

УДК 681.3

Д. А. Гринюк, доц., канд. техн. наук; Н. М. Олиферович, ст. преп.;
П. Д. Петручук, студ.; Ю. Д. Сандихаев, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ПУТИ ПОЛУЧЕНИЯ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ СУШКИ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Сушка – одна из наиболее сложных и энергозатратных операций химического агрегата. Усилия в области исследований и разработок в области технологий сушки резко возросли за последние десятилетия, поскольку в этой отрасли появились новые движущие силы, наряду с обеспечением высочайшего качества продукции и высокой производительностью, а именно снижением энергопотребления и выбросов углекислого газа, а также повышением безопасности пищевых продуктов. Для оптимизации существующих технологий или разработке новых широко внедряются методы математического моделирования как элемент повышения скорости положительного результата.

Численное моделирование дегидратации пористых материалов требует знаний о свойствах материала, которые часто неизвестны, изменяются в процессе обработки, имеют сложную зависимость от температуры и содержания влаги и демонстрируют большую меж- и внутриобразцовую изменчивость. Кроме этого, построение универсального инструмента моделирования усложняется большим разнообразием вариантов технологической сушки. Несмотря на это, математическое моделирование стало рабочим инструментом для оптимизации режимов работы, выбора и исследования алгоритмов управления непрерывной сушки. Из-за нелинейных свойств самого процесса сушки, даже для непрерывной сушки характерно изменение динамики каналов управления под воздействием возмущений и взаимовлияния контуров управления. Поэтому для построения алгоритмов управления часто используется система управления по модели, при которой происходит постоянная уточнение динамики каналов управления. Периодическая идентификация также широко применяется коррекции законов управления. Но и здесь особенность процесса сушки, повлияла на выбор моделей. Исследования на лабораторных стендах показали, что при идентификации следует ограничиваться передаточными функциями первого порядка или второго порядка [1].

Для многих видов сушки разработаны варианты имитационного моделирования различного вида сушилок, которые позволяют провести оценку динамики каналов управления с учетом большого количества нелинейных явлений и возмущений данной технологии.

Редкие попытки получения передаточных функций по каналам управления сводятся с декомпозицией и записью уравнений материального и теплового баланса.

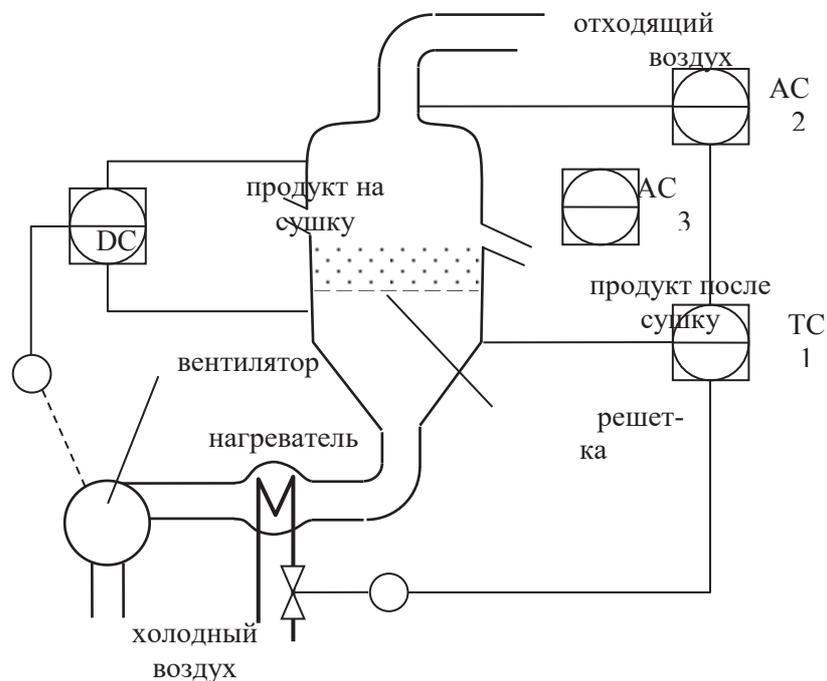


Рисунок 1 – Схема основных контуров управления сушкой кипящего слоя: 1 – регулятор температуры; 2 – регулятор влажности воздуха; 3 – регулятор влажности продукта; 4 – регулятор перепада давления

На рис. 1 схема управления сушки кипящего слоя. На схеме присутствуют два регулятора влажности в зависимости от возможности производства измерений. Контроль влажности отходящего воздуха легче реализовать, однако даже грубый контроль влажности продукта после сушки позволит реализовать более качественное поддержание хода протекания технологического процесса.

Для оценки динамики данной схемы управления следует произвести декомпозицию. Контур стабилизации температуры может подразумевать отдельные уравнения для нагревателя, участка трубопровода между нагревателем и сушилкой. Динамика канала поддержания влажности или влагосодержания в первую очередь определяется процессами непосредственно в сушилке. Однако при качественном моделировании процессы на решетке указываются в литературе, что можем наблюдать отличия в физико-химических процессах в зоне ввода продукта, в средней части и в зоне вывода продукта.

Самые большие сложности могут возникнуть при расчете динамики перепада давления. Здесь необходимо оценить динамику трубопровода до и после нагревателя [2]. Свои дифференциальные уравнения будут у нагревателя. Самые большие сложности с уравнениями

процессов около решетки. В самом простом случае используют уравнение фильтрации, но в литературе рекомендуют производить математическое моделирование нелинейных уравнения и аппроксимация переходных процессов.

Одним из самых простых уравнений для получения передаточной функции по каналу влажности может быть уравнение материального баланса

$$\frac{dM}{dt} = k(M - M_E)$$

где M – влагосодержание продукта над решеткой; M_E – равновесная влажность; k – коэффициент сушки.

Коэффициент сушки обычно определяется для каждой сушилки отдельно и имеет эмпирический характер. Один из вариантов [3]:

$$k = 0,00028u(T - 45) + 0,00067$$

где u – поверхностная скорость; T – температура.

Для контура температуры можно использовать уравнение теплового баланса

$$(m_v C_v + m_n C_n) \frac{dT}{dt} = G_n C_v T_n - G_n C_v T + kF(T_0 - T),$$

где m_v , m_n – масса продукта и воздуха в сушилке C_v , C_n – теплоемкость воздуха и продукта, кДж/(кг•К); k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²•К); T – температуры воздуха над решеткой, °С; F – площадь поверхности сушилки, м².

Последние уравнения весьма условные и требуют уточнения на практике

ЛИТЕРАТУРА

1. Rivera-Pacheco J.O. Optimization of the drying operation requires a model containing the operating variables for fluid bed dryers // Chemical Engineering, University of Puerto Rico, Mayaguez Campus, 2006.

2. Построение динамической модели гидравлического тракта / Д. А. Гринюк [и др.] // Материалы 86-й научно-технической конференции, Минск, 31 января – 12 февраля 2022 г. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 354-356.

3. Temple S. J. van Boxtel, A.B. Control of fluid-bed drying of tea // Proceedings IFAC-Symposium CAPPT'98, Budapest, Hungary. 1998, pp. 41-45.