МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

ТРУБЧАТЫЕ ПЕЧИ

Методические указания к лабораторной работе № 1 по дисциплине «Тепловые агрегаты нефтеперерабатывающих производств»

2015

Содержание

Введение 4

[Назначение методических указаний 4](#bookmark1)

[Требования к знаниям и умениям студентов 4](#bookmark2)

1. [Содержание лабораторной работы 5](#bookmark3)
   1. [Цель работы 5](#bookmark4)
   2. [Основные теоретические положения 5](#bookmark5)
   3. [Теплообмен в трубчатой печи 5](#bookmark6)
2. [Расчёт трубчатых печей 9](#bookmark7)
3. [Расчёт процесса горения топлива 9](#bookmark8)
4. Технологический расчёт печи 13
5. Описание работы лабораторного стенда 17
6. [Алгоритм выполнения работы 18](#bookmark9)
7. [Основные правила по технике безопасности 21](#bookmark10)
8. Содержание и форма отчета 22
9. Диагностические материалы (контрольные вопросы) 22
10. Критерии оценки работы студентов 22

Список литературы 22

Приложение 1 23

Приложение 2 24

Приложение 3 24

Приложение 4 25

3

Введение

Курс разработан в предположении, что студенты, приступая к изучению дисциплины «Технологические процессы автоматизированных производств», имеют достаточно хорошую теоретическую и практическую подготовку по следующим дисциплинам: «Математика», «Физика», «Химия», «Электротехника и электроника».

Назначение методических указаний

Данная лабораторная работа посвящена изучению работы трубчатых печей, используемых в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности.

Методические указания для лабораторной работы разработаны для ознакомления студентов с теорией процесса горения топлива, а также с основными показателями работы трубчатых печей и их определением.

Для выполнения работы могут быть использованы компьютерные технологии, Excel и т.д.

Требования к знаниям и умениям студентов

В результате выполнения лабораторной работы студенты должны: знать:

* назначение и область применения трубчатых печей;
* конструктивные особенности;
* принцип работы трубчатых печей;
* теоретические сведения о процессе горения топлива;
* теоретические сведения при расчёте тепловой нагрузки печи;
* теоретические сведения при расчёте теплоты сгорания топлива;
* основные показатели работы трубчатых печей;
* алгоритм выполнения работы;
* основные правила по технике безопасности при проведении измерений. уметь:
* пользоваться техническими средствами лабораторного стенда;
* делать рекомендации по его модернизации; владеть:
* навыками проведения технологических измерений и расчётов.

4

1. Содержание лабораторной работы
   1. Цель работы

Целью лабораторной работы является:

* изучение работы трубчатых печей;
* расчёт процесса горения топлива;
* расчёт тепловой нагрузки печи;
* определение низшей теплоты сгорания топлива.
  1. Основные теоретические положения

Трубчатая печь является аппаратом, предназначенным для передачи нагреваемому продукту тепла, выделяющегося при сжигании топлива в топочной камере печи.

Трубчатые печи широко распространены в нефтегазоперерабатывающей, нефтехимической, коксохимической и других отраслях промышленности. Они являются составной частью многих установок и применяются в различных технологических процессах (первичная подготовка нефти, перегонка нефти, мазута, пиролиз, каталитический крекинг, риформинг, гидроочистка, очистка масел и др.).

Существуют различные конструкции трубчатых печей, отличающихся способом передачи тепла, количеством и формой топочных камер, числом секций (камер) в зоне радиации, относительным расположением осей факела и труб, способом сжигания топлива, типом облучения труб, числом потоков нагреваемого продукта, расположением конвекционной камеры относительно радиантной, длиной радиантных и конвекционных труб.

Основными характеристиками трубчатых печей являются производительность печи, полезная тепловая нагрузка, теплонапряженность поверхности нагрева и коэффициент полезного действия печи.

В промышленности применяют трубчатые печи с поверхностью нагрева радиантных труб 15...2000 м2. Теплопроизводительность трубчатых печей различных конструкций изменяется от 0,12 до 240 МВт, а производительность по нагреваемой среде достигает 8-105 кг/ч. Температура нагреваемой среды на входе и выходе из печи в зависимости от технологического процесса изменяется в диапазоне от 20 до 900 °С, а давление - от 0,1 до 30 МПа. Для трубчатых печей КПД колеблется в пределах от 0,65 до 0,85.

* 1. Теплообмен в трубчатой печи

Трубчатая печь имеет камеры радиации и конвекции. В камере радиации (топочной камере), где сжигается топливо, размещена радиантная поверхность (экран), поглощающая лучистое тепло в основном за счет радиации. В камере конвекции расположены конвекционные трубы, воспринимающие тепло

5

главным образом при соприкосновении дымовых газов с поверхностью нагрева путем конвекции.

Нагреваемый продукт в печи последовательно проходит через конвекционные и радиантные трубы, поглощая тепло. Обычно радиантная поверхность воспринимает большую часть тепла, выделяемого в печи при сгорании топлива.

Лучистое тепло эффективно передается при охлаждении дымовых газов до 1000...1200 К. Снижение температуры дымовых газов до более низких значений часто бывает неоправданным, так как при этом радиантная поверхность работает с пониженной теплонапряженностью поверхности нагрева и требуется значительно увеличить поверхность радиантных труб. Эффективность теплопередачи конвекцией в меньшей степени зависит от температуры дымовых газов. Конвекционная поверхность использует тепло дымовых газов и может обеспечить их охлаждение до температуры, при которой значение коэффициента полезного действия аппарата будет экономически оправданным.

Если наличие конвекционной поверхности для нагрева сырья не является обязательным или размеры этой поверхности могут быть существенно уменьшены, то тепло дымовых газов использовано для иных целей, например, для подогрева воздуха или производства водяного пара. При небольшой производительности иногда применяют печи без конвекционной поверхности, более простые в конструктивном отношении, но обладающие невысоким коэффициентом полезного действия.

Рассмотрим механизм процесса передачи тепла в печи, состоящей из двух камер с настильным пламенем. Характерной особенностью этой печи является наклонное расположение в низу печи форсунок, обеспечивающих соприкосновение факела с поверхностью стены, размещенной в середине камеры радиации (рис. 3.1).

В топочную камеру этой печи при помощи форсунки вводится распыленное топливо, а также необходимый для горения нагретый или холодный воздух. Высокая степень дисперсности топлива обеспечивает его интенсивное перемешивание с воздухом и более эффективное горение.

Соприкосновение факела с поверхностью настильной стены обусловливает повышение ее температуры; излучение происходит не только от факела, но и от раскаленной стены. Тепло, выделенное при сгорании топлива, расходуется на повышение температуры дымовых газов и частиц горящего топлива; последние раскаляются и образуют светящийся факел.

Температура, размер и конфигурация факела зависят от многих факторов и, в частности, от температуры и количества воздуха, подаваемого для горения топлива, способа подвода воздуха, конструкции и нагрузки форсунки, теплотворной способности топлива, расхода форсуночного пара, размера радиантной поверхности (степени экранирования топки) и др.

6

При повышении температуры воздуха увеличивается температура факела, повышается скорость горения и сокращаются размеры факела. Размеры факела уменьшаются и при увеличении (до известного предела) количества воздуха, поступающего в топку, так как избыток воздуха ускоряет процесс горения топлива. При недостаточном количестве воздуха факел получается растянутым, топливо полностью не сгорает, что приводит к потере тепла. Чрезмерное количество воздуха недопустимо вследствие повышенных потерь тепла с отходящими дымовыми газами и более интенсивного окисления (окалинообразования) поверхности нагрева.

Воздух, необходимый для горения топлива, подводят к устью форсунки, т.е. к началу факела. В некоторых форсунках топливо распыляется воздухом, который в этом случае вводится в топку совместно с топливом. В ряде конструкций во внутренней полости стен печей размещается канал для подачи так называемого вторичного воздуха, позволяющий подводить необходимый для горения воздух по длине факела, что повышает температуру излучающей стенки и способствует более равномерной передаче тепла радиацией. В такой печи тепло передается излучением от факела, излучающей стенки и трехатомных газов (двуокись углерода, водяной пар, диоксид серы), обладающих избирательной способностью поглощать и излучать лучи определенной длины волны.

Часть лучей через пространство между трубами попадает на поверхность кладки, вдоль которой расположены эти трубы; эти лучи разогревают кладку, и она, в свою очередь, излучает; при этом часть энергии поглощается той частью поверхности труб, которая обращена к стенке кладки.

Настильная стена, а также прочие стены кладки, у которых расположены трубы (экранированная часть кладки) или свободные от труб (незаэкранированные), принято называть вторичными излучателями.

Радиантные трубы получают тепло не только излучением, но также и от соприкосновения дымовых газов с поверхностью труб, имеющих более низкую температуру (теплопередача свободной конвекцией). Из всего количества тепла, воспринятого радиантными трубами, значительная часть (85...90 %) передается излучением, а остальное количество - конвекцией.

Наружная поверхность труб в свою очередь излучает некоторое количество тепла, т.е. имеет место процесс взаимоизлучения, однако температура поверхности труб, вследствие непрерывного отвода тепла сырьем, проходящим через радиантные трубы, значительно ниже температуры других источников излучения и поэтому взаимоизлучения через поверхность радиантных труб передают небольшое количество тепла.

В результате теплопередачи, осуществляемой в топочной камере, дымовые газы охлаждаются и поступают в камеру конвекции, где происходит их прямое соприкосновение с более холодной поверхностью конвекционных труб (вынужденная конвекция).

7

Рисунок 1 - Схема работы трубчатой  
печи с объемно-настильным сжиганием  
топлива:

1. - форсунка; 2 - настильная стенка; 3 - камера  
   радиации (топочная камера); 4 - камера  
   конвекции; 5 - дымовая труба; 6 - змеевик  
   конвекционных труб; 7 - змеевик радиантных  
   труб; 8 - футеровка. Потоки: I - вход сырья;
2. - выход сырья; III - топливо и воздух;  
   IV - дымовые газы

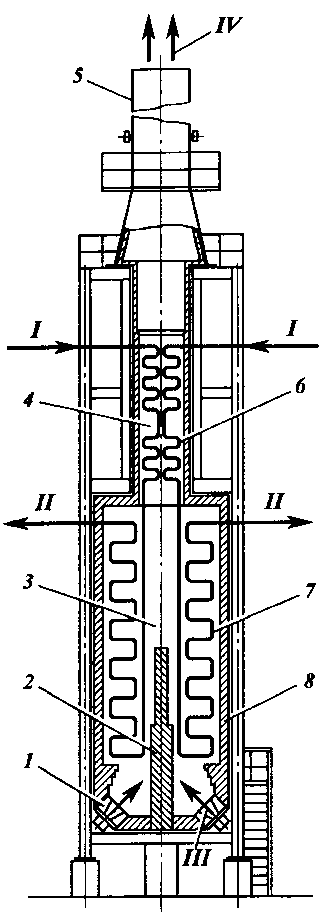
В камере конвекции передача тепла  
осуществляется также за счет радиации  
трехатомных дымовых газов и излучения  
стенок кладки. Наибольшее количество тепла в  
камере конвекции передается путем конвекции;  
оно достигает 60...70 % общего количества  
тепла, воспринимаемого этими трубами.  
Передача тепла излучением от газов составляет  
20...30 %; излучением стенок кладки  
конвекционной камеры передается в среднем  
около 10 % тепла.

Основным фактором, предопределяющим  
эффективность передачи тепла конвекцией,  
является скорость движения дымовых газов,  
поэтому при конструировании трубчатых печей  
стремятся обеспечить ее наибольшее значение.  
Это достигается размещением минимального

числа труб в одном горизонтальном ряду и выбором минимального расстояния  
между осями труб. Однако при повышении скорости дымовых газов в камере  
конвекции увеличивается сопротивление потоку газов, что и ограничивает  
выбор величины скорости. С другой стороны, сокращение числа труб в одном  
горизонтальном ряду приводит к увеличению высоты камеры конвекции. Это  
обстоятельство также предопределяет выбор допустимой скорости движения  
дымовых газов в камере конвекции.

Уменьшение диаметра труб способствует более интенсивной передаче тепла как за счет лучшей обтекаемости труб, так и в связи с возможностью более компактного их расположения, позволяющего создать более высокие скорости дымовых газов.

Однако при уменьшении диаметра печных труб увеличивается скорость сырья и, следовательно, повышается сопротивление перемещению



8

нагреваемого потока. Для снижения сопротивления при применении печных труб меньшего диаметра движение нагреваемого продукта, как правило, осуществляется двумя или несколькими параллельными потоками.

Эффективность передачи тепла в камере конвекции может быть повышена путем оребрения наружной поверхности конвекционных труб, так как при этом увеличивается поверхность соприкосновения дымовых газов с трубами и обеспечивается передача большого количества тепла.

Передача тепла конвекцией зависит также от температурного напора, т.е. от разности температур между дымовыми газами и нагреваемым сырьем. Обычно величина температурного напора убывает в направлении движения дымовых газов. Так, при повышении температуры сырья на один градус дымовые газы охлаждаются на пять - семь градусов. Наибольший температурный напор в камере конвекции наблюдается при входе дымовых газов в камеру, а наименьший - при их выходе. Количество тепла, поглощаемого конвективными трубами, убывает также в направлении движения дымовых газов.

Доля тепла, передаваемого излучением в камере конвекции, значительно меньше, чем в камере радиации, как вследствие более низкой температуры дымовых газов, так и из-за меньшей толщины излучаемого газового потока. Эффективная толщина газового слоя в камере конвекции предопределяется расстоянием между смежными рядами труб. Снижение температуры дымовых газов в направлении их движения, естественно, вызывает также и уменьшение передачи тепла излучением от них.

Конвекционные трубы, расположенные в первых рядах по ходу дымовых газов, получают больше тепла как за счет конвекции, так и за счет излучения, и поэтому в отдельных случаях их теплонапряженность может быть выше теплонапряженности радиантных труб [2].

1. Расчёт рубчатых печей
   1. Расчёт процесса горения топлива

Горение топлива - быстро протекающая химическая реакция окисления элементов топлива кислородом, сопровождающаяся выделением тепла и света. Процесс горения может быть выражен следующими реакциями:

С+О2^СО2

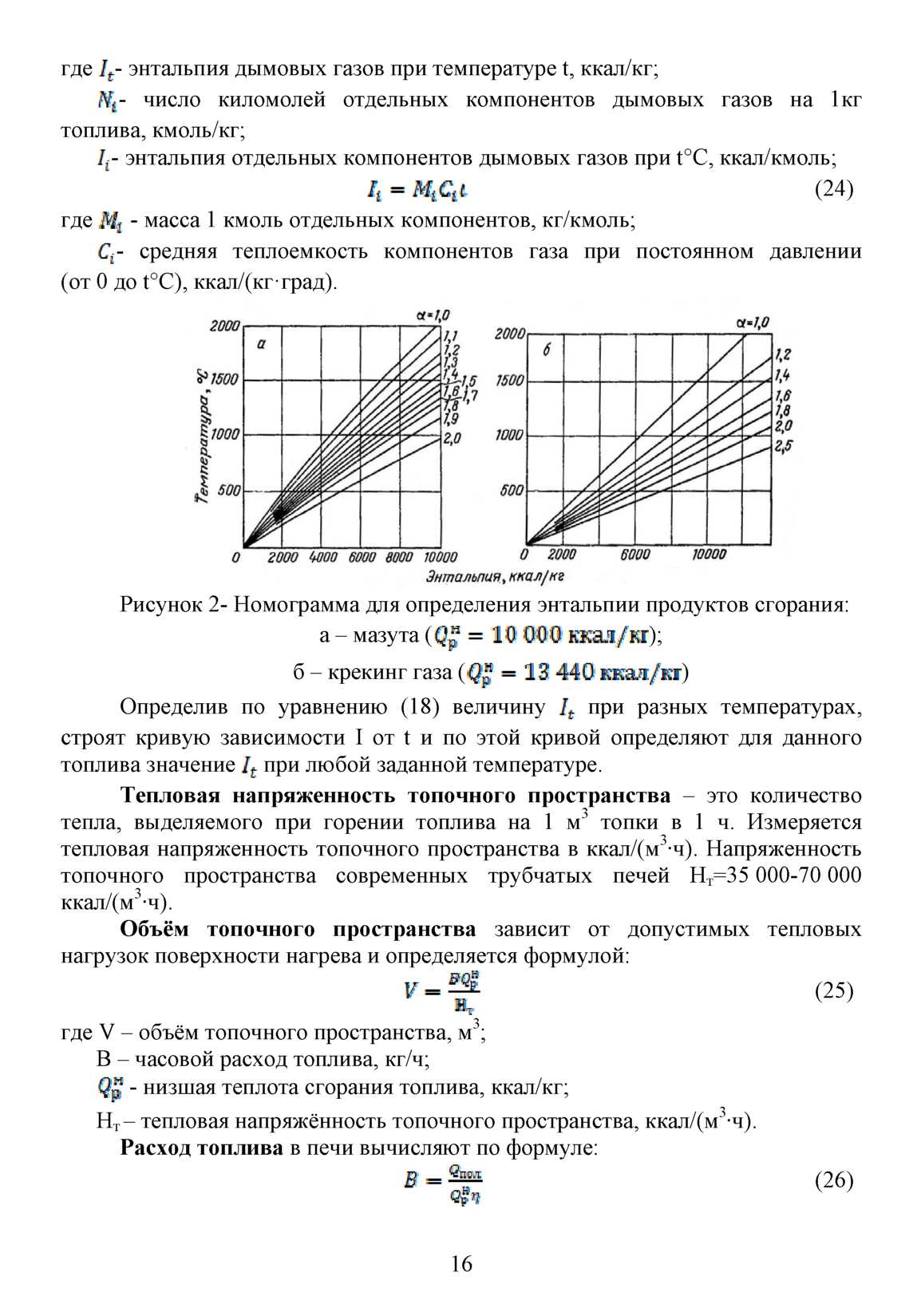
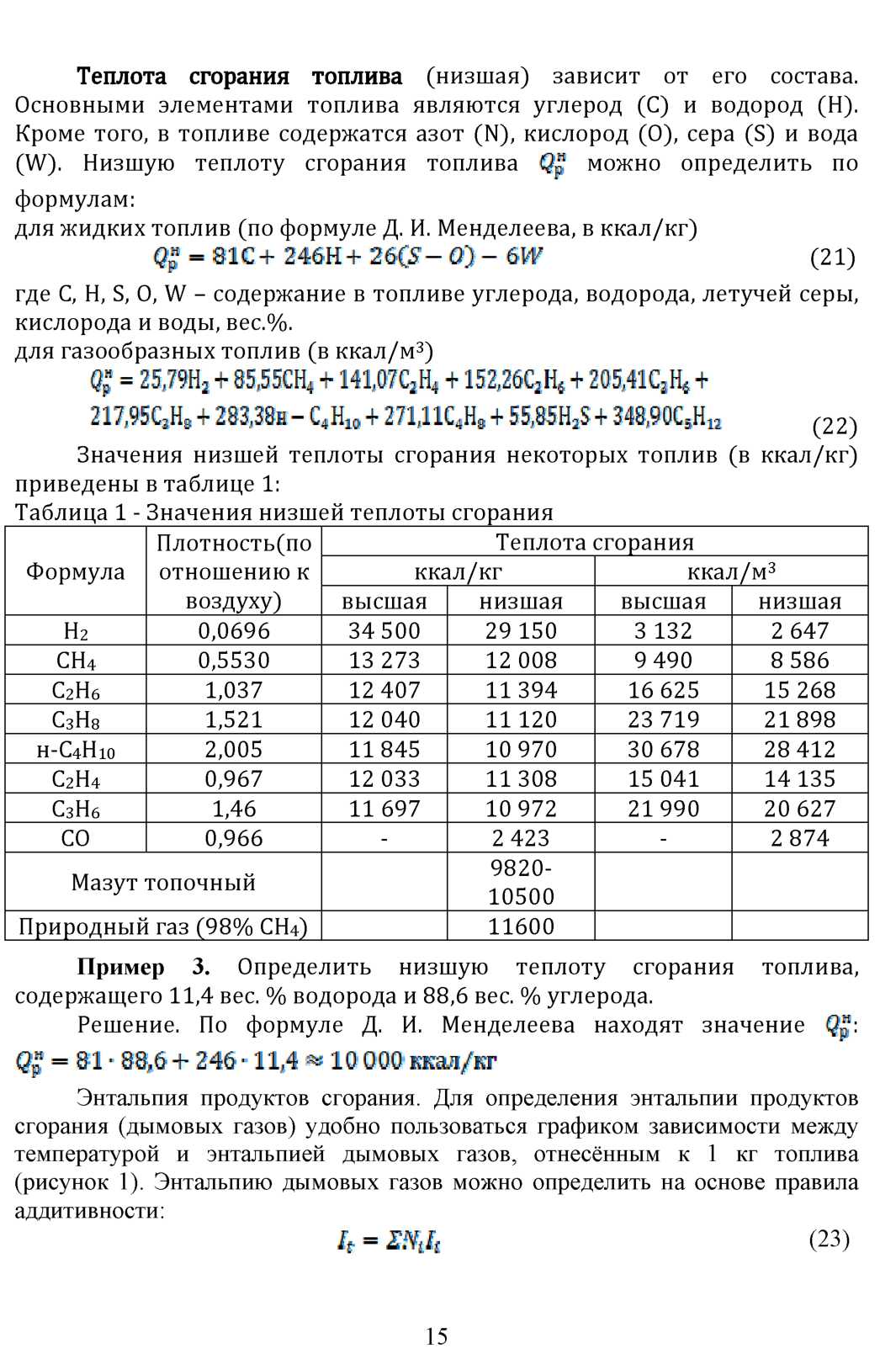
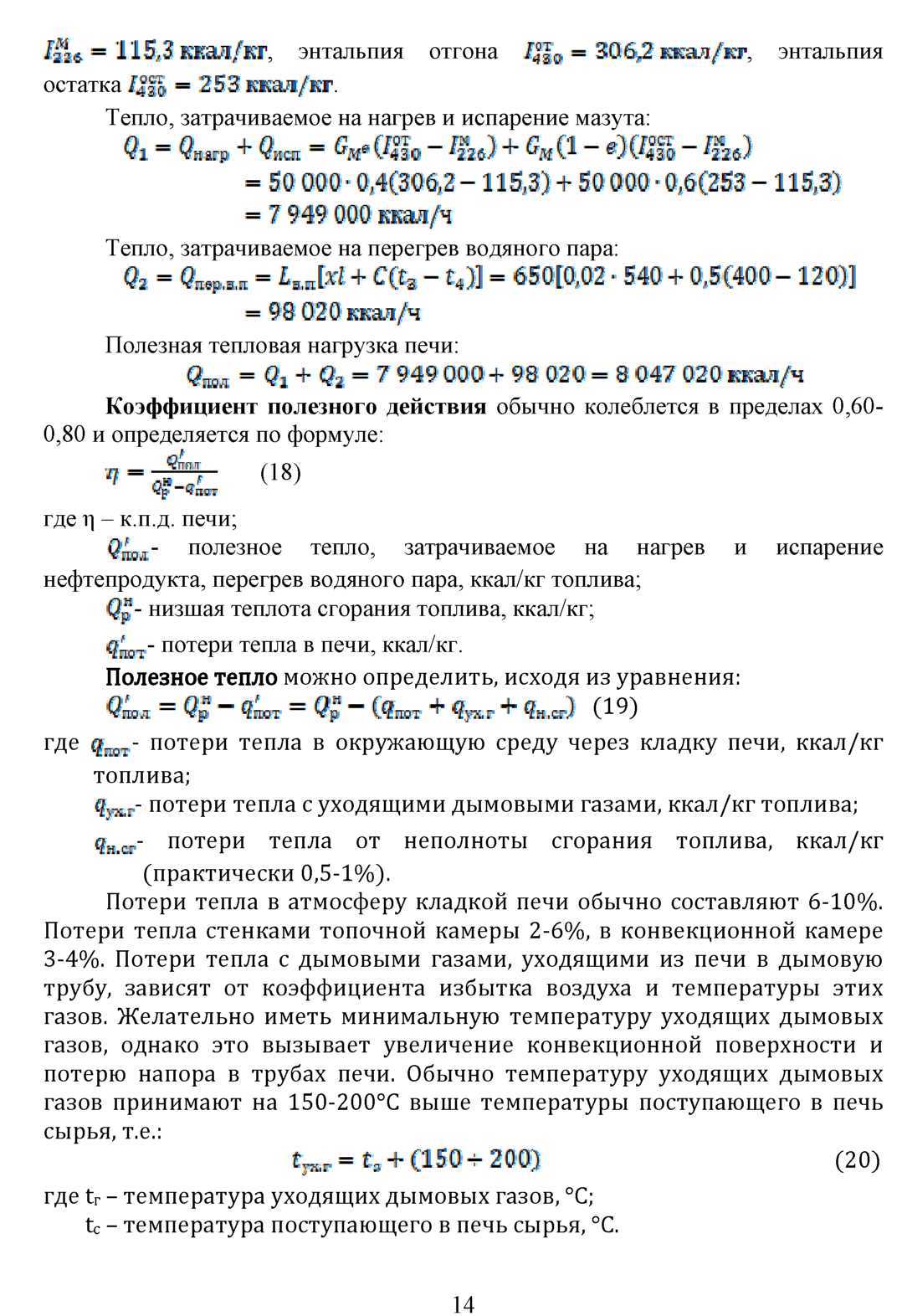
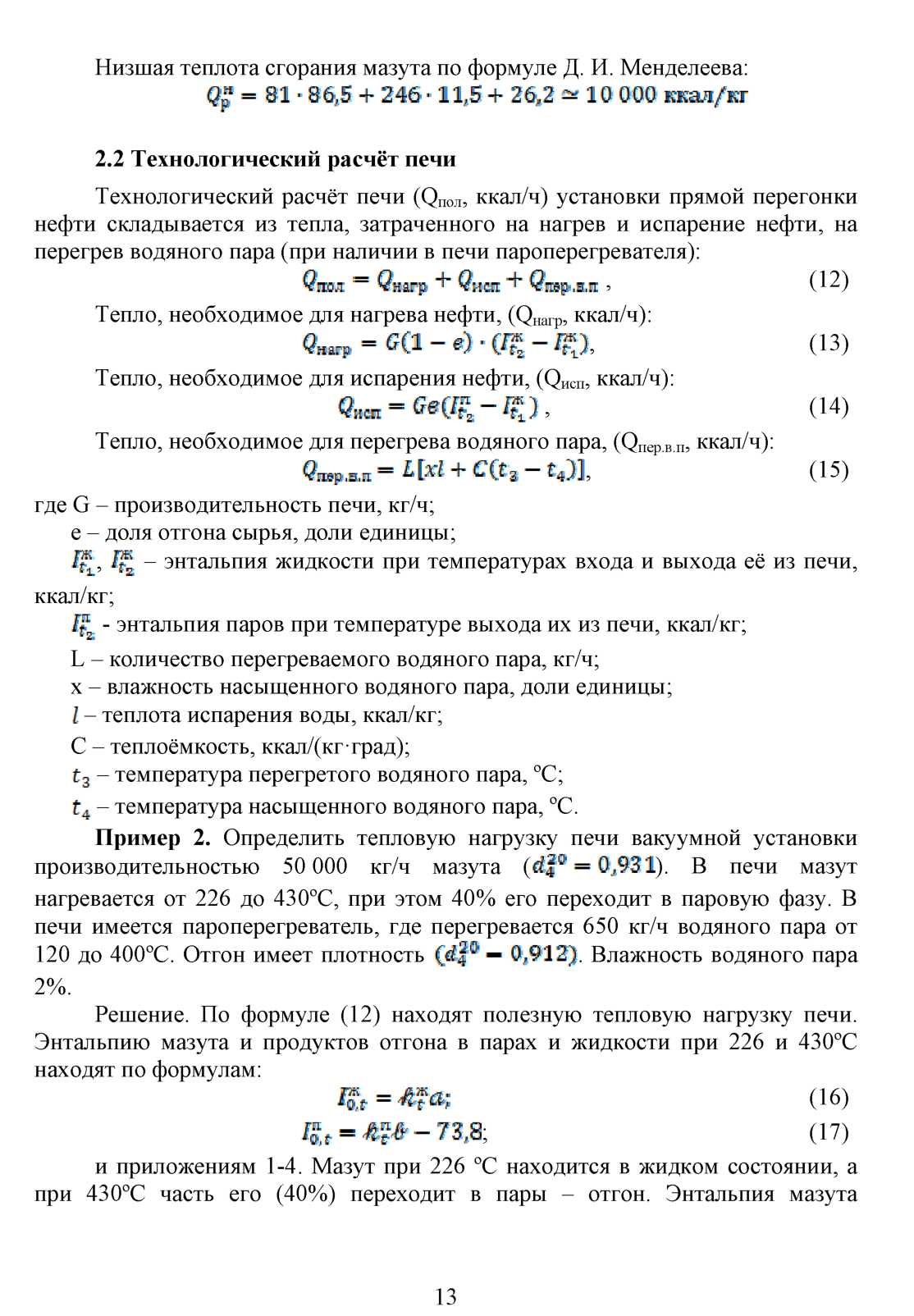
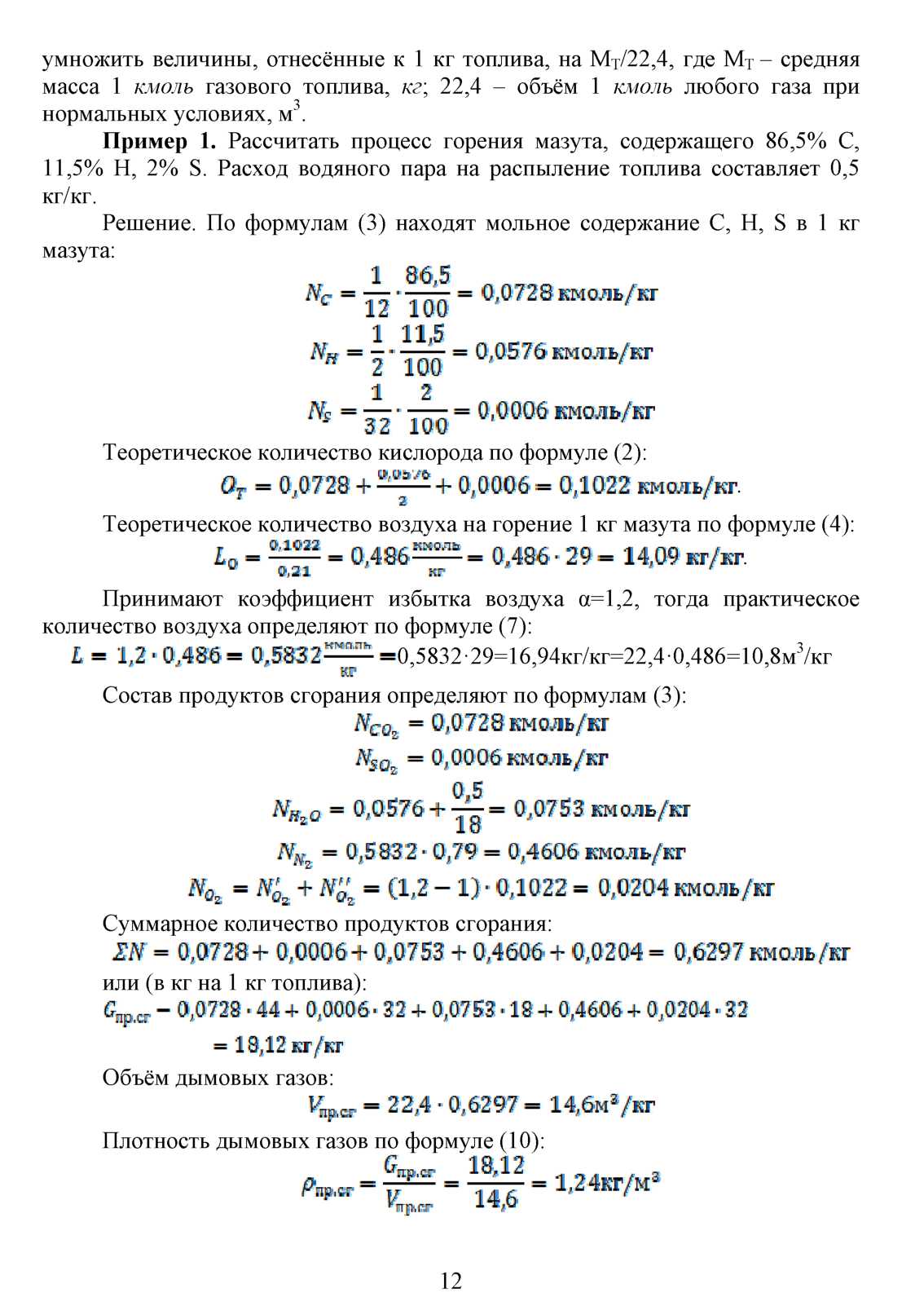
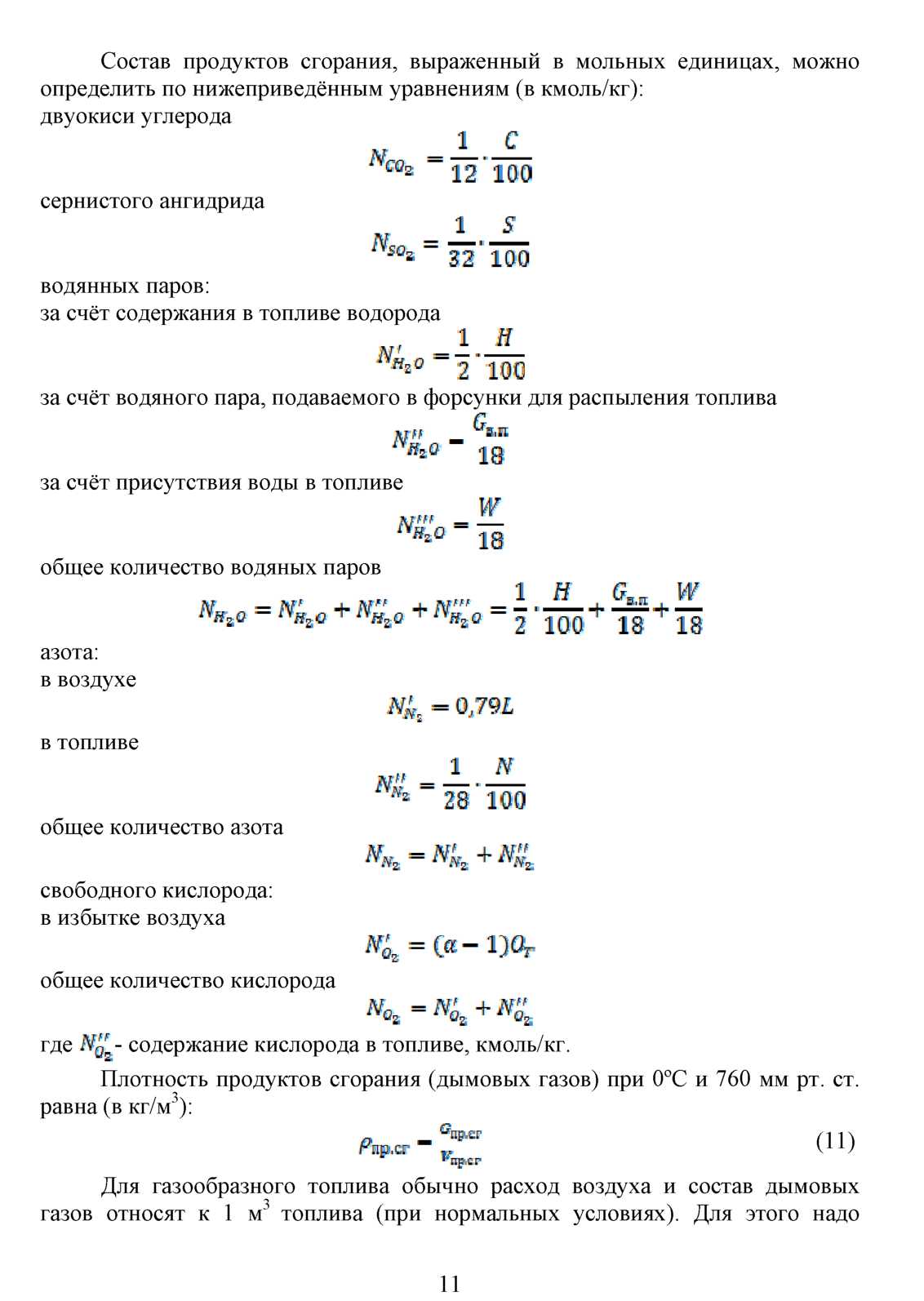
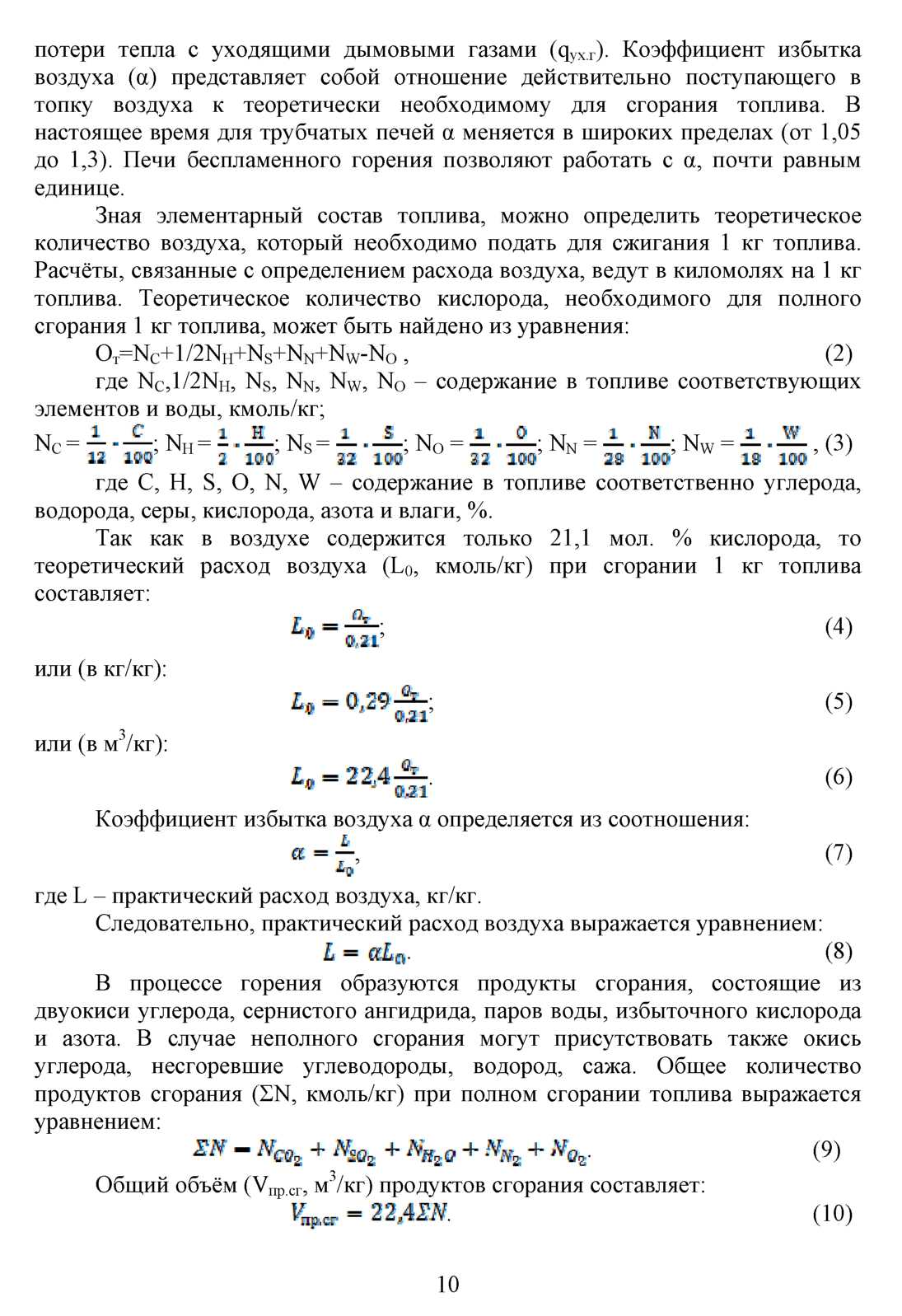
2С+О2^2СО

2Н2+О2^2Н2О (1)

Б+О2^8О2

Полнота сгорания топлива зависит от количества и температуры подаваемого воздуха. При недостаточном количестве воздуха горение затрудняется, топливо сгорает не полностью и поэтому возникают потери тепла (Чн.сг). Чрезмерно большая подача воздуха нерациональна, так как при этом охлаждаются факел и топка, уменьшается скорость горения, увеличиваются

9



где QUm - полезная тепловая нагрузка печи, ккал/ч;

- низшая теплота сгорания топлива, ккал/кг;

:■? - к.п.д. печи.

Тепловая напряженность поверхности нагрева радиантных и конвекционных труб определяется количеством тепла, передаваемого 1 м2 данной поверхности нагрева в 1 ч. Допустимое среднее значение тепловой напряжённости поверхности нагрева радиантных труб для печей атмосферных установок колеблется от 27 000 до 45 000 ккал/(м •ч), для печей вакуумных установок от 24 000 до 30 000 ккал/(м •ч). Для современных высокоэффективных трубчатых печей с радиантными трубами двухстороннего облучения и оребрёнными конвекционными трубами теплонапряжённость радиантных труб достигает 60 000-65 000 ккал/(м •ч). Для конвекционных труб значение средней тепловой напряжённости равно примерно 8000-20 000 ккал/(м2-ч).

Однако тепловые напряжённости поверхности нагрева радиантных труб в разных точках печи отличаются друг от друга, иногда значительно. Наибольшую тепловую напряжённость имеют участки змеевика трубного экрана, близко расположенные к зеркалу горения; сторона труб, расположенная к факелу; трубы, расположенные над перевальной стенкой; первый ряд двухрядного экрана. Применяют различные методы выравнивания тепловых напряжённостей радиантных труб: наклонные своды печи, радирующий конус, двухстороннее облучение, настильное пламя и др.

Температура дымовых газов над перевальной стенкой характеризует распределение полезной тепловой нагрузки печи между радиантными и конвекционными трубами. Обычно температуру дымовых газов над перевальной стенкой поддерживают в пределах 700-850 °С [1].

2.3 Описание работы лабораторного стенда

Работу стенда рассмотрим на основании функциональной схемы контура регулирования температуры, которая приведена на рисунке 3.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| МЭО-16 | „ -220В | ПБР-2М |
| С |
| ДП |  |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Щ79 | |  |
|  | >Ь1.мА | |
| измерительный  поеооразовател\* | | |

цА

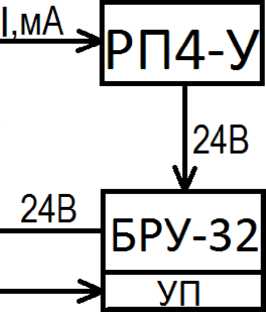
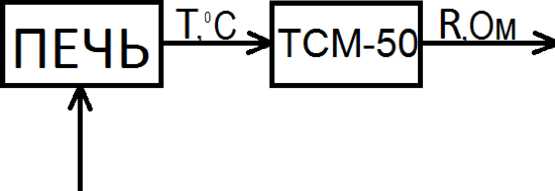


Рисунок 3 - Функциональная схема контура регулирования

17



Измерение температуры производится с помощью термопреобразователя сопротивления ТСМ-50. Сигнал с ТСМ-50 поступает на входы преобразователя измерительного Щ79. Пребразователь Щ79 преобразует сигнал сопротивления в унифицированный токовый сигнал 0...5 мА, который затем подается на измерительный прибор ИП (амперметр, шкала которого отградуирована в °С) и на входы регулирующего прибора РП4-У. На другие входы регулятора РП4-У поступает сигнал с внешнего резистивного задатчика РЗД12.

Когда текущее значение температуры в модели печи отклоняется от заданной величины, устанавливаемой внутренним задатчиком регулятора РП4-У или внешним задатчиком, регулятор вырабатывает регулирующее воздействие в виде импульсного выходного сигнала постоянного тока 24В, которое направлено на ликвидацию отклонения температуры.

Выходной сигнал регулятора проходит через контакты переключателя управления «Автомат.-Дист.» и контакты кнопок ручного управления исполнительным механизмом «Б» и «М» блока ручного управления БРУ-32. При этом блоком БРУ-32 производится индикация направления срабатывания регулятора, а также показание положения исполнительного механизма (регулирующего органа) с помощью встроенного стрелочного указателя положения УП. Сигнал на УП поступает от датчика положения ДП, расположенного в механизме электрическом однооборотном МЭО-16.

Пройдя через контакты переключателя управления и кнопок, сигнал от регулятора поступает на входы управления пускателя бесконтактного реверсивного ПБР-2М, предназначенного для преобразования импульсного выходного сигнала 24В в импульсный сигнал переменного тока амплитудой 220 В, необходимый для управления двигателем исполнительного механизма МЭО-16.

Исполнительный механизм имеет концевые выключатели SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, которые предназначены для останова двигателя МЭО-16 при крайних положениях его вала. Поэтому сигнал от регулятора, пройдя через БРУ-32, проходит первоначально через контакты концевых выключателей и только потом поступает на входы ПБР-2М. Для питания датчика положения МЭО-16 используется блок питания постоянным током БП-10.

* 1. Алгоритм выполнения работы

Перед выполнением поверки выполняют следующие операции:

1. Включить автоматический выключатель («СЕТЬ»).
2. Установить переключатель управления «А/Р» регулятора РП4-У на блоке управления БРУ-32 в положение «Р».
3. Кнопкой блока управления «Б» установить регулирующий орган 3 в 80% положение, при котором будет происходить интенсивный нагрев теплоносителя и теплоприёмника модели.

Когда температура теплоприёмника по истечении некоторого времени (приблизительно 20 минут) достигнет установившегося значения,

18

необходимо изменить положение регулирующего органа на 10% с помощью кнопки «Б» блока БРУ-32, т.е. тем самым формируется ступенчатый входной сигнал, необходимый для идентификации объекта управления по переходной характеристике.

1. С момента нанесения возмущения по миллиамперметру, отградуированного в °С, проводить регистрацию изменения температуры теплоприемника. При изменении температуры на 0,5 °С необходимо фиксировать текущее время t переходной характеристики объекта.

Регистрацию значений температуры и времени проводят до тех пор, пока дальнейший процесс нагревания теплообменника не прекратится, т.е. пока не наступит равновесие в системе за счёт внешнего теплообмена. Результаты измерений заносят в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты проведения эксперимента

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, сек. | Изменение положения РО на + 10% | | | | | |
| T1(t) | T1(t) | T1(t) | T1(t) | T1(t) | Tср(t) |
| 0 |  |  |  |  |  |  |
| 30 |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 300 |  |  |  |  |  |  |

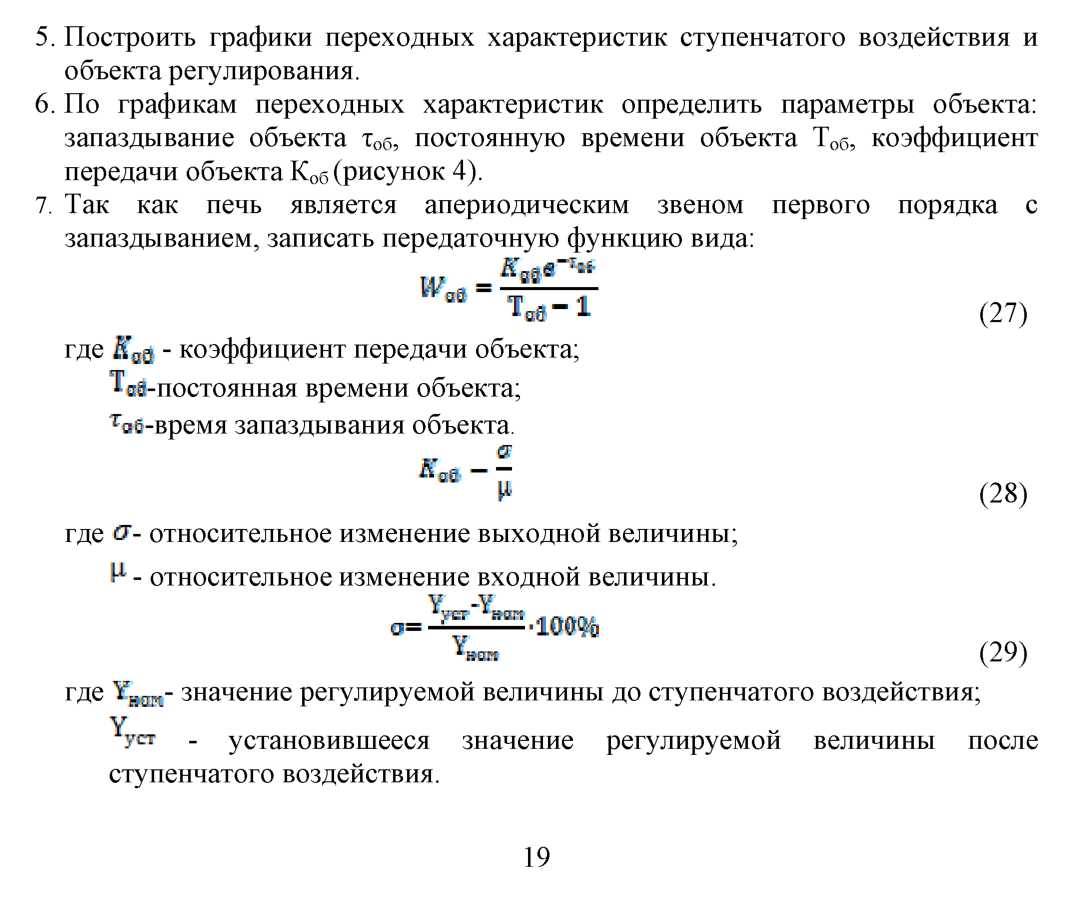


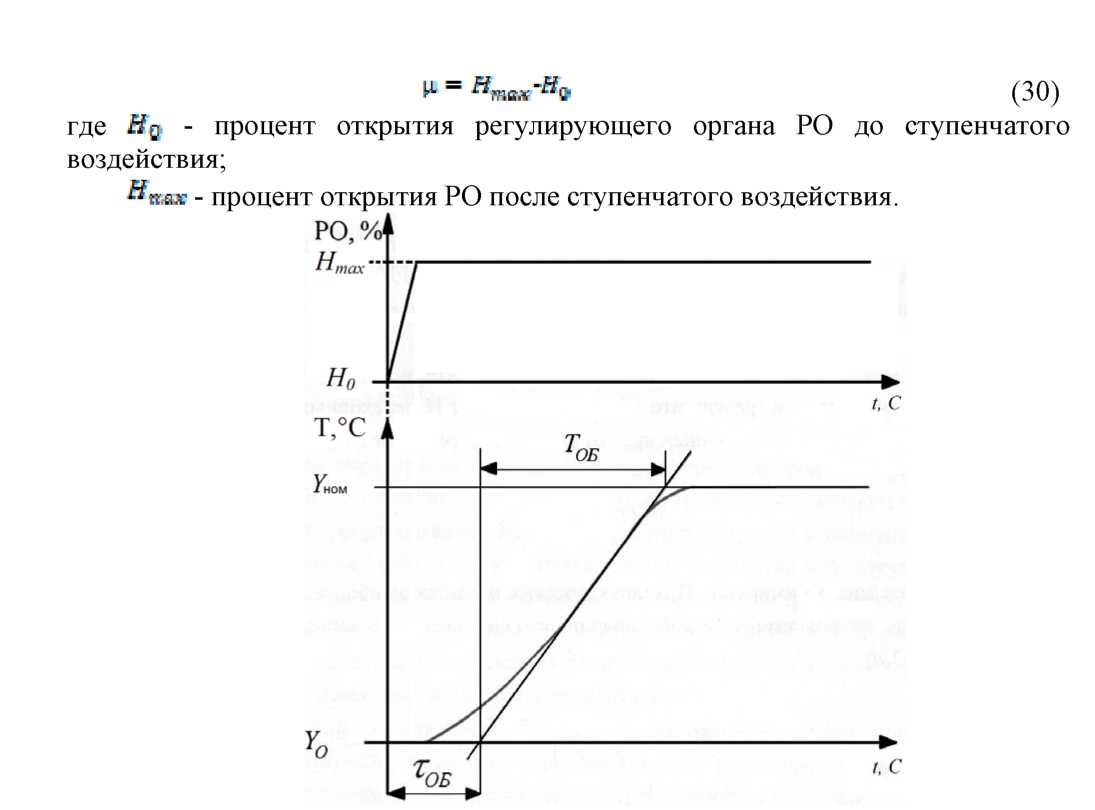
Рисунок 4 - Графики переходных характеристик ступенчатого воздействия и объекта регулирования

1. Выполнить индивидуальные задания по вариантам. Исходные данные для  
   индивидуальных заданий представлены в таблицах 3-5.

Задание 1. Рассчитать процесс горения мазута, содержащего С %  
углерода, Н % водорода, S % серы. Расход водяного пара на распыление  
топлива составляет W кг/кг.

Таблица 3 - Варианты первого задания

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | С, % | Н, % | S, % | W, кг/кг |
| 1 | 74,5 | 24,5 | 1 | 0,25 |
| 2 | 75,2 | 22,8 | 2 | 0,29 |
| 3 | 76,3 | 20,7 | 3 | 0,33 |
| 4 | 77,7 | 21,3 | 1 | 0,36 |
| 5 | 78,4 | 19,6 | 2 | 0,39 |
| 6 | 80,3 | 16,7 | 3 | 0,4 |
| 7 | 82,6 | 16,4 | 1 | 0,43 |
| 8 | 84,1 | 12,9 | 3 | 0,45 |
| 9 | 85,5 | 12,5 | 2 | 0,47 |
| 10 | 88,8 | 10,2 | 1 | 0,5 |



Задание 2. Определить тепловую нагрузку печи вакуумной установки производительностью Gm, кг/ч мазута = 0,931). В печи мазут нагревается от t1 °С до t2 °С, при этом k % его переходит в паровую фазу. В печи имеется пароперегреватель, где перегревается LBn кг/ч водяного пара от t3 до t4 °С. Отгон имеет плотность ((^5 = 0,912). Влажность водяного парах %.

Таблица 4 - Варианты второго задания

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-а | Ом, кг/ч | t1, °С | t2, °С | k, % | Ьв.п, кг/ч | t3, °С | t4, °С |
| 1 | 30 000 | 150 | 250 | 10 | 390 | 105 | 230 |
| 2 | 32 000 | 160 | 260 | 15 | 410 | 110 | 250 |
| 3 | 35 000 | 170 | 275 | 20 | 460 | 112 | 280 |
| 4 | 38 000 | 180 | 290 | 25 | 490 | 115 | 300 |
| 5 | 50 000 | 190 | 300 | 30 | 650 | 118 | 320 |
| 6 | 55 000 | 200 | 350 | 35 | 720 | 120 | 340 |
| 7 | 60 000 | 210 | 380 | 37 | 780 | 123 | 370 |
| 8 | 63 000 | 220 | 430 | 40 | 820 | 125 | 390 |
| 9 | 68 000 | 230 | 480 | 43 | 880 | 127 | 420 |
| 10 | 70 000 | 240 | 500 | 45 | 910 | 130 | 450 |

Задание 3. Определить низшую теплоту сгорания топлива, содержащего...

Таблица 5 - Варианты третьего задания

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар-а | Состав топлива, вес. % | | | | |
| углерода | водорода | серы | кислорода | воды |
| 1 | 86,5 | 10,5 | 1,4 | 0,7 | 0,9 |
| 2 | 88,2 | 11,1 | 0,3 | 0,3 | 0,1 |
| 3 | 87,3 | 12,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| 4 | 86,8 | 12,1 | 0,4 | 0,3 | 0,4 |
| - | H2 | CH4 | C2H4 | C2H6 | C3H6 |
| 5 | 11,2 | 45,7 | 18,4 | 20,3 | 4,4 |
| 6 | 5,5 | 9,2 | 33,3 | 36,6 | 15,4 |
| 7 | 12,3 | 54,6 | 22,2 | 7,7 | 3,2 |
| - | СзНв | H-C4H10 | C4H8 | H2S | C5H12 |
| 8 | 53,3 | 23,6 | 14,7 | 1,3 | 7,1 |
| 9 | 18,4 | 19,5 | 55,2 | 1,1 | 5,8 |
| 10 | 24,8 | 55,9 | 15,8 | 0,8 | 2,7 |

* 1. Основные правила по технике безопасности

При выполнении лабораторной работы должны быть соблюдены требования безопасности, определяемые:

* правилами безопасности при эксплуатации электронагревательных технических средств;
* правилами технической эксплуатации электроустановок.

21

* 1. Содержание и форма отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

* тему лабораторной работы
* функциональную схему контура регулирования температуры;
* таблицу с результатами измерений и графики переходных характеристик;
* передаточную функцию объекта регулирования;
* расчёт индивидуальных заданий.
  1. Диагностические материалы (контрольные вопросы)

1. Назначение технических средств лабораторного стенда, их входные и выходные сигналы.
2. Принцип работы трубчатых печей.
3. Как влияют на размеры и конфигурацию факела температура и количество воздуха, подводимого к горелкам.
4. Что является вторичными излучателями.
5. Способы повышения передачи тепла конвекцией.
6. Что называется температурным напором, полезной тепловой нагрузкой, теплонапряженностью поверхности нагрева, коэффициентом полезного действия.
   1. Критерии оценки работы студентов

Оценка работы студентов включает в себя следующие этапы:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Виды работы | Баллы |
| 1 | Изучение теоретических сведений |  |
| 2 | Выполнение лабораторной работы (проведение вычислений) и оформление отчета по работе | 0-5 |
| 3 | Защита работы по контрольным вопросам | 0-5 |
|  | Итого | 0-10 |

Список литературы

Основная литература

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А., Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов. Под ред. чл.- корр. АН России П.Г. Романкова. - 11-е изд., стереотипное. Перепечатка с изд. 1987г. - М.: ООО «РусМедиаКонсалт», 2004. - 576 с.

Дополнительная литература

1. Сарданашвили А.Г., Львова А.И. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа. М., «Химия», 1973.-272с.
2. Каменских И.А., Ведерников В.А., Овчинникова В.А., Автоматизация процессов подогрева углеводородного сырья: Учебное пособие. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. - 56с.

22

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Значение поправки на температуру Jkf в формуле (16) для жидких

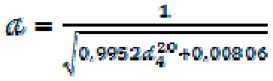
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, °C |  | Mf (на 1°) | t, °C | 4? | (на 1°) | t, °C | 4? | Mf (на 1°) |
| -50 | -19,14 | 0,364 | 150 | 69,56 | 0,527 | 350 | 190,66 | 0,689 |
| -45 | -17,31 | 0,368 | 155 | 72,20 | 0,531 | 355 | 194,04 | 0,693 |
| -40 | -15,47 | 0,372 | 160 | 74,85 | 0,535 | 360 | 197,57 | 0,697 |
| -35 | -13,61 | 0,376 | 165 | 77,52 | 0,539 | 365 | 201,05 | 0,701 |
| -30 | -11,73 | 0,380 | 170 | 80,21 | 0,543 | 370 | 204,55 | 0,705 |
| -25 | -9,82 | 0,384 | 175 | 82,93 | 0,547 | 375 | 208,08 | 0,709 |
| -20 | -7,90 | 0,388 | 180 | 85,66 | 0,551 | 380 | 211,62 | 0,712 |
| -15 | -5,95 | 0,392 | 185 | 88,42 | 0,555 | 385 | 215,19 | 0,717 |
| -10 | -3,99 | 0,396 | 190 | 91,19 | 0,559 | 390 | 218,72 | 0,721 |
| -5 | -2,00 | 0,400 | 195 | 93,99 | 0,563 | 395 | 222,38 | 0,725 |
| 0 | 0 | 0,405 | 200 | 96,80 | 0,567 | 400 | 226,00 | 0,729 |
| 5 | 2,03 | 0,409 | 205 | 99,64 | 0,571 | 405 | 229,65 | 0,733 |
| 10 | 4,07 | 0,413 | 210 | 102,49 | 0,575 | 410 | 233,31 | 0,737 |
| 15 | 6,14 | 0,417 | 215 | 105,37 | 0,579 | 415 | 237,00 | 0,741 |
| 20 | 8,22 | 0,421 | 220 | 108,26 | 0,583 | 420 | 240,70 | 0,745 |
| 25 | 10,33 | 0,425 | 225 | 111,18 | 0,587 | 425 | 244,43 | 0,749 |
| 30 | 12,46 | 0,429 | 230 | 114,11 | 0,591 | 430 | 248,17 | 0,753 |
| 35 | 14,60 | 0,433 | 235 | 117,07 | 0,596 | 435 | 251,94 | 0,757 |
| 40 | 16,77 | 0,437 | 240 | 120,05 | 0,600 | 440 | 255,73 | 0,761 |
| 45 | 18,96 | 0,441 | 245 | 123,05 | 0,604 | 445 | 259,54 | 0,765 |
| 50 | 21,16 | 0,446 | 250 | 126,06 | 0,608 | 450 | 263,36 | 0,769 |
| 55 | 23,39 | 0,450 | 255 | 129,09 | 0,612 | 455 | 267,10 | 0,774 |
| 60 | 25,63 | 0,454 | 260 | 132,16 | 0,616 | 460 | 271,08 | 0,778 |
| 65 | 27,90 | 0,458 | 265 | 135,24 | 0,620 | 465 | 274,96 | 0,782 |
| 70 | 30,26 | 0,462 | 270 | 138,33 | 0,624 | 470 | 278,85 | 0,786 |
| 75 | 32,53 | 0,466 | 275 | 141,45 | 0,628 | 475 | 282,80 | 0,790 |
| 80 | 34,83 | 0,470 | 280 | 144,59 | 0,632 | 480 | 286,75 | 0,794 |
| 85 | 37,11 | 0,474 | 285 | 147,75 | 0,636 | 485 | 290,75 | 0,798 |
| 90 | 39,55 | 0,478 | 290 | 150,93 | 0,640 | 490 | 294,71 | 0,802 |
| 95 | 41,94 | 0,482 | 295 | 154,13 | 0,644 | 495 | 298,72 | 0,806 |
| 100 | 44,35 | 0,486 | 300 | 157,35 | 0,648 | 500 | 302,75 | 0,810 |
| 105 | 46,78 | 0,490 | 305 | 160,59 | 0,652 | 505 | 306,80 | 0,815 |
| 110 | 49,23 | 0,494 | 310 | 163,85 | 0,656 | 510 | 310,90 | 0,819 |
| 115 | 51,70 | 0,498 | 315 | 167,13 | 0,660 | 515 | 314,97 | 0,824 |
| 120 | 54,19 | 0,502 | 320 | 170,43 | 0,664 | 520 | 319,07 | 0,828 |
| 125 | 56,70 | 0,506 | 325 | 173,75 | 0,668 | 525 | 323,19 | 0,833 |
| 130 | 59,23 | 0,510 | 330 | 177,09 | 0,672 | 530 | 327,38 | 0,837 |
| 135 | 61,79 | 0,514 | 335 | 180,46 | 0,676 | 535 | 331,54 | 0,842 |
| 140 | 64,36 | 0,518 | 340 | 183,84 | 0,680 | 540 | 335,72 | 0,846 |
| 145 | 66,81 | 0,522 | 345 | 187,24 | 0,684 | 545 | 339,92 | 0,851 |

23

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Значения поправки на плотность а в формуле (16) для жидких

нефтепродуктов



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| d-Г | а | й/0,001 | d-г | а |
| 0,60 | 1,285 | 0,001 | 0,80 | 1,115 |
| 0,61 | 1,274 | 0,81 | 1,108 |
| 0,62 | 1,264 | 0,82 | 1,101 |
| 0,63 | 1,254 | 0,83 | 1,094 |
| 0,64 | 1,244 | 0,84 | 1,083 |
| 0,65 | 1,235 | 0,85 | 1,082 |
| 0,66 | 1,226 | 0,0009 | 0,86 | 1,076 |
| 0,67 | 1,217 | 0,87 | 1,070 |
| 0,68 | 1,208 | 0,88 | 1,064 |
| 0,69 | 1,199 | 0,89 | 1,058 |
| 0,70 | 1,191 | 0,90 | 1,052 |
| 0,71 | 1,183 | 0,0008 | 0,91 | 1,046 |
| 0,72 | 1,174 | 0,92 | 1,040 |
| 0,73 | 1,167 | 0,93 | 1,035 |
| 0,74 | 1,159 | 0,94 | 1,029 |
| 0,75 | 1,151 | 0,95 | 1,024 |
| 0,76 | 1,144 | 0,96 | 1,019 |
| 0,77 | 1,136 | 0,0007 | 0,97 | 1,014 |
| 0,78 | 1,129 | 0,98 | 1,008 |
| 0,79 | 1,122 | 0,99 | 1,003 |
| 0,80 | 1,115 | 1,00 | 0,998 |

й/0,001

0,0007

0,0006

0,0005

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Значения поправки на плотность в формуле (17) для паров нефтепродуктов & =3,992-0,99524°

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | & | ar | ■& | ar | &  & | dF | & | df> | ■& | di\* | & |
| 0,60 | 3,395 | 0,67 | 3,325 | 0,74 | 3,255 | 0,81 | 3,186 | 0,88 | 3,116 | 0,95 | 3,046 |
| 0,61 | 3,385 | 0,68 | 3,315 | 0,75 | 3,246 | 0,82 | 3,176 | 0,89 | 3,106 | 0,96 | 3,037 |
| 0,62 | 0,375 | 0,69 | 3,305 | 0,76 | 3,236 | 0,83 | 3,166 | 0,90 | 3,096 | 0,97 | 3,026 |
| 0,63 | 3,365 | 0,70 | 3,295 | 0,77 | 3,226 | 0,84 | 3,156 | 0,91 | 3,086 | 0,98 | 3,016 |
| 0,64 | 3,355 | 0,71 | 3,285 | 0,78 | 3,216 | 0,85 | 3,146 | 0,92 | 3,076 | 0,99 | 3,007 |
| 0,65 | 3,345 | 0,72 | 3,275 | 0,79 | 3,206 | 0,86 | 3,136 | 0,93 | 3,066 | 1,00 | 2,997 |
| 0,66 | 3,335 | 0,73 | 3,265 | 0,80 | 3,196 | 0,87 | 3,126 | 0,94 | 3,056 |  |  |

Примечание. При уменьшении значения dна 0,001 коэффициент возрастает на 0,001 и обратно.

24

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Значения поправки на температуру Щ в формуле (17) для паров нефтепродуктов ££= 50,2+0,109t+0,00014t2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, °C | т | А4? (на 1°) | t, °C | 4? | (на  1°) | t, °C | 4? | (на 1°) |
| 0 | 50,2 | 0,110 | 185 | 75,15 | 0,162 | 370 | 109,70 | 0,213 |
| 5 | 50,75 | 0,111 | 190 | 75,96 | 0,163 | 375 | 110,76 | 0,215 |
| 10 | 51,30 | 0,113 | 195 | 76,78 | 0,164 | 380 | 111,84 | 0,216 |
| 15 | 51,87 | 0,114 | 200 | 77,60 | 0,166 | 385 | 112,92 | 0,217 |
| 20 | 52,44 | 0,115 | 205 | 78,43 | 0,167 | 390 | 114,00 | 0,219 |
| 25 | 53,01 | 0,117 | 210 | 79,26 | 0,169 | 395 | 115,10 | 0,220 |
| 30 | 53,60 | 0,118 | 215 | 80,11 | 0,170 | 400 | 116,20 | 0,222 |
| 35 | 54,19 | 0,120 | 220 | 80,96 | 0,171 | 405 | 117,31 | 0,223 |
| 40 | 54,78 | 0,121 | 225 | 81,81 | 0,173 | 410 | 118,42 | 0,225 |
| 45 | 55,39 | 0,122 | 230 | 82,68 | 0,174 | 415 | 119,55 | 0,226 |
| 50 | 56,00 | 0,124 | 235 | 83,58 | 0,176 | 420 | 120,68 | 0,227 |
| 55 | 56,62 | 0,125 | 240 | 84,42 | 0,177 | 425 | 121,81 | 0,229 |
| 60 | 57,24 | 0,126 | 245 | 85,31 | 0,178 | 430 | 122,96 | 0,230 |
| 65 | 57,87 | 0,128 | 250 | 86,20 | 0,180 | 435 | 124,11 | 0,232 |
| 70 | 58,52 | 0,129 | 255 | 87,10 | 0,181 | 440 | 125,26 | 0,233 |
| 75 | 59,16 | 0,131 | 260 | 88,00 | 0,183 | 445 | 126,43 | 0,234 |
| 80 | 59,82 | 0,132 | 265 | 88,92 | 0,184 | 450 | 127,60 | 0,236 |
| 85 | 60,48 | 0,134 | 270 | 89,84 | 0,185 | 455 | 128,78 | 0,237 |
| 90 | 61,14 | 0,135 | 275 | 90,76 | 0,187 | 460 | 129,96 | 0,238 |
| 95 | 61,82 | 0,136 | 280 | 91,70 | 0,188 | 465 | 131,15 | 0,240 |
| 100 | 62,50 | 0,138 | 285 | 92,64 | 0,190 | 470 | 132,36 | 0,241 |
| 105 | 63,19 | 0,139 | 290 | 93,59 | 0,191 | 475 | 133,56 | 0,243 |
| 110 | 63,88 | 0,141 | 295 | 94,54 | 0,192 | 480 | 134,78 | 0,244 |
| 115 | 64,59 | 0,142 | 300 | 95,50 | 0,194 | 485 | 136,00 | 0,246 |
| 120 | 65,30 | 0,143 | 305 | 96,47 | 0,195 | 490 | 137,22 | 0,247 |
| 125 | 66,01 | 0,145 | 310 | 97,44 | 0,197 | 495 | 138,46 | 0,248 |
| 130 | 66,74 | 0,146 | 315 | 98,43 | 0,198 | 500 | 139,70 | 0,250 |
| 135 | 67,47 | 0,148 | 320 | 99,42 | 0,199 | 505 | 140,95 | 0,251 |
| 140 | 68,20 | 0,149 | 325 | 100,41 | 0,201 | 510 | 142,20 | 0,253 |
| 145 | 68,95 | 0,150 | 330 | 101,42 | 0,202 | 515 | 143,47 | 0,254 |
| 150 | 69,70 | 0,152 | 335 | 102,43 | 0,204 | 520 | 144,74 | 0,255 |
| 155 | 70,46 | 0,153 | 340 | 103,44 | 0,205 | 525 | 146,01 | 0,256 |
| 160 | 71,22 | 0,155 | 345 | 104,47 | 0,206 | 530 | 147,30 | 0,258 |
| 165 | 72,00 | 0,156 | 350 | 105,50 | 0,208 | 535 | 148,59 | 0,259 |
| 170 | 72,78 | 0,157 | 355 | 106,54 | 0,209 | 540 | 149,88 | 0,261 |
| 175 | 73,56 | 0,159 | 360 | 107,58 | 0,211 | 545 | 151,19 | 0,262 |
| 180 | 74,36 | 0,160 | 365 | 108,64 | 0,212 | 550 | 152,50 |  |

25

ТРУБЧАТЫЕ ПЕЧИ

Методические указания к лабораторной работе № 1 по дисциплине «Технологические процессы автоматизированных производств» для студентов направления для студентов направления 220700.62-Автоматизация технологических процессов и производств (в нефтяной и газовой промышленности) для всех форм обучения

Составители:

Слинкина Светлана Васильевна Овчинникова Валентина Андреевна

*В авторской редакции*

Подписано в печать 14.01.2015. Формат 60х90 1/16. Усл. печ. л. 1,75.

Тираж 45 экз. Заказ № 56.

Библиотечно-издательский комплекс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет». 625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса. 625039, г. Тюмень, ул. Киевская, 52.