

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Соловьев Дмитрий Александрович

Должность: ректор ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

Дата подписания: 26.04.2021 16:15:53

Уникальный программный ключ:

5b8335c1f3d6e7bd91a51b28834cdf2b81866538

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Саратовский государственный аграрный университет

имени Н.И. Вавилова»

**Методические указания по выполнению  
курсовой работы «Определение эффективности применения  
котла-утилизатора» по дисциплине «Энергосбережение в  
теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях»**

для студентов 4 курса

Направление подготовки

**Теплоэнергетика и теплотехника**

Направленность (профиль)

**Энергообеспечение предприятий**

**САРАТОВ 2019**

**Методические указания по выполнению курсовой работы «Определение эффективности применения котла-утилизатора» по дисциплине «Энергосбережение в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях» для студентов направления подготовки Теплоэнергетика и теплотехника/ Сост.: В.А. Глухарев, Д.В. Сивицкий // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2019. – 23 с.**

Методические указания направлены на формирование навыков по эффективному использованию энергии на основе нормативно-правовой базы энергосбережения, по разработке и осуществлению мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на производстве. Материал ориентирован на вопросы профессиональной компетенции будущих специалистов в области теплоэнергетики и теплотехники.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Для закрепления знаний теоретических основ энергосбережения в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях, практического их применения и приобретение навыков пользования ГОСТами, СНиПами, справочниками, учебной и научной литературой в разрезе дисциплины «Энергосбережение в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях» предусмотрена курсовая работа.

В объеме курсовой работы студенты выполняют расчеты котла-утилизатора, по результатам которых производят заключение об эффективности энергосберегающего мероприятия: установки в теплотехнологической схеме дополнительного устройства для использования вторичных ресурсов. Каждый студент по заданию производит расчеты котла-утилизатора при заданных параметрах.

Методические указания содержат методики по расчеты основных устройств котла-утилизатора. Приводятся правила оформления расчетно-пояснительной записки и графической части курсовой работы.

## 1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из текстовой и графической частей. Текстовая часть включает в себя пояснительную записку и спецификации к графической части работы.

Пояснительная записка курсовой работы содержит:

- Титульный лист
- Задание
- Содержание
- Введение
- Расчетная часть:
  - расчет энтальпии газов и параметров пара и воды
  - тепловой баланс и паропроизводительность котла-утилизатора
  - расчет пароперегревателя
  - расчет испарителя
  - расчет экономайзера
- Заключение
- Список литературы
- Приложения

Титульный лист является первым листом пояснительной записки и включает наименование министерства, университета, факультета и кафедры, наименование курсовой работы, подписи преподавателя и студента, и оформляется по образцу, приведенному в приложении А.

Задание на выполнение курсовой работы выдается каждому студенту в соответствии с индивидуальным номером варианта по данным таблицы приложение Б.

Текстовый материал пояснительной записки выполняется машинописным способом в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-2001 ЕСКД «Общие требования к текстовым документам» на одной стороне листа формата А4 (210 × 297 мм) с рамкой и основной надписью в соответствии с ГОСТ 2.104-2006 по форме 2 (40 × 185 мм) для заглавного листа и по форме 2а (15 × 185 мм) – для последующих листов. Шрифт машинописи или высота букв и цифр в рукописи должны быть не менее 2,5 мм с двойным интервалом (в компьютерном наборе шрифт «Times New Roman», начертание «обычный», размер «14», междустрочный интервал «полutorный»).

При оформлении текста пояснительной записки от рамки формы текстового документа до границ текста следует оставлять: в начале строк не менее 5 мм, в конце строк не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до рамки формы должно быть не менее 10 мм. Каждый абзац начинают, отступая 12,5 мм от левой границы текста.

Каждый раздел работы должен начинаться с новой страницы. Подразделы следуют друг за другом без вынесения последующего на новую страницу, за исключением случая, когда подраздел начинается внизу страницы, а после заголовка на странице остается менее двух-четырех строк основного текста. В структуру пояснительной записки могут быть введены пункты и подпункты. Каждый подраздел должен отступать от предыдущего текста на 15 мм. Расстояния между заголовком раздела и последующим заголовком подраздела должно составлять 10 мм.

Разделы должны иметь сквозную нумерацию в пределах всей записки и обозначаться арабскими цифрами без точки. Исключение составляют разделы «Содержание», «Введение», «Заключение», «Список литературы» и «Приложения», которые не нумеруются. Если документ имеет подразделы, то нумерация подразделов должна быть в пределах раздела, а нумерация пункта должна состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Все листы записки должны быть последовательно пронумерованы проставлением номера в соответствующую графу основной надписи каждого листа. Нумерация листов должна быть сквозной от титульного листа до последнего.

Спецификацию составляют на отдельных листах на каждую сборочную единицу и оформляют согласно ГОСТ 2.106-96 на листах формата А4 с основной надписью по форме 2 и 2а. При брошюровании пояснительной записки спецификации вкладываются как приложения.

Графическая часть курсовой работы состоит из 2 листов формата А1, на которых представляются сборочный чертеж котла-утилизатора (на листе с основной надписью по форме 1 (55×185 мм)) и принципиальная схема котла-утилизатора (на листе с основной надписью по форме 2). Допускается выполнение схемы на листах формата А2.

## 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОТЛАХ-УТИЛИЗАТОРАХ

**Назначение и виды.** В процессе работы некоторых технологических установок, таких как печи различного назначения, газотурбинные электростанции и газоперекачивающие установки, образуется большое количество выхлопных газов, температура которых доходит до нескольких сотен градусов. Это огромное количество тепловой энергии, выбрасывать которую в атмосферу не только неразумная трата денег, но еще и большой вред для экологии.

Для полезного использования тепла уходящих газов были разработаны котлы-утилизаторы. Котлы-утилизаторы (КУ) представляют собой теплообменные устройства, передающие тепловую энергию, содержащуюся в выхлопных газах, другим теплоносителям, в качестве которых может выступать вода или термальное масло. Конструктивной особенностью котлов-утилизаторов является отсутствие собственной горелки. В ней просто нет необходимости ввиду того, что в котле не происходит сгорание топлива.

### **Практическое применение котлов-утилизаторов.**

В качестве реального примера применения котлов-утилизаторов можно привести нефтеперерабатывающие и металлургические заводы. В процессе переработки нефти или плавки металла образуется огромное количество энергии, которую никак невозможно применить в производственном процессе кроме, как пустить на котел-утилизатор и использовать для других целей, таких как отопление помещений, горячее водоснабжение (ГВС), кондиционирование (производство холода), или производство пара для покрытия сторонних технологических нужд.

На НПЗ применяются термомасляные котлы утилизаторы, в которых температура теплоносителя может достигать 350<sup>0</sup>С. Этой температуры вполне достаточно для того, чтобы постоянно поддерживать нефтепродукты с высокой вязкостью, такие как мазут, гудрон и битум, в жидком состоянии. Это дает возможность в любой момент произвести перекачку нефтепродуктов и их отгрузку потребителю.

На металлургических заводах посредством котлов-утилизаторов тепло отходящих газов передается воде. В результате этого образуется большое количество пара, часть из которого служит для обеспечения процесса плавки стали, а часть идет на бытовые нужды (отопление, подогрев воды).

Котлы-утилизаторы стали неотъемлемой частью следующих объектов: нефтеперерабатывающие заводы, предприятия черной и цветной металлургии; газотурбинные и газопоршневые электростанции единичной мощностью от 1000кВт до 18 МВт; газоперекачивающие компрессорные станции; хлебопекарные заводы; производства резинотехнических изделий; фармацевтические предприятия; производства смол и пластиков; производства электронных компонентов и др.

### **Классификация котлов-утилизаторов.**

Котлы-утилизаторы классифицируются по назначению и по конструктивным особенностям.

По назначению котлы-утилизаторы подразделяются на следующие виды:

- водогрейные,
- паровые,
- термомасляные.

По конструкционным особенностям выделяют две группы:

- змеевиковые, служащие для подогрева диатермического масла и выработки пара,
- жаротрубные, применяемые для производства пара и горячей воды.

Кроме того, можно выделить котлы-утилизаторы с вертикальной и горизонтальной конструкцией теплообменников. Еще одним конструкционным отличием котлов-утилизаторов является наличие или отсутствие пароперегревателей.

### **Влияние котлов-утилизаторов на экологию.**

Использование котлов-утилизаторов в производственных процессах оказывает благотворное влияние на экологическую обстановку. Во-первых, котлы-утилизаторы снижают выброс тепловой энергии в окружающую среду. Во-вторых, позволяют значительно сократить сжигание твердого, жидкого или газообразного углеводородного топлива, а это, в свою очередь позволяет уменьшить выбросы парниковых газов (окиси углерода CO и оксиды азота NOx).

Это снижает влияние теплоэнергетики и других технологий на климат, позволяет предприятию зарабатывать на снижении издержек за счет экономии топлива.

### 3. РАСЧЕТ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА

Котлы–утилизаторы серии КУ предназначены для выработки перегретого пара на основе использования физического тепла газов.

Основными элементами котла-утилизатора являются барабан, испарительная поверхность нагрева, пароперегреватель и водяной экономайзер. В отдельных случаях могут отсутствовать пароперегреватель или водяной экономайзер, или оба вместе. Принципиальная расчетная схема котла-утилизатора дана на рисунке 1. При начальной температуре газов ниже 800°С пароперегреватель, как правило, располагается первым по ходу газов. Приведенный ниже порядок теплового расчета котла-утилизатора как раз и рассматривает этот чаще всего встречающийся на практике случай.

Для реальных условий эксплуатации необходимо уметь оценивать производительность имеющегося оборудования при различных расходах и параметрах отходящих газов. Целью расчета является определение количества теплоты, воспринимаемой имеющимися поверхностями нагрева и паропроизводительности котла-утилизатора при заданных параметрах.

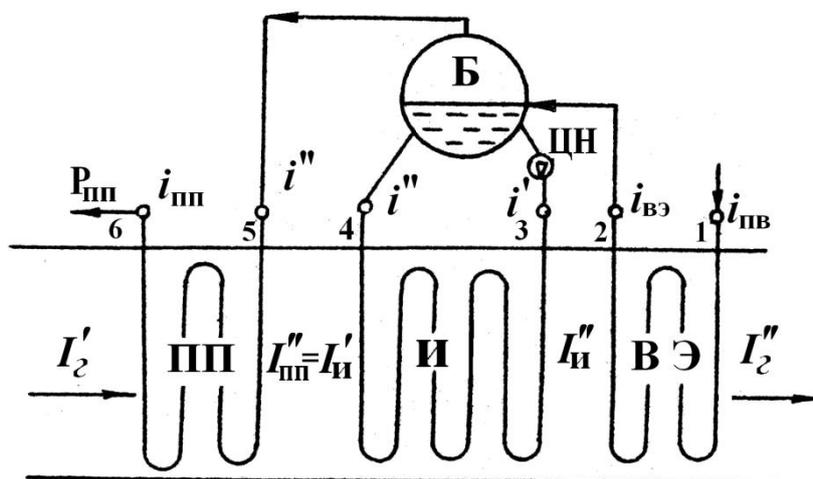


Рисунок 1. Схема котла-утилизатора:

Б - барабан; ВЭ - водяной экономайзер; И - испаритель; ПП - пароперегреватель; ЦН - циркуляционный насос; 1, 2, 3, 4, 5, 6 - коллекторы экономайзера, испарителя и пароперегревателя соответственно

#### 3.1. РАСЧЕТ ЭНТАЛЬПИИ ГАЗОВ И ПАРАМЕТРОВ ПАРА И ВОДЫ

Объемная теплоемкость газов при входе в котел-утилизатор подсчитывается как теплоемкость смеси газов при температура газов перед котлом-утилизатором по формуле:

$$c_p = \sum c_{p_i} r_i, \quad (1)$$

где  $c_{p,i}$  - объемные теплоемкости компонентов смеси при постоянном давлении при  $t'_Г$ , кДж/(м<sup>3</sup>·К) (П.1);

$r_i$  - объемные доли компонентов смеси

Объемная теплоемкость газов на выходе из котла рассчитывается аналогично по формуле (1) по заданной температуре  $t''_Г$ .

Энтальпия газов на входе в котел-утилизатор, кДж/м<sup>3</sup>:

$$I'_2 = c_p t'_2. \quad (2)$$

Энтальпия газов на выходе из котла-утилизатора, кДж/м<sup>3</sup>:

$$I''_2 = c_p t''_2. \quad (3)$$

По вычисленным значениям  $I'_2$  и  $I''_2$  строят график зависимости изменения энтальпии газов в газоходах котла. Зависимость  $I_2$  от изменения  $t_2$  линейная и для построения графика достаточно двух точек. При дальнейшем расчете, определив из уравнения теплового баланса энтальпию газов в том или ином газоходе, по  $I-t$  диаграмме определяют температуру газов.

Энтальпию перегретого пара  $i_{mn}$  при заданных значениях температуры  $t_{mn}$  и давления  $P_{mn}$  перегретого пара находят по  $i-s$  диаграмме (П.2). Для этого находят точку пересечения изотермы с изобарой, и проецируют ее на ось энтальпий.

Определяют давление пара в барабане, представляющим собой сумму давления перегретого пара и гидравлического сопротивления пароперегревателя  $\Delta P \approx 0,1 P_{mn}$ :

$$P_6 = P_{mn} + \Delta P. \quad (4)$$

Определяют по  $i-S$  диаграмме температуру пара в барабане  $t_s$  и его энтальпию  $i''$ , при условии, что степень сухости пара, выходящего из барабана,  $x=1$ . Для этого находят точку пересечения изобары при давлении  $P_6$  с линией соответствующей сухости пара  $x=1$ .

Спроецировав полученную точку на ось энтальпий определяют энтальпию пара в барабане, а его температура соответствует изотерме, проходящей через найденную точку.

Предполагая, что вода в барабане находится при той же температуре что и пар, определяют ее энтальпию  $i'$  (П.3).

Определяют энтальпию питательной воды, кДж/кг:

$$i_{нв} = 4,19 t_{нв} \quad (5)$$

### 3.2. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС И ПАРПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА

Принимается коэффициент сохранения тепла  $\varphi=(0,95...0,98)$ .

Теплота, отданная дымовыми газами, кВт:

$$Q_{\Gamma} = \varphi G_0 (I'_{\Gamma} - I''_{\Gamma}) / 3600, \quad (6)$$

где  $G_0$  - объемный расход газов при нормальных условиях, м<sup>3</sup>/ч.

Паропроизводительность, кг/с:

$$D_{пп} = Q_{\Gamma} / [(i_{пп} - i_{пв}) + \psi_1 (i' - i_{пв})], \quad (7)$$

где  $\psi_1$  - величина непрерывной продувки котла, (принимаемая 0,03...0,05).

### 3.3. РАСЧЕТ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

Теплота, идущая на перегрев пара, кВт:

$$Q_{nn} = D_{nn} (i_{nn} - i'') \quad (8)$$

Энтальпия газов за пароперегревателем, кДж/м<sup>3</sup>:

$$I''_{\text{гп}} = I'_r - 3600Q_{\text{гп}} / (G_o \cdot \varphi) \quad (9)$$

По построенному ранее графику зависимости  $I_z$  от изменения  $t_z$  определяется температура газов за пароперегревателем  $t''_{\text{гп}}$ .

Большая разность температур, °С:

$$\Delta t_{\delta} = (t'_e - t''_s) \quad (10)$$

Меньшая разность температур, °С:

$$\Delta t_m = (t''_{\text{гп}} - t_{\text{гп}}) \quad (11)$$

Температурный напор, °С:

$$\Delta t = \frac{(\Delta t_{\delta} - \Delta t_m)}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_m)} \quad (12)$$

Средняя температура дымовых газов в пароперегревателе, °С:

$$t_r = (t'_r + t''_{\text{гп}}) / 2 \quad (13)$$

Живое сечение для прохода газов  $f_z$  принимается по прототипу (П.4).

Скорость движения дымовых газов, м/с:

$$w_r = \frac{G_o(t_r + 273)}{3600f_r \cdot 273} \quad (14)$$

Средняя температура пара, °С:

$$t_{\text{ср}} = (t_s + t_{\text{гп}}) / 2 \quad (15)$$

Живое сечение для прохода пара  $f_{\text{п}}$  принимается по прототипу (П.4).

Средняя скорость перегретого пара, м/с:

$$w_{\text{пер}} = \frac{v_{\text{гп}} D_{\text{гп}}}{f_{\text{п}}} \quad (16)$$

где  $v_{\text{гп}}$  - удельный объем перегретого пара при средней его температуре  $t_{\text{ср}}$ , м<sup>3</sup>/кг (П.3).

Объемная доля водяных паров в газах, проходящих через котел-утилизатор:

$$r_{H_2O} = \frac{H_2O}{100} \quad (17)$$

Коэффициент теплоотдачи от греющей среды к стенке, Вт/(м<sup>2</sup> °С):

$$\alpha_1 = \alpha'_H C_z C_s C_{\phi} \quad (18)$$

где  $C_z$  - поправочный коэффициент на количество труб  $z$  по ходу газов (П.5);

$C_s$  - поправочный коэффициент учитывающий расположение труб (П.5);

$C_\phi$  – поправочный коэффициент, учитывающий температуру и содержание водяных паров в газах (П.5);

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании коридорного пучка труб, Вт/(м<sup>2</sup> °С) (П.5):

$$\sigma_1 = s_1/d; \quad \sigma_2 = s_2/d.$$

Температуру стенки принимают равной средней температуре между средней температурой дымовых газов  $t_g$  и средней температурой пара  $t_{cp}$ .

Коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой среде, Вт/(м<sup>2</sup> °С):

$$\alpha_2 = \alpha_n C_\Gamma, \quad (19)$$

где  $C_\Gamma$  – поправочный коэффициент (П.6).

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой среде, Вт/(м<sup>2</sup> °С) (П.6).

Коэффициент тепловой эффективности принимают равным  $\psi = 0,6 \div 0,8$ .

Коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> °С):

$$k = \frac{\Psi \alpha_1}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}}. \quad (20)$$

Тепловосприятие пароперегревателя, Вт:

$$Q_\tau = k F_{mn} \Delta t, \quad (21)$$

где  $F_{mn}$  - площадь поверхности пароперегревателя, принимается по прототипу (П.4).

### 3.4. РАСЧЕТ ИСПАРИТЕЛЯ

Температура газов за испарителем  $t''_{II}$  принимается в пределах 260-320 °С.

Энтальпия газов за испарителем  $I''_{II}$  определяется по построенной ранее диаграмме.

Количество теплоты, отданное газами пароводяной смеси, кВт:

$$Q_{II} = \varphi G_o (I''_{II} - I''_I) / 3600. \quad (22)$$

Большая разность температур, °С:

$$\Delta t_B = (t''_{III} - t_S). \quad (23)$$

Меньшая разность температур, °С:

$$\Delta t_M = (t''_{II} - t_S). \quad (24)$$

Средний температурный напор, °С:

$$\Delta t_{II} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mathcal{M}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}}}. \quad (25)$$

Средняя температура газов в испарителе, °С:

$$t'_{\Gamma} = \frac{t''_{II} + t''_{III}}{2}. \quad (26)$$

Живое сечение для прохода газов по испарителю  $f_{\Gamma}$  принимается по прототипу (П.4.).  
Скорость движения дымовых газов, м/с:

$$w'_{\Gamma} = \frac{G_o(t'_{\Gamma} + 273)}{3600 f_{\Gamma} \cdot 273}. \quad (27)$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha'_I$  определяется по формуле (18), Вт/(м<sup>2</sup> °С).  
Коэффициент теплопередачи испарителя, Вт/(м<sup>2</sup> °С):

$$k_{II} = \zeta \alpha'_I. \quad (28)$$

где  $\zeta$  - коэффициент использования, принимается в пределах 0,65÷0,8.

Тепловосприятие испарителя, Вт:

$$Q_{\Gamma} = k_{II} F \Delta t. \quad (29)$$

### 3.5. РАСЧЕТ ЭКОНОМАЙЗЕРА

Количество теплоты, отданное водяному экономайзеру, кВт:

$$Q_{BЭ} = \varphi G_o (I''_u - I''_e) / 3600. \quad (30)$$

Энтальпия воды на выходе из экономайзера, кДж/кг:

$$i''_e = \frac{Q_{BЭ}}{D_{nn}} + i_{nэ}. \quad (31)$$

Температура воды на выходе из экономайзера, °С:

$$t''_{BЭ} = \frac{i''_{ПВ}}{c_{H2O}}, \quad (32)$$

где  $c_{H2O}$  – теплоемкость воды кДж/(кг °С) П.3.

Средняя температура газов в испарителе, °С:

$$t_{\Gamma}^{CP} = \frac{t''_и + t''_{\Gamma}}{2}. \quad (33)$$

Большая разность температур, °С:

$$\Delta t_B = (t''_{\Gamma} - t_{IB}). \quad (34)$$

Меньшая разность температур, °С:

$$\Delta t_M = (t''_{И} - t''_B). \quad (35)$$

Средний температурный напор, °С:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M}}. \quad (36)$$

Скорость движения дымовых газов, м/с:

$$w_{\Gamma} = \frac{G_o (t_{\Gamma}^{CP} + 273)}{3600 f_{\Gamma} \cdot 273}. \quad (37)$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_i''$  определяется по формуле (18), Вт/(м<sup>2</sup> °С).  
Коэффициент теплопередачи экономайзера, Вт/(м<sup>2</sup> °С):

$$k_{\mathcal{E}} = \zeta \alpha_1''. \quad (38)$$

Тепловосприятие водяного экономайзера

$$Q_T = k_{\mathcal{E}} F \Delta t. \quad (39)$$

Определим экономию топлива от применения котла-утилизатора за год

$$B = \frac{Q_{\Gamma}}{Q_H}$$

где  $Q_H$  – низшая теплота сгорания условного топлива.

Для проверки выполненных расчетов вычерчивается график зависимости температуры теплоносителей и их энтальпий от площади поверхности теплообмена котла-утилизатора.

Объем и содержание графической части задаются преподавателем-консультантом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. М.: «Издательство Мишиностроение -1», 2006.- 256 с.
2. Данилов О.Л. Энергосбережение на промышленных предприятиях: Учеб.пособие/ О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев – М.: Издательство МЭИ, 2006. – 48 с.
3. Ефимов А.Л. Расчет и интенсификация теплообмена в промышленных теплообменниках: Учеб.пособие/ А.Л. Ефимов, О.К. Бережная, А.В. Данилина/ под общ. ред. А.Л. Ефимова – М.: Издательство МЭИ, 2005.- 64 с.
4. Данилов О.Л. Энергосбережение в теплотехнологиях и теплоснабжении в примерах и задачах: учеб.пособие/ О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев – М.: Издательство МЭИ, 2006. – 48 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Требования к оформлению курсовой работы	4
2. Общие сведения о котлах-утилизаторах	6
3. Расчет котла-утилизатора	8
3.1. Расчет энтальпии газов и параметров пара и воды	8
3.2. Тепловой баланс и паропроизводительность котла-утилизатора	9
3.3. Расчет папоререгревателя	9
3.4. Расчет испарителя	11
3.5. Расчет экономайзера	13
Библиографический список	14
Приложение А	16
Приложение Б	21
Приложение В	23

## Приложения А

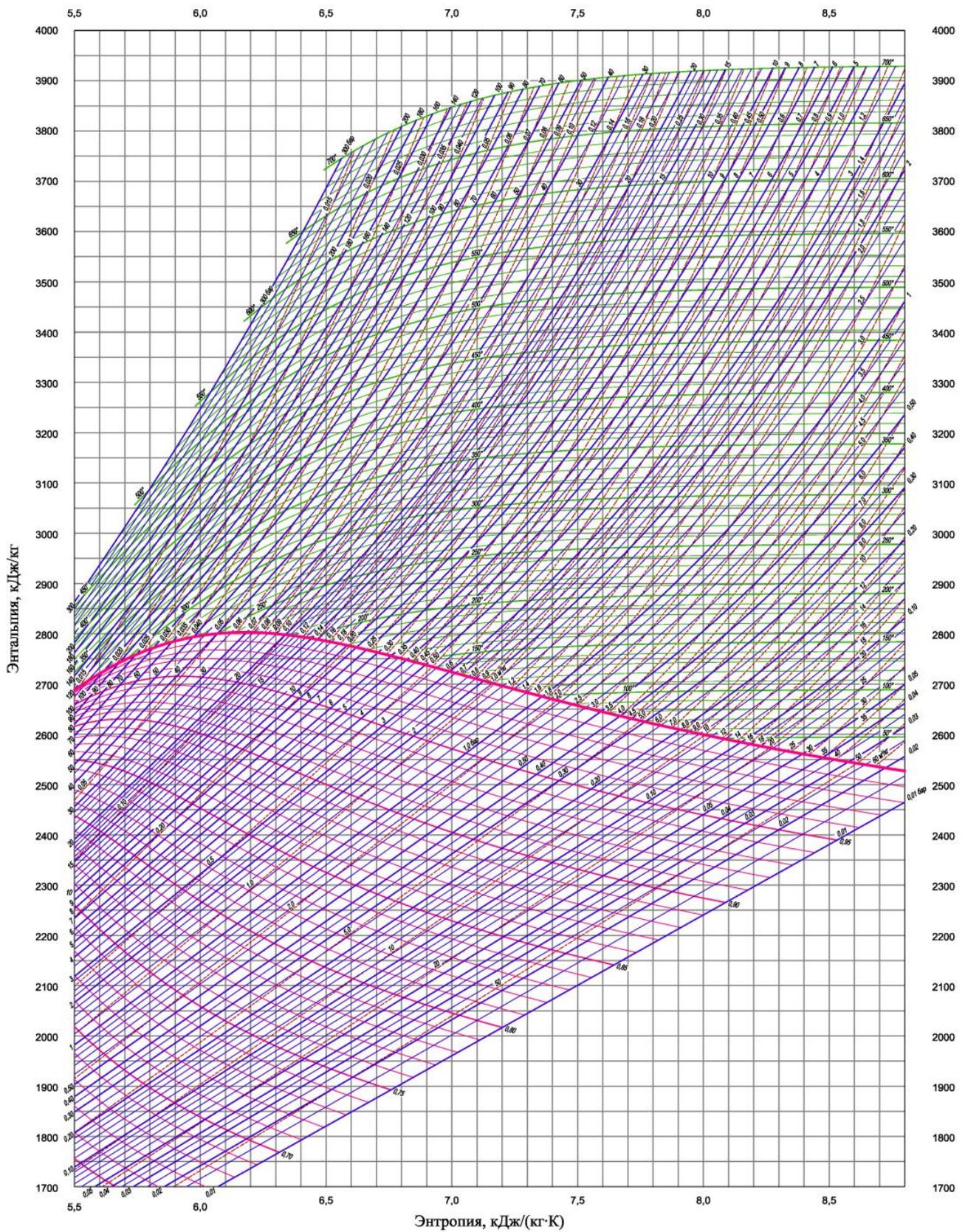
### П.1 Теплоемкость газов, $c_{p,i}$ кДж/( $\text{м}^3\text{К}$ )

$t, ^\circ\text{C}$	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
0	1,3046	1,2992	1,29922	1,5914	1,4943	1,7333	1,278
100	1,3167	1,304	1,3013	1,7132	1,5056	1,813	1,2905
200	1,3356	1,3042	1,3075	1,7961	1,5219	1,888	1,299
300	1,3565	1,3113	1,3172	1,8711	1,5424	1,957	1,3
400	1,3766	1,3205	1,3289	1,9377	1,5654	2,018	1,303
500	1,3967	1,3327	1,3431	1,9967	1,5893	2,072	1,307
600	1,416	1,3456	1,3578	2,0494	1,6144	2,1114	1,309
700	1,4344	1,359	1,3716	2,0967	1,6412	2,152	1,311
800	1,4503	1,3720	1,3854	2,1395	1,6684	2,186	1,316
900	1,4662	1,385	1,3992	2,1823	1,6956	2,22	1,321

### П.3 Удельные объемы и энтальпии сухого насыщенного пара и воды на кривой насыщения

P, МПа	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$t, ^\circ\text{C}$	151,1	179,0	197,4	211,4	222,9	232,8	241,4	249,2	256,2
$v_{\text{III}}, \text{м}^3/\text{кг}$	0,382	0,198	0,134	0,101	0,081	0,068	0,058	0,051	0,045
$i', \text{кДж/кг}$	637,3	759,2	839,7	904,6	957,8	1004	1045	1083	1117
$c_{\text{H}_2\text{O}}, \text{кДж/кг}$	4,280	4,337	4,419	4,494	4,551	4,618	4,685	4,763	4,869

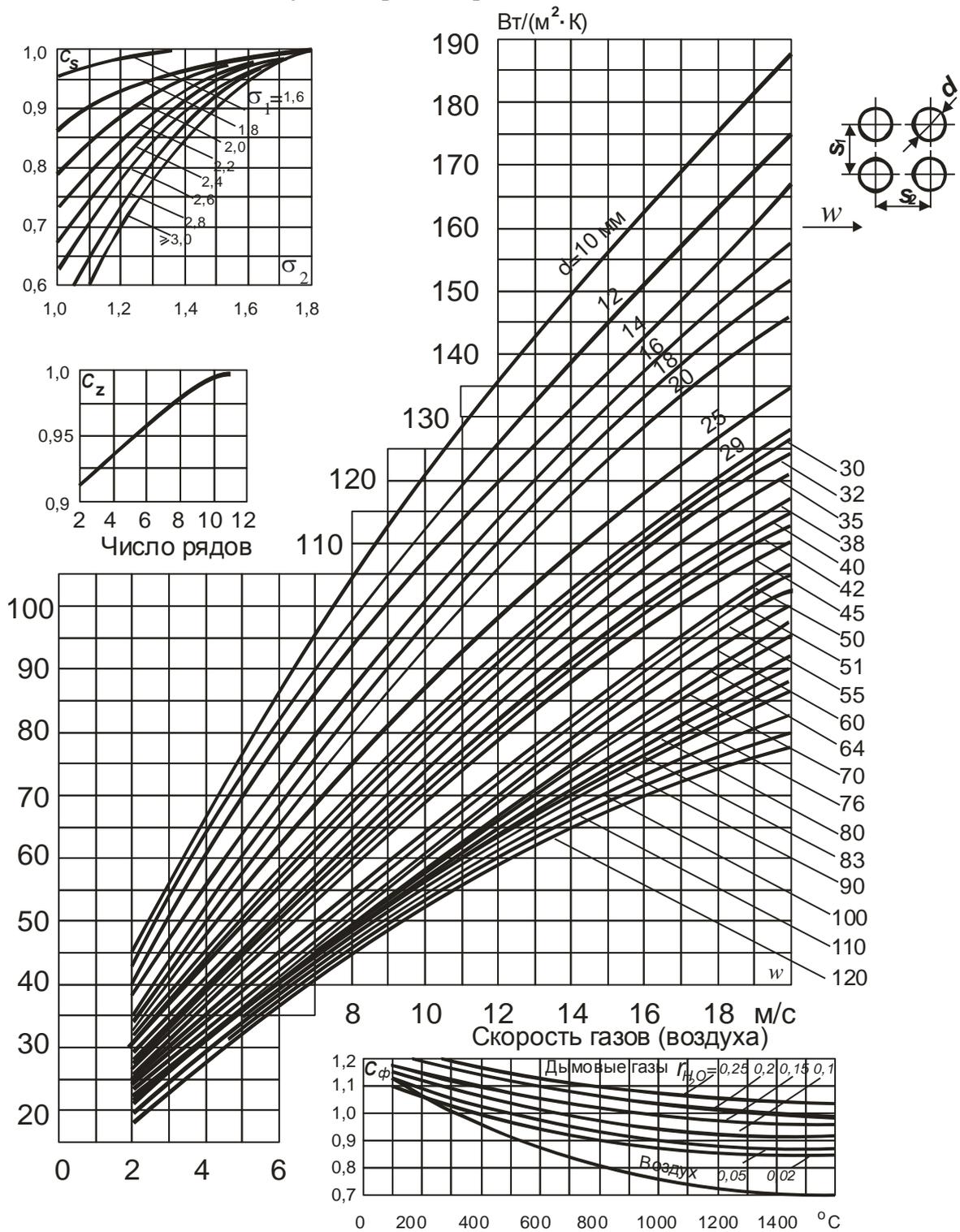
## П.2 $i$ - $S$ диаграмма



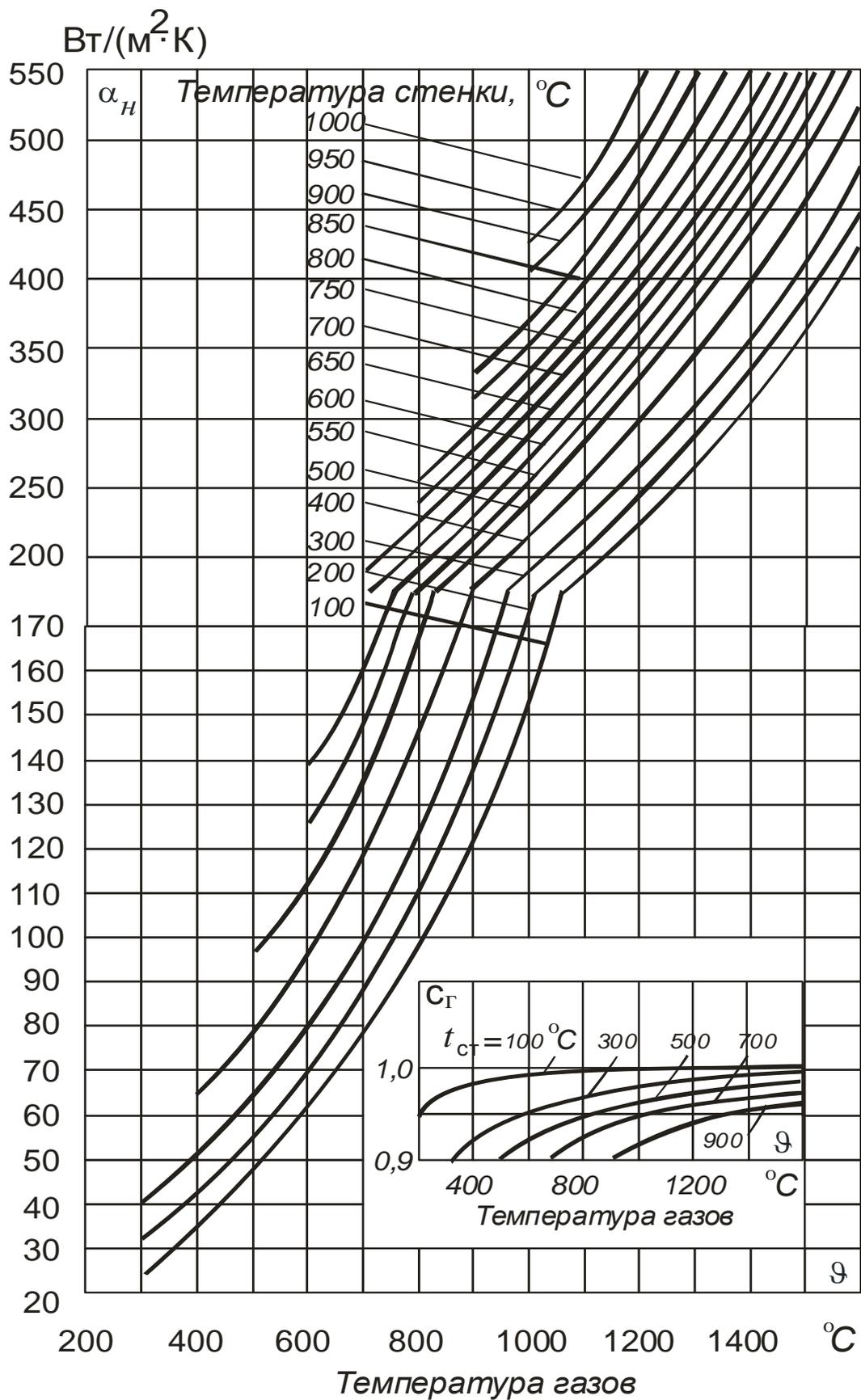
#### Приложение 4. Конструктивные характеристики котлов-утилизаторов

Характеристика	Типоразмер котла	Испаритель	Пароперегреватель	Экономайзер
Расчетная площадь поверхности нагрева, $F$ , $m^2$	КУ40-1	122	43,5	185
	КУ-60-2	156	70	247
	КУ-80-3	244	87	370
	КУ-100-1	315	110	460
	КУ-125	410	144	615
	КУ-150	475	166	725,1
Площадь живого сечения для прохода продуктов сгорания, $f_{г}$ , $m^2$	КУ40-1	4,315	3,17	
	КУ-60-2	7,0	5,06	
	КУ-80-3	8,63	6,34	
	КУ-100-1	10,8	8,04	
	КУ-125	13,2	10,3	
	КУ-150	16,6	12,5	
Площадь живого сечения для пара и воды, $f_{п}$ , $m^2$	КУ40-1	0,0202	0,0101	0,0063
	КУ-60-2	0,0318	0,0159	0,0085
	КУ-80-3	0,0404	0,0202	0,0127
	КУ-100-1	0,0425	0,0212	0,0127
	КУ-125	0,0552	0,0276	0,0170
	КУ-150	0,0636	0,0318	0,0170
Диаметр труб, $d$	Для всех котлов КУ	32	26	
Количество рядов по ходу газов, $z$		12	8	4
Шаги по ширине $S_1$		172	86	90
Шаги по глубине $S_2$		70		

## П.5 Коэффициент теплоотдачи конвекцией для ширм и коридорных гладкотрубных пучков при поперечном омывании



П.6. Коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой среде



**Приложения Б**  
**ЗАДАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им Н.И. Вавилова

Факультет инженерии и природообустройства

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Кафедра «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение»

УТВЕРЖДАЮ:

зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Ф.К. Абдразаков

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсовой работы **«Определение эффективности применения котла-утилизатора»**

студент \_\_\_\_\_ курс \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_ обучение)

1. Исходные данные: расход газов через котел-утилизатор -  $G_0$ , м<sup>3</sup>/ч; марка котла-прототипа; температура газов перед котлом-утилизатором -  $t_2'$ , °С; температура газов на выходе из котла-утилизатора -  $t_2''$ , °С; требуемое давление перегретого пара -  $P_{nn}$ , Па; температура перегретого пара -  $t_{nn}$ , °С; температура питательной воды на входе в котел -  $t_{nw}$ , °С; состав газа, %.

№ варианта	$G_0$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч	$t_2'$ , °С	$t_2''$ , °С	$P_{nn}$ , МПа	$t_{nn}$ , °С	$t_{nw}$ , °С	котел-прототип	Состав газа, %						
								N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
1	40	850	245	4,5	385	80	КУ-40	13	78,5	-	-	1,5	-	7

2. Содержание расчетно-пояснительной записки:
1. Расчет энтальпии газов и параметров пара и воды.
  2. Тепловой баланс и паропроизводительность котла-утилизатора.
  3. Расчет пароперегревателя.
  4. Расчет испарителя.
  5. Расчет экономайзера.
  6. Определение эффективности применения котла-утилизатора.
3. Список литературы:
1. Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Энергосбережение в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях» для студентов направления подготовки Теплоэнергетика и теплотехника/ Сост.: В.А. Глухарев, Д.В. Сивицкий // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2013. – 22 с.
  2. Котлы-утилизаторы и котлы энерготехнологические. Каталог продукции. Группа предприятий «Энергомаш». [www.energomash.ru](http://www.energomash.ru).
4. Перечень графического материала: схема присоединения котла-утилизатора в парогазовой установке, график зависимости температуры теплоносителей и их энтальпий от площади поверхности теплообмена котла-утилизатора.

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_  
Срок сдачи студентом законченной работы \_\_\_\_\_

Руководитель работы \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Варианты заданий на выполнение курсовой работы

№ варианта	$G_0$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч	$t'_2$ , °C	$t''_2$ , °C	$P_{nn}$ , МПа	$t_{nn}$ , °C	$t_{ns}$ , °C	котел-прототип	Состав газа						
								N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
1	40	850	245	4,5	385	80	КУ-40	13	78,5	-	-	1,5	-	7
2	60	850	245	4,5	385	85	КУ-60	-	78,5	5,5	-	10	-	6
3	80	850	245	4,5	385	90	КУ-80	16,8	41,8	-	14	-	3,4	24
4	100	850	245	4,5	385	95	КУ-100	5	66,6	0,4	18	-	-	10
5	125	850	245	4,5	385	100	КУ-125	8	66,8	1,2	17	-	-	7
6	150	850	245	4,5	385	80	КУ-150	13	78,5	-	-	1,5	-	7
7	40	650	240	4,5	365	85	КУ-40	-	78,5	5,5	-	10	-	6
8	60	650	240	4,5	365	90	КУ-60	16,8	41,8	-	14	-	3,4	24
9	80	650	240	4,5	365	95	КУ-80	5	66,6	0,4	18	-	-	10
10	100	650	240	4,5	365	100	КУ-100	8	66,8	1,2	17	-	-	7
11	125	650	240	4,5	365	80	КУ-125	13	78,5	-	-	1,5	-	7
12	150	650	240	4,5	365	85	КУ-150	-	78,5	5,5	-	10	-	6
13	40	850	230	1,8	350	90	КУ-40	16,8	41,8	-	14	-	3,4	24
14	60	850	230	1,8	350	95	КУ-60	5	66,6	0,4	18	-	-	10
15	80	850	230	1,8	350	100	КУ-80	8	66,8	1,2	17	-	-	7
16	100	850	230	1,8	350	80	КУ-100	13	78,5	-	-	1,5	-	7
17	125	850	230	1,8	350	85	КУ-125	-	78,5	5,5	-	10	-	6
18	150	850	230	1,8	350	90	КУ-150	16,8	41,8	-	14	-	3,4	24
19	40	650	215	1,8	340	95	КУ-40	5	66,6	0,4	18	-	-	10
20	60	650	215	1,8	340	100	КУ-60	8	66,8	1,2	17	-	-	7
21	80	650	215	1,8	340	80	КУ-80	13	78,5	-	-	1,5	-	7
22	100	650	215	1,8	340	85	КУ-100	-	78,5	5,5	-	10	-	6
23	125	650	215	1,8	340	90	КУ-125	16,8	41,8	-	14	-	3,4	24
24	150	650	215	1,8	340	95	КУ-150	5	66,6	0,4	18	-	-	10

Оформление титульного листа курсовой работы

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Саратовский государственный аграрный университет  
имени Н.И. Вавилова**

**Кафедра «Энергообеспечение предприятий АПК»**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**ПО ТЕМЕ:**

**«Определение эффективности применения котла-утилизатора»**

Студент направления подготовки  
Теплоэнергетика и теплотехника  
Курс: 4  
Группа: БТТ-401  
Иванов Иван Иванович

---

(подпись)

---

(дата)

**Саратов, 2019**