

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологии стекла и керамики

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И АГРЕГАТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛА

**Программа, методические указания
и контрольные вопросы для студентов специальности
1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ,
материалов и изделий» специализаций 1-48 01 01 06 «Технология
стекла и ситаллов», 1-48 01 01 10 «Технология эмалей
и защитных покрытий» заочной формы обучения**

Минск 2013

УДК 666.695(075)
ББК 65.9(2)304я75
Т34

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом университета.

Составитель
Ю. Г. Павлюкевич

Рецензент
кандидат технических наук, доцент кафедры
химической технологии вяжущих материалов
УО «Белорусский государственный технологический университет»
А. А. Мечай

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2013 год. Поз. 190.

Для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализаций 1-48 01 01 06 «Технология стекла и ситаллов», 1-48 01 01 10 «Технология эмалей и защитных покрытий» заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Теплотехнические установки и агрегаты предприятий производства стекла» базируется на ранее освоенных студентами дисциплинах общеинженерного цикла: «Процессы и аппараты химической технологии», «Теплотехника химических производств», «Тепловые процессы в технологии силикатных материалов», «Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов», «Химическая технология стекла и ситаллов».

Целью курса является формирование у студентов инженерных знаний и навыков в области устройства, принципа действия, расчета и проектирования тепловых агрегатов, используемых в производстве стекла и ситаллов.

Студенты должны освоить особенности устройства и принципы работы печных и сушильных агрегатов различных конструкций; приобрести навыки самостоятельного расчета элементов конструкций тепловых агрегатов; научиться определять основные технико-экономические показатели их работы; выполнять теплотехнические и аэродинамические расчеты; обоснованно выбирать огнеупорные и теплоизоляционные материалы для кладки агрегатов.

Освоение курса позволит студентам приобрести необходимые знания и умения для проектирования, сооружения и эксплуатации тепловых установок и агрегатов различных типов и назначения.

1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Введение

Содержание дисциплины и ее значение в системе подготовки инженеров-химиков-технологов. История и перспективы развития печной теплотехники в стекольной промышленности. Общая классификация тепловых агрегатов стекольного производства. Показатели эффективности работы.

1. Стекловаренные печи

1.1. Стекловаренные печи периодического действия

Горшковые печи: типы, назначение, устройство и конструктивные особенности. Процесс варки стекла в горшковых стекловаренных печах. Техничко-экономические показатели и эксплуатация горшковых печей. Стекловаренные горшки.

Ванные печи: назначение, устройство. Техничко-экономические показатели и особенности эксплуатации печей.

1.2. Стекловаренные печи непрерывного действия

Ванные стекловаренные печи малой мощности. Ванные печи непрерывного действия прямого нагрева. Назначение, устройство, технико-экономические показатели. Кислородное дутье. Способы получения кислорода.

Регенеративные и рекуперативные ванные стекловаренные печи. Особенности устройства и технико-экономические показатели.

Ванные печи средней мощности. Назначение, устройство и технико-экономические показатели. Барботаж стекломассы.

Ванные печи большой мощности. Назначение, устройство и технико-экономические показатели.

Электрические стекловаренные печи прямого сопротивления. Использование электрического тока для варки стекла. Классификация печей прямого сопротивления. Электрические и пламенно-электрические печи. Печи с дополнительным электрическим обогревом. Назначение, устройство и конструктивные особенности.

Электроды. Особенности использования. Технические требования. Установка электродов в печи и подготовка к работе.

1.3. Основные конструктивные элементы стекловаренных печей

Материалы для строительства печей. Теплоизоляционные и огнеупорные материалы: традиционные и новые. Общестроительные материалы и растворы. Раскладка огнеупоров печи.

Рабочая камера. Бассейн ванной печи. Дно бассейна. Стены бассейна.

Верхнее строение. Торцевые и боковые стены. Свод. Обвязочный каркас, опоры, фундамент. Газопроводы.

Переводные устройства. Типы переводных устройств. Достоинства и недостатки.

Горелки. Шахтные и факельные горелки. Достоинства и недостатки.

Пристроенные и встроенные узлы ванн стекловаренных печей. Загрузочный карман. Хальмовочный карман. Заградительные лодки, мосты, протоки, решетчатый экран, сниженные своды.

Рекуператоры: назначение, устройство, принцип действия. Керамические и металлические рекуператоры. Достоинства и недостатки.

Регенераторы: назначение, устройство, принцип действия. Типы насадок регенератора. Преимущества и недостатки.

1.4. Основы эксплуатации стекловаренных печей

Особенности теплообмена в стекловаренных печах. Теплообмен в шихте и стекломассе, пламенном пространстве: механизм, основные закономерности. Оптимизация процессов теплообмена.

Физико-химические основы стекловарения. Факторы, влияющие на процесс стекловарения. Движение стекломассы. Температурный и газовой режим работы печи.

Правила эксплуатации печей. Подготовка печей к пуску. Остановка печей. Виды ремонтов печей.

Техника безопасности и охрана окружающей среды при работе стекловаренных печей.

2. Пути повышения эффективности работы стекловаренных печей

Основные направления развития печной теплотехники. Новые конструкции стекловаренных печей. Пути совершенствования конструкций ванн стекловаренных печей. Печь с циклонной камерой.

Интенсификация процесса стекловарения. Термические и гидродинамические способы интенсификации процесса стекловарения.

3. Устройства для выработки стекла

Устройства для механизированной выработки листового стекла машинами вертикального вытягивания стекла (ВВС) лодочным и безлодочным способом. Принцип формования стекла и параметры процесса. Особенности устройства выработочных каналов и подмашинной камеры.

Устройства для механизированной выработки листового стекла способом непрерывного проката. Конструкция выработочного устройства стекловаренной печи. Принцип формования.

Устройства для формования ленты стекла флоат-способом. Конструкция флоат ванны для выработки листового стекла разных номиналов. Особенности устройства и эксплуатации. Защитная атмосфера.

Устройства механизированной выработки штучных изделий. Питатели-фидеры, вращающиеся чаши, неподвижные выработочные бассейны с перемешивающим устройством: конструктивные особенности, принцип действия.

Устройства для выработки стеклянного волокна. Фильтрные питатели. Особенности устройства и эксплуатации.

Устройства для механизированной выработки стеклянных труб: конструктивные особенности, принцип действия.

4. Печи специального назначения

Шахтные печи. Применение, устройство, особенности эксплуатации и технико-экономические показатели работы.

Гарнисажные печи. Назначение, устройство, принцип действия и технико-экономические показатели работы.

Печи вспенивания для производства пеностекла. Особенности устройства и эксплуатации, технико-экономические показатели работы.

Печи для производства кварцевого стекла. Особенности конструкций и принцип действия.

5. Печи для отжига, закалки и моллирования стеклоизделий

Печи для отжига стеклоизделий: назначение, классификация. Отжигательные печи периодического и непрерывного действия. Преимущества и недостатки.

Печи для моллирования и закалки стекла: назначение, устройство и принцип действия.

6. Сушильные установки

Процесс сушки и сушильные установки в стекольном производстве. Характеристика сырья, подвергаемого сушке.

Барабанные сушилки: назначение, принцип действия, устройство. Особенности применения прямоточных и противоточных сушилок. Насадки и их типы.

Аэробильные и аэрофонтанные сушильные установки. Назначение, особенность их устройства и принцип действия. Преимущества и недостатки.

Сушилки кипящего слоя. Назначение, устройство и принцип действия. Преимущества и недостатки.

Техника безопасности и охрана окружающей среды при работе сушилок.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс «Теплотехнические установки и агрегаты предприятий производства стекла» включает в себя основные разделы:

- стекловаренные печи, в т. ч. конструкции выработочных устройств;
- печи специального назначения;
- печи для отжига, закалки и моллирования стеклоизделий;
- сушильные установки.

При изучении основных положений дисциплины следует придерживаться следующего общего методологического подхода: рассмотреть принцип работы основного теплотехнического оборудования стекольной промышленности; изучить назначение и особенности конструкций основных элементов и узлов ванн и горшковых стекловаренных печей; изучить устройство, назначение и принцип работы топливосжигающих и теплообменных устройств.

При изучении курса необходимо особое внимание уделить рассмотрению эксплуатационных свойств огнеупорных и теплоизоляционных материалов. Их применение следует рассматривать во взаимосвязи с производственными процессами, происходящими в стекловаренных печах.

В соответствии с учебным планом студент обязан:

- 1) выполнить и защитить курсовой проект;
- 2) выполнить практические работы в установленном объеме в период лабораторно-экзаменационной сессии;
- 3) сдать экзамен по программе курса.

В период сессии студентам читаются лекции по следующей тематике.

1. Содержание курса и значение дисциплины в системе подготовки инженеров-химиков-технологов. Общая классификация тепловых агрегатов стекольного производства.

Горшковые печи, их назначение, типы и конструкции. Особенности эксплуатации.

2. Ваннющие печи непрерывного действия. Назначение, классификация, устройство и конструктивные особенности. Техничко-экономические показатели.

Электрические стекловаренные печи прямого сопротивления. Электрические и пламенно-электрические печи. Печи с дополнительным электрическим обогревом. Назначение, устройство и конструктивные особенности.

3. Основные конструктивные элементы стекловаренных печей. Обвязочный каркас, опоры, фундамент. Рабочая камера.

Переводные устройства стекловаренных печей. Типы переводных устройств. Достоинства и недостатки.

Горелки. Шахтные и факельные горелки. Достоинства и недостатки.

Теплоиспользующие устройства стекловаренных печей. Рекуператоры: назначение устройство, принцип действия. Керамические и металлические рекуператоры. Достоинства и недостатки.

Регенераторы: назначение, устройство, принцип действия. Типы насадок регенератора. Преимущества и недостатки.

4. Особенности теплообмена в стекловаренных печах. Теплообмен в шихте и стекломассе, пламенном пространстве: механизм, основные закономерности.

Интенсификация процесса стекловарения. Термические и гидродинамические способы интенсификации процесса стекловарения. Кислородное дутье. Способы получения кислорода. Барботаж стекломассы.

5. Печи специального назначения. Шахтные печи. Применение, устройство, особенности эксплуатации и технико-экономические показатели работы.

Печи вспенивания для производства пеностекла. Особенности устройства и эксплуатации, технико-экономические показатели работы.

Печи для отжига стеклоизделий: назначение, классификация. Отжигательные печи периодического и непрерывного действия. Преимущества и недостатки. Печи для моллирования и закалки стекла: назначение устройство и принцип действия.

В ходе лекции студенты получают разъяснения по основным положениям изучаемого курса.

Практические занятия по курсу посвящены следующим вопросам.

1. Методика расчета ванной стекловаренной печи. Выбор конструкции теплового агрегата, исходные данные для расчетов. Выбор и расчет основных элементов конструкции печи. Расчеты по расходу топлива и воздуха на процессы стекловарения.

2. Определение расходов тепла на процессы стеклообразования.

3. Расчет теплообмена в печи непрерывного действия. Составление теплового баланса ванной стекловаренной печи.

4. Расчет теплообменных устройств печи. Расчет регенераторов или рекуператоров. Определение их основных размеров.

5. Выбор аэродинамической схемы работы агрегатов. Аэродинамический расчет тепловых установок. Расчет дымовой трубы и вентиляционных установок.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется в соответствии с тематикой дисциплины на основе задания, в котором указывается тип теплотехнического агрегата, производительность и ассортимент выпускаемой продукции.

Курсовой проект включает графическую и расчетную части. Расчетная часть оформляется в виде расчетно-пояснительной записки. Она включает: титульный лист; задание на проектирование; введение; реферат; содержание; обоснование и выбор типа и конструкции агрегата; конструкционный и теплотехнический расчет; тепловой и конструктивный расчет теплоиспользующих устройств; аэродинамический расчет печи; заключение по проекту; перечень графического материала; список использованных источников литературы. Пояснительная записка выполняется на одной стороне листа формата А4. Каждый раздел текста пояснительной записки следует начинать с нового листа. Основные разделы текста должны снабжаться основной надписью по форме 5 ГОСТ 21.101. Выполненный курсовой проект должен соответствовать требованиям СПб БГТУ 002–2007 «Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представления к защите и защиты».

Реферат должен включать перечисление от 5 до 15 ключевых слов в единственном числе и именительном падеже, написанных в строчку прописными буквами, через запятую.

Необходимо, чтобы текст реферата отражал содержание курсового проекта с основными выводами и положениями. По объему он не должен превышать одну страницу текста.

Во введении отражаются назначение рассматриваемого теплового агрегата в технологии получения данного вида продукции, выбор состава стекла для обеспечения заданного ассортимента продукции, способ производства. Приводятся основные технико-экономические показатели работы теплового агрегата.

При обосновании выбора типа и конструкции агрегата рассматриваются все его достоинства и недостатки в сравнении с существующими, приводятся пути усовершенствования конструкции агрегатов. В описании устройства выбранного к проектированию агрегата даются все его особенности: конструкционное оформление рабочей

камеры, устройств для сжигания топлива, теплоиспользующих и вытяжных устройств. Приводятся аэродинамический и газовый режимы работы. В разделе дается заключение о технико-экономическом преимуществе выбранного агрегата.

Расчет горшковых печей включает выбор типа и конструкции печи, определение ее основных размеров, расчет горения топлива, установление распределения температур в кладке печи методом конечных разностей, составление тепловых балансов и определение расхода топлива за каждый период работы печи, расчет регенераторов или рекуператоров, определение размеров горелок и каналов для воздуха, топлива и продуктов горения, расчет сопротивлений на пути движения газовых потоков, размеров дымовой трубы или устройств для искусственной тяги.

Исходными данными к расчету являются ассортимент вырабатываемых изделий; тип печи; производительность печи, кг/цикл; химический состав стекла, содержание оксидов, мас. %; состав шихты, мас. %; вид топлива; температурный режим работы печи по периодам.

Методика расчета горения топлива изложена в литературе [1].

При расчете горения топлива вычисляется теплотворная способность топлива, действительное количество воздуха, подаваемого на горение, а также количество продуктов сгорания. Коэффициент избытка воздуха обычно принимается $\alpha = 1,1-1,2$.

Минимально требуемая температура подогрева воздуха и газообразного топлива для получения заданной максимальной температуры в стойле печи определяется на основании расчетов горения топлива и пирометрического коэффициента, который для горшковой печи принимается равным 0,7.

Расход тепла на процесс стеклообразования рассчитывается в соответствии с заданным составом шихты и сырьевых материалов или составом стекла по методике, изложенной в книге [1].

При определении размеров печи учитываются количество горшков, форма печи, вид топлива, устройства для нагрева воздуха.

В зависимости от количества горшков рекомендуется проектировать печи следующих форм: 1–4 горшка – прямоугольная; 6 – прямоугольная или бочкообразная; 8–16 – круглая или овальная.

После выбора типа печи и определения основных размеров рабочей камеры необходимо сделать подробный эскиз проектируемого теплового агрегата. Эскиз рабочей камеры печи используется для дальнейшего теплотехнического расчета и определения расхода тепла и топлива.

Расчет распределения температур в ограждениях рабочей камеры выполняется по методу конечных разностей, изложенному в литературе [1], в соответствии с заданным температурным режимом работы горшковой печи. В качестве начального момента принимают начало периода, следующего за периодом максимальной длительности. При ручной выработке и 24-часовом цикле это соответствует началу периода разогрева, когда можно ожидать максимального приближения потока к стационарному; при другой длительности цикла начальный момент может совпадать с периодом освещения или студки.

Вначале рассчитывается распределение температур в кладке в условиях стационарного потока тепла. Температура внутренней поверхности кладки в начальный момент, а также изменение ее при последующем расчете принимается равной или на 25–50°C выше заданной температуры по принятому температурному режиму печи.

Распределение температуры в поду определяется с учетом температуры на наружной поверхности, которая в случае расположения регенераторов под подом печи равна средней температуре газов под сводом регенераторов – отходящих и нагреваемых. При регенераторах, вынесенных за пределы рабочей камеры печи, распределение температур рассчитывают как для бесконечно толстой стены.

Температура материала горшка и остатков стекла в горшке изменяется соответственно температуре стойла печи.

Распределение температур кладки печи рассчитывается для нескольких полных циклов работы печи, и расчет считается законченным, если происходит совпадение средних температур в начале и конце периодов в течение 2–3 циклов.

При расчете горшковой печи расход топлива определяют путем составления тепловых балансов по отдельным периодам за весь цикл работы печи. Методика расчета приходных и расходных статей теплового баланса приведена в источнике [1].

Расчет регенераторов и рекуператоров производится по максимальному секунднему расходу топлива, обычно в период варки, по методу, приведенному в пособии [1].

Для предварительных расчетов керамических воздушных рекуператоров можно принимать 1–2 м² поверхности нагрева на каждые 40 000 кДж потенциального тепла топлива, сжигаемого в течение часа. Для предварительных расчетов площади нагрева насадки воздушных регенераторов следует принимать на 1 м² площади пода рабочей камеры: для многогоршковых печей $f = 10–15$ м² при $Z_{ц} = 24$ ч; для 1–2-горшковых печей $f = 15–20$ м² при $Z_{ц} = 48$ ч.

Определение размеров вертикальных каналов горелок (кадей) регенеративных горшковых печей с нижним пламенем производится по скоростям продуктов горения при максимальном расходе топлива. При 1400°C скорость продуктов горения $W_t^{\text{д}} = 10\text{--}14$ м/с. Для ориентировочных расчетов размеров вертикальных каналов можно принимать общую площадь подающих и отводящих горелок 3–6% от площади пода рабочей камеры.

Для рекуперативных горшковых печей расчеты горелок производятся по формулам для расчета газовых горелок. Для определения размеров отводящих каналов из рабочей камеры рекуперативных горшковых печей скорость отходящих газов принимается $W_t^{\text{д}} = 3\text{--}6$ м/с.

Сечения каналов горшковых печей вычисляются на основании рекомендуемых скоростей газов в этих каналах при максимальном расходе топлива.

Расчет сопротивлений по пути движения газов, напоров и требуемого разрежения производится по пути движения воздуха, продуктов горения при максимальном расходе топлива, т. е. для периода варки, а также в период низких температур в стойле печи, т. е. в период разогрева.

На основании требуемого разрежения рассчитываются размеры дымовой трубы. Методика расчета сопротивлений, напоров и требуемого разрежения приведена в литературе [1].

Расчет ваннх печей периодического действия аналогичен расчету горшковых печей.

Расчет ваннх печей непрерывного действия включает расчет расхода тепла на процессы стеклообразования, расчет горения топлива, расчет размеров варочной и выработочной частей печи, расчет теплового баланса печи с определением расхода топлива, расчет горелок, регенераторов или рекуператоров, определение сопротивлений на пути движения газов, запасов напора и размеров дымовой трубы или устройств для искусственной тяги.

Исходными данными к расчету являются ассортимент вырабатываемых изделий; тип печи; суточная производительность печи, кг/сут; химический состав стекла, мас. %; состав шихты, мас. %; топливо; температурный режим работы печи.

Методика расчета горения топлива изложена в литературе [1].

При расчете горения топлива обычно принимается коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,1\text{--}1,2$, в печах прямого нагрева – $1,05\text{--}1,10$. Неполнота сгорания, а также выбивание газов наружу учитываются при составлении теплового баланса за счет увеличения расхода тепла на

2–5%. При определении действительной температуры горения учитывают пирометрический коэффициент 0,70–0,75.

Расход тепла на процесс стеклообразования рассчитывается в соответствии с заданным составом шихты и сырьевых материалов или составом стекла по методике, изложенной в пособии [1].

Основные размеры ванной стекловаренной печи определяются на основе данных о производительности печи и удельном съеме стекломассы. Ширина варочной части печи принимается конструктивно с учетом следующих рекомендаций:

- в зависимости от размеров печи соотношение между длиной и шириной варочного бассейна для печей с подковообразным пламенем должно находиться в пределах от 1 : 1 до 2 : 1; для печей с поперечным пламенем – от 2 : 1 до 4 : 1. В печах прямого нагрева (рекуперативных) указанное соотношение должно составлять от 4 : 1 до 7 : 1;

- ширина варочной части печи ограничивается размерами 8–9 м ввиду того, что при большей ширине значительно усложняется конструкция подвески свода. В печах с поперечным направлением пламени ширина печи должна находиться в пределах 4–9 м, подковообразным – 3–8 м, продольным – 2–5 м. Печи прямого нагрева строят шириной 2,5–3 м;

- ширина варочной части печи должна приниматься с учетом возможной раскладки донных брусьев и толщины стен бассейна печи.

Размеры выработочной (студочной) части печи принимаются конструктивно из расчета 0,1–0,5 от общей площади зеркала варочного бассейна печи. При определении площади выработочной (студочной) части печи учитывают температуру варки, условия выработки и, главным образом, конструкцию разделения варочной и выработочной частей. Соотношение площадей обычно находится в следующих пределах: для печей листового стекла – от 50 : 50 до 60 : 40, для печей с протоком – от 70 : 30 до 90 : 10.

Исходя из проведенных расчетов основных размеров варочной и выработочной частей печи вычерчиваются основные конструктивные эскизы проектируемого теплового агрегата, выбираются огнеупорные и теплоизоляционные материалы для кладки печи. Тип огнеупорных и теплоизоляционных материалов для кладки отдельных участков печи принимается конструктивно с учетом рекомендаций, изложенных в литературе [1, 2].

Дальнейший теплотехнический расчет выполняют на основании эскизов и сведений о температурном режиме варки, осветления и выработки стекла заданного химического состава.

При выполнении теплотехнического расчета составляется тепловой баланс печи и определяется расход топлива на отопление печи по методике, изложенной в пособии [1].

К приходным статьям теплового баланса относят тепло от горения топлива; тепло, вносимое подогретым топливом; тепло, вносимое подогретым воздухом.

К расходным статьям баланса относят расход тепла на процесс стеклообразования; потери тепла с уходящими продуктами горения; потери тепла излучением через открытые отверстия с учетом потерь тепла через загрузочное отверстие, во влеты горелок, из варочной в студочную часть (при наличии отверстий) и т. д.; потери тепла излучением через открытые отверстия; тепло, теряемое на нагрев обратных потоков стекломассы; потери тепла в окружающую среду.

Расчет потерь тепла через кладку определяют отдельно для стен пламенного пространства рабочей камеры печи, свода, стен бассейна и дна печи. Значения температуры внутренних поверхностей кладки принимаются по рекомендациям, представленным в литературе [1, прил. 3]. Поверхность кладки находится как среднее между внутренней и наружной поверхностями, т. е. с учетом $\frac{1}{2}$ толщины кладки – по средним линиям.

Площадь поверхности излучения загрузочного отверстия, влетов горелок, отверстия в торцевой стене в студочную часть и т. д. определяют по геометрическим размерам отверстий, принятым конструктивно в соответствии с эскизом печи. Примерная площадь влетов составляет 1,5–3% от площади варочной части печи.

Для ванн печей непрерывного действия тепловой поток, теряемый с выбивающимися газами, если его достаточно сложно точно рассчитать, можно принять в размере 3–5% от прихода теплоты.

В отдельных случаях очень трудно с достаточной точностью рассчитать расход тепла на недожог топлива, потери тепла от утечки газов из рабочего пространства печи, с излучением через мелкие отверстия и т. д. Поэтому в расходные статьи теплового баланса вводятся неучтенные потери тепла, которые принимают равными 3–5% от прихода тепла.

Расход топлива определяется решением уравнения, полученного из равенства при суммировании приходных и расходных частей теплового баланса.

Для сравнения показателей работы печей между собой и сопоставления расчетных данных с практическими данными однотипных конструкций работающих печей определяют удельный расход тепла

и удельный расход условного топлива, коэффициент полезного действия печи.

Методика расчета регенераторов и рекуператоров изложена в литературе [1]. Размеры дымовоздушных каналов и горелок определяют по действительным скоростям газов в этих каналах.

Рекомендуемые к расчету скорости газов и участки дымовоздушных каналов приведены в пособии [1].

Определение сопротивлений на пути движения газов, запасов напора и размеров дымовой трубы или устройств для искусственной тяги выполняется в соответствии с методикой, изложенной в главе 1 [1].

Расчет необходимо выполнять с учетом подсоса к дымовым газам воздуха, составляющего в среднем (считая от начального количества) в регенераторах и рекуператорах 10–20% и в дымовых боровых –10–20%. На каждый неплотный клапан, переводной или простой, добавляется 5%. На основе расчетов определяются запас или недостаток напоров и характеристики дутьевых и тяговых устройств.

Графическая часть проекта выполняется на 3 листах формата А1. На отдельных листах графической части приводятся план, продольный и поперечный разрезы агрегата. Чертежи снабжаются основной надписью по форме 3 ГОСТ 21.101 (приложение А).

При выполнении чертежей рекомендуются масштабы 1:10, 1:25, 1:50, 1:100. При несоответствии масштаба выносного элемента указанному в основной надписи дается принятый масштаб после надписи, относящейся к этому элементу.

На чертежах должны быть показаны разрезы и сечения, нанесены конструктивные и габаритные размеры в объеме, обеспечивающем понимание как конструкции агрегата в целом, так и отдельных его элементов. Текстовые надписи должны включать условные обозначения использованных в конструкции агрегата теплоизоляционных и огнеупорных материалов с указанием действующей на них нормативно-технической документации.

Сверху над чертежами указывают название и принятый масштаб. Например, «Разрез 1-1М 1:25». Размерные линии на пересечении с выносными линиями, линиями контура или осевыми линиями на чертежах ограничивают засечками в виде толстых основных линий длиной 2–4 мм, проводимых с наклоном вправо под углом 45° к размерной линии. При этом размерные линии должны выступать за крайние выносные линии на 1–3 мм (рис. 1). Нужно, чтобы первая размерная линия отстояла от контура агрегата на 10–15 мм. Каждая последующая линия проводится на расстоянии 7–10 мм от предыдущей. На раз-

резах рекомендуется применять высотные отметки на выносных линиях контура в соответствии с ГОСТ 21.101 (рис. 1).

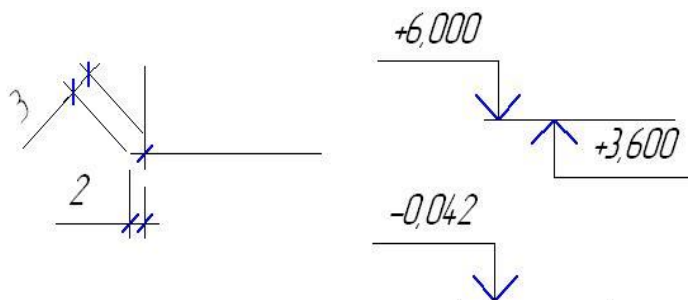


Рис. 1. Пример выполнения размерных линий и высотных отметок при разработке чертежей тепловых агрегатов

Размерная линия на чертежах ограничивается стрелками только в трех случаях: при обозначении диаметра или радиуса окружности (рис. 2); угла; при внесении размеров от общей базы.

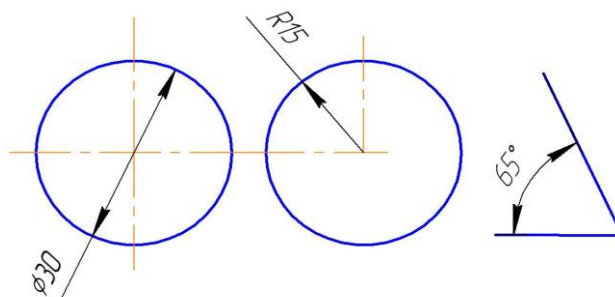


Рис. 2. Применение стрелок для нанесения размеров на чертежах строительных чертежи

Спецификацию можно выполнять и на отдельных листах формата А4, снабжая основной надписью по форме 3 ГОСТ 21.101 и помещая ее в приложениях расчетно-пояснительной записки.

Схему раскладки огнеупоров дна и стен бассейна стекловаренных печей приводят также в пояснительной записке.

На чертежах и в расчетно-пояснительной записке не допускается сокращение слов, за исключением общепринятых.

4. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

1. Регенеративная горшковая стекловаренная печь (для варки сортового и технического стекла).
2. Рекуперативная горшковая стекловаренная печь (для варки сортового и технического стекла).
3. Регенеративная ванная стекловаренная печь (для варки листового, сортового, тарного, технического стекла).
4. Рекуперативная ванная стекловаренная печь (для варки сортового, медицинского и технического стекла).
5. Электрическая стекловаренная печь прямого сопротивления (для варки сортового стекла).
6. Печь вспенивания для производства пеностекла.
7. Печь отжига непрерывного действия (для изделий сортового, тарного, технического стекла).

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Основные тенденции и перспективы развития печной теплотехники в стекольной промышленности.

2. Стекловаренные печи: назначение, общая классификация, показатели эффективности работы.

3. Горшковые печи: типы, назначение, устройство и конструктивные особенности.

4. Процессы варки стекла в горшковых стекловаренных печах. Техничко-экономические показатели и эксплуатация горшковых печей. Стекловаренные горшки.

5. Ваннные печи периодического действия: назначение, конструктивные особенности, принцип действия.

6. Регенеративные ваннные стекловаренные печи для производства тарного стекла: назначение, устройство, технико-экономические показатели.

7. Регенеративные ваннные стекловаренные печи для производства листового стекла: назначение, устройство, технико-экономические показатели.

8. Регенеративные ваннные стекловаренные печи для варки сортовых стекол (в том числе свинцового хрусталя): устройство, технико-экономические показатели.

9. Печи для варки цветных стекол: многосекционные печи, печи-спутники.

10. Рекуперативные ваннные печи непрерывного действия. Печи прямого нагрева. Назначение, устройство, технико-экономические показатели.

11. Стекловаренные печи с принудительным кислородным дутьем. Методы получения кислорода.

12. Электрические и пламенно- электрические печи: назначение, устройство и конструктивные особенности.

13. Печи с дополнительным электрическим обогревом: назначение, устройство и конструктивные особенности.

14. Использование электрического тока для варки стекла. Классификация печей прямого сопротивления. Схемы электропитания печей.

15. Электроды: особенности использования и технические требования, установка в печи и подготовка к работе.

16. Эксплуатация электротермических агрегатов.

17. Гарниссажные печи: назначение, устройство, принцип действия и технико-экономические показатели работы.

18. Циклонная стекловаренная печь: назначение, устройство, принцип действия и технико-экономические показатели работы.

19. Новые типы стекловаренных печей (печь типа «Flex-Melter»).

20. Утилизация низкопотенциального тепла отходящих газов. Котлы-утилизаторы.

21. Интенсификация процессов стекловарения и повышение эффективности современных стекловаренных печей. Способы интенсификации стекловарения.

22. Барботаж стекломассы. Назначение, особенности применения.

23. Принудительное перемешивание стекломассы. Назначение, особенности применения.

24. Система слива стекломассы типа «Conti- Drain»: назначение, особенности применения.

25. Особенности теплообмена в стекловаренных печах. Теплообмен в шихте и стекломассе, пламенном пространстве: механизм, основные закономерности. Оптимизация процессов теплообмена.

26. Тепловой и температурный режим работы стекловаренной печи.

27. Газовый режим работы стекловаренной печи.

28. Высокотемпературная варка стекла.

29. Устройства для механизированной выработки стеклянных труб и дровяного стекла: конструктивные особенности и принцип действия.

30. Устройства для механизированной выработки листового стекла способом непрерывного проката.

31. Устройства механизированной выработки штучных изделий. Вращающиеся чаши, неподвижные выработочные бассейны с перемешивающим устройством: конструктивные особенности, принцип действия.

32. Устройство и особенности конструкций подмашинной камеры для механизированной выработки листового стекла машинами ВВС безлодочным способом.

33. Конструкция выработочных каналов и подмашинной камеры ванн стекловаренных печей для механизированной выработки листового стекла машинами вертикального вытягивания стекла (ВВС) лодочным способом.

34. Установки для формования листового стекла флоат-способом. Особенности конструкции флоат-ванны для выработки листового стекла различных номиналов (по этой теме будет 2 вопроса).

35. Подготовка ваннных печей к пуску. Выводка и остановка ваннных стекловаренных печей непрерывного действия. Правила эксплуатации печей. Виды ремонтов печей.

36. Капельные питатели (фидеры): конструктивные особенности, принцип действия.

37. Материалы для строительства печей. Раскладка огнеупоров печи.

38. Тепловая изоляция огнеупорной кладки и герметизация стекловаренных печей.

39. Обвязочный каркас, опоры, фундамент, газопроводы, переводные устройства стекловаренных печей. Типы переводных устройств. Достоинства и недостатки.

40. Верхнее строение ванной печи. Торцевые и боковые стены. Свод.

41. Бассейн ванной печи. Особенности конструкции дна и стен бассейна печи.

42. Способы разделения по стекломассе варочных и выработочных частей бассейна ваннных печей. Назначение разделительных устройств, конструктивные особенности, достоинства и недостатки.

43. Способы разделения по пламенному пространству варочных и выработочных частей бассейна ваннных печей. Назначение разделительных устройств, конструктивные особенности, достоинства и недостатки.

44. Шахтные горелки регенеративных стекловаренных печей. Способы подвода топлива на горение. Преимущества и недостатки.

45. Газоподводящие фурмы и горелки. Достоинства и недостатки.

46. Металлические рекуператоры: назначение устройство, принцип действия. Достоинства и недостатки.

47. Керамические рекуператоры: назначение, устройство, принцип действия. Достоинства и недостатки.

48. Регенераторы: назначение, устройство, принцип действия. Типы насадок регенератора. Преимущества и недостатки.

49. Печи для отжига стеклоизделий: назначение, классификация. Отжигательные печи периодического действия. Преимущества и недостатки.

50. Конвейерные печи для отжига стеклянной тары, сортовой посуды и других штучных изделий особенности конструкции и принцип действия. Преимущества и недостатки.

51. Печи для моллирования и закалки стекла: назначение устройство и принцип действия.

52. Печи для производства кварцевого стекла: устройство, принцип действия.

53. Печи для производства пеностекла: устройство, принцип действия, технико-экономические показатели работы.

54. Барабанные сушилки: назначение, принцип действия. Особенности применения прямоточных и противоточных сушилок. Насадки и их типы.

55. Сушилки кипящего слоя: назначение, принцип действия. Преимущества и недостатки.

56. Аэробильные установки, особенности их устройства, принцип действия.

57. Аэрофонтанные установки, принцип действия и назначение. Преимущества установки.

59. Тепловой баланс ванной регенеративной печи непрерывного действия. Метод расчета.

60. Тепловой баланс ванной рекуперативной печи непрерывного действия. Метод расчета.

61. Основы теплотехнического расчета рекуператоров.

62. Основы теплотехнического расчета регенераторов.

63. Механика газов в стекловаренных печах. Основы аэродинамического расчета стекловаренных печей.

64. Конвейерные печи для отжига листового стекла. Особенности конструкции и принцип действия.

65. Вагранка. Особенности конструкции и принцип действия.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Пример оформления основных надписей в курсовом проекте (ГОСТ 21.101)

Чертежи снабжаются основной надписью по форме 3 ГОСТ 21.101, показанной на рисунке П.1.

						(1)		
						(2)		
Изм.	Коллч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Стадия	Лист	Листов
(5)		(6)		(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
						(4)		
						(12)		

Рисунок П1 – Пример исполнения основной надписи к чертежам в соответствии с требованиями стандартов СПДС

В графах основной надписи указывают:

- в графе 1 – буквенно-цифровое обозначение чертежа в виде КП XX.XX. ТХ;
- в графе 2 – наименование предприятия, к которому относится проектируемый теплотехнический агрегат (установка);
- в графе 3 – наименование теплотехнического агрегата, например «Ванная стекловаренная печь»;
- в графе 4 – наименование изображений, помещенных на данном листе, в точном соответствии с наименованием изображений, например «Разрез 1-1М 1:50»;
- в графе 5 необходимо помещать:
 - «Разраб.» – фамилию студента;
 - «Пров.» и «Утв.» – фамилию руководителя проекта;
- в графе 6 – фамилии лиц соответственно графе 5;
- в графе 7 – подписи лиц, указанных в графе 5;
- в графе 8 – дату подписания;
- в графе 9 – литеру «У»;
- в графе 10 – порядковый номер листа;
- в графе 11 – количество листов;
- в графе 12 – наименование организации, разработавшей чертеж с буквенно-цифровым обозначением в виде БГТУ 71906ХХ, ХХХХ, где ХХ, ХХХХ – соответственно номер по списку в учебной группе и год представления курсового проекта к защите.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левицкий, И. А. Теплотехнические установки и агрегаты предприятий производства стекла. Расчет стекловаренных печей / И. А. Левицкий, Ю. Г. Павлюкевич. – Минск: БГТУ, 2006. – 232 с.
2. Папко, Л. Ф. Огнеупоры стекловаренных печей / Л. Ф. Папко, Ю. Г. Павлюкевич. – Минск: БГТУ, 2008. – 110 с.
3. Плышевский, С. В. Тепловые процессы технологии силикатных материалов / С. В. Плышевский, М. И. Кузменков. – Минск: БГТУ, 2006. – 332 с.
4. Тепловые процессы в технологии силикатных материалов / И. А. Булавин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1982. – 249 с.
5. Гинзбург, Д. Б. Стекловаренные печи / Д. Б. Гинзбург. – М.: Стройиздат, 1967. – 240 с.
6. Волгина, Ю. М. Теплотехническое оборудование стекольных заводов / Ю. М. Волгина. – М.: Стройиздат, 1974. – 307 с.
7. Лаптев, В. И. Электрические агрегаты для варки стекла / В. И. Лаптев, В. А. Сибиряков. – М.: Легпромбытиздат, 1975. – 157 с.
8. Пиоро, Л. С. Экономия топлива в производстве стекла / Л. С. Пиоро. – Киев: Наук. думка, 1981. – 139 с.
9. Ферворнер, О. Огнеупорные материалы для стекловаренных печей / О. Ферворнер, К. Берндт. – М.: Стройиздат, 1984. – 261 с.
10. Станек, Я. Электрическая варка стекла / Я. Станек. – М.: Легиндустрия, 1979. – 247 с.
11. Степаненко, М. Г. Пути совершенствования ванн стекловаренных печей / М. Г. Степаненко. – М.: Госстройиздат, 1960. – 160 с.
12. Гюнтер, Р. Ванные стекловаренные печи / Р. Гюнтер. – М.: Госстройиздат, 1958. – 252 с.
13. Левченко, П. В. Расчеты печей и сушилок силикатной промышленности / П. В. Левченко. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с.
14. Сапожников, М. Я. Справочник по оборудованию заводов строительных материалов, изделий, конструкций / М. Я. Сапожников, Н. Е. Дроздов. – М.: Стройиздат, 1970. – 487 с.
15. Гинзбург, Д. Б. Теплотехнические расчеты установок силикатной промышленности / Д. Б. Гинзбург, В. И. Зимина. – М.: Стройиздат, 1951. – 492 с.
16. Стекло: справочник / под ред. Н. М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1973. – 487 с.
17. Павлушкин, Н. М. Основы технологии стекла / Н. М. Павлушкин. – М.: Стройиздат, 1979. – 359 с.

18. Мазурин, О. В. Отжиг и закалка стекла / О. В. Мазурин, Ю. Л. Белоусов. – М.: Стройиздат, 1984. – 113 с.
19. Будов, В. М. Производство строительного стекла и стеклоизделий / В. М. Будов, П. Д. Саркисов. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.
20. Тепловые процессы в технологии силикатов / А. В. Ралко [и др.]. – Киев: Вища школа, 1986. – 232 с.
21. Вагин, А. А. Топливо, огнеупоры и металлургические печи / А. А. Вагин, В. А. Кривандин. – М.: Металлургия, 1978. – 431 с.
22. Теплотехнические расчеты металлургических печей / под ред. А. С. Телегина. – М.: Металлургия, 1982. – 357 с.
23. Свенчанский, А. Д. Электрические промышленные печи: в 2 ч. / А. Д. Свенчанский. – М.: Энергия, 1975. – Ч. I. – 382 с.
24. Перегудов, В. В. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей / В. В. Перегудов, М. И. Роговой. – М.: Стройиздат, 1983. – 416 с.
25. Киселев, В. Н. Тонкослойная варка и осветление стекла / В. Н. Киселев, Н. А. Понкова. – М.: Легпромбытиздат, 1992. – 112 с.
26. Козлов, А. С. Теплотехника регенеративных стекловаренных печей / А. С. Козлов. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 141 с.
27. Дзюзер, В. Я. Проектирование энергоэффективных стекловаренных печей / В. Я. Дзюзер, В. С. Швыдкий. – М.: Теплотехник, 2009. – 340 с.
28. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представление к защите и защита: СТП БГТУ 002-2007. – Введен 01.06.2007. – Минск: БГТУ. – 36 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Программа дисциплины	4
2. Методические указания по изучению дисциплины	8
3. Методические указания по выполнению курсового проекта	10
4. Тематика курсовых проектов	18
5. Контрольные вопросы к экзамену	19
Приложение	23
Литература	24

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И АГРЕГАТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛА

Программа, методические указания и контрольные вопросы

Составитель **Павлюкевич** Юрий Геннадьевич

Редактор *Р. М. Рябая*
Компьютерная верстка *Я. Ч. Болбот*
Корректор *Р. М. Рябая*

Издатель:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.