

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Электротехнический факультет
Кафедра теплотехники и гидравлики

А. Г. ШЕМПЕЛЕВ

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Учебно-методическое пособие

Киров
2014

УДК 621.182/.183(07)

Ш465

Допущено к изданию методическим советом
электротехнического факультета ФГБОУ ВПО «ВятГУ»
в качестве учебно-методического пособия для студентов направления
140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника» всех профилей подготовки,
всех форм обучения

Рецензент

доктор технических наук, заведующий кафедрой теплотехники
и гидравлики ФГБОУ ВПО «ВятГУ» Е. И. Эфрос

Шемпелев А. Г.

Ш465 Обработка результатов испытаний котельного агрегата: учебно-методическое пособие / А. Г. Шемпелев – Киров : ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2014. – 23 с.

УДК 621.182/.183(07)

В издании излагаются методика и последовательность обработки результатов испытаний котельного агрегата. Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения курсовой работы студентами всех форм обучения специальности «Промышленная теплоэнергетика» и выпускается в соответствии с утвержденной рабочей программой курса «Планирование эксперимента и организация промышленных испытаний».

Тех. редактор А. В. Куликова

© ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2013

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа преследует цели углубленного изучения студентами методик обработки результатов испытаний теплотехнического оборудования предприятий, закрепления полученных знаний при обработке результатов испытаний конкретного объекта – парового котельного агрегата.

Испытания котельных установок в эксплуатационных условиях могут иметь различные задачи и выполняться самостоятельно или как часть комплекса исследовательских работ. Независимо от поставленных задач при испытаниях стремятся получить основные параметры, характеризующие надежность и экономичность котельной установки.

В эксплуатационных условиях наиболее часто проводятся приемочные, режимно-наладочные и контрольно-балансовые испытания.

Приемочные испытания чаще всего проводятся на головных образцах котлоагрегатов для проверки показателей, гарантированных поставщиком оборудования. Режимно-наладочные и контрольно-балансовые испытания проводятся на оборудовании, принятом в эксплуатацию. Основной целью режимно-наладочных испытаний является выбор оптимальных режимов работы оборудования, а контрольно-балансовых – проверка действующих режимных карт и качества работы обслуживающего персонала.

При проведении режимно-наладочных и контрольно-балансовых испытаний основные опыты выполняются как балансовые с целью определения потерь теплоты в котлоагрегате. Обработка результатов этих опытов позволяет получить основные технико-экономические показатели котельного агрегата.

Задачей данной курсовой работы является выполнение по данным результатов испытаний теплотехнических расчетов, характеризующих топливо и продукты горения, определение коэффициента избытка воздуха

и присосов воздуха в газоходы котла, составление теплового баланса котельного агрегата с определением отдельных потерь и к. п. д.

Курсовая работа должна быть выполнена в соответствии с полученным заданием и содержать:

- 1) Расчет показателей котлоагрегата, включая КПД методами прямого и обратного балансов.
- 2) Графики зависимости к. п. д. и тепловых потерь от производительности котла, и зависимость сопротивления газового тракта и удельного расхода электроэнергии на тягу и дутье от нагрузки котла.
- 3) Схему расстановки средств измерений при испытаниях котла (1 лист формата А3).

2. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

В результате испытаний и обработки опытных данных должны быть получены показатели котельного агрегата и его хвостовых поверхностей нагрева, характеризующие экономичность сжигания топлива, интенсивность работы топочной камеры, поверхностей нагрева, гидравлические сопротивления газового и воздушного тракта.

Все поступившее в котельный агрегат тепло расходуется на выработку полезного тепла (в виде пара или горячей воды) и на покрытие тепловых потерь, возникающих в процессе работы. Тепловым балансом котельного агрегата называют равенство между поступившей в него теплотой и суммой выработанной полезной теплоты и теплоты, израсходованной на покрытие тепловых потерь. Поступившую в котельный агрегат теплоту называют располагаемой теплотой. Располагаемая теплота (в кДж/кг) для твердого и жидкого топлива определяется по формуле

$$Q_p^p = Q_H^p + Q_{в.вн} + Q_m + Q_\phi - Q_k,$$

а для газообразного топлива $Q_p^p = Q_H^c + Q_{в.вн} + Q_m$,

где Q_H^p – низшая теплота сгорания рабочей массы твердого или жидкого топлива, кДж/кг;

Q_H^c – низшая теплота сгорания сухой массы газообразного топлива, кДж/м³; $Q_{в.вн}$ – теплота, внесенная в котельный агрегат воздухом при подогреве его вне агрегата отборным паром, отработанным паром или другим теплоносителем, кДж/кг, кДж/м³;

Q_m – физическая теплота, внесенная топливом, кДж/кг, кДж/м³; Q_ϕ – теплота, вносимая в агрегат при паровом распыле жидкого топлива, кДж/кг;

Q_k – теплота, затраченная на разложение карбонатов, учитывается только при сжигании сланцев, кДж/кг;

$$Q_{в.вн} = \beta (I_{x.в}^0 - I_в^0);$$

$$Q_m = c_m t_m;$$

$$Q_\phi = 0,35(h_\phi - 2520);$$

$$Q_k = 40,74k(CO_2)_k^p,$$

здесь β – отношение количества воздуха на входе в котельный агрегат (в воздухоподогреватель) к теоретически необходимому;

$I_в^0, I_{x.в}^0$ – теплосодержание теоретически необходимого количества воздуха на входе в котельный агрегат и холодного воздуха, кДж/кг;

C_m – удельная теплоемкость рабочего топлива, кДж/(кг·К) или кДж/(м³·К);

t_m – температура топлива, К;

k – коэффициент разложения карбонатов, принимаемый при слоевом сжигании равным 0,7; при камерном 1,0;

$(CO_2)_k^p$ – содержание углекислоты в карбонатах в рабочей массе, %.

Тепловой баланс составляется для установившегося теплового режима испытываемого котельного агрегата на 1 кг твердого и жидкого топлива или на 1 м³ газообразного топлива при нормальных условиях. Уравнение теплового баланса имеет вид

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где Q_1 – полезная теплота, выработанная котельным агрегатом, кДж/кг или кДж/м³;

Q_2 – потеря теплоты с уходящими продуктами горения, кДж/кг или кДж/м³; Q_3 – потеря теплоты от химической неполноты сгорания, кДж/кг или кДж/м³;

Q_4 – потеря теплоты от механической неполноты сгорания, имеет место только при сжигании твердого топлива, кДж/кг;

Q_5 – потеря теплоты в окружающую среду (от наружного охлаждения), кДж/кг или кДж/м³;

$Q_6 = Q_{6шл} + Q_{6охл}$ – потеря теплоты с физическим теплом шлака и потеря на охлаждение не включенных в циркуляционную схему котла панелей и балок ($Q_{6шл}$ имеет место только при сжигании твердого топлива), кДж/кг или кДж/м³.

Физическую теплоту, внесенную топливом (Q_m), следует учитывать только при сжигании мазута в форсунках любого типа, а теплоту, вносимую при паровом распыле (Q_{ϕ}), только при установке редко применяемых паровых форсунок. Теплота, внесенная в топку воздухом при подогреве его вне котельного агрегата, может не учитываться, если температура воздуха измеряется на входе в котельный агрегат (в воздухоподогреватель).

Это упрощает испытания и составление теплового баланса за счет исключения Q_p^p величины $Q_{в.вн}$.

Эксплуатационные и наладочные испытания обычно проводятся с определением к. п. д. котельной установки с точностью до ± 2 %/. Следовательно, при этих испытаниях физическая теплота топлива, вносимая с подогретым мазутом, может не учитываться, так как дает относительную погрешность при определении к. п. д. менее 0,8 %.

Уравнение теплового баланса котельного агрегата с учетом сказанного о располагаемой теплоте и потерях теплоты при сжигании различных топлив для твердого топлива (в кДж/кг) за исключением сланцев, примет вид

$$Q_H^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6;$$

для жидкого топлива (в кДж/кг)

$$Q_H^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5 + Q_{6охл};$$

для газообразного топлива (в кДж/м³)

$$Q_H^c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5 + Q_{6охл}.$$

Коэффициентом полезного действия (брутто) котельного агрегата называют отношение выработанной котельным агрегатом теплоты к располагаемой теплоте (в процентах):

$$\eta_{бp} = \frac{Q_1}{Q_p^p} \cdot 100.$$

Потери теплоты в котельном агрегате также относят к располагаемой теплоте (в процентах):

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_p^p} \cdot 100.$$

Разделив обе части уравнений на низшую теплоту сгорания рабочей массы топлива, получим уравнение теплового баланса котельного агрегата в следующем виде:

для твердого топлива (в процентах)

$$100 = \eta_{\text{бп}} + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6;$$

для жидкого и газообразного топлива (в процентах)

$$100 = \eta_{\text{бп}} + q_2 + q_3 + q_5 + q_{6\text{охл}}.$$

Из этих уравнений может быть определен к. п. д. котла (брутто), если известны потери теплоты.

В результате эксплуатационных испытаний при отсутствии продувки, отпуска насыщенного пара мимо пароперегревателя и вторичного перегрева пара к. п. д. котельного агрегата (в процентах) может быть определено и по уравнению

$$\eta_{\text{бп}} = \frac{D(h_n - h'_{\text{н.с}})}{BQ_n^p} \cdot 100,$$

где D – нагрузка котла, кг/с;

h_n – энтальпия перегретого пара или при отсутствии пароперегревателя энтальпия насыщенного пара, кДж/кг;

$h'_{\text{н.с}}$ – энтальпия питательной воды на входе в индивидуальный водяной экономайзер, кДж/кг;

B – расход топлива, кг/с или м³/с.

Определение к. п. д. по прямому балансу применяется при анализе работы установки за длительные промежутки времени (декада, месяц). При испытании котельных агрегатов этот метод применяется редко, так как связан с необходимостью определения расхода топлива. За короткое время опыта, особенно при сжигании твердого топлива в механических топках, расход топлива с достаточной точностью определить трудно. При испыта-

нии котельных агрегатов к. п. д. определяют по обратному балансу из уравнения, такое определение значительно точнее, особенно при высоких значениях к. п. д. современных котлоагрегатов.

3. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Методика обработки опытных данных имеет свои особенности в зависимости от вида сжигаемого топлива (твердое, жидкое или газообразное). Техника теплотехнических расчетов, базируясь на основных уравнениях, может развиваться в направлении их уточнения путем введения новых дополнительных факторов или в направлении упрощения расчета для облегчения применения его в инженерной практике. Последнее направление весьма перспективно, если оно не искажает сущности рассчитываемых физических процессов и обеспечивает необходимую точность решения практических вопросов. Советскими учеными создан ряд упрощенных методик теплотехнических расчетов. К ним относятся теплотехнические расчеты по обобщенным константам продуктов горения, разработанные проф. М. Б. Равичем, и теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива, наиболее полно разработанные проф. С. Я. Корницким и развитые в последнее время Я. Л. Пеккером. Упрощенные методики теплотехнических расчетов разработаны применительно к методу обратного баланса.

Опыт работы различных наладочных организаций и исследовательских институтов, выполнивших за последние годы большое количество испытаний котельных агрегатов, показал, что при сжигании газообразного и жидкого топлива обработку результатов эксплуатационных испытаний целесообразно производить по упрощенной методике, разработанной проф. М. Б. Равичем.

В основу упрощенной методики положены более стабильные характеристики, чем теплота сгорания топлива, которая испытывает заметные

колебания при изменении элементарного состава горючей массы топлива. При расчете по упрощенной методике используются следующие характеристики:

1) максимальная температура $t_{\text{макс}}$, развиваемая при полном сгорании топлива в теоретических условиях, т.е. при коэффициенте избытка воздуха, равном единице, без потерь теплоты (Д. И. Менделеев назвал эту величину жаропроизводительностью топлива);

2) количество теплоты, P , приходящееся на 1 м³ (при нормальных условиях) сухих продуктов горения, выделяющееся при полном сгорании рабочего топлива в теоретически необходимом количестве воздуха;

3) отношение B объемов сухих и влажных продуктов горения в теоретических условиях;

4) изменение h объема сухих продуктов горения в реальных условиях по отношению к объему сухих продуктов горения в теоретических условиях.

При обработке результатов испытаний по упрощенной методике не требуется определения теплоты сгорания топлива, что значительно сокращает время испытаний и обработки опытных данных. Так как упрощенная методика базируется на обобщенных константах продуктов горения, определение их состава должно выполняться тщательно.

Составление теплового баланса и расчет отдельных потерь теплоты производится в следующем порядке.

1. По результатам анализа продуктов горения определяется содержание $RO_{2\text{макс}}$:

при неполном горении
$$RO_{2\text{макс}} = \frac{100(RO_2 + CO + CH_4)}{100 - 4,76(O_2 - 0,5CO - 0,5H_2 - 2CH_4)}$$

при полном горении
$$RO_{2\text{макс}} = \frac{100RO_2}{100 - 4,76O_2}.$$

Если вид топлива известен, то полученное по анализу продуктов горения значение сравнивается с табличными данными. Заметное расхождение между значениями $RO_{2\text{макс}}$, подсчитанными по анализу продуктов горения, и табличными данными (более 0,3 %) указывает на ошибку анализа или на отклонение сжигаемого топлива от усредненных данных.

2. Определяется коэффициент, показывающий увеличение объема продуктов горения вследствие содержания в них избыточного воздуха по отношению к объему сухих продуктов горения в теоретических условиях,

$$h = \frac{RO_{2\text{макс}}}{RO_2 + CO + CH_4},$$

где $RO_{2\text{макс}}$ – максимальное суммарное содержание в сухих газах CO_2 и SO_2 (SO_2 образуется только при сжигании сернистых топлив). Значение $RO_{2\text{макс}}$ для природного газа, мазута и других газов приведено в табл. 1;

Таблица 1

Некоторые характеристики и коэффициенты газообразного и жидкого топлива, необходимые для составления теплового баланса

(по данным М. Б. Равича)

Топливо	Q_n^p для газа, кДж/м ³ , для жидкого топлива кДж/кг	$t_{\text{макс}}$, °C	Содержание $RO_{2\text{макс}}$, %	P , кДж/м ³	B
Природный газ	35 700	2010	11,8	4200	0,80
Нефтепромысловый газ	59 640	2050	13,2	4200	0,83
Коксовый газ	17 640	2090	10,4	4578	0,77
Доменный газ	4 116	1470	24,5	2604	0,98
Генераторный газ	1 200	1660	20,0	2940	0,91
Малосернистый мазут	39 354	2100	16,5	4053	0,88
Сернистый мазут	39 354	2100	16,0	4047	0,87
Соляровое масло	42 462	2098	15,6	4095	0,87

RO_2 , CO , CH_4 – суммарное содержание сернистого ангидрида и углекислого газа, содержание окиси углерода и метана в сухих продуктах горения по данным анализа при испытаниях, %.

3. Подсчитывается потеря теплоты с уходящими газами (в процентах): если $h > 1$,

$$q_2 = \frac{t_{yx} - t_{6.3}}{t_{\max}} [C' + (h - 1)KB] \cdot 100;$$

если $h < 1$,

$$q_2 = \frac{t_{yx} - t_{6.3}}{t_{\max}} C'h \cdot 100,$$

где t_{yx} – средняя температура уходящих газов по данным измерений при испытаниях, °С;

$t_{6.3}$ – средняя температура воздуха, забираемого вентилятором, а при его отсутствии температура воздуха, поступающего в горелки, по данным измерений при испытании, °С

$t_{\max}$ – жаропроизводительность топлива, принимается по данным табл.1;

l – коэффициент, характеризующий отношение произведения действительного объема воздуха, поданного в топку, и его удельной теплоемкости к произведению объема продуктов горения и их удельной теплоемкости (принимается для природного газа 0,85, а для жидкого топлива и нефтяных газов 0,9);

B – коэффициент, показывающий отношение объема сухих продуктов к объему влажных продуктов горения в теоретических условиях, принимается по табл. 1;

C' – поправочный коэффициент, показывающий отношение средневзвешенной удельной теплоемкости не разбавленных воздухом продуктов горения в температурном интервале от 0 °С до t_{yx} , к их средневзвешенной

удельной теплоемкости в температурном интервале от 0 °С до $t_{\text{макс}}$, принимается по данным табл. 2;

K – поправочный коэффициент, показывающий отношение средней удельной теплоемкости воздуха в температурном интервале от 0 °С до $t_{\text{ух}}$ к средневзвешенной удельной теплоемкости не разбавленных воздухом продуктов горения в температурном интервале от 0 °С до $t_{\text{макс}}$, принимается по данным табл. 2.

Таблица 2

Поправочные коэффициенты C' и K для газообразного и жидкого топлива (по данным М. Б. Равича)

Температура уходящих продуктов горения $t_{\text{ух}}$, °С	Поправочные коэффициенты			
	при жаропроизводительности $t_{\text{макс}} > 1800^\circ\text{С}$		при жаропроизводительности $t_{\text{макс}} < 1800^\circ\text{С}$	
	C'	K	C'	K
100	0,82	0,78	0,83	0,79
200	0,83	0,78	0,84	0,79
300	0,84	0,79	0,86	0,80
400	0,86	0,80	0,87	0,81
500	0,87	0,81	0,88	0,82
600	0,88	0,82	0,90	0,83
700	0,89	0,83	0,91	0,84
800	0,90	0,83	0,92	0,85
900	0,91	0,84	0,93	0,86
1000	0,92	0,85	0,94	0,87

4. Вычисляется потеря теплоты от химической неполноты горения

(в процентах):
$$q_3 = \frac{127,84CO + 118,36H_2 + 359,31CH_4}{P} \cdot h \cdot 100,$$

где P – низшая теплота сгорания рабочего топлива, отнесенная к 1 м^3 (при нормальных условиях) сухих продуктов сгорания, образующихся при сжигании топлива в теоретических условиях, принимается по данным табл. 1;

CO, H_2, CH_4 – содержание окиси углерода, водорода и метана в уходящих продуктах горения по данным анализа, %.

Для точного сведения теплового баланса и определения потерь теплоты при сжигании твердого топлива необходимо при испытании взвешивать топливо и очаговые остатки, произвести лабораторный анализ отобранных проб с определением не только теплоты сгорания, влажности и зольности, но элементарного состава: содержание углерода, водорода азота и серы (содержание кислорода получают вычитанием, считая, что сумма влаги, золы, углерода, водорода, азота, кислорода и серы, в аналитической пробе должна быть равна 100 %).

При испытании в эксплуатационных условиях серийных котельных агрегатов с целью составления режимных карт для эксплуатационного персонала едва ли целесообразно взвешивание топлива и очаговых остатков, а следовательно, и точное сведение теплового баланса.

Взвешивание топлива и очаговых остатков с подробным анализом сжигаемого топлива целесообразно производить при исследовании новых конструкций котлоагрегатов или при испытании серийных котлоагрегатов на новых видах топлива. При таких испытаниях сведения теплового баланса следует производить по нормативному методу теплового расчета, разработанному ЦКТИ им. И. И. Ползунова и ВТИ им. В. Э. Дзержинского.

При эксплуатационных испытаниях котельных агрегатов, во время которых не взвешивается топливо и очаговые остатки, а анализ производится с определением только теплоты сгорания, зольности и влажности, сведение теплового баланса может производиться по упрощенной методике, разработанной С. Я. Корницким и развитой в последние годы Я. Л. Пеккером. В этой методике используются приведенные характеристики топлива. Расчеты по приведенным характеристикам топлива основаны на отнесении

расчетных величин и характеристик к теплоте сгорания топлива в отличие от общепринятой методики, основанной на отнесении их к 1 кг топлива.

При расчете по обобщенной методике определяющей характеристикой топлива является приведенная влажность W^n . Под приведенной влажностью принимают отношение массы влаги, содержащейся в топливе, к его низшей рабочей теплоте сгорания. Аналогично пользуются приведенной зольностью, приведенным содержанием серы и т. д. Однако выражение приведенной влажности, зольности, содержания серы в кг/кДж неудобно, так как пришлось бы использовать величины W^n , A^n , S^n выражались целыми числами, относят массу влаги, золя и серы не к 1 кДж, а к 1000 кДж низшей теплоты сгорания рабочей массы топлива. Рабочая влажность, зольность и сернистость измеряются в 10^5 кг/кДж.

Составление теплового баланса с расчетом отдельных потерь тепла и определением других параметров, характеризующих работу котла при сжигании твердого топлива, производится в следующем порядке.

1. По данным лабораторных анализов топлива подсчитывается приведенная влажность, зольность, сернистость (в 10^5 кг/кДж):

$$W^n = \frac{1000W^P}{Q_H^P}; \quad A^n = \frac{1000A^P}{Q_H^P}, \quad S^n = \frac{1000S^P}{Q_H^P},$$

где W^P, A^P, S^P – содержание влаги, золы и серы в рабочем топливе, %;

Q_H^P – низшая теплота сгорания рабочей массы топлива, кДж/кг.

2. Определяется теоретическое количество воздуха, необходимое для горения, и теоретическое количество продуктов горения ($\text{м}^3/\text{кг}$)

$$V_o = a \frac{Q_H^P + 25,2W^P}{4200};$$
$$V_o^z = b \frac{Q_H^P + 25,2W^P}{4200} + 0,0124W^P,$$

где a, b – коэффициенты, усредненные по группам топлив, принимаются по данным табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты, входящие в формулы

Вид топлива	Значения коэффициентов		
	a	b	K_1
Антрациты и полуантрациты	1,10	1,140	$3,50+0,084W^n$
Тощие угли	1,10	1,480	$3,50+0,084W^n$
Каменные (пламенные) угли	1,10	1,168	$3,50+0,084W^n$
Бурые угли: $V^2 \leq 45\%$ $V^2 > 45\%$	1,10	1,178	$3,46+0,884W^n$
	1,10	1,188	
Сланцы с $V^2 \approx 80\%$	1,10	1,228	$3,45+0,884W^n$
Торф	1,075	1,200	$3,42+0,884W^n$
Дрова	1,05	1,227	$3,33+0,84W^n$
	Значения коэффициентов		
	C		b_1
Антрациты и полуантрациты	$0,32+0,168W^n$		0,11
Тощие угли	$0,32+0,168W^n$		0,12
Каменные (пламенные) угли	$0,4+0,168W^n$		0,16 при $W^n \leq 0,72$; $0,12+0,0588W^n$ при $W^n > 0,72$
Бурые угли: $V^2 \leq 45\%$ $V^2 > 45\%$	$0,51+0,177W^n$		$0,016+0,0462W^n$
Сланцы с $V^2 \approx 80\%$	$0,65+0,181W_n$		$0,19+0,0504W^n$
Торф	$0,76+0,185W_n$		$0,25+0,042W^n$
Дрова	$0,8+0,185W_n$		$0,25+0,042W^n$

3. Подсчитываются по данным анализа очаговых остатков потеря теплоты от механического недожога в шлаке, провале и уносе, а также потеря теплоты от механического недожога (в процентах)

$$q_4^{шл} = a_{шл} \frac{\Gamma_{шл} A^p}{100 - \Gamma_{шл}} \cdot \frac{32760}{Q_H^p};$$

$$q_4^{np} = a_{np} \frac{\Gamma_{np} A^p}{100 - \Gamma_{np}} \cdot \frac{32760}{Q_H^p};$$

$$q_4^{ун} = a_{ун} \frac{\Gamma_{ун} A^p}{100 - \Gamma_{ун}} \cdot \frac{32760}{Q_H^p};$$

$$q_4 = q_4^{шл} + q_4^{np} + q_4^{ун},$$

где $a_{шл}, a_{np}, a_{ун}$ – доля золы топлива, перешедшая в шлак, провал и унос; $a_{шл}$ и $a_{ун}$ принимаются в зависимости от способа сжигания топлива и типа топки из табл. 9.4; a_{np} для современных топок мало и может не учитываться;

$\Gamma_{шл}, \Gamma_{np}, \Gamma_{ун}$ – содержание горючих в шлаке, провале, уносе по данным лабораторных анализов проб, отобранных во время испытаний, %;

32760 – коэффициент, равный удельной теплоте сгорания уноса (углерода). кДж/кг.

Таблица 4

Доля золы топлива, перешедшая в шлак и унос
(по данным «Норм теплового расчета котельных агрегатов»)

Вид топлива	Значение $a_{шл}$ (числитель) и $a_{ун}$ (знаменатель) для топок					
	с цепной решеткой прямого хода	с пневматическими забрасыва- телями и цепной решеткой обратного хода	с пневматическими забрасыва- телями и цепной решеткой прямого хода	с пневматическими забрасыва- телями и неподвижной ре- шеткой	камерных с твердым шлако- удалением	камерных открытого типа с жидким шлакоудалением для котлов производительностью более 75 т/ч
1	2	3	4	5	6	7
Донецкий антрацит АС и АМ с $A^n = 0,47$	$\frac{0,9}{0,1}$	—	—	—	—	—
Каменные угли типа кузнецких Г и Д с $A^n = 0,33$	—	$\frac{0,80}{0,20}$	$\frac{0,80}{0,20}$	$\frac{0,84}{0,16}$	$\frac{0,05}{0,95}$	$\frac{0,20}{0,80}$
Каменные угли типа донецкий Г и Д с $A^n = 0,76$	—	$\frac{0,83}{0,17}$	$\frac{0,83}{0,17}$	$\frac{0,83}{0,17}$	$\frac{0,05}{0,95}$	$\frac{0,20}{0,80}$
Бурые угли типа артемовского угля с $W^n = 0,75$; $A^n = 1,0$	—	$\frac{0,81}{0,19}$	$\frac{0,81}{0,19}$	$\frac{0,85}{0,15}$	$\frac{0,05}{0,95}$	$\frac{0,20}{0,80}$
Бурые угли типа веселовского угля с $W^n = 0,75$; $A^n = 1,55$	—	$\frac{0,85}{0,15}$	$\frac{0,85}{0,15}$	$\frac{0,87}{0,13}$	$\frac{0,05}{0,95}$	$\frac{0,20}{0,80}$
Бурые угли типа ирша- бородинского угля с $W^n = 2,1$; $A^n = 1,1$	—	$\frac{0,73}{0,27}$	—	$\frac{0,78}{0,22}$	$\frac{0,05}{0,95}$	$\frac{0,20}{0,80}$
Бурые угли типа подмосковного угля с $W^n = 3,04$; $A^n = 2,1$	—	$\frac{0,89}{0,11}$	—	$\frac{0,89}{0,11}$	$\frac{0,05}{0,95}$	$\frac{0,20}{0,80}$
Фрезерный торф	—	—	—	—	$\frac{0,05}{0,95}$	—

4. Определяется коэффициент избытка воздуха по данным газового анализа для всех видов топлива по уточненной углекислотной или кислородной формуле:

$$\alpha_{mч} = K_{\alpha} \alpha_{np} = K_{\alpha} \frac{RO_{2\max}}{RO_2};$$

$$\alpha_{mч} = K_{\alpha} \alpha_{np} = K_{\alpha} \frac{21}{21 - O_2},$$

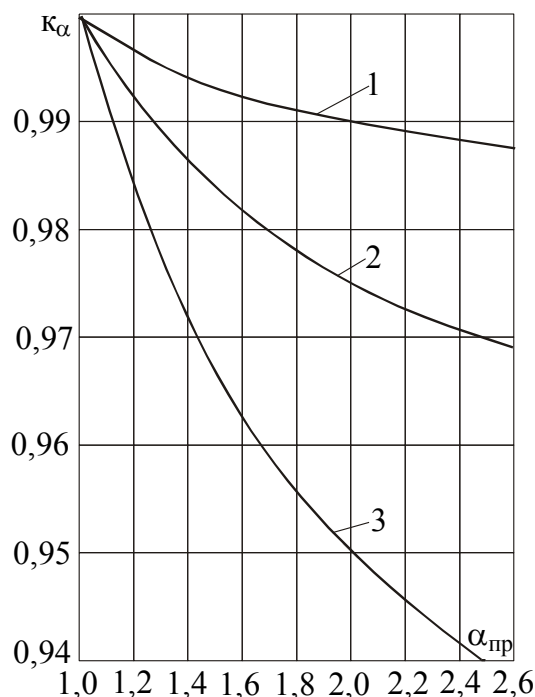


Рис. 1. Поправочный коэффициент для определения коэффициента избытка воздуха:

- 1 – все твердые топлива;
- 2 – мазут;
- 3 – природные и нефтяные газы

где α_{np} – приближенное число коэффициентов избытка воздуха, подсчитанное по углекислотной или кислородной формуле:

$$\alpha_{np} = \frac{RO_{2\max}}{RO_2};$$

$$\alpha_{np} = \frac{21}{21 - O_2},$$

где RO_2 – максимальное содержание в продуктах горения CO_2 и SO_2 , подсчитывается по формуле;

K_{α} – поправочный коэффициент, определяется из графика на рис. 1 по приближенному значению коэффициента избытка воздуха (α_{np}).

5. Подсчитывается потеря тепла с уходящими газами (в процентах) по формуле, уточненной Я. Л. Пеккером:

$$q_2 = \left(K_1 \alpha_{yx} + C \right) \left(t_{yx} - \frac{\alpha_{yx}}{\alpha_{yx} + b_1} t_{x.в} \right) A_t \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \cdot 10^{-2},$$

где K_1, C, b_1 – коэффициенты, зависящие от сорта и приведенной влажности топлива; значения их, усредненные по группам топлив, приведены в табл. 3;

t_{yx}, α_{yx} – соответственно температура уходящих продуктов горения и коэффициент избытка воздуха в балансовой точке, °С;

$t_{x.в}$ – температура воздуха, забираемого дутьевым вентилятором, °С;

q_4 – суммарная потеря тепла от механического недожога, %;

A_t – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры на теплоемкость продуктов горения, определяется по формуле

$$A_t = 1 + 0,013 \frac{t_{yx} - 550}{100}.$$

6. Подсчитывается потеря теплоты от химической неполноты сгорания для всех твердых топлив (в процентах):

$$q_3 = 0,11(126,84CO + 118,36H_2 + 359,31CH_4)(\alpha_{yx} - 0,02)(1 + 0,0252W^n)(1 - 0,01q_4),$$

где CO_2, H_2, CH_4 – содержание окиси углерода, водорода и метана в балансовой топке, %.

7. Потеря теплоты в окружающую среду при работе котельных агрегатов на всех видах топлива с номинальной нагрузкой определяется по графику (рис. 9.2). При нагрузках, отличающихся от номинальной, потеря теплоты в окружающую среду (в процентах) подсчитывается по формуле

$$q_5 = q_{5н} \frac{D_n}{D},$$

где D_n – номинальная нагрузка котла, т/ч;

D – действительная нагрузка котла при испытании, т/ч;

$q_{5н}$ – потеря в окружающую среду, определенная по графику (рис. 2), %.

8. При сжигании твердых топлив в слоевых топках и камерных с жидким шлакоудалением потеря тепла с физически теплом шлаков (в процентах) определяется по формуле

$$q_{6\text{шл}} = \alpha_{\text{шл}} q'_{6\text{шл}},$$

где $q'_{6\text{шл}}$ т – определяется из графика на рис. 3.

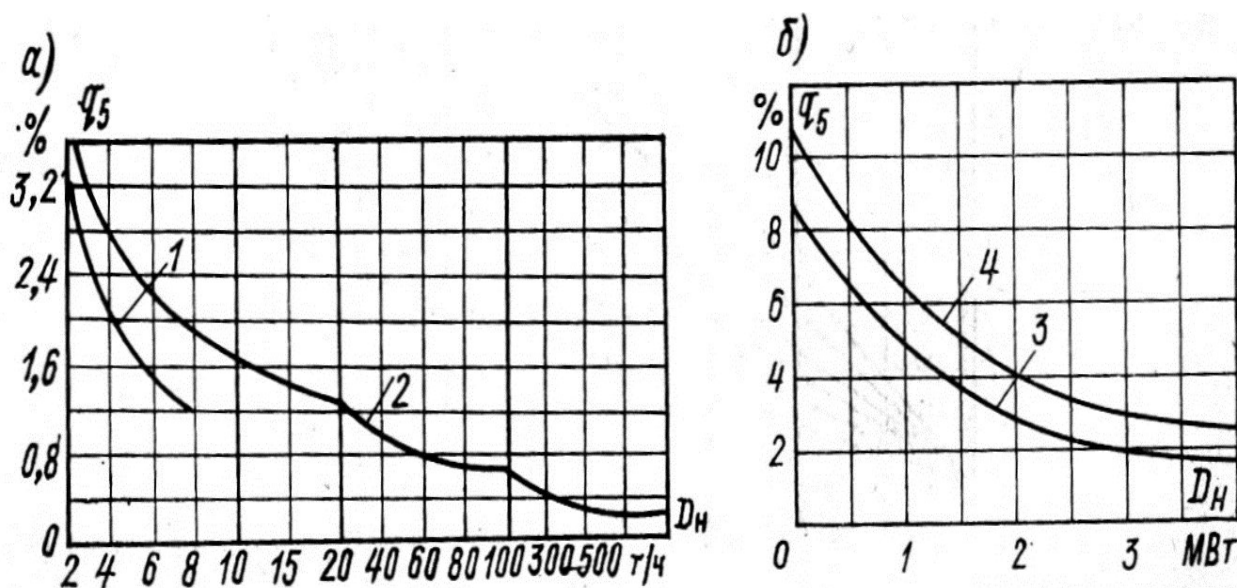


Рис. 2. Графики для определения потери теплоты в окружающую среду:

а) – для паровых котлов; б) – для водогрейных и малых паровых котлов

1 – собственно котел; 2 – котел с хвостовыми поверхностями;

3 – без экономайзера; 4 – с экономайзером

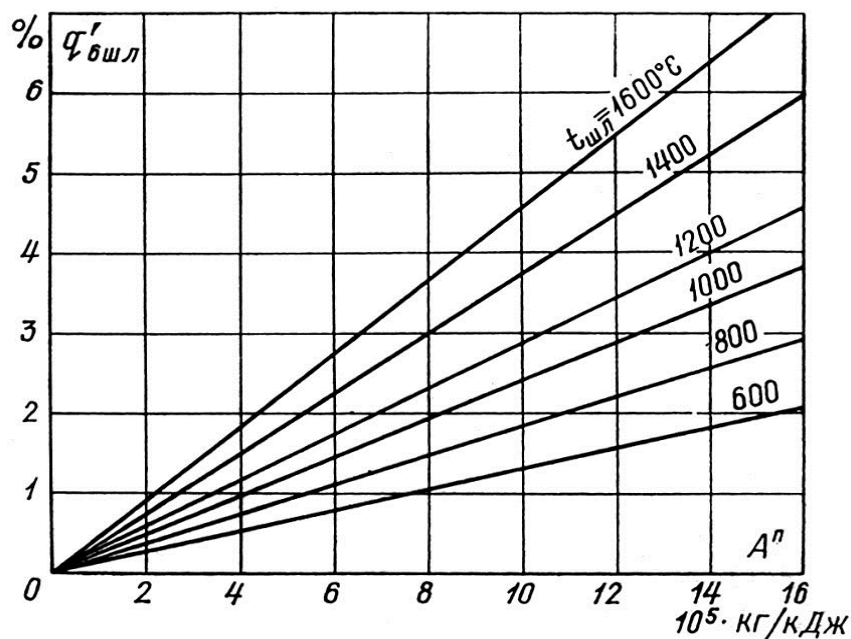


Рис. 3. Зависимость потери с физическим теплом шлаков от приведенной зольности топлива и температуры шлака

Содержание

1. Цели и задачи курсовой работы.....	3
2. Тепловой баланс котельного агрегата.....	4
3. Методика обработки результатов испытаний.....	9

Литература

1. ОСТ 108.030.132-80. Котлы паровые стационарные. Методы испытаний [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.01.1981. – Ленинград, 1980. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».
2. РД 153-34.1-37.313-00. Методика теплотехнических испытаний паровых стационарных котлов с естественной циркуляцией [Электронный ресурс]. – Прин. 14.01.2000 ; действ. с 01.12.2001. – Москва : СПО ОРГРЭС, 2001. – Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».
3. РД 34.25.514-96. Методические указания по составлению режимных карт котельных установок и оптимизации управления ими [Электронный ресурс]. – Действ. с 01.01.1998. – Москва : СПО ОРГРЭС, 1998. - Доступ из справ.-поиск. системы «Техэксперт».
4. Эстеркин, Р. И. Эксплуатация, наладка и испытание теплотехнического оборудования промышленных предприятий [Текст] : учебник / Р. И. Эстеркин. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1984. – 288 с.

Учебное издание

А. Г. ШЕМПЕЛЕВ

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Учебно-методическое пособие

Подписано к использованию 27.03.2014. Заказ № 632.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятский государственный университет»
610000, г. Киров, ул. Московская, 36, тел.: (8332) 64-23-56, <http://vyatsu.ru>