

# 1021

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИИ**

*Методические указания  
к выполнению практических занятий  
для студентов магистратуры по направлению подготовки  
08.04.01 «Строительство» программа «Проектирование и строительство  
энергетических сетей», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
программа «Теплоэнергетика и теплотехника»  
всех форм обучения*



Воронеж 2021

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»**

**Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела**

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к практическим занятиям для студентов направлений подготовки  
08.04.01 «Строительство»  
(программа «Проектирование и строительство энергетических сетей»),  
13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
(программа «Теплоэнергетика и теплотехника»)  
всех форм обучения**

**Воронеж 2021**

УДК 621.31(07)  
ББК 31.19я7

**Составители:**

*Д. Н. Китаев, О. А. Сотникова, Н. А. Петрикеева*

**Практические расчеты в энергосбережении:** методические указания к практическим занятиям для студентов направлений подготовки 08.04.01 «Строительство» (программа «Проектирование и строительство энергетических сетей»), 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (программа «Теплоэнергетика и теплотехника») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Д. Н. Китаев, О. А. Сотникова, Н. А. Петрикеева. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 23 с.

Приводятся методики практических расчетов по энергоресурсосбережению.

Предназначены для студентов магистратуры направлений 08.04.01 «Строительство», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» всех форм обучения.

Табл. 6. Библиогр.: 18 назв.

**УДК 621.31(07)**  
**ББК 31.19я7**

**Рецензент** - *Т. В. Щукина, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства ВГТУ*

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## ВВЕДЕНИЕ

Формирование в России энергоэффективного общества - это неотъемлемая составляющая развития экономики России. Переход к энергоэффективному варианту развития должен быть совершен в ближайшие годы, иначе экономический рост будет сдерживаться из-за высоких цен и снижения доступности энергетических ресурсов.

Основным законодательным документом по энергосбережению является Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Для целенаправленной работы по экономии энергоресурсов в нашей стране создана и реализована Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р). В регионах и городах приняты соответствующие программы по энергосбережению, содержащие перечень конкретных мероприятий по внедрению ресурсоэнергосберегающих технологий и устройств. Распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 N 1523-р утверждена энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, значительное место в которой уделено энергоресурсосбережению.

Энергосбережение – это реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг).

В сфере образования в последние несколько лет в высших учебных заведениях были внедрены дисциплины с тематикой энергосбережения. Важную роль в процессе внедрения энергосберегающих мероприятий играет умение осуществлять практические расчеты. Методикам практических расчетов посвящены данные методические указания. Они способствуют развитию практических навыков в расчетах энергосбережения.

Данные методические указания предназначены для аудиторной и самостоятельной работы для студентов магистратуры направления 08.04.01 «Строительство» программа «Проектирование и строительство энергетических сетей», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» программа «Теплоэнергетика и теплотехника». Также полезны для студентов бакалавриата и магистратуры, изучающих дисциплины, связанные с энергосбережением и специалистов, осуществляющих практические расчеты энергосберегающих технологий. Приведенные в методических указаниях примеры расчетов способствуют лучшему усвоению теоретического материала и комплексному анализу полученных результатов.

Вариант для расчетов студент принимает по заданию преподавателя.

# 1. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ СТЕНЫ ЗДАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ВЕНТИЛИРУЕМОГО ФАСАДА

Определить необходимую толщину утеплителя для наружных стен жилого здания. Стена состоит из железобетонных панелей толщиной  $\delta$ , м с коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·°C) и цементно-песчаного раствора, толщиной  $\delta_p=0,01$  м и  $\lambda_p=0,76$  Вт/(м·°C). Исходные данные: город, расчетную температуру для проектирования отопления  $t_{ext}$ , °C, число суток отопительного периода  $z_{ht}$ , сут, среднюю температуру наружного воздуха за отопительный период  $t_{ht}$ , °C, толщину  $\delta$ , и коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , принять по номеру варианта из табл. 1.1.

Таблица 1.1

Исходные данные для расчета толщины утеплителя [3]

| №<br>Варианта | Город          | $t_{ext}$ ,<br>°C | $z_{ht}$ ,<br>сут | $t_{ht}$ ,<br>°C | $\delta$ ,<br>м | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·°C) |
|---------------|----------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| 1             | Архангельск    | -31               | 253               | -4,4             | 1               | 1,05                     |
| 2             | Белгород       | -23               | 191               | -1,9             | 0,976           | 1,1                      |
| 3             | Брянск         | -26               | 205               | -2,3             | 0,952           | 1,15                     |
| 4             | Владимир       | -28               | 213               | -3,5             | 0,928           | 1,2                      |
| 5             | Волгоград      | -25               | 178               | -2,2             | 0,904           | 1,25                     |
| 6             | Вологда        | -32               | 231               | -4,1             | 0,88            | 1,3                      |
| 7             | Воронеж        | -26               | 196               | -3,1             | 0,856           | 1,35                     |
| 8             | Иваново        | -30               | 219               | -3,9             | 0,832           | 1,4                      |
| 9             | Калуга         | -27               | 210               | -2,9             | 0,808           | 1,45                     |
| 10            | Курган         | -37               | 216               | -7,7             | 0,784           | 1,5                      |
| 11            | Курск          | -26               | 198               | -2,4             | 0,76            | 1,55                     |
| 12            | Липецк         | -27               | 202               | -3,4             | 0,736           | 1,6                      |
| 13            | Йошкар-Ола     | -34               | 220               | -5,1             | 0,712           | 1,65                     |
| 14            | Саранск        | -30               | 209               | -4,5             | 0,688           | 1,7                      |
| 15            | Мурманск       | -27               | 275               | -3,2             | 0,664           | 1,75                     |
| 16            | Новосибирск    | -39               | 230               | -8,7             | 0,64            | 1,8                      |
| 17            | Омск           | -37               | 221               | -8,4             | 0,616           | 1,85                     |
| 18            | Орел           | -26               | 205               | -2,7             | 0,592           | 1,9                      |
| 19            | Пенза          | -29               | 207               | -4,5             | 0,568           | 1,95                     |
| 20            | Владивосток    | -24               | 196               | -3,9             | 0,544           | 2                        |
| 21            | Великие Луки   | -27               | 212               | -1,9             | 0,52            | 2,05                     |
| 22            | Ростов-на-Дону | -22               | 171               | -0,6             | 0,496           | 2,1                      |
| 23            | Саратов        | -27               | 196               | -4,3             | 0,472           | 2,15                     |
| 24            | Смоленск       | -26               | 215               | -2,4             | 0,448           | 2,2                      |
| 25            | Тамбов         | -28               | 201               | -3,7             | 0,424           | 2,25                     |
| 26            | Казань         | -32               | 215               | -5,2             | 0,4             | 2,3                      |

| №<br>Варианта | Город     | $t_{ext}$ ,<br>°C | $z_{ht}$ ,<br>сут | $t_{ht}$ ,<br>°C | $\delta$ ,<br>м | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·°C) |
|---------------|-----------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| 27            | Тула      | -27               | 207               | -3               | 0,376           | 2,35                     |
| 28            | Тюмень    | -38               | 225               | -7,2             | 0,352           | 2,4                      |
| 29            | Хабаровск | -31               | 211               | -9,3             | 0,328           | 2,45                     |
| 30            | Ярославль | -31               | 221               | -4               | 0,304           | 2,5                      |

Определяем *требуемое сопротивление* теплопередаче стен  $R_{req}^w$  м<sup>2</sup>·°C/Вт, для рассматриваемого региона.

Градусо-сутки отопительного периода  $D_d$ , °C·сут, определяются по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht}. \quad (1.1)$$

Согласно СНиП 23-02 [1] и ГОСТ 30494 – Здания жилые и общественные, параметры микроклимата в помещениях [2], принимается расчетная средняя температура внутреннего воздуха в помещениях  $t_{int}$ , °C и относительная влажность  $\phi$ , %.

Согласно СНиП 23-02 для этих градусо-суток определяем нормируемое сопротивление теплопередаче  $R_{req}$ , м<sup>2</sup>·°C/Вт. для ограждающих конструкций по формуле

$$R_{req} = aD_d + b, \quad (1.2)$$

где  $a, b$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 4 СНиП 23-02 .

Определяем сопротивление теплопередаче существующей конструкции стены.

Теплотехнические расчеты ограждающих конструкций проводим согласно СП 23-101-2004 [4].

Сопротивление теплопередаче  $R_0$ , м<sup>2</sup>·°C/Вт, однородной однослойной или многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями или ограждающей конструкции в удалении от теплотехнических неоднородностей не менее чем на две толщины ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_0 = R_{si} + R_k + R_{se}, \quad (1.3)$$

где  $R_{si}$  определяется по формуле

$$R_{si} = 1/\alpha_{int}, \quad (1.4)$$

где  $\alpha_{int}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), принимаемый по таблице 7 СНиП 23-02;

$R_{se}$  определяется по формуле

$$R_{se} = 1/\alpha_{ext}, \quad (1.5)$$

где  $\alpha_{ext}$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, Вт/(м<sup>2</sup>°C), принимаемый по таблице 8 СП 23-101-2004;

$R_k$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции, определяемое как сумма термических сопротивлений отдельных слоев по формуле

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (1.6)$$

где  $R_1 + R_2 + \dots + R_n$  – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, определяемое по формуле

$$R = \delta/\lambda, \quad (1.7)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м;  $\lambda$  – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м·°C).

Значение  $\lambda$  принимаем по СП 23-101-2004 [4] табл. Д1 приложения Д. Предварительно определяем зону влажности по прил. В [4] и условия эксплуатации здания.

Определяем требуемое усиление теплозащитных свойств стены по формуле

$$\Delta R = R_{req} - R_0^{cущ} \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}. \quad (1.8)$$

Толщина слоя необходимой изоляции  $\delta_{из}$ , м составит:

$$\delta_{из} = \Delta R \frac{\lambda_{из}}{r}, \quad (1.9)$$

где  $\lambda_{из}$  - коэффициент теплопроводности изоляционного слоя (для соответствующих условий эксплуатации), принимаемый по каталогу изоляции, например [5] или любому другому;  $r$  – коэффициент теплотехнической неоднородности конструкции стены (рекомендуется принять по СТО 00044807-001-2006 [6]).

Определяем фактическое сопротивление теплопередаче конструкции стены  $R^*$  по формуле (1.3). Если полученное значение  $R^*$  больше нормативного, то требование СНиП 23-02-2003 по параметру «а» выполняется и расчет заканчивается. В противном случае, необходимо увеличить толщину изоляции на один размер и пересчитать формулу.

Расчетный температурный перепад  $\Delta t_0$ , °C, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей

конструкции не должен превышать нормируемых величин  $\Delta t_n$ , °С, установленных в таблице 5 СНиП 23-02-2003. Определяем  $\Delta t_0$  по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R^* \alpha_{int}}, \quad (1.10)$$

где  $n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, определяемый по табл.6 СНиП 23-02-2003.

Если полученное значение  $\Delta t_0$  меньше нормируемого  $\Delta t_n$ , то требование выполняется.

Проверяем конструкцию стены на возможность выпадения конденсата на внутренней поверхности. Определяем температуру внутренней поверхности  $t_{si}$ , °С по формуле

$$t_{si} = t_{int} - \frac{[n(t_{int} - t_{ext})]}{R^* \alpha_{int}}, \quad ^\circ\text{C}. \quad (1.11)$$

Определяем температуру точки росы  $t_d$ , °С, при принятой относительной влажности внутреннего воздуха  $\phi$  по приложению Р СП 23-101-2004. Должно выполняться условие  $t_{si} > t_d$  и  $\Delta t_0 < \Delta t_n$ , что означает выполнение требований теплозащиты по параметру «б».

## 2. РАСЧЕТ НОРМАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Определить нормативные технологические потери в двухтрубных тепловых сетях, проложенных в непроходных каналах, сооруженных до 1990г. и не подвергавшихся испытаниям для определения теплотехнических характеристик. Сеть имеет конфигурацию: (наружный диаметр, мм/длина, м): 377/500; 273/1000; 219/2000; 159/2500; 108/3000; 76/1000. Для получения исходных данных для каждого варианта, необходимо прибавить к заданной длине участков длину, равную номеру варианта. Остальные исходные данные по вариантам принимаются по табл. 2.1.

Среднее за год значение температуры грунта  $t_{cp, год} = 5^\circ\text{C}$ , за отопительный период  $t_{cp, on} = 4^\circ\text{C}$ ; продолжительность отопительного периода  $n$ , сут, принять из табл. 1.1 ( $n = z_{ht}$ ). Среднее значение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе в отопительном периоде  $\tau_{1cp, on} = 89,2^\circ\text{C}$ , в обратном  $\tau_{2cp, on} = 55^\circ\text{C}$ . Среднее за год значение температуры теплоносителя в подающем  $\tau_{1cp, год}$  и обратном  $\tau_{2cp, год}$  трубопроводе принять по табл. 2.1.

Таблица 2.1

Данные по среднегодовым температурам в сети

| Вари-<br>ант | $\tau_{1cp.год}$ ,<br>°C | $\tau_{2cp.год}$ ,<br>°C | Вари-<br>ант | $\tau_{1cp.год}$ ,<br>°C | $\tau_{2cp.год}$ ,<br>°C | Вари-<br>ант | $\tau_{1cp.год}$ ,<br>°C | $\tau_{2cp.год}$ ,<br>°C |
|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| 1            | 84,9                     | 54,8                     | 11           | 81                       | 50                       | 21           | 77                       | 45                       |
| 2            | 84,6                     | 54,5                     | 12           | 80,6                     | 49,5                     | 22           | 76,6                     | 44,5                     |
| 3            | 84,2                     | 54                       | 13           | 80,2                     | 49                       | 23           | 76,2                     | 44                       |
| 4            | 83,8                     | 53,5                     | 14           | 79,8                     | 48,5                     | 24           | 75,8                     | 43,5                     |
| 5            | 83,4                     | 53                       | 15           | 79,4                     | 48                       | 25           | 75,4                     | 43                       |
| 6            | 83                       | 52,5                     | 16           | 79                       | 47,5                     | 26           | 75                       | 42,5                     |
| 7            | 82,6                     | 52                       | 17           | 78,6                     | 47                       | 27           | 74,6                     | 42                       |
| 8            | 82,2                     | 51,5                     | 18           | 78,2                     | 46,5                     | 28           | 74,2                     | 41,7                     |
| 9            | 81,8                     | 51                       | 19           | 77,8                     | 46                       | 29           | 74                       | 41,6                     |
| 10           | 81,4                     | 50,5                     | 20           | 77,4                     | 45,5                     | 30           | 73,8                     | 41,4                     |

Из исходных данных следует, что суммарные нормативные технологические потери будут состоять из двух статей: потери через теплоизоляционные конструкции трубопроводов и оборудование систем транспорта; затраты связанные с технически неизбежными потерями теплоносителя [7].

Определим среднегодовую разность значений температуры теплоносителя и грунта

$$\Delta t_{cp.год} = \frac{\tau_{1cp.год} + \tau_{2cp.год}}{2} - t_{cp.сп.год}, ^\circ\text{C}. \quad (2.1)$$

Определяем значения удельных часовых тепловых потерь трубопроводами тепловой сети  $q_{из.н}$ , ккал/м·ч, пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь трубопроводами (табл. 2.2) на среднегодовые условия функционирования тепловой сети, подающими и обратными трубопроводами подземной прокладки совместно.

Определяем удельные потери тепла для всех диаметров с помощью табл. 2.2. методом линейной интерполяции.

Часовые теплотери для среднегодовых условий функционирования трубопроводов определяем по формуле [7]

$$Q_{из.н.год} = \sum (q_{из.н} L \beta) 10^{-6}, \text{ Гкал}, \quad (2.2)$$

где  $q_{из.н}$  - удельные часовые тепловые потери трубопроводами каждого диаметра, определенные пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь на среднегодовые (среднесезонные) условия эксплуатации, ккал/ч·м;  $L$  - длина участка трубопроводов тепловой сети, м;  $\beta$ -

коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери запорной и другой арматурой, компенсаторами и опорами (принимается 1,2 при диаметре трубопроводов до 150 мм и 1,15 - при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки, независимо от года проектирования).

Таблица 2.2

Нормы тепловых потерь изолированными водяными теплопроводами  $q_{из.н}$ , ккал/ч·м при двухтрубной прокладке в непроходных каналах с расчетной среднегодовой температурой грунта 5 °С на глубине заложения трубопроводов при среднегодовых разностях температур воды и грунта  $\Delta t_{ср.год}$  и удельные объемы воды

| $D_{нз}$ ,<br>мм | $\Delta t_{ср.год}=52,5^{\circ}\text{C}$ | $\Delta t_{ср.год}=65^{\circ}\text{C}$ | Удельный<br>объем, м <sup>3</sup> /км |
|------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|
| 76               | 64                                       | 74                                     | 3,9                                   |
| 108              | 76                                       | 88                                     | 8                                     |
| 159              | 94                                       | 107                                    | 18                                    |
| 219              | 113                                      | 130                                    | 34                                    |
| 273              | 132                                      | 150                                    | 53                                    |
| 377              | 164                                      | 183                                    | 101                                   |

Часовые потери для отопительного периода определяем по формуле

$$Q_{из.н.оп} = Q_{из.н.год} \frac{\tau_{1ср.оп} + \tau_{2ср.оп} - 2t_{ср.ср.оп}}{\tau_{1ср.год} + \tau_{2ср.год} - 2t_{ср.ср.год}}, \text{ Гкал.} \quad (2.3)$$

Нормативные теплотери в отопительном периоде составят

$$Q = Q_{из.н.оп} 24n, \text{ Гкал.} \quad (2.4)$$

Определяем емкость трубопроводов двухтрубной тепловой сети:

$$V = 2 \sum_{i=1}^n V_i l_i, \text{ м}^3. \quad (2.5)$$

где  $V_i$  - удельный объем  $i$ -го участка трубопроводов определенного диаметра, м<sup>3</sup>/км, принимаемого по табл. 2.2 [8];  $l_i$  - длина участка, км.

Определяем сезонную норму утечки теплоносителя (для отопительного периода)

$$G_{ут.н} = \frac{aVn}{100 \cdot 350}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.6)$$

где  $a$  - норма среднегодовой утечки теплоносителя, м<sup>3</sup>/ч·м<sup>3</sup>, установленная правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей [9], а

также правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок [10], в пределах 0,25% среднегодовой емкости трубопроводов тепловых сетей в час.

Определяем количество теряемого теплоносителя за отопительный период:

$$V_{yt} = G_{yt.n} 24n, \text{ м}^3. \quad (2.7)$$

Среднегодовое значение температуры холодной воды, подаваемой на источник теплоснабжения для подпитки тепловой сети, определим по формуле

$$t_x = \frac{t_{x.no} n_{no} + t_{x.o} n}{350}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.8)$$

где  $t_{x.no}$ ,  $t_{x.o}$  - значения температур холодной воды, поступающей на источник теплоснабжения в отопительном и неотопительном периодах соответственно (принимая 15 $^\circ\text{C}$  и 5 $^\circ\text{C}$  [7]);  $n_{no}$  - продолжительность неотопительного периода, сут.

Определяем годовые нормативные технологические потери тепловой энергии, Гкал, обусловленные потерями теплоносителя по формуле

$$Q_{y.n} = G_{yt.n} \rho_{zod} c [b\tau_{1cp.zod} + (1-b)\tau_{2cp.zod} - t_x] 24n 10^{-6}, \text{ Гкал}, \quad (2.9)$$

где  $\rho_{zod}$  - среднегодовая плотность теплоносителя при средней (с учетом  $b$ ) температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, кг/м<sup>3</sup>;  $b$  - доля массового расхода теплоносителя, теряемого подающим трубопроводом тепловой сети (при отсутствии данных можно принимать от 0,5 до 0,75);  $\tau_{1cp.zod}$  и  $\tau_{2cp.zod}$  - среднегодовые значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети по температурному графику регулирования тепловой нагрузки,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_x$  - среднегодовое значение температуры исходной воды, подаваемой на источник теплоснабжения и используемой для подпитки тепловой сети,  $^\circ\text{C}$ ;  $c$  - удельная теплоемкость теплоносителя, ккал/кг  $^\circ\text{C}$ .

Находим среднегодовое значение температуры для подающего и обратного трубопровода  $(\tau_{1cp.zod} + \tau_{2cp.zod})/2, ^\circ\text{C}$ . По полученной температуре находим плотность, используя справочные данные зависимости плотности воды от температуры [11].

Определяем потери в отопительном периоде

$$Q_{on} = Q_{y.n} \frac{n}{350}, \text{ Гкал}. \quad (2.10)$$

Нормативные технологические потери тепла за отопительный период определяются суммированием потерь через теплоизоляционные конструкции  $Q$  и с потерями теплоносителя  $Q_{on}$ .

### 3. РАСЧЕТ НОРМАТИВА УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА НА ОТПУЩЕННУЮ ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

В котельной установлены 3 котла типа КВТС-10. Среднегодовая загрузка котлов составляет:  $N_1, N_2, N_3, \%$  от номинальной нагрузки. Зависимость удельного расхода топлива от нагрузки определена по результатам режимно-наладочных испытаний и описывается уравнением  $b_{к.а}^{op} = aQ^2 - 0,0643Q + 174,16$  кг.у.т./Гкал. Потери теплоты от механического недожога  $q_4^{исх}, \%$ , содержание мелочи в топливе  $\Delta, \%$ . Продолжительность функционирования котлов:  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \text{ч}$ . Собственные нужды составляют  $d_{с.н.}, \%$ . Рассчитать индивидуальные и групповые нормы удельного расхода топлива. Необходимые исходные данные принять по табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные для расчета нормативных удельных расходов топлива

| Вариант | Загрузка котлов, % |       |       | $a$   | Потеря $q_4^{исх}, \%$ | $\Delta, \%$ | Продолжительность работы котлов, ч |          |          | $d_{с.н.}, \%$ |
|---------|--------------------|-------|-------|-------|------------------------|--------------|------------------------------------|----------|----------|----------------|
|         | $N_1$              | $N_2$ | $N_3$ |       |                        |              | $\tau_1$                           | $\tau_2$ | $\tau_3$ |                |
| 1       | 90                 | 70    | 30    | 0,041 | 5                      | 65           | 5000                               | 4000     | 2000     | 2              |
| 2       | 88                 | 69    | 32    | 0,04  | 5,3                    | 65,5         | 4900                               | 3950     | 2100     | 2,1            |
| 3       | 86                 | 68    | 34    | 0,039 | 5,6                    | 66           | 4800                               | 3900     | 2200     | 2,2            |
| 4       | 84                 | 67    | 36    | 0,038 | 5,9                    | 66,5         | 4700                               | 3850     | 2300     | 2,3            |
| 5       | 82                 | 66    | 38    | 0,037 | 6,2                    | 67           | 4600                               | 3800     | 2400     | 2,4            |
| 6       | 80                 | 65    | 40    | 0,036 | 6,5                    | 67,5         | 4500                               | 3750     | 2500     | 2,5            |
| 7       | 78                 | 64    | 42    | 0,035 | 6,8                    | 68           | 4400                               | 3700     | 2600     | 2,6            |
| 8       | 76                 | 63    | 44    | 0,034 | 7,1                    | 68,5         | 4300                               | 3650     | 2700     | 2,7            |
| 9       | 74                 | 62    | 46    | 0,033 | 7,4                    | 69           | 4200                               | 3600     | 2800     | 2,8            |
| 10      | 72                 | 61    | 48    | 0,032 | 7,7                    | 69,5         | 4100                               | 3550     | 2900     | 2,9            |
| 11      | 70                 | 60    | 50    | 0,031 | 8                      | 70           | 4000                               | 3500     | 3000     | 3              |
| 12      | 68                 | 59    | 52    | 0,03  | 8,3                    | 70,5         | 3900                               | 3450     | 3100     | 3,1            |
| 13      | 66                 | 58    | 54    | 0,029 | 8,6                    | 71           | 3800                               | 3400     | 3200     | 3,2            |
| 14      | 64                 | 57    | 56    | 0,028 | 8,9                    | 71,5         | 3700                               | 3350     | 3300     | 3,3            |
| 15      | 62                 | 56    | 58    | 0,027 | 9,2                    | 72           | 3600                               | 3300     | 3400     | 3,4            |
| 16      | 60                 | 55    | 60    | 0,026 | 9,5                    | 72,5         | 3500                               | 3250     | 3500     | 3,5            |
| 17      | 58                 | 54    | 62    | 0,025 | 9,8                    | 73           | 3400                               | 3200     | 3600     | 3,6            |
| 18      | 56                 | 53    | 64    | 0,024 | 10,1                   | 73,5         | 3300                               | 3150     | 3700     | 3,7            |

| Вариант | Загрузка котлов, % |       |       | $a$   | Потеря $q_{4\text{исх}}$ , % | $\Delta$ , % | Продолжительность работы котлов, ч |          |          | $d_{с.н.}$ , % |
|---------|--------------------|-------|-------|-------|------------------------------|--------------|------------------------------------|----------|----------|----------------|
|         | $N_1$              | $N_2$ | $N_3$ |       |                              |              | $\tau_1$                           | $\tau_2$ | $\tau_3$ |                |
| 19      | 54                 | 64    | 80    | 0,023 | 10,4                         | 74           | 3200                               | 3100     | 3800     | 3,8            |
| 20      | 52                 | 66    | 79    | 0,022 | 10,7                         | 74,5         | 3100                               | 3050     | 3900     | 3,9            |
| 21      | 50                 | 68    | 78    | 0,021 | 11                           | 75           | 3000                               | 3000     | 4000     | 4              |
| 22      | 48                 | 70    | 77    | 0,02  | 11,3                         | 75,5         | 2900                               | 2950     | 4100     | 4,1            |
| 23      | 46                 | 72    | 76    | 0,019 | 11,6                         | 76           | 2800                               | 2900     | 4200     | 4,2            |
| 24      | 44                 | 74    | 75    | 0,018 | 11,9                         | 76,5         | 2700                               | 2850     | 4300     | 4,3            |
| 25      | 42                 | 76    | 74    | 0,017 | 12,2                         | 77           | 2600                               | 2800     | 4400     | 4,4            |
| 26      | 40                 | 78    | 73    | 0,016 | 12,5                         | 77,5         | 2500                               | 2750     | 4500     | 4,5            |
| 27      | 38                 | 80    | 72    | 0,015 | 12,8                         | 78           | 2400                               | 2700     | 4600     | 4,6            |
| 28      | 36                 | 82    | 71    | 0,014 | 13,1                         | 78,5         | 2300                               | 2650     | 4700     | 4,7            |
| 29      | 34                 | 84    | 70    | 0,013 | 13,4                         | 79           | 2200                               | 2600     | 4800     | 4,8            |
| 30      | 32                 | 86    | 69    | 0,012 | 13,7                         | 79,5         | 2100                               | 2550     | 4900     | 4,9            |

### 3.1. Расчет индивидуальных норм

Определяем коэффициент  $K_1$ , учитывающий эксплуатационную нагрузку для каждого котла по формуле [12]

$$K_1 = \frac{(b_{к.а.}^{\bar{p}})^{cp}}{(b_{к.а.}^{\bar{p}})^{ном}}, \quad (3.1)$$

где  $(b_{к.а.}^{\bar{p}})^{cp}$  - удельный расход условного топлива при средней производительности котлоагрегата на планируемый период работы (месяц, год), кг у.т./Гкал;  $(b_{к.а.}^{\bar{p}})^{ном}$  - удельный расход условного топлива при номинальной нагрузке, кг у.т./Гкал, определяемый по данным режимно-наладочных испытаний.

Определяем среднегодовую тепловую мощность каждого котла по формуле

$$Q_i = Q_{ном} N_i, \text{ Гкал/ч.} \quad (3.2)$$

Находим  $(b_{к.а.}^{\bar{p}})^{cp}$  по каждому котлоагрегату.

Определяем коэффициент  $K_1$  по формуле (3.1) для каждого котла.

Определяем коэффициент  $K_3$ , учитывающий использование нерасчетных видов топлива на данном типе котлов. Он находится по потерям теплоты топок

от механического недожога  $q_4^{ucx}$ , в зависимости от типа топочного устройства, зольности и фракционного состава топлива по формуле

$$K_3 = 1 + \frac{q_4^{ucx} (K_T - 1)}{100} \quad (3.3)$$

где  $K_T$  - поправка на содержание мелочи (класс 0-6 мм) в топливе определяется по данным, приведенным в таблице 5 [12] или по формуле

$$K_T = 0,3 \cdot 10^{-3} \Delta^2 - 0,0329 \Delta + 1,9315. \quad (3.4)$$

Определяем общий (интегральный) коэффициент  $K$  для каждого котла по формуле

$$K = K_1 K_3. \quad (3.5)$$

Индивидуальный норматив удельного расхода топлива на выработку тепловой энергии котлом, определяется по выражению

$$b_{\kappa.a}^{\bar{p}} = K (b_{\kappa.a}^{\bar{p}})^{ном}, \text{ кг у.т./Гкал.} \quad (3.6)$$

### 3.2. Расчет групповых норм

Определяем средневзвешенный норматив удельного расхода топлива на выработку тепловой энергии всеми котлами по формуле

$$H_{\text{кот}}^{\bar{p}} = \frac{\sum_{i=1}^n b_{\kappa.ai}^{\bar{p}} Q_i \tau_{\kappa.a.i}}{\sum_{i=1}^n Q_i \tau_{\kappa.a.i}}, \text{ кг у.т./Гкал.} \quad (3.7)$$

Определяем групповой норматив удельного расхода топлива на отпуск в сеть тепловой энергии по формуле

$$H_{\text{кот}} = \frac{H_{\text{кот}}^{\bar{p}}}{1 - \frac{d_{\text{с.н.}}}{100}}, \text{ кг у.т./Гкал.} \quad (3.8)$$

Найдем количество необходимого условного топлива для выработки тепловой энергии по формуле

$$B = H_{кот}^{бр} Q_{кот}, \text{ кг у.т.,} \quad (3.9)$$

где  $Q_{кот}$  - количество выработанной тепловой энергии котельной, Гкал.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ

В котельной установлены  $n=3$  котла с одинаковой номинальной мощностью  $N_k$ . Известны максимальные тепловые нагрузки системы отопления  $Q_o^{\max}$  и вентиляции  $Q_v^{\max}$  и средние расходы теплоты на горячее водоснабжение в отопительном  $Q_h^3$  и неотапительном  $Q_h^л$  периодах, теплотворная способность сжигаемого топлива  $Q_n^p$ , КПД котлоагрегатов  $\eta_{к.а}^{бр}$ , коэффициенты сохранения теплоты в сетях  $\eta_{ном}$  и расхода теплоты на собственные нужды  $\eta_{сн}$ .

Определить основные технико-экономические показатели работы котельной. Исходные данные принять по табл. 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные для лабораторной работы №4

| Вариант | $N_k$ ,<br>МВт | $Q_o^{\max}$ ,<br>МВт | $Q_v^{\max}$ ,<br>МВт | $Q_h^3$ ,<br>МВт | $Q_h^л$ ,<br>МВт | $Q_n^p$ ,<br>МДж/м <sup>3</sup> | $\eta_{к.а}^{бр}$ , % | $\eta_{сн} = \eta_{ном}$ ,<br>% |
|---------|----------------|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1       | 10             | 21                    | 1,5                   | 3                | 2,4              | 28                              | 94                    | 98                              |
| 2       | 11             | 23,1                  | 1,65                  | 3,3              | 2,6              | 28,3                            | 93,7                  | 97,9                            |
| 3       | 12             | 25,2                  | 1,8                   | 3,6              | 2,9              | 28,6                            | 93,4                  | 97,8                            |
| 4       | 13             | 27,3                  | 1,95                  | 3,9              | 3,1              | 28,9                            | 93,1                  | 97,7                            |
| 5       | 14             | 29,4                  | 2,1                   | 4,2              | 3,4              | 29,2                            | 92,8                  | 97,6                            |
| 6       | 15             | 31,5                  | 2,25                  | 4,5              | 3,6              | 29,5                            | 92,5                  | 97,5                            |
| 7       | 16             | 33,6                  | 2,4                   | 4,8              | 3,8              | 29,8                            | 92,2                  | 97,4                            |
| 8       | 17             | 35,7                  | 2,55                  | 5,1              | 4,1              | 30,1                            | 91,9                  | 97,3                            |
| 9       | 18             | 37,8                  | 2,7                   | 5,4              | 4,3              | 30,4                            | 91,6                  | 97,2                            |
| 10      | 19             | 39,9                  | 2,85                  | 5,7              | 4,6              | 30,7                            | 91,3                  | 97,1                            |
| 11      | 20             | 42                    | 3                     | 6                | 4,8              | 31                              | 91                    | 97                              |
| 12      | 21             | 44,1                  | 3,15                  | 6,3              | 5                | 31,3                            | 90,7                  | 96,9                            |
| 13      | 22             | 46,2                  | 3,3                   | 6,6              | 5,3              | 31,6                            | 90,4                  | 96,8                            |
| 14      | 23             | 48,3                  | 3,45                  | 6,9              | 5,5              | 31,9                            | 90,1                  | 96,7                            |
| 15      | 24             | 50,4                  | 3,6                   | 7,2              | 5,8              | 32,2                            | 89,8                  | 96,6                            |
| 16      | 25             | 52,5                  | 3,75                  | 7,5              | 6                | 32,5                            | 89,5                  | 96,5                            |
| 17      | 26             | 54,6                  | 3,9                   | 7,8              | 6,2              | 32,8                            | 89,2                  | 96,4                            |
| 18      | 27             | 56,7                  | 4,05                  | 8,1              | 6,5              | 33,1                            | 88,9                  | 96,3                            |
| 19      | 28             | 58,8                  | 4,2                   | 8,4              | 6,7              | 33,4                            | 88,6                  | 96,2                            |
| 20      | 29             | 60,9                  | 4,35                  | 8,7              | 7                | 33,7                            | 88,3                  | 96,1                            |
| 21      | 30             | 63                    | 4,5                   | 9                | 7,2              | 34                              | 88                    | 96                              |
| 22      | 31             | 65,1                  | 4,65                  | 9,3              | 7,4              | 34,3                            | 87,7                  | 95,9                            |
| 23      | 32             | 67,2                  | 4,8                   | 9,6              | 7,7              | 34,6                            | 87,4                  | 95,8                            |

| Вариант | $N_k$ ,<br>МВт | $Q_o^{\max}$ ,<br>МВт | $Q_g^{\max}$ ,<br>МВт | $Q_h^3$ ,<br>МВт | $Q_h^{\text{л}}$ ,<br>МВт | $Q_h^p$ ,<br>МДж/м <sup>3</sup> | $\eta_{к.а}^{\text{бр}}$ , % | $\eta_{сн} = \eta_{\text{ном}}$ ,<br>% |
|---------|----------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|
| 24      | 33             | 69,3                  | 4,95                  | 19,8             | 7,9                       | 34,9                            | 87,1                         | 95,7                                   |
| 25      | 34             | 71,4                  | 5,1                   | 20,4             | 8,2                       | 35,2                            | 86,8                         | 95,6                                   |
| 26      | 35             | 73,5                  | 5,25                  | 21               | 8,4                       | 35,5                            | 86,5                         | 95,5                                   |
| 27      | 36             | 75,6                  | 5,4                   | 21,6             | 8,6                       | 35,8                            | 86,2                         | 95,4                                   |
| 28      | 37             | 77,7                  | 5,55                  | 22,2             | 8,9                       | 36,1                            | 85,9                         | 95,3                                   |
| 29      | 38             | 79,8                  | 5,7                   | 22,8             | 9,1                       | 36,4                            | 85,6                         | 95,2                                   |
| 30      | 39             | 81,9                  | 5,85                  | 23,4             | 9,4                       | 36,7                            | 85,3                         | 95,1                                   |

Определяем установленную мощность котельной по формуле

$$N_{\text{уст}} = N_k n, \quad (4.1)$$

где  $N_k$  - номинальная тепловая мощность котла, МВт;  $n$  - число котлов.

Вычисляем средний расход теплоты на нужды отопления  $Q_o^{cp}$ , МВт за отопительный период по формуле [13]

$$Q_o^{cp} = Q_o^{\max} \frac{(t_g - t_{cp.o})}{(t_g - t_o)}, \quad (4.2)$$

где  $Q_o^{\max}$  - максимальная тепловая нагрузка системы отопления, МВт;  $t_g$  - расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемых зданиях, °С;  $t_{cp.o}, t_o$  - температуры наружного воздуха средняя за отопительный период и расчетная для проектирования отопления соответственно (принимаются по данным табл. 1.1).

Определяем годовой расход тепла на вентиляцию  $Q_o^{zod}$ , ГДж по формуле

$$Q_o^{zod} = 24 \cdot 3,6 Q_o^{cp} n_0, \quad (4.3)$$

где  $n_0$  - продолжительность отопительного периода, сут. (принимается по данным табл. 1.1).

Вычисляем средний расход теплоты на нужды вентиляции  $Q_o^{cp}$ , МВт за отопительный период по формуле

$$Q_o^{cp} = Q_g^{\max} \frac{(t_g - t_{cp.o})}{(t_g - t_{\text{вент.}})}, \quad (4.4)$$

где  $Q_{\epsilon}^{\max}$  - максимальная тепловая нагрузка системы вентиляции, МВт;  $t_{\epsilon}$  - расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемых зданиях, °С;  $t_{\text{вент.}}$  - расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, принимаемая согласно [16], °С.

Определяем годовой расход тепла на вентиляцию  $Q_{\epsilon}^{\text{год}}$ , ГДж по формуле

$$Q_{\epsilon}^{\text{год}} = 3,6 Q_o^{\text{cp}} n_0 z, \quad (4.5)$$

где  $z$  – число часов работы системы вентиляции в сутки в среднем за отопительный период, час (рекомендуется принять  $z=16$ ч).

Определяем годовой расход теплоты на нужды ГВС по формуле [15]

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{год}} = 24 \cdot 3,6 (Q_h^3 n_0 + (350 - n_0) Q_h^{\text{л}}), \quad (4.6)$$

где  $Q_h^3, Q_h^{\text{л}}$  - средние расходы теплоты за отопительный период и неотапливаемый соответственно, МВт; 350 – число часов работы системы в году.

Определяем суммарный годовой тепловой поток

$$Q^{\text{год}} = Q_o^{\text{год}} + Q_{\epsilon}^{\text{год}} + Q_{\text{ГВС}}^{\text{год}}. \quad (4.7)$$

Находим годовую выработку теплоты, ГДж

$$Q_{\text{выр}}^{\text{год}} = \frac{Q^{\text{год}} 10^4}{\eta_{\text{сн}} \eta_{\text{ном}}}, \quad (4.8)$$

где  $\eta_{\text{сн}}, \eta_{\text{ном}}$  - коэффициенты сохранения теплоты в сетях и расхода теплоты на собственные нужды соответственно.

Определяем количество часов использования установленной мощности котельной в году [14], ч/год

$$h_2 = \frac{Q_{\text{выр}}^{\text{год}}}{3,6 N_{\text{уст}}}. \quad (4.9)$$

Определяем удельный расход условного топлива на 1 ГДж отпущенной теплоты

$$b_{\text{у.т.}} = \frac{34,12 \cdot 10^6}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} \eta_{\text{сн}} \eta_{\text{ном}}} \text{ кг.у.т./ГДж.} \quad (4.10)$$

где  $\eta_{ка}^{бр}$  - кпд котлоагрегата брутто, %

Полученное значение по формуле (4.10) необходимо перевести в кг.у.т./Гкал.

Определяем удельный расход натурального топлива по формуле

$$b_{н.т.} = b_{у.т.} \frac{29,3}{Q_n^p}, \text{кг/ГДж.} \quad (4.11)$$

Полученное значение по формуле (4.11) необходимо перевести в кг/Гкал.

## 5. РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ОТ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОЙ

Теплопроизводительность паровой котельной  $Q=50$  МВт, топливом служит малосернистый мазут с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p=39354$  кДж/кг. Температура воздуха, идущего на горение составляет  $t_{\delta}=20^{\circ}\text{C}$ , механический недожег  $q_4$  отсутствует. По данным энергоаудита процентный состав продуктов сгорания топлива следующий:  $RO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ . Годовое число часов использования паропроизводительности котельной  $\tau=4000$ ч.

Рассчитать среднегодовую экономию топлива при внедрении энергосберегающего мероприятия, позволяющего снизить температуру уходящих дымовых газов с  $t_{yx1}$  до  $t_{yx2}$ .

Исходные данные для расчета принять по табл. 5.1.

Таблица 5.1

Исходные данные для расчета экономии топлива от снижения температуры уходящих газов

| Вариант | $RO_2, \%$ | $CO, \%$ | $CH_4, \%$ | $H_2, \%$ | $t_{yx1}, ^{\circ}\text{C}$ | $t_{yx2}, ^{\circ}\text{C}$ |
|---------|------------|----------|------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1       | 14,2       | 1        | 0,1        | 0,1       | 350                         | 226                         |
| 2       | 14,3       | 0,97     | 0,097      | 0,098     | 345                         | 222                         |
| 3       | 14,4       | 0,94     | 0,094      | 0,096     | 340                         | 218                         |
| 4       | 14,1       | 0,91     | 0,091      | 0,094     | 335                         | 214                         |
| 5       | 13,8       | 0,88     | 0,088      | 0,092     | 330                         | 210                         |
| 6       | 13,5       | 0,85     | 0,085      | 0,09      | 325                         | 206                         |
| 7       | 13,2       | 0,82     | 0,082      | 0,088     | 320                         | 202                         |
| 8       | 12,9       | 0,79     | 0,079      | 0,086     | 315                         | 198                         |
| 9       | 12,6       | 0,76     | 0,076      | 0,084     | 310                         | 194                         |
| 10      | 12,3       | 0,73     | 0,073      | 0,082     | 305                         | 190                         |
| 11      | 12         | 0,7      | 0,07       | 0,08      | 300                         | 186                         |
| 12      | 11,7       | 0,67     | 0,067      | 0,078     | 295                         | 182                         |
| 13      | 11,4       | 0,64     | 0,064      | 0,076     | 290                         | 178                         |
| 14      | 11,1       | 0,61     | 0,061      | 0,074     | 285                         | 174                         |

| Вариант | $RO_2, \%$ | $CO, \%$ | $CH_4, \%$ | $H_2, \%$ | $t_{yx1}, ^\circ C$ | $t_{yx2}, ^\circ C$ |
|---------|------------|----------|------------|-----------|---------------------|---------------------|
| 15      | 10,8       | 0,58     | 0,058      | 0,072     | 280                 | 170                 |
| 16      | 10,5       | 0,55     | 0,055      | 0,07      | 275                 | 166                 |
| 17      | 10,2       | 0,52     | 0,052      | 0,068     | 270                 | 162                 |
| 18      | 9,9        | 0,49     | 0,049      | 0,066     | 265                 | 158                 |
| 19      | 9,6        | 0,46     | 0,046      | 0,064     | 260                 | 154                 |
| 20      | 9,3        | 0,43     | 0,043      | 0,062     | 255                 | 150                 |
| 21      | 9          | 0,4      | 0,04       | 0,06      | 250                 | 146                 |
| 22      | 8,7        | 0,37     | 0,037      | 0,058     | 245                 | 142                 |
| 23      | 8,4        | 0,34     | 0,034      | 0,056     | 240                 | 138                 |
| 24      | 8,1        | 0,31     | 0,031      | 0,054     | 235                 | 134                 |
| 25      | 7,8        | 0,28     | 0,028      | 0,052     | 230                 | 130                 |
| 26      | 7,5        | 0,25     | 0,025      | 0,05      | 225                 | 126                 |
| 27      | 7,2        | 0,22     | 0,022      | 0,048     | 220                 | 122                 |
| 28      | 6,9        | 0,19     | 0,019      | 0,046     | 215                 | 118                 |
| 29      | 6,6        | 0,16     | 0,016      | 0,044     | 210                 | 114                 |
| 30      | 6,3        | 0,13     | 0,013      | 0,042     | 205                 | 110                 |

Для определения тепловых потерь с уходящими газами и от химической неполноты сгорания топлива, используем методику М.Б. Равича [17].

Определяем отношение объема сухих продуктов горения, полученных при сжигании топлива с избытком воздуха, к объему сухих продуктов горения в теоретических условиях

$$H = \frac{RO_{2\max}}{RO_2 + CO + CH_4}, \quad (5.1)$$

где  $RO_{2\max}$  - максимальное содержание углекислого газа и сероводорода в сухих продуктах сгорания, соответствующее сжиганию в теоретических условиях (для малосернистого мазута можно принять  $RO_{2\max}=16,3\%$ ;  $RO_2, CO, CH_4$  - содержание в продуктах горения углекислого газа и сероводорода, окиси углерода и метана соответственно).

Определяем потери тепла с уходящими газами  $q_2, \%$  при температуре  $t_{yx1}$  при  $H > 1$  по формуле

$$q_2(t_{yx1}) = \frac{t_{yx1} - t_g}{t_{\max}} [C + (H - 1)BK] 100, \quad (5.2)$$

где  $t_{\max}$  - жаропроизводительность топлива (принимается для малосернистого мазута  $2100 ^\circ C$ );  $C$  – поправочный коэффициент показывающий отношение

средневзвешенной теплоемкости неразбавленных воздухом продуктов горения в температурном интервале от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $t_{yx}$  к средневзвешенной теплоемкости неразбавленных воздухом продуктов горения в температурном интервале от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $t_{\text{макс}}$ , определяемый по формулам:

$$100 \leq t_{yx} \leq 200^{\circ}\text{C}, \quad C = 10^{-4}t_{yx} + 0,81, \quad (5.3)$$

$$200 < t_{yx} \leq 400^{\circ}\text{C}, \quad C = 5 \cdot 10^{-7}t_{yx}^2 - 1,5 \cdot 10^{-4}t_{yx} + 0,84; \quad (5.4)$$

$B$  – коэффициент, показывающий отношение объема сухих продуктов горения к объему влажных продуктов горения в теоретических условиях (для малосернистого мазута  $B=0,88$ );  $K$  – поправочный коэффициент, показывающий отношение средней теплоемкости воздуха в температурном интервале  $0^{\circ}\text{C}$  до  $t_{yx}$  к средневзвешенной теплоемкости неразбавленных воздухом продуктов горения в температурном интервале от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $t_{\text{макс}}$ , определяемый по формулам:

$$100 \leq t_{yx} < 200^{\circ}\text{C}, \quad K = 0,78,$$

$$200 \leq t_{yx} \leq 500^{\circ}\text{C}, \quad K = 10^{-4}t_{yx} + 0,76. \quad (5.5)$$

Определяем потери тепла с уходящими газами  $q_2(t_{yx2})$  при температуре  $t_{yx2}$  по формулам (5.2)-(5.5).

Переходим к вычислению потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива, которая не зависит от температуры уходящих газов. Предварительно определяем теплотворную способность горючих компонентов  $Q_{\text{нр.гор}}$ , ккал/м<sup>3</sup>, содержащихся в одном нормальном кубометре сухих продуктов горения по формуле

$$Q_{\text{нр.гор}} = 30,2CO + 25,8H_2 + 85,5CH_4. \quad (5.6)$$

Определяем потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива  $q_3$ , % по формуле

$$q_3 = \frac{Q_{\text{нр.гор}} 4,187H}{Q_{\text{н.с.}}^p} 100, \quad (5.7)$$

где  $Q_{\text{н.с.}}^p$  - низшая теплота сгорания топлива отнесенная к одному кубометру при нормальных условиях сухих продуктов сгорания, образующихся при сжигании топлива в теоретических условиях (для малосернистого мазута  $Q_{\text{н.с.}}^p = 4053$  кДж/м<sup>3</sup>).

Определяем кпд котла брутто  $\eta_{\kappa.a}^{\bar{p}}$  для двух температур уходящих газов из уравнения теплового баланса по формулам:

$$\text{при } t_{yx1}, \quad \eta_{\kappa.a}^{\bar{p}}(t_{yx1}) = 100\% - (q_2(t_{yx1}) + q_3); \quad (5.8)$$

$$\text{при } t_{yx2}, \quad \eta_{\kappa.a}^{\bar{p}}(t_{yx2}) = 100\% - (q_2(t_{yx2}) + q_3). \quad (5.8')$$

Определяем годовую экономию топлива  $\Delta B_m$ , т мазута при изменении температуры уходящих газов по формуле [18]

$$\Delta B_m = \frac{3600Q\tau \left( \frac{1}{\eta_{\kappa.a}^{\bar{p}}(t_{yx1})} - \frac{1}{\eta_{\kappa.a}^{\bar{p}}(t_{yx2})} \right)}{Q_n^p}. \quad (5.9)$$

Пересчитываем в условное топливо по формуле

$$\Delta B = \frac{Q_n^p}{Q_{н.у.т.}^p} \Delta B_m. \quad (5.10)$$

где  $Q_{н.у.т.}^p$  - низшая теплота сгорания условного топлива (29300 кДж/кг).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.
2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2013.
3. СНиП 23-01-99\* Строительная климатология. – М.: Госстрой России, 2003.
4. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: Изд-во ДЕАН, 2007 - 319 с.
5. Наружные стены, стены подвала, покрытия, чердачные перекрытия, перегородки, ограждающие конструкции мансард и полы с теплоизоляцией из минераловатных плит "rockwool". Материалы для проектирования и рабочие чертежи узлов. – М.: ОАО "ЦНИИпромзданий", 2005.
6. СТО 00044807-001-2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций. М.: РОИС, 2007. - 69 с.
7. Приказ министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 года № 325 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии».

8. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. МДК 4-05.2004. Утв. Госстроем РФ 12 августа 2003г.
9. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв. приказом Минэнерго России №229 от 19.06.2003.
10. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок : офиц. текст. – М.: Омега-Л, 2007. – 213 с.
11. Наладка и эксплуатация тепловых сетей: справочник / В. И. Манюк [и др.]. – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.
12. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. N 323 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов удельного расхода топлива на отпущенную электрическую и тепловую энергию от тепловых электрических станций и котельных».
13. Экономическая эффективность энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие / А. И. Еремкин [и др.]. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 184 с.
14. Брюханов, О. Н. Газифицированные котельные агрегаты / О. Н. Брюханов, В. А. Кузнецов. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 392 с.
15. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий.
16. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование / ГПКНИИ СантехНИИпроект. – М.: Госстрой России, 2004.
17. Равич, М. Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов / М. Б. Равич. – М.: Изд-во академии наук СССР, 1955. – 219 с.
18. Практическое применение энергосберегающих технологий: учеб. пособие / В. Н. Семенов [и др.]. – Тамбов: Изд-во Пертшина Р.В., 2014. – 193 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                            | 3  |
| 1. Расчет толщины утеплителя стены здания при использовании технологии вентилируемого фасада.....        | 4  |
| 2. Расчет нормативных технологических потерь при передаче тепловой энергии.....                          | 7  |
| 3. Расчет норматива удельного расхода топлива на отпущенную тепловую энергию отопительной котельной..... | 11 |
| 4. Определение основных технико-экономических показателей работы котельной.....                          | 14 |
| 5. Расчет экономии топлива от снижения температуры уходящих газов котельной.....                         | 17 |
| Библиографический список.....                                                                            | 20 |

# **ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИИ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к практическим занятиям для студентов направлений подготовки  
08.04.01 «Строительство»  
(программа «Проектирование и строительство энергетических сетей»),  
13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
(программа «Теплоэнергетика и теплотехника»)  
всех форм обучения

### **Составители:**

**Китаев** Дмитрий Николаевич  
**Сотникова** Ольга Анатольевна  
**Петрикеева** Наталья Александровна

В авторской редакции

Подписано в печать 02.06.2021.

Формат 60х84 1/16. Бумага для множительных аппаратов.

Уч.-изд. л. 1,4. Усл. печ. л. 1,3. Тираж 147 экз.

Заказ № 106.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ

394026 Воронеж, Московский просп., 14