

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕПЛОФИЗИКА»

Методические указания
для проведения практических занятий и выполнения самостоятельной работы
студентов (СРС) по дисциплине «Системы производства и распределения
энергоносителей промышленных предприятий»
(для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки
22.04.02 «Металлургия» магистерской программы «Промышленная
теплотехника» и 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» магистерской
программы «Промышленная теплоэнергетика»)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕПЛОФИЗИКА»

Методические указания

для проведения практических занятий и выполнения самостоятельной работы
студентов (СРС) по дисциплине «Системы производства и распределения
энергоносителей промышленных предприятий»
(для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки
22.04.02 «Металлургия» магистерской программы «Промышленная
теплотехника» и 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» магистерской
программы «Промышленная теплоэнергетика»)

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
технической теплофизики
Протокол №12 от 31.05.2018г.

УДК 536.5

Методические указания для проведения практических занятий и выполнения СРС по дисциплине «Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий» / Бирюков А. Б., Дробышевская И. П. – Донецк : ДонНТУ, 2018. – 34 с.

Методические указания для проведения практических занятий и выполнения самостоятельной работы студентов (СРС) по дисциплине «Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий». Методические указания содержат материал для проведения практических занятий и комплекс материалов для руководства самостоятельной работой студентов.

Дисциплина «Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий» является важной для формирования кругозора специалиста, который в будущем может быть руководителем энергетического хозяйства промышленного предприятия. При этом рассматриваются вопросы производства и использования всех видов энергоносителей, следовательно, материал курса является насыщенным. Основное внимание уделено вопросам топливоснабжения предприятий, а для проведения практических занятий предложены задания, которые позволят освоить основы расчетов процессов газификации твердого топлива, поскольку эта технология является очень перспективной.

Составили:

проф., д.т.н. А. Б. Бирюков
ст. пр. И. П. Дробышевская

Рецензент:

доц., к.т.н. С. В. Гридин

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		5
1	ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»	6
2	ПОДГОТОВКА К АУДИТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ	9
3	САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ КУРСА	10
4	ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ: КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ, ЗАЧЕТАМ, МОДУЛЬНЫМ КОНТРОЛЯМ, ЭКЗАМЕНАМ	11
5	ПРОВЕДЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	12
5.1	Занятие № 1	13
5.2	Занятие № 2	15
5.3	Занятие № 3	19
5.4	Занятие № 4	21
5.5	Занятие № 5	24
5.6	Занятие № 6	25
5.7	Занятие № 7, 8, 9	29
6	ПЕРЕЧЕНЬ ТЕСТОВЫХ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ	30
	ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	32
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 1	33
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 2	34

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в учебном процессе занимают практические занятия, а также внеаудиторная самостоятельная работа студентов (СРС). Успешная организация практических занятий и СРС будут иметь место только в том случае, когда деятельность студента будет четко спланирована и целенаправленна. Объем СРС по каждой учебной дисциплине определяется учебным планом, целью же преподавателя, который планирует СРС, является наполнение каждой из рубрик конкретным содержанием. Оно обычно должно быть подчиненным цели, которая ставится при преподавании студентам конкретной дисциплины, и также определяется на основе анализа будущей профессиональной деятельности специалистов конкретной специальности.

Нет сомнений, что детальное ознакомление студента с целью изучения каждой дисциплины и ее место в его будущей профессиональной деятельности, повысит эффективность изучения дисциплины в целом и будет способствовать повышению роли СРС.

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»

Дисциплина «Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий» является одной из важнейших дисциплин для специальности «Промышленная теплотехника», потому что она связана с будущей профессиональной деятельностью специалистов этого профиля.

Таким образом, в результате изучения дисциплины студенты должны **знать:**

- промышленное значение, классификацию и общую характеристику горючих газов;
- схемы добычи и транспортировки природных газов;
- схему получения газов сухой перегонки топлива;
- основы производства и характеристику газов непрерывной газификации;
- элементы газотранспортной и газораспределительной систем;
- схемы газоснабжения промышленных предприятий;
- структуру газового баланса предприятий;
- классификацию материалов газопроводов и арматуры;
- технику безопасности в газовом хозяйстве;
- основные характеристики и сферы использования твердого и жидкого топлива;
- схему мазутного хозяйства промышленных предприятий;
- схемы топливного хозяйства предприятия при использовании твердого топлива;
- технические процессы сжижения газов (процесс Линда, процесс Клода, процесс Капицы)
- схему установки однократной и двукратной ректификации воздуха;

- схему кислородной станции;
- машины и аппараты кислородного производства;
- основные направления промышленного использования воды;
- системы водоснабжения;
- устройства для охлаждения воды;
- направления использования сжатого воздуха на промышленных предприятиях
- схему компрессорной станции.

Уметь:

- анализировать схемы газоснабжения промышленных предприятий, находить узкие места и перспективы усовершенствования;
- выбирать оптимальное газообразное топливо для конкретного производства;
- выбирать схемы газоснабжения промышленных предприятий;
- выбирать рациональное топливо для технологических агрегатов проектируемого предприятия;
- анализировать схемы мазутного хозяйства промышленных предприятий, выявлять возможные «узкие места», находить пути совершенствования;
- анализировать схемы топливного хозяйства предприятий при использовании твердого топлива, выявлять возможные «узкие места», находить пути совершенствования;
- выбирать технический процесс сжижения газов для конкретных условий производства;
- выбирать тип кислородной станции для конкретных условий производства;
- выбирать рациональную схему водоснабжения конкретного предприятия;
- анализировать особенности использования существующей схемы водоснабжения конкретного предприятия;
- выбирать рациональные устройства для охлаждения оборотной воды;

- рассчитать состав летучих при термической обработке твердого органического топлива;
- свести материальный баланс зоны газификации газогенераторной установки;
- строить общий материальный баланс газогенераторной установки;
- создать общий тепловой баланс газогенераторной установки;
- оценить энергоэффективность работы газогенераторной установки;
- составлять и анализировать газовые балансы промышленных предприятий;
- разрабатывать комплексные мероприятия по замене природного газа, как основного топлива, генераторным газом для обеспечения технологических процессов в условиях: металлургического завода полного цикла, машиностроительного предприятия и отопительных котельных коммунального сектора.

2 ПОДГОТОВКА К АУДИТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к лекциям

Эта работа состоит из самостоятельного изучения лекционного материала студентом, и в ней необходимо выделить следующие аспекты:

- студент должен готовиться к каждой лекции, изучая материал предыдущей лекции дома и при необходимости повторяя материал других лекций;
- необходимо, чтобы студент изучал соответствующий материал не только используя текст лекции, записанной в аудиторных условиях, но и с помощью предложенных учебников;
- студент должен быть готов ответить на вопросы для самопроверки, приведенные в шестом разделе этих методических указаний, соответствующие материалам предыдущей лекции.

Подготовка к практическим занятиям

Содержание этой работы заключается в анализе материалов предыдущих практических занятий:

- необходимо самостоятельно повторить решение задач, которые были рассмотрены;
- разобрать схему газогенератора;
- написать и проанализировать реакции, идущие в газогенераторных установке.

3 САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫМ РАЗДЕЛАМ КУРСА

При изучении каждой дисциплины ряд разделов выдается студентам для самостоятельного усвоения, в то же время этот материал выносится в вопрос модульных контролей, зачетов (или экзаменов, если это предусмотрено).

Целью такого шага, с одной стороны, является привлечение студентов к самостоятельной ответственной и в то же время творческой работы, с другой – освобождение части времени аудиторных занятий для более глубокого усвоения важнейших моментов курса.

Перечень вопросов, вынесенных для самостоятельного изучения.

- Производство кокса и коксового газа.
- Производство газового топлива при сухой перегонке нефти.
- Особенности получения доменного газа при производстве чугуна.
- Современные технологии газификации твердого топлива.
- Определение потребности предприятий в газообразном, жидком и твердом топливе.
- Определение нагрузки на компрессорную станцию и рабочего давления компрессоров.
- Энергетические и экономические показатели системы производства и транспорта холода.
- Термодинамические основы разделения воздуха.
- Энергетические и экономические показатели систем водоснабжения предприятий.
- Определение направлений энергосбережения на промышленных предприятиях.

В результате самостоятельного изучения предложенных разделов студент должен:

- изучив предложенную литературу, сделать конспект рассматриваемого материала, предпочитая преподаванию материала с помощью схем, рисунков, диаграмм, таблиц, математического аппарата;
- усвоить изученный материал и быть готовым ответить на соответствующие вопросы для самопроверки, приведенные в шестом разделе этих методических указаний;
- уяснить место изученного материала в общей структуре курса и место полученных знаний и умений в будущей профессиональной деятельности.

4 ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ: КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ, ЗАЧЕТАМ, МОДУЛЬНЫМ КОНТРОЛЯМ, ЭКЗАМЕНАМ

Особенностью контрольных мероприятий является тот факт, что студент на момент его проведения должен усвоить весь материал, изложенный и рассмотренный до этого. Это касается лекций, материалов практических занятий, материалов, которые были вынесены на самостоятельное изучение, для которых вышел срок, отведенный преподавателем на их усвоение. Основным этапом подготовки к контрольным мероприятиям должно стать повторение этих материалов и их комплексный анализ. Полезным этапом подготовки к контрольным мероприятиям является проверка студентом своих знаний с помощью вопросов для самопроверки, приведенных в шестом разделе. Отвечая на эти вопросы, надо достичь высокого уровня теоретической аргументации и глубокого понимания практической стороны вопроса.

5 ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Объектом исследования на практических занятиях (1, 2, 3, 4, 5, 6 занятия) является газогенераторная установка, предназначенная для производства генераторного газа в результате газификации твердого топлива с использованием смешанного дутья, которое состоит из воздуха и водяного пара.

Номер варианта каждого студента соответствует его номеру в журнале учета учебного процесса. Численные значения исходных данных для каждого из вариантов приведены в Приложениях А и Б.

В результате проведенных расчетов необходимо решить следующие задачи:

1. Определить состав летучих газов, выделяемых в зоне возгонки летучих и их выход с единицы твердого топлива, для которого задано численное значение содержания всех его составляющих (в %): C^r , H^r , N^r , O^r , S^r , A^c , W^p .
2. Построить материальный баланс зоны возгонки летучих.
3. Определить расход воздуха и водяного пара для газификации коксового остатка, образующегося из 1 кг твердого топлива.
4. Определить выход генераторного газа, который выделяется в зоне газификации и его состав.
5. Построить материальный баланс зоны газификации коксового остатка.
6. Построить общий материальный и тепловой баланс газогенераторной установки.
7. Оценить энергетическую эффективность работы газогенераторной установки.

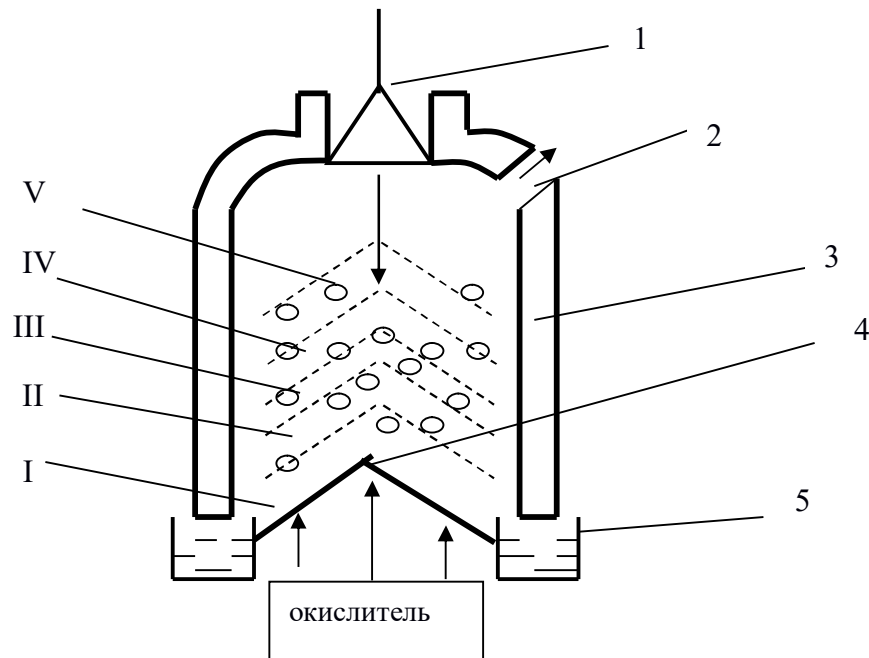
На занятиях № 7, 8, 9 студентам предлагается разработать комплексные мероприятия по замене природного газа, как основного топлива, генераторным газом для обеспечения технологических процессов различных объектов.

5.1 Занятие № 1

Общие сведения о процессах газификации. Схема газогенератора.

Газификация – термохимический процесс переработки твердого топлива путем присоединения к нему кислорода для преобразования твердого топлива в газ горит и может быть применен для последующего сжигания (энергетический и бытовой газ) или для технологических целей (технологический газ).

В основе газификации лежит или неполное горение топлива (при недостатке кислорода) или полное горение с последующим реагированием углерода с углекислотой или водяным паром с целью получения горючих газов. Самый простой способ газификации представлен на рисунке 1.



1 – загрузочное устройство; 2 – отвод газа; 3 – шахта газификации; 4 – колосниковая решетка; 5 – гидрозатвор.

Рисунок 1 – Схема газогенератора

Куски топлива поступают сверху через загрузочное устройство; снизу через зазоры в чугунной колосниковой решетке подаются воздух и водяной пар. В нижней части слоя II, расположенной над зоной золы и шлака I, происходит неполное горение топлива при недостатке кислорода. Поскольку в этой зоне расходуется почти весь O_2 , ее называют кислородной. Зона золы и шлака I примыкает непосредственно к колосниковой решетке, играет роль засыпки, что выравнивает распределение дутья и защищает колосники от перегрева. Продукты неполного горения углерода, содержащие в большем количестве CO_2 и в меньшей CO , поступают в зону восстановления III. Здесь углекислота и водяной пар вступают в реакцию с углеродом кокса, раскаленного за счет тепла, выделившегося в кислородной зоне. В результате реакций CO_2 и H_2O с углеродом топлива образуются CO и H_2 , к которым примешивается азот воздуха и не разложенная часть CO_2 . Образовавшаяся смесь газов идет вверх через слой топлива и нагревает его своим теплом. Нагретое без доступа кислорода при температуре $500-600^\circ C$ топливо претерпевает сложные видоизменения своей внутренней структуры, называемые сухой перегонкой или полукоксованием. При этом происходит выделение летучих газов, которые присоединяются к потоку газов, идущих из зоны восстановления. За счет тепла, оставшегося в верхней части слоя, топливо подсушивается, и к газам присоединяются водяные пары в зоне сушки V. Образовавшийся генераторный газ отводится через газоотводящий патрубок. Негорючие остатки в виде шлака удаляются с колосниковой решетки в ванну с водяным затвором.

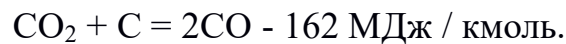
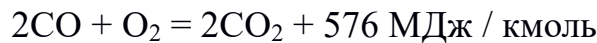
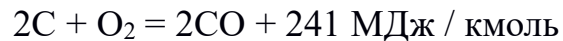
Распределение пространства газогенератора на зоны является чисто условным, так как процессы в нем идут параллельно и могут накладываться друг на друга.

В зависимости от состава дутья генераторные газы делятся на 4 группы:

1. Воздушный.
2. Водяной.
3. Смешанный.
4. Парокислородном.

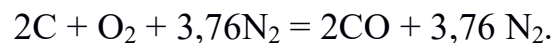
5.2 Занятие № 2

Воздушный газ. При газификации сухим воздухом получают воздушный газ. При этом в газогенераторе идут следующие реакции:



Первые две реакции проходят в основном в зоне горения и идут до конца. Две последние – в зоне газификации и они обратимы.

Уравнение процесса получения идеального генераторного газа можно представить в следующем виде:



Тогда выход газа с одного килограмма углерода в соответствии с уравнением газификации составит:

$$V_{\Gamma} = \frac{V_{CO} + V_{N_2}}{2M_C} \cdot 22,4 = \frac{2 + 3,76}{2 \cdot 12} \cdot 22,4 = 5,38 \text{ м}^3/\text{кг},$$

где V_{CO} , V_{N_2} – объемы окиси углерода и азота в генераторном газе, м^3 ;

$M_C = 12$ – молярная масса углерода кг / кмоль .

Состав воздушного генераторного газа, %

$$\text{CO} = \frac{100 \cdot V_{\text{CO}}}{V_{\text{CO}} + V_{\text{N}_2}} = \frac{2}{2+3,76} = 34,7;$$

$$\text{N}_2 = \frac{100 \cdot V_{\text{N}_2}}{V_{\text{CO}} + V_{\text{N}_2}} = \frac{3,76}{2+3,76} = 65,3$$

Теплота сгорания воздушного газа, МДж / м³:

$$Q_{\text{H}}^{\text{p}} = \frac{Q_{\text{CO}} \cdot \text{CO}}{100} = \frac{12,8 \cdot 34,7}{100} = 4,44,$$

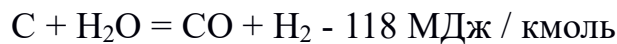
где Q_{CO} – теплота сгорания окиси углерода, МДж / м³.

Коэффициент полезного действия газификации при получении воздушного генераторного газа, %:

$$\eta = \frac{V_{\text{Г}} \cdot Q_{\text{H}}^{\text{p}}}{(Q_{\text{H}}^{\text{p}})_{\text{УГ}}} \cdot 100 = \frac{5,38 \cdot 4,44}{34,1} \cdot 100 = 70$$

где $(Q_{\text{H}}^{\text{p}})_{\text{УГ}} = 34,1$ – теплота сгорания углерода, МДж / кг.

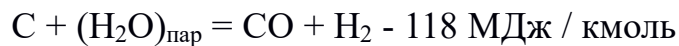
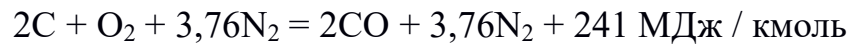
Водяной газ. При продувке через раскаленный слой углерода водяного пара получаем водяной газ по следующим реакциям:



Обе эти реакции являются эндотермическими, поэтому процесс газификации без подвода тепла не идет. Поэтому в газогенератор подают по очереди воздушное и паровое дутье. Период воздушной продувки называют фазой воздушного или горячего дутья. Получающийся при этом газ выбрасывают в атмосферу. Период продувки паром называют фазой парового дутья или периодом газификации. Совокупность двух фаз составляет рабочий цикл газификации. Состав водяного газа при этом следующий, %: Н₂ до 50; СН₄ до 6; СО до 40; СО₂ - 6; N₂ - 2; Q_п^п – 10-11 МДж / м³. КПД газификации в реальных условиях не превышает 60-65% из-за потери тепла с продувочными

газами. Водяной газ самостоятельного значения как промышленное топливо не получил.

Смешанный газ. При использовании в качестве дутья смеси паров с воздухом выходит паровоздушный газ. При этом расход воздуха составляет 1,4-2,8 м³/кг угля, расход пара 0,2-0,5 кг/кг угля. Расход воздуха и пара находятся в обратной зависимости, при этом протекают следующие реакции:



В идеальных условиях с целью приведения к нулю суммарного теплового эффекта обеих реакций на 2 кмоль углерода в первой реакции следует принять $241/118=2,07$ кмоль углерода во второй реакции. Тогда общее уравнение процесса будет иметь вид:



Выход смешанного газа, м³/кг угля:

$$V_{\Gamma} = \frac{V_{CO} + V_{H_2} + V_{N_2}}{4,07 \cdot M_C} \cdot 22,4 = \frac{4,07 + 2,07 + 3,76}{4,07 \cdot 12} \cdot 22,4 = 4,55, \text{,}$$

где V_{CO} , V_{H_2} , V_{N_2} – объемы окиси углерода, водорода и азота в генераторном газе, м³.

Состав смешанного газа, %:

$$CO = \frac{100 \cdot V_{CO}}{V_{CO} + V_{H_2} + V_{N_2}} = \frac{100 \cdot 4,07}{4,07 + 2,07 + 3,76} = 41,0;$$

$$H_2 = \frac{100 \cdot V_{H_2}}{V_{CO} + V_{H_2} + V_{N_2}} = \frac{100 \cdot 2,07}{4,07 + 2,07 + 3,76} = 20,9;$$

$$N_2 = \frac{100 \cdot V_{N_2}}{V_{CO} + V_{H_2} + V_{N_2}} = \frac{100 \cdot 3,76}{4,07 + 2,07 + 3,76} = 38,1.$$

Теплота сгорания идеального смешанного газа, МДж/м³:

$$Q_H^p = \frac{Q_{CO} \cdot CO + Q_{H_2} \cdot H_2}{100} = \frac{12,8 \cdot 41 + 10,8 \cdot 20,9}{100} = 7,5,$$

где Q_{CO} , Q_{H_2} – теплоты сгорания окиси углерода и водорода, МДж/м³.

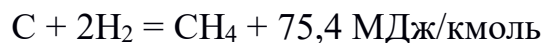
$$\text{КПД газификации, \%: } \eta = \frac{V_r \cdot Q_H^p}{(Q_H^p)_{\text{угл}}} \cdot 100 = \frac{4,55 \cdot 7,5}{34,1} \cdot 100 = 100.$$

Состав реального смешанного газа, %:

H₂ – 15; CH₄ – 25; CO – 25; CO₂ – 15; N₂ – 40-60.

Парокислородный газ. Для увеличения коэффициента полезного действия газогенератора иногда в качестве дутья применяют парокислородную смесь. КПД возрастает с 40-60% до 70-80%. Теплота сгорания повышается до 10 МДж/м³. Состав парокислородного газа, %: H₂ до 40; углеводороды до 5; CO – 30-40; CO₂ – 20; N₂ – 4-20.

Проведение процесса газификации под повышенным давлением в соответствии с принципом Ле-Шателье смещает равновесие в сторону содержания в генераторном газе более тяжелых соединений. Кроме реакций образования окиси углерода и водорода в шахте газогенератора интенсивно происходит образование метана по уравнениям:



Кроме того усиливается образование окиси углерода по уравнению:



В результате промывки водой при повышенном давлении большая часть двуокиси углерода удаляется, и теплота сгорания газа за счет увеличения содержания метана повышается до 16,5 МДж/м³ и выше. Такой газ может успешно транспортироваться на значительные расстояния за счет избыточного

давления на выходе из газогенераторной установки. Однако процесс газификации под давлением сопровождается выделением значительного количества смол.

5.3 Занятие № 3

Расчет состава летучих при термической обработке твердого органического топлива.

Первым шагом решения задач такого типа является приведение состава органического топлива к рабочему состоянию. Этот расчет выполняется следующим образом: определяем значение коэффициента пересчета из сухого на рабочий состав топлива $K_{с-р} = \frac{100 \cdot W^P}{100}$;

$$\text{рабочий состав топлива } K_{с-р} = \frac{100 \cdot W^P}{100};$$

– определяем содержание золы составляющей в рабочем составе топлива, % $A^P = A^C \cdot K_{с-р}$;

– ;

– определяем значение коэффициента пересчета с горючего на рабочий состав топлива $K_{г-р} = \frac{100 - W^P - A^P}{100}$;

– определяем содержание других компонентов в рабочем составе топлива, %

$$C^P = C^Г \cdot K_{г-р}, H^P = H^Г \cdot K_{г-р}, O^P = O^Г \cdot K_{г-р}, N^P = N^Г \cdot K_{г-р}, S^P = S^Г \cdot K_{г-р}.$$

В качестве летучих газов при термической переработке твердого топлива при высоких температурах процесса выделяются следующие газы: H_2S , CH_4 , N_2 , CO_2 , H_2O . Их выход (m^3/kg) можно вычислить по следующим формулам:

$$V_{H_2S} = 0,007 \cdot k_S \cdot S^P$$

$$V_{CH_4} = 0,056 \cdot H^P - 0,0035 \cdot k_S \cdot S^P$$

$$V_{N_2} = 0,008 \cdot N^P$$

$$V_{CO_2} = 0,007 \cdot O^P$$

$$V_{H_2O} = 0,0124 \cdot W^P$$

где k_s – коэффициент, характеризующий распределение серы между соединениями. Принимается равным 0,1-0,5.

Суммарный выход летучих на один килограмм топлива:

$$V_{л} = V_{H_2S} + V_{CH_4} + V_{N_2} + V_{CO_2} + V_{H_2O}.$$

Доля нелетучего углерода, оставшегося после выделения летучих, определяется по следующей зависимости:

$$C_{nr} = C^p - 0,375 \cdot O^p - 3 \cdot H^p - 0,1875 \cdot k_s \cdot S^p$$

Для проверки точности расчетов рассмотрим материальный баланс зоны выделения летучих (Таблица 1).

Таблица 1 – Материальный баланс зоны выделения летучих

Приходная часть	Масса, кг	Расходная часть	Масса, кг
- Масса угля - Масса горючих газов с зоны газификации	1 $V_{газ} \cdot \rho_{газ}$	Газ: -с зоны газификации -с зоны выделения летучих Коксовый остаток	$V_{газ} \cdot \rho_{газ}$ $V_{л} \cdot \rho_{л}$ $M_k = C_{nr}/100 + A^p/100$
Итого	$M_{пр}$	Итого	$M_{расх}$

Поскольку масса горючих газов из зоны газификации, с помощью которых удаляются летучие, является одной для входа в зону возгонки летучих и на выходе из нее (в таблице обозначено как $V_{газ} \cdot \rho_{газ}$), то исключаем эту составляющую с рассмотрения как приходной так и расходной части.

Плотность простых веществ (газов) определяется как $\rho = \frac{M}{22,4}$, где M – мольная масса вещества, кг/кмоль, а плотность газовых смесей определяется как $\rho = \frac{\chi_1 \cdot M_1 + \chi_2 \cdot M_2 + \dots + \chi_n \cdot M_n}{100 \cdot 22,4}$, где M_1, M_2, \dots, M_n – молекулярные

массы компонентов смесей, кг/кмоль; $\chi_1, \chi_2 \dots \chi_n$ – объемные доли соответствующих компонентов в смеси, %. То есть для определения плотности летучих используем следующую зависимость:

$$\rho_{\text{л}} = \frac{H_2S_{\text{л}} \cdot 34 + CH_4_{\text{л}} \cdot 16 + N_2_{\text{л}} \cdot 28 + CO_2_{\text{л}} \cdot 44 + H_2O_{\text{л}} \cdot 18}{22,4 \cdot 100} \quad (1)$$

где $H_2S_{\text{л}}, CH_4_{\text{л}}, N_2_{\text{л}}, CO_2_{\text{л}}, H_2O_{\text{л}}$ – содержание соответствующих компонентов в летучих, которое определяется как отношение объема соответствующего компонента летучих к общему объему летучих:

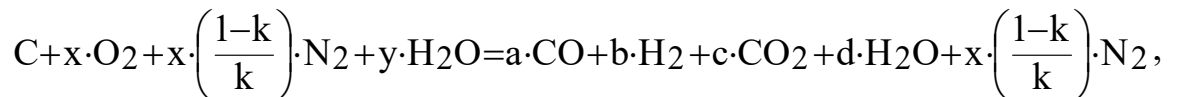
$$\frac{V_{H_2S}}{V_{\text{л}}} \cdot 100, \frac{V_{CH_4}}{V_{\text{л}}} \cdot 100, \frac{V_{N_2}}{V_{\text{л}}} \cdot 100, \frac{V_{CO_2}}{V_{\text{л}}} \cdot 100, \frac{V_{H_2O}}{V_{\text{л}}} \cdot 100$$

То есть масса приходной части составляет 1 кг. Если масса составляющих $V_{\text{л}} \cdot \rho_{\text{л}} + M_{\text{к}}$ менее чем на 0,5% отличается от 1 кг, то расчет считаем выполненным верно с достаточной точностью.

5.4 Занятие № 4

Построение материального баланса зоны газификации.

Рассмотрим задачу построения материального баланса зоны газификации коксового остатка угля. Интегральную характеристику этого процесса можно дать с помощью следующего итогового химического уравнения:



где x, y – расход кислорода и водяного пара на газификацию 1 кмоль углерода, кмоль/кмоль;

k – степень обогащения воздушной части дутья кислородом;

a, b, c, d – выход соответствующих газов при газификации, кмоль/кмоль углерода.

величины x , y , k , характеризующие дутье, задаются в качестве исходных данных; a , b , c , d – являются искомыми.

Для решения поставленной задачи составляем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} 1. & a+c=1; \\ 2. & a+2\cdot c+d=2\cdot x+y; \\ 3. & b+d=y; \\ 4. & \frac{c\cdot b}{a\cdot d}=K_{p1} \end{aligned}$$

где уравнения (1), (2), (3) - являются балансовыми уравнениями по углероду, кислороду, водороду соответственно;

уравнение (4) – выражение константы равновесия для реакции водяного газа $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$.

Решив приведенную выше систему уравнений, определяем объемный состав продуктов газификации, их теплоту сгорания, выход газов с 1 кг угля, расходные коэффициенты по пару, сжатому воздуху, кислороду.

Для проведения необходимых вычислений необходимо уметь находить константу равновесия реакции водяного газа в зависимости от температуры. Для этой цели удобно использовать простую расчетную зависимость вида $\lg k_p = A/T + B$, а не сложные полиномиальные уравнения или справочные данные, которые зачастую противоречат друг другу:

$$\lg k_p = \frac{2162}{T} - 2,20.$$

Решив указанную систему уравнений, получаем сведения о составе газа, образующегося в зоне газификации и его выход:

$$\begin{aligned} \%CO &= \frac{a}{V_{\Gamma}^{уд}} \cdot 100 & \%H_2 &= \frac{b}{V_{\Gamma}^{уд}} \cdot 100 \\ \%CO_2 &= \frac{c}{V_{\Gamma}^{уд}} \cdot 100 & \%H_2O &= \frac{d}{V_{\Gamma}^{уд}} \cdot 100 \\ \%N_2 &= \frac{x \cdot \frac{1-k}{k}}{V_{\Gamma}^{уд}} \cdot 100, \end{aligned}$$

где $V_{\Gamma}^{уд}$ – удельный выход генераторного газа в зоне газификации с 1 кмоль углерода, м³/кмоль:

$$V_{\Gamma}^{уд} = a + b + c + d + x \left(\frac{1-k}{k} \right).$$

Будем строить материальный баланс относительно коксового остатка угля, который был получен с 1 кг твердого топлива. Предполагаем, что коксовый остаток состоит только из углерода и золы. Тогда один килограмм коксового остатка содержит $\frac{C_{nr}}{100}$ кг углерода и $\frac{A_p}{100}$ кг золы.

Исходя из записанного химического уравнения для газификации соответствующего количества коксового остатка, необходимо кислорода $V_{O_2} = x \cdot \frac{C_{nr} \cdot 22,4}{100 \cdot 12}$, м³, или воздуха $V_{возд} = \frac{100}{k} \cdot V_{O_2}$, м³, где k – коэффициент обогащения воздуха кислородом (показывает объемную долю кислорода в воздухе), %. Обычный воздух содержит 21% кислорода и 79% азота. При обогащении доля кислорода возрастает.

Необходимый массовый расход пара определяется как

$$G_{пара} = y \cdot \frac{C_{nr} \cdot 22,4}{100 \cdot 12} \cdot 0,8.$$

Суммарный выход газов составит $V_{газ} = V_{\Gamma}^{уд} \cdot \frac{22,4}{12} \cdot \frac{C_{nr}}{100}$.

Считая, что вся зола коксового остатка переходит в шлак, можно показать материальный баланс зоны газификации следующим образом (таблица 2).

Плотность генераторного газа $\rho_{\text{газ}}$ определяем с помощью зависимости типа (1). В результате подведения суммы приходной и расходной частей баланса необходимо убедиться, что разница между результатами не превышает 0,5%, тогда результаты расчетов можно считать верными.

Таблица 2 – Материальный баланс зоны газификации

Приходная часть	Масса, кг	Расходная часть	Масса, кг
Коксовый остаток	$C_{\text{пр}}/100 + A^p/100$	Газ	$V_{\text{газ}} \cdot \rho_{\text{газ}}$
Воздух	$V_{\text{возд}} \cdot \rho_{\text{возд}}$		A^p
Водяной пар	$G_{\text{пара}}$	Шлак	$\frac{A^p}{100}$
Итого		Итого	

5.5 Занятие № 5

Построение общего материального баланса газогенераторной установки.

Общий материальный баланс охватывает все зоны газогенераторной установки. Его приходные и расходные статьи приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Общий материальный баланс газогенераторной установки

Приходная часть	Масса, кг	Расходная части	Масса, кг
Уголь	1	Газы:	$V_{\text{газ}} \cdot \rho_{\text{газ}}$
Воздух	$V_{\text{возд}} \cdot \rho_{\text{возд}}$	-с зоны газификации	
Водяной пар	$G_{\text{пара}}$	-с зоны возгонки летучих	$V_{\text{л}} \cdot \rho_{\text{л}}$
		Шлак	$\frac{A^p}{100}$
Итого	$M_{\text{пр}}$	Итого	$M_{\text{расх}}$

В случае, если расчеты выполнены верно, массы всех компонентов приходной и расходной частей должны отличаться не более чем на 0,5%.

Общий объем газов, который будет получен при переработке 1 кг топлива, определяется как сумма объемов продуктов зоны газификации и зоны выделения летучих $V_{\Sigma} = V_{\text{газ}} + V_{\text{л}}$.

При этом объем каждого из компонентов смеси определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} V_{\text{CH}_4} &= V_{\text{CH}_4}^{\text{л}}; \quad V_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_2}^{\text{л}}; \quad V_{\text{H}_2\text{S}} = V_{\text{H}_2\text{S}}^{\text{л}}; \\ V_{\text{N}_2} &= V_{\text{N}_2}^{\text{л}} + V_{\text{N}_2}^{\text{газ}}; \quad V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{л}}; \quad V_{\text{CO}} = V_{\text{CO}}^{\text{газ}}. \end{aligned}$$

Процентная доля каждого из компонентов смеси определяется как отношение соответствующего объема компонента к объему смеси V_{Σ} , выраженное в процентах.

Плотность смеси ρ_{Σ} определяется по формуле (1).

В случае, если расчет выполнен верно, должно выполняться следующее соотношение: $V_{\text{газ}} \cdot \rho_{\text{газ}} + V_{\text{л}} \cdot \rho_{\text{л}} = V_{\Sigma} \cdot \rho_{\Sigma}$. Необходимо достичь такой точности расчетов, чтобы это соотношение выполнялось с точностью не менее 0,5%.

5.6 Занятие № 6

Построение общего теплового баланса газогенераторной установки.

Идея теплового баланса заключается в том, что количество энергии, поступающей в любую систему, равно количеству энергии, которая используется и распределяется в этой системе.

Приходная часть

В случае, который анализируется, энергия поступает в зону газификации с химической энергией угля, физическим теплом угля и физическим теплом дутья

(в нашем случае воздуха). Рассмотрим отдельно эти статьи баланса. Он выполняется для 1 кг твердого топлива. Далее, когда дается размерность кДж/кг, подразумевается на 1 кг твердого топлива.

Химическая энергия угля, кДж/кг:

$$Q_{\text{уг}}^{\text{хим}} = 339 \cdot C^P + 1030 \cdot H^P - 109(O^P - S^P) - 25 \cdot W^P.$$

Физическое тепло угля, поступающего в установку, кДж/кг:

$$Q_{\text{уг}}^{\text{физ}} = c_{\text{уг}} \cdot t_{\text{уг}},$$

где $t_{\text{уг}}$ – температура угля поступающего в зону газификации, °С;

$c_{\text{уг}}$ – теплоемкость угля при температуре $t_{\text{уг}}$, кДж/(кг·К)

Физическое тепло воздуха

$$Q_{\text{возд}}^{\text{физ}} = V_{\text{возд}} \cdot c_{\text{возд}} \cdot t_{\text{возд}}$$

где $t_{\text{возд}}$ – температура воздуха, попадающего в установку, °С;

$c_{\text{возд}}$ – теплоемкость воздуха при температуре $t_{\text{возд}}$, кДж/(м³·К).

Теплоемкость воздуха в зависимости от температуры рассчитывается следующим образом $c_{\text{возд}}^t = 0,21 \cdot c_{\text{O}_2}^t + 0,79 \cdot c_{\text{N}_2}^t$, где $c_{\text{O}_2}^t$, $c_{\text{N}_2}^t$ – теплоемкости кислорода и азота, взятые в справочнике работы [5], в зависимости от температуры.

Физическое тепло водяного пара:

$$Q_{\text{пара}}^{\text{физ}} = G_{\text{пара}} \cdot i_{\text{пара}},$$

где $i_{\text{пара}}$ – удельная энтальпия пара, подаваемого в газогенератор [5], кДж/кг.

Расходная часть

Тепло выводится из зоны газификации следующим образом. С химической энергией генераторного газа, с физическим теплом генераторного газа и с физическим теплом шлака. Рассмотрим эти статьи баланса отдельно.

Химическая энергия генераторного газа, кДж/кг:

$$Q_{\text{Газ}}^{\text{ХИМ}} = (127 \cdot \text{CO} + 108 \cdot \text{H}_2 + 358 \cdot \text{CH}_4) \cdot V_{\Sigma},$$

где CO, H₂, CH₄, H₂S – содержание соответствующих компонентов в конечном составе генераторного газа, %.

Физическая энергия генераторного газа, кДж/кг

$$Q_{\text{Газ}}^{\text{Физ}} = V_{\Sigma} \cdot c_{\Sigma}^t \cdot t_{\Sigma}$$

где t_Σ – температура газа покидающего установку, °С;

c_Σ^t – теплоемкость генераторного газа при температуре t_Σ, КДж/(м³·К).

Теплоемкость газа в зависимости от температуры рассчитывается следующим образом:

$$c_{\Sigma}^t = \frac{\text{CO}}{100} \cdot c_{\text{CO}}^t + \frac{\text{N}_2}{100} \cdot c_{\text{N}_2}^t + \frac{\text{CO}_2}{100} \cdot c_{\text{CO}_2}^t + \frac{\text{H}_2\text{O}}{100} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}^t + \frac{\text{CH}_4}{100} \cdot c_{\text{CH}_4}^t + \frac{\text{H}_2\text{S}}{100} \cdot c_{\text{H}_2\text{S}}^t \quad (2)$$

где c_{CO}^t, c_{N₂}^t, c_{CO₂}^t, c_{H₂O}^t, c_{CH₄}^t, c_{H₂S}^t – теплоемкости соответствующих компонентов взяты в справочнике [3] в зависимости от температуры, Дж/(м³·К).

CO, CH₄, H₂O, CO₂, N₂, H₂S – содержание соответствующих компонентов в конечном составе генераторного газа, %.

Физическое тепло шлака, кДж / кг

$$Q_{\text{шлак}}^{\text{Физ}} = \frac{A^P}{100} \cdot c_{\text{шлак}} \cdot t_{\text{шлак}},$$

где t_{шлак} – температура шлака, удаляемого из зоны газификации, °С;

c_{шлак} – теплоемкость шлака при температуре t_{шлак}, кДж/(кг·К).

Для всех вариантов необходимо принять t_{шлак} равной 500°С.

Поскольку суммарная энергия приходной и расходной частей равны друг другу, то концепцию теплового баланса в большинстве случаев используют для определения температуры генераторного газа, покидающего установку.

Для этого выводим следующую зависимость:

$$t_{\text{газ}} = \frac{Q_{\text{уг}}^{\text{хим}} + Q_{\text{уг}}^{\text{физ}} + Q_{\text{возд}}^{\text{физ}} - Q_{\text{газ}}^{\text{хим}} - Q_{\text{шлак}}^{\text{физ}}}{V_{\text{газ}} \cdot c_{\text{газ}}}.$$

Расчеты по этой зависимости носят итерационный характер. То есть, сначала задаемся температурой генераторного газа, рассчитываем его теплоемкость по формуле (2), соответствующую этой температуре. Далее рассчитываем температуру газа по формуле и сравниваем полученное значение с принятым. В случае совпадения с ошибкой, не превышающей 5°C , считаем решение законченным. Если же ошибка превышает 5°C , повторяем итерационную процедуру. Для полученной по формуле температуры рассчитываем теплоемкость, с ее помощью заново рассчитываем значение температуры газа по формуле и сравниваем с предыдущим значением и так далее до тех пор, пока разница между двумя значениями не будет менее заданного допустимого расхождения.

Оценка энергетической эффективности.

Поскольку природный газ имеет теплоту сгорания выше, чем генераторный газ, то для замены 1 м^3 природного газа необходимо несколько м^3 генераторного газа. Количество генераторного газа, которое может при сгорании выделить такое же количество теплоты как 1 м^3 природного газа, называется коэффициентом замены и вычисляется как отношение теплоты сгорания природного и генераторного газов:

$$k_{\text{зам}} = \frac{Q_{\text{нпг}}^{\text{р}}}{Q_{\text{нген}}^{\text{р}}},$$

где $Q_{\text{нпг}}^{\text{р}}$ – теплота сгорания природного газа, $\text{кДж}/\text{м}^3$ (для всех вариантов принять равной $35000 \text{ кДж}/\text{м}^3$).

$Q_{\text{нген}}^{\text{р}}$ – теплота сгорания генераторного газа, $\text{кДж}/\text{м}^3$:

$$Q_{\text{ген}}^p = (127 \cdot \text{CO} + 358 \cdot \text{CH}_4)$$

Выход генераторного газа из газогенератора зависит от массы твердого топлива, перерабатываемого в единицу времени. Таким образом, если масса топлива, перерабатываемого в час, составляет G кг/ч, то часовая производительность газогенератора составляет $V_{\text{Г.ген}}^{\text{час}} = G \cdot V_{\Sigma}$, м³/ч.

Тогда объем природного газа (м³/ч), который можно заменить на предприятии за счет переработки G кг/ч твердого топлива:

$$V_{\text{ПГ}}^{\text{час}} = V_{\text{Г.ген}}^{\text{час}} / k_{\text{зам}}$$

5.7 Занятие № 7, 8, 9

Разработка комплексных мероприятий по замене природного газа в качестве основного топлива генераторным газом для обеспечения технологических процессов в условиях:

- металлургического завода полного цикла;
- машиностроительного предприятия;
- отопительных котельных коммунального сектора.

Проводить в форме дискуссии, в которой студентам предложено сделать предложения по решению поставленных задач.

При этом необходимо учитывать особенности анализируемого технологического цикла предприятия, современный уровень знаний и энергоносители и тому подобное.

Преподаватель направляет работу студентов таким образом, чтобы их идеи были оформлены в целенаправленную концепцию.

6 ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Газовое топливо. Потребители газового топлива. Особенности его использования. Преимущества и недостатки по сравнению с другими видами топлива.
2. Классификация природных газов. Получение газа из газовых скважин. Характеристики природных газов.
3. Классификация искусственных газов. Характеристики искусственных газов. Производство искусственных газов: коксового и полукоксового, газов газификации, сжиженных газов.
4. Схемы поставок природного газа. Газопроводы, газовые сети, ГРС, ГРП. Газоповышающие и газосмешивающие станции.
5. Жидкое топливо, его потребители. Мазутное хозяйство предприятий. Схемы и компоновки оборудования.
6. Твердое топливо, его потребители. Оборудование предприятий для использования твердого топлива.
7. Производство кокса и коксового газа.
8. Производство газового топлива при сухой перегонке нефти.
9. Особенности получения доменного газа при производстве чугуна.
10. Современные технологии газификации твердого топлива.
11. Определение потребности предприятий в газовом, жидком и твердом топливе.
12. Системы производства и распределения сжатого воздуха, потребители сжатого воздуха.
13. Системы производства и распределения холода.
14. Потребители кислорода и азота. Установки обеспечения предприятий продуктами разделения воздуха.

15. Системы водоснабжения. Оборудование систем водоснабжения.
16. Анализ эффективности систем производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий.
17. Определение нагрузки на компрессорную станцию и рабочего давления компрессоров.
18. Энергетические и экономические показатели системы производства и транспорта холода.
19. Термодинамические основы разделения воздуха.
20. Энергетические и экономические показатели систем водоснабжения предприятий.
21. Определение направлений энергосбережения на промышленных предприятиях.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лисиенко, В. Г.** Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий [Текст] : Учеб. пособие для студентов вузов по спец. 10.07 «Пром. теплоэнергетика» / В. Г Лисиенко, Н. М, Беляев, А. П. Несенчук [и др] ; под общ. ред А. П. Несенчука. – Минск : Вышэйш школа, 1989. – 279 с.
2. **Алабовский, А. Н.** Газоснабжение и очистка промышленных газов [Текст] / А. Н. Алабовский, Б. В. Анцев – К. : Высшая школа, 1985. – 192 с.
3. **Ионин, А. А.** Газоснабжение [Текст] : учебник для вузов / А.А. Ионин – Четвёртое изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1989. – 439 с.
4. **Соколов, Е. Я.** Струйные аппараты [Текст] / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. – М. : Энергия, 1970. – 286с.
5. **Гинкул, С. И.** Вопросы тепло- и массообмена в материалах, нагрева и охлаждения металла [Текст] : Учеб. пособие / С. И. Гинкул, В. И. Шелудченко, В. В. Кравцов. – Донецк : РИА ДонГТУ, 2000. – 162 с.
6. **Парахин, Н. Ф.** Промышленные способы сжигания и переработки топлив [Текст] : Учеб. пособие / Н. Ф. Парахин, В. И. Шелудченко, В. В. Кравцов. – Донецк: НОРД-ПРЕСС ДонНТУ, 2006. – 303 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Исходные данные по составу топлива

№ вар.	C ^г , %	H ^г , %	N ^г , %	O ^г , %	S ^г , %	A ^с , %	W ^р , %	G, кг/ч
1	82	6	2	9	1	15	6	10000
2	80	5	3	10	2	10	5	5000
3	85	3	2	9	1	20	6	3000
4	88	3	2	6	1	10	10	2500
5	89	3	2	5	1	15	10	2000
6	80	8	3	8	1	10	15	18000
7	85	5	2	7	1	20	8	1700
8	84	6	1	8	1	17	7	19000
9	84	5	1	8	2	10	11	6000
10	78	5	2	12	3	12	10	5500
11	83	5,2	1	10	0,8	13	9	4000
12	80	4,5	3	11	1,5	14	10	4500
13	81	4	3	9	3	15	5	6500
14	82	4,5	1,5	11	2	16	5	2900
15	83	5	3	6	3	14	4	3000
16	79	7	3	10	1	13	12	7000
17	87	3	3	5	2	14	8	8000
18	85	4	3	7	1	18	5	3500
19	86	6	2	5	1	16	7	1900
20	81	3	4	10	2	15	6	6500

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Исходные данные для построения теплового баланса

№ вар.	к, %	х, кмоль / кмоль	у, кмоль / кмоль	t _{уг} , °С	t _{возд} , °С	C _{уг} , кДж/(кг·К)	C _{шлак} , кДж/(кг·К)
1	21	0,35	0,3	10	300	1,2	1,6
2	22	0,3	0,41	15	350	1,2	1,3
3	22,5	0,31	0,4	20	360	1,3	1,4
4	23	0,34	0,34	50	200	1,25	1,6
5	23,5	0,33	0,35	60	150	1,4	1,7
6	21,5	0,35	0,3	40	400	1,45	1,6
7	24	0,3	0,41	70	20	1,35	1,3
8	23	0,31	0,4	12	70	1,28	1,5
9	22	0,34	0,34	20	80	1,3	1,7
10	22,5	0,33	0,35	25	120	1,16	1,3
11	26	0,35	0,3	30	20	1,18	1,8
12	23	0,3	0,41	190	30	1,4	1,4
13	21,8	0,31	0,4	15	320	1,3	1,6
14	22	0,34	0,34	22	250	1,2	1,6
15	23	0,33	0,35	23	50	1,35	1,5
16	24	0,35	0,3	80	30	1,4	1,4
17	21,5	0,3	0,41	30	300	1,3	1,5
18	22	0,31	0,4	25	90	1,25	1,8
19	23,5	0,34	0,34	75	120	1,3	1,6
20	21	0,33	0,35	15	250	1,3	1,45

Методические указания

для проведения практических занятий и выполнения самостоятельной работы студентов (СРС) по дисциплине «Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий»

(для студентов направлений подготовки 22.03.02 «Металлургия» профиля «Промышленная теплотехника» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиля «Промышленная теплоэнергетика»)

Составили:

Бирюков Алексей Борисович,
доктор технических наук, профессор,

Дробышевская Ирина Павловна,
старший преподаватель