

*Н.А. ЕВСИНА*, старший преподаватель кафедры АУТС, НТУ «ХПИ»

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ СУШКИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИХ АВТОМАТИЗАЦИИ**

У статті на основі аналізу способів сушки КПМ для автоматизації процесу сушки вибраних конвекційний спосіб. Для зниження браку і енерговитрат запропонована 2-х контурна система управління, що включає технологічний і інтелектуальні контроллери. Останній базується на теорії нечіткої логіки.

В статье на основе анализа способов сушки КПМ для автоматизации процесса сушки выбран конвекционный способ. Для снижения брака и энергозатрат предложена 2-х контурная система управления, включающая технологический и интеллектуальные контроллеры. Последний базируется на теории нечеткой логики.

The article introduces the analysis of drying methods for CPM (Capillary-Porous Materials). A convection method was chosen to automate the drying process. To reduce the spoilage and power inputs the author proposes a double-circuit control system, which integrates technological and intelligent controllers. The latter is based on the fuzzy logic theory.

**Введение.** На современном этапе развития промышленности и сельского хозяйства встречается множество различных способов сушки капиллярно-пористых материалов (КПМ). Необходимо уточнить, что конечной задачей сушки является достижение требуемого значения выходной влажности материала. К наиболее распространенным способам можно отнести: естественную сушку, конвекционную сушку [1], сублимационную сушку [2], акустическую сушку [3], инфракрасную и микроволновую [4]. А также применяются комбинированные способы: конвекционно-микроволновая сушка [5] и вакуумно-микроволновая сушка. В механизированных сушильных агрегатах наиболее часто встречаются технологии, основанные на трех способах: конвекционном, сублимационном и микроволновом. Суть способа сублимационной сушки заключается в предварительной заморозке продукта, а затем помещения его в вакуум. При этом происходит испарение льда, т.е. вода переходит из твердой фазы в газообразную, минуя жидкую фазу. Сублимационная сушка хорошо подходит для производства небольшого количества высококачественной продукции, если имеется возможность понести большие начальные затраты. При микроволновом способе на обезвоживаемый продукт воздействуют интенсивным электромагнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ). Под действием СВЧ поля молекулы воды начинают совершать колебательные и вращательные движения с выделением тепловой энергии. Таким образом, разогрев происходит во всем объеме продукта, причем более влажные участки получают больше энергии. За счет этого происходит удаление влаги и одновременно – выравнивание влажности в объеме продукта. Единственным ограничением этого способа является

относительно низкий (60%) КПД преобразования энергии электрического тока в энергию СВЧ поля. В этой связи целесообразно применять этот метод при низких влажностях (ниже 50%), т.е. в том диапазоне влажностей, где энергоёмкость этого метода ниже, чем у конвекционного метода. Конвекционный способ предполагает подвод тепла к поверхности обрабатываемого продукта. Тепло может подводиться как за счет продувки нагретым воздухом, так и за счет теплового излучения. В процессе сушки тепло от поверхностных слоев передается вглубь продукта за счет собственной теплопроводности. При высоких влажностях сушка протекает эффективно, энергоёмкость процесса близка к физическому пределу по испаренной влаге.

Значительно сократить продолжительность процесса, а значит, и снизить её себестоимость позволяют вакуумные технологии сушки материалов. Кроме того, возможность ведения процесса при более низких температурах позволяет исключить снижение качественных характеристик капиллярно-пористых коллоидных тел, что особенно важно при сушке пиломатериалов из древесины ценных трудносохнущих лиственных пород или термолабильных материалов.

Однако при сушке в вакууме возникает проблема подвода тепловой энергии к высушиваемому материалу. Такие известные методы подвода теплоты, как контактное, диэлектрическое нагревание или нагрев в СВЧ-поле не всегда позволяют получить требуемое качество или приводят к значительному удорожанию стоимости сушильного процесса. Поэтому наиболее перспективным направлением, как с позиций себестоимости процесса, так и с позиций качества получаемой продукции, считаются вакуумные технологии сушки с подводом тепла конвекцией, которые можно осуществлять путем чередования стадий нагрева и вакуумирования (осциллирующие технологии) или конвективной сушкой в разреженной среде. При этом в качестве теплоносителя могут быть использованы влажный горячий воздух, перегретый пар или гидрофобные жидкости.

Однако данные технологии до сих пор не имеют расчетной базы, позволяющей получить оптимальные режимные параметры процесса. Кроме того, нет четких рекомендаций по выбору той или иной технологии вакуумной сушки применительно к различным сортаментам капиллярно-пористых коллоидных материалов.

**Постановка задачи.** Сублимационный и микроволновой способ позволяют достичь более точного значения выходной влажности материала, но требуют высокотехнологичного и сложного оборудования. А конвекционный способ хорошо подходит для сушки материала во всем диапазоне влажностей и не требует дорогостоящего оборудования, а также обладает меньшей энергоёмкостью при высоких влажностях материала. Поэтому более подробно предлагается рассмотреть методы автоматизации процесса сушки, основанные на конвекционном способе. Основными параметрами такого технологического процесса являются: температура и влажность сушильного агента, а также температура и влажность самого

материала.

Как правило, при конвекционном способе используются не автоматизированные сушильные системы [6, 7], в которых субъективно задают время нахождения материала в сушильном агрегате или уровень температуры сушильного агента. Из-за различных факторов, влияющих на процесс сушки, на выходе сушильного агрегата материал получается с заметным разбросом значения конечной влажности от требуемого. Это приводит к увеличению брака готовой продукции и повышению энергозатрат.

Снижение брака и энергозатрат может быть осуществлено за счет оптимальной системы управления исполнительными органами сушильного агрегата. Существуют системы управления температурой газов в отдельных агрегатах (в частности воздуха) в виде однопараметрических технологических контроллеров [8, 9, 10], но для сушки капиллярно пористых материалов они являются малопригодными, так как необходимо регулировать не только температуру сушильного воздуха, но и влажность материала в процессе сушки. Из-за отсутствия приборов автоматического контроля влажности КППМ в динамике отсутствуют и системы автоматического управления сушкой КППМ.

Известен метод косвенного контроля и прогнозирования влажности на выходе сушильного агрегата для макаронных изделий по разности температур сушильного воздуха в двух точках по ходу движения макарон [11]. Используя этот метод авторами предложен подход к созданию системы управления сушкой КППМ, который в общем виде заключается в построении 2-х контурной системы управления, причем первый контур (технологический контроллер) осуществляет регулирование скорости движения КППМ в зависимости от прогнозируемой влажности на выходе агрегата, а второй контур осуществляет регулирование температуры сушильного воздуха в случае, когда первый контур не дает положительных результатов [12]. Так как второй контур осуществляет циклические изменения температуры в виде нечетких, расплывчатых значений (больше меньше и т.д.), то для его реализации предполагается использовать аппарат нечеткой логики [13], т.е. второй контур является интеллектуальным контроллером.

Для этого контроллера могут быть использованы для операции фазификации функции принадлежности типа [14]:

$$\mu(x) = \exp(-a(x - b^2)), \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – соответственно ширина и координата пика функции принадлежности.

А в качестве правил вывода следующие правила:

- Правило 1: если  $x$  есть  $X_1$ , то  $y$  есть  $Y_1$ ;
- Правило 2: если  $x$  есть  $X_2$ , то  $y$  есть  $Y_2$ ;
- Правило  $k$ : если  $x$  есть  $X_m$ , то  $y$  есть  $Y_n$ .

(2)

Здесь  $x$  – входная лингвистическая переменная;  
 $X$  – терм-множество лингвистической переменной  $x$ ;  
 $y$  – выходная лингвистическая переменная;  
 $Y$  – терм-множество лингвистической переменной  $y$ ;  
 $k$  – количество правил вывода;  
 $m$  – количество терм в терм-мноестве  $X$ ;  
 $n$  – количество терм в терм-мноестве  $Y$ ;

При нескольких значениях выходной лингвистической переменной нами предлагается использовать в качестве результирующей переменной, полученной с помощью функций нечеткого минимума. Диапазоны изменения входных параметров в функции принадлежности и количество правил вывода окончательно уточняются, в соответствии с (2) в процессе экспериментальных исследований описанной 2-х контурной системы управления на имитационной модели.

**Заключение.** Способ автоматического управления процессом сушки КПМ, имеющий в своем составе технологический контроллер и интеллектуальный контроллер на основе нечеткой логики, ускоряет время переходного процесса, что позволит снизить брак выходного продукта, а следовательно и энергозатраты в процессе сушки.

**Список литературы:** 1. Патент RU №2101978, МПК А23L001/16. Способ сушки макаронных изделий/ *В.Е. Тукачев* (РФ) – опуб. 20.01.98 Бюл. №2 2. Патент RU №2111672, МПК А23В004/037 А23L003/44 F26В005/06 . Способ вакуумной сублимационной сушки/ *Л.П. Тимкин, Б.Н. Семенов, Р.Г. Суляев, М.А. Насыров, А.С. Бобер, В.Е. Иванов* (РФ) – опуб. 27.05.98 Бюл. №15. 3. Патент RU №2062416, МПК F26В005/02. Способ акустической сушки капиллярно-пористых материалов/ *В.Н. Глазнев, А.Б. Глинский* (РФ) – опубл. 20.06.96 Бюл. №17. 4. Патент RU №2133934, МПК F26В003/347. Способ сушки материалов/ *С.В. Редькин, В.В. Аристов* (РФ) – опуб. 27.07.99 Бюл. №21. 5. Патент RU №2101630, МПК F26В003/347. Способ комбинированной сушки пиломатериалов/ *В.Н. Громыко, В.П. Галкин* (РФ) – опуб. 10.01.98 Бюл. №1. 6. *Чернов М.Е.* Макаaronное производство. М.: МИР. 1994 - 208 с. 7. *Медведев Г.М.* Современные режимы и способы сушки макаронных изделий. Обзорная информация. Серия: Хлебопекарная и макаронная промышленность. ЦНИИТЭИ. Хлебинформ. М.: 1996 - 40 с. 8. Патент RU №217228, МПК F26В025/22. Способ автоматического управления процессом сушки/ *И.Т. Кретов, А.А. Шевцов, И.В. Лакомов* (РФ) – опубл. 10.08.98 Бюл. №22. 9. Патент RU №2150642, МПК F26В025/22. . Способ автоматического управления процессом сушки/ *И.Т. Кретов, А.А. Шевцов, Ю.В. Ряховский* (РФ) – опубл. 10.06.00 Бюл. №16. 10. Патент RU №2108523 , МПК F26В025/22. . Способ автоматического управления процессом сушки продукта в сублимационной сушилке/ *А.А. Шевцов, М.Н. Шахова, Ю.Н. Золотарев* (РФ) 10.04.98 Бюл. №10. 11. Патент RU №2186500, МПК А23L1/16. Способ производства макаронных изделий/ *В.О. Андреев, А.И. Суздальцев, С.Е. Тиняков* (РФ) – опубл. 10.08.02 Бюл. №22. 12. *Суздальцев А.И., Замяткин А.В.* Метод автоматизированного управления сушкой капиллярно-пористых материалов // Материалы международной научно-технической конференции «Приборостроение 2004» Винница – Ялта, 2004, с 327-331. 13. Прикладные нечеткие системы. Под редакцией *Т.Тэрано, К.Асот, М.Сэно*, перевод с японского Ю.Н. Чернышова. М. Мир, 1993 г., 263 с. 14. *Гумбатов Р.Т.* Методология построения системы управления биохимической очисткой сточных вод с применением технологии искусственного интеллекта // Приборы и системы управления. №11, 1999, с.49.

Поступила в редколлегию 09.10.2011