

7. Vassilyeva Yu.Z., Pak A.Ya., Kononenko P.N., Yakich T.Yu., Mostovshchikov A.V., Shanenkov I.I. Vacuumless Arc Discharge Synthesis of Molybdenum Carbide-Based Powders at Various Discharge Currents // *Inorganic Materials*. Springer, 2022. Vol. 58, P. 265- 270.
8. Pak A.Ya., Rybkovskiy D.V., Vassilyeva Yu.Z., Kolobova E.N., Filimonenko A.V., Kvashnin A.G. Efficient Synthesis of WB_{5-x}-WB Powders with Selectivity for WB_{5-x} // *Inorg. Chem.* 2022, Vol. 61, №18, P. 6773-6784

Научный руководитель: к.т.н. А.Я. Пак, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

ПРОБЛЕМА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛА

А.Д. Титов, А.Д. Кеслер
Томский политехнический университет
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5А97

Автоматизация систем управления технологическими процессами (АСУТП) в настоящий момент является одним из активно развивающихся направлений. Объектом исследования является АСУТП камеры сушки. Актуальное направление для развития для сушильных камер – снижение энергопотребления. Вопросы по актуальному направлению энергосбережения рассматривались в работе [1], где приведен анализ повышения эффективности. Большая часть сушильных камер оборудованы твердотопливными котлами, которые не управляются и излишки энергии выбрасываются во внешнюю среду. В отличие от твердотопливных котлов газовые котлы, которые стали доступны, обладают хорошей управляемостью, благодаря чему можно выделять энергии столько, сколько требуется. Такие системы уже существуют, но возможности управления котлом ещё не исчерпаны. В частности, представляют интерес системы рекуперации [2], позволяющие сэкономить до 30–40 % энергии, благодаря реализации идеи, опубликованной в работе [3].

Там же предложено решение проблемы заиневаания путем поддержания температуры в точке росы, которые исследованы в работе [4,5]. Прототип камеры сушки с рекуперацией был сделан в лабораторных условиях и эффективность в этой работе была доказана. Основная проблема реализации связана с консервативностью заказчиков камер. Препятствием использования данной системы является то, что автоматика не предусматривает наличие такой системы. В данной работе предложено включить контур рекуперации в программируемый логический контроллер (ПЛК).

Система рекуперации представляет собой контур теплообмена между входящим и выходящим калорифером [2]. В результате входящий холодный воздух нагревается горячим калорифером и остужается при выходе холодным калорифером благодаря такому теплообмену. Теплообмен обеспечивает двигатель, управляемый частотным преобразователем, где частотным преобразованием происходит регулировка меры теплообмена. Без системы рекуперации теплый воздух будет выбрасываться наружу. С системой рекуперации можно сохранить до 30–40 % тепла в камере.

В работе предлагается изменить классическую схему управления камерой сушки, изображенной на рисунке 1, добавив в неё рекуператор (выделен красным цветом). В схеме: Газовый котел (1), частотный привод циркуляционного насоса (2), воздушный калорифер (3), вентилятор (4), воздушный клапан (5), “мокрый” (6) и “сухой” (7) датчики температуры, пиломатериал (8), конденсационная панель (9), на которой выделяется вода при температуре точки росы, циркуляционный насос, датчик температуры точки росы (11).

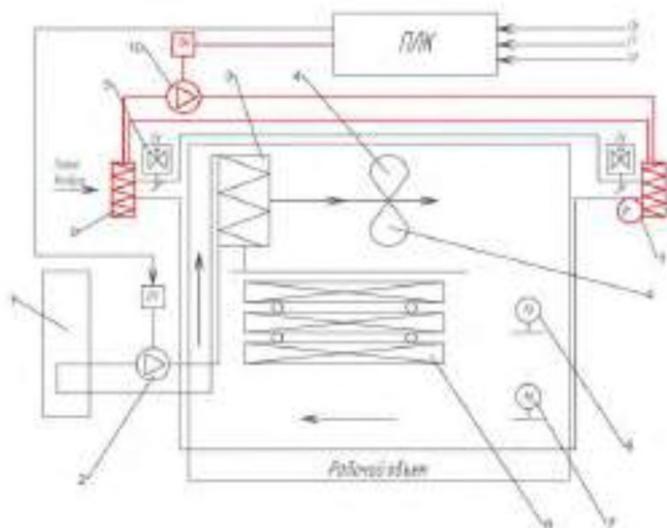


Рис. 1. Структурная схема сушильной камеры

В схеме без рекуперации два контура управления: по температуре и влажности, где влажность контролируется разностью “сухого” (поз.7 на рисунке 1) и “мокрого” (поз.6 на рисунке 1) датчика (психометрическая разность температур). Управлять температурой можно с помощью котла, либо закрылок (воздушные клапаны, поз.5 на рисунке 1). Для двухконтурных систем можно использовать одноконтурные системы в случае, если одно управляющее воздействие конкретно влияет на одну цель, а второе на свою цель. Если они взаимосвязаны, а в представленной схеме существует взаимосвязь контуров, то возможны два случая: первый случай, если закрылки открываются с целью понизить влажность, то понижается и температура. Это можно компенсировать подъемом температуры за счет работы газового котла, и второй случай, если поднять температуру газового котла, то происходит увеличение влажности, но с коэффициентом меньше, чем в первом случае. То есть закрылки влияют и на температуру, и на влажность, а нагрев котла в основном влияет на температуру, в меньшей степени на влажность. Также на температуру оказывает влияние движение теплоносителя: важно, чтобы в сушильной камере происходил эффективный обмен тепла, благодаря чему будет затрачиваться меньше энергии.

Существует два варианта управления двухконтурной системы: одним поддерживаем температуру (медленный контур, потому что нагрев и остывание происходит медленно), одним влажность (быстрый контур, так как сброс пара ведет к быстрому падению температуры). Требуется соблюсти условие: при сбросе влажности необходимо, чтобы сброс температуры был не критичный. Нельзя выпустить много влажности, так как можно потерять температуру.

Изображенная на рисунке 2 уже является двухконтурной взаимосвязанной, поэтому существуют коэффициенты от каждой ошибки в каждый контур, а также два пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) регулятора, каждый из которых управляет своим контуром. Пид-регулятор привязан к исполнительному устройству: котлу, либо закрылкам. В контуре с котлом считается ошибка в основном по температуре, а в контуре с закрылками и по температуре, и по влажности.

Данная схема была изменена путем добавления ещё одного контура управления. Соответственно, в новой схеме используется три ПИД-регулятора. Третий ПИД-регулятор настраивается по ошибке, где максимальный коэффициент по ошибке берется из контура управления по температуре и по влажности, небольшой коэффициент ошибки берется из медленного контура (по температуре внутри сушильной камеры), т. е. формируются три ошибки, и на каждый контур со своим коэффициентом идут они в ПИД-регулятор и управляют своим объектом.

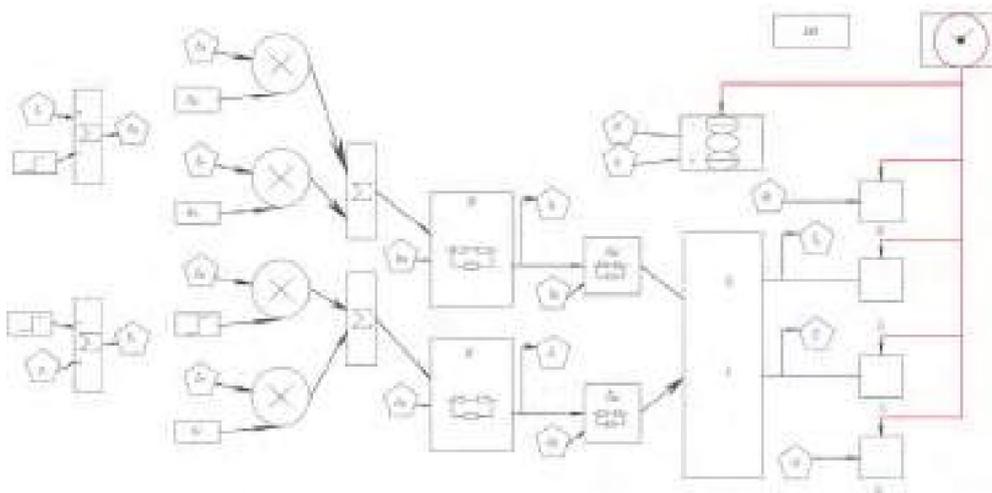


Рис. 2. Структурная схема двухконтурной системы

Самый тяжело настраиваемый контур – контур с заслонками, но данный вопрос решён в работе [3].

Второй вариант развязки многоконтурной системы – спектральные развязки. Необходимо, чтобы внутренний контур был быстрее, а внешний медленнее. В работе [3] контура уже частотно разведены: контур по температуре от калорифера самый медленный, где переходный процесс может быть до 10 часов, а самый быстрый контур – контур с заслонками, где переходный процесс длится около 2 минут. Один контур не мешает работе другого контура. В данной работе третий контур будет средним по величине переходного процесса и будет длиться около часа. Каждый контур работает в своей декаде.

Третий контур легко вписывается в схему с рекуператором, коэффициенты в регуляторе многоконтурной системы предусматриваем согласно рекомендациям: в первом контуре – температура, во втором – температура и влажность в примерно одинаковых пропорциях, в третьем контуре – температура с первого контура, а также температура и влажность со второго контура (20 процентов). Ошибка считается по трем ошибкам: ошибка регулирования по трем ошибкам, у каждого контура своя главенствующая: у первого контура – температура, у второго – температура и влажность в одинаковой пропорции. Все контура работают в своем частотном диапазоне, друг на друга в динамике не влияют.

Основной вывод данной работы: добавление третьего контура принципиально не меняет предыдущую структуру. Благодаря третьему контуру возможно снижение потребления энергии. Если третий контур присутствует, то будет экономия тепла. Предложена новая структура трехконтурного регулятора, совместимая с предыдущими решениями, но если заказчик согласится добавить третий контур, то он почувствует разницу.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кизина О.А. Анализ современных методов и оборудования для сушки древесины / О.А. Кизина, А.Л. Адамович, Ю.Г. Грозберг // Вестник полоцкого государственного университета. Серия в. Промышленность. Прикладные науки. – 2011. – № 3. – С. 32–37.
2. Pacak A. Analysis of power demand calculation for freeze prevention methods of counter-flow heat exchangers used in energy recovery from exhaust air / A. Pacak et al. // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2019. – V. 133. – P. 842–860.
3. Нгуен Ван Вьонг, Метод синтеза регуляторов и алгоритмы контроллера двухканальной системы управления камерой сушки пиломатериала: дисс. к.т.н. / ТУСУР – Томск, 2021. – 159 с.
4. Васильев Л.Л. Применение термосифонов для осушения воздуха / Л.Л. Васильев и др // Агротехника и энергообеспечение, 2018. – № 2 (19). – С. 7–18.

5. Гвоздиков А.Н. К вопросу повышения энергетической эффективности систем кондиционирования воздуха и вентиляции на основе регулирования режимов обработки воздуха в контактных аппаратах/ А.Н. Гвоздиков, О.Ю. Сулова// Интернет-Вестник ВолгГАСУ, 2014. – №3. – С. 1-7.

Научный руководитель: д.т.н. А.А.Шилин, профессор ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

СИНТЕЗ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ

Д.Е. Стовец

Томский политехнический университет
ИЯТШ, ОЯТЦ, группа 0А15

Ввиду динамичного развития многих отраслей промышленности и технологий, увеличивается спрос на материалы. Материалы, обладающие уникальными физическими и химическими свойствами, особенно ценятся, поэтому наличие таких свойств как высокая твёрдость при относительно невысокой плотности, радиационная стойкость и коррозионная стойкость, а также высокие тепло- и электропроводность у карбида кремния (SiC) определяет огромный спрос на него [1]. Настолько обширный набор свойств находит спрос во многих отраслях промышленности. Например, радиационная стойкость SiC может быть использована для создания ёмкостей для хранения ядерных отходов. Твёрдость карбида кремния можно применять для создания бронезилетов. Некоторые свойства позволяют использовать SiC для создания микропроцессоров и полупроводников. На этом сферы использования карбида кремния не заканчиваются, SiC также используется в аэрокосмической промышленности, оптике и т. д.

Существует несколько наиболее распространённых способов синтеза карбида кремния: карботермическое восстановление, метод горячего прессования, метод синтеза в низкотемпературной плазме в условиях вакуума и др. [2]. Главный недостаток синтеза SiC данными способами это необходимость в создании условий вакуума, либо в использовании инертного газа в процессе синтеза, что требует вложения большого количества средств и усилий. В данной работе рассмотрен метод синтеза карбида кремния в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока. Основным преимуществом данного способа синтеза относительно вышеперечисленных является возможность его реализации в открытой воздушной среде.

Серия экспериментов по синтезу карбида кремния оригинальным электродуговым методом проводилась на лабораторном электродуговом реакторе постоянного тока. Перед началом каждого эксперимента серии в графитовый тигель, который в процессе эксперимента будет являться катодом, помещалась смесь порошков Si и C в эквимольном соотношении. Смесь порошков, необходимая для синтеза, была получена с помощью перемалывания порошков кремния и углерода с помощью вибрационной мельницы “MM500 nano”. Время смешивания исходных порошков составляло 20 мин при частоте 20 Гц.

Рабочий цикл реализовывался в ходе горения дугового разряда постоянного тока в полости графитового катода (тигля) в присутствии кремния и углерода. Разряд инициировался путём перемещения анода вдоль оси тигля в его полости. Сила тока и время синтеза изменялись по ходу серии: от 50 до 150 А и от 30 до 90 с, соответственно. Затем синтезированный продукт собирался со дна и стенок тигля. Идентификация фазового состава синтезированного продукта проводилась посредством рентгеновской дифрактометрии на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 7000s.

Картина рентгеновской дифракции продукта синтеза, полученного в результате одного из экспериментов серии, представлена на рисунке 1. По результатам проведённой дифрактометрии можно идентифицировать наличие трёх кристаллических фаз: графита, кремния и кубической фазы карбида кремния, получение которой и являлось целью серии. Фазе карбида