

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕАРИЗИРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАБОТЫ ВАКУУМ-АППАРАТОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОГО ОТДЕЛЕНИЯ САХАРНОГО ЗАВОДА

Рассматривается работа отделения кристаллизации сахарного завода. Предлагаются линеаризованные математические модели работы вакуум-аппаратов, необходимые для использования в автоматизированных системах управления технологическими процессами кристаллизационного отделения.

1. Введение

Развитие производства сахарной продукции в Украине – одно из основных стратегических направлений в сельскохозяйственном производстве. Главным производственным процессом получения сахара на сахарном заводе является процесс кристаллизации. Кристаллизация сахара – завершающий этап в его производстве. Здесь выделяют практически чистую сахарозу из многокомпонентной смеси, которой является сироп. В сокоочистительном отделении из диффузионного сока удаляется около 1/3 несахаров, остальные несахара вместе с сахарозой поступают в продуктовое (кристаллизационное) отделение, где большая часть сахарозы выкристаллизовывается в виде сахара-песка, а несахара остаются в межкристальном растворе. Выход сахара на 75% зависит от потерь сахара в мелассе. Потери в продуктовом отделении определяют технико-экономические показатели завода. Качество сахара прямо связано с потерями его в мелассе. Задачей оптимизации технологического процесса является выбор между глубоким истощением мелассы и качеством песка. Задача получения сахара стандартного качества решается с помощью технологии многоступенчатой кристаллизации раствора, позволяющей свести потери к минимуму. Наиболее распространены двухступенчатая и трехступенчатая схемы работы продуктового отделения. Для получения сахара хорошего качества необходимо использовать гибкие схемы производства, предусматривающие оперативное перераспределение потоков и режимов работы в соответствии с ситуацией на заводе и качеством перерабатываемого сырья [1].

Рациональная технологическая схема продуктового отделения должна иметь столько ступеней кристаллизации, чтобы ее суммарный эффект составлял 30-33%, а коэффициент завода составлял бы более 90% при среднем качестве свеклы. В достоинства трехпродуктовой схемы работы можно включить более высокий выход продукции (37%) и высокое качество получаемого товарного продукта. От прочих схем кристаллизации она отличается прямоточностью, в которой существует один рециркуляционный контур - возврат клеровки. Исходным сырьем для продуктового отделения является сульфитированная смесь сиропа с клеровкой сахаров II кристаллизации и сахара-аффинада III кристаллизации с чистотой не менее 92%.

В сахарном производстве технологический процесс получения сахара постоянно меняется в зависимости от изменения качества продукции.

Исходя из изложенного, можно сделать заключение, что процесс кристаллизации, как и все другие основные процессы переработки сырья в заводе, является сложным динамическим процессом. Для получения оптимального выхода продукции необходимо уделить внимание вопросам внедрения современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).

Эффективный выход продукции производства зависит от системы управления отделением кристаллизации на базе программно-технических комплексов (ПТК), обеспечивающих управление технологическим процессом в отделении кристаллизации по заданным безопасным технологическим и экономическим критериям, которые определяют качественные и количественные показатели выхода сахара и сопутствующей продукции отделения. Современная АСУТП включает в себя технические средства, программное обеспечение и

оператора, роль которого в автоматизированном процессе производства сводится к наладке, регулировке и обслуживанию средств автоматизации наблюдению за их действием.

АСУТП отделения кристаллизации представляет собой распределённую систему управления малого масштаба, как и в диффузионном, сокоочистительном и выпарном отделениях, включающую подсистемы сбора и отображения информации, автоматического регулирования, дискретно-логического управления, противоаварийных защит и блокировок. Она предоставляет оператору подробную информацию о протекании технологического процесса, производит архивирование основных технологических параметров, ведёт протокол событий, позволяет формировать отчёты в различных видах и имеет возможность самодиагностики. Эти свойства повышают надёжность и удобство эксплуатации системы, а также повышают безопасность эксплуатации оборудования.

При помощи АСУТП в отделении кристаллизации достигается улучшение: режима уваривания сиропа до пресыщения в вакуум – аппаратах под разрежением, зарождение и наращивание кристаллов и последующее разделение в центрифугах на сахар-песок и первый оттек.

Важную роль в системе управления технологическим процессом кристаллизации играет алгоритм управления, представляющий собой описание процедуры обработки информации о наблюдаемых переменных состояния в целях определения управляющих воздействий, реализуемых для получения требуемых показателей управляемого процесса как в установившемся, так и в переходном режиме.

Алгоритм управления должен четко определять последовательность действий, необходимых для того, чтобы наилучшим образом решить поставленную задачу. Он составляется технологом для упрощения задачи программиста при написании программного обеспечения для контроллера.

Исходным этапом построения модели является расчет и анализ статики процесса, т.е. рассмотрение данных о равновесии, на основе которых определяют направление протекания и возможные пределы осуществления процесса. Исходя из знания значений и параметров технологического процесса получения сахара (на всех этапах производства (диффузия, дефекация, выпарка, кристаллизация)), на основании законов сохранения массы и энергии составляются уравнения материального и энергетического баланса. Зная эти уравнения, можно определить кинетику процесса и скорость его протекания при различных изменениях.

2. Основной материал

Для оптимальной работы всего кристаллизационного отделения следует соблюдать температурный режим во всех вакуум-аппаратах отделения. Составим уравнение теплового баланса процесса кристаллизации в вакуум-аппаратах [2]:

$$Q_{\text{пар}} + Q_{\text{кр}}^i = Q_{\text{нагр}}^{ij} + Q_{\text{выпар}}^j, \quad (1)$$

где $Q_{\text{пар}}$ – количество тепла, которое поступает с паром; $Q_{\text{кр}}$ – количество тепла, получаемое при кристаллизации в i -м аппарате; $Q_{\text{нагр}}^{ij}$ – количество тепла, затраченное на нагрев продукта j -го аппарата; $Q_{\text{выпар}}$ – количество тепла, потраченное на выпаривание в j -м аппарате.

Каждую из составляющих уравнения (1) можно представить в виде:

$$Q_{\text{пар}} = G_{\text{пар}} C_{\text{пар}} \theta_{\text{пар}}, \quad (2)$$

здесь $G_{\text{пар}}$ – количество пара; $C_{\text{пар}}$ – теплоемкость пара; $\theta_{\text{пар}}$ – температура пара;

$$Q_{\text{кр}} = G_{\text{кр}} C_{\text{кр}} \theta_{\text{кр}}, \quad (3)$$

где $G_{\text{кр}}$ – количество продукта кристаллизации; $C_{\text{кр}}$ – теплоемкость продукта кристаллизации; $\theta_{\text{кр}}$ – температура продукта кристаллизации;

$$Q_{\text{нагр}} = G_{\text{нагр}} C_{\text{нагр}} \theta_{\text{нагр}}, \quad (4)$$

$G_{\text{нагр}}$ – количество исходного продукта; $C_{\text{нагр}}$ – теплоемкость исходного продукта, $\theta_{\text{нагр}}$ – температура исходного продукта;

$$Q_{\text{выпар}} = G_{\text{выпар}} C_{\text{выпар}} \theta_{\text{выпар}}, \quad (5)$$

где $G_{\text{выпар}}$ – количество выпаренного растворителя, $C_{\text{выпар}}$ – теплоемкость выпаренного растворителя; $\theta_{\text{выпар}}$ – температура выпаренного растворителя.

Соответственно получим уравнение теплового баланса для вакуум-аппарата первой кристаллизации:

$$G_{\text{пар}} C_{\text{пар}} \theta_{\text{пар}} + G_{\text{кр}} C_{\text{кр}} \theta_{\text{кр}} = G_{\text{нагр}} C_{\text{нагр}} \theta_{\text{нагр}} + G_{\text{выпар}} C_{\text{выпар}} \theta_{\text{выпар}}. \quad (6)$$

При нарушении теплового баланса уравнение (6) примет вид:

$$V_1 \rho c_1 \frac{d\theta_{\text{нагр}}}{d\tau} = \Delta (G_{\text{пар}} C_{\text{пар}} \theta_{\text{пар}} + G_{\text{кр}} C_{\text{кр}} \theta_{\text{кр}} - G_{\text{нагр}} C_{\text{нагр}} \theta_{\text{нагр}} - G_{\text{выпар}} C_{\text{выпар}} \theta_{\text{выпар}}), \quad (7)$$

где V_1 – объем первого вакуум-аппарата; ρ – плотность сиропа; c_1 – удельная теплоемкость вещества в первом аппарате.

Отклонения переменных в кристаллизаторе, с учетом линеаризации, примут следующий вид:

$$\frac{d\theta_{\text{нагр}}^{01}}{d\tau} = \frac{1}{V_1 \rho c_1} (G_{\text{пар}} C_{\text{пар}} \Delta\theta_{\text{пар}} + C_{\text{пар}} \theta_{\text{пар}} \Delta G_{\text{пар}} + G_{\text{кр}}^1 C_{\text{кр}}^1 \Delta\theta_{\text{кр}}^1 + C_{\text{кр}}^1 \theta_{\text{кр}}^1 \Delta G_{\text{кр}}^1 - G_{\text{нагр}}^{01} C_{\text{нагр}}^{01} \Delta\theta_{\text{нагр}}^{01} - C_{\text{нагр}}^{01} \theta_{\text{нагр}}^{01} \Delta G_{\text{нагр}}^{01} - G_{\text{выпар}}^1 C_{\text{выпар}}^1 \Delta\theta_{\text{выпар}}^1 - C_{\text{выпар}}^1 \theta_{\text{выпар}}^1 \Delta G_{\text{выпар}}^1). \quad (8)$$

Соответственно для остальных вакуум-аппаратов уравнения составляются аналогично:

$$\frac{d\theta_{\text{нагр}}^{12}}{d\tau} = \frac{1}{V_2 \rho c_2} (G_{\text{пар}} C_{\text{пар}} \Delta\theta_{\text{пар}} + C_{\text{пар}} \theta_{\text{пар}} \Delta G_{\text{пар}} + G_{\text{кр}}^2 C_{\text{кр}}^2 \Delta\theta_{\text{кр}}^2 + C_{\text{кр}}^2 \theta_{\text{кр}}^2 \Delta G_{\text{кр}}^2 - G_{\text{нагр}}^{12} C_{\text{нагр}}^{12} \Delta\theta_{\text{нагр}}^{12} - C_{\text{нагр}}^{12} \theta_{\text{нагр}}^{12} \Delta G_{\text{нагр}}^{12} - G_{\text{выпар}}^2 C_{\text{выпар}}^2 \Delta\theta_{\text{выпар}}^2 - C_{\text{выпар}}^2 \theta_{\text{выпар}}^2 \Delta G_{\text{выпар}}^2), \quad (9)$$

$$\frac{d\theta_{\text{нагр}}^{23}}{d\tau} = \frac{1}{V_3 \rho c_3} (G_{\text{пар}} C_{\text{пар}} \Delta\theta_{\text{пар}} + C_{\text{пар}} \theta_{\text{пар}} \Delta G_{\text{пар}} + G_{\text{кр}}^3 C_{\text{кр}}^3 \Delta\theta_{\text{кр}}^3 + C_{\text{кр}}^3 \theta_{\text{кр}}^3 \Delta G_{\text{кр}}^3 - G_{\text{нагр}}^{23} C_{\text{нагр}}^{23} \Delta\theta_{\text{нагр}}^{23} - C_{\text{нагр}}^{23} \theta_{\text{нагр}}^{23} \Delta G_{\text{нагр}}^{23} - G_{\text{выпар}}^3 C_{\text{выпар}}^3 \Delta\theta_{\text{выпар}}^3 - C_{\text{выпар}}^3 \theta_{\text{выпар}}^3 \Delta G_{\text{выпар}}^3), \quad (10)$$

$$\frac{d\theta_{\text{нагр}}^{34}}{d\tau} = \frac{1}{V_4 \rho c_4} (G_{\text{пар}} C_{\text{пар}} \Delta\theta_{\text{пар}} + C_{\text{пар}} \theta_{\text{пар}} \Delta G_{\text{пар}} + G_{\text{кр}}^4 C_{\text{кр}}^4 \Delta\theta_{\text{кр}}^4 + C_{\text{кр}}^4 \theta_{\text{кр}}^4 \Delta G_{\text{кр}}^4 - G_{\text{нагр}}^{34} C_{\text{нагр}}^{34} \Delta\theta_{\text{нагр}}^{34} - C_{\text{нагр}}^{34} \theta_{\text{нагр}}^{34} \Delta G_{\text{нагр}}^{34} - G_{\text{выпар}}^4 C_{\text{выпар}}^4 \Delta\theta_{\text{выпар}}^4 - C_{\text{выпар}}^4 \theta_{\text{выпар}}^4 \Delta G_{\text{выпар}}^4). \quad (11)$$

На основе полученных соотношений могут быть реализованы эффективные подходы для синтеза системы управления.

3. Выводы

Исследовав работу отделения кристаллизации сахарного производства, можно сделать выводы, что одними из основных устройств, отвечающих за качество и количество сахара, являются вакуум-аппараты периодического действия. Нормальная работа данных аппаратов заключается в поддержании оптимальных значений количества сиропа при заданных температурах, для устранения остатков влаги из сиропа и получения кристаллов сахара. Были построены уравнения теплового баланса для всех вакуум-аппаратов отделения, из данных уравнений получены линеаризованные математические модели работы теплообменных частей кристаллизаторов. Учитывая линейность соотношений, возможно эффективно использовать при построении систем управления.

Список литературы: 1. Ляшенко С.А., Ляшенко А.С., Беляева И.С. Концепции повышения эффективности АСУ ТП при производстве сахара в Украине // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв”. Харків. 2008. Вип. 74. С. 54-63. 2. Дідура В.А., Стручаєв М.І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві / За заг. ред. В.А. Дідура. К.: Аграрна освіта, 2008. 233с.

Поступила в редколлегию 11.12.2012

Ляшенко Сергей Алексеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры БЖ ХНТУСХ им. П.Василенко. Научные интересы: моделирование сложных систем управления. Адрес: Украина, 61002, Харьков, ул. Артема, 44, тел. 732-76-26.

Ляшенко Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизированные системы управления. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-54.