

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ


Руководитель программы
аспирантуры

профессор В.А. Лебедев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ МАЛООТХОДНЫХ
И БЕЗОТХОДНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК**

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	2. Технические науки
Группа научных специальностей:	2.4. Энергетика и электротехника
Научная специальность:	2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника
Отрасли науки:	Технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	4 года
Составитель:	к.т.н., проф. В.А. Лебедев

Санкт-Петербург

Теоретические основы создания малоотходных и безотходных тепловых технологических установок: Методические указания к практическим занятиям. Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *проф. Лебедев В.А.*, СПб, 2022 г.

В методических указаниях содержатся описания и методики самостоятельной подготовки в изучении курса и к практическим работам, выполнение которых позволяет закрепить основные разделы теории, приобрести практические навыки в решении задач в области промышленной теплоэнергетики.

Предназначены для аспирантов по научной специальности 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника, профиль «Теплоэнергетические технологии»

Научный редактор доцент Пискунов В.М.

ВВЕДЕНИЕ

Целью практических занятий является закрепление теоретических знаний, полученных аспирантами при изучении курса, и использовании этих знаний при решении научно-исследовательских и практических задач в области создания малоотходных и безотходных тепловых технологических установок.

Задачей практических занятий является ознакомление аспирантов с частными вопросами, возникающими при решении задач создания малоотходных и безотходных тепловых технологических установок.

Состав практикума по дисциплине:

№/№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Раздел 2.	Метод оценки объемов образования отходов производства на основе данных материально-сырьевого баланса.	2
2	Раздел 2	Метод оценки объемов образования отходов производства по удельным показателям образования отходов.	2
6	Раздел 4	Определение объемов выхода и использования ВЭР	2
7	Раздел 4	Расчет экономии энергоресурсов в промышленности	2
Итого:			8

Практическое занятие №1

Тема: Метод оценки объемов образования отходов производства на основе данных материально-сырьевого баланса.

Учебная цель: Изучить методику оценки объемов образования отходов производства на основе данных материально-сырьевого баланса.

Для определения объемов образования отходов в общем виде необходимо:

- выявить источники образования отходов;
- изучить номенклатуру образующихся отходов;
- изучить отчетные данные за ряд лет об объемах образования отходов либо материальный баланс производства;
- определить (когда это возможно) значения удельных показателей образования отходов, наиболее характерных для вида производств с учетом применяемых технологий (во многих случаях целесообразно принятие "коридора" значений);
- рассчитать объемы образования отходов на основании имеющихся формул и справочных данных по входящим в них параметрам.

Источниками информации при оценке объемов образования отходов могут служить:

- отраслевые справочники по образованию отходов производства;
- "Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления" НИЦПУРО;
- материально-сырьевые балансы предприятий производственного и ремонтно-эксплуатационного профиля;
- отраслевые балансы по видам производства и эксплуатационных служб;
- нормы технологического проектирования объектов основного производства и вспомогательных служб (включая объекты соцкультбыта);
- нормы расхода сырья и материалов основных и вспомогательных производств, а также сферы обслуживания;
- нормы выхода целевых продуктов различных видов производств, разработанные различными отраслевыми министерствами и ведомствами;
- ГОСТы, ОСТы, ТУ, РТМ, РД, в которых регламентируется образование отходов;
- данные бухгалтерского учета по списанию малоценных средств;
- нормы потребления спецодежды, тары и упаковки;
- показатели износа (потерь массы) вышедших из употребления шин, абразивных кругов, спецодежды и т.д.;
- справочные данные по массе изделий, являющихся предметами производственного потребления (лампы люминесцентные, гальванические изделия, крышки и резинотехнические изделия, фильтры и т.д.);
- данные по содержанию в отходах производственного потребления экспертируемых компонентов (ртути в люминесцентных лампах, резины в крышках, свинца в аккумуляторах и т.п.);
- данные по нормативным и фактическим срокам службы изделий производственного потребления (аккумуляторов и других ГЭ, люминесцентных ламп, автомобильных крышек, полимерных материалов, фильтров и пр.);

- технологические регламенты и правила эксплуатации объектов производства, транспорта, строительства и сферы услуг.

Метод оценки на основе данных материально-сырьевого баланса основан на определении объема образующихся в конкретном технологическом процессе или производстве отходов Оп как разности между количеством потребленного сырья M^i_c и количеством произведенной продукции M^j_p с учетом неизбежных безвозвратных потерь Π^i :

$$\sum_{n=1}^n O_{\Pi} = \sum_{i=1}^{i=m} M^i_c - \sum_{j=1}^{j=L} M^j_p - \sum \Pi^i$$

При использовании этого метода исходные и расчетные данные представляются в виде таблицы, форма которой приведена в таблице 1.1. Если на предприятии несколько разнородных производств, то составляется несколько таблиц. Применяемые в настоящее время формы материальных балансов имеют более упрощенный вид и для получения некоторых недостающих данных (например, количество отходов, уносимых с водой) необходимо проведение фактических измерений. Если какие-либо показатели из рекомендуемой формы баланса имеют ничтожно малые значения, то при наличии необходимого обоснования ими можно пренебречь и в соответствующей графе поставить прочерк.

Материально-сырьевой баланс

(наименование производства или технологического процесса, при проведении которых образуются отходы)

Таблица 1.1.

Наименование сырья, основных и вспомогательных материалов, поступающих в производство, полуфабрикатов и готовой продукции	Единица измерения	Поступило в производство	Выход в продукцию	Безвозвратные потери					Отходы					
				Газообразных веществ	Твердых веществ (пыль)	Отходы (жидкие, твердые), уносимые с водой	Технологические потери (угар, распыл, испарения, проливы, прочие потери)	Всего потерь П'	Наименование отходов	Код по ФККО	Образование отходов			
											Собрано в местах организованного сбора	Уловлено в очистных сооружениях сточных вод	Уловлено в пылегазоочистных установках вентсистем	Всего образовалось отходов Оп
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Руководитель предприятия _____

(подпись, Ф.И.О.)

Ответственный за экологию _____

(подпись, Ф.И.О.)

Метод, несмотря на наибольшую точность, имеет ограниченное применение из-за отсутствия большинства данных, необходимых для выполнения расчетов, а также высокой трудоемкости в случае большой номенклатуры исходных видов сырья, материалов и образующихся отходов.

Он рекомендуется для применения на предприятиях отраслей промышленности, где использование материально-сырьевых балансов является традиционным (черная и цветная металлургия, энергетика, некоторые виды химических производств, пищевой промышленности, лесопиление и пр.), а также в тех случаях, когда номенклатура исходных видов сырья и материалов, конечных продуктов и образующихся отходов насчитывает небольшое количество позиций (как правило, по несколько пунктов в каждом разделе баланса).

Практическое занятие № 2

Тема: Метод оценки объемов образования отходов производства по удельным показателям образования отходов.

Учебная цель: Изучить методику оценки объемов образования отходов производства по удельным показателям образования отходов

Метод оценки по удельным показателям образования отходов основан на определении объемов образования отходов по данным потребления сырья или выпуска продукции:

$$\begin{aligned}O_n &= K^i * M^i_c, \\O_n &= K^j * M^j_p,\end{aligned}$$

где: i - индекс вида сырья, $i = 1, 2 \dots m$, j - индекс вид продукции, $j = 1, 2 \dots l$, K^i - удельный показатель образования отхода n -го вида в расчете на единицу потребляемого сырья i -го вида, K^j - удельный показатель образования отхода n -го вида в расчете на единицу выпуска продукции j -го вида.

Под удельным показателем образования отходов потребления можно понимать также образование отходов в расчете на единицу какого-либо условного параметра в процессе потребления и использования продукции. В качестве такого параметра может быть принята единица длины, поверхности, произведенной работы, услуги, и т.д. Например, образование промасленной ветоши в расчете на станок, изделие, автомобиль и т.п.

При использовании этого метода применяются отраслевые (ведомственные) нормативы образования отходов, а также показатели, приведенные в «Сборнике удельных показателей образования отходов производства и потребления» (Москва, НИЦПУРО, 1999 г.). Из всех рекомендуемых методов расчета объемов образования отходов этот метод самый простой в применении, однако недостаточно точный и имеет ограничения по номенклатуре рассчитываемых по нему отходов.

Следует иметь в виду, что имеющиеся в Сборнике данные по удельным показателям образования отходов определены еще в 80-х - 90-х годах и не учитывают возможные изменения в технологиях материального производства (или в уровне, структуре и технологии потребления). В этой связи оценку объемов образования отходов методом удельных показателей рекомендуется производить в два этапа (рис.1). На первом этапе проводится анализ установленных данных и в случае необходимости осуществляется корректировка удельного показателя образования отходов:

$$K_{ni} = K_{ni}^0 \pm \Delta K_{ni}, \text{ где}$$

K_{ni}^0 - справочный или оценочный удельный показатель образования n -го вида отходов при производстве i -го вида продукции;

ΔK_{ni} - экспертная или расчетная оценка изменения K_{ni}^0 в результате модернизации или технического перевооружения производства в расчете на текущий год (или изменения уровня, структуры, технологии потребления) ,

K_{ni} - скорректированный удельный показатель образования отходов (при несущественных изменениях технологии для грубой оценки значение K_{ni} может принято равным K_{ni}^0).

Затем проводится оценка количества образования отходов:

$O_n = \sum_i K_{ni} * M_i$, где M_i – объем производства (потребления) i-го вида продукции, в процессе которого образуются отходы n-го вида в оцениваемом или прогнозируемом году.



Рис. 1. Схема оценки объемов образования отходов методом использования удельных показателей их образования при производстве (потреблении) продукции.

Принятые обозначения:

M_i – объем производства (потребления) i-го вида продукции, в процессе которого образуются отходы n-го вида в оцениваемом или прогнозируемом году;

K_{ni}^0 - справочный или оценочный удельный показатель образования n-го вида отходов при производстве i-го вида продукции;

O_n – оценка или прогноз количества образования n-го вида отходов,

ΔK_{ni} - экспертная или расчетная оценка изменения K_{ni}^0 в результате модернизации или технического перевооружения производства в расчете на текущий год (или изменения уровня, структуры, технологии потребления) ,

K_{ni} - скорректированный удельный показатель образования отходов (при несущественных изменениях технологии для грубой оценки значения K_{ni} могут быть приняты равными K_{ni}^0)

Метод оценки по удельным показателям образования отходов целесообразней всего использовать для укрупненной (предварительной) оценки образования отходов в целом по отрасли, в разрезе региона и т.п. Это обусловлено тем, что во многих случаях «коридор» значений удельных показателей достаточно широкий, вплоть до расхождения нижнего и верхнего значений показателей на порядок. Вместе с этим метод удобен для экспресс –оценки образования отходов и в первую очередь предназначен для органов административно-хозяйственного управления и природоохранных органов, осуществляющих экологический контроль в области обращения с отходами, включая проверку проектов нормативов образования и лимитов на размещение отходов (ПНОЛРО). Метод может быть рекомендован для использования в тех отраслях, где использование удельных показателей образования отходов является традиционным (жилищно-коммунальное хозяйство, строительство, транспорт и пр.).

Практическое занятие № 3

Тема: Определение объемов выхода и использования ВЭР

Учебная цель: Изучить методику определения объемов выхода и использования ВЭР

Выход и использование ВЭР рассчитывают либо в единицу времени (1 ч) работы агрегата-источника ВЭР, либо в удельных показателях на единицу продукции (сырья).

Удельный (часовой) выход ВЭР определяется умножением удельного (часового) количества энергоносителя на его энергетический потенциал.

Энергетический потенциал энергоносителей определяется :

– для горючих ВЭР – низшей теплотой сгорания $Q_{н}^p$;

– для тепловых ВЭР – перепадом энтальпий h ;

– для ВЭР избыточного давления – работой изоэнтропного расширения l .

В качестве единиц измерения потенциала приняты единицы измерения энергии – килоджоуль, киловатт.

Единицами измерения количества энергоносителя служат единицы массы – килограмм (кг), тонна (т); для газообразных теплоносителей – единицы объема – кубический метр при нормальных физических условиях (m^3 при н.у., $нм^3$): $P = 760$ мм рт. ст. и $t = 0^\circ C$.

Удельный общий выход ВЭР определяется по формулам, кДж/ч: для горючих ВЭР

$$Q_{г} = m \cdot Q_{н}^p; \quad (3.1)$$

для тепловых ВЭР

$$q_{г} = m \cdot c \cdot (t - t_0) = m \cdot h; \quad (3.2)$$

для ВЭР избыточного давления

$$q_{н} = m \cdot l. \quad (3.3)$$

Общий объем выхода ВЭР:

$$Q_{вых} = q \cdot M \quad (3.4)$$

или

$$Q_{вых} = q_{ч} \cdot \tau. \quad (3.5)$$

Здесь m – удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, кг (m^3)/ч; h – располагаемый перепад энтальпий энергоносителя, кДж/кг; l – работа изоэнтропного расширения, кДж/кг; $Q_{вых}$ – общий объем выхода ВЭР за рассматриваемый период, кДж; M – выход основной продукции или расход сырья (топлива) за рассматриваемый период; τ – число часов работы установки-источника ВЭР за указанный период; q – удельный выход ВЭР в процентах к выходу основной продукции или расходу сырья; $q_{ч}$ – часовой удельный выход ВЭР, определяемый по формулам (3.1) – (3.3).

Иногда в практических расчетах удельный и общий объем выхода ВЭР относят не к единице времени, а к единице продукции: кДж / единицу продукции, процент / единицу продукции.

Низшую теплоту сгорания горючих ВЭР $Q_{н}^p$ определяют экспериментальным путем или по известным в теплотехнике формулам в зависимости от элементарного состава.

Перепад энтальпий h для тепловых ВЭР определяется в зависимости от температуры энергоносителя на выходе из агрегата (источника ВЭР), а также от температуры окружающей среды. В расчетах обычно определяют средний выход ВЭР для установившегося технологического режима.

Выход ВЭР за рассматриваемый период времени (сутки, месяц, квартал, год) определяют исходя из удельного или часового выхода по формуле, ГДж:

$$Q_{\text{вых}} = q \cdot \Pi \cdot 10^{-6}, \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{вых}} = q_{\text{ч}} \cdot \tau \cdot 10^{-6}, \quad (3.7)$$

где q – удельный выход ВЭР, кДж/ед. продукции; Π – выпуск основной продукции (расход сырья, топлива), к которой отнесен удельный выход ВЭР, за рассматриваемый период, единица продукции; $q_{\text{ч}}$ – часовой выход ВЭР, кДж/ч; τ – время работы агрегата-источника ВЭР за рассматриваемый период, ч.

Основные качественные параметры ВЭР промышленных предприятий приведены в табл. 6.1, а по ВЭР электростанций – в табл. 6.2.

Таблица 3.1 Параметры ВЭР промышленных предприятий

Первичные энергетические ресурсы	ВЭР	
	Разновидности энергоресурсов	Характеристика, качественные параметры
1	2	3
Твердое, жидкое, газообразное топливо или электроэнергия для обслуживания технологических высокотемпературных процессов (промышленные печи) и охлаждающая вода	<p>1. Отходящие горючие газы коксовых и доменных печей:</p> <p>а) коксовый газ – продукт выжигания кокса в коксовых печах</p> <p>б) доменный газ – побочный продукт доменного производства; получается в результате неполного сгорания кокса</p> <p>в) ферросплавный газ – выплавка ферросплавов в электропечах</p>	<p>а) Теплота сгорания: $Q_{P_H} \approx 16800 \text{ кДж/м}^3$</p> <p>Состав газа: $\text{CO}_2 = 2 - 4 \%$; $\text{CO} = 6 - 8 \%$; $\text{H}_2 = 55 - 62 \%$; $\text{CH}_4 = 24 - 28 \%$; этилен, пропилен и др. $\text{N}_2 = 3 - 2 \%$; $\text{O}_2 = 0,4 - 0,8$; плотность $0,4 - 0,55 \text{ кг/м}^3$. Взрывоопасен.</p> <p>б) $Q_{P_H} = 3350 - 4610 \text{ кДж/м}^3$</p> <p>Состав газа: $\text{CO}_2 = 10 - 12,5 \%$; $\text{CO} = 28,5 - 30,5 \%$; $\text{H}_2 = 1,5 - 3,8 \%$; $\text{N}_2 = 58 - 59,5 \%$; $\text{O}_2 = 0,1 - 0,2 \%$, плотность $1,28 - 1,3 \text{ кг/м}^3$, теоретическая температура горения $1430 - 1500 \text{ }^\circ\text{C}$, для сжигания 1 МДж газа требуется теоретически необходимое количество кислорода $0,19 \text{ м}^3$</p> <p>в) $Q_{P_H} = 11300 \text{ кДж/м}^3$</p> <p>Состав газа: $\text{CO} = 85 \%$; $\text{H}_2 = 4 \%$; $\text{N}_2 = 5,6 \%$; $\text{O}_2 = 1 \%$; $\text{CO}_2 = 3 \%$; сероводород = $0,4 \%$ Высокотоксичный, взрывоопасный газ</p>
	<p>2. Отходящие горючие газы предприятий нефтяной промышленности</p> <p>3. Отходящие горячие газы промышленных печей</p> <p>4. Нагретая охлажденная вода и пар испарительного охлаждения промышленных печей</p> <p>5. Тепло, выделяемое расплавленными металлами, коксом и шлаками промышленных печей</p>	<p>$Q_{P_H} = 41,87 - 62,8 \text{ МДж/м}^3$</p> <p>$t_{o,r} \geq 500 - 1000 \text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$t_{o,b} \leq 95 \text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$p_{и.о} = 1,6 - 4 \text{ атм.}$</p> <p>$t_{отх} > 1000 \text{ }^\circ\text{C}$</p>

1	2	3
Газ и жидкое топливо для обслуживания технологических силовых процессов (с двигателями внутреннего сгорания воздуходушных, компрессорных и других агрегатов) и охлаждающая вода	1. Горячие газы, отходящие из двигателей внутреннего сгорания 2. Нагретая охлаждающая вода, отходящая из двигателей внутреннего сгорания	$t_{o.g} = 350 - 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t_{o.v} < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Горючее и технологическое сырьё (на предприятиях металлургической, деревообрабатывающей, текстильной, пищевой и других отраслях промышленности) Пар для обслуживания технологических силовых (в молотовых, прессовых и штамповочных агрегатах) и нагревательных процессов Горячая вода для бытового теплопотребления Электроэнергия, обслуживающая силовые, термические и осветительные процессы	Горючие твёрдые и жидкие отходы производства 1. Отработавший производственный пар 2. Вторичный производственный пар 3. Конденсат пара, используемого для нагревательных целей (горячая сливная вода) 4. Внутренние тепловыделения в производственных помещениях Сливная загрязненная вода Внутренние тепловыделения в производственных помещениях Сливная нагретая вода производственных агрегатов	$Q_{P_n} = 41,87 \text{ МДж/кг}$ $p_{o.n} = 1,3 - 1,5 \text{ атм}$ $p_{v.n} = 1 \text{ атм}$ $t < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t < 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблица 3.2 Характеристика вторичных энергетических ресурсов электростанций

ВЭР	Качественные параметры энергоресурсов
1. Тепловые электростанции	
Нагретая охлаждающая вода конденсационных устройств турбин	$t_{\text{в}} \leq 25 - 30 \text{ } ^\circ\text{C}$
Отходящие дымовые газы котлоагрегатов	$t_{\text{о.г}} \geq 100 \text{ } ^\circ\text{C}$
Отходящие газы и нагретая охлаждающая вода газотурбинных электростанций	$t_{\text{о.г}} \geq 100 \text{ } ^\circ\text{C}$
Нагретая охлаждающая вода из системы охлаждения электрических генераторов	$t_{\text{в}} > 25 - 30 \text{ } ^\circ\text{C}$
2. Гидроэлектростанции	
Нагретая охлаждающая вода из системы замкнутого охлаждения электрических генераторов	$t_{\text{в}} > 25 - 30 \text{ } ^\circ\text{C}$
Нагретый воздух из системы разомкнутого воздушного охлаждения электрических генераторов	$t_{\text{в}} \leq 60 - 65 \text{ } ^\circ\text{C}$

В качестве примера - расчет выхода и фактической выработки ВЭР для металлургического завода с полным технологическим циклом.

Состав основного оборудования:

- Аглофабрика с двумя аглолентами, площадь спекания 80 м^2 . Возможная мощность по агломерату 1140 тыс. т/год.
 - Доменный цех с тремя работающими домнами с суммарным объемом 620 м^3 . Производство чугуна 500 тыс. т/год.
 - Мартеновский цех с четырьмя мартеновскими печами. Объем производства до 900 тыс. т стали в год.
 - Прокатное производство, в составе которого имеются три нагревательные печи. Объем обрабатываемого металла 600 тыс. т/год.
- Фактическая выработка ВЭР составила:
- Горючие ВЭР (доменный газ) – 112 000 т у.т./год.
 - Тепловые ВЭР (пар) – 53 500 т у.т./год.

Расчет выполнен по укрупненным показателям выхода и использования ВЭР на одном из заводов черной металлургии, а также с учетом данных табл. 6.1.

•Удельный выход горючих ВЭР в доменных печах примем 3800 м^3 доменного газа на 1 т чугуна при теплоте сгорания газа 4187 кДж/м^3 . Следовательно, выход горючих ВЭР составит $(3800 \cdot 4187) : 29310 \approx 540 \text{ кг у.т./т чугуна}$.

•Удельный выход тепловых ВЭР в мартеновских печах (физическая теплота дымовых газов и испарительное охлаждение конструкций печи) составляет около $0,37 \text{ Гкал/т стали}$ ($53 \text{ кг у.т./т стали}$) – табл. 6.1.

•Удельный выход тепловых ВЭР в нагревательных печах (физическая теплота дымовых газов) составляет около $0,1 \text{ Гкал/т}$ (14 кг у.т./т) – табл. 6.1.

Возможная выработка ВЭР составит при указанных выше номинальных объемах производства металла (13.4):

-доменный газ: $0,54 \cdot 500\,000 = 270\,000 \text{ т у.т./год}$;

-тепловая энергия:

$0,053 \cdot 900\,000 + 0,014 \cdot 600\,000 = 56\,100 \text{ т у.т./год}$.

Итоги деятельности металлургического завода:

Выход ВЭР	Выработка ВЭР, т у.т.		Соотношение выработки ВЭР, %
	возможная	фактическая	
Горючие	270 000	112 000	41,5
Тепловые	56 100	53 500	95,3
Общий объем ВЭР	326 100	165 500	50,7

Фактическое использование ВЭР составило половину возможного их выхода по заводу.

Практическое занятие № 4

Тема: Расчет экономии энергоресурсов в промышленности

Учебная цель: Изучить методику расчета экономии энергоресурсов в теплоэнергетике и промышленности

Рассмотрим некоторые задачи по расчету экономии энергоресурсов.

Задача 1.

Определить количество теплоты, отдаваемое уходящими газами котельной завода водяному экономайзеру (утилизатору), для получения горячей воды, если температура газов на выходе из экономайзера $t_{\text{вых}}^r = 200^\circ\text{C}$, температура газов на входе в экономайзер $t_{\text{вх}}^r = 320^\circ\text{C}$, коэффициент избытка воздуха за экономайзером $\alpha_{\text{эк}} = 1,4$, средняя объемная теплоемкость газов $c_{pr}^1 = 1,415 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$ и расчетный расход топлива одного котла $B_p = 0,25 \text{ кг/с}$. В котельной установлены два одинаковых котла ($n=2$), работающих на донецком каменном угле марки D состава: $C^p=49,3\%$; $H^p=3,6\%$; $S^p=3\%$; $N^p=1\%$; $O^p=8,3\%$; $A^p=21,8\%$; $W^p=13\%$.

Методические указания.

Теоретически необходимый объем воздуха определяется по формуле:

$$V^o = 0,089C^p + 0,226H^p + 0,033(S_n^p - O^p), \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Теоретический объем газов находится по формуле, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_r^o = 0,0187(C^p + 0,3755S_n^p) + 0,79V^o + 0,8 \frac{N^p}{100} + 0,0124(9H^p + W^p) + 0,016V^o$$

Расход уходящих газов перед экономайзером:

$$V_r = nB_p [V_o^r + (\alpha_r - 1)V^o] \frac{t_{\text{вх}}^r + 273}{273}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход уходящих газов за экономайзером:

$$V_r' = nB_p [V_o^r + (\alpha_r - 1)V^o] \frac{t_{\text{вых}}^r + 273}{273}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Средний расход уходящих газов при их охлаждении в экономайзере от 320°C до 200°C :

$$V_r^{\text{cp}} = \frac{(V_r + V_r')}{2}.$$

Количество теплоты, отдаваемое уходящими газами водяному экономайзеру:

$$Q_{\text{эк}} = V_r^{\text{cp}} \cdot C_{pr}^1 (t_{\text{вх}}^r - t_{\text{вых}}^r), \text{ кДж/с}.$$

Задача 2.

Определить количество использованной теплоты ВЭР при использовании выработанной теплоты в виде пара в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов трех промышленных печей, если температура газов на выходе из печей $\theta = 700^\circ\text{C}$, температура газов на выходе из котла-утилизатора $\theta' = 200^\circ\text{C}$, коэффициент избытка воздуха за котлом утилизатором $\alpha_y = 1,3$, расчетный расход топлива трех печей $B_p = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$; коэффициент, учитывающий несоответствие расчета и числа часов работы котла-утилизатора и печей, $\beta = 1,0$, коэффициент потерь теплоты котла – утилизатора в окружающую среду $\xi = 0,1$ и коэффициент утилизации ВЭР $\delta = 0,75$. Печи

работают на природном газе Ставропольского месторождения состава: $CO_2=0,2\%$; $CH_4=98,2\%$; $C_2H_6=0,4\%$; $C_3H_8=0,1\%$; $C_4H_{10}=0,1\%$; $N_2=1\%$.

Методические указания.

Теоретически – необходимый объем воздуха, m^3/m^3 :

$$V^o = 0,0478 \left[0,5(CO + H_2) + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n - O_2 \right]$$

Объем трехатомных газов:

$$V_{RO_2} = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n), m^3/m^3.$$

Теоретический объем азота:

$$V_{N_2}^o = 0,79V^o + N_2 / 100, m^3/m^3.$$

Теоретический объем водяных паров:

$$V_{H_2O}^o = 0,01(H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124d_r) + 0,016V^o, m^3/m^3,$$

где d_r – влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к $1 m^3$ сухого газа, $г/м^3$; $d_r=10г/м^3$.

Энтальпия газов на выходе из печей, $кДж/м^3$:

$$H_r = H_r^o + (\alpha_y - 1)H_b^o = V_{RO_2} \cdot (c\theta)_{CO_2} + V_{N_2}^o \cdot (c\theta)_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot (c\theta)_{H_2O} + (\alpha_y - 1)V^o (c\theta)_B$$

Значения $(c\theta)_{CO_2}$, $(c\theta)_{N_2}$, $(c\theta)_{H_2O}$, $(c\theta)_B$ определяются из Приложения 1.

Энтальпия газов на выходе из котла-утилизатора, $кДж/м^3$:

$$H_r' = H_o^r + (\alpha_y - 1)H_o^b = V_{RO_2} \cdot (c\theta')_{CO_2} + V_{N_2}^o \cdot (c\theta')_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot (c\theta')_{H_2O} + (\alpha_y - 1)V^o (c\theta')_B$$

Значения $(c\theta)_{CO_2}$, $(c\theta)_{N_2}$, $(c\theta)_{H_2O}$, $(c\theta)_B$ определяются из Приложения 1.

Количество выработанной теплоты в виде пара в котле – утилизаторе за счет теплоты уходящих газов:

$$Q_y = B_p (H_r - H_r') \beta (1 - \xi), кДж/с.$$

Количество использованной теплоты ВЭР:

$$Q_{ВЭР} = \delta Q_y, кДж/с.$$

Задача 3.

Определить экономию условного топлива при использовании теплоты вторичных энергоресурсов в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов двух промышленных печей, если температура газов на выходе из печей $\theta = 700^\circ C$, температура на выходе из котла-утилизатора $\theta = 200^\circ C$, коэффициент избытка воздуха за котлом – утилизатором $\alpha_y = 1,35$, расчетный расход топлива двух печей $B_p = 0,036 m^3/с$, коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы котла-утилизатора и печей, $\beta = 1,0$, коэффициент потерь теплоты котла-утилизатора в окружающую среду $\xi = 0,12$, КПД замещающей котельной $\eta_{кы} = 0,86$ и коэффициент утилизации ВЭР $\delta = 0,76$.

Печь работает на природном газе Шебелинского месторождения состава: $CH_4=94,1\%$; $C_2H_6=3,1\%$; $C_3H_8=0,6\%$; $C_4H_{10}=0,2\%$; $C_5H_{12}=0,8\%$; $N_2=1,2\%$.

Методические указания.

Теоретически необходимый объем воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V^o = 0,0478 \left[0,5(CO + H_2O) + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right]$$

Объем трехатомных газов:

$$V_{RO_2} = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n), \text{м}^3/\text{м}^3.$$

Теоретический объем азота:

$$V_{N_2}^o = 0,79V^o + \frac{N_2}{100}, \text{м}^3/\text{м}^3.$$

Теоретический объем водяных паров, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{H_2O}^o = 0,01(H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124d_r) + 0,016V^o$$

Энтальпия газов на выходе из печей, $\text{кДж}/\text{м}^3$:

$$H_r = H_r^o + (\alpha_y - 1)H_b^o = V_{RO_2} (c\theta)_{CO_2} + V_{N_2}^o \cdot (c\theta)_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot (c\theta)_{H_2O} + (\alpha_y - 1)V^o (c\theta)_B$$

Энтальпия газов на выходе из котла-утилизатора, $\text{кДж}/\text{м}^3$:

$$H_r' = H_r^o + (\alpha_y - 1)H_b^o = V_{RO_2} (c\theta')_{CO_2} + V_{N_2}^o \cdot (c\theta')_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot (c\theta')_{H_2O} + (\alpha_y - 1)V^o (c\theta')_B$$

Количество выработанной теплоты в виде пара в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов:

$$Q^y = B_p (H_r - H_r') \beta (1 - \xi), \text{кДж}/\text{с}.$$

Количество использованной теплоты ВЭР:

$$Q_{ВЭР} = \delta Q^y, \text{кДж}/\text{с}.$$

Экономия условного топлива при использовании теплоты вторичных энергоресурсов в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов:

$$B_{\text{эк}} = \frac{Q_{ВЭР}}{29330 \eta_{\text{кы}}}, \text{кг}/\text{с}.$$

Для усвоения методики расчета экономии энергоресурсов самостоятельно решить задачи 1, 2 и 3 со следующими данными:

№ п/п	Задача 1			Задача 2				Задача 3			
	$t_{\text{вых}}^r$	$t_{\text{вх}}^r$	B_p	θ	θ'	B_p	δ	θ	θ'	B_p	δ
1	200	330	0,21	650	200	0,03	0,74	650	150	0,036	0,71
2	190	320	0,22	700	190	0,04	0,75	660	200	0,035	0,72
3	180	350	0,25	660	180	0,06	0,73	670	160	0,034	0,73
4	190	360	0,23	670	170	0,05	0,72	700	170	0,033	0,76
5	200	370	0,24	680	160	0,07	0,71	680	180	0,032	0,74

Список литературы

1. <https://www.ecodocy.ru/spravochnye-materialy/metodicheskie-rekomendatsii-po-otsenke-obemov-obrazovaniya-otkhodov-proizvodstva-i-potrebleniya>
2. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов/ О.Л. Данилов, А.Б. Горяев, И.В. Яковлев и др.; под редакцией А.В. Клименко – М: Издательский дом МЭИ, 2011.
3. Методические рекомендации по разработке проекта нормативов предельного размещения отходов для теплоэлектростанций, теплоцентралей, промышленных и отопительных котельных/ ЗАО «ЭНЕРГОПОТЕНЦИАЛ», изд. Комитета по энергетике и инженерному обеспечению администрации СПб, 1998, -с.52

Приложение 1.

Энтальпия 1 м³ газов и влажного воздуха (кДж/м³)

$\theta, ^\circ\text{C}$	$(c\theta)_{\text{CO}_2}$	$(c\theta)_{\text{N}_2}$	$(c\theta)_{\text{O}_2}$	$(c\theta)_{\text{H}_2\text{O}}$	$(c\theta)_B$
1	2	3	4	5	6
100	169	130	132	151	132
200	357	260	267	304	266
300	559	392	407	463	403
400	772	527	552	626	542
500	996	664	699	794	684
600	1222	804	850	967	830
700	1461	946	1005	1147	979
800	1704	1093	1160	1335	1130
900	1951	1243	1319	1524	1281
1000	2202	1394	1478	1725	1436
1100	2457	1545	1637	1926	1595
1200	2717	1695	1800	2131	1754
1300	2976	1850	1963	2344	1913
1400	3240	2009	2127	2558	2076
1500	3504	2164	2294	2779	2239
1600	3767	2323	2461	3001	2403
1700	4035	2482	2629	3227	2566
1800	4303	2642	2796	3458	2729
1900	4571	2805	2968	3688	2897
2000	4843	2964	3139	3926	3064
2100	5115	3127	3307	4161	3232
2200	5387	3290	3483	4399	3399