

Моделирование и оптимизация системы управления технологическим процессом комбинированной сушки

Илюшин И.Э.; Кожевников М.М.

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств
Могилевский государственный университет продовольствия
Могилев, Республика Беларусь
e-mail: CRUSH-wciiitft@yandex.ru

Аннотация—В данной работе исследована система автоматического управления технологическим процессом комбинированной сушки. На основе эмпирических данных построена математическая модель системы. Проведена оптимизация, сделаны выводы об оптимальных режимах сушки.

Ключевые слова: комбинированная сушка; моделирование; гидродинамические модели; полином Лагранжа; оптимизация

I. ВВЕДЕНИЕ

Продукция садоводства и овощеводства представляет собой незаменимый источник важнейших физиологически активных веществ – витаминов, полифенолов, а также минеральных веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности человека. Но круглогодичное обеспечение населения плодовоовощной продукцией возможно только при организации ее длительного хранения. Порчу пищевых продуктов, в том числе овощей и плодов, вызывают микроорганизмы, развитие и жизнедеятельность которых не возможны при низкой влажности. Таким образом, если из продукта удалить влагу, то есть подвергнуть его сушке, можно значительно продлить срок хранения, что очень актуально для нашей страны и обуславливает широкое распространение процесса сушки в отечественной пищевой промышленности [1]. Стоит упомянуть также и тот факт, что, наряду с большим распространением, процесс сушки очень энергоемкий. Одним из вариантов снижения энергозатрат является применение комбинированной сушки, то есть сушки продукта несколькими методами одновременно. Однако комбинированная сушка в нашей стране не нашла широкого применения, следовательно данный процесс нуждается в глубоком изучении. Таким образом, исследование процесса сушки актуально ввиду широкой его распространенности, а моделирование и оптимизация системы управления процессом важны для экономии энергоресурсов ввиду высокой энергоемкости процесса.

II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В данной работе исследовалась система управления технологическим процессом комбинированной сушки на примере лабораторной установки, совмещающей конвективный и диэлектрический (сверхвысокочастотный) подвод

теплоты к продукту. Экспериментальная установка устроена следующим образом: воздух при помощи вентилятора продувается через сушильную камеру, предварительно проходя через электрокалорифер. В сушильной камере расположен генератор СВЧ-излучения (магнетрон). Продукт загружается в барабан, который находится внутри сушильной камеры и вращается. Таким образом осуществляется комбинированная конвективно-сверхвысокочастотная сушка.

Системой управления предусмотрено регулирование температуры подогретого воздуха, осуществляемое двухпозиционным способом за счет включения-отключения тэнов в электрокалорифере. В установке также осуществляется регулирование скорости вращения барабана и регулирование подачи подогретого воздуха в сушильную камеру. Следует отметить, что основным контролируемым параметром при сушке продукта, безусловно, является влажность, однако прямое ее измерение зачастую сопряжено с трудностями (монтаж датчика сложен из-за вращения барабана, наводки от СВЧ-излучения вызывают значительные погрешности при измерении и т.д.), потому в данной работе было принято решение измерять влажность продукта косвенным методом, т.е. измерением массы при помощи тензодатчиков и последующим пересчетом по формуле [2]:

$$W = \frac{M_B}{M_{BM}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где W – влажность материала, %;

M_B – масса влаги, кг;

M_{BM} – масса влажного материала, кг.

III. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Математическое описание процессов сушки связано с решением сложных дифференциальных уравнений (уравнения движения и неразрывности вязкого несжимаемого потока, уравнение конвективно-диффузионного переноса паров влаги в движущемся сушильном агенте и уравнения, описывающего поле температуры в потоке теплоносителя). Потому часто прибегают к использованию эмпирических математических моделей.

Структура математической модели процесса сушки в первую очередь определяется гидродинамическими параметрами, следовательно, оправдано применение

известных гидродинамических моделей: модель идеального смешения, ячеечная модель, модель идеального вытеснения, диффузионная модель и др. Однако, как правило, данные модели подходят для описания какой-либо конкретной разновидности сушки (например, модель идеального смешения хорошо описывает проточные аппараты с мешалкой, а диффузионная модель – распылительные сушилки), но не применимы для описания процесса комбинированной сушки [3]. Потому зачастую достаточно ограничиться рассмотрением кинетики, то есть кривых сушки.

В данной работе для нескольких режимов (то есть при разной мощности СВЧ-излучения) были сняты экспериментальные данные, а по ним построены кривые сушки. Однако при использовании экспериментальных данных невозможно анализировать процесс в любой момент времени за счет ограниченного числа измерений, потому рационально использование численных методов. В частности, была применена интерполяция при помощи полинома Лагранжа [4]:

$$L_i(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x), \quad (2)$$

где l_i – базисные полиномы, определяемые по формуле:

$$l_i = \prod_{j=0, i \neq j}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}. \quad (3)$$

Вычисления базисных полиномов значительно упростятся, если производить измерения через равные промежутки времени, потому, с учетом этого, получаем выражение для определения влажности продукта в любой момент времени:

$$W(t) \approx \sum_{i=0}^n W(t_i) \frac{\prod_{j=0, i \neq j}^n (t - jh)}{h^{n-1} \prod_{j=0, i \neq j}^n (i - j)}, \quad (4)$$

где h – шаг интерполяции.

Следует отметить, что формула (4) имеет факториальную сложность, как в числителе, так и в знаменателе, поэтому расчеты сопряжены с длиной арифметикой, и получение аналитического выражения затруднительно, однако вычисления легко реализуются программно (использовались программные средства Delphi 7 [5]).

IV. ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Оптимизация системы управления процессом производилась по двум основным параметрам, а именно времени сушки и потребленной мощности. Таким образом, критерий качества можно представить следующим образом:

$$L = a \cdot t + b \cdot p, \quad (5)$$

где a – часовая тарифная ставка, руб/ч;

b – тариф на электроэнергию, руб/(кВт·ч);

t – время сушки, ч;

p – затрачиваемая мощность, кВт·ч.

Данный критерий качества подлежит минимизации. В данной работе было принято решение использовать градиентный метод. В основе его лежит поиск минимума функции в направлении антиградиента [6]. Таким образом, сделаны выводы об оптимальных управляющих воздействиях позволяющих осуществить сушку до определенного значения влажности продукта.

- [1] Г. В. Семенов, Г.И. Косьянов. Сушка сырья: мясо, рыба, овощи, фрукты, молоко. Учебно-практическое пособие. Серия «Технологии пищевых производств». Ростов н/Д.: Март, 2002, с. 3-4.
- [2] Б. С. Сажин. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984, с. 7-11.
- [3] С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков. Машины и аппараты пищевых производств. М.: Высшая школа, 2003, с. 1029-1034
- [4] К. И. Бебенко. Основы численного анализа. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002, с.218
- [5] А. Д. Хомченко. Delphi 7. Спб.: БХВ-Петербург, 2004
- [6] Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. Численные методы. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2003, с. 352-360