (2.3)$$

где Q_H^p – низшая рабочая теплота сгорания топлива, кДж/кг; Q_B – теплота, вносимая с воздухом, подогретым вне котла, кДж/кг, определяемая по формуле $Q_B = \alpha \cdot V_0 \cdot c_B \cdot t_B$, здесь α – коэффициент избытка воздуха; V_0 – теоретический объем воздуха на горение, м³/кг; c_B – теплоемкость воздуха, кДж/(кг · °С); t_B – температура воздуха, °С; Q_T – теплота, вносимая с топливом, подогретым вне котла, кДж/кг, рассчитываемая по формуле $Q_T = c_T \cdot t_T$, здесь c_T – теплоемкость топлива, кДж/(кг · °С); t_T – температура топлива, °С; Q_ϕ – теплота, вносимая с паром на распыление, кДж/кг, вычисляемая по формуле $Q_\phi = G_\phi \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{у.п}})$, здесь G_ϕ – расход пара в форсунках, кг/с; $h_{\text{п}}$ – энтальпия пара, используемого для распыления, кДж/кг; $h_{\text{у.п}}$ – условная энтальпия пара, содержащегося в уходящих газах ($h_{\text{у.п}} = 2500$ кДж/кг); $Q_{\text{карб}}$ – теплота, затрачиваемая на разложение карбонатов при сжигании сланцев, кДж/кг, равная $Q_{\text{карб}} = 40,6 \cdot \text{CO}_2$, здесь CO_2 – процентное содержание углекислого газа.

Полезно затрачиваемая теплота на единицу сжигаемого топлива в котле Q_1 , кДж/кг, расходуется на перегрев пара или получение горячей воды и определяется по формуле [6]:

$$Q_1 = \frac{D_{\text{п.п}}}{B} \cdot \left[(h_{\text{п.п}} - h_{\text{п.в}}) + \frac{P}{100} \cdot (h_{\text{н.п}} - h_{\text{п.в}}) \right] + \frac{D_{\text{н.п}}}{B} \cdot (h_{\text{н.п}} - h_{\text{п.в}}), \quad (2.4)$$

где $D_{\text{п.п}}$, $D_{\text{н.п}}$ – расход соответственно перегретого и насыщенного пара, кг/с; B – расход топлива, кг/с; $h_{\text{п.п}}$ – энтальпия перегретого пара, кДж/кг; $h_{\text{п.в}}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг; P – величина непрерывной продувки, %; $h_{\text{н.п}}$ – энтальпия насыщенного пара, кДж/кг.

КПД котельного агрегата (КПД брутто) – это отношение полезно использованного тепла к теплу топлива, которое находится по формуле

$$\eta_{\text{к.а}}^{\text{бр}} = \frac{Q_1}{B \cdot Q_p^p} \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

КПД агрегата по теплоте, отпущенной потребителю (КПД нетто), учитывает затраты энергии на собственные нужды котельной и вычисляется по выражению

$$\eta_{\text{к.а}}^{\text{нт}} = \eta_{\text{к.а}}^{\text{бр}} - \frac{Q_{\text{с.н}}}{B \cdot Q_p^p} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

где $Q_{\text{с.н}}$ – затраты энергии на собственные нужды, кДж/кг.

Рассмотрим виды тепловых потерь в котлах [6]. Тепловые потери с уходящими газами $Q_{у.г.}$, кДж/кг, зависят от процесса горения и присосов воздуха по газозовоздушному тракту котла, загрязненности котла, влажности топлива, а также наличия поверхностей нагрева, полезно утилизирующих теплоту уходящих газов (экономайзеров, воздухоподогревателей) и рассчитываются по формуле

$$Q_{у.г.} = (h_{у.г.} - \alpha_{у.г.} \cdot h_b) \cdot \frac{100 - q_{м.н.}}{100}, \quad (2.7)$$

где $h_{у.г.}$ – энтальпия уходящих газов, кДж/кг, определяемая по формуле $h_{у.г.} = V_{у.г.} \cdot c_{p,у.г.} \cdot t_{у.г.}$, здесь $V_{у.г.}$ – объем уходящих газов на выходе из последнего газохода котла, м³/кг; $c_{p,у.г.}$ – средняя объемная теплоемкость уходящих газов при постоянном давлении, кДж/(м³ · °С); $t_{у.г.}$ – температура уходящих газов, °С; $\alpha_{у.г.}$ – коэффициент избытка воздуха за котлом; h_b – энтальпия подаваемого воздуха, кДж/кг, вычисляемая по формуле $h_b = V_0 \cdot c_{p,в} \cdot t_b$, здесь V_0 – теоретический объем воздуха, необходимый для сгорания 1 кг топлива, м³/кг; $c_{p,в}$ – средняя объемная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(м³ · °С); t_b – температура воздуха в котельной, °С; $q_{м.н.}$ – относительные потери теплоты с механическим недожогом, %, рассчитываемые по формуле $q_{м.н.} = Q_{м.н.} / Q_p \cdot 100$.

Основными мероприятиями, направленными на уменьшение потерь теплоты с уходящими газами, являются:

- поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха;
- снижение подсосов холодного воздуха в топку и газоходы котла;
- предотвращение заноса газоходов котла золой из-за перегрузки топки и кратерного горения в слоевых топках;
- содержание в чистоте наружных и внутренних поверхностей нагрева;
- использование в котлах только тех видов топлива, на которые они рассчитаны;
- применение острого дутья, позволяющего сжигать твердое топливо с меньшим избытком воздуха.

Потери теплоты с химическим недожогом $Q_{х.н.}$, кДж/кг, возникают вследствие неполного выгорания горючих компонентов топлива в пределах топки и появления их в продуктах сгорания и определяются по формуле

$$Q_{х.н.} = 237 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S_{л}^p) \cdot \frac{CO}{RO_2 + CO}, \quad (2.8)$$

где C^p , $S_{л}^p$ – процентное содержание соответственно углерода и летучей серы в топливе, %; CO – процентное содержание оксида углерода в уходящих газах, %; RO_2 – суммарное содержание диоксидов углерода и серы в уходящих газах, %.

К методам снижения данных видов потерь с химическим недожогом относятся:

- 1) обеспечение качественного смешения достаточного количества для горения воздуха с топливом;
- 2) применение острого дутья (особенно при сжигании каменных и бурых углей, выделяющих большое количество летучих веществ, а также при небольшом объеме топки);
- 3) механизированная непрерывная подача топлива на решетку.

Потери тепла, связанные с механическим недожогом $Q_{м.н}$, кДж/кг, возникают из-за содержания горючих веществ (в основном углерода) в золе и шлаке, а также из-за уноса мелких частиц топлива с уходящими газами и находятся по формуле

$$Q_{м.н} = 327 \cdot A^p \cdot \left(a_{шл+пр} \cdot \frac{C_{шл+пр}}{100 - C_{шл+пр}} + a_{ун} \cdot \frac{C_{ун}}{100 - C_{ун}} \right), \quad (2.9)$$

где A^p – процентное содержание золы в топливе, %; $a_{шл+пр}$, $a_{ун}$ – доли золы соответственно в шлаке, провале и уносе от общего количества золы, введенной в топку с топливом, %; $C_{шл+пр}$, $C_{ун}$ – содержание горючих элементов соответственно в шлаке, провале и уносе, %.

Для сокращения потерь с механическим недожогом необходимо:

- снижать избыток воздуха, подаваемого в топку;
- осуществлять предварительную подготовку топлива на складе или в котельной (сортировка и дробление крупных кусков угля с отсевом мелочи);
- сжигать топливо с пониженной зольностью (для каменных углей – не более 18%, антрацитов – 16%) и содержанием мелочи не более 20%;
- обеспечивать равномерное распределение воздуха и горение топлива по площади решетки, поддерживать достаточную высоту шлакового слоя;
- заменять ручные топки на механические, в которых снижены периоды между загрузкой топлива и улучшена стабильность горения.

Для снижения потерь энергии в окружающую среду через внешние ограждения предлагается:

- 1) тщательная тепловая изоляция котла (температура на поверхности обмуровки не должна превышать 55°C при температуре окружающего воздуха 25°C);
- 2) использование тепловыделений от котла.

2.2. Потери энергии при передаче теплоты

Передача теплоты – это процесс переноса тепловой энергии от источника (например, котельной, ТЭЦ, солнечного коллектора) к потребителю (например, радиатору отопления, теплообменнику вентиляционной системы). В идеале вся тепловая энергия, произведенная источником, должна дойти до потребителя. Однако в реальности часть энергии неизбежно теряется.

К основным видам потерь тепла $Q_{пот}$, Вт, при передаче в трубопроводах относят линейные потери, потери с утечкой и местные потери тепла:

$$Q_{пот} = Q_{л} + Q_{ут} + Q_{м}, \quad (2.10)$$

где $Q_{л}$ – линейные потери в трубопроводе, Вт; $Q_{ут}$ – потери тепла, связанные с утечкой теплоносителя, Вт; $Q_{м}$ – местные тепловые потери, Вт.

Линейные потери тепла в трубопроводах $Q_{л}$, Вт, связаны с теплоотдачей через поверхность трубы на единицу длины и вычисляются по формуле

$$Q_{л} = k_{л} \cdot \pi \cdot \Delta t \cdot l, \quad (2.11)$$

где $k_{л}$ – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м · К); Δt – температурный напор, °C; l – длина теплопровода, м.

Линейный коэффициент теплопередачи $k_{\text{л}}$, Вт/(м · К), определяется по формуле

$$k_{\text{л}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{тр}}} \cdot \ln\left(\frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}}\right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{из}}} \cdot \ln\left(\frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{н}}}\right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{к}}} \cdot \ln\left(\frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{из}}}\right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{\text{к}}}}, \quad (2.12)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи со стороны теплоносителя, Вт/(м² · К); $d_{\text{вн}}$, $d_{\text{н}}$, $d_{\text{из}}$, $d_{\text{к}}$ – диаметры соответственно внутренний и наружный стальной трубы, изоляции, защитного кожуха, м; $\lambda_{\text{тр}}$, $\lambda_{\text{из}}$, $\lambda_{\text{к}}$ – коэффициенты теплопроводности соответственно трубы, изоляции и защитного кожуха, Вт/(м · К); α_2 – коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, Вт/(м² · К).

Минимизация линейных потерь требует применения эффективных теплоизоляционных материалов, оптимизации конструкции трубопровода, поддержания теплоизоляции в хорошем состоянии и проведения регулярного технического обслуживания системы теплоснабжения.

В отличие от линейных потерь тепла, равномерно распределенных по длине трубопровода, местные потери тепла возникают на отдельных участках и связаны с конкретными конструктивными особенностями или дефектами теплоизоляции.

Местные тепловые потери $Q_{\text{м}}$, Вт, рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{л}} \cdot \beta, \quad (2.13)$$

где β – коэффициент, учитывающий дополнительные местные потери тепла через опорные конструкции, арматуру, фланцевые соединения, равный 0,1.

Утечки в трубопроводах систем теплоснабжения представляют собой серьезную проблему, которая приводит не только к потере тепловой энергии и увеличению затрат на подпитку системы, но и к разрушению трубопроводов, загрязнению окружающей среды и ухудшению качества теплоснабжения. Потери тепла с утечками являются одним из наиболее значимых факторов, снижающих эффективность систем теплоснабжения, поэтому их обнаружение и устранение являются приоритетными задачами.

Потери тепла $Q_{\text{ут}}$, Вт, связанные с утечкой теплоносителя, рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{ут}} = a \cdot c_{\text{т}} \cdot V_{\text{т}} \cdot \rho_{\text{т}} \cdot (t_{\text{т}} - t_{\text{х}}), \quad (2.14)$$

где a – доля утечек теплоносителя, м³/(с · м³), которая определяется по формуле $a = (0,25 / 100 \cdot V_{\text{т}})$; $c_{\text{т}}$ – теплоемкость теплоносителя, равная для воды 4186 Дж/(кг · °С); $V_{\text{т}}$ – объем теплоносителя в трубопроводе, м³, вычисляемый по формуле $V_{\text{т}} = \pi \cdot L \cdot d_{\text{л}}^2 / 4$, здесь L – длина трубопровода, м; d – диаметр трубопровода, м; $\rho_{\text{т}}$ – плотность теплоносителя, кг/м³; $t_{\text{т}}$ – средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С; $t_{\text{х}}$ – средняя температура питающей холодной воды за расчетный период, °С.

При эксплуатации паропроводов возникают трещины, из которых вытекает перегретый пар.

Критическая скорость перегретого пара $w_{\text{кр}}$, м/с, находится по формуле [7]

$$w_{\text{кр}} = \sqrt{k \cdot P_{\text{кр}} \cdot v_{\text{кр}}} = \sqrt{k \cdot P \cdot \beta_{\text{кр}}^{(1-1/k)} \cdot v}, \quad (2.15)$$

где k – показатель адиабаты (для перегретого пара – 1,3); $P_{кр}$ – критическое давление пара, Па; $v_{кр}$ – критический удельный объем пара, м³/кг; P – давление в паропроводе, Па; $\beta_{кр}$ – степень повышения давления, определяемая по выражению $\beta_{кр} = P_{кр} / P = (2 / (k + 1))^{k/(k-1)}$ (для перегретого пара – 0,546); v'' – удельный объем пара, м³/кг.

Расход пара через щель $D_{п}$, кг/с, вычисляется по формуле

$$D_{п} = \frac{f \cdot w_{кр}}{v''}, \quad (2.16)$$

где f – площадь щели, м².

Расход теплоты через щель Q , кВт, рассчитывается по следующей формуле:

$$Q = D_{п} \cdot r, \quad (2.17)$$

где r – теплота парообразования, кДж/кг.

Утечки в трубопроводах могут возникать по следующим причинам:

- коррозия металла: под воздействием воды, кислорода и других агрессивных веществ происходит разрушение металла, что вызывает образование свищей и трещин в трубах;

- гидравлические удары: резкие изменения давления в системе (гидравлические удары) могут приводить к повреждению трубопроводов и образованию утечек;

- механические повреждения при проведении земляных работ, строительстве или других видах деятельности;

- некачественный монтаж;

- естественный износ;

- неправильная эксплуатация (например, превышение допустимого давления или температуры теплоносителя);

- замерзание теплоносителя, приводящее к разрыву трубопроводов;

- вибрация от насосного оборудования или других источников, которая может ослабить соединения.

Минимизация тепловых потерь в трубопроводах – ключевая задача для повышения энергоэффективности систем теплоснабжения, снижения затрат на энергоносители и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду.

Пример 2.1

В топке котельного агрегата паропроизводительностью $D_{п} = 13,4$ кг/с сжигается топливо с теплотой сгорания $Q_{п}^p = 10\,516$ кДж/кг. Температура топлива на входе в топку составляет 20°C, теплоемкость равна 2,08 кДж/(кг · °C). Расход топлива $B = 4$ кг/с. Температура перегретого пара составляет 450°C, давление – 4 МПа. Температура питательной воды равна 150°C. Величина непрерывной продувки $P = 4\%$.

Теоретический объем воздуха, необходимый для горения, равен $V_0 = 2,94$ м³/кг, теплоемкость составляет 1,297 кДж/(кг · °C). Коэффициент избытка воздуха равен 1,3. Температура воздуха в котельной составляет 30°C. Объем уходящих газов $V_{ух.г} = 4,86$ м³/кг, температура равна 160°C, теплоемкость $c_{ух.г} = 1,415$ кДж/(кг · °C). Коэффициент избытка воздуха за последним газоходом составляет 1,48. Содержание в уходящих газах оксида углерода CO = 0,2%, трехатомных газов RO₂ = 16,6%. Потери от механической неполноты сгорания $q_4 = 4\%$. Содержание углерода в топливе составляет 28,7%, серы – 2,7%. Потерями теплоты шлаков можно пренебречь.

Определить потери тепла в окружающую среду.

Решение

Введенную теплоту в котлоагрегат найдем по выражению (2.3):

$$\begin{aligned} Q_p &= Q_H^p + Q_B + Q_T + Q_\phi - Q_{\text{карб}} = \\ &= Q_H^p + \alpha \cdot V_0 \cdot c_B \cdot t_B + c_T \cdot t_T + 0 - 0 = \\ &= 10\,516 + 2,08 \cdot 20 + 1,3 \cdot 2,94 \cdot 1,297 \cdot 30 = 10\,706,3 \text{ кДж/кг}. \end{aligned}$$

Полезно используемое тепло в котле рассчитаем по формуле (2.4):

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{D_{\text{п.п.}}}{B} \cdot \left[(h_{\text{п.п.}} - h_{\text{п.в.}}) + \frac{P}{100} \cdot (h_{\text{н.п.}} - h_{\text{п.в.}}) \right] + \frac{D_{\text{н.п.}}}{B} \cdot (h_{\text{н.п.}} - h_{\text{п.в.}}) = \\ &= \frac{13,4}{4} \cdot \left[(3300 - 632) + \frac{4}{100} \cdot (1087 - 632) \right] + 0 = 9099 \text{ кДж/кг}, \end{aligned}$$

где энтальпия перегретого пара вычисляется по таблицам [6] для $t_{\text{п.п.}} = 450^\circ\text{C}$ и давления $p_{\text{п.п.}} = 4 \text{ МПа}$ и составляет $h_{\text{п.п.}} = 3300 \text{ кДж/кг}$, энтальпия питательной воды при $t_{\text{п.в.}} = 150^\circ\text{C}$ равна $h_{\text{п.в.}} = 632 \text{ кДж/кг}$, насыщенного пара $h_{\text{н.п.}} = 1087 \text{ кДж/кг}$.

Потери теплоты с уходящими газами определим по формуле (2.7):

$$\begin{aligned} Q_{\text{yx.г.}} &= (h_{\text{yx.г.}} - \alpha_{\text{yx.г.}} \cdot h_B) \cdot \frac{100 - q_{\text{м.н.}}}{100} = \\ &= (V_{\text{yx.г.}} \cdot c_{p,\text{yx.г.}} \cdot t_{\text{yx.г.}} - \alpha_{\text{yx.г.}} \cdot V_0 \cdot c_{p,\text{в.}} \cdot t_B) \cdot \frac{100 - q_{\text{м.н.}}}{100} = \\ &= (4,86 \cdot 1,415 \cdot 160 - 1,48 \cdot 2,94 \cdot 1,297 \cdot 30) \cdot \frac{100 - 4}{100} = 891 \text{ кДж/кг}. \end{aligned}$$

Потери теплоты с химическим недожогом найдем по формуле (2.8):

$$\begin{aligned} Q_{\text{х.н.}} &= 237 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S_{\text{л}}^p) \cdot \frac{\text{CO}}{\text{RO}_2 + \text{CO}} = \\ &= 237 \cdot (28,7 + 0,375 \cdot 2,7) \cdot \frac{0,2}{16,6 + 0,2} = 422,3 \text{ кДж/кг}. \end{aligned}$$

Из формулы (2.2) выразим потери в окружающую среду:

$$\begin{aligned} Q_{\text{о.с.}} &= Q_p - Q_1 - Q_{\text{yx.г.}} - Q_{\text{х.н.}} = \\ &= 10\,706,3 - 9099 - 891 - 422,3 = 294 \text{ кДж/кг}. \end{aligned}$$

Ответ: $Q_{\text{о.с.}} = 294 \text{ кДж/кг}$.

Пример 2.2

По теплопроводу диаметром $133 \times 4,0 \text{ мм}$ движется вода температурой 130°C . Коэффициент теплоотдачи от воды к трубе равен $1500 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$. Окружающий наружный воздух имеет температуру 20°C . Найти удельные тепловые потери, если теплопровод изолирован слоем утеплителя толщиной 30 мм с коэффици-

ентом теплопроводности $0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Трубопровод погружен в кожух толщиной 4 мм с коэффициентом теплопроводности $0,18 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха составляет $8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$. Коэффициент теплопроводности теплопровода равен $50 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Решение

Коэффициент теплопередачи рассчитаем по формуле (2.12):

$$k_{\text{л}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{тр}}} \cdot \ln\left(\frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}}\right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{из}}} \cdot \ln\left(\frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{н}}}\right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{к}}} \cdot \ln\left(\frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{из}}}\right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{\text{к}}}} =$$

$$= \left(\frac{1}{1500 \cdot 0,133} + \frac{1}{2 \cdot 50} \cdot \ln\left(\frac{0,133}{0,125}\right) + \frac{1}{2 \cdot 0,06} \cdot \ln\left(\frac{0,193}{0,133}\right) + \frac{1}{2 \cdot 0,18} \cdot \ln\left(\frac{0,201}{0,193}\right) + \frac{1}{8 \cdot 0,201} \right)^{-1} =$$

$$= 0,26 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

В соответствии с формулой (2.11) потери теплоты с единицы длины составят:

$$Q_{\text{л}} = k_{\text{л}} \cdot \pi \cdot \Delta t \cdot l = 0,26 \cdot 3,14 \cdot (130 - 20) \cdot 1 = 89,8 \text{ Вт}.$$

Ответ: $Q_{\text{л}} = 89,8 \text{ Вт}$ на 1 м длины.

Задания для самостоятельной работы

1. Рассчитать экономию газообразного топлива с теплотой сгорания $(34\,000 + 20 \cdot N) \text{ кДж/м}^3$, если в результате реконструкции КПД котлоагрегата повысился с 80 до 90% . Паропроизводительность котла $D_{\text{п}} = (70 + 0,1 \cdot N) \text{ т/ч}$, температура перегретого пара равна 440°C , давление составляет 4 МПа . Температура питательной воды равна 105°C .

2. В топке котельного агрегата паропроизводительностью $D_{\text{п}} = (10 + 0,3 \cdot N) \text{ кг/с}$ сжигается уголь с низшей теплотой сгорания рабочей массы топлива $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 12\,500 \text{ кДж/кг}$. Составить тепловой баланс котельного агрегата, если известны температура топлива при входе в топку $t_{\text{т}} = 20^\circ\text{C}$, теплоемкость $c_{\text{р,т}} = 2,08 \text{ кДж/кг}$, расход топлива $B = (3,5 + 0,1 \cdot N) \text{ кг/с}$, давление перегретого пара $p_{\text{п,п}} = 4 \text{ МПа}$, температура перегретого пара $t_{\text{п,п}} = 450^\circ\text{C}$, температура питательной воды $t_{\text{п,в}} = 150^\circ\text{C}$, теоретический объем воздуха, необходимый для сгорания 1 кг топлива, $V_0 = 2,94 \text{ м}^3/\text{кг}$, объем уходящих газов на выходе из последнего газохода $V_{\text{ух,г}} = 4,86 \text{ м}^3/\text{кг}$ с температурой $t_{\text{ух,г}} = 160^\circ\text{C}$ при средней объемной изобарной объемной теплоемкости $1,415 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{К)}$, коэффициент избытка воздуха за последним газоходом $\alpha_{\text{ух,г}} = 1,48$. Температура воздуха в котельной составляет $t_{\text{в}} = 30^\circ\text{C}$ при средней объемной теплоемкости $1,297 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{К)}$ и коэффициенте избытка воздуха, равном $1,28$. Содержание в уходящих газах оксида углерода составляет $\text{CO} = 0,2\%$ и трехатомных газов $\text{RO}_2 = 14,6\%$. Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива $q_4 = 4\%$. Содержание углерода в топливе составляет $32,1\%$, серы – $2,7\%$. Потерями теплоты с физической теплотой шлака можно пренебречь.

3. Определить потери теплоты со 100 м для неизолированного стального теплопровода размером $d_n \times \delta = 273 \times 7,0$ мм, не удовлетворяющего современным теплотехническим требованиям. По теплопроводу движется вода температурой $t_1 = (110 + 2 \cdot N)^\circ\text{C}$, окружающий наружный воздух имеет температуру $t_2 = 10^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от воды к трубе $\alpha_1 = 1500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, а коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха $\alpha_2 = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Коэффициент теплопроводности стали $\lambda_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Как изменятся тепловые и денежные потери за отопительный сезон (220 дней), если теплопровод будет изолирован слоем изоляции $\delta_2 = 60$ мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda_2 = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$? Стоимость 1 Гкал составляет 23,8590 руб.

4. Найти потери теплоты, если в паропроводе имеется трещина размером $(2 + 0,1 \cdot N) \times (8 + 0,2 \cdot N)$ мм, через которую вытекает перегретый пар под давлением 0,6 МПа.

Вопросы для самоподготовки и самоконтроля

1. Дайте определение понятию «система теплоснабжения». Какие виды систем теплоснабжения бывают?
2. Перечислите существующие виды потерь тепла в котлах.
3. На что расходуется полезно затрачиваемая теплота в котлах?
4. Чем отличается КПД котла нетто и брутто?
5. Назовите основные мероприятия для снижения потерь тепловой энергии в котлах.
6. Какие существуют виды потерь энергии при передаче тепла?
7. От каких параметров зависят линейные потери тепла?
8. По каким причинам могут возникать потери тепла, связанные с утечками теплоносителя?

3. ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ, ТРАНСФОРМАТОРАХ, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

3.1. Потери электрической энергии в сетях

Потери в электросетях составляют около 4–7% от общего потребления предприятием и зависят от следующих параметров:

- величины электрической нагрузки предприятия;
- режимов работы трансформаторов;
- характеристик сетей (их сечения, длины и т. п.);
- значения коэффициента мощности на предприятии;
- способов установки компенсационных устройств.

Транспортирование электрической энергии от источника к потребителю осуществляется по линиям электропередач (ЛЭП). Потери в линиях электропередач можно оценить исходя из тепловых потерь в проводнике Q , Дж, обусловленных законом Джоуля – Ленца:

$$Q = I^2 \cdot \tau \cdot R_{\text{ЛЭП}}, \quad (3.1)$$

где I – сила тока в проводнике, А; τ – время, с; $R_{\text{ЛЭП}}$ – сопротивление в проводнике, Ом, вычисляемое по формуле $R_{\text{ЛЭП}} = \rho \cdot l / S$, здесь ρ – удельное сопротивление, Ом · мм²/м; l – длина проводника, м; S – площадь его поперечного сечения, мм².

Для определения передаваемой мощности P , Вт, можно воспользоваться средними значениями тока и напряжения в сети:

$$P = U \cdot I, \quad (3.2)$$

где U – напряжение в сети, В; I – ток в сети, А.

Потери активной мощности в электросетях ΔP_c , Вт, складываются из потерь в цеховых $\Delta P_{\text{ц}}$, Вт, и общезаводских сетях ΔP_z , Вт, а также трансформаторных подстанций ΔP_t , Вт, и могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$\Delta P_c = \Delta P_{\text{ц}} + \Delta P_z + \Delta P_t; \quad (3.3)$$

$$\Delta P_c = 3 \cdot I_{\text{max}}^2 \cdot R; \quad (3.4)$$

$$\Delta P_c = \frac{P_{\text{ср}} \cdot R}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot K^2, \quad (3.5)$$

где I_{max} – максимальный ток нагрузки, А; R – активное сопротивление кабеля или линии, Ом, определяемое по формуле $R = \rho \cdot L / S_{\text{л}}$, здесь ρ – удельное сопротивление, Ом · мм²/м; L – длина линии, м; $S_{\text{л}}$ – сечение линии, мм²; $P_{\text{ср}}$ – фактическая средняя активная мощность линии, Вт; U – напряжение в начале линии, В; K – коэффициент запаса, равный 1,05–1,10.

Экономия энергии при переводе линии на работу при более высоком напряжении $\Delta\mathcal{E}$, кВт · ч, вычисляется по формуле

$$\Delta\mathcal{E} = 0,003 \cdot \rho \cdot L \cdot \tau \cdot \left(\frac{I_1^2}{S_1} - \frac{I_2^2}{S_2} \right), \quad (3.6)$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода при температуре 20°C (для алюминия – 0,026–0,029 Ом · мм²/м; для меди – 0,0175–0,0180 Ом · мм²/м, для стали – 0,01–0,14 Ом · мм²/м), L – длина линии, м; τ – расчетный период времени, ч; I_1 , I_2 – значения тока соответственно при низком и высоком напряжении, А; S_1 , S_2 – сечения проводов сети соответственно при низком и высоком напряжении, мм².

Экономия энергии при замене проводов на другое сечение $\Delta\mathcal{E}$, кВт · ч, находится по следующему выражению:

$$\Delta\mathcal{E} = 0,003 \cdot I^2 \cdot L \cdot \tau \cdot \left(\frac{\rho_1}{S_1} - \frac{\rho_2}{S_2} \right). \quad (3.7)$$

3.2. Потери электрической энергии в трансформаторах

Полная мощность S , В · А, рассчитывается по формуле

$$S = U \cdot I. \quad (3.8)$$

Активная мощность P , Вт, – потребляемая любой нагрузкой мощность, совершающая полезную работу и трансформирующаяся в необходимый вид энергии (лампы, электроплиты, обогреватели, утюги и т. п.):

$$P = U \cdot I \cos \varphi. \quad (3.9)$$

Реактивная мощность Q , вар, – мощность, возникающая в цепях с реактивными элементами и расходуемая на бесполезный нагрев проводников цепи (электродвигатели различного типа, переносные электроинструменты, электронная техника):

$$Q = U \cdot I \sin \varphi. \quad (3.10)$$

Коэффициент мощности – это отношение активной мощности к полной мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}. \quad (3.11)$$

Низкий коэффициент мощности приводит к увеличению тока в электросети предприятия. Это вызывает повышенные потери энергии на нагрев проводов, трансформаторов и другого оборудования. Увеличение коэффициента мощности позволяет снизить эти потери и, следовательно, сократить затраты на электроэнергию.

Повышение коэффициента мощности позволяет более эффективно использовать доступную мощность электросети, освобождая резерв мощности для подключения нового оборудования или увеличения производственных мощностей без необходимости модернизации электроснабжения.

Работа трансформаторов характеризуется наличием потерь, которые увеличиваются в периоды нерабочего времени из-за роста потерь холостого хода (активные потери мощности трансформатора в стали) и снижения нагрузки относительно номинальной за счет потребления реактивной энергии (активные потери мощности в меди обмотки трансформатора).

Исходными данными для расчета потерь в трансформаторе являются:

- 1) номинальная мощность трансформатора S_n , кВ · А;
- 2) потери короткого замыкания при номинальной нагрузке $\Delta P_{к.з.}$, кВт;
- 3) потери холостого хода при номинальном напряжении $\Delta P_{х.х.}$, кВт;
- 4) число часов работы трансформатора в месяц при номинальной нагрузке: при односменном режиме $\tau_{раб} = 200$ ч, при двухсменном – $\tau_{раб} = 450$ ч, при трехсменном – $\tau_{раб} = 700$ ч;
- 5) количество учтенной счетчиками (установленными на стороне высокого напряжения понижающего трансформатора) за расчетный период энергии (Θ_a , кВт · ч, Θ_p , кВар · ч);
- 6) полное число часов работы трансформатора $\tau_n = 8760$ ч.

Коэффициент загрузки трансформатора вычисляется по формуле

$$k_3 = \frac{\Theta_a}{S_n \cdot \tau_{раб} \cdot \cos \varphi}. \quad (3.12)$$

Потери электроэнергии ΔE , кВт · ч, в трансформаторах рассчитываются по следующей формуле:

$$\Delta E = \Delta P_{х.х.} \cdot \tau_n + \Delta P_{к.з.} \cdot k_3^2 \cdot \tau_{раб}. \quad (3.13)$$

3.3. Потери электрической энергии в электродвигателях

Потери в электродвигателях включают:

- независимые от нагрузки потери на трение и охлаждение;
- зависящие от напряжения потери в стали (постоянные для конкретного типа электродвигателя независимо от нагрузки);
- пропорциональные сопротивлению и квадрату тока потери в меди;
- зависящие от нагрузки добавочные потери.

Величина нагрузки на электродвигатель влияет на ее КПД, а также на все элементы привода. При этом при уменьшении коэффициента загрузки снижается КПД машины, поэтому если при анализе эффективности работы электродвигателей средняя нагрузка составляет менее 45% от номинальной мощности, то они подлежат замене на электродвигатели меньшей мощности. В интервале нагрузки от 45 до 70% необходимо проводить расчет экономической целесообразности, а при нагрузке, превышающей 70%, выполнять замену нецелесообразно.

Суммарные потери активной мощности $\Delta P_{\text{сум}}$, Вт, можно определить по формуле

$$\Delta P_{\text{сум}} = \left[Q_{\text{х.х}} \cdot (1 - k_{\text{н}}^2) + k_{\text{н}}^2 \cdot Q_{\text{н}} \right] \cdot k_{\text{о}} + \Delta P_{\text{х.х}} + k_{\text{н}}^2 \cdot \Delta P_{\text{а.н}}, \quad (3.14)$$

где $Q_{\text{х.х}}$ – реактивная мощность, потребляемая из сети при холостом ходе, вар, вычисляемая по формуле $Q_{\text{х.х}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot I_{\text{х.х}}$, здесь $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение, В; $I_{\text{х.х}}$ – ток холостого хода электродвигателя, А; $k_{\text{н}}$ – коэффициент нагрузки электродвигателя, рассчитываемый по формуле $k_{\text{н}} = P / P_{\text{н}}$, здесь P , $P_{\text{н}}$ – соответственно средняя нагрузка и номинальная мощность электродвигателя, Вт; $Q_{\text{н}}$ – реактивная мощность электродвигателя при номинальной нагрузке, вар, определяемая по формуле $Q_{\text{н}} = P_{\text{н}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{н}} / \eta_{\text{д}}$, здесь $\text{tg} \varphi_{\text{н}}$ – производная от номинального коэффициента мощности; $\eta_{\text{д}}$ – КПД двигателя при полной нагрузке; $k_{\text{о}}$ – коэффициент повышения потерь; $\Delta P_{\text{х.х}}$ – потери активной мощности при холостом ходе электродвигателя, Вт; $\Delta P_{\text{а.н}}$ – прирост потерь активной мощности при нагрузке 100%, который находится из выражения

$$\Delta P_{\text{а.н}} = P_{\text{н}} \cdot \left(\frac{1 - \eta_{\text{д}}}{\eta_{\text{д}}} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + \gamma} \right), \quad (3.15)$$

где γ – расчетный коэффициент, зависящий от конструкции двигателя:

$$\gamma = \frac{k_{\text{х.х}}}{(1 - \eta_{\text{д}}) - k_{\text{х.х}}}, \quad (3.16)$$

где $k_{\text{х.х}}$ – отношение потерь холостого хода к активной мощности, потребляемой электродвигателем при полной загрузке. Коэффициент потерь холостого хода вычисляется из выражения $k_{\text{х.х}} = \Delta P_{\text{х.х}} / P_{\text{н}}$.

Холостой ход оборудования с приводом от электродвигателя является также источником потерь электроэнергии. С целью снижения потерь при условии, что холостой ход составляет 10 с и более, установка автоматических регуляторов холостого хода всегда приводит к экономии электроэнергии.

Пример 3.1

В линии электропередач силу тока уменьшили в 3 раза. Определить, как изменятся тепловые потери в линии.

Решение

Тепловые потери до изменения силы тока рассчитаем по формуле (3.1):

$$Q_1 = I_1^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot \tau.$$

Тепловые потери при изменении силы тока вычислим из выражения

$$Q_2 = (3 \cdot I_1)^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot \tau.$$

Тогда тепловые потери изменятся:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{(3 \cdot I_1)^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot \tau}{I_1^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot \tau} = 9.$$

Ответ: тепловые потери вырастут в 9 раз.

Пример 3.2

Активная мощность установки составляет 10 кВт, коэффициент мощности равен 0,7. Какую реактивную мощность нужно скомпенсировать, чтобы коэффициент мощности составил 0,98?

Решение

Полная мощность в соответствии с формулой (3.11) составит:

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} = \frac{P}{\cos_1 \varphi} = \frac{10}{0,7} = 14,3 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

При изменении коэффициента мощности до 0,98 полная мощность будет:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} = \frac{P}{\cos_2 \varphi} = \frac{10}{0,98} = 10,2 \text{ квар}.$$

Реактивная мощность до повышения коэффициента мощности равна:

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} = \sqrt{14,3^2 - 10^2} = 10,2 \text{ квар}.$$

Реактивная мощность после повышения коэффициента мощности составит:

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2} = \sqrt{10,2^2 - 10^2} = 2 \text{ квар}.$$

Следовательно, необходимая для компенсации реактивная мощность равна:

$$Q_1 - Q_2 = 10,2 - 2 = 8,2 \text{ квар}.$$

Ответ: нужно скомпенсировать 8,2 квар.

Задания для самостоятельной работы

1. Определить экономию электроэнергии за 1 год при переводе сети на более высокое напряжение при значениях тока при низшем напряжении $I_1 = (10 + 0,2 \cdot N)$ А, $I_2 = (4 + 0,1 \cdot N)$ А, длине линии алюминиевого провода $L = 0,1 \cdot N$ км диаметром $S_1 = 2$ мм². Как изменится экономия энергии при увеличении сечения провода в 2 раза?

2. Электродвигатель мощностью $P = (100 + N)$ кВт работает с нагрузкой $(70 + N)$ кВт со следующими характеристиками: $P_n = (100 + N)$ кВт, $U_n = 380$ В, $\eta_n = 0,92$, $I_{x.x} = 0,57 \cdot (100 + N)$ А, $\Delta P_{x.x} = 0,03 \cdot (100 + N)$ кВт, $\cos \varphi = 0,92$. Проверить целесообразность замены данного электродвигателя на двигатель меньшей мощности $P_n = (70 + N)$ кВт (округлить до 5) со следующими характеристиками: $U_n = 380$ В, $\eta_n = 0,91$, $I_{x.x} = 0,57 \cdot (70 + N)$ А, $\Delta P_{x.x} = 0,04 \cdot (70 + N)$ кВт. Коэффициент потерь $k_o = 0,1$.

3. Рассчитать изменение потребляемой активной мощности при установке в цепи переменного тока, в которую последовательно включены резистор $R = (60 + 2 \cdot N)$ Ом и катушка индуктивности $X_L = (80 + 2 \cdot N)$ Ом, компенсирующего устройства с емкостным сопротивлением $X_C = (50 + N)$ Ом. Напряжение в сети составляет 220 В. Как изменится коэффициент мощности при подключении компенсирующего устройства?

4. Определить, как изменятся потери в трансформаторе при переходе с одноменного на двух- и трехсменный режим работы. Характеристики трансформатора следующие: $\Delta P_{к.з} = (1800 + 10 \cdot N)$ Вт, $\Delta P_{x.x} = (250 + 5 \cdot N)$ Вт, коэффициент загрузки $k_z = 0,4$. Как изменятся потери при трехсменном режиме работы при изменении коэффициента загрузки на $(10 + N)\%$?

Вопросы для самоподготовки и самоконтроля

1. Сформулируйте закон Джоуля – Ленца.
2. Из каких составляющих складываются потери активной мощности в электросетях?
3. Дайте определение коэффициенту мощности. Какими способами можно повысить коэффициент мощности на предприятии?
4. От каких параметров зависят потери энергии в трансформаторах?
5. Из каких видов складываются потери в электродвигателях?
6. Как влияет величина нагрузки на электродвигатель?
7. Почему холостой ход является источником потерь электроэнергии?

4. РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Себестоимость энергии – суммарные затраты предприятия на производство энергии.

В энергетике для конденсационных (КЭС) и атомных электростанций (АЭС) рассчитывается себестоимость производства электрической энергии; для теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) – себестоимость электрической и тепловой энергии; для энергетической системы в целом – себестоимость полезно отпущенной энергии.

Себестоимость энергии включает [8]:

- *затраты на топливо*, планируемые исходя из расчетных объемов покупки топлива, определяемых в соответствии с плановыми балансами, а также планируемой цены и наценки на топливо;

- *затраты на оплату труда* в соответствии с законодательством и учетной политикой снабжающих организаций, рассчитываемые с учетом нормативов численности газоснабжающих организаций;

- *затраты на отчисления на социальные нужды*, определяемые исходя из размеров обязательных страховых взносов и взносов на профессиональное пенсионное страхование;

- *эксплуатационные затраты*, планируемые с учетом влияния на их величину изменения объемных показателей, протяженности сетей, количества потребителей;

- *затраты на амортизацию* основных средств и нематериальных активов, рассчитываемые в установленном законодательством порядке;

- *прочие затраты*, учитывающие налоги, сборы (пошлины), расходы на оплату услуг банков, отделений связи и других организаций, осуществляющих прием платежей от населения, комиссию банков за приобретение иностранной валюты, взносы по видам обязательного и добровольного страхования, затраты на оплату услуг связи, вневедомственной охраны, пожарных аварийно-спасательных служб, командировочные расходы и иные затраты.

Исходными данными для расчета себестоимости энергии на электрической станции являются:

- 1) мощность станции N , МВт;
- 2) число часов использования установленной мощности τ , ч;
- 3) удельная стоимость станции $k_{уд}$, руб./кВт;
- 4) собственные нужды станции $\Delta\mathcal{E}_{с.н}$, руб;
- 5) стоимость топлива $\mathcal{C}_т$, руб./кг у. т.;
- 6) количество персонала n , чел.;
- 7) средняя заработная плата сотрудников $\mathcal{ЗП}_{ср}$, руб./мес.

Годовой отпуск электроэнергии \mathcal{E} , МВт · ч, вычисляется по формуле

$$\mathcal{E} = N \cdot \tau \cdot \left(1 - \frac{\Delta\mathcal{E}_{с.н}}{100} \right). \quad (4.1)$$

Капиталовложения для электрической станции K , руб., находятся по следующей формуле:

$$K = k_{\text{уд}} \cdot N. \quad (4.2)$$

Штатный коэффициент $k_{\text{шт}}$, чел./МВт, рассчитывается по формуле

$$k_{\text{шт}} = \frac{n}{N}. \quad (4.3)$$

Топливные издержки $I_{\text{т}}$, руб./год, вычисляются по следующей формуле:

$$I_{\text{т}} = \Pi_{\text{т}} \cdot N \cdot b_{\text{у}} \cdot \tau, \quad (4.4)$$

где $b_{\text{у}}$ – удельный расход топлива на выработку электроэнергии.

При раздельном производстве тепла на выработку тепловой энергии в котельной расходуется $b_{\text{у}} = 160\text{--}170$ кг у. т./Гкал, на выработку электрической энергии на КЭС – $b_{\text{у}} = 0,32\text{--}0,37$ кг у. т./(кВт · ч); при комбинированном производстве тепла и электричества на ТЭЦ – $b_{\text{у}} = 160$ кг у. т./Гкал или $b_{\text{у}} = 0,15$ кг у. т./(кВт · ч).

Удельный расход топлива на выработку электрической энергии на КЭС $b_{\text{у}}$, кг у. т./(кВт · ч), рассчитывается по формуле

$$b_{\text{у}} = \frac{B_{\text{у}}}{N_{\text{э}}}, \quad (4.5)$$

где $B_{\text{у}}$ – расход условного топлива, кг у. т.; $N_{\text{э}}$ – вырабатываемая станцией электрическая мощность, кВт · ч.

Расход условного топлива $B_{\text{у}}$, кг у. т., вычисляется по следующей формуле:

$$B_{\text{у}} = \frac{N_{\text{э}}}{\eta_{\text{КЭС}} \cdot Q_{\text{н.у}}^{\text{р}}}, \quad (4.6)$$

где $\eta_{\text{КЭС}}$ – КПД КЭС; $Q_{\text{н.у}}^{\text{р}}$ – теплота сгорания условного топлива, равная 29 300 кДж/кг.

Тогда удельный расход топлива с учетом (4.6) составит:

$$b_{\text{у}} = \frac{3600 \cdot N_{\text{э}}}{\eta_{\text{КЭС}} \cdot 29\,300 \cdot N_{\text{э}}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{КЭС}}}. \quad (4.7)$$

Для АЭС удельный расход топлива $b_{\text{я.т}}$, кг урана/(кВт · ч), находится по следующей формуле:

$$b_{\text{я.т}} = \frac{3600}{Q_{\text{я.т}} \cdot \eta_{\text{АЭС}}}, \quad (4.8)$$

где 3600 – тепловой эквивалент 1 кВт · ч, кДж/(кВт · ч); $Q_{\text{я.т}}$ – теплота сгорания ядерного топлива, равная $8 \cdot 10^{10}$ кДж/кг; $\eta_{\text{АЭС}}$ – КПД АЭС.

Подставив значения, получим удельный расход топлива для АЭС $b_{\text{я.т}}$, г урана/(МВт · ч):

$$b_{\text{я.т}} = \frac{3600 \cdot 10^6}{8 \cdot 10^{10} \cdot \eta_{\text{АЭС}}} = \frac{0,045}{\eta_{\text{АЭС}}}. \quad (4.9)$$

Поскольку 1 г урана U^{235} эквивалентен 2,73 т у. т., найдем удельный расход топлива для АЭС $b_{\text{я.т.}}$, кг у. т./($\text{кВт} \cdot \text{ч}$) [8]:

$$b_{\text{я.т.}} = \frac{0,045 \cdot 2,73}{\eta_{\text{АЭС}}} = \frac{0,123}{\eta_{\text{АЭС}}}. \quad (4.10)$$

Амортизационные издержки $I_{\text{ам}}$, руб., рассчитываются по формуле

$$I_{\text{ам}} = p_{\text{ам}} \cdot K, \quad (4.11)$$

где $p_{\text{ам}}$ – норма амортизационных отчислений, %, определяемая по формуле $p_{\text{ам}} = 100 / T_{\text{сл}}$, здесь $T_{\text{сл}}$ – расчетный срок службы станции.

Издержки на ремонт составляют 35% от амортизационных издержек.

Издержки на заработную плату $I_{\text{ЗП}}$, руб., в зависимости от средней заработной платы вычисляются по формуле

$$I_{\text{ЗП}} = k_{\text{шт}} \cdot \text{ЗП}_{\text{ср}} \cdot k_{\text{нал}} \cdot N, \quad (4.12)$$

где $k_{\text{нал}}$ – коэффициент, учитывающий налоговые отчисления.

Прочие издержки составляют 15% от суммарных издержек на амортизацию, ремонт и заработную плату.

С учетом всех издержек себестоимость энергии $C_{\text{э.э}}$, руб./($\text{кВт} \cdot \text{ч}$), рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{э.э}} = \frac{I_{\text{т}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{рем}} + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{пр}}}{\Theta}. \quad (4.13)$$

Себестоимость электрической энергии, полученной на гидроэлектростанции (ГЭС) $C_{\text{ГЭС}}$, руб./($\text{кВт} \cdot \text{ч}$), отличается от тепловых электростанций ввиду отсутствия топливных затрат и вычисляется по формуле

$$C_{\text{ГЭС}} = \frac{I_{\text{ам}} + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{рем}} + I_{\text{пр}}}{\Theta_{\text{ГЭС}}}, \quad (4.14)$$

где $\Theta_{\text{ГЭС}}$ – отпуск электроэнергии потребителям, МВт.

При этом на ГЭС себестоимость энергии зависит от природных факторов (изменяющейся по годам естественной приточности воды), а также от наличия регулируемого водохранилища (для ГЭС без водохранилища мощность в каждый момент времени зависит от величины естественного стока воды).

Пример

Рассчитать себестоимость одноблочной конденсационной электростанции мощностью 600 МВт. Электростанция производит энергию круглогодично. Удельная стоимость КЭС равна 5250 руб./кВт. Собственные нужды электростанции составляют 3,5%. Коэффициент полезного действия КЭС равен 38%. Стоимость условного топлива составляет 700 руб. за 1 т. На станции работает 600 человек со средней заработной платой 2000 руб./мес. Налоговые отчисления равны 35%. Расчетный период работы станции составляет 30 лет.

Решение

Годовой отпуск электроэнергии вычислим по формуле (4.1):

$$\Theta = N \cdot \tau \cdot \left(1 - \frac{\Delta \Theta_{\text{с.н}}}{100}\right) = 600 \cdot 8760 \cdot \left(1 - \frac{3,5}{100}\right) = 5\,072\,040 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Капиталовложения определим по формуле (4.2):

$$K = k_{\text{уд}} \cdot N = 5250 \cdot 600 \cdot 10^3 = 3\,150\,000\,000 \text{ руб.}$$

Штатный коэффициент найдем из соотношения (4.3):

$$k_{\text{шт}} = \frac{n}{N} = \frac{600}{600} = 1 \text{ чел./МВт.}$$

Для КЭС удельный расход топлива на выработку электроэнергии определим по формуле (4.7):

$$b_y = \frac{0,123}{\eta_{\text{КЭС}}} = \frac{0,123}{0,38} = 0,32 \text{ кг у. т./}(кВт \cdot \text{ч}).$$

Тогда топливные издержки в соответствии с формулой (4.4) будут равны:

$$I_{\text{т}} = I_{\text{т}} \cdot N \cdot b_y \cdot \tau = 700 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot 10^3 \cdot 0,32 \cdot 8760 = 1\,177\,344\,000 \text{ руб.}$$

Амортизационные издержки рассчитаем по формуле (4.11):

$$I_{\text{ам}} = p_{\text{ам}} \cdot K = \frac{100}{T_{\text{сл}}} \cdot K = \frac{100}{30} \cdot 10^{-2} \cdot 3150 \cdot 10^6 = 105\,000\,000 \text{ руб.}$$

Издержки на заработную плату вычислим по формуле (4.12):

$$I_{\text{зп}} = k_{\text{шт}} \cdot \text{ЗП}_{\text{ср}} \cdot k_{\text{нал}} \cdot N = 1 \cdot 2000 \cdot (1 + 0,35) \cdot 600 \cdot 12 = 19\,440\,000 \text{ руб.}$$

Издержки на ремонт равны:

$$I_{\text{рем}} = 0,35 \cdot I_{\text{ам}} = 0,35 \cdot 105\,000\,000 = 36\,750\,000 \text{ руб.}$$

Прочие издержки составят:

$$\begin{aligned} I_{\text{пр}} &= 0,15 \cdot (I_{\text{ам}} + I_{\text{рем}} + I_{\text{зп}}) = \\ &= 0,15 \cdot (105\,000\,000 + 36\,750\,000 + 19\,440\,000) = 24\,178\,500 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Себестоимость энергии на конденсационной электростанции найдем из соотношения (4.13):

$$\begin{aligned} C_{\text{э.э}} &= \frac{I_{\text{т}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{рем}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{пр}}}{\Theta} = \\ &= \frac{1\,177\,344\,000 + 105\,000\,000 + 36\,750\,000 + 19\,440\,000 + 24\,178\,500}{5\,072\,040 \cdot 10^3} = \\ &= 0,269 \text{ руб./}(кВт \cdot \text{ч}). \end{aligned}$$

Ответ: $C_{\text{э.э}} = 0,269 \text{ руб./}(кВт \cdot \text{ч}).$

Задания для самостоятельной работы

1. Рассчитать себестоимость двухблочной атомной электростанции мощностью 1200 МВт. Коэффициент полезного действия АЭС равен 33%. Электростанция производит энергию круглогодично. Удельная стоимость АЭС составляет $(28\,000 + 200 \cdot N)$ руб./кВт. Собственные нужды электростанции равны 7%. На станции работает $(1000 + 5 \cdot N)$ человек со средней заработной платой $(2500 + 40 \cdot N)$ руб./мес. Налоговые отчисления составляют 35%. Расчетный период работы станции равен 50 лет. Как изменится себестоимость энергии, если цена на топливо увеличится в 1,5 раза?

2. Сравнить себестоимость конденсационной и гидравлической электростанций, мощность каждой равна $(500 + 10 \cdot N)$ МВт. Электростанции производят энергию круглогодично. Удельная стоимость ГЭС составляет 21 000 руб./кВт, КЭС – 5250 руб./кВт. Собственные нужды каждой электростанции равны 3,5%. На обеих электростанциях работает одинаковое количество персонала – $(70 + 5 \cdot N)$ человек со средней заработной платой $(2500 + 40 \cdot N)$ руб./мес. Налоговые отчисления составляют 35%. Расчетный период работы станций равен 30 лет.

Вопросы для самоподготовки и самоконтроля

1. Дайте определение себестоимости энергии.
2. Какие составляющие включает в себя себестоимость производства энергии?
3. Как различаются удельные расходы топлива на выработку энергии на КЭС, АЭС, ТЭЦ?
4. В чем отличие себестоимости энергии ГЭС от ТЭС?

5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ

5.1. Понятие энергетического баланса, задачи и виды

Энергетический баланс – баланс добычи, переработки, транспортировки, преобразования, распределения и потребления всех видов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на производстве.

Топливо-энергетический баланс (ТЭБ) – система статистических показателей, сформированных в виде таблицы и характеризующих общий объем и структуру формирования ТЭР, процессов их преобразования и конечного использования [1].

ТЭБ позволяет анализировать и оценивать изменения в структуре производства и потребления энергии и эффективность их использования, определять основные направления развития ТЭК, предоставлять информацию для расчета макроэкономических показателей уровня потребления ТЭР в Республике Беларусь.

Энергетический баланс выражается в соответствии с приходной и расходной частями. Приходная часть – это поступающая на предприятия энергия в том или ином виде: тепловая энергия, электрическая. К расходной части относят энергию, идущую на производство продукции, а также все виды энергетических потерь.

Исходя из анализа структуры приходной и расходной частей энергетического баланса определяется специфика энергопотребления на предприятии, выявляется различие в уровнях потребления энергии и эффективности ее использования по сравнению с аналогичными предприятиями, а также намечаются пути совершенствования структуры энергетического баланса.

Задачами энергетических балансов являются:

1) оценка фактического состояния энергоиспользования на предприятии, выявление причин возникновения и определение значений потерь топливно-энергетических ресурсов;

2) разработка плана мероприятий, направленных на снижение потерь топливно-энергетических ресурсов;

3) выявление и оценка резервов экономии топлива и энергии;

4) совершенствование нормирования и разработка научно обоснованных норм расхода топлива и энергии на производство продукции;

5) определение рациональных размеров энергопотребления в производственных процессах и установках;

6) разработка требований к организации и совершенствованию учета и контроля расхода энергоносителей;

7) получение исходной информации для решения вопросов создания нового оборудования и совершенствования технологических процессов с целью снижения энергетических затрат, оптимизации структуры энергетического баланса предприятия путем выбора оптимальных направлений, способов и размеров использования подведенных и вторичных энергоресурсов, совершенствования внутрипроизводственного хозяйственного расчета и системы стимулирования экономии топливно-энергетических ресурсов.

На рис. 5.1 представлена классификация энергетических балансов.

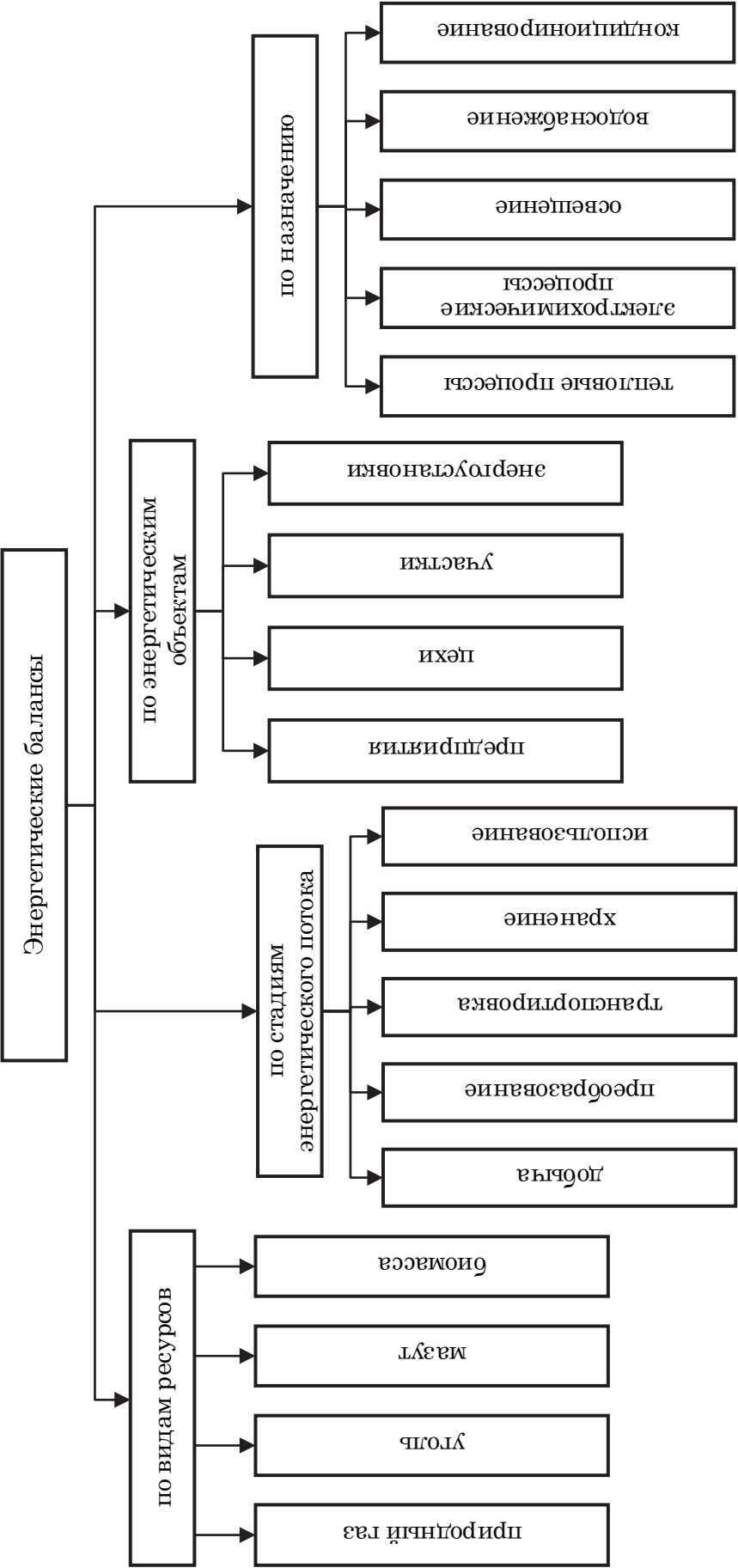


Рис. 5.1. Виды энергетических балансов

В зависимости от назначения выделяют отчетный и плановый энергетические балансы.

Отчетный энергетический баланс отражает фактическое производство и потребление ТЭР в истекшем периоде. По содержанию отчетный баланс делится на синтетический и аналитический.

Синтетический отчетный баланс показывает распределение ТЭР внутри предприятия. Исходными данными для его составления являются показания приборов учета, испытаний, обследований и т. п.

В общем виде синтетический баланс записывается в виде формулы

$$\sum Q_i = \sum Q_i^{\text{тепл}} + \sum Q_i^{\text{эл}} + \sum Q_i^{\text{топл}}, \quad (5.1)$$

где $\sum Q_i$ – общее количество энергии, поступившей на предприятие; $\sum Q_i^{\text{тепл}}$ – количество тепловой энергии, поступившей на предприятие; $\sum Q_i^{\text{эл}}$ – количество электрической энергии, поступившей на предприятие; $\sum Q_i^{\text{топл}}$ – количество энергии, поступившей на предприятие с топливом.

Основное назначение синтетического баланса заключается в анализе фактического состояния энергетического хозяйства предприятия, установлении связи энергетики и основного производства, ее влияния на основные показатели хозяйственной деятельности предприятия (рентабельность, себестоимость продукции, производительность труда и т. п.), но при этом данный вид баланса не позволяет оценить степень полезного использования ТЭР.

Аналитический отчетный баланс характеризует использование различных энергоносителей. Исходными данными для его составления является фактическое потребление энергоресурсов из синтетического баланса.

В общем виде аналитический баланс записывается в виде следующей формулы:

$$\sum Q_i = \sum Q_i^{\text{пол}} + \sum Q_i^{\text{пот}} + \sum Q_j, \quad (5.2)$$

где $\sum Q_i^{\text{пол}}$ – количество энергии, которое полезно используется на предприятии; $\sum Q_i^{\text{пот}}$ – потери энергии; $\sum Q_j$ – количество энергии, образовавшейся на предприятии (например, вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)).

Назначением аналитического баланса является оценка степени полезного использования ТЭР.

Плановый энергетический баланс отражает планируемое поступление, преобразование и потребление энергии на будущий период времени, а также выявляет и оценивает энергетические потери и резервы экономии энергии. Он используется для планирования развития энергетической системы и разработки мер по обеспечению энергетической безопасности.

Плановый энергетический баланс делится на нормализованный и оптимальный.

Нормализованный энергетический баланс составляется на основе аналитических балансов с учетом мероприятий, направленных на рационализацию энергетического хозяйства (интенсификация режимов, внедрение новой техники и т. п.).

Оптимальный энергетический баланс предназначен для выявления минимально затратного варианта энергоснабжения по минимальным затратам на выпуск единицы продукции или по минимальным затратам топлива.

Существуют три метода составления энергетических балансов:

- опытный метод (по фактическим замерам параметров и расходов энергетических потоков);
- расчетный (определение расхода энергии на технологические нужды и всех видов потерь по формулам, использующим нормативные характеристики оборудования в конкретных условиях его эксплуатации);
- опытно-расчетный (комбинация вышеуказанных методов).

Таким образом, исходными данными для составления энергетических балансов являются:

- 1) общие сведения о предприятии – показатели хозяйственной деятельности;
- 2) проектные и отчетные (фактические) данные по энергоиспользованию: проектная документация (паспорт предприятия, энергетический паспорт предприятия, технико-экономическое обоснование и пр.), действующие формы статистической отчетности;
- 3) технико-экономические характеристики энергоносителей: стоимость энергоносителей; параметры энергоносителей (для электроэнергии – напряжение, частота; для тепловой энергии – давление, температура, теплоемкость; для топлива – низшая теплота сгорания, зольность, влажность, сернистость (фактические)); график годового и суточного потребления энергоносителей (для наиболее характерных дней летнего и зимнего периодов);
- 4) технические и энергетические характеристики технологических процессов и установок: материальные потоки (материальный баланс); расходы и параметры сырья, топлива и энергии, отходов; конструктивные особенности установок (габаритные размеры, изоляция, наличие установок по утилизации вторичных энергоресурсов, наличие контрольно-измерительных приборов и автоматики и т. п.); режимы работы оборудования (периодичность использования, продолжительность нахождения в «горячем резерве» и т. п.). Технические и энергетические характеристики выявляют для наиболее энергоемкого энергоиспользуемого оборудования.

5.2. Графическое представление энергетических балансов

При проведении энергетических аудитов балансы чаще всего представляются в графическом виде для облегчения понимания, визуализации ключевых потоков энергии и выявления наиболее значимых областей для улучшения энергоэффективности. Графическое представление энергетического баланса позволяет аудиторам и лицам, принимающим решения, быстро и эффективно анализировать сложную информацию и делать обоснованные выводы.

По способу построения и задачам изображения графическое представление энергетических балансов бывает следующих видов [9]:

- диаграммы;
- графические карты;
- универсальные графики;
- взаимосвязанные графики.

Диаграммы являются наиболее распространенным способом графических изображений. Диаграммы – это графики количественных соотношений, которые применяются для наглядного сопоставления в различных аспектах (временном, пространственном и т. д.) независимых друг от друга величин. Сравнение при этом идет по какому-либо существенному признаку.

В зависимости от решаемых задач делятся на диаграммы сравнения, структуры, динамики.

Основное назначение *диаграмм сравнения* заключается в графическом сопоставлении показателей. Это способствует более глубокому и наглядному анализу изучаемых данных. Самые распространенные из них – столбиковые диаграммы, принцип построения которых состоит в изображении показателей в виде поставленных вертикально прямоугольников-столбиков, каждый из которых отражает величину отдельного уровня используемого ряда. Сравнение показателей возможно, так как все они выражены в одной единице измерения. На рис. 5.2 показан пример построения столбиковой диаграммы (гистограммы) сравнения.

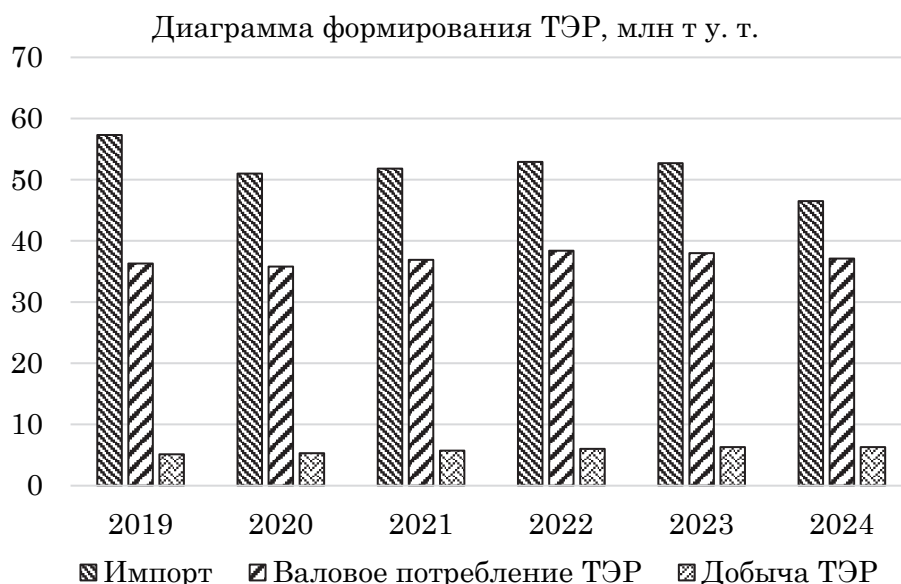


Рис. 5.2. Гистограмма сравнения

Более редкие, но не менее важные прямоугольные диаграммы, которые называются *знаками Варзара*. Такие диаграммы применяются для сравнения трех разноименных мультипликативно связанных показателей, т. е. таких, один из которых представляет собой произведение двух других.

Используя свойство прямоугольника, производный показатель, который является произведением двух других показателей-сомножителей, изображают его площадью. При этом основание прямоугольника пропорционально величине одного из показателей-сомножителей, а высота – второму. Как правило, основание служит для изображения объемных показателей (численность населения, выработанная энергия, объем вредных выбросов и т. п.), а его высота – для изображения качественных показателей (плотность населения, доля выработки энергии отдельными станциями, процентное содержание вредных веществ). Пример построения такой диаграммы показан на рис. 5.3, а исходные данные для ее построения представлены в таблице.

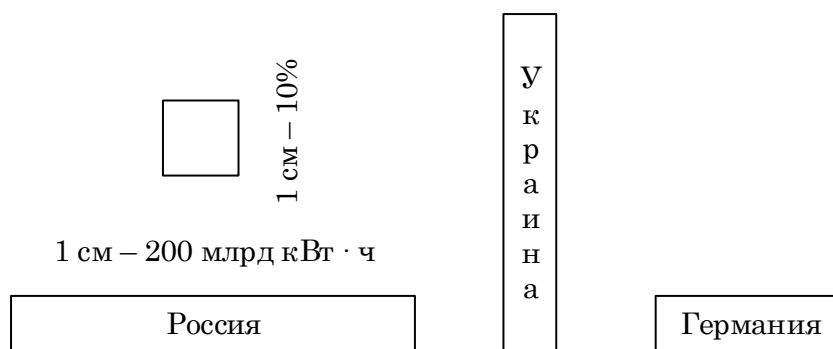


Рис. 5.3. Прямоугольная диаграмма – знаки Варзара

Исходные данные для построения знаков Варзара

Страна	Общая выработка электрической энергии, млрд кВт · ч	Доля выработки электрической энергии на АЭС от общего производства электрической энергии, %	Выработка электрической энергии на АЭС, млрд кВт · ч
Украина	117,7	55,1	64,735
Россия	1063,5	20,0	212,7
Германия	496,0	11,3	56,048

Структурные диаграммы предназначены для графического представления состава анализируемых совокупностей, характеризующихся как соотношение различных частей каждой из совокупностей. Графическое представление может быть выполнено по абсолютным и относительным показателям. Такие диаграммы бывают ленточные и секторные. Пример ленточной структурной диаграммы приведен на рис. 5.4.

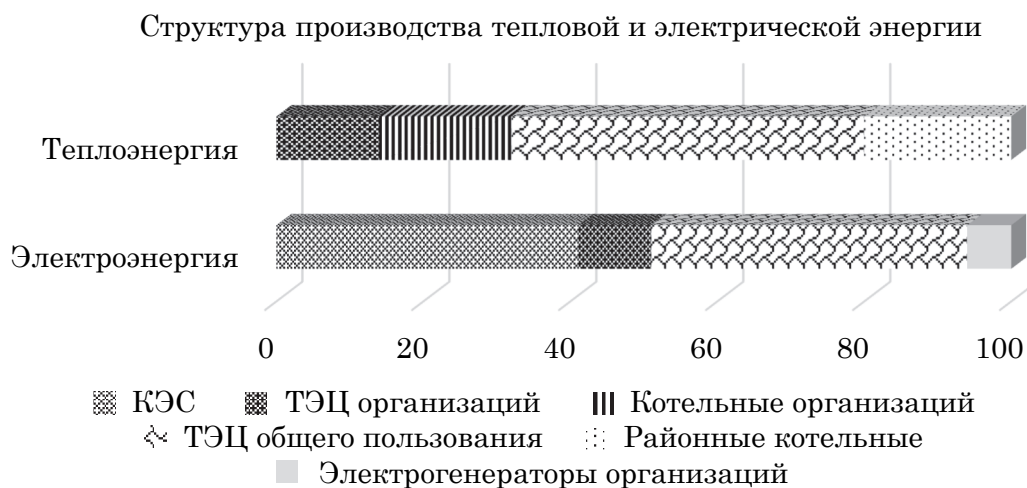


Рис. 5.4. Ленточная структурная диаграмма

Особым видом структурных диаграмм является *диаграмма Сэнки*, которая используется для наглядного изображения баланса. Ее графический образ произвольный – геометрическая фигура с отходящими от нее таким же фигурами,

но меньшего размера, пропорционального соответствующим структурным частям. Пример построения диаграммы Сэнки представлен на рис. 5.5.

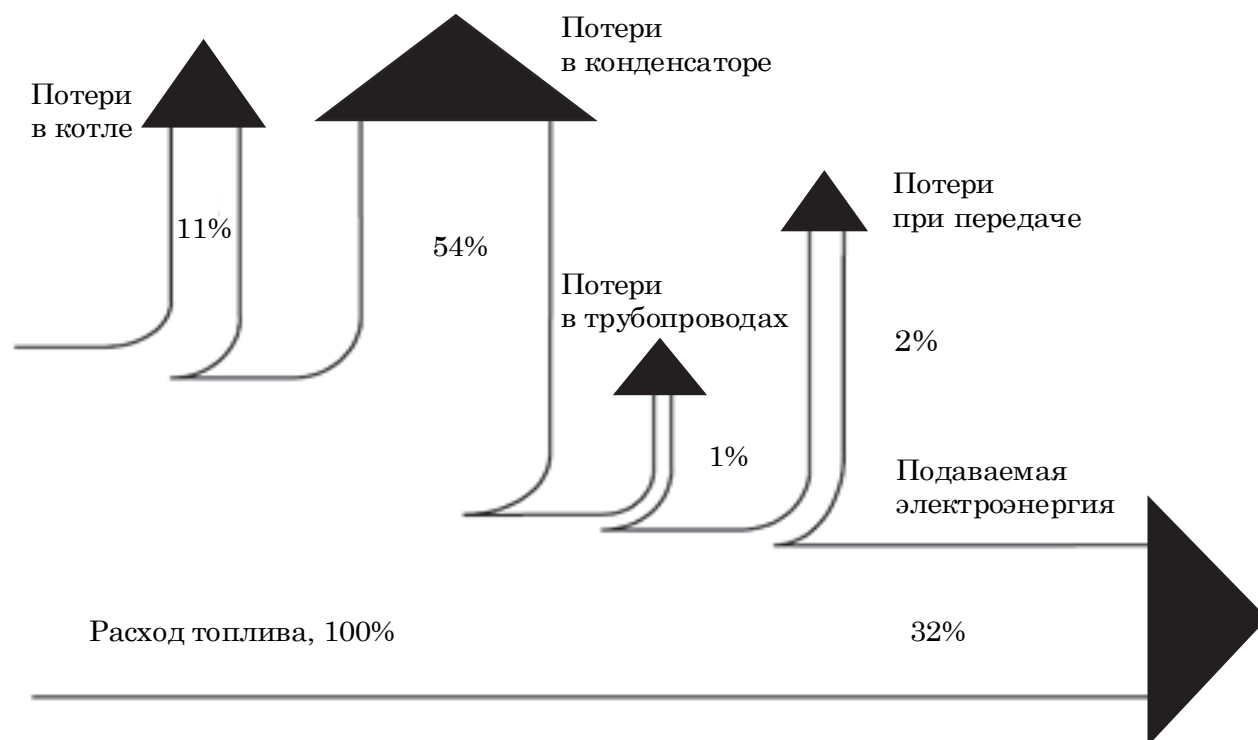


Рис. 5.5. Диаграмма Сэнки для современной электростанции

Для графического анализа развития явления во времени строятся *диаграммы динамики* (рис. 5.6). Они позволяют выявить тенденции, закономерности и аномалии, которые могут быть не видны при простом просмотре табличных данных.

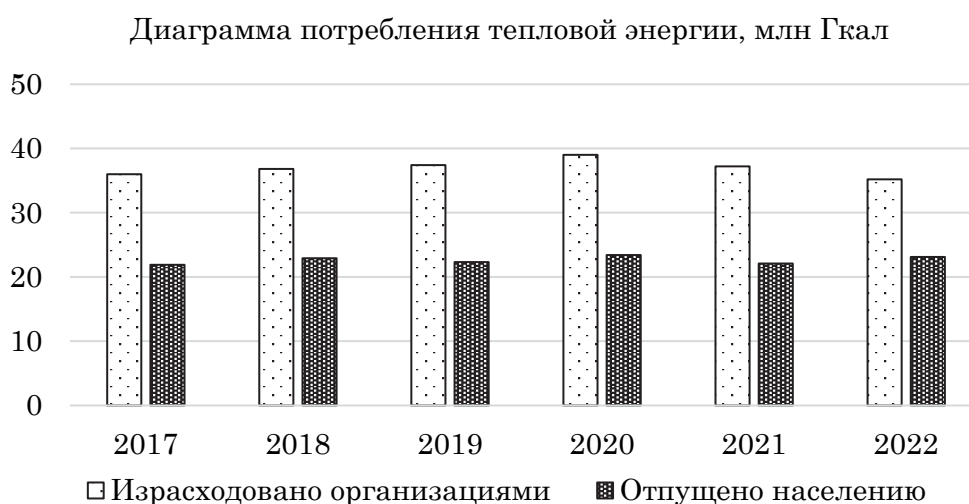


Рис. 5.6. Диаграмма динамики

Графические карты делятся на статистические карты и универсальные графики.

Статистические карты представляют собой вид графических изображений статистических данных на схематической географической или иной карте, характеризующей степень распространения того или иного явления в пространстве. Они подразделяются на картограммы и картодиаграммы.

Картограмма – схематическая карта, на которой штриховкой различной густоты, различным цветом, тоном, точками или линиями отображается сравнительная интенсивность какого-либо показателя в пределах каждой единицы нанесенного на карту территориального деления.

Картодиаграмма – сочетание диаграмм с графической картой.

Универсальные графики – это условные изображения статистических данных на карте времени, отражающие временное размещение или распространение статистических данных. К ним относят специфические для энергетики универсальные графики нагрузки, которые дают полную картину в течение временного периода (рис. 5.7).

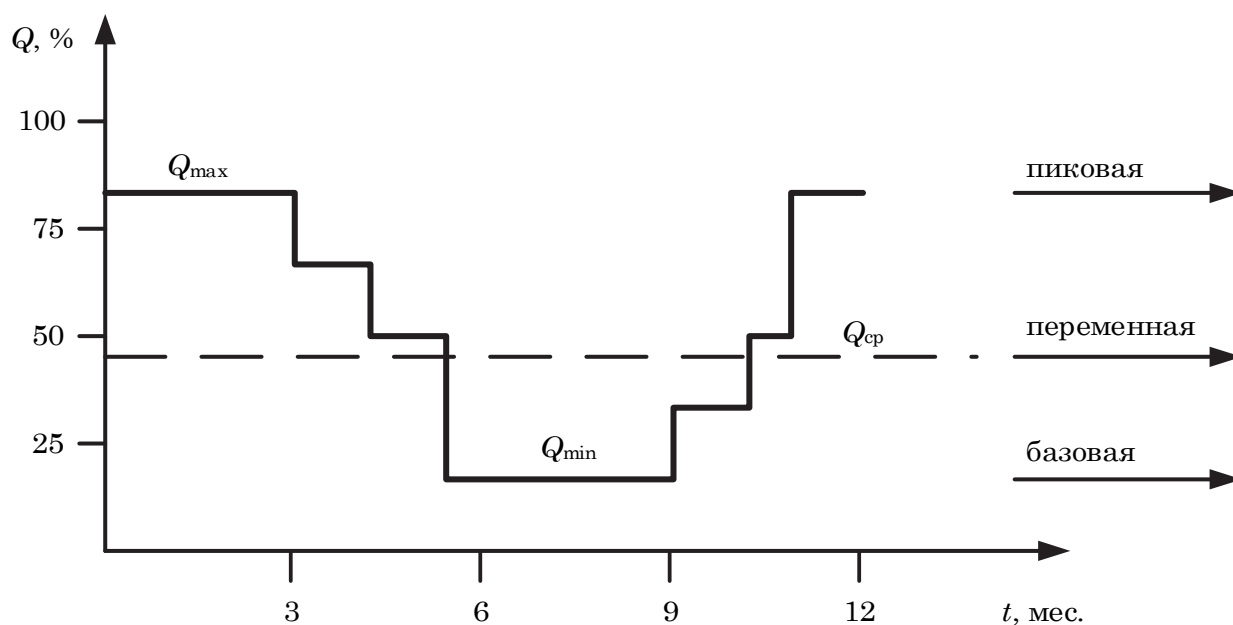


Рис. 5.7. Сезонный график тепловой нагрузки промышленного предприятия и ЖКХ

Взаимосвязанные графики – это вид графических изображений, отражающих временное изменение взаимосвязанных разнообразных показателей. Как правило, графики размещают в прямоугольной системе координат один под другим.

Взаимосвязанные графики делятся на графики накопительного типа (рис. 5.8) и технологические графики (рис. 5.9).

Графики накопительного типа представляют изменение одного и того же параметра по отдельным составляющим объекта во времени. Достоинством графиков накопительного типа является возможность получения суммарных значений параметров, а также определения расхода энергии, равного площади фигур на графиках.

Технологические графики показывают изменения различных параметров одного и того же объекта во времени.

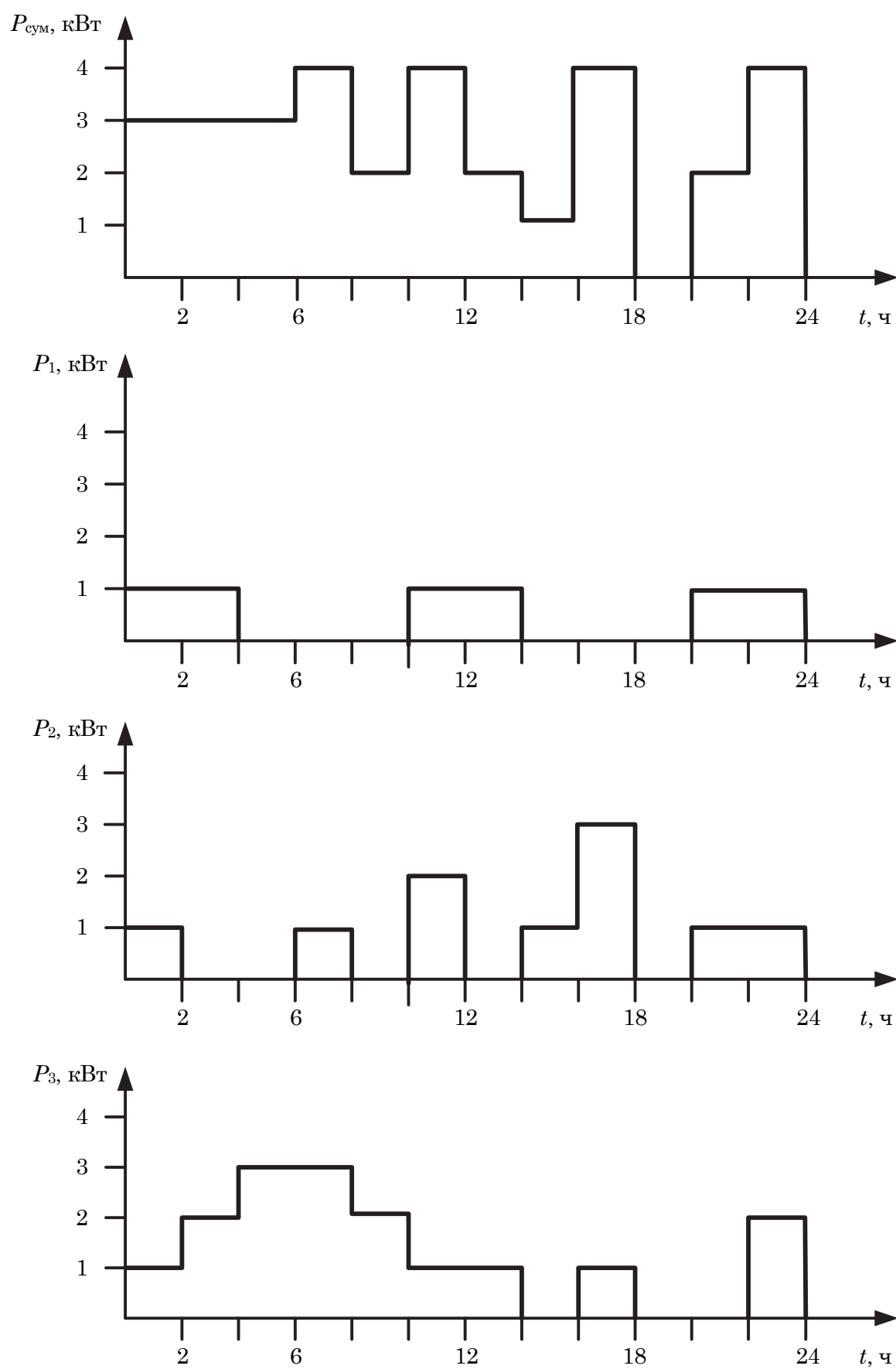


Рис. 5.8. Взаимосвязанный график накопительного типа

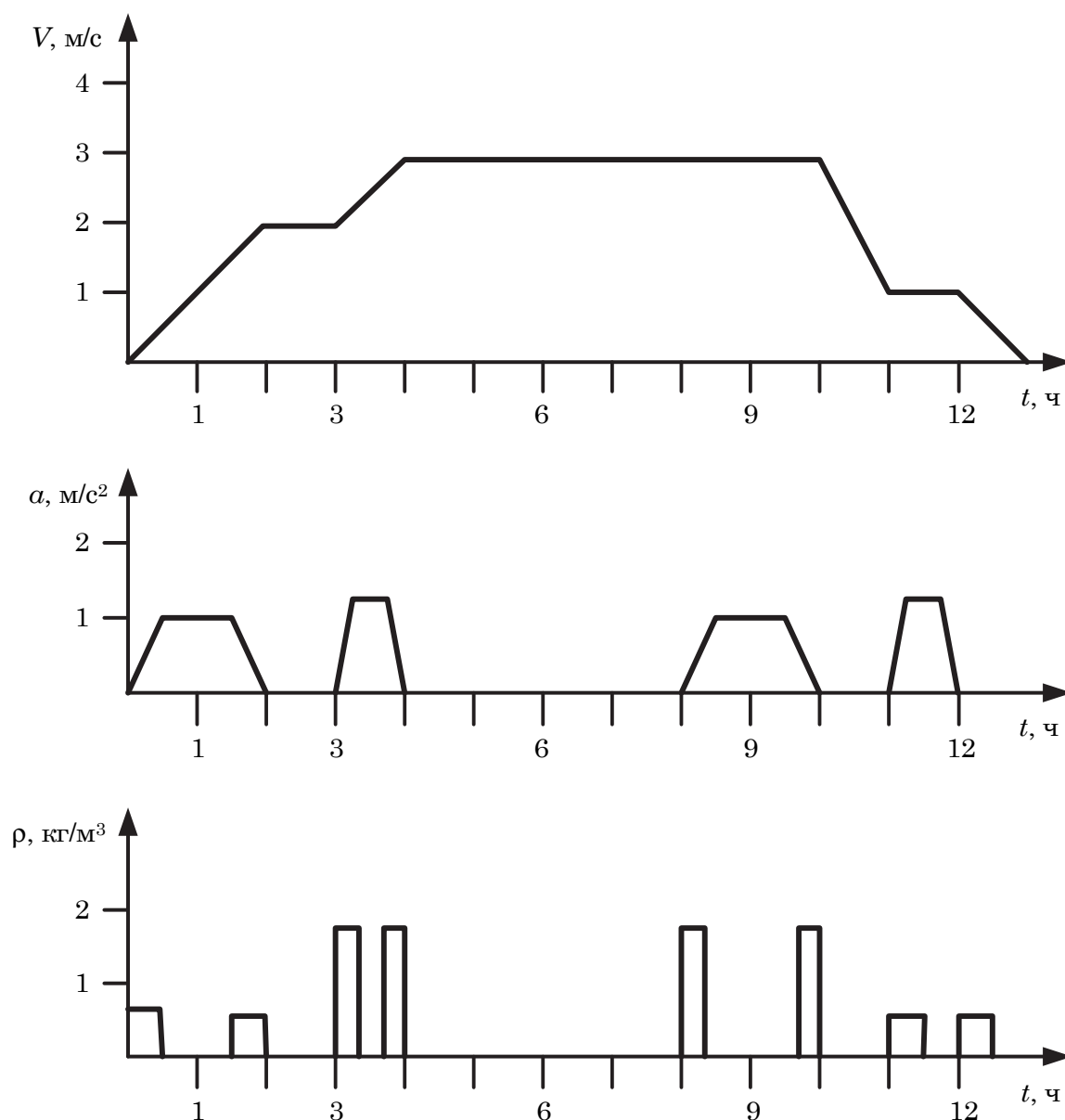


Рис. 5.9. Технологический график

5.3. Энергетический баланс здания

Здания являются одними из крупнейших потребителей энергетических ресурсов в мире, и их доля в общем энергопотреблении продолжает увеличиваться. Это обусловлено ростом населения, увеличением площади жилого фонда, повышением уровня комфорта и использованием энергоемких бытовых приборов. Энергия в зданиях расходуется для самых разных целей, и понимание этой структуры потребления крайне важно для разработки эффективных стратегий энергосбережения.

Основными потребителями в зданиях являются системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, водоснабжения, канализации, электроснабжения, газоснабжения.

В общем виде уравнение теплового баланса здания имеет следующий вид:

$$\sum Q_{зд} = \sum Q_{пот}, \quad (5.3)$$

где $\sum Q_{зд}$ – суммарная энергия, подведенная к зданию; $\sum Q_{пот}$ – суммарные тепловые потери здания.

Теплопотребление здания рассчитывается по формуле

$$\sum Q_{зд} = \sum Q_{от} + \sum Q_{в} + \sum Q_{т.п}, \quad (5.4)$$

где $\sum Q_{от}$ – потребление тепла системой отопления; $\sum Q_{в}$ – потребление тепла системой вентиляции; $\sum Q_{т.п}$ – дополнительные теплопоступления.

Суммарные тепловые потери здания состоят из потерь тепла через ограждающие конструкции за счет теплопроводности и инфильтрации и вычисляются по формуле

$$\sum Q_{пот} = \sum Q_{т} + \sum Q_{и}, \quad (5.5)$$

где $\sum Q_{т}$ – потери тепла через ограждающие конструкции за счет теплопроводности; $\sum Q_{и}$ – потери тепла за счет инфильтрации.

Тепловые потери восполняются работающими системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

В то же время в помещения поступает теплота от оборудования, с системой освещения, от людей, а также от солнечного излучения. Тогда дополнительные теплопоступления в здания рассчитываются по следующей формуле:

$$\sum Q_{т.п} = \sum Q_{об} + \sum Q_{осв} + \sum Q_{л} + \sum Q_{изл}, \quad (5.6)$$

где $\sum Q_{об}$ – поступление тепла от оборудования; $\sum Q_{осв}$ – поступление тепла от системы освещения; $\sum Q_{л}$ – поступление тепла от людей; $\sum Q_{изл}$ – поступление тепла с солнечным излучением.

Для компенсации тепловых потерь и поддержания постоянной температуры воздуха в помещении используются системы отопления, а также дополнительные тепловыделения здания. Тогда формулы (5.5) и (5.6) примут вид

$$\sum Q_{т} + \sum Q_{и} = \sum Q_{от} + \sum Q_{в} + \sum Q_{т.п}. \quad (5.7)$$

5.4. Энергетический баланс печи

Уравнение теплового баланса печи имеет следующий вид:

$$Q_{подв} = Q_{пол} + Q_{пот}, \quad (5.8)$$

где $Q_{подв}$ – количество тепла, подведенного к печи; $Q_{пол}$ – полезно используемая теплота в печи; $Q_{пот}$ – потери теплоты в печи.

Теплота, подводимая к печи $Q_{подв}$, кВт, вычисляется по формуле

$$Q_{подв} = Q_{мат.1} + Q_{т}, \quad (5.9)$$

где $Q_{мат.1}$ – теплота, содержащаяся в материале (заготовках), поступающих в печь, кВт; $Q_{т}$ – теплота, выделяющаяся в результате горения топлива, кВт.

Потери тепла в печи $Q_{\text{пот}}$, кВт, рассчитываются по следующей формуле:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{ух.г}} + Q_{\text{о.с}}, \quad (5.10)$$

где $Q_{\text{ух.г}}$ – потери тепла с уходящими газами, кВт; $Q_{\text{о.с}}$ – потери тепла в окружающую среду, кВт.

Теплота, содержащаяся в материале (заготовках), поступающих в печь $Q_{\text{мат.1}}$, кВт, находится по выражению

$$Q_{\text{мат}} = G_{\text{мат}} \cdot t_{\text{мат.1}} \cdot c_{\text{мат}}, \quad (5.11)$$

где $G_{\text{мат}}$ – расход материала (заготовок), кг/с; $t_{\text{мат.1}}$ – температура материала на входе в печную установку, °С; $c_{\text{мат}}$ – теплоемкость материала, кДж/(кг · °С).

Теплота, выделяющаяся в топке $Q_{\text{т}}$, кВт, вычисляется по формуле

$$Q_{\text{т}} = B_{\text{т}} \cdot [Q_{\text{р}}^{\text{н}} + \alpha \cdot V_{\text{в}}^{\text{о}} \cdot t_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} + c_{\text{т}} \cdot t_{\text{т}}], \quad (5.12)$$

где $B_{\text{т}}$ – расход топлива, кг/с (м³/с); $Q_{\text{р}}^{\text{н}}$ – теплота сгорания топлива, кДж/кг (кДж/м³); α – коэффициент избытка воздуха; $V_{\text{в}}^{\text{о}}$ – теоретический удельный расход воздуха на горение, м³/м³; $t_{\text{в}}$ – температура дутьевого воздуха, °С; $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха, кДж/(м³ · °С); $c_{\text{т}}$ – теплоемкость топлива, кДж/(кг · °С); $t_{\text{т}}$ – температура топлива, поступающего в печную установку, °С.

Теплота, полезно используемая в печи $Q_{\text{пол}}$, кВт, тратится на нагрев материала (заготовок) и определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{пол}} = G_{\text{мат}} \cdot t_{\text{мат.2}} \cdot c_{\text{мат}}, \quad (5.13)$$

где $t_{\text{мат.2}}$ – температура материала на выходе из печи, °С.

Теплота уходящих дымовых газов $Q_{\text{ух.г}}$, кВт, рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{\text{ух.г}} = B_{\text{т}} \cdot V_{\text{ух.г}} \cdot c_{\text{ух.г}} \cdot t_{\text{ух.г}}, \quad (5.14)$$

где $V_{\text{ух.г}}$ – удельный объемный расход уходящих газов (продуктов сгорания), м³/м³; $c_{\text{ух.г}}$ – теплоемкость уходящих газов, кДж/(кг · °С); $t_{\text{ух.г}}$ – температура уходящих газов, °С.

5.5. Энергетический баланс теплообменных аппаратов

В общем виде уравнение теплового баланса для теплообменных аппаратов имеет следующий вид:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}} + Q_{\text{пот}}, \quad (5.15)$$

где $Q_{\text{прих}}$ – количество теплоты, подведенной с греющим теплоносителем; $Q_{\text{расх}}$ – количество теплоты, переданной нагреваемому теплоносителю; $Q_{\text{пот}}$ – потери теплоты в окружающую среду.

В зависимости от заданного процесса уравнение теплового баланса может быть преобразовано.

Для теплообменных аппаратов при условии, что теплоноситель не меняет агрегатное состояние, уравнение теплового баланса примет вид

$$G_1 \cdot c_1 \cdot (t_1' - t_1'') = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_2'' - t_2') \cdot \eta, \quad (5.16)$$

где G_1, G_2 – массовый расход соответственно греющего и нагреваемого теплоносителей, кг/с; c_1, c_2 – теплоемкость соответственно греющего и нагреваемого теплоносителей, кДж/(кг · °С); t_1', t_1'' – температуры греющего теплоносителя соответственно на входе и выходе из теплообменного аппарата, °С; t_2', t_2'' – температуры нагреваемого теплоносителя соответственно на входе и выходе из теплообменного аппарата, °С; η – КПД теплообменного аппарата.

Для теплообменных аппаратов при условии, что греющий теплоноситель меняет фазовое состояние, а нагреваемый нет, уравнение теплового баланса примет следующий вид:

$$D_{\text{п}} \cdot (h_1' - h_1'') = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_2'' - t_2') \cdot \eta, \quad (5.17)$$

где $D_{\text{п}}$ – расход пара, кг/с; h_1', h_1'' – энтальпия соответственно греющего теплоносителя на входе и выходе из теплообменного аппарата, кДж/кг.

Пример

Составить тепловой баланс и рассчитать КПД печной установки производительностью 500 кг/ч. Коэффициент избытка воздуха в рабочей камере $\alpha = 1,1$. Температура дутьевого воздуха $t_{\text{в}} = 30^\circ\text{С}$, теплоемкость равна $1,3 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$. Теоретический расход воздуха для горения составляет $8,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Начальная температура заготовок равна 18°С . Конечная температура нагретых заготовок составляет 700°С , теплоемкость заготовок – $0,46 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$. Объем уходящих газов $V_{\text{ух.г}} = 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$, температура уходящих газов составляет 800°С с теплоемкостью $1,264 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$. Температура топлива равна 20°С , теплоемкость – $1,26 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$. Низшая теплота сгорания природного газа составляет $35\,000 \text{ кДж}/\text{м}^3$. Потери теплоты в окружающую среду принять 2% от теплоты сгорания топлива.

Решение

Запишем уравнение теплового баланса печи:

$$Q_{\text{мат.1}} + Q_{\text{т}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{ух.г}} + Q_{\text{о.с.}}$$

Теплоту, содержащуюся в материале (заготовках), поступающих в печь, вычислим по формуле (5.11):

$$Q_{\text{мат.1}} = G_{\text{мат}} \cdot t_{\text{мат.1}} \cdot c_{\text{мат}} = \frac{1500}{3600} \cdot 18 \cdot 0,46 = 3,45 \text{ кВт.}$$

Теплоту, выделяющуюся в результате горения топлива, рассчитаем в соответствии с формулой (5.12):

$$Q_T = B_T \cdot [Q_p^H + \alpha \cdot V_B^0 \cdot t_B \cdot c_B + c_T \cdot t_T] = \\ = B_T \cdot [35000 + 1,1 \cdot 8,5 \cdot 30 \cdot 1,3 + 1,26 \cdot 20] = B_T \cdot 35389,85.$$

Полезную теплоту на нагрев материала (заготовок) определим по формуле (5.13):

$$Q_{\text{пол}} = G_{\text{мат}} \cdot t_{\text{мат.2}} \cdot c_{\text{мат}} = \frac{1500}{3600} \cdot 700 \cdot 0,46 = 134,16 \text{ кВт}.$$

Теплоту уходящих дымовых газов найдем по формуле (5.14):

$$Q_{\text{ух.г}} = B_T \cdot V_{\text{ух.г}} \cdot c_{\text{ух.г}} \cdot t_{\text{ух.г}} = B_T \cdot 10 \cdot 1,264 \cdot 800 = B_T \cdot 10112.$$

На основании теплового баланса запишем:

$$3,45 + B_T \cdot 35389,85 = 134,16 + B_T \cdot 10112 + 0,02 \cdot 35000 \cdot B_T.$$

Выразим расход топлива в печной установке:

$$B_T \cdot [35389,85 - 10112 - 0,02 \cdot 35000] = 134,16 - 3,45; \\ B_T = 0,0053 \text{ м}^3/\text{с} = 19,08 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Коэффициент полезного действия печной установки – это отношение полезно использованного тепла к затраченному:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол}} - Q_{\text{мат.1}}}{Q_{\text{мат.1}} + Q_T} = \frac{G_{\text{мат}} \cdot (t_{\text{мат.2}} - t_{\text{мат.1}}) \cdot c_{\text{мат}}}{B_T \cdot [Q_p^H + \alpha \cdot V_B^0 \cdot t_B \cdot c_B + c_T \cdot t_T] + G_{\text{мат}} \cdot t_{\text{мат.1}} \cdot c_{\text{мат}}} = \\ = \frac{\frac{1500}{3600} \cdot (700 - 30) \cdot 0,46}{0,0053 \cdot [35000 + 1,1 \cdot 8,5 \cdot 30 \cdot 1,3 + 1,26 \cdot 20] + \frac{1500}{3600} \cdot 30 \cdot 0,46} = 0,66.$$

Ответ: $\eta = 0,66$.

Задания для самостоятельной работы

1. Составить тепловой баланс и рассчитать КПД печной установки без утилизации теплоты уходящих газов и с утилизацией теплоты уходящих газов за счет применения теплофикационного экономайзера. Производительность нагревательной печи составляет $(1000 + 10 \cdot N)$ кг/ч. Коэффициент избытка воздуха в рабочей камере $\alpha = 1,1$. Температура дутьевого воздуха равна $(28 + 0,2 \cdot N)^\circ\text{C}$, теплоемкость – $1,3 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$. Теоретический расход воздуха для горения составляет $7,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Начальная температура заготовок равна 20°C . Конечная температура нагретых заготовок составляет $(670 + 5 \cdot N)^\circ\text{C}$, теплоемкость заготовок – $0,46 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Объем уходящих газов $V_{\text{ух.г}} = 9 \text{ м}^3/\text{м}^3$, температура уходящих газов без утилизации тепла равна 800°C , с утилизацией – 150°C , теплоемкость – $1,264 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Температура топлива составляет 20°C , теплоемкость – $1,26 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$. Низшая теплота сгорания природного газа равна $35000 \text{ кДж}/\text{м}^3$. Потери теплоты в окружающую среду принять 2% от теплоты сгорания топлива.

2. Составить уравнение теплового баланса калорифера и определить расход пара в калорифере. Температура воздуха до калорифера составляет $(20 + 0,2 \cdot N)^\circ\text{C}$, теплоемкость – $1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Температура воздуха после калорифера равна $(150 - 0,8 \cdot N)^\circ\text{C}$. Объемный расход воздуха после калорифера составляет $(9000 + 40 \cdot N) \text{ м}^3/\text{ч}$. Энтальпия пара равна $2725,5 \text{ кДж}/\text{кг}$, конденсата – $561,4 \text{ кДж}/\text{кг}$. Коэффициент использования тепла составляет 0,95.

Плотность воздуха в зависимости от температуры рассчитывается по формуле

$$\rho_v = \rho_0 \cdot \frac{273}{273 + t_v}, \quad (5.18)$$

где ρ_0 – плотность воздуха при 0°C , принимаемая равной $1,293 \text{ кг}/\text{м}^3$; t_v – температура воздуха, $^\circ\text{C}$.

Как изменится расход пара, если температура воздуха после калорифера снизится на 40%?

3. Составить уравнение теплового баланса котла-утилизатора, установленного за мартеновской печью, а также определить вырабатываемое количество перегретого пара. Начальная температура входящих в котел-утилизатор продуктов сгорания составляет $(700 + 6 \cdot N)^\circ\text{C}$, конечная – $(200 - 4 \cdot N)^\circ\text{C}$, теплоемкость – $1,16 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Объемный расход продуктов сгорания равен $(11\,000 + 50 \cdot N) \text{ м}^3/\text{ч}$. Энтальпия вырабатываемого пара составляет $2800 \text{ кДж}/\text{кг}$, питательной воды – $440 \text{ кДж}/\text{кг}$. Плотность пара рассчитывается по средней температуре в соответствии с формулой (5.18). Коэффициент полезного действия равен 0,95.

4. Определить суммарные тепловые потери в здании объемом $(200 + 20 \cdot N) \text{ м}^3$, которые компенсируют системы отопления и вентиляции. Расчетная разность температур между наружным и внутренним воздухом составляет 30°C . Система отопления функционирует 24 ч в сутки, вентиляции – 8 ч в сутки и 202 дня в году.

Вопросы для самоподготовки и самоконтроля

1. Дайте определение топливному энергетическому балансу.
2. Сформулируйте задачи энергетических балансов.
3. Какие энергетические балансы различают в зависимости от назначения?
4. Чем отличается синтетический отчетный энергетический баланс от аналитического?
5. Какие существуют способы графического представления энергетических балансов?

6. РАСЧЕТ НОРМ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Руководители государственных органов Республики Беларусь контролируют производство с помощью нормирования ТЭР для их экономии. Это помогает значительно уменьшить затраты на производимый товар, повысить эффективность производства и совершенствовать технологии.

Расчет норм потребления ТЭР производится в двух случаях:

- для юридических лиц с годовым потреблением ТЭР 300 т у. т. и более;
- для юридических лиц, которые имеют источники тепловой энергии производительностью 0,5 Гкал/ч и более.

В случае, когда годовое потребление топливно-энергетических ресурсов юридическим лицом, имеющим источники тепловой энергии производительностью 0,5 Гкал/ч и более, составляет менее 300 т у. т., нормированию расхода топливно-энергетических ресурсов подлежат только источники тепловой энергии производительностью 0,5 Гкал/ч и более [10].

Нормой расхода ТЭР называют отношение расхода топливно-энергетических ресурсов, необходимых для производства единицы продукции (работ, услуг), к единице измерения продукции (работ, услуг).

Согласно [1], нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов осуществляется в целях обеспечения применения при планировании производства продукции (работ, услуг) технически и экономически обоснованного расхода топливно-энергетических ресурсов.

Нормированию расхода топливно-энергетических ресурсов подлежат расходы на основные и вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды юридическими лицами топливо, тепловая и электрическая энергия независимо от источников энергообеспечения.

Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов должно основываться на современных достижениях науки и техники в сфере энергосбережения, единых методических и организационных принципах, учитывать требования по эффективному и рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов.

Нормы расхода топливно-энергетических ресурсов должны:

- 1) разрабатываться на всех уровнях планирования по соответствующей номенклатуре продукции (работ, услуг) на единой методической основе;
- 2) учитывать условия производства, внедрение достижений научно-технического прогресса и энергосберегающих мероприятий;
- 3) способствовать максимально возможному, с учетом экономической целесообразности, эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов, усилению заинтересованности трудовых коллективов в энергосбережении;
- 4) быть взаимоувязаны с другими показателями хозяйственной деятельности;
- 5) систематически пересматриваться с учетом планируемого развития производства продукции (работ, услуг), изменения структуры производства, достижения наиболее экономичных показателей использования топливно-энергетических ресурсов, в том числе в сторону увеличения.

Для предприятий разрабатываются нормы расхода ТЭР на производственно-эксплуатационные и вспомогательные нужды.

К производственно-эксплуатационным нуждам относят:

- расход ТЭР на выполнение технологических процессов производства выпускаемой продукции (работ, услуг);
- поддержание технологических агрегатов в горячем резерве и их запуск после текущего ремонта и холодных простоев;
- технически неизбежные (нормативные) потери ТЭР при работе технологического оборудования.

К вспомогательным нуждам причисляют:

- 1) расход ТЭР на отопление, вентиляцию, освещение;
- 2) расход ТЭР на подачу воды, производство сжатого воздуха, кислорода;
- 3) расход ТЭР на хозяйственно-бытовые и санитарно-гигиенические нужды;
- 4) расход ТЭР на внутренний транспорт;
- 5) расход ТЭР на собственные нужды вспомогательных и обслуживающих цехов и служб (ремонтных мастерских, центральной заводской лаборатории, складов и др.);
- 6) технически неизбежные потери ТЭР в преобразователях, тепловых и электрических сетях, системах газоснабжения, а также при работе вспомогательного оборудования.

Нормы расхода ТЭР также делятся на текущие и прогрессивные.

Текущая норма расхода ТЭР на производство продукции (работ, услуг) рассчитывается по формуле

$$H_{\text{тек}} = \frac{W}{\Pi}, \quad (6.1)$$

где W – расход ТЭР на основные и вспомогательные нужды при производстве продукции (работ, услуг), за исключением расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию помещений, горячее водоснабжение и потери тепловой энергии в тепловых сетях, нормируемого отдельно; Π – объем производства продукции (работ, услуг).

Текущая норма расхода ТЭР на производство продукции (работ, услуг) по различным уровням производства (участок, цех, организация) находится по следующей формуле:

$$H_{\text{тек.ур}} = \frac{\sum_{k=1}^n (H_{\text{тек}} \cdot \Pi_n)}{\sum_{k=1}^n \Pi_n}, \quad (6.2)$$

где $H_{\text{тек}}$ – текущая норма расхода ТЭР n -го уровня производства продукции (работ, услуг); Π_n – объем производства продукции (работ, услуг) на n -м уровне производства; k – количество организаций, выпускающих продукцию (выполняющих работы, оказывающих услуги) на различных уровнях производства.

Прогрессивная норма расхода ТЭР рассчитывается по формуле

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{тек}} - \frac{\Delta W}{\Pi}, \quad (6.3)$$

где ΔW – величина резерва экономии расхода ТЭР на производство продукции (работ, услуг) за счет реализации энергосберегающих мероприятий.

Текущие нормы расхода топливно-энергетических ресурсов устанавливаются на период до 1 календарного года, в том числе по результатам проведенного энергетического обследования (энергоаудита). Прогрессивные нормы расхода топливно-энергетических ресурсов устанавливаются на период от 1 года до 5 лет для юридических лиц с годовым потреблением топливно-энергетических ресурсов 1,5 тыс. т у. т. и более, в том числе по результатам проведенного энергетического обследования (энергоаудита).

6.1. Методика определения норм расхода электрической энергии на единицу продукции

Состав норм расхода электрической энергии – это перечень статей их расхода на производство конкретной продукции (работы). Нормы составляются на конечную продукцию, выпускаемую предприятием, при условии соответствия этой продукции стандартам.

В норму расхода электрической энергии на производство продукции *не включаются* работы на строительство и капитальный ремонт зданий и сооружений, монтаж и наладку технологического оборудования (вновь установленного или после капитального ремонта), отпуск электроэнергии «на сторону» (магазин, столовая, общежитие и другие потребители).

Общезаводская норма расхода электрической энергии вычисляется по следующей формуле:

$$H_{o.z} = H_T + a_{в.н} + a_{осв} + \Delta a_{э.с} + \Delta a_{тр}, \quad (6.4)$$

где H_T – норма расхода энергии на технологический процесс; $a_{в.н}$ – норма расхода энергии на вспомогательные нужды; $a_{осв}$ – норма расхода энергии на освещение; $\Delta a_{э.с}$ – норма расхода энергии на покрытие потерь в электрических сетях; $\Delta a_{тр}$ – норма расхода энергии на покрытие потерь в трансформаторах.

6.2. Методика определения норм расхода электрической энергии на технологический процесс

Норма расхода электрической энергии на технологический процесс H_T , кВт · ч/усл. ед., т. е. расход электрической энергии на основные и вспомогательные процессы производства определенного вида продукции (работы), расход на поддержание технологических агрегатов в горячем резерве, на их разогрев и пуск после текущих ремонтов и холодных простоев, а также технически неизбежные потери электроэнергии при работе оборудования, определяется по формуле

$$H_T = \frac{W}{q}, \quad (6.5)$$

где W – расход электроэнергии оборудованием за расчетный период, кВт · ч; q – объем выпуска продукции за расчетный период, усл. ед.

Для предприятий, организаций, учреждений, не выпускающих продукцию, по электроэнергии устанавливаются величины потребления, приравняемые к норме расхода ТЭР.

Величина потребления электроэнергии $W_{\text{пр.ур}}$, кВт · ч, равна сумме всех статей расхода электроэнергии и потерь в сетях и трансформаторах:

$$W_{\text{пр.ур}} = W + W_{\text{осв}} + W_{\text{пот}}, \quad (6.6)$$

где W – расход электроэнергии по всем статьям энергопотребления, кВт · ч; $W_{\text{осв}}$ – расход электроэнергии на освещение, кВт · ч; $W_{\text{пот}}$ – потери электроэнергии в сетях и трансформаторах, кВт · ч.

Для определения *текущей нормы расхода электроэнергии* используется расчетно-аналитический метод, который предусматривает последовательное суммирование технологических расходов по операциям. Такой способ обеспечивает должное обоснование норм расхода и их увязку с производственными показателями.

Расход электрической энергии для выполнения технологической операции W_{T_j} , кВт · ч, вычисляется по формуле

$$W_{T_j} = n \cdot P_{\text{н}} \cdot t \cdot k_{\text{и}} \cdot N, \quad (6.7)$$

где n – количество электроприемников, шт.; $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт; t – время работы оборудования, необходимое для выпуска планируемого количества продукции, ч/сут (определяется по технологической и эксплуатационной документации); $k_{\text{и}}$ – коэффициент использования оборудования, учитывающий степень загрузки электродвигателя в рабочем режиме, время работы оборудования в режиме холостого хода и время паузы в рабочем цикле; N – рабочий период, сут/год.

Коэффициент использования нестандартного оборудования находится опытным путем по формуле

$$k_{\text{и}} = \frac{W_{\text{см}}}{P_{\text{у}} \cdot T_{\text{см}}}, \quad (6.8)$$

где $W_{\text{см}}$ – потребление электроэнергии по агрегату за смену, кВт · ч; $P_{\text{у}}$ – установленная мощность агрегата, кВт; $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч.

Норма расхода электроэнергии на основные производственные нужды $H_{\text{тех}}$, кВт · ч/усл. ед., равна отношению суммы расхода электрической энергии на всех технологических операциях согласно электро-технологической карте к объему производства продукции:

$$H_{\text{тех}} = \frac{\sum_{j=1}^n W_{T_j}}{q_j}, \quad (6.9)$$

где n – количество технологических операций; W_{T_j} – расход электроэнергии по соответствующей технологической операции, кВт · ч; q_j – объем производства продукции, усл. ед./год.

6.3. Методика определения норм расхода электрической энергии на вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды

Расход электроэнергии на нужды вспомогательных служб организации $W_{в.н}$, кВт · ч, вычисляется по формуле

$$W_{в.н} = n \cdot P_{н} \cdot k_{и} \cdot t \cdot N. \quad (6.10)$$

Норма расхода электроэнергии на вспомогательные нужды $a_{в.н}$, кВт · ч/усл. ед., рассчитывается по следующей формуле:

$$a_{в.н} = \frac{\sum_{j=1}^n W_{в.н} \cdot K_{Y_j}}{q_j}, \quad (6.11)$$

где K_{Y_j} – коэффициент долевого участия, который определяется из следующего соотношения:

$$K_{Y_j} = \frac{W_{T_j}}{\sum W_{T_j}}, \quad (6.12)$$

где $\sum W_{T_j}$ – суммарный расход электроэнергии на технологические нужды, кВт · ч.

6.4. Методика определения норм расхода электрической энергии на освещение

Учитывая специфику работы осветительных приборов в помещениях различного назначения, потребление электроэнергии должно планироваться с учетом режима их работы, географической широты расположения, сезонности работы и т. д.

Годовой расход электроэнергии на освещение $W_{осв}$, кВт · ч, вычисляется по формуле

$$W_{осв} = P_{осв.уст} \cdot k_{и} \cdot T_{осв.г}, \quad (6.13)$$

где $P_{осв.уст}$ – установленная мощность осветительных установок, кВт; $k_{и}$ – коэффициент использования осветительных установок (для внутреннего освещения – $k_{и} = 0,6-0,9$; для наружного освещения – $k_{и} = 0,9$); $T_{осв.г}$ – годовое число использования максимума осветительной нагрузки, ч.

Значения годового числа использования максимума осветительной нагрузки для внутреннего освещения в Республике Беларусь (56° с. ш.) представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

**Значения годового числа использования
максимума осветительной нагрузки для внутреннего освещения**

Режим работы	В помещениях с естественным освещением, ч	В помещениях без естественного освещения, ч
Односменная пятидневная рабочая неделя	750	2150
Двухсменная пятидневная рабочая неделя	2250	4300
Трёхсменная пятидневная рабочая неделя	4150	6500
Непрерывная рабочая неделя	4800	7700
Односменная шестидневная рабочая неделя	600	2150
Двухсменная шестидневная рабочая неделя	2100	4300
Трёхсменная шестидневная рабочая неделя	4000	6500

Для наружного освещения годовое число использования максимума осветительной нагрузки составляет:

- при включении до 1 часа ночи – 2450 ч;
- при включении на всю ночь – 3600 ч.

Норма расхода электроэнергии на освещение предприятия $a_{\text{осв}}$, кВт · ч/усл. ед., находится по следующей формуле:

$$a_{\text{осв}} = \frac{W_{\text{осв}}}{q_j}. \quad (6.14)$$

6.5. Методика определения норм расхода электрической энергии в трансформаторах

Потери электроэнергии в трансформаторах $P_{\text{тр}}$, кВт · ч, определяются с помощью формулы

$$P_{\text{тр}} = (\Delta P_{\text{х.х}} + \beta^2 \cdot \Delta \Pi_{\text{к.з}}) \cdot t, \quad (6.15)$$

где $\Delta P_{\text{х.х}}$ – активные потери холостого хода трансформатора (принимаются по паспортным данным для соответствующей марки трансформатора), кВт; β – коэффициент загрузки трансформатора по току; $\Delta \Pi_{\text{к.з}}$ – потери короткого замыкания, кВт; t – время работы трансформаторов под нагрузкой, ч.

Норма удельных потерь в трансформаторах $\Delta a_{\text{тр}}$, кВт · ч/усл. ед., рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta a_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{тр}}}{q_j}. \quad (6.16)$$

6.6. Методика определения норм расхода электрической энергии на сжатый воздух

При нормировании электрической энергии на производство сжатого воздуха нормируемой единицей продукции компрессорной установки является 1000 м³ сжатого воздуха.

Норма расхода электроэнергии на основные производственные нужды при производстве сжатого воздуха в компрессорной установке H_T^K , кВт · ч/тыс. м³, вычисляется из соотношения

$$H_T^K = H_{пр} + H_{охл} + H_{ос} = \frac{W_{пр} + W_{охл} + W_{ос}}{q}, \quad (6.17)$$

где $H_{пр}$ – норма расхода электроэнергии на привод компрессора, кВт · ч/тыс. м³; $H_{охл}$ – норма расхода электроэнергии на привод насоса охлаждения, кВт · ч/тыс. м³; $H_{ос}$ – норма расхода электроэнергии на осушку воздуха, кВт · ч/тыс. м³; $W_{пр}$ – расход электроэнергии на привод компрессора, кВт · ч; $W_{охл}$ – расход электроэнергии на привод насоса охлаждения, кВт · ч; $W_{ос}$ – расход электроэнергии на осушку воздуха, кВт · ч; q – объем производства сжатого воздуха, тыс. м³.

Норма расхода электроэнергии на основные производственные нужды при производстве сжатого воздуха по компрессорной станции $H_T^{K,ст}$, кВт · ч/тыс. м³, определяется как средневзвешенная величина норм расхода электроэнергии всех имеющихся компрессорных установок:

$$H_T^{K,ст} = \frac{\sum_{n=1}^j H_T^{Kj} \cdot Q^{Kj} \cdot T^{Kj}}{\sum_{n=1}^j Q^{Kj} \cdot T^{Kj}}, \quad (6.18)$$

где H_T^{Kj} – норма расхода электроэнергии на основные производственные нужды при производстве сжатого воздуха в j -й компрессорной установке, кВт · ч/тыс. м³; Q^{Kj} – номинальная производительность каждой компрессорной установки, м³/ч; T^{Kj} – продолжительность работы каждой компрессорной установки, ч.

Текущая норма расхода электроэнергии $H_{общ}^K$, кВт · ч/тыс. м³, находится по следующей формуле:

$$H_{общ}^K = H_T^K \cdot k_{в.н}, \quad (6.19)$$

где $k_{в.н}$ – коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на вспомогательные нужды компрессорной (в расчетах принимается 1,02–1,03).

Норма расхода электроэнергии на привод компрессора на производство 1000 м³ сжатого воздуха $H_{пр}$, кВт · ч/тыс. м³, вычисляется по формуле

$$H_{пр} = \frac{0,0027 \cdot L_{из} \cdot \Delta Q_{поп}}{\eta_{из} \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_o}, \quad (6.20)$$

где $L_{из}$ – работа изотермического сжатия 1 м³ воздуха, кг · м; $\Delta Q_{поп}$ – поправочный коэффициент на средние значения температуры и барометрического давления

воздуха о всасываемом патрубке; $\eta_{из}$ – изотермический КПД компрессора, устанавливаемый по данным испытаний компрессора; $\eta_{пер}$ – КПД передачи от электродвигателя к компрессору (табл. 6.2); $\eta_{э}$ – КПД электродвигателя (определяется по паспорту).

Таблица 6.2

Значения КПД передачи от электродвигателя к компрессору

Тип передачи	Величина КПД передачи
Ременная	0,94–0,98
Клиноременная	0,90–0,98
Зубчатая	0,98
Соединение с помощью муфты	1,00

Работа изотермического сжатия 1 м³ воздуха $L_{из}$, кг · м, рассчитывается по формуле

$$L_{из} = 2300 \cdot P_1 \cdot V_1 \cdot \log \frac{P_2}{P_1}, \quad (6.21)$$

где P_1 – начальное абсолютное давление, кг · с/см², вычисляемое по формуле $P_1 = P_{бар} / 735,5$, здесь $P_{бар}$ – барометрическое давление, мм рт. ст.; V_1 – начальный всасываемый объем воздуха, равный 1 м³; P_2 – конечное давление сжатия, кг · с/см².

Поправочный коэффициент на средние значения температуры и барометрического давления воздуха о всасываемом патрубке находится из следующего соотношения:

$$\Delta Q_{поп} = \frac{1,205}{\gamma_0}, \quad (6.22)$$

где γ_0 – удельный вес всасываемого воздуха в действительных условиях, кг/м³, рассчитываемый по формуле

$$\gamma_0 = \frac{0,465 \cdot P_{бар}}{273 + t_{ср}}, \quad (6.23)$$

здесь $t_{ср}$ – средняя температура всасываемого воздуха для периода нормирования, °С.

Эксплуатационный коэффициент, учитывающий дополнительный расход электроэнергии в связи с отклонением действительных условий от теоретических, определяется по следующей формуле:

$$k_{э} = k_{изн} \cdot k_{сж} \cdot k_{загр} \cdot k_t, \quad (6.24)$$

где $k_{изн}$ – коэффициент износа компрессора (для новых компрессоров $k_{изн} = 1$, для старых компрессоров в зависимости от износа $k_{изн} = 1,0–1,1$); $k_{сж}$ – коэффициент, учитывающий конечное давление сжатия; $k_{загр}$ – коэффициент, учитывающий степень загрузки компрессора; k_t – поправочный коэффициент на температуру всасывания воздуха.

Степень загрузки компрессора – отношение количества воздуха, подаваемого компрессором в единицу времени, к его паспортной производительности за это время (должна быть не ниже 90%).

Норма расхода электроэнергии на привод насоса водяного охлаждения на производство 1000 м³ сжатого воздуха $H_{\text{охл}}$, кВт · ч/тыс. м³, вычисляется по формуле

$$H_{\text{охл}} = \frac{2,72 \cdot Q_{\text{охл}} \cdot h}{Q_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{э}}}, \quad (6.25)$$

где $Q_{\text{охл}}$ – часовой расход воды на охлаждение компрессора, м³/ч; h – полный напор насоса, м вод. ст.; $Q_{\text{ном}}$ – номинальная производительность компрессора, м³/ч; $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса.

Норма расхода электроэнергии на осушку воздуха электроподогревом (если есть блок осушки) $H_{\text{ос}}$, кВт · ч/тыс. м³, рассчитывается по следующей формуле:

$$H_{\text{ос}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{ос}} \cdot T}{Q_{\text{в}}}, \quad (6.26)$$

где $P_{\text{ос}}$ – мощность блока осушки, кВт (по паспортным данным); T – число часов работы блока осушки, ч; $Q_{\text{в}}$ – объем выработки сжатого воздуха, м³.

6.7. Методика определения норм расхода электрической энергии на подачу и подъем воды

Нормируемой единицей на подъем и подачу воды является 1000 м³ перекаченной воды.

Норма расхода электроэнергии на основные производственные нужды на 1000 м³ добываемой и перекачиваемой установкой воды $H_{\text{т}}^{\text{н}}$, кВт · ч/тыс. м³, находится по формуле

$$H_{\text{т}}^{\text{н}} = \frac{2,72 \cdot h_{\text{п.н}}}{\eta} = \frac{2,72 \cdot h_{\text{п.н}}}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{пер}}}, \quad (6.27)$$

где $h_{\text{п.н}}$ – полный напор, м вод. ст. (определяется в условиях, когда насос работает в оптимальном режиме, т. е. с величиной подачи и напора, соответствующей паспортным данным насоса); η – КПД установки; $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса (по паспортным данным); $\eta_{\text{э}}$ – КПД электродвигателя (по паспортным данным); $\eta_{\text{пер}}$ – КПД передачи от электродвигателя к компрессору.

Полный напор определяется опытным методом при испытаниях насосного оборудования насосных станций по показаниям приборов:

1) для случая разряжения на впускной линии:

$$h_{\text{п.н}} = h_{\text{м}} + h_{\text{в}} + h_0 + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2 \cdot g}, \quad (6.28)$$

где $h_{\text{м}}$ – показания манометра, м вод. ст.; $h_{\text{в}}$ – показания вакуумметра, м вод. ст.; h_0 – вертикальное расстояние между местом установки манометра и вакуумметра, м; $v_{\text{н}}$, $v_{\text{в}}$ – скорости соответственно в напорном и впускном патрубках в местах присоединения манометра и вакуумметра, м/с; g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с²;

2) для случая, когда со стороны выпуска насос работает под давлением:

$$h_{\text{п.н}} = h_{\text{м}} - h_{\text{в}} + h_0 + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2 \cdot g}. \quad (6.29)$$

Если диаметры напорного и впускного патрубков равны, то справедливо следующее соотношение:

$$\frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2 \cdot g} = 0. \quad (6.30)$$

Норма расхода электроэнергии на основные производственные нужды при подъеме и подаче воды в целом по насосной станции $H_{\text{общ}}^{\text{н.ст}}$ кВт · ч/тыс. м³, рассчитывается как средневзвешенная величина норм расхода электроэнергии всех имеющихся насосных установок по формуле

$$H_{\text{общ}}^{\text{н.ст}} = \frac{\sum_{n=1}^j H_{\text{т}}^{\text{н}j} \cdot Q^{\text{н}j} \cdot T^{\text{н}j}}{\sum_{n=1}^j Q^{\text{н}j} \cdot T^{\text{н}j}}, \quad (6.31)$$

где $Q^{\text{н}j}$ – номинальная производительность каждого из насосов, м³/ч; $T^{\text{н}j}$ – продолжительность работы каждого из насосов, ч.

В целом по насосной станции расход электроэнергии на подъем и подачу воды $W^{\text{н.ст}}$, кВт · ч, определяется по следующей формуле:

$$W^{\text{н.ст}} = H_{\text{общ}}^{\text{н.ст}} \cdot \Pi. \quad (6.32)$$

6.8. Методика определения норм расхода электрической энергии на внутризаводской транспорт

Расход электроэнергии для грузоподъемных механизмов $W_{\text{гр}}$, кВт · ч, где привод осуществляется электродвигателями, вычисляется по формуле

$$W_{\text{гр}} = \sum_{n=1}^j m_j \cdot P_j \cdot T_j \cdot k_c, \quad (6.33)$$

где m_j – количество j -го грузоподъемного механизма, шт.; P_j – установленная мощность j -го грузоподъемного механизма, кВт; T_j – число часов работы j -го грузоподъемного механизма, ч; k_c – коэффициент спроса; j – количество грузоподъемных механизмов.

Расход электроэнергии электрокарами определяется расходом электрической энергии на зарядку аккумуляторных батарей $W_{\text{ак}}$, кВт · ч, по следующей формуле:

$$W_{\text{ак}} = \sum_{n=1}^j I_3 \cdot U_{\text{н}} \cdot T_3 \cdot m_1 \cdot 10^{-3}, \quad (6.34)$$

где I_z – зарядный ток, А; U_n – номинальное напряжение аккумуляторных батарей, В; T_z – время зарядки, ч (берется из инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию соответствующей аккумуляторной батареи); m_1 – количество зарядок каждой электрокары в расчетный период; j – количество электрокар.

Задания для самостоятельной работы

1. Определить нормы расхода электроэнергии на производство основных видов продукции для зерноперерабатывающего предприятия. На предприятии выполняют следующие виды работ: прием, хранение и переработка зерна; производство муки разных сортов; производство крупы и др.

Режим работы цеха односменный (5 дней в неделю по 8 ч (255 сут в год)). Объем производства продукции – $(1500 + 50 \cdot N)$ т.

Исходные данные для расчета планируемого потребления электроэнергии установленным оборудованием для производства пшена представлены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Исходные данные для расчета планируемого потребления электроэнергии установленным оборудованием для производства пшена

Наименование единиц оборудования	Количество n , шт.	Номинальная мощность единицы оборудования P_n , кВт	Коэффициент использования k_n
Нория	1	11,0	0,2
Конвейер	2	2,2	0,2
Весы	10	0,6	0,2
Комплекс весовойбойный	1	0,2	0,3
Машина мешкозашивочная	1	1,3	0,4
Камнеотбойник	1	0,6	0,3
Рассев	4	1,5	0,4
Станок вальцедековый	6	10,5	0,2
Пневмоканал	20	4,3	0,2
Вибромневмостол	3	1,0	0,3
Шелушитель	2	26,0	0,3
Фильтр	1	1,3	0,3
Вентилятор	1	10,6	0,4
Компрессор	1	7,5	0,4
Виброактиватор	6	0,36	0,4
Агрегат приточно-канальный	2	2,4	0,4

Исходные данные по планируемому потреблению электроэнергии установленным оборудованием для производства других видов продукции сведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

**Исходные данные по планируемому потреблению
электроэнергии установленным оборудованием
для производства других видов продукции**

Вид продукции	Объем производства, т	Расход электроэнергии на технологию, кВт · ч
Пшеница	$1500 + 50 \cdot N$	Рассчитать из табл. 6.3
Мука 3-сортная	$20\,000 + 30 \cdot N$	2 610 856
Мука обдирная	$11\,000 + 40 \cdot N$	648 450
Мука сеяная	$10\,300 + 10 \cdot N$	1 560 340
Крупа	$2300 + 20 \cdot N$	302 640

Рассчитать расход электроэнергии на вспомогательные нужды. Исходные данные для расчета планируемого потребления электроэнергии установленным оборудованием во вспомогательных службах приведены в табл. 6.5. Выполнить расчет норм расхода электроэнергии на вспомогательные нужды и распределение их по производственным цехам с учетом коэффициента долевого участия.

Таблица 6.5

**Исходные данные для расчета планируемого потребления
электроэнергии установленным оборудованием
во вспомогательных службах**

Наименование единиц оборудования	Количество n , шт.	Номинальная мощность единицы оборудования P_n , кВт	Коэффициент использования k_n	Время работы оборудования t , ч/см	Рабочий период N , сут/год
Градирня					
Компрессор	5	5,7	0,12	8	255
Насос	4	2,6	0,12	4	255
Вентилятор 1	1	4,6	0,12	5	255
Вентилятор 2	1	2,3	0,12	5	255
Станок токарный	2	1,9	0,12	4	255
Станок сверлильный	2	1,7	0,12	4	255
Пила	1	4,5	0,12	4	255
Администрация					
Компьютер	14	0,3	0,8	8	255
Принтер	14	0,3	0,4	4	255
Ксерокс	2	0,9	0,4	3	255
Факс	4	0,06	0,2	24	255

Рассчитать потребление электроэнергии по предприятию на нужды освещения. Исходные данные для расчета даны в табл. 6.6. Провести расчет норм расхода электроэнергии на освещение и распределение их по производственным цехам с учетом коэффициента долевого участия.

Таблица 6.6

**Исходные данные для расчета потребления электроэнергии
по предприятию на нужды освещения**

Место установки светильников	Установленная мощность светильников $P_{\text{осв.уст.}}$, кВт	Годовое число часов работы осветительных установок $T_{\text{осв.г.}}$, ч	Коэффициент использования осветительных установок $k_{\text{и}}$
Мельница	43,6	2250	0,8
Цех плющения крупы	20,3	430	0,8
Производство крупы	6,3	430	0,8
Цех шелушения	2,3	430	0,8
Элеватор	29,3	2250	0,8
Производство пшени	9,1	430	0,8

Определить потери электроэнергии в трансформаторах типа ТП-37 мощностью $1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ и рассчитать нормы удельных потерь в двух трансформаторах, установленных на производстве. Напряжение составляет 10 кВ . Потери холостого хода равны $2,45 \text{ кВт}$, короткого замыкания – $12,2 \text{ кВт}$. Число часов работы трансформатора составляет 8760 ч , число часов работы трансформатора под нагрузкой – 6130 ч . Средний коэффициент загрузки трансформатора равен $0,4$.

2. Рассчитать норму расхода электрической энергии на основные производственные нужды при производстве сжатого воздуха. Тип компрессора – поршневой, производительность $Q_{\text{ном}} = (1000 + 10 \cdot N) \text{ м}^3/\text{ч}$. Фактическое рабочее давление $P_2 = 7 \text{ кгс/см}^2$. Число оборотов вала компрессора $n_{\text{к}} = 750 \text{ об/мин}$. Мощность на валу компрессора $P_{\text{к}} = 140 \text{ кВт}$. Компрессор соединен с приводом с помощью муфты. Изотермический КПД компрессора равен $0,644$. Тип электродвигателя СМ-136-8 с КПД, равным $0,93$. Число оборотов электродвигателя составляет 750 об/мин . Мощность электродвигателя равна 166 кВт . Барометрическое давление составляет $744,5 \text{ мм рт. ст.}$ В компрессор всасывается воздух со средней температурой $3,6^\circ\text{С}$. Коэффициент износа компрессора равен $1,07$. Коэффициент, учитывающий конечное давление сжатия, составляет $1,053$. Поправочный коэффициент на температуру всасывания воздуха равен $1,01$. Коэффициент, учитывающий степень загрузки компрессора, составляет $1,03$. Насос охлаждения и блок осушки отсутствуют. Полный напор равен 35 м вод. ст. КПД насоса составляет $0,6$, КПД электродвигателя насоса – $0,87$. Часовой расход воды на охлаждение компрессора равен $4 \text{ м}^3/\text{ч}$.

3. Определить норму расхода электроэнергии на основные производственные нужды при подъеме и подаче воды в целом по насосной станции, на которой установлены два насоса 2КМ-6 и 3К-9 производительностью $(20 + 0,1 \cdot N)$ и $(30 + 0,2 \cdot N) \text{ м}^3/\text{ч}$ соответственно. Напор насосов составляет $30,8$ и $34,8 \text{ м вод. ст.}$ соответственно. Мощность электродвигателей 2КМ-6 и 3К-9 равна $4,5$ и $7,2 \text{ кВт}$ соответственно. КПД насосов составляет $0,64$ и $0,62$; КПД электродвигателей – $0,84$ и $0,845$ соответственно. КПД передачи (непосредственное соединение при помощи муфты) для обоих насосов равен 1 . Продолжительность работы насосов составляет 720 ч .

4. Рассчитать расход электроэнергии для грузоподъемных механизмов с учетом исходных данных, представленных в табл. 6.7.

Таблица 6.7

**Исходные данные для расчета нормы расхода
электрической энергии для грузоподъемных механизмов**

Наименование механизмов	Количество m_j , шт.	Установленная мощность P_j , кВт	Коэффициент спроса k_c	Число часов работы механизма T_j , ч
Кран мостовой	5	18,0	0,2	$4000 + 10 \cdot N$
Кран-балка	6	3,3	0,1	$3000 - 5 \cdot N$
Кран консольный	2	2,6	0,2	$4000 + 15 \cdot N$

Вопросы для самоподготовки и самоконтроля

1. Дайте определение норме расхода ТЭР. Для чего необходим расчет норм расхода ТЭР на предприятиях?
2. Какие расходы ТЭР относят к производственным нуждам, а какие – к вспомогательным?
3. Чем отличаются текущая и прогрессивная нормы расхода ТЭР?
4. Из каких составляющих складывается норма расхода электрической энергии на предприятии?
5. От каких параметров зависит расход электрической энергии на выполнение технологических операций и на вспомогательные нужды?
6. Для каких целей рассчитывается коэффициент долевого участия?
7. От каких параметров зависит норма расхода электрической энергии на освещение?
8. Как определить потери электрической энергии в трансформаторах?
9. От каких параметров зависит расход электрической энергии на сжатый воздух; на подачу воды; на электрический транспорт?

7. РАСЧЕТ НОРМ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

7.1. Методика определения норм расхода тепловой энергии на нужды обогрева и вентиляции

Потребление тепловой энергии на нужды обогрева и вентиляции представляет собой расходы тепловой энергии на отопление и системы вентиляции зданий, а также неизбежные потери в тепловых сетях.

Расход тепловой энергии на обогрев зданий включает в себя расход тепла на отопление и вентиляцию:

$$Q_{об} = Q_{от} + Q_{в}, \quad (7.1)$$

где $Q_{от}$, $Q_{в}$ – годовой расход тепловой энергии соответственно на отопление и вентиляцию, Гкал.

При отоплении общественных зданий тепло расходуется на возмещение потерь через строительные ограждения, а также теплопотерь, вызванных инфильтрацией (проникания наружного воздуха через неплотности в конструкциях и периодически открываемые двери).

Расчетный часовой расход тепловой энергии на отопление зданий $Q_{от}^ч$, Гкал/ч, определяется по формуле

$$Q_{от}^ч = q_{от} \cdot V \cdot (t_{вн} - t_{н}^{ср.от}) \cdot 10^{-6}, \quad (7.2)$$

где $q_{от}$ – удельная тепловая отопительная характеристика здания – удельный расход тепла в здании при разности наружной и внутренней температур в 1°C , ккал/(ч · м³ · °C); V – объем здания по наружному обмеру, м³; $t_{вн}$ – внутренняя температура помещения, °C; $t_{н}^{ср.от}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °C.

Годовой расход теплоэнергии на отопление $Q_{от}^{год}$, Гкал/год, вычисляется по следующей формуле:

$$Q_{от}^{год} = \frac{Q_{от}^ч}{(t_{вн} - t_{н}^{ср.от})} \cdot \left[(\tau - \tau_{вых}) \cdot m \cdot (t_{вн} - t_{н}^{ср.от}) + \tau \cdot (24 - m) \cdot (t_{вых}^{деж} - t_{н}^{ср.от}) \right], \quad (7.3)$$

где τ – количество отапливаемых суток в год, сут; $\tau_{вых}$ – количество нерабочих дней, приходящихся на отопительный период, сут; m – число часов работы системы отопления, ч; $t_{вых}^{деж}$ – внутренняя температура воздуха в дежурном режиме отопления, °C.

Годовой расход тепловой энергии на вентиляцию $Q_{в}^{год}$, Гкал/год, находится по формуле

$$Q_{в}^{год} = q_{в} \cdot V \cdot (\tau - \tau_{вых}) \cdot (t_{вн} - t_{н}^{ср.от}) \cdot n_{в} \cdot 10^{-6}, \quad (7.4)$$

где $q_{в}$ – удельная тепловая вентиляционная характеристика здания предприятия, ккал/(ч · м³ · °C); $n_{в}$ – среднее число работы системы вентиляции в течение суток, ч.

В качестве показателя нормирования расхода тепловой энергии на обогрев и вентиляцию помещений принимается работа систем отопления и вентиляции зданий.

Работа обогрева зданий – это работа систем отопления и вентиляции по созданию комфортных условий труда в здании определенного объема, совершаемая за какой-то период времени в определенных климатических условиях. Величина работы обогрева здания за год, тыс. $\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$, определяется выражением

$$\sum V_j \cdot \tau \cdot (t_{\text{вн}}^{\text{cp}} - t_{\text{н}}^{\text{cp.от}}) \cdot 10^{-3}, \quad (7.5)$$

где V_j – объем j -го здания, м^3 ; $t_{\text{вн}}^{\text{cp}}$ – средневзвешенная температура воздуха в зданиях, $^\circ\text{C}$, рассчитываемая по следующей формуле:

$$t_{\text{вн}}^{\text{cp}} = \frac{\sum (t_{\text{вн}j} \cdot V_j)}{\sum V_j}, \quad (7.6)$$

здесь $t_{\text{вн}j}$ – температура внутри j -го здания, $^\circ\text{C}$.

Норма на отопление и вентиляцию зданий $H_{\text{от+в}}$, Гкал/(тыс. $\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$), – это величина расхода тепловой энергии на единицу работы обогрева зданий, которая находится по формуле

$$H_{\text{от+в}} = \frac{Q_{\text{от}}^{\text{год}} + Q_{\text{в}}^{\text{год}}}{\sum V_j \cdot \tau \cdot (t_{\text{вн}}^{\text{cp}} - t_{\text{н}}^{\text{cp.от}})} \cdot 10^3. \quad (7.7)$$

Квартальный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию $Q_{\text{от+в}}^{\text{кв}}$, Гкал, определяется по выражению

$$Q_{\text{от+в}}^{\text{кв}} = H_{\text{от+в}} \cdot \sum V_j \cdot \tau_{\text{кв}} \cdot (t_{\text{вн}}^{\text{cp}} - t_{\text{н}}^{\text{cp.от}}), \quad (7.8)$$

где $\tau_{\text{кв}}$ – количество отапливаемых суток в квартале, сут.

7.2. Методика расчета норм расхода тепловой энергии на нужды горячего водоснабжения

Годовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение $Q_{\text{ГВС}}$, Гкал/год, цехов и административных помещений (хозяйственно-бытовые и санитарно-гигиенические нужды) вычисляется по формуле

$$Q_{\text{ГВС}} = Q_{\text{д}} + Q_{\text{у}}, \quad (7.9)$$

где $Q_{\text{д}}$ – расход тепла на душевые, Гкал/год; $Q_{\text{у}}$ – расход тепла на умывальники, Гкал/год.

Расход тепловой энергии на душевые сетки в бытовых помещениях находится по следующей формуле:

$$Q_{\text{д}} = n \cdot N \cdot (t_{\text{г.в}} - t_{\text{х.в}}) \cdot \tau \cdot Z \cdot 10^{-6}, \quad (7.10)$$

где n – количество душевых сеток, шт.; N – нормы потребления горячей воды на одну душевую сетку, л/ч; $t_{\text{г.в}}$, $t_{\text{х.в}}$ – температура соответственно горячей и холодной воды, $^\circ\text{C}$; τ – годовой фонд рабочего времени, сут; Z – продолжительность работы душевой сетки в сутки, ч.

Расход тепловой энергии на умывальники рассчитывается по формуле

$$Q_y = (r_1 \cdot N_1 + r_2 \cdot N_2) \cdot (t_{г.в} - t_{х.в}) \cdot Z \cdot 10^{-6}, \quad (7.11)$$

где r_1 – численность производственного персонала, чел.; N_1 – норма потребления горячей воды на одного человека производственного персонала, л/ч; r_2 – численность административно-управленческого персонала, чел.; N_2 – норма потребления горячей воды на одного человека административно-управленческого персонала, л/ч.

7.3. Методика расчета норм расхода тепловой энергии на санитарно-бытовые нужды

Годовая норма расхода тепловой энергии на санитарно-бытовые нужды $Q_{с.-б.н}$, Мкал/чел., определяется отношением суммы годовых расходов к общей среднесписочной численности работающих:

$$Q_{с.-б.н} = \frac{\sum_{j=1}^j Q_j}{M_j}, \quad (7.12)$$

где Q_j – годовой расход тепловой энергии, Мкал; M_j – среднесписочная численность работающих, чел.

Расход тепловой энергии на мойку технологического оборудования, тары, лотков $Q_{м.о}$, Гкал/т, вычисляется по формуле

$$Q_{м.о} = G_{в} \cdot c_{v,в} \cdot (t_{г.в} - t_{х.в}) \cdot 10^{-6}, \quad (7.13)$$

где $G_{в}$ – расход воды на мойку технологического оборудования, м³/т; $c_{v,в}$ – объемная теплоемкость воды, равная 1000 ккал/(м³ · °С).

Расчет расхода тепловой энергии на уборку помещений $Q_{уб}$, Гкал, выполняется по следующей формуле:

$$Q_{уб} = S \cdot B \cdot c_{v,в} \cdot (t_{г.в} - t_{х.в}) \cdot M \cdot n \cdot k \cdot 10^{-6}, \quad (7.14)$$

где S – площадь помещений, подлежащих санитарной обработке, м²; B – расход воды на мойку 1 м² площади помещений, м³/м²; M – количество моек в смену; n – количество рабочих смен в году; k – доля горячей воды в общем расходе на мойку.

При наличии на предприятии потребителей горячей воды, не рассмотренных выше, расход тепловой энергии $Q_{пр}$, Гкал, рассчитывается по формуле

$$Q_{пр} = G_{пр} \cdot c_{v,в} \cdot n \cdot m_0 \cdot (t_{г.в} - t_{х.в}) \cdot Z \cdot 10^{-6}, \quad (7.15)$$

где $G_{пр}$ – характерный расход горячей воды одним водоразборным прибором, м³/ч; m_0 – число однотипных приборов, шт.; Z – годовой фонд рабочего времени, сут.

Задания для самостоятельной работы

1. Произвести расчет нормы тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания участка цеха (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Исходные данные для задания 1

Показатель	Значение показателя
Объем здания, м ³	$1500 + 10 \cdot N$
Удельная отопительная характеристика, ккал/(ч · м ³ · °С)	0,41
Усредненная температура воздуха отапливаемых зданий, °С	18
Расчетная температура наружного воздуха для отопления и вентиляции, °С	-21
Средняя температура отопительного периода, °С	0,2
Количество отапливаемых суток в году	187
Количество нерабочих дней, приходящихся на отопительный период	20
Число часов работы системы отопления	24
Внутренняя температура воздуха в дежурном режиме отопления, °С	5
Удельная вентиляционная характеристика, ккал/(ч · м ³ · °С)	2
Время работы вентиляции в течение суток, ч	6

2. Рассчитать годовую норму расхода тепловой энергии на санитарно-бытовые нужды (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Исходные данные для задания 2

Показатель	Значение показателя
Количество душевых сеток, шт.	5
Норма потребления горячей воды на одну душевую сетку, л/ч	230
Продолжительность работы душевой сетки в сутки, ч	2
Годовой фонд рабочего времени, сут	320
Температура горячей воды, °С	55
Температура холодной воды, °С	10
Численность производственного персонала, чел.	$100 + 20 \cdot N$
Норма потребления горячей воды на одного человека производственного персонала, л/ч	11
Численность административно-управленческого персонала, чел.	$30 + 15 \cdot N$
Норма потребления горячей воды на одного человека административно-управленческого персонала, л/ч	5

Вопросы для самоподготовки и самоконтроля

1. Из каких составляющих складывается расход тепловой энергии на предприятии?
2. От каких параметров зависит расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию?
3. Дайте определение понятию «величина обогрева здания».
4. От каких параметров зависит расход тепловой энергии на санитарно-бытовые нужды и горячее водоснабжение?

8. ЦЕЛЕВОЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

8.1. Методика расчета целевого показателя по энергосбережению

Целевой показатель по энергосбережению – показатель, характеризующий деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей по реализации мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование ТЭР на всех стадиях их производства и потребления.

Расчет целевого показателя ведется на основании Инструкции по расчету целевых показателей по энергосбережению [11].

Целевой показатель по энергосбережению – это четко определенная, измеримая и достижимая цель, связанная с сокращением потребления энергии в определенный период времени, которую организация должна достичь после реализации мероприятий по энергосбережению.

Целевой показатель устанавливается ежегодно как один из основных показателей социально-экономического развития Республики Беларусь постановлением Совета Министров.

Считать и контролировать целевой показатель по энергосбережению необходимо для повышения эффективности использования энергии, снижения затрат, улучшения экологических показателей, стимулирования инноваций и обеспечения устойчивого развития организации. Это важный инструмент управления, который помогает организациям двигаться к более энергоэффективному будущему.

Обобщенные энергозатраты – суммарный расход котельно-печного топлива, тепловой и электрической энергии, полученных от других организаций и использованных на производственные и коммунально-бытовые нужды, выработку энергетических носителей для их отпуска (продажи) другим потребителям и населению.

Отчетный период – временной интервал, относящийся к текущему году, за который осуществляется расчет целевого показателя по энергосбережению.

Базисный период – временной интервал, относящийся к предыдущему году и соответствующий аналогичному интервалу отчетного периода.

Для расчета целевого показателя по энергосбережению используются независимые и производные единицы измерения физических и экономических величин, представленные в табл. 8.1.

Целевой показатель по энергосбережению для республиканских органов государственного управления и иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, областей и города Минска, организаций, основной деятельностью которых является *производство промышленной продукции*, определяется как разность между темпами изменения обобщенных энергозатрат и темпами изменения объемов производства промышленной продукции в отчетном периоде по сравнению с базисным:

$$\text{ЦП} = \frac{\text{ОЭЗ}^{\text{о}}}{\text{ОЭЗ}^{\text{б}}} \cdot 100\% - J_{\text{п.п}}^{\text{о}}, \quad (8.1)$$

где $\text{ОЭЗ}^{\text{о}}$, $\text{ОЭЗ}^{\text{б}}$ – обобщенные энергозатраты соответственно отчетного и базисного периодов (определяются на основании данных государственной статистической отчетности по форме 1-ТЭР); $J_{\text{п.п}}^{\text{о}}$ – темпы изменения объемов производства продукции промышленности в сопоставимых ценах, %.

Таблица 8.1

**Независимые и производные единицы измерения физических
и экономических величин для расчета целевого показателя
по энергосбережению**

Физические и экономические величины	Обозначение	Единица измерения
Обобщенные энергозатраты	ОЭЗ	т у. т.
Потребление, выработка электрической энергии	$\Delta_{\text{пот}}, \Delta_{\text{выр}}$	тыс. кВт · ч
Потребление, отпуск тепловой энергии	–	Гкал
Удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии	$b_{\text{у.т}}^{\text{э}}$	т у. т./(тыс. кВт · ч)
Удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии	$b_{\text{у.т}}^{\text{т}}$	т у. т./Гкал
Коэффициент пересчета электроэнергии в условное топливо	$K_{\text{у.т}}^{\text{э}}$	т у. т./(тыс. кВт · ч)
Коэффициент пересчета тепловой энергии в условное топливо	$K_{\text{у.т}}^{\text{т}}$	т у. т./Гкал
Удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении	–	тыс. кВт · ч/Гкал

Целевой показатель по энергосбережению для республиканских органов государственного управления и иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, организаций, основной деятельностью которых *не является производство промышленной продукции* (социально-бюджетная сфера, оказание услуг населению, осуществление перевозок железнодорожным и другим транспортом, жилищно-коммунальное хозяйство и т. д.), – это относительное изменение обобщенных энергозатрат в отчетном периоде по сравнению с базисным периодом:

$$\text{ЦП} = \left(\frac{\text{ОЭЗ}^{\text{о}}}{\text{ОЭЗ}^{\text{б}}} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (8.2)$$

Целевой показатель по энергосбережению для государственного производственного объединения (ГПО) электроэнергетики «Белэнерго» – это абсолютное изменение обобщенных энергозатрат в отчетном периоде к уровню базисного периода, достигаемое за счет:

- изменения удельных расходов топлива на отпуск электрической энергии;
- изменения удельных расходов топлива на отпуск тепловой энергии;
- экономии ТЭР от реализации энергосберегающих мероприятий в других видах деятельности (включая транспортировку электрической и тепловой энергии).

Экономия (перерасход) топлива за счет изменения удельных расходов топлива на отпуск электроэнергии рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta B_{\text{э}} = (b_{\text{э}}^{\text{о}} - b_{\text{э}}^{\text{б}}) \cdot \Theta_{\text{э.с}}^{\text{о}}, \quad (8.3)$$

где $b_{\text{э}}^{\text{о}}$, $b_{\text{э}}^{\text{б}}$ – средний по ГПО «Белэнерго» удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии соответственно в отчетном и базисном месяцах; $\Theta_{\text{э.с}}^{\text{о}}$ – отпуск электроэнергии источниками ГПО «Белэнерго» в отчетном месяце.

Экономия (перерасход) топлива за счет изменения удельных расходов топлива на отпуск тепловой энергии находится по формуле

$$\Delta B_{\text{т.э}} = (b_{\text{т.э}}^{\text{о}} - b_{\text{т.э}}^{\text{б}}) \cdot Q_{\text{отп}}^{\text{о}}, \quad (8.4)$$

где $b_{\text{т.э}}^{\text{о}}$, $b_{\text{т.э}}^{\text{б}}$ – средний по ГПО «Белэнерго» удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии соответственно в отчетном и базисном месяцах; $Q_{\text{отп}}^{\text{о}}$ – отпуск тепловой энергии источниками ГПО «Белэнерго» в отчетном месяце.

Экономия ТЭР от реализации энергосберегающих мероприятий в других видах деятельности $\Delta B_{\text{от.м}}$ (включая транспортировку электрической и тепловой энергии) определяется на основе данных государственной статистической отчетности по форме 1-энергосбережение «Отчет о выполнении мероприятий по энергосбережению и увеличению использования местных видов топлива, отходов производства, вторичных, нетрадиционных и возобновляемых энергоресурсов», утвержденной постановлением Министерства статистики и анализа Республики Беларусь от 27 декабря 2007 г. № 467. Экономия ТЭР от реализации энергосберегающих мероприятий учитывается ежемесячно по данным за прошедший квартал (нарастающим итогом).

Экономия (перерасход) топлива в отчетном (i -м) месяце вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta B_i = \Delta B_{\text{э}} + \Delta B_{\text{т.э}}. \quad (8.5)$$

Экономия (перерасход) топлива в отчетном периоде рассчитывается по формуле

$$\Delta B = \sum_{i=1}^n \Delta B_i + \Delta B_{\text{от.м}}, \quad (8.6)$$

где n – количество месяцев в отчетном периоде.

8.2. Приведение обобщенных энергозатрат базисного периода к сопоставимым условиям

Для объективной оценки целевого показателя по энергосбережению обобщенные энергозатраты базисного периода приводятся к сопоставимым условиям.

Сопоставимые условия – совокупность факторов экономической и хозяйственной деятельности отчетного периода, связанных с изменением энергопотребления, но не отражающих работу по энергосбережению.

Обобщенные энергозатраты базисного периода приводятся к сопоставимым условиям по следующей формуле:

$$OЭЗ_{c,y}^6 = OЭЗ^6 + \sum \Delta OЭЗ^6, \quad (8.7)$$

где $OЭЗ^6$ – фактические обобщенные энергозатраты базисного периода в соответствии с данными государственной статистической отчетности по форме 1-ТЭР; $\sum \Delta OЭЗ^6$ – величина, на которую должны быть уменьшены (увеличены) обобщенные энергозатраты в базисном периоде за счет сопоставимых условий.

Для *областей и города Минска* при приведении обобщенных энергозатрат к сопоставимым условиям учитываются следующие факторы:

- 1) отличие значений фактического и расчетного региональных перетоков электроэнергии (разница между потреблением и выработкой);
- 2) строительство и ввод новых объектов бытовой и социально-культурной сферы (здравоохранения, образования, культуры и спорта, бытового обслуживания и т. д.);
- 3) темпы изменения объемов валовой продукции сельского хозяйства;
- 4) ввод нового жилья;
- 5) температура наружного воздуха в отопительном периоде;
- 6) продолжительность отопительного периода;
- 7) замещение импортируемых видов топлива местными видами топлива.

Для республиканских органов государственного управления и иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, организаций, основной деятельностью которых является *производство промышленной продукции*, учитываются следующие факторы:

- строительство и ввод новых объектов бытовой и социально-культурной сферы (здравоохранения, образования, культуры и спорта, бытового обслуживания и т. д.);
- темпы изменения объемов строительно-монтажных работ (СМР), выполняемых собственными силами, если они превышают темпы изменения объемов продукции промышленности;
- темпы изменения объемов услуг (транспортировка нефти и природного газа);
- замещение импортируемых на местные виды топлива (МВТ).

Для республиканских органов государственного управления и иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, организаций, основной деятельностью которых *не является производство промышленной продукции*, учитываются следующие факторы сопоставимых условий:

- 1) строительство и ввод новых объектов бытовой и социально-культурной сферы (здравоохранения, образования, культуры и спорта, бытового обслуживания и т. д.);
- 2) темпы изменения объемов производства продукции промышленности;
- 3) темпы изменения объемов валовой продукции сельского хозяйства;
- 4) темпы изменения объемов услуг по основным видам деятельности;
- 5) темпы изменения объемов СМР, выполняемых собственными силами;
- 6) темпы изменения выручки от реализации товаров, работ, услуг (если не учтено вышеперечисленными показателями);
- 7) температура наружного воздуха в отопительном периоде;
- 8) продолжительность отопительного периода;
- 9) замещение импортируемых видов топлива местными видами топлива.

Для *Министерства жилищно-коммунального хозяйства* Республики Беларусь при приведении обобщенных энергозатрат к сопоставимым условиям учитываются следующие факторы:

- увеличение подключенной нагрузки к котельным Минжилкомхоза за счет ввода нового жилья и объектов социально-бюджетной сферы;
- темпы изменения объемов производства продукции промышленности;

- темпы изменения объемов услуг по основным видам деятельности, кроме центрального отопления и подогрева воды;
- температура наружного воздуха в отопительном периоде (отпуск населению и организациям социально-бюджетной сферы);
- продолжительность отопительного периода (отпуск населению и организациям социально-бюджетной сферы);
- замещение импортируемых видов топлива местными видами топлива.

Для ГПО «Белэнерго» в качестве сопоставимых условий учитываются:

- 1) изменение величины перетока электроэнергии и связанное с этим изменение выработки электроэнергии на электростанциях республики;
- 2) изменение выработки электроэнергии по теплофикационному циклу из-за изменения погодных условий;
- 3) снижение отпуска тепловой энергии от источников ГПО «Белэнерго» за счет оптимизации их режимов по инициативе персонала при одинаковых или более холодных температурах наружного воздуха.

Изменение обобщенных энергозатрат из-за отличия между расчетным и фактическим перетоками электроэнергии в регионах определяется по формуле

$$\Delta O \dot{E} Z^{\delta} = \delta^{\circ} \cdot \Delta \dot{E}^{\delta} - \delta^{\delta} \cdot \Delta \dot{E}^{\circ}, \quad (8.8)$$

где δ° , δ^{δ} – доли котельно-печного топлива соответственно отчетного и базисного года в обобщенных энергозатратах отчетного года; $\Delta \dot{E}^{\circ}$, $\Delta \dot{E}^{\delta}$ – разница между фактическим и расчетным перетоками электроэнергии соответственно в отчетном и базисном периодах.

Доли котельно-печного топлива соответственно отчетного и базисного года в обобщенных энергозатратах отчетного года находятся по фактическому перетоку:

$$\delta^{\circ} = \frac{B_{\text{КПТ}}^{\circ}}{B_{\text{КПТ}}^{\circ} + B_{\text{ф.пер}}^{\circ}}; \quad (8.9)$$

$$\delta^{\delta} = \frac{B_{\text{КПТ}}^{\delta}}{B_{\text{КПТ}}^{\circ} + B_{\text{ф.пер}}^{\circ}}, \quad (8.10)$$

где $B_{\text{КПТ}}^{\circ}$, $B_{\text{КПТ}}^{\delta}$ – расход котельно-печного топлива (КПТ) соответственно в отчетном и базисном периодах, тыс. т у. т.; $B_{\text{ф.пер}}^{\circ}$ – фактический переток электроэнергии в отчетном периоде, тыс. т у. т.

Разница между фактическим и расчетным перетоками электроэнергии соответственно в отчетном и базисном периодах устанавливается по формулам

$$\Delta \dot{E}^{\circ} = B_{\text{ф.пер}}^{\circ} - (\dot{\mathcal{E}}_{\text{пот}}^{\circ} - \dot{\mathcal{E}}_{\text{выр}}^{\circ}) \cdot K_{\text{у.т}}^{\mathcal{E}}; \quad (8.11)$$

$$\Delta \dot{E}^{\delta} = B_{\text{ф.пер}}^{\delta} - (\dot{\mathcal{E}}_{\text{пот}}^{\circ} - \dot{\mathcal{E}}_{\text{выр}}^{\circ}) \cdot K_{\text{у.т}}^{\mathcal{E}}, \quad (8.12)$$

где $\dot{\mathcal{E}}_{\text{пот}}^{\circ}$ – потребление электрической энергии в отчетном периоде, тыс. кВт · ч; $\dot{\mathcal{E}}_{\text{выр}}^{\circ}$ – выработка электрической энергии в отчетном периоде, тыс. кВт · ч; $K_{\text{у.т}}^{\mathcal{E}}$ – коэффициент пересчета электрической энергии в условное топливо, тыс. т у. т./ (тыс. кВт · ч).

Изменение обобщенных энергозатрат из-за строительства и ввода новых объектов бытовой и социально-культурной сферы рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta O\dot{E}Z^6 = O\dot{E}Z_{об}^o - O\dot{E}Z_{об}^6, \quad (8.13)$$

где $O\dot{E}Z_{об}^o$, $O\dot{E}Z_{об}^6$ – обобщенные энергозатраты по введенным (выведенным) объектам в отчетном периоде соответственно текущего и базисного года.

Изменение обобщенных энергозатрат *за счет ввода в эксплуатацию жилья* связано с дополнительным расходом тепла на отопление, который определяется с учетом норматива расхода тепловой энергии на 1 м² в месяц для энергоэффективных домов и вычисляется по формуле

$$\Delta Q_{от} = N_{от} \cdot (S_+ - S_-) \cdot n, \quad (8.14)$$

где $N_{от}$ – норматив расхода тепловой энергии на 1 м² в месяц (не более 0,015 Гкал/(м² · мес.)); S_+ – ввод в эксплуатацию жилья за 12 месяцев, предшествующих отчетному периоду; S_- – списание жилья за аналогичный период; n – количество месяцев работы отопления в отчетном периоде.

Увеличение обобщенных энергозатрат базисного периода определяется по следующей формуле:

$$\Delta O\dot{E}Z^6 = K_{y.t}^T \cdot \Delta Q_{от}, \quad (8.15)$$

где $K_{y.t}^T$ – коэффициент пересчета тепловой энергии в условное топливо, тыс. т у. т./Гкал.

Изменение обобщенных энергозатрат *за счет изменения температуры наружного воздуха в отопительном периоде* учитывается при расчете целевого показателя по энергосбережению в том случае, если температура наружного воздуха в отопительном периоде отчетного года отличается от температуры отопительного периода базисного года более чем на 1°C. В связи с оперативностью расчетов целевого показателя по энергосбережению и с учетом того, что температура контролируется только по городам, оценка этого фактора проводится для областных центров и нескольких наиболее крупных городов. Корректируется только отпуск тепловой энергии на коммунально-бытовые цели и населению, поскольку только эту величину можно с достаточной степенью точности определить на основе данных статистической отчетности.

Расчет поправки ведется отдельно по месяцам отопительного периода. Величина, на которую корректируются обобщенные энергозатраты базисного периода, определяется по формуле

$$\Delta O\dot{E}Z^6 = Q_{нас}^6 \cdot \frac{t^6 - t^o}{t^H - t^6} \cdot b_{y.t}^6, \quad (8.16)$$

где $Q_{нас}^6$ – отпуск тепловой энергии для нужд отопления в коммунально-бытовом секторе и населения крупных городов области в базисном периоде, Гкал; t^o, t^6 – средняя температура наружного воздуха отопительного периода в конкретном географическом пункте соответственно в отчетном и базисном периодах, °C; t^H – нормативная температура воздуха в помещениях, °C; $b_{y.t}^6$ – удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии от собственных котельных в базисном году, т у. т./Гкал.

Изменение обобщенных энергозатрат *за счет изменения продолжительности отопительного периода* учитывается при расчете целевого показателя по энергосбережению в том случае, если продолжительность отопительного периода,

приходящегося на отчетный период, отличается от аналогичной величины базисного периода более чем на 1 день.

Величина, на которую корректируются обобщенные энергозатраты базисного периода, рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta \text{ОЭЗ}^{\text{б}} = Q_{\text{нас}}^{\text{б}} \cdot \left(\frac{T_{\text{апр(окт)}}^{\text{о}}}{T_{\text{апр(окт)}}^{\text{б}}} - 1 \right) \cdot b_{\text{у.т}}^{\text{б}}, \quad (8.17)$$

где $T_{\text{апр(окт)}}^{\text{о}}$, $T_{\text{апр(окт)}}^{\text{б}}$ – количество отопительных дней в апреле или октябре соответственно отчетного и базисного периода.

Корректировка обобщенных энергозатрат ввиду отличия темпов изменения объемов производства продукции промышленности выполняется по формуле

$$\Delta \text{ОЭЗ}^{\text{б}} = \text{ОЭЗ}_{\text{пр}}^{\text{б}} \cdot \delta_{\text{пр}} \cdot \frac{J_{\text{п.п}}^{\text{о}} - 100}{100}, \quad (8.18)$$

где $\text{ОЭЗ}_{\text{пр}}^{\text{б}}$ – обобщенные энергозатраты, связанные с производством продукции промышленности в базисном периоде; $\delta_{\text{пр}}$ – доля энергозатрат, зависящих от изменения объемов производства продукции промышленности; $J_{\text{п.п}}^{\text{о}}$ – темпы изменения объемов производства продукции промышленности в отчетном периоде в сопоставимых ценах, %.

Поправка к обобщенным энергозатратам базисного периода за счет корректировки *темпов изменения объемов услуг* находится по формуле

$$\Delta \text{ОЭЗ}^{\text{б}} = \text{ОЭЗ}_{\text{усл}}^{\text{б}} \cdot \delta_{\text{усл}} \cdot \frac{J_{\text{усл}}^{\text{о}} - 100}{100}, \quad (8.19)$$

где $\text{ОЭЗ}_{\text{усл}}^{\text{б}}$ – обобщенные энергозатраты, связанные с производством услуг (работ) в базисном периоде; $\delta_{\text{усл}}$ – доля энергозатрат, зависящих от изменения объемов услуг; $J_{\text{усл}}^{\text{о}}$ – темпы изменения объемов услуг в отчетном периоде в сопоставимых ценах, %.

Поправка к обобщенным энергозатратам базисного периода за счет корректировки *темпов изменения объемов строительно-монтажных работ (СМР)*, выполняемых собственными силами, рассчитывается по следующим формулам:

– для министерств и ведомств, которым целевой показатель по энергосбережению устанавливается по темпам промышленной продукции:

$$\Delta \text{ОЭЗ}^{\text{б}} = \text{ОЭЗ}_{\text{СМР}}^{\text{б}} \cdot \delta_{\text{СМР}} \cdot \frac{J_{\text{СМР}}^{\text{о}} - J_{\text{п.п}}^{\text{о}}}{100}; \quad (8.20)$$

– для министерств и ведомств, которым целевой показатель по энергосбережению устанавливается как относительное снижение обобщенных энергозатрат:

$$\Delta \text{ОЭЗ}^{\text{б}} = \text{ОЭЗ}_{\text{СМР}}^{\text{б}} \cdot \delta_{\text{СМР}} \cdot \frac{J_{\text{СМР}}^{\text{о}} - 100}{100}, \quad (8.21)$$

где $\text{ОЭЗ}_{\text{СМР}}^{\text{б}}$ – обобщенные энергозатраты, связанные с выполнением СМР в базисном периоде; $\delta_{\text{СМР}}$ – доля энергозатрат, зависящих от изменения объемов СМР; $J_{\text{СМР}}^{\text{о}}$ – темпы изменения объемов СМР, выполненных собственными силами, в отчетном периоде в сопоставимых ценах, %.

Поправка к обобщенным энергозатратам базисного периода за счет корректировки *темпов изменения выручки от реализации товаров, работ, услуг* (если не учтено вышеперечисленными показателями) определяется по формуле

$$\Delta O\bar{E}Z^6 = O\bar{E}Z^6 \cdot \frac{J_v - 100}{100}, \quad (8.22)$$

где J_v – темпы изменения выручки от реализации товаров, работ, услуг в сопоставимых ценах (по индексу потребительских цен), %.

Расчет изменения обобщенных энергозатрат ввиду *увеличения подключенной нагрузки к котельным Минжилкомхоза* за счет ввода нового жилья и объектов социально-культурной сферы ведется по формуле

$$\Delta O\bar{E}Z^6 = (\Delta Q_{от}^0 \cdot 24 \cdot \tau_{от}^0 + \Delta Q_{ГВС}^0 \cdot \tau_{ГВС}^0) \cdot b_{y.t}^6, \quad (8.23)$$

где $\Delta Q_{от}^0$, $\Delta Q_{ГВС}^0$ – увеличение (снижение) фактической тепловой нагрузки соответственно на отопление и горячее водоснабжение в отчетном периоде по сравнению с базисным, Гкал/ч; $\tau_{от}^0$ – количество дней работы отопления в отчетном периоде; $\tau_{ГВС}^0$ – количество часов подачи горячей воды подключенным потребителям в отчетном периоде.

Поправка к обобщенным энергозатратам базисного периода за счет *замещения импортируемых видов топлива на МВТ* находится по следующей формуле:

$$\Delta O\bar{E}Z^6 = \Delta B_{МВТ}^0 \cdot \left(1 - \frac{b_{y.t}^6}{b_{y.t.МВТ}^0} \right), \quad (8.24)$$

где $\Delta B_{МВТ}^0$ – увеличение использования МВТ в отчетном периоде при производстве тепловой энергии (без учета собственных горючих вторичных энергетических ресурсов и отходов); $b_{y.t}^6$ – удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии в базисном периоде до замещения импортируемого вида топлива МВТ; $b_{y.t.МВТ}^0$ – удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии при работе на местном виде топлива в отчетном периоде.

Поправка к обобщенным энергозатратам вследствие *изменения величины перетока электроэнергии и связанного с этим изменения выработки электроэнергии на электростанциях республики* вычисляется по формуле

$$B_{пер}^{доп} = -(\Delta \bar{E}_{пер} - \Delta \bar{E}_{пот}) \cdot (b_{\bar{e}}^6 - b_{\bar{e}.к.ц}^6), \quad (8.25)$$

где $\Delta \bar{E}_{пер}$ – разница между величинами импорта электроэнергии (перетока) соответственно в отчетном и базисном месяцах, определяемая по формуле $\Delta \bar{E}_{пер} = \bar{E}_{пер}^0 - \bar{E}_{пер}^6$; $\Delta \bar{E}_{пот}$ – разница между величинами потребления электроэнергии в республике соответственно в отчетном и базисном месяцах, рассчитываемая по формуле $\Delta \bar{E}_{пот} = \bar{E}_{пот}^0 - \bar{E}_{пот}^6$ и при $\bar{E}_{пот}^0 \leq \bar{E}_{пот}^6$ принимаемая $\Delta \bar{E}_{пот} = 0$; $b_{\bar{e}.к.ц}^6$ – удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии по конденсационному циклу в базисном месяце.

Расчет ведется отдельно по каждой электростанции, дополнительная выработка на которой компенсирует снижение импорта электроэнергии. В случае необоснованных режимов загрузки оборудования энергосистемы $b_{\bar{e}.к.ц}^6$ принимается по замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС).

Корректировка обобщенных энергозатрат ввиду *изменения выработки электроэнергии по теплофикационному циклу из-за изменения погодных условий* выполняется по следующей формуле:

$$B_{\text{э.с}}^{\text{доп}} = W^0 \cdot (Q_{\text{г.в}}^0 - Q_{\text{г.в}}^6) \cdot (b_{\text{э.к.ц}}^6 - b_{\text{э.т.ф}}^6), \quad (8.26)$$

где W^0 – величина удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении в отчетном месяце; $Q_{\text{г.в}}^0$, $Q_{\text{г.в}}^6$ – величины отпуска тепловой энергии с горячей водой от энергетических котлов теплоэлектростанций соответственно в отчетном и базисном месяцах; $b_{\text{э.т.ф}}^6$ – средние по ГПО «Белэнерго» удельные расходы условного топлива на отпуск электроэнергии в базисном месяце по теплофикационному циклу.

Пример

Произвести расчет целевого показателя по энергосбережению в сопоставимых условиях по области. Данные государственной статистической отчетности представлены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Данные государственной статистической отчетности за 2023–2024 гг.

Показатель	2023	2024
Темпы роста промышленной продукции, %	–	111,2
Обобщенные энергозатраты, тыс. т у. т.	3120,8	3330,5
Котельно-печное топливо, тыс. т у. т.	2971,1	3265,2
Переток (фактический), тыс. т у. т.	–60,2	–311,5
Выработка электроэнергии, млн кВт · ч	3435,08	4423,54
Потребление электроэнергии, млн кВт · ч	3200,4	3387,71

По данным статистики в области за 12 месяцев, предшествующих отчетному периоду, введено в эксплуатацию $S_+ = 385,14$ тыс. м² жилья, списания не было. По вновь вводимым домам принимается норматив расхода тепловой энергии на отопление, равный 0,015 Гкал/м² в месяц.

В области за 12 месяцев, предшествующих отчетному периоду, построен и введен ряд объектов социально-культурной сферы и других объектов, не связанных с выпуском промышленной продукции (областная больница, школы, театр, дома культуры, санаторий, магазины, кафе, бары, очистные сооружения и другие объекты). В соответствии с государственной статистической отчетностью по форме 1-ТЭР их суммарное потребление за отчетный период составило 3,2 тыс. т у. т.

В январе базисного года средняя температура наружного воздуха в областном центре была –0,75°С, в текущем году – –8,2°С, что на 7,45°С ниже. Отпуск тепла населению за этот период в прошлом году составил в соответствии с формой 1-ТЭР государственной статистической отчетности 419,4 тыс. Гкал, из них 60% приходится на отопление (251,6 тыс. Гкал), на коммунально-

бытовое потребление израсходовано 158,6 тыс. Гкал, из них на нужды отопления пошло 85% (134,8 тыс. Гкал).

В результате работы по замещению импортируемых видов топлива (природного газа, мазута и угля) на МВТ за отчетный период по данным государственной статистической отчетности по форме 1-ТОП (мест) «Отчет о расходе местных видов топлива», утвержденной постановлением Министерства статистики и анализа Республики Беларусь от 26 сентября 2007 г. № 211, увеличение использования МВТ (дрова, торф и торфобрикеты) составило 30,0 тыс. т у. т.

Решение

Фактические темпы роста обобщенных энергозатрат найдем по формуле (8.1):

$$\text{ЦП} = \frac{\text{ОЭЗ}^{\text{о}}}{\text{ОЭЗ}^{\text{б}}} \cdot 100\% - J_{\text{п.п}}^{\text{о}} = \frac{3330,5}{3120,8} \cdot 100 - 111,2 = -4,48\%.$$

Разницу между фактическим и расчетным перетоками электроэнергии в базисном периоде определим по формуле (8.12):

$$\Delta \mathcal{E}^{\text{б}} = B_{\text{ф.пер}}^{\text{б}} - (\mathcal{E}_{\text{пот}}^{\text{о}} - \mathcal{E}_{\text{выр}}^{\text{о}}) \cdot K_{\text{у.т}}^{\text{э}} = -60,2 - (3200,4 - 3435,08) \cdot 0,28 = 5,51 \text{ тыс. т у. т.},$$

где 0,28 – коэффициент пересчета электрической энергии в условное топливо, т у. т./ (тыс. кВт · ч).

Разницу между фактическим и расчетным перетоками электроэнергии в отчетном периоде вычислим по формуле (8.11):

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E}^{\text{о}} &= B_{\text{ф.пер}}^{\text{о}} - (\mathcal{E}_{\text{пот}}^{\text{о}} - \mathcal{E}_{\text{выр}}^{\text{о}}) \cdot K_{\text{у.т}}^{\text{э}} = \\ &= -311,5 - (3387,71 - 4423,54) \cdot 0,28 = -21,47 \text{ тыс. т у. т.} \end{aligned}$$

Запишем доли котельно-печного топлива отчетного года в обобщенных энергозатратах отчетного года, рассчитанные по фактическому перетоку с помощью формулы (8.9):

$$\delta^{\text{о}} = \frac{B_{\text{КПТ}}^{\text{о}}}{B_{\text{КПТ}}^{\text{о}} + B_{\text{ф.пер}}^{\text{о}}} = \frac{3265,2}{3265,2 - 311,5} = 1,11.$$

Приведем доли котельно-печного топлива базисного года в обобщенных энергозатратах отчетного года, определенные по фактическому перетоку посредством формулы (8.10):

$$\delta^{\text{б}} = \frac{B_{\text{КПТ}}^{\text{б}}}{B_{\text{КПТ}}^{\text{о}} + B_{\text{ф.пер}}^{\text{о}}} = \frac{2971,1}{3265,2 - 311,5} = 1,01.$$

Найдем поправку к обобщенным энергозатратам базисного периода из-за отличия между расчетным и фактическим перетоками электроэнергии в регионах по формуле (8.8):

$$\Delta \text{ОЭЗ}^{\text{б}} = \delta^{\text{о}} \cdot \Delta \mathcal{E}^{\text{б}} - \delta^{\text{б}} \cdot \Delta \mathcal{E}^{\text{о}} = 1,11 \cdot 5,51 - 1,01 \cdot (-21,47) = 27,80 \text{ тыс. т у. т.}$$

Поправку к обобщенным энергозатратам базисного периода в результате ввода жилья с учетом того, что количество месяцев работы отопления в отчетном

периоде составляет 5 месяцев, на дополнительный расход тепла на отопление найдем по формулам (8.14) и (8.15):

$$\Delta OЭЗ^6 = N_{от} \cdot (S_+ - S_-) \cdot n \cdot K_{y.T}^T = 0,015 \cdot 5 \cdot 385,14 \cdot 0,175 = 5,05 \text{ тыс. т у. т.},$$

где $K_{y.T}^T$ – коэффициент пересчета тепловой энергии в условное топливо, равный 0,175 т у. т/Гкал.

Поправка к обобщенным энергозатратам базисного периода за счет ввода объектов социально-культурной сферы и других объектов, не связанных с выпуском промышленной продукции, составит:

$$\Delta OЭЗ^6 = 3,2 \text{ тыс. т у. т.}$$

Поправку к обобщенным энергозатратам базисного периода за счет изменения температуры наружного воздуха вычислим по формуле (8.16):

$$\Delta OЭЗ^6 = Q_{нас}^6 \cdot \frac{t^6 - t^0}{t^H - t^6} \cdot b_{y.T}^6 = (251,6 + 134,8) \cdot \frac{-0,75 - (-8,2)}{20 - (-0,75)} \cdot 0,175 = 24,28 \text{ тыс. т у. т.}$$

Поправку к обобщенным энергозатратам базисного периода за счет увеличения использования МВТ рассчитаем по формуле (8.24):

$$\Delta OЭЗ^6 = \Delta B_{МВТ}^0 \cdot \left(1 - \frac{b_{y.T}^6}{b_{y.T.МВТ}^0} \right) = 30 \cdot \left(1 - \frac{0,175}{0,21} \right) = 5 \text{ тыс. т у. т.}$$

Поправку к обобщенным энергозатратам базисного года найдем как сумму всех рассчитанных поправок:

$$\Delta OЭЗ^6 = 27,80 + 5,05 + 3,2 + 24,28 + 5 = 65,33 \text{ тыс. т у. т.}$$

Фактический целевой показатель по энергосбережению с учетом сопоставимых условий определим по формуле

$$\text{ЦП}_{\text{факт}} = \frac{OЭЗ^0}{OЭЗ^6 + \Delta OЭЗ^6} \cdot 100\% - J_{\text{п.п}}^0 = \frac{3330,5}{3120,8 + 65,33} \cdot 100 - 111,2 = -6,67\%.$$

Ответ: $\text{ЦП}_{\text{факт}} = -6,67\%$.

Задания для самостоятельной работы

1. Рассчитать фактический целевой показатель по энергосбережению с учетом сопоставимых условий для организации, основной деятельностью которой не является производство промышленной продукции. По данным государственной статистической отчетности по форме 1-ТЭР энергозатраты по Министерству связи и информатизации Республики Беларусь за отчетный период составляют $(53 \cdot N)$ тыс. т у. т., а за базисный – $(55 \cdot N)$ тыс. т у. т.

В Министерстве связи и информатизации Республики Беларусь в отчетном периоде возрос объем услуг связи на 3,8%. По данным РУП «Белорусский радиотелевизионный передающий центр» увеличилось на 6,1% время эфирного вещания

средств телевидения, радио и средств спутникового приема. Потребление электроэнергии, соответствующее этим направлениям деятельности министерства, в базисном периоде составляет соответственно $(79 \cdot N)$ и $(43 \cdot N)$ млн кВт · ч.

Кроме того, на предприятиях Министерства связи и информатизации Республики Беларусь за отчетный период в сравнении с базисным увеличился объем выпуска промышленной продукции – темпы роста составляют 106,8% в соответствии с данными государственной статистической отчетности по форме 1-П (месячная) «Отчет о производстве продукции и выполненных работах, услугах промышленного характера», утвержденной постановлением Министерства статистики и анализа Республики Беларусь от 27 ноября 2006 г. № 204. Доля расхода ТЭР на производство промышленной продукции в обобщенных энергозатратах базисного периода равна 15,0%.

2. Рассчитать целевой показатель по энергосбережению в сопоставимых условиях для органа государственного управления, основной деятельностью которого является производство промышленной продукции. По данным государственной статистической отчетности по форме 1-ТЭР обобщенные энергозатраты по Министерству архитектуры и строительства Республики Беларусь за отчетный период составляют $(1500 + 11 \cdot N)$ тыс. т у. т., а за базисный – $(1400 + 10 \cdot N)$ тыс. т у. т.; темпы роста промышленной продукции равны 113,3%.

В Министерстве архитектуры и строительства Республики Беларусь темпы изменения объемов СМР, выполняемых собственными силами, в отчетном периоде составили 121,1%, т. е. выше темпов роста продукции промышленности. Расход ТЭР предприятиями данного направления составил 49,379 тыс. т у. т., из них 70% расхода зависит от изменения объемов СМР.

3. Рассчитать целевой показатель по энергосбережению в сопоставимых условиях для Минжилкомхоза. По данным государственной статистической отчетности по форме 1-ТЭР обобщенные энергозатраты по Минжилкомхозу за отчетный период составляют $(2200 + 13 \cdot N)$ тыс. т у. т., а за базисный – $(2100 + 13 \cdot N)$ тыс. т у. т.

В результате ввода новых жилых домов и объектов социально-культурной сферы и увеличения подключенной тепловой нагрузки на источниках Минжилкомхоза потребление ТЭР выросло на 38,159 тыс. т у. т. (определено по данным областных управлений жилищно-коммунального хозяйства).

Темпы изменения объемов производства промышленной продукции (работ, услуг промышленного характера) в отчетном периоде в целом по Минжилкомхозу достигли 122,3%, обобщенные энергозатраты на производство продукции составили 44,6 тыс. т у. т., из них 65% связано с изменением объемов.

Темпы изменения объемов работ, услуг непрямоугольного характера в отчетном периоде в целом по Минжилкомхозу составили 107,2%, обобщенные энергозатраты на производство работ, услуг – 342,75 тыс. т у. т., из них 35% связано с изменением объемов.

В соответствии с данными государственной статистической отчетности по форме 1-ТОП (мест) увеличение использования МВТ по Минжилкомхозу составило (без учета попутного газа) 61,127 тыс. т у. т. (0,175 т у. т./Гкал – коэффициент пересчета тепловой энергии в условное топливо; 0,21 т у. т./Гкал – расход МВТ на отпуск энергоисточником Минжилкомхоза единицы тепловой энергии).

Вопросы для самоподготовки и самоконтроля

1. Дайте определение понятию «целевой показатель по энергосбережению».
2. С какой целью рассчитывают целевой показатель по энергосбережению?
3. Приведите определение обобщенных энергозатрат.
4. Чем отличаются отчетный и базисный периоды?

5. От каких параметров зависит целевой показатель по энергосбережению для республиканских органов государственного управления и иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, областей и города Минска, организаций, основной деятельностью которых является производство промышленной продукции?

6. Перечислите параметры, от которых зависит экономия топлива за счет изменения удельных расходов топлива на отпуск тепловой энергии.

7. Дайте определение понятию «сопоставимые условия».

8. Какие факторы учитываются при приведении обобщенных энергозатрат к сопоставимым условиям для областей и города Минска; для организаций, основной деятельностью которых является производство промышленной продукции; организаций, основной деятельностью которых не является производство промышленной продукции; для Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь; для ГПО «Белэнерго»?

9. От каких параметров зависит поправка для расчета изменения обобщенных энергозатрат из-за отличия между расчетным и фактическим перетоками электроэнергии в регионах; за счет корректировки темпов изменения объемов строительно-монтажных работ; за счет корректировки темпов изменения выручки от реализации товаров, работ, услуг; за счет ввода нового жилья и объектов социально-культурной сферы?

10. Назовите параметры, от которых зависит поправка для расчета изменения обобщенных энергозатрат ввиду отличия величины перетока электроэнергии и связанного с этим изменения выработки электроэнергии на электростанциях республики; изменения выработки электроэнергии по теплофикационному циклу из-за изменения погодных условий.

9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

При разработке и анализе энергосберегающих мероприятий их необходимо рассматривать в совокупности с альтернативными предложениями, которых должно быть не менее трех. Сравнительная оценка этих мероприятий должна проводиться по техническим, экономическим, социальным и экологическим критериям. На основе такой широкой оценки выбирается наиболее рациональное решение.

Критерием эффективности и оптимальности принимаемого решения обычно являются экономические показатели с учетом соблюдения технических, технологических, экологических и социальных ограничений.

При проведении сравнительной оценки за базовый вариант принимается существующее на предприятии техническое решение, а в качестве конечного – ожидаемое после внедрения разработанных мероприятий.

Официальным документом, регламентирующим порядок расчета эффективности энергосберегающих мероприятий в Республике Беларусь, являются «Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий» [3], утвержденные Департаментом по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь.

В условиях рыночной экономики и дефицита денежных средств необходимо правильно оценивать величину затрат и ожидаемую прибыль от внедрения энергосберегающих мероприятий.

В мировой практике энергосбережения под проектом принято понимать комплекс взаимосвязанных мероприятий любого характера, направленных на достижение цели. Длительность проекта – это период от момента принятия решения до момента, когда проект перестает приносить прибыль [12].

Управление инвестиционным проектом – процесс приложения компетенций и ресурсов, а также основанный на применении современных методических подходов, процесс, направленный на достижение ожиданий заинтересованных в проекте участников.

Управление инвестиционными проектами следует рассматривать как процесс определения целей, источников и условий инвестирования, формирования структуры, планирования, организации выполнения работ посредством координации всех используемых ресурсов для достижения запланированных результатов.

Управление инвестиционным проектом в сфере энергосбережения направлено на снижение энергопотребления и затрат различных ресурсов.

Инвестиционный проект оценивают по следующим критериям:

– состояние инвестора (чистая настоящая стоимость, чистая будущая стоимость, внутренняя норма доходности и др.);

– конкурентоспособность проекта (рыночный спрос проектных объемов производства, цена проектной продукции, цена продукции конкурентов, защита прав на продукцию, инновационность проектных решений и др.);

– эффективность проекта (затраты на производство и реализацию, прибыль, срок реализации, показатели ликвидности и рентабельности, экологические и социальные показатели и др.).

Функции управления проектом включают: планирование, контроль, анализ, принятие решений, составление и сопровождение бюджета проекта, организацию осуществления, мониторинг, оценку, отчетность, экспертизу, проверку и приемку, бухгалтерский учет, администрирование.

Для успешного управления инвестиционным проектом в энергосбережении необходимо учитывать следующие аспекты:

1) цели проекта – правильно поставленные цели позволяют сформировать обоснованный план действий и с меньшими рисками достигать необходимого результата;

2) сроки реализации проекта – понимание оптимальных сроков реализации проекта позволяет четко планировать необходимый объем ресурсного обеспечения и оценивать влияние факторов внешней и внутренней среды;

3) ресурсное обеспечение проекта – определение необходимого объема ресурсов – это базовое условие целесообразности реализации любого инвестиционного проекта;

4) риски проекта – рассмотрение рисков – это не только возможность выявления барьеров, но и прогнозирование развития проекта на всем протяжении его жизненного цикла;

5) изменения в проекте – управление изменениями – это инструмент принятия мер по снижению уровня неопределенности реализации инвестиционного проекта.

Разработка инвестиционного проекта предусматривает три стадии: предынвестиционную, инвестиционную и эксплуатационную (рисунок). На предынвестиционной стадии имеют место несколько видов деятельности, которые впоследствии распространяются и на инвестиционную. Как только исследование инвестиционных возможностей подтверждает жизнеспособность проекта, начинаются этапы содействия инвестициям и планирование их осуществления. Для снижения потерь ресурсов необходима четкая последовательность действий при разработке инвестиционного проекта от концепции до эксплуатационной стадии. На предынвестиционной стадии успех определяют маркетинговые, технические, финансовые и экономические решения и их сравнительный анализ. На этом этапе расходы не должны служить препятствием для всесторонней экспертизы и оценки проекта, так как в дальнейшем они могут сберечь значительные средства.

При анализе инвестиционных предложений по результатам энергоаудита чаще всего выполняют только финансовую оценку. Реализация малозатратных и средnezатратных мероприятий, когда инвестиции являются частью собственности самого предприятия, нуждается в финансовой оценке, производимой на основании расчета простого срока окупаемости (без учета факторов изменения стоимости денег и анализа внешних факторов развития смежных отраслей), а также годовой экономии энергетических ресурсов в натуральном и стоимостном выражении.



Стадии управления инвестиционным проектом
в области повышения энергоэффективности

При проведении финансовой оценки жизнеспособности проекта необходимо точно оценить его временные границы. Выбранный временной промежуток важен для определения издержек и выгод от проекта.

К издержкам относят капитальные затраты, затраты на монтаж, на ремонт и эксплуатацию оборудования. К выгодам относят сокращение затрат на энергоносители, увеличение производительности, повышение конкурентоспособности, улучшение качества продукции.

Определение издержек и выгод является первым этапом проектного анализа. Результаты такого анализа представляются в виде прогноза движения средств. Чем больше выгод по отношению к затратам, тем выгоднее проект.

Инвестиции – все затраты, связанные с общим вложением средств на внедрение энергосберегающих мероприятий или проекта. К ним относят затраты на проектную документацию; оборудование; материалы; монтаж и пусконаладочные работы; другие затраты; налоги.

Простой срок окупаемости инвестиций – период, который показывает, за какое время инвестор получит доход, численно равный инвестированному капиталу:

$$T_{\text{ок}} = \frac{I_t}{D_t}, \quad (9.1)$$

где I_t – объем капиталовложений в проект, ден. ед.; D_t – годовая прибыль по проекту, ден. ед.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД, NPV) – разница между всеми денежными притоками и оттоками проекта, приведенными к текущему моменту времени:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^n D_t \cdot \alpha_t - \sum_{t=1}^n I_t \cdot \alpha_t = \sum_{t=1}^n S_t \cdot \alpha_t; \quad (9.2)$$

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+r)^{t-t_p}}, \quad (9.3)$$

где D_t – доходы за t -й год реализации проекта; α_t – коэффициент дисконтирования; I_t – расходы за t -й год реализации проекта; S_t – чистый доход за t -й год реализации проекта; r – ставка дисконта; t – год реализации проекта; t_p – год осуществления дисконтирования.

Если предприятие каждый год рассчитывает получать один и тот же приток денежных средств, то выражение (9.2) упрощается:

$$\text{ЧДД} = D \cdot A_n - I = \text{ТЦ} - I, \quad (9.4)$$

где ТЦ – текущая ценность проекта, определяемая по формуле $\text{ТЦ} = D \cdot \alpha_t$; A_n – коэффициент, рассчитываемый по формуле для n членов ряда геометрической прогрессии:

$$A_n = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+r)^t} = \frac{1}{r} \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+r)^n} \right). \quad (9.5)$$

С использованием ЧДД формулируется простое решающее правило для оценки целесообразности реализации инвестиционных проектов любой длительности: если ЧДД положителен, то проект можно реализовывать, если ЧДД отрицателен, то участие в проекте не имеет смысла.

Внутренняя норма доходности (ВНД) – это такая ставка дисконта, при которой сумма дисконтированных доходов за весь период реализации инвестиционного проекта равна сумме первоначальных затрат (инвестициям). Эту норму можно трактовать как максимальную ставку – процент, под который можно взять кредит для финансирования проекта с помощью заемного капитала. Для определения ВНД нужно решить уравнение (9.2) при условии, что ЧДД = 0.

Один из методов отыскания внутренней нормы доходности основан на приближенном методе нахождения корней уравнения путем деления отрезка пополам. Для этого необходимо отыскать два таких значения $ВНД_1 = r_1$ и $ВНД_2 = r_2$, чтобы рассчитанные с их помощью ЧДД имели разные знаки, например $ЧДД_1 < 0$, $ЧДД_2 > 0$, тогда барьерную ставку можно определить с использованием формулы линейной интерполяции:

$$ВНД = r_1 + \frac{ЧДД_1}{ЧДД_1 - ЧДД_2} \cdot (r_2 - r_1). \quad (9.6)$$

Индекс доходности (ИД, PI) – показатель эффективности денежных вложений, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к инвестиционным расходам:

$$ИД = \frac{ТЦ}{И}. \quad (9.7)$$

В отличие от ЧДД индекс доходности является относительным параметром, поэтому может использоваться при сравнении разнородных проектов между собой.

Сравнивая показатели ИД и ЧДД, следует обратить внимание на то, что результаты оценки проектов по ним находятся в прямой зависимости, так как с ростом ЧДД увеличивается и значение ИД и наоборот.

Рассмотрим примеры расчета технико-экономического обоснования некоторых энергосберегающих мероприятий.

9.1. Методика расчета технико-экономического обоснования мероприятия по промывке трубопроводов систем отопления

Отложения в трубопроводах и на внутренних поверхностях теплообменных аппаратов являются следствием физико-химического процесса. На интенсивность этого процесса влияют несколько факторов: скорость движения и химический состав воды, характер и шероховатость внутренней поверхности, а также температурные условия.

Отложения способны вносить коррективы в установленный гидравлический и тепловой режимы доставки теплоносителя до конечного потребителя, поэтому своевременное их удаление с использованием современных технологий является мерой, позволяющей устранить сбои в теплоснабжении, а также уменьшить затраты электрической энергии на прокачку теплоносителя. В том случае

если отложения сформировались на внутренней поверхности радиаторов, они выступают в роли дополнительного сопротивления теплопередаче.

Как правило, промывка трубопроводов отопления требуется любой системе отопления, отработавшей без промывки более 5–10 лет [13].

К основным негативным последствиям отложений, из-за которых необходима промывка систем отопления, относятся:

- снижение пропускной способности системы и повышение гидравлического сопротивления из-за отложений, которые образовались в процессе эксплуатации системы отопления на внутренних поверхностях труб и радиаторов. Образуются отложения, состоящие из ржавчины (продуктов коррозии), накипи (минеральных отложений), шлама (механических загрязнений в виде песка, ила, окалина и других частиц, попадающих в систему отопления), биологических загрязнений, которые уменьшают внутренний диаметр труб и радиаторов;

- уменьшение теплоотдачи, так как отложения на внутренних поверхностях радиаторов и труб ухудшают теплоотдачу из-за низкой теплопроводности;

- затруднение циркуляции теплоносителя в трубах и радиаторах, что приводит к неравномерному распределению тепла по системе отопления;

- возможность поломок. Так, отложения могут забивать узкие проходы в радиаторах, кранах, термостатических головках и других элементах системы отопления; коррозия, вызванная отложениями, может привести к протечкам и повреждению труб и радиаторов; загрязненный теплоноситель может повредить циркуляционный насос, что также может привести к его преждевременному выходу из строя;

- повышенное энергопотребление на прокачку теплоносителя;

- снижение качества теплоносителя.

Практика показывает, что за это время эффективность системы отопления существенно снижается; большая часть диаметра трубы системы отопления забита отложениями, которые не только увеличивают потребление газа и электроэнергии, но и могут привести к различным авариям системы отопления.

Завихрения воды с воздухом отрывают отложения от стенок труб, а последующая волна воздушно-водяной смеси уносит накипь, которая поднялась со дна.

Потери давления в трубопроводе ΔP , Па, определяются по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (9.8)$$

где λ – коэффициент потерь по длине; L – длина участка трубопровода, м; D – внутренний диаметр трубопровода, м; ρ – плотность жидкости, кг/м³; w – скорость движения жидкости, м/с.

Прирост затрат на прокачку для ламинарного течения равен отношению падений давления при появлении отложений в трубе, которое обратно пропорционально отношению диаметров трубы в 4-й степени:

$$n = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{D_1^4}{D_2^4}. \quad (9.9)$$

Прирост затрат на прокачку для турбулентного течения равен отношению падений давления при появлении отложений в трубе, которое примерно равно обратному отношению диаметров трубы в 5-й степени:

$$n = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{D_1^5}{D_2^5}. \quad (9.10)$$

Затраты на перекачку N , Вт, находятся из следующего соотношения:

$$N = \frac{\Delta P \cdot V}{\eta_n}, \quad (9.11)$$

где V – объем перекачиваемого теплоносителя, м³; η_n – КПД насоса.

Годовая разница в затратах электроэнергии ΔE , кВт · ч, определяется по формуле

$$\Delta E = N \cdot m \cdot n, \quad (9.12)$$

где m – число часов работы насоса за отопительный период, ч.

Годовая экономия в денежном выражении $\Delta \mathcal{E}$, руб., рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta E \cdot T_o, \quad (9.13)$$

где T_o – тариф на электроэнергию, руб./(кВт · ч).

Существует несколько основных технологий промывки отопления; каждая из них имеет свои недостатки и преимущества.

Химическая промывка трубопроводов. Наиболее распространенным вариантом промывки трубопроводов является химическая безразборная промывка отопления, которая позволяет сравнительно легко перевести в растворенное состояние подавляющую часть накипи и отложений и в таком виде вымыть их из системы отопления.

В наши дни для промывки системы отопления используются кислые и щелочные растворы различных реагентов. Среди них – композиционные органические и неорганические кислоты, например, составы на основе ортофосфорной кислоты, растворы едкого натра с различными присадками и другие составы. Точные составы растворов для промывки отопления держатся производителями в секрете.

Химическая промывка труб отопления – сравнительно дешевый и надежный метод, позволяющий очистить систему отопления от накипи и загрязнения, однако обладающий определенными недостатками. Среди них – невозможность химической промывки алюминиевых труб, токсичность промывочных растворов, проблема утилизации больших количеств кислотного или щелочного промывочного раствора.

Технически химическая промывка отопления проводится следующим образом. После того, как подобран соответствующий данной системе отопления химический реагент для промывки отопления и выбран ингибитор коррозии труб, на место проведения работ выезжает группа технических специалистов.

На месте работ используется специальная емкость с насосом, подключаемая к системе отопления. После того, как все необходимые химикаты введены в систему отопления, моющий раствор циркулирует в системе отопления в течение времени, которое рассчитывается индивидуально в зависимости от степени загрязненности системы отопления. Химическая промывка отопления может происходить и в зимний период, без остановки системы отопления. Химическая промывка отопления дешевле капитального ремонта системы отопления в 10–15 раз, продлевает срок нормальной работы отопления на 10–15 лет, снижает расходы электроэнергии на 20–60%.

Гидродинамический метод промывки трубопроводов отопления.

Гидродинамическая промывка труб отопления состоит в удалении накипи путем очистки системы отопления тонкими струями воды, подаваемыми в трубы через специальные насадки под высоким давлением.

Гидродинамическая промывка труб по стоимости более чем в 2 раза дешевле замены оборудования, причем позволяет добиться впечатляющих результатов по восстановлению энергоэффективности системы.

Особенно это касается чугунных радиаторов отопления, которые методом гидродинамической промывки отопления полностью восстанавливают свою работоспособность. Аппараты для гидродинамической промывки работают в специальных лабораториях под давлением около 200 атм, полностью уничтожая любые виды отложений: соли кальция, магния, натрия, жиры, ржавчину, нагар, химикаты.

Пневмогидроимпульсная промывка труб. Метод очистки позволяет проводить промывку труб путем многократных импульсов, выполняемых при помощи импульсного аппарата.

В данном случае кинетическая импульсная волна создает в воде, заполняющей систему отопления, кавитационные пузырьки из газопаровой смеси, возникающие вследствие прохождения через жидкость акустической волны высокой интенсивности во время полупериода разрежения. Двигаясь с током воды в область с повышенным давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырек захлопывается, излучая при этом ударную волну.

9.2. Методика расчета технико-экономического обоснования мероприятия по автоматизации освещения в местах общего пользования

Освещение в туалетных комнатах, гардеробе и подсобных помещениях управляется обычными механическими выключателями. Человеческий фактор (забывчивость персонала) – причина постоянной работы осветительных приборов в этих помещениях в течение рабочего дня, несмотря на потребность в освещении на протяжении кратковременного периода времени. В связи с этим актуальным мероприятием является автоматизация освещения.

Автоматизация освещения – это внедрение интеллектуальных систем управления, которые самостоятельно регулируют освещение в зависимости от различных факторов, таких как время суток, наличие людей и уровень естественного освещения.

Расчетное потребление электроэнергии на освещение помещений с временным пребыванием людей W_1 , кВт · ч, находится по формуле

$$W_1 = n_1 \cdot P_1 \cdot \tau_1 \cdot z, \quad (9.14)$$

где n_1 – количество ламп, шт.; P_1 – мощность лампы, кВт; τ_1 – время работы системы освещения, ч; z – число рабочих дней в году.

Установка датчиков движения и присутствия позволит сократить число часов работы системы освещения до 1–2 ч. Замена ламп накаливания на компактные

люминесцентные лампы даст возможность снизить использование электроэнергии на работу осветительных установок.

Расход электроэнергии на освещение мест с временным пребыванием людей после внедрения системы автоматического регулирования и замены ламп W_2 , кВт · ч, составит:

$$W_2 = n_2 \cdot P_2 \cdot \tau_2 \cdot z, \quad (9.15)$$

где n_2 – количество ламп после замены, шт.; P_2 – мощность заменяемых ламп, кВт; τ_2 – время работы системы освещения с учетом автоматического регулирования, ч.

Экономия электроэнергии при внедрении мероприятий ΔW , кВт · ч, будет равна:

$$\Delta W = W_1 - W_2. \quad (9.16)$$

Годовая экономия в денежном выражении $\Delta \mathcal{E}$, руб., определяется по формуле

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta W \cdot T_3, \quad (9.17)$$

где T_3 – тариф на электроэнергию, руб./(кВт · ч).

9.3. Методика расчета технико-экономического обоснования мероприятия по использованию датчиков движения

Датчик движения – это прибор со встроенным сенсором, который отслеживает уровень ИК-излучения. При появлении человека (или другого массивного объекта с температурой большей, чем температура фона) в поле зрения датчика цепь освещения замыкается при условии соответствия уровня освещенности.

Главное преимущество датчиков движения для монтажников – это простая установка и их настройка для последующей работы: не требуется прокладка специальных сетей управления или применение дополнительного дорогостоящего оборудования. Датчики устанавливаются в разрыв электрической цепи и сразу готовы к эксплуатации.

Главная цель данного оборудования – обеспечить пользователю комфорт и экономию энергии. Успешный опыт эксплуатации датчиков движения показывает, что они позволяют сэкономить 70–80% электрической энергии, затрачиваемой на освещение в здании.

Несмотря на почти трехкратное различие в стоимости энергии, сроки окупаемости установки датчиков движения для Беларуси составляют 1–2 года, в зависимости от темпов роста цен на электроэнергию и мощности используемого осветительного оборудования. Учитывая общий срок эксплуатации зданий (40–50 лет), срок окупаемости данного оборудования мал, а применение данного решения позволяет владельцу здания или управляющей компании экономить значительные средства при эксплуатации объекта.

Датчики движения устанавливаются в административных и производственных зданиях. Целесообразна их установка в тех помещениях, где человек находится непродолжительное время (коридоры, лестницы, кладовые комнаты и т. д.).

Для расчета количества ламп применим следующую формулу:

$$N = \frac{E \cdot k \cdot S_p \cdot Z}{h \cdot F}, \quad (9.18)$$

где E – норма освещенности, лк; k – коэффициент запаса лампы, необходимый для компенсации потерь освещения вследствие ее запыленности (принимается 1,2 для галогеновых и ламп накаливания, 1,4 – для газоразрядных); S_p – площадь помещения, м²; Z – коэффициент минимальной освещенности (для ламп накаливания и газоразрядных ламп высокого давления равен 1,15, для люминесцентных ламп – 1,1); h – коэффициент использования светового потока, зависящий от индекса помещения, высоты подвеса светильников, типа ламп (таблица); F – световой поток одной лампы, лм, определяемый по формуле

$$F = g \cdot P_{\text{л}}, \quad (9.19)$$

где g – светоотдача от лампы, лм/Вт (для люминесцентных ламп равна 0,45 лм/Вт); $P_{\text{л}}$ – электрическая мощность лампы, Вт.

Коэффициент использования светового потока

i	Светлые административные помещения	Светлые помещения с незначительными тепловыделениями	Пыльные производственные помещения
0,5	0,28	0,21	0,18
1	0,49	0,40	0,36
3	0,73	0,61	0,58
5	0,80	0,67	0,65

Индекс помещения вычисляется по формуле

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (9.20)$$

где A, B – соответственно длина и ширина помещения, м; H_p – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

Суммарная осветительная мощность P_{Σ} , Вт, рассчитывается по формуле

$$P_{\Sigma} = N \cdot P_{\text{л}}. \quad (9.21)$$

Пусть до установки датчика освещение работало в течение 8 ч в день. После установки датчика движения освещение включается только в случае присутствия человека в зоне действия датчика. На основании экспериментальных данных время работы освещения при наличии датчика снижается на 40–50%. Месячная экономия электроэнергии ΔW , кВт · ч, составит:

$$\Delta W = \frac{P_{\Sigma} \cdot \tau \cdot k_{\text{э}}}{1000}, \quad (9.22)$$

где τ – время работы системы освещения в месяц до установки датчика, ч; $k_{\text{э}}$ – коэффициент экономии (принимается на основании практических данных).

Годовая экономия в денежном выражении $\Delta \mathcal{E}$, руб., находится по формуле

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta W \cdot T_{\mathcal{E}}, \quad (9.23)$$

где $T_{\mathcal{E}}$ – тариф на электроэнергию, руб./(кВт · ч).

Пример 9.1

Оценить годовую экономию электрической энергии в натуральном и денежном выражении от внедрения датчиков освещенности в пыльном производственном помещении. Минимальная освещенность принимается по норме: $E = 400$ лк. Коэффициент запаса для галогеновых ламп $k = 1,2$. Длина и ширина помещения составляют 16 и 20 м соответственно, высота – 3 м. Коэффициент минимальной освещенности равен 1,1. Для лампы ЛБ-18 электрическая мощность $P_{\text{л}} = 18$ Вт, светотдача $g = 0,45$ лм/Вт. До внедрения датчиков система освещения работала 8 ч в день.

Решение

Световой поток лампы определим по формуле (9.19):

$$F = g \cdot P_{\text{л}} = 0,45 \cdot 18 = 810 \text{ лм.}$$

Индекс помещения рассчитаем из соотношения (9.20):

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{п}} \cdot (A + B)} = \frac{16 \cdot 20}{3 \cdot (16 + 20)} = 2,96.$$

Площадь помещения составляет $S_{\text{п}} = 16 \cdot 20 = 320 \text{ м}^2$.

По таблице выберем коэффициент использования светового потока $h = 0,58$.

Число ламп вычислим по формуле (9.18):

$$N = \frac{E \cdot k \cdot S_{\text{п}} \cdot Z}{h \cdot F} = \frac{400 \cdot 1,2 \cdot 320 \cdot 1,1}{0,58 \cdot 810} = 360 \text{ шт.}$$

Суммарную осветительную мощность найдем по формуле (9.23):

$$P_{\Sigma} = N \cdot P_{\text{л}} = 360 \cdot 18 = 6480 \text{ Вт.}$$

Тогда месячная экономия электроэнергии составит:

$$\Delta W = \frac{P_{\Sigma} \cdot \tau \cdot k_{\mathcal{E}}}{1000} = \frac{6480 \cdot 8 \cdot 30 \cdot 0,5}{1000} = 777,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $k_{\mathcal{E}}$ – коэффициент экономии, который принимается на основании практических данных равным 0,5.

Годовую экономию в денежном выражении определим по формуле (9.23):

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta W \cdot T_{\mathcal{E}} = 777,6 \cdot 0,25 = 194,4 \text{ руб.,}$$

где $T_{\mathcal{E}} = 0,25$ руб./(кВт · ч).

Ответ: $\Delta W = 777,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, $\Delta \mathcal{E} = 194,4 \text{ руб.}$

Пример 9.2

Вычислить ВНД проекта с помощью метода линейной интерполяции, если известно, что для ставки $r_1 = 0,21$ чистый дисконтированный доход составляет 7800 руб., а для ставки $r_2 = 0,23$ он равен 5100 руб.

Решение

Барьерную ставку определим с использованием выражения (9.6):

$$\text{ВНД} = r_1 + \frac{\text{ЧДД}_1}{\text{ЧДД}_1 - \text{ЧДД}_2} \cdot (r_2 - r_1) = 0,21 + \frac{7800}{7800 - 5100} \cdot (0,23 - 0,21) = 0,27.$$

Если ставка по проекту будет взята больше чем 27%, то проект окажется убыточным, если меньше – то прибыльным.

Ответ: ВНД = 0,27.

Задания для самостоятельной работы

1. Определить годовую экономию электроэнергии в натуральном и денежном выражении в результате уменьшения затрат на перекачку после внедрения мероприятия «Промывка трубопроводов системы отопления. Снижение тепловых и гидравлических потерь за счет удаления внутренних отложений с поверхностей радиаторов и разводящих трубопроводов».

Внутренний диаметр трубопроводов $D = (0,2 + 0,06 \cdot N)$ м, толщина внутренних отложений $S = 1$ мм, длина участка трубопровода $L = (100 + 2 \cdot N)$ м, температура воды внутри трубы $t = 90^\circ\text{C}$, расход воды $G = 50$ л/с, КПД насоса $\eta_n = 90\%$, тариф на электрическую энергию $T_\text{э} = 0,25$ руб./(кВт · ч), годовое число часов работы трубопровода $m = (4500 + 12 \cdot N)$ ч.

2. Произвести расчет эффективности мероприятия по замене ламп накаливания. В школе временное пребывание людей характерно для восьми помещений. Всего в указанных помещениях установлено $(20 + 14 \cdot N)$ ламп накаливания единичной мощностью 70 Вт. Система освещения в помещениях работает в течение всего рабочего дня, который составляет 9 ч. Тариф на электрическую энергию $T_\text{э} = 0,25$ руб./(кВт · ч). Число рабочих дней учреждения в году – 247 дней. Мощность ламп на замену составляет 16 Вт.

При внедрении системы автоматического управления освещением в помещениях с временным пребыванием людей время использования светильников, согласно опытным данным, уменьшится до 2,5 ч.

3. Определить чистый дисконтированный доход по проекту, если известно, что чистый годовой доход составляет $(10\,000 \cdot N + 2575)$ руб., ставка дисконта равна 11%, срок эксплуатации проекта составляет $(10 \cdot N - 0,2)$ лет. Первоначальные инвестиции (до реализации проекта) равны $(40\,000 \cdot N + 5255)$ руб. Рассчитать период окупаемости проекта.

4. На предприятии требуется внедрение энергосберегающего мероприятия с инвестициями в размере $(35\,000 + 100 \cdot N)$ руб. Годовая экономия составит $(7000 +$

+ $200 \cdot N$) руб. Расчетный срок амортизации равен $(12 - 0,1 \cdot N)$ лет, норма дисконта составляет 0,1. Рассчитать экономическую эффективность мероприятия на основании чистой текущей ценности и периода окупаемости. Как изменится чистая текущая ценность, если ставка дисконта увеличится на 5%?

5. Для утилизации древесных отходов предприятие планирует приобрести котел-утилизатор стоимостью $(25\,000 - 50 \cdot N)$ руб. и сроком эксплуатации $(13 - 0,3 \cdot N)$ лет. Предприятие рассчитывает на ежегодный приток денежных средств в размере $(70\,000 - 50 \cdot N)$ руб. На третьем году эксплуатации оборудованию потребуется плановый ремонт стоимостью $(5000 - 0,1 \cdot N)$ руб. Определить снижение индекса рентабельности проекта за счет проведения плановых ремонтов, при этом ставка дисконта $r = 20\%$.

Вопросы для самоподготовки и самоконтроля

1. Какие экономические показатели являются критериями эффективности и оптимальности применяемого решения?
2. По каким критериям оценивают инвестиционный проект?
3. Назовите стадии управления инвестиционным проектом.
4. Дайте определение понятиям «инвестиции», «простой срок окупаемости».
5. С помощью каких методов можно рассчитать внутреннюю норму доходности?
6. Как определить индекс доходности?
7. Опишите методику расчета технико-экономического обоснования мероприятия по промывке трубопроводов систем отопления.
8. Приведите методику расчета технико-экономического обоснования мероприятия по автоматизации освещения в местах общего пользования.
9. Опишите методику расчета технико-экономического обоснования мероприятия по использованию датчиков движения.

1. Об энергосбережении [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 8 янв. 2015 г., № 239-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11500239>. – Дата доступа: 10.11.2024.
2. Строительная теплофизика: учеб. пособие / В. И. Бодров, М. В. Бодров, В. Ф. Бодрова, В. Ю. Кузин. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2015. – 156 с.
3. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий [Электронный ресурс]: утв. Департаментом по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь, 26 авг. 2020 г. // Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь. – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/20201118_tepem. – Дата доступа: 12.12.2024.
4. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СН 4.02.03-2019: утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 16.12.2019. – Минск: Стройтехнорм, 2020. – 73 с.
5. Строительная теплотехника: СП 2.04.01-2020: утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 18.11.2020. – Минск: Стройтехнорм, 2020. – 77 с.
6. Панкратов, Г. П. Сборник задач по теплотехнике: учеб. пособие / Г. П. Панкратов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 248 с.
7. Теплотехника: учеб. для вузов / А. П. Баскаков, Б. В. Берг, О. К. Витт [и др.]; под ред. А. П. Баскакова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.
8. Гулбрандсен, Т. Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент: учеб.-метод. пособие / Т. Х. Гулбрандсен, Л. П. Падалко, В. Л. Червинский. – Минск: БГАТУ, 2010. – 240 с.
9. Энергетический менеджмент. Графические методы обработки информации: учеб. пособие / В. П. Калинин, В. П. Розен, А. И. Соловей, А.-М. М. Танский. – Киев: Кондор, 2007. – 104 с.
10. Положение о порядке разработки, установления и пересмотра норм расхода топливно-энергетических ресурсов [Электронный ресурс]: утв. Советом Министров Респ. Беларусь 18.03.2016 // Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь. – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/downloads/supervision/design/20200609_norm2020.docx. – Дата доступа: 22.12.2024.
11. Инструкция по расчету целевых показателей по энергосбережению [Электронный ресурс]: утв. Гос. комитетом по стандартизации Республики Беларусь 01.08.2007 // Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь. – Режим доступа: [https://pravo.by/pdf/2007-214/2007-214\(045-053\).pdf](https://pravo.by/pdf/2007-214/2007-214(045-053).pdf). – Дата доступа: 12.11.2024.
12. Маляренко, В. А. Энергосбережение и энергетический аудит: учеб. пособие / В. А. Маляренко, И. А. Немировский; под ред. В. А. Маляренко. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – 253 с.
13. Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий / В. В. Бухмиров, Н. Н. Нурахов, П. Г. Косарев [и др.]. – Томск: ИД ТГУ, 2014. – 96 с.

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ	4
Пример 1.1	7
Пример 1.2	8
Задания для самостоятельной работы	9
Вопросы для самоподготовки и самоконтроля.....	9
2. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	10
2.1. Потери энергии в котле	10
2.2. Потери энергии при передаче теплоты	13
Пример 2.1	15
Пример 2.2	16
Задания для самостоятельной работы	17
Вопросы для самоподготовки и самоконтроля.....	18
3. ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ, ТРАНСФОРМАТОРАХ, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ	19
3.1. Потери электрической энергии в сетях	19
3.2. Потери электрической энергии в трансформаторах	20
3.3. Потери электрической энергии в электродвигателях.....	21
Пример 3.1	22
Пример 3.2	23
Задания для самостоятельной работы	23
Вопросы для самоподготовки и самоконтроля.....	24
4. РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ	25
Пример	27
Задания для самостоятельной работы	29
Вопросы для самоподготовки и самоконтроля.....	29
5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ	30
5.1. Понятие энергетического баланса, задачи и виды	30
5.2. Графическое представление энергетических балансов.....	33
5.3. Энергетический баланс здания.....	39
5.4. Энергетический баланс печи.....	40
5.5. Энергетический баланс теплообменных аппаратов	41
Пример	42
Задания для самостоятельной работы	43
Вопросы для самоподготовки и самоконтроля.....	44
6. РАСЧЕТ НОРМ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	45
6.1. Методика определения норм расхода электрической энергии на единицу продукции	47
6.2. Методика определения норм расхода электрической энергии на технологический процесс	47

6.3. Методика определения норм расхода электрической энергии на вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды	49
6.4. Методика определения норм расхода электрической энергии на освещение	49
6.5. Методика определения норм расхода электрической энергии в трансформаторах	50
6.6. Методика определения норм расхода электрической энергии на сжатый воздух	51
6.7. Методика определения норм расхода электрической энергии на подачу и подъем воды	53
6.8. Методика определения норм расхода электрической энергии на внутривозвездской транспорт	54
Задания для самостоятельной работы	55
Вопросы для самоподготовки и самоконтроля	58
7. РАСЧЕТ НОРМ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ	59
7.1. Методика определения норм расхода тепловой энергии на нужды обогрева и вентиляции	59
7.2. Методика расчета норм расхода тепловой энергии на нужды горячего водоснабжения	60
7.3. Методика расчета норм расхода тепловой энергии на санитарно-бытовые нужды	61
Задания для самостоятельной работы	61
Вопросы для самоподготовки и самоконтроля	62
8. ЦЕЛЕВОЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ	63
8.1. Методика расчета целевого показателя по энергосбережению	63
8.2. Приведение обобщенных энергозатрат базисного периода к сопоставимым условиям	65
Пример	71
Задания для самостоятельной работы	73
Вопросы для самоподготовки и самоконтроля	75
9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ	76
9.1. Методика расчета технико-экономического обоснования мероприятия по промывке трубопроводов систем отопления	80
9.2. Методика расчета технико-экономического обоснования мероприятия по автоматизации освещения в местах общего пользования	83
9.3. Методика расчета технико-экономического обоснования мероприятия по использованию датчиков движения	84
Пример 9.1	86
Пример 9.2	87
Задания для самостоятельной работы	87
Вопросы для самоподготовки и самоконтроля	88
ЛИТЕРАТУРА	89

Учебное издание

Маршалова Галина Сергеевна

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АУДИТ
И МЕНЕДЖМЕНТ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. С. Ватеичкина*
Компьютерная верстка *П. В. Ковальцова*
Дизайн обложки *П. В. Ковальцова*
Корректор *Е. С. Ватеичкина*

Подписано в печать 29.12.2025. Формат 60×84^{1/8}.
Бумага офсетная. Гарнитура Century School. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 10,8. Уч.-изд. л. 8,0.
Тираж 50 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/277 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.