

УДК 51-74

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СУШКИ
ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТНОЙ ДИСПЕРСИИ МЕТОДОМ СОСТАВЛЕНИЯ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОвого
И МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСОВ УСТАНОВКИ**

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF THE POLYVINYLACETATE
DISPERSION DRYING PROCESS WITH THE HELP OF DIFFERENTIAL
EQUATION OF HEAT AND MATERIAL BALANCE OF A UNIT**

Гуров Виктор Семенович

главный инженер,
ООО «ЛЮМЭКС»
vg805@ya.ru

Gurov Victor Semenovich

Chief Engineer,
«LUMEX» Ltd
vg805@ya.ru

Аннотация. Рассмотрена задача идентификации процесса сушки поливинилацетатной дисперсии как объекта регулирования. Разработано математическое описание процесса сушки, представленное в виде дифференциального уравнения теплового и материального балансов установки, с последующей его линеаризацией при малых отклонениях от номинального режима работы.

Ключевые слова: распылительная сушка, поливинилацетатная дисперсия, дифференциальные уравнения теплового и материального балансов, математическое описание процесса сушки.

Annotation. Identification process of polyvinylacetate dispersion drying as an object of regulation is examined. Mathematical description of the drying process, presented in the form of differential equations of heat and material balance of a unit, with its subsequent linearization in case of normal mode error is developed.

Keywords: spray drying, polyvinylacetate dispersion, differential equations of heat and material balance, a mathematical description of the drying process.

1. Введение

Автоматическое регулирование процесса распылительной сушки центробежного типа направлено на обеспечение получения кондиционного сухого продукта при максимальной производительности сушилки и минимальных энергетических затратах.

Вопросы автоматизации сушильных установок в настоящее время являются весьма актуальными. До сих пор еще очень мало проведено экспериментальных работ по выявлению оптимальных схем автоматизации распылительных сушилок, нет статических и динамических характеристик и т.д. Однако полная автоматизация распылительных сушек позволит повысить качество высушиваемого продукта, интенсифицировать процесс сушки, сократить удельные расходы топлива и электроэнергии.

С точки зрения автоматизации распылительные сушилки являются объектами с взаимосвязанными параметрами.

Математическое описание процесса сушки и решение вопросов по разработке оптимальной схемы автоматизации может быть осуществлено тремя основными путями. [1]

Первый способ – это математическое описание процесса сушки с решением системы дифференциальных уравнений. Этот путь имеет в будущем большие перспективы. Однако в настоящее время пока еще не удалось решить системы нелинейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, описывающих процессы сушки в распылительных установках. Практически не выявлены законы движения комплекса частиц полидисперсного состава с переменной массой в сушильной камере и т.д.

Второй метод заключается в решении дифференциальных уравнений теплового и материального балансов установки с последующей их линеаризацией при малых отклонениях от номинального режима работы сушилки. Достоинством этого метода является его простота и достаточная для инженерных расчетов точность. Этот метод для распылительных сушилок пока еще не был использован.

Третий способ – экспериментальное получение динамических характеристик установки методами активного и пассивного экспериментов с последующей аппроксимацией этих данных в характеристики типовых динамических звеньев. При методах активного эксперимента, выводя объект на заранее заданный режим и добившись стабилизации всех входных и выходных величин, в некоторый момент времени наносят возмущение по одному из входящих каналов. При этом снимают кривые изменения выходных величин. Так как реальные объекты почти всегда являются нелинейными, то эксперименты необходимо проводить на нескольких (минимум трех) различных режимах работы установки.

Данная статья посвящена вопросу разработки математического описания процесса сушки методом составления дифференциального уравнения теплового и материального баланса с последующей его линеаризацией при малых отклонениях от номинального режима работы сушилки.

2. Разработка математической модели процесса сушки поливинилацетатной дисперсии методом составления дифференциального уравнения теплового и материального балансов установки

Известно, что процесс обезвоживания поливинилацетатной дисперсий на распылительных сушильных установках целесообразно представить следующими основными операциями:

- распыление жидкости в нагретом воздушном потоке одним из способов, в частности, центробежным;
- сушка распыленного материала;
- удаление высушенного продукта вместе с отработанным воздухом из зоны сушки.

Для количественного описания выше сказанного целесообразно представить сушку материала в виде схемы теплового и материального балансов (рис. 1).

Тепловая схема сушки поливинилацетатной дисперсии

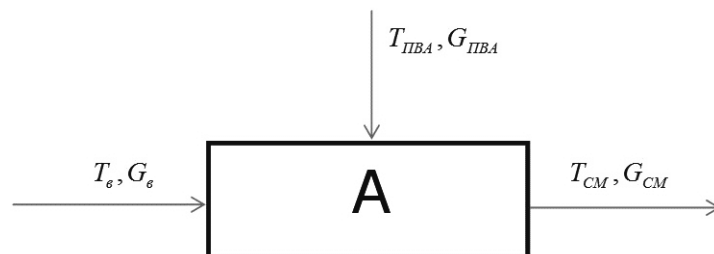


Рисунок 1 – Схема теплового и материального балансов сушки поливинилацетатной дисперсии: А – сушильная камера; T_B, G_B – температура и расход нагретого воздуха на входе в сушильную камеру;

$T_{ПВА}, G_{ПВА}$ – температура и расход поливинилацетатной дисперсии на входе в сушильную камеру;

$T_{СМ}, G_{СМ}$ – температура и расход смеси высушенного продукта и воздуха на выходе из сушильной камеры

Допущения принятые в разрабатываемой модели:

1. Не учитываются потери тепла:

- стенкам сушильной камеры;
- на нагрев дисперсии до температуры кипения.

2. Не учитывается разница температур жидкости и образующихся паров, так как эта разница составляет (0,4-0,8 С) [2].

Поэтому плотности и удельные теплоемкости жидкости и паров принимаются постоянными. Теплоемкость:

- поливинилацетатной дисперсии $c_{ПВА} = \text{const}$;
- смеси на выходе из сушильной камеры $c_{СМ} = \text{const}$.

3. Температура нагретого воздуха поступающего в сушильную камеру поддерживается постоянной $T_B = \text{const}$.

4. Расход нагретого воздуха поступающего в сушильную камеру поддерживается постоянным $G_B = \text{const}$.

5. Температура поливинилацетатной дисперсии поддерживается постоянной $T_{ПВА} = \text{const}$.

На основании тепловой схемы сушки поливинилацетатной дисперсии и принятых допущений решение задачи реализовано в следующей последовательности:

Количество тепла, поступающего в сушильную камеру А с воздухом, определяется следующей зависимостью:

$$Q_B = G_B \cdot c_B \cdot T_B \quad (1)$$

где $G_B = \frac{V}{t} \rho_B$ – расход воздуха $\left(\frac{\text{м}^3}{\text{час}} \right)$; t – время; $\rho_B = \frac{m}{V}$ – плотность воздуха

$\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$; m – масса воздуха; V – объем воздуха; T_B – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$);

c_B – теплоемкость воздуха $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right)$.

Количество тепла, которое необходимо затратить для нагревания поливинилацетатной дисперсии, поступающей в сушильную камеру А до $T_{ПВА} = 100^{\circ}\text{C}$, определяется следующей зависимостью:

$$Q_{ПВА} = G_{ПВА} \cdot c_{ПВА} \cdot T_{ПВА} \cdot \quad (2)$$

где $G_{ПВА} = \frac{V}{t} \rho_{ПВА}$ – расход поливинилацетатной дисперсии $\left(\frac{\text{м}^3}{\text{час}} \right)$; t – время;

$\rho_{ПВА} = \frac{m}{V}$ – плотность поливинилацетатной дисперсии $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$; m – масса поливинилацетатной дисперсии; V – объем поливинилацетатной дисперсии; $T_{ПВА}$ – температура поливинилацетатной дисперсии; $c_{ПВА}$ – теплоемкость поливинилацетатной дисперсии.

Количество тепла, которое уходит из сушильной камеры А с воздушным потоком, представляющим собой смесь обезвоженной поливинилацетатной дисперсии и влажного воздуха, определяется следующей зависимостью:

$$Q_{СМ} = G_{СМ} \cdot c_{СМ} \cdot T_{СМ} \cdot \quad (3)$$

где $G_{СМ} = \frac{V}{t} \rho_{СМ}$ – расход смеси обезвоженной поливинилацетатной дисперсии и

влажного воздуха $\left(\frac{\text{м}^3}{\text{час}} \right)$; t – время; $\rho_{СМ} = \frac{m}{V}$ – плотность смеси обезвоженной

поливинилацетатной дисперсии и влажного воздуха $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$; m – масса смеси обезвоженной поливинилацетатной дисперсии и влажного воздуха; V – объем смеси обезвоженной поливинилацетатной дисперсии и влажного воздуха; $T_{СМ}$ – температура смеси обезвоженной поливинилацетатной дисперсии и влажного воздуха; $c_{СМ}$ – теплоемкость смеси обезвоженной поливинилацетатной дисперсии и влажного воздуха.

В равновесном состоянии приток Q_B и отвод $Q_{СМ}$, $Q_{ПВА}$ тепла одинаковы и температура смеси $T_{СМ}$, уходящей из сушилки постоянна.

Уравнение теплового баланса:

$$Q_B = Q_{ПВА} + Q_{СМ} \text{ или}$$

$$Q_B - Q_{ПВА} - Q_{СМ} = 0. \quad (4)$$

В случае изменения какого-либо количества тепла или одновременно обоих (притока и отвода), температура смеси $T_{СМ}$ будет изменяться.

Уравнение переходного процесса при этом запишется в следующем виде:

$$\frac{d(V_{СМ} \cdot \rho_{СМ} \cdot c_{СМ} \cdot T_{СМ})}{dt} = \Delta Q_B - \Delta Q_{ПВА} - \Delta Q_{СМ}. \quad (5)$$

Зависимости Q_i в (1), (2), (3) от c_i и T_i линейны, поэтому:

$$Q_B = \Delta G_B \cdot c_B \cdot T_B + G_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B. \quad (6)$$

$$Q_{ПВА} = \Delta G_{ПВА} \cdot c_{ПВА} \cdot T_{ПВА} + G_{ПВА} \cdot c_{ПВА} \cdot \Delta T_{ПВА}. \quad (7)$$

$$Q_{СМ} = \Delta G_{СМ} \cdot c_{СМ} \cdot T_{СМ} + G_{СМ} \cdot c_{СМ} \cdot \Delta T_{СМ}. \quad (8)$$

Подставляя (6), (7), (8) в (5) получим:

$$V_{СМ} \cdot \rho_{СМ} \cdot c_{СМ} \cdot \frac{dT_{СМ}}{dt} = \Delta G_B \cdot c_B \cdot T_B + G_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B -$$

$$- \Delta G_{ПВА} \cdot c_{ПВА} \cdot T_{ПВА} - G_{ПВА} \cdot c_{ПВА} \cdot \Delta T_{ПВА} -$$

$$- \Delta G_{СМ} \cdot c_{СМ} \cdot T_{СМ} - G_{СМ} \cdot c_{СМ} \cdot \Delta T_{СМ}. \quad (9)$$

Разделим обе части уравнения на коэффициент при $\Delta T_{СМ}$, будем иметь:

$$T_1 \cdot \frac{dT_{СМ}}{dt} + T_{СМ} = k_1 \cdot \Delta G_B + k_2 \cdot \Delta T_B - k_3 \cdot \Delta G_{ПВА} - k_4 \cdot \Delta T_{ПВА} - k_5 \cdot \Delta G_{СМ}. \quad (10)$$

где $T_1 = \frac{V_{СМ} \cdot \rho_{СМ}}{G_{СМ}}$ (час);

$$k_1 = \frac{c_B \cdot T_B}{G_{СМ} \cdot c_{СМ}};$$

$$k_2 = \frac{G_B \cdot T_B}{G_{СМ} \cdot c_{СМ}};$$

$$k_3 = \frac{c_{ПВА} \cdot T_{ПВА}}{G_{СМ} \cdot c_{СМ}};$$

$$k_4 = \frac{G_{ПВА} \cdot c_{ПВА}}{G_{СМ} \cdot c_{СМ}};$$

$$k_5 = \frac{T_{СМ}}{G_{СМ}}.$$

Полученное линейное дифференциальное уравнение в отклонениях (10) является математическим описанием процесса сушки поливинилацетатной дисперсии.

3. Заключение

В настоящей работе рассмотрена методика идентификации процесса сушки поливинилацетатной дисперсии. Разработана математическое описание процесса сушки на основе уравнений теплового и материального балансов установки.

Достоинства методики

Позволяет установить связь между теплотехническими параметрами процесса сушки ПВАД.

Позволяет получить универсальное дифференциальное уравнение в отклонениях параметров сушки ПВАД, что расширяет возможности в разработке и исследовании различных параметров моделей систем управления процессом.

Дальнейшее направление исследования по теме данной работы будет нацелено на решение следующих задач:

- Синтеза различных вариантов: САР системы автоматического регулирования процесса сушки ПВАД.
- Выбор наиболее приемлемого варианта САР по критерию количественных показателей качества получаемого продукта после реализации разработанных регуляторов на действующей установке.

Литература:

1. Баумштейн И.П. Автоматизация процессов сушки в химической промышленности / И.П. Баумштейн, Ю.А. Майзель. – М. : Химия, 1970.
2. Дианов В.Г. Автоматизация процессов в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / В.Г. Дианов. – М. : Химия, 1968.

References:

1. Baumstein I.P. Automation of processes of drying in chemical industry / I.P. Baumstein, Yu.A. Mayzel. – M. : Chemistry, 1970.
2. Dianov V.G. Automation of processes in the oil-processing and petrochemical industry / V.G. Dianov. – M. : Chemistry, 1968.