

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»



**В.Е. Питолин**

# **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ**

Методические указания  
к курсовому проектированию  
для студентов специальности переподготовки  
1-43 01 78 «Диагностика и техническое обслуживание  
энергооборудования организаций»

*Текстовое электронное издание*

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2021

УДК 621.9.06

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией радиотехнического факультета (протокол № 3 от 12.12.2018)

Кафедра энергетики и электроники

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ:

зам. начальника Полоцкого межрайонного отделения филиала «Энергонадзор» РУП «Витебскэнерго» Д.Л. БАРАНОВ;  
доц. каф. энергетики и электроники А.С. ВЕРШИНИН

Содержат рекомендации по подготовке основных разделов пояснительной записки курсового проекта и требования к их оформлению. Предлагается список литературы и программное обеспечение дисциплины, а также 3 приложения, иллюстрирующие порядок расчета расхода теплоэнергоресурсов на выпуск продукции и таблицу утверждаемых норм расхода на период I-IV кварталов 2022 г.

Предназначено для студентов переподготовки специальности 1-43 01 78 «Диагностика и техническое обслуживание энергооборудования организаций».

© Питолин В.Е., 2021

© Полоцкий государственный университет, 2021

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Диагностирование и техническое обслуживание энергооборудования» В.Е. Питолина использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

ПИТОЛИН Владимир Евгеньевич

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ**

Методические указания  
к курсовому проектированию  
для студентов специальности переподготовки  
1-43 01 78 «Диагностика и техническое обслуживание  
энергооборудования организаций»

Редактор *О.Ю. Тарасевич*

---

Подписано к использованию 18.05.2021.  
Объем издания: 0,18 Мб. Заказ 349.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	5
2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ .....	5
3. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ .....	6
4. ЛИТЕРАТУРА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	10
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	11
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	15
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	25

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Целью курсового проекта является практическое закрепление курсового материала и развитие навыков самостоятельной работы слушателей при решении комплекса задач, связанных с разработкой экономически обоснованных норм обеспечения организации различными видами энергоносителей и определением методов безопасной эксплуатации и технической диагностики энергооборудования организации.

Темой курсового проекта является разработка системы энергоснабжения промышленного оборудования и организация его эксплуатации с использованием метода параметрической диагностики.

Слушатель должен научиться самостоятельно выполнять тепловые расчеты оборудования, а также расчеты требуемой электрической мощности; выполнять расчет нормативных удельных расходов энергии на выпуск продукции и оформлять отчетную статистическую документацию по использованию теплоэнергоресурсов в организации.

## **2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ**

Текстовая часть курсового проекта оформляется на листах формата А4 в соответствии с ГОСТ 2.105-95 ЕСКД «Общие требования к текстовым документам» и представляется сброшюрованной в пластиковой обложке. Порядок брошюровки следующий:

- 1) титульный лист, номер страницы не указывается;
- 2) задание на курсовое проектирование, оформленное на стандартном бланке, номер страницы не указывается;
- 3) содержание (оглавление) – оформляется на листе со стандартной рамкой и основной надписью по форме для текстовых документов в соответствии с ГОСТ 2.104, номер страницы – 3-ий (на всех последующих листах – нумерация страниц по порядку);
- 4) введение – не нумеруется, оформляется на листах со стандартной рамкой (весь последующий текстовый материал также);
- 5) основная часть;
- 6) заключение – не нумеруется;
- 7) литература – не нумеруется;
- 8) графический материал (в виде приложений).

Объем пояснительной записки составляет ориентировочно 30–50 страниц формата А4.

Шрифт записки – «Times New Roman» 14 пт, межстрочный интервал: 1,5.

Графическая часть выполняется на листах формата А3.

В процессе проектирования осуществляется контроль готовности выполняемой работы в соответствии с календарным графиком, указанным в задании на курсовое проектирование.

Курсовой проект сдается на проверку руководителю за три дня до установленного срока защиты.

Расчетно-пояснительная записка на магнитном носителе (дискете) и в виде отпечатанного материала, подписанная студентом, сдается на кафедру ТК секретарю кафедры не позднее, чем за 10 дней до защиты курсового проекта.

### **3. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ**

При формировании пояснительной записки следует ориентироваться прежде всего на обеспечение общей логики построения материала курсового проекта, принимая за основу структуру содержания, приведенную в задании на курсовое проектирование.

Некоторые разделы пояснительной записки можно расширять, вводить подразделы, но полностью исключать разделы не разрешается.

Конечное содержание пояснительной записки должно быть согласовано с руководителем курсового проекта в процессе его выполнения.

#### **Введение.**

Здесь необходимо кратко указать перечень энергооборудования организации, вид и объем выпускаемой продукции, что очень важно для оценки статистических показателей работы организации; назначение оборудования, вид используемых теплоэнергетических ресурсов, сменность, условия работы оборудования.

#### **3.1 Проектирование систем использования тепловой энергии**

Это прежде всего отопление производственных зданий объекта. Расчет энергии, затрачиваемой на отопление, выполняется по рекомендациям СНБ 4.02.01-03. Пример расчета систем отопления приведен в приложении 1.

Пароснабжение объекта с определением необходимой тепловой (или электрической) мощности используемого оборудования. В качестве такого оборудования могут использоваться различные сушильные установки, печи, плиты, испарительные (выпарные) установки, ректификационные установки и т. д.

Расчет таких установок выполняется с использованием рекомендаций [1] или простых формул для некоторых установок, представленных в приложении 1.

На основании тепловых расчетов установок, а также расчета необходимой электрической мощности, которая определяется в разделе 3.6, формулируется общий расчет удельных норм расхода теплоэнергетических ресурсов на выпуск продукции предприятием, представляемых в разделе 3.9.

Пример такого расчета приведен в приложении 2.

### **3.2 Проектирование систем вентиляции**

В этом же разделе выполняется проектирование приточной вентиляции объекта с определением электрической мощности приводов вытяжных вентиляторов. Это особенно важно для объектов с энергооборудованием, являющимся источником большой запыленности помещений.

### **3.3 Выбор электроприемников**

По результатам тепловых расчетов и расчетов систем вентиляции будут определены мощности приводов и потребителей электрической энергии основного энергооборудования, которые войдут в перечень электроприемников.

Для каждого электроприемника указываются его характеристики:

- обозначение энергоприемника на схеме,
- наименование,
- электрическая мощность электродвигателя\*,
- значение  $\cos\varphi$ ,
- частота вращения,
- КПД,
- коэффициент использования,
- кратность пускового тока,
- ожидаемый ток расцепления,
- фазность и число проводников,
- характерная группа учета в спецификации.

Затем указываются ориентировочные характеристики пусковой и защитной аппаратуры:

- наименование (обозначение) и тип,
- среда установки.

Все необходимые данные имеются в справочной базе системы программирования линейных сетей электроснабжения САПР-Альфа.

Примечание: \* – потребляемая мощность некоторых электроприемников определяется по результатам теплового расчета энергооборудования организации.

### **3.4 Проектирование однолинейной схемы распределительной сети электропитания оборудования промышленного объекта**

Проектирование производится с использованием программы САПР-Альфа 7.0, в которой выбираются общие схемные решения по формированию распределительной сети на объекте:

- построение цепочек коммутационных аппаратов до электроприемника,
- выбор числа распределительных пунктов,
- порядок формирования групп оборудования с подключением по фидерам или непосредственно к выводам распределительных пунктов или шинам.

Чертеж расчетной схемы электросети объекта, сформированный в системе САПР-Альфа выводится в программу ACAD для печати.

### **3.5 Разработка спецификации оборудования**

Спецификация оборудования электросети, а также кабельные и кабельно-трубные журналы открытой (закрытой) прокладки формируются автоматически в программе САПР-Альфа и выводятся в MS WORD для изменения шрифта на требуемый типоразмер и последующей печати.

### **3.6 Расчет необходимой электрической мощности**

Расчет суммарной электрической нагрузки электросети по форме Ф636-92 генерируется программой САПР-Альфа и выводится в MS WORD для изменения шрифта на требуемый типоразмер и последующей печати.

### **3.7 Разработка схемы параметрической диагностики**

Разработка схемы параметрической диагностики оборудования объекта выполняется слушателем самостоятельно с использованием рекомендаций, изложенных в лекциях по данному предмету.

Параметрическая диагностика объекта обычно входит в качестве подзадачи в состав систем SCADA, АСКУТЭ или АСКУЭ, используемых в организации, либо выполняется периодически по рекомендациям поставщиков энергооборудования.

### **3.8 Разработка эксплуатационных инструкций для персонала объекта**

Выполняется с использованием действующих ТКП по данному вопросу, например: ТКП 458-2012 (02230) и ТКП 459-2012 (02230) по тепловому оборудованию или ТКП 181-2009 (02230) и ТКП 427-2012 (02230) по эксплуатации электроустановок.

### **3.9 Определение показателей работы объекта**

Выполняется в форме государственной статистической отчетности или в виде утверждаемых удельных норм расхода теплоэнергоресурсов.

Пример такого расчета представлен в приложении 3.

### **3.10 Перечень разрабатываемого графического материала**

1. Схема отопления и вентиляции объекта (цеха).
2. Принципиальная схема линейной распределительной сети объекта.
3. Расчетная схема сети электроснабжения здания объекта.
4. План здания с расположением оборудования и электросети.
5. Схема параметрической диагностики энергооборудования.

Разработка чертежей выполняется в программе АСAD или аналогичной. Допускается разработка заготовки чертежа в других системах, например, в системе Splan любой версии, MSVisio или САПР-Альфа с последующей доработкой и оформлением рамки и штампа.

## **4. ЛИТЕРАТУРА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Зоммер В. AutoCAD 2008 Руководство чертежника, конструктора, архитектора / В. Зоммер. – М. : Издательство БИНОМ, 2008. – 736 с.
2. Питолин В. Е. Методические указания по курсовому проектированию по теме «Разработка проекта электроснабжения промышленного здания с использованием средств САПР» / В. Е. Питолин. – Новополоцк : ПГУ, 2012. – 16 с.

### **Дополнительная литература**

3. Лебедев П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки / П. Д. Лебедев. – М. : Энергия, 1972. – 320 с.
4. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск : Минстройархитектуры, 2004. – 82с.
5. ТКП 458-2012 Правила технической эксплуатации теплоустановок и тепловых сетей потребителей. Минск : изд. Минэнерго, 2012, 85с.
6. ТКП 459-2012 Правила техники безопасности при эксплуатации теплоустановок и тепловых сетей потребителей. Минск : изд. Минэнерго, 2012, 65с.
7. ТКП 181-2009 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Минск : изд. Минэнерго, 2009, 534с.
8. ТКП 427-2012 Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. Минск : изд. Минэнерго, 2012, 83с.
9. Система автоматизированного проектирования «САПР-Альфа» Силовое электрооборудование САПР-СЭ. Руководство пользователя. – М. : Фирма «САПР-Альфа», 2007. – 31с.
10. Федоров А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учеб. пособие для ВУЗов / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 368с.

### **Электронные материалы и программное обеспечение дисциплины**

Для выполнения всех видов работ по курсовому проектированию слушателям необходимы дополнительные материалы, которые выдаются в электронном виде:

1. Инсталляционная версия свободного распространения системы САПР «AutoCAD 2007».
2. Учебная версия системы «САПР-Альфа» версии 7.0 с патчами адаптации и базами данных.

**Некоторые формулы для расчета систем отопления, вентиляции и испарительной установки**

**Расчет водяного отопления.**

Обычно расчет потребляемой тепловой мощности равен тепловой мощности потерь через ограждающие конструкции здания (стены, пол и потолок) и при отсутствии внутренних источников тепла, выполняется по формуле:

$$Q = V(t_{in} - t_{ext})q_{y\partial}, \text{ Вт},$$

где  $t_{in} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  – рабочая температура внутри здания,  
 $t_{ext}$  – усредненная температура наружного воздуха в холодное время года (принимается по таблице Е.1 [4]),  
 $V$  – строительный объем здания (по наружному обмеру);  $\text{м}^3$ ,  
 $q_{y\partial} = 0,35\text{--}0,6 \text{ Вт/м}^3\text{ }^\circ\text{C}$  – удельная тепловая характеристика здания, зависящая от устройства ограждающих конструкций (теплоизоляции стен, пола и потолка).

Эта величина потребляемой тепловой мощности обычно используется при заключении договора на централизованное отопление водяными системами.

При наличии электрических водогрейных котлов величина потребляемой электроэнергии определяется с учетом его текущего КПД:

$$W = Q/\text{КПД}, \text{ Вт}$$

КПД котла может быть снижен до 0,75, но не ниже. В противном случае нагревательные элементы котла нуждаются в чистке.

**Расчет расхода теплоты на приточную вентиляцию.**

Кроме общего обогрева здания системой отопления, которое компенсирует потери теплоты через ограждающие конструкции, необходимо выполнять и подогрев воздуха, поступающего в здание по системе вентиляции, т.к. соответствующее количество воздуха покидает здание, унося с собой это тепло.

Расчет выполняется по формуле К.1 [4]:

$$Q_B = 0,28 \cdot \Sigma G \cdot C_B \cdot (t_{in} - t_{ext}) \cdot k \cdot k_p, \text{ Вт},$$

Где  $t_{in} = 20$  °С – рабочая температура внутри здания;

$t_{ext}$  – усредненная температура наружного воздуха в холодное время года (принимается по таблице Е.1 [4]), °С;

$\Sigma G$  – суммарный объемный расход приточной вентиляции, м<sup>3</sup>/с;

$C_B = 1$  кДж/(кг°С) – удельная теплоемкость воздуха;

$k = 1-0,8$  – коэффициент присосов воздуха;

$k_p$  – коэффициент рекуперации теплового потока вентиляции.

При наличии электрических подогревателей воздуха в калориферах необходимо при пересчете на электрическую мощность учитывать их КПД.

При наличии рекуперативных теплообменников утилизации теплоты удаляемого воздуха (что особенно важно для производств с большим выделением пыли и нуждающимся в повышенной мощности вентиляции при пылеудалении) в эту формулу вводят коэффициент рекуперации  $k_p=0,2-0,8$ .

### **Расчет расхода воздуха систем приточной вентиляции.**

Суммарный расход воздуха  $\Sigma G$ , входящий в предыдущую формулу, в системах приточной и вытяжной вентиляции рассчитывается по рекомендациям приложений «Т» и «Ф» [4] для зданий различного назначения, в том числе и для обеспечения взрывобезопасности в них.

Если нет других требований (например, повышенное выделение тепла энергооборудованием при своей работе), расчет приточной вентиляции определяется, исходя из санитарных норм – 90 м<sup>3</sup>/час на одного работающего.

Пример расчета вытяжной вентиляции, обусловленной требованиями технологического процесса сушки изделий, приведен в приложении 2.

### **Расчет испарительных (выпарных) установок.**

Выпарные установки широко применяются в промышленности для выпара излишков жидкости при изготовлении вязких веществ (вазелина, солидола, смазочных масел, мыла и т. д.), а также для получения твердых кристаллических веществ (каустической соды, соли, сахара и т. д.).

Типовые конструкции выпарных установок приведены в разделе 4 [4].  
Расчет выпарной установки периодического действия при постоянном уровне раствора.

Такая установка работает по принципу постоянства объема в испарителе:

$$V = G_2 / \rho_2 = G_1 / \rho_1 = \text{const}, \text{ м}^3$$

Обычно используют испарители объемом  $V = 1,5 - 2,5 \text{ м}^3$ . Соответственно, и выход готового продукта будет составлять примерно  $G_2 \approx 2,5 \text{ т}$ .

Обычно площадь поверхности нагрева аппарата выбирают такую, чтобы обеспечить весь процесс выпара в 2 смены, т. е. за 14–16 часов.

Для обеспечения постоянного уровня при выпаре в испаритель постоянно подается сырье с начальной концентрацией  $b_1$  и плотностью  $\rho_1$ . В конце выпара плотность полученного раствора достигает величины  $\rho_2$ . Вес готового (выпаренного) продукта составит, соответственно,  $G_2$ .

По уравнению теплового баланса определяется количество тепловой энергии, требующейся на начальный нагрев сырья до кипения жидкости:

$$Q_K = G_1 \cdot C_1 \cdot (t_1 - t_0) \text{ кДж},$$

где  $C_1 = 4 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$  – начальная теплоемкость водяного раствора,  
 $t_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  – начальная температура подаваемого в испаритель сырья,  
 $t_1 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$  – температура кипения сырья в испарителе.

Расход тепла на испарение жидкости при постоянном объеме можно определить по уравнению:

$$Q_{II} = V \cdot [(i - i_0) / b_1 \cdot (b_2 \rho_2 - b_1 \rho_1) - i \cdot (\rho_2 - \rho_1) + (\rho_2 i_2 - \rho_1 i_1)] \text{ кДж},$$

где  $b_1 = 0,05 \text{ кг}/\text{кг}$  – начальная концентрация раствора,  
 $b_2 = 0,5 \text{ кг}/\text{кг}$  – конечная концентрация раствора,  
 $i_1 = 377 \text{ кДж}/\text{кг}$  – начальная энтальпия раствора,  
 $i_2 = 452 \text{ кДж}/\text{кг}$  – энтальпия упаренного раствора,  
 $i = 2600 \text{ кДж}/\text{кг}$  – энтальпия греющего пара  $t_{нас} = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$ .  
 $\rho_1 = 1010 \text{ кг}/\text{м}^3$  – начальная плотность раствора,  
 $\rho_2 = 1225 \text{ кг}/\text{м}^3$  – энтальпия упаренного раствора.

Полный расход тепла составит  $Q = Q_K + Q_{II}$  кДж .

Расход пара на работу испарителя с учетом сброса (возврата) конденсата определяется по формуле:

$$D = Q / (i'' - i') \text{ кг,}$$

где  $i'' = 2707$  кДж/кг – удельная энтальпия сухого насыщенного пара,

$i' = 504$  кДж/кг – удельная энтальпия кипящей воды.

Часовой расход пара можно определить –  $d = D/15/1000$  тонн / час .

Перерыв подачи пара на перезагрузку установки составит  $24 - 15 = 9$  часов.

По полученным данным определяется договорная величина подачи пара от котельной-источника пара с учетом дополнительных значений 5–15% на потери тепла при транспортировке пара от источника.

При замене пара на другой вид теплоэнергоресурсов, например, на электроэнергию при использовании в испарителе теплоэлектронагревательных элементов (ТЭНов), необходимо учитывать изменение их состояния в процессе эксплуатации.

Расчет необходимой электрической мощности, как и в предыдущем случае, выполняется по формуле:

$$W = Q / \text{КПД} \text{ Вт}$$

КПД ТЭНов может быть снижен до 0,75, но не ниже. В противном случае нагревательные элементы нуждаются в чистке или замене.

Пример использования сушильной установки приведен в приложении 2.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

**Порядок расчета удельных норм расхода теплоэнергоресурсов на выпуск продукции на примере использования сушильной установки.**

### **Характеристика участка пропитки ООО ТД «ПолимерСтрой».**

В состав участка пропитки входят следующие подразделения:

–отделение пропитки с установленной вертикальной трехкратной пропиточной машиной и сушильной камерой с паровым подогревом, а также приточной и вытяжной вентиляционными установками;

–отделение приготовления пропиточного раствора, состоящее из двух помещений с установленными в них реакторами с лопастными мешалками (по два в каждом);

–склад химреагентов с устройствами дозирования и подачи на производство;

–электрощитовая и теплоузел.

Основным производственным процессом, выполняемым участком пропитки, является производство стеклосетки армирующей пропитанной типа СПАП-120, СПАП-150; СПАП-250, СПАП-370 и других видов, предназначенной для армирования абразивного инструмента, цементных, гипсовых покрытий и других целей в строительстве.

Планируемый суммарный объем производства стеклосетки различных типов – 4–5 миллионов погонных метров в год.

Энергетическое обеспечение участка осуществляется:

–тепловой энергией в виде сухого насыщенного пара с избыточным давлением 0,6 мПа от котельной ОАО «Кормовые добавки»;

–электрической энергией с напряжением 380 В от распределительной сети предприятия ОАО «Витьба».

Снабжение сжатым воздухом технологических потребителей участка осуществляется от установленных в теплоузле компрессоров марки К-1 (мощность электропривода 2,2 кВт) производительностью 0,16 м<sup>3</sup>/мин и К-25 (мощность электропривода 4,0 кВт) производительностью 0,55 м<sup>3</sup>/мин.

Горячая вода на отопление и горячее водоснабжение участка поступает от собственного теплоузла с установленным в нем бойлером и двумя центробежными сетевыми насосами типа К-8 (мощность электропривода

2,2 кВт) производительностью 8 м<sup>3</sup>/час каждый. Бойлер обогревается конденсатом отработанного пара, поступающего из подогревателей сушильной камеры.

Питьевая вода завозится по заказу в специальной таре.

Для хозяйственных нужд используется конденсат отработанного греющего пара.

### **Краткое описание технологического процесса изготовления армирующей пропитанной стеклосетки типа СПАП.**

Со склада растворителя с использованием устройств дозирования производится подача компонентов пропиточного состава в реакторные емкости.

В реакторных емкостях производится перемешивание пропиточного состава в течение 4–6 часов.

Готовый состав транспортируется в помещение пропиточной машины, где заливается в пропиточную ванну.

Пропитываемая стеклосетка устанавливается на барабан подающего узла пропиточной машины и протягивается по направляющим.

После прогрева и пуска пропиточной машины сетка опускается в пропиточную ванну, а затем поступает в сушильную камеру с несколькими шахтами обогрева, проходя между рядами паровых труб в потоке воздуха.

На выходе из пропиточной машины полностью просушенная стеклосетка наматывается на товарный валик.

Процесс пропитки и сушки происходит непрерывно с короткими остановками для склейки очередного рулона на подаче и снятия готового товарного рулона СПАП с приемного узла пропиточной машины.

Основное технологическое оборудование участка:

–реакторы с лопастными мешалками – 4 шт.;

–воздушные компрессоры – 2 шт.;

–приточный и вытяжной вентиляторы;

–вертикальная пропиточно-сушильная машина с паровым обогревом, производительностью до 12 пог.м/мин, потребление пара до 1 т/час при давлении пара не менее 0,55 мПа.

Годовая производительность участка по всем видам продукции СПАП составляет 3–5 миллионов погонных метров.

## Порядок расчета удельных норм расхода тепловой энергии на производство стеклосетки.

Процесс высыхания сетки после пропитки происходит во время движения ее в потоке нагретого до 120 °С воздуха между рядами труб парового обогрева за счет конвективного теплообмена с окружающим воздухом и радиационного теплообмена с поверхностями нагрева.

Требуемый расход тепловой энергии, затрачиваемый в процессе сушки одного погонного метра пропитанной сетки различных видов можно определить из уравнений материального и теплового балансов, составленных согласно рекомендациям (Лебедев П. Д. «Теплообменные сушильные и холодильные установки» / П.Д. Лебедев. – М. : Энергия, 1972).

Выполним расчет теоретического расхода тепловой энергии для сушки 1 погонного метра сетки СПАП-250 с шириной полотна 1 м.

Исходные данные для расчета:

–исходный вес сырья (стеклосетки до пропитки и сушки)  $G_1$  равен весу пропитанной и просушенной стеклосетки (готовой СПАП-250)  $G_2=0,26 \text{ кг/м}^2$ ;

–вес пропитсостава на 1 м<sup>2</sup> пропитанной до сушки сетки  $P_{п/с}=0,19 \text{ кг/м}^2$  (определен на основании требований ТУ на изготовление сетки СПАП-250).

–влажность в готовом продукте задано ТУ и составляет  $w_2 = 2\%$ ,

–температура воздуха на входе в сушильные камеры  $t_1 = 20, 10 \text{ и } 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  (температура окружающего воздуха  $t_1=10 \text{ } ^\circ\text{C}$  считается среднегодовой в РБ);

–влажность воздуха на входе в сушильную камеру  $d_1 = 0,007 \text{ кг/кг}$ ;

–температура воздуха на выходе из сушильных камер –  $t_2 = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

–влажность воздуха на выходе из сушильной камеры (перед вентилятором вытяжки) –  $d_2 = 0,034 \text{ кг/кг}$ ;

–энтальпия пара, поступающего на установку –  $i_n = 2762 \text{ кДж/кг}$ ;

–энтальпия конденсата на выходе из установки –  $i_k = 410 \text{ кДж/кг}$ ;

–скорость движения сетки –  $V=10 \text{ м/мин}$ ;

–производительность вентилятора вытяжки –  $6500 \text{ кг/час}$ ;

Определим удельный вес сырья, поступающего в сушильную камеру после пропитки:

$$G_1 = G_2 + P_{п/с} = 0,26 + 0,19 = 0,45 \text{ кг/м}^2$$

Определим часовой расход сырья:

$$M = G_1 \cdot V \cdot 60 = 0,45 \cdot 10 \cdot 60 = 270 \text{ кг/час}$$

Определим влажность исходного сырья:

$$w_1 = (P_{II/C} / G_1) \cdot 100\% = (0,19/0,45) \cdot 100 = 42\%$$

Определим массу влаги (растворителя), удаляемую при сушке в сушильной установке в течении часа:

$$W = M \left( 1 - \frac{100 - w_1}{100 - w_2} \right) = 270 \left( 1 - \frac{100 - 42}{100 - 2} \right) = 110 \text{ кг/час}$$

Составим уравнение материального баланса для нахождения количества воздуха, необходимого для поглощения и транспортировки удаляемой влаги:

$$W = F_B (d_2 - d_1), \quad (1)$$

где  $F_B$  – теоретически необходимое количество воздуха, поступающего в установку для обеспечения процесса сушки материала.

$$F_B = W / (d_2 - d_1) = 110 / (0,034 - 0,007) = 4200 \text{ кг/час}$$

**Примечание:**

Для обеспечения компенсации неизбежно возникающих потерь гидравлического напора потока воздуха в установке и соответствующего снижения его транспортной способности реальный расход вытяжного вентилятора должен быть увеличен на 15-20%.

Поэтому для практических расчетов принимаем производительность установленного вытяжного вентилятора  $F_B = 6500$  кг/час.

Составим уравнение теплового баланса для сушильной установки, использующей в качестве теплоносителя сухой насыщенный пар:

$$F_B (i_{B2} - i_{B1}) = F_{II} (i_{II} - i_K), \quad (2)$$

где  $F_{II}$  – теоретически необходимый расход греющего пара заданных параметров,

$i_{B1}, i_{B2}$  – энтальпия воздуха соответственно на входе в сушильную камеру установки и на выходе из нее в районе вытяжного коллектора.

Энтальпия воздуха находится по  $i_d$  – диаграмме состояния влажного воздуха или для атмосферного давления по формуле Л. К. Рамзина:

$$i_e = t + d \cdot (2493 + 1,97 \cdot t)$$

По этой формуле находим:

$$i_{e_1} = 20 + 0,007 \cdot (2493 + 1,97 \cdot 20) = 37,7 \text{ кДж/кг при } t_1 = 20^\circ\text{C},$$

$$i_{e_2} = 10 + 0,007 \cdot (2493 + 1,97 \cdot 10) = 27,6 \text{ кДж/кг при } t_1 = 10^\circ\text{C},$$

$$i_{e_1} = 0 + 0,007 \cdot (2493 + 1,97 \cdot 0) = 17,4 \text{ кДж/кг при } t_1 = 0^\circ\text{C},$$

$$i_{e_2} = 120 + 0,034 \cdot (2493 + 1,97 \cdot 120) = 212,8 \text{ кДж/кг}.$$

Теоретически необходимое количество тепла на нагрев воздуха в сушильной камере пропиточной машины можно определить из уравнения теплового баланса установки (2) по формуле:

$$Q = F_B \cdot (i_{e_2} - i_{e_1}) = 6500 \cdot (212,8 - 27,7) = 1\,203\,150 \text{ кДж/час}.$$

Переведем эту величину в систему единиц СГС, получим:

$$Q = 1\,203\,150 \cdot 0,239 / 1000 = 288 \text{ мКал / час}.$$

Или 272 мКал/час при 20°C и 303 мКал/час при 0°C, т.е. требуемое количество тепла необходимо изменять на 0,7% на каждые 10 °C изменения температуры наружного воздуха относительно 10 °C.

Приведем эту величину к производству 1000 погонных метров сетки. При скорости движения сетки 10 м/мин производительность пропиточной машины составит 600 пог.м/час, тогда для 1000 пог.м или соответственно 1000 м<sup>2</sup> (ширина стеклосетки СПАП-250 составляет 1 м) расход тепла на подогрев воздуха и удаление влаги из 1000 м<sup>2</sup> сетки составит:

$$288 \text{ мКал / } 600 \text{ пог.м} \cdot 1000 \text{ пог.м} = 480 \text{ мКал / } 1000 \text{ пог.м}.$$

Для обеспечения этого расхода тепла на сушку сетки требуется расход греющего пара, который определим из уравнения теплового баланса установки:

$$F_{II} = Q / (i_{II} - i_K) = 1\,203\,150 / (2762 - 410) = 512 \text{ кг / час}.$$

С учетом 5% потерь тепла на транспортировку пара от котельной и собственного КПД установки, равного 80%, усредненный реальный расход пара на производство стеклосетки составит:

$$F = F_{II} / 0,8 / (1 - 0,05) = 512 / 0,8 / (1 - 0,05) = 674 \text{ кг} / \text{час}.$$

Удельный расход тепла с паром на производство сетки кроме этого должен включать и потери тепла с конденсатом, подлежащим утилизации согласно п.62 «Правил пользования тепловой энергией», что составит:

$$Q_{СПАП-250} = F \cdot i_{II} = 674 \cdot 2762 = 1861588 \text{ кДж} / \text{час}.$$

Переведем эту величину в систему единиц СГС и преобразуем в удельный расход тепла на 1000 пог.м стеклосетки СПАП-250 шириной 1 м:

$$Q_{СПАП-250} = 1861588 \cdot 0,239 / 600 = 742 \text{ мКал} / 1000 \text{ пог.м}.$$

### **Удельные среднегодовые нормы расхода тепла на производство сетки.**

Расчет удельных норм расхода тепла на производство 1000 погонных метров стеклосетки произведен с учетом потерь тепла на магистральном паропроводе подачи пара от ОАО «Кормовые добавки» (5% от суммы теплотребления участком), реального коэффициента полезного действия теплоиспользующей сушильной установки (КПД = 0,8), с учетом потерь тепла из-за невозврата конденсата, а также с учетом реальной ширины стеклосетки.

$$\text{СПАП-100 (146)} \quad Q = 742 \cdot 1,46 / 2,7 = 401 \text{ мКал} / 1000 \text{ пог.м};$$

$$\text{СПАП-120 (146)} \quad Q = 742 \cdot 1,46 / 2,5 = 433 \text{ мКал} / 1000 \text{ пог.м};$$

$$\text{СПАП-150 (128)} \quad Q = 742 \cdot 1,28 / 2,0 = 475 \text{ мКал} / 1000 \text{ пог.м};$$

$$\text{СПАП-150 (146)} \quad Q = 742 \cdot 1,46 / 2,0 = 541 \text{ мКал} / 1000 \text{ пог.м};$$

$$\text{СПАП-180 (146)} \quad Q = 742 \cdot 1,46 / 1,5 = 722 \text{ мКал} / 1000 \text{ пог.м}.$$

При среднегодовом производстве стеклосетки в объеме  $S = 4000$  тысяч пог.м можно оценить среднегодовой расход условного топлива  $E_{yt}$  на выработку тепла  $Q$ , затраченного на ее производство.

$$E_{ym} = Q \cdot S / q = 742 \cdot 4000 / 7000 = 424 \text{ тонны условного топлива в год},$$

где  $q = 7000 \text{ мКал} / \text{т}$  – теплотворная способность условного топлива.

**Примечание:** из опыта эксплуатации сушильной установки известно, что потребление пара 0,6 мПа на обогрев в среднем составляет 0,5–0,7 т/час, что подтверждает правильность выполненного теплового расчета установки.

### Расчет удельных норм расхода электроэнергии на производство сетки.

Общая удельная норма расхода электроэнергии участка на производство 1000 пог.м стеклосетки СПАП любого типа определяется по формуле:

$$H_{\text{Э}}^{\text{ОЦ}} = \frac{W_{\text{ЭП}}^{\text{ОЦ}} + W_{\text{О}}^{\text{ОЦ}} + \Delta W_{\text{П}} + \Delta W_{\text{С}}}{S} \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{час} \quad (3)$$

где  $W_{\text{ЭП}}^{\text{ОЦ}}$  кВт·ч – суммарное потребление электроэнергии основным общецеховым оборудованием,

$W_{\text{О}}^{\text{ОЦ}}$  кВт·ч – расход электроэнергии на освещение цеха,

$\Delta W_{\text{П}}$  кВт·ч – суммарные потери электроэнергии в общецеховых электроприемниках от некомпенсированной реактивной мощности,

$\Delta W_{\text{С}}$  кВт·ч – потери электроэнергии в цеховой распределительной сети и на трансформаторах питающей подстанции 6/0,4 кВ.

$S = 4000$  тысяч пог.м – годовой выпуск продукции участком.

Общецеховой расход электроэнергии определяется по формуле

$$W_{\text{ЭП}}^{\text{ОЦ}} = W_{\text{ЭП1}} + W_{\text{ЭП2}} + \dots + W_{\text{ЭПn}} = \sum_{i=1}^{i=n} W_{\text{ЭП}i},$$

где  $W_{\text{ЭП}i}$  кВт·ч – расход электроэнергии отдельными электроприемниками.

Расчет расхода электроэнергии отдельным электроприемником производится по формуле:

$$W_{\text{ЭП}i} = P \cdot k_{\text{и}} \cdot t_{\text{у}},$$

где  $P$ , кВт – установленная мощность приводного электродвигателя,

$k_{\text{и}} = \cos\phi$  – коэффициент использования установленной мощности,

$t_{\text{у}}$ , ч – время использования установленной мощности за расчетный период, который определяется на основании данных техпроцессов изготовления изделия с учетом годового фонда времени работы основного оборудования.

Суммарные потери электроэнергии в общецеховых электроприемниках:

$$\Delta W_{\text{П}} = 0,045 \cdot W_{\text{ЭП}}^{\text{ОЦ}}.$$

Расчет расхода электроэнергии на освещение участка производится:

$$W_o^{oц} = P_l \cdot k_{и} \cdot t,$$

где  $P_l$ , кВт – установленная мощность ламп общего освещения,  
 $t$ , ч – время использования освещения за расчетный период.

Потери электроэнергии в распределительной питающей сети и понижающей подстанции:

$$\Delta W_c = 0,04 \cdot (W_{эп}^{oц} + W_o^{oц} + \Delta W_{п})$$

Результаты расчетов по представленным формулам приведены в таблице.

Таблица расчета расходов электроэнергии потребителями участка.

№ п\п	Наименование электроприемников	Кол-во	P (кВт)	$k_{и}$	t (час)	W (кВт*час)
Расход электроэнергии на освещение						
1.	Электропривод пропиточной машины	1	2,2	0,8	6667	11 734
2.	Вентилятор вытяжной	1	4,0	0,6	3940	9456
3.	Вентилятор приточный	1	7,5	0,6	3286	14 787
4.	Привод реактора №1	1	2,2	0,6	5257	6939
5.	Привод реактора №2	1	0,75	0,9	3286	2218
6.	Привод реактора №3	1	0,75	0,9	5257	3548
7.	Привод реактора №4	1	0,75	0,9	3286	2218
8.	Компрессор №1	1	1,5	0,8	780	936
9.	Компрессор №2	1	2,2	0,6	6667	8800
10.	Сварочный пост	1	12,0	0,3	200	720
11.	Насос растворителя	1	1,0	0,9	525	473
12.	Наждачный станок	1	2,2	0,5	90	99
13.	Приборы КИП и А	-	0,1	1,0	6667	667
14.	Вентилятор реакторного отделения	1	0,75	0,8	6667	4000
15.	Лабораторная тигельная печь	1	1,0	0,6	3800	2280
16.	Насос подачи воды на охлаждение валов	1	1,5	0,78	6667	7800
17.	Насос подачи сетевой воды на отопление	1	1,5	0,78	4872	5700
Итого:						67 914
Расход электроэнергии на освещение						
18.	Все лампы местного освещения	30	0,12	0,9	2000	6480
19.	Прожекторы уличного освещения	4	0,5	0,9	500	900

### Окончание таблицы

Потери электроэнергии						
20.	Потери в электроприемниках					3056
21.	Потери в сетях					2939
ИТОГО:						95 751

Годовой фонд времени работы основного оборудования участка можно оценить по загруженности сушильной установки в течении года:

$$T = S \cdot 1000 / (V \cdot 60) = 4000 \cdot 1000 / (10 \cdot 60) = 6667 \text{ часов.}$$

### Удельная среднегодовая норма расхода электроэнергии на производство сетки СПАП.

Среднегодовая удельная норма расхода электроэнергии на изготовление стеклосетки любого типа, рассчитанная по формуле (3), будет составлять:

$$H_{\text{э}}^{\text{оц}} = \frac{95751}{4000} = 24 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / 1000 \text{ пог.м}$$

Что соответствует среднегодовому расходу условного топлива  $E_{\text{ут}}$  на выработку электроэнергии  $W$ , затраченного на ее производство.

$$E_{\text{ут}} = W \cdot q_w \cdot 10^{-3} = 95751 \cdot 0,32 / 1000 = 30 \text{ тонн условного топлива в год,}$$

где  $q_w = 0,32 \text{ кг.у.т./кВт}\cdot\text{ч}$  – расход условного топлива на выработку электроэнергии, принятый за базовый в технико-экономических расчетах.

Норма расхода электрической энергии, вычисляемая по формуле (3), существенно зависит от времени года в связи с изменением затрат электроэнергии на освещение и работу сетевых насосов, подающих конденсат на отопление. Величина средней нормы должна быть увеличена на 15–20% для зимних месяцев и уменьшена на 10–15% для летних.

$$(H_{\text{э}}^{\text{оц}})_{1\text{-й квартал}} = 1,12 \cdot 24 = 26,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / 1000 \text{ пог.м}$$

$$(H_{\text{э}}^{\text{оц}})_{2\text{-й квартал}} = 1,00 \cdot 24 = 24,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / 1000 \text{ пог.м}$$

$$(H_{\text{э}}^{\text{оц}})_{3\text{-й квартал}} = 0,82 \cdot 24 = 19,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / 1000 \text{ пог.м}$$

$$(H_{\text{э}}^{\text{оц}})_{4\text{-й квартал}} = 1,06 \cdot 24 = 25,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / 1000 \text{ пог.м}$$

От марки выпускаемой сетки расход электроэнергии не зависит.

Примечание: при анализе расхода электрической энергии за предыдущий период (1-й квартал 2020 г.) 6173 кВт на выпуск 223 тыс. пог.м, что соответствует удельному расходу электрической энергии  $\sim (H_{\text{Э}}^{\text{ОЦ}})_{1\text{-й квартал}}$ . Это доказывает, что расчет удельных норм соответствует фактическому.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

«УТВЕРЖДАЮ»  
 Витебское областное управление по надзору  
 за рациональным использованием ТЭР  
 Начальник управления  
 \_\_\_\_\_ А.Е. Кравченко  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

### УТВЕРЖДАЕМЫЕ НОРМЫ РАСХОДА НА ПЕРИОД I–IV кв. 2022 г.

Ведомство: без ведомственного подчинения

Предприятие: ООО "Торговый дом «ПолимерСтрой»

№ п/п	Наименование продукции	План производства на 2016г		Норма расходов						Прогрессивная норма	Плановая потребность ТЭР	
		Ед. измер.	Кол-во	Ед. измер.	Среднее за год	В том числе по кв.					Ед. измер	Кол-во
						I	II	III	IV			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Теплоэнергия</b>												
1	СПАП-100 (146)	тыс.пог.м	200	Мкал/1000 пог.м	401		401	379	409		Гкал	80,2
2	СПАП-120 (146)	тыс.пог.м	300	Мкал/1000 пог.м	433		433	409	441		Гкал	129,9
3	СПАП-150 (146)	тыс.пог.м	1800	Мкал/1000 пог.м	541		541	511	555		Гкал	973,8
4	СПАП-180 (146)	тыс.пог.м	2700	Мкал/1000 пог.м	722		722	681	740		Гкал	1949
5	Отопление	м <sup>3</sup>	2874	Мкал/м <sup>3</sup>	35,8		2,5	Нет	15,8		Гкал	102,8
<b>Электроэнергия</b>												
1	СПАП-100, 120, 150, 180	тыс. пог.м	5000	кВт*ч/1000 пог.м	24		24,0	19,7	25,5		Тыс.кВт/ч	120

Директор  
 ООО «Торговый дом «ПолимерСтрой»

\_\_\_\_\_ А.А. Сидорчук

Разработал -  
 Гл. энергетик ООО ТД «ПолимерСтрой»

\_\_\_\_\_ Б.Б. Петровский