

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ВАКУУМНОЙ  
СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ ПРОДУКЦИИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА  
КОМБИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**AUTOMATION OF VACUUM  
SUBLIMATION DRYING OF PRODUCTS  
USING THE COMBINED MANAGEMENT METHOD**

*М.Г. БАЛЫХИН, М.М. БЛАГОВЕЩЕНСКАЯ, И.Г. БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ,  
З.В. МАКАРОВСКАЯ, М.В. ЖИРОВ, Е.А. НАЗОЙКИН, А.В. БУНЕЕВ*

*M.G. BALYKHIN, M.M. BLAGOVESCHENSKAYA, I.G. BLAGOVESCHENSKIY,  
Z.V. MAKAROVSKAYA, M.V. ZHIROV, E.A. NAZOYKIN, A.V. BUNEEV*

**(Московский государственный университет пищевых производств,  
Корпорация ООО Omron Electronics)**

**(Moscow State University of Food Productions,  
Omron Electronics LLC Corporation)**

E-mail: mgupp@mgupp.ru

*В настоящей статье внимание уделено оптимизации и автоматизации процесса вакуумной сублимационной сушки пищевых продуктов. По полученной структурно-параметрической модели разработана функциональная схема автоматизации (ФСА). Разработан метод комбинированного управления процессом сушки на базе ПЛК СРМ1А компании ОМРОН.*

*This article focuses on the optimization and automation of the process of vacuum freeze-drying of food products. Based on the obtained structural-parametric model, a functional automation scheme (FSA) has been developed. A method for the combined control of the drying process based on the OMRON company PLC SRM1A has been developed.*

**Ключевые слова:** вакуумная сублимационная сушка, структурно-параметрическая модель, программно-логический контроллер, метод комбинированного управления.

**Keywords:** vacuum freeze-drying, structural-parametric model, program-logic controller, combined control method.

Процесс вакуумной сушки давно стал неотъемлемой частью множества видов производств. Важными направлениями в вакуумной сушке являются: сушка жидковязкой продукции, жидких, твердых, сыпучих порошкообразных масс и т.д. [1]. Это далеко не весь список направлений, где вакуумная сушка является неотъемлемой частью производства различной продукции. На данный момент вакуумная сушка успела четко закреп-

питься в большинстве отраслей, которые не могут в полной мере функционировать без проведения данного процесса. Поэтому можно сделать вывод, что вакуумная сушка – это процесс, который является более чем эффективным, и, если в этом есть необходимость, его можно использовать практически во всех областях. По-видимому, в скором времени процесс вакуумной сушки станет применяться во всех отраслях, которые каким-

то образом связаны с производством различных видов продукции [2].

Для повышения эффективности производственных процессов вакуумной сушки, улучшения качества выпускаемой продукции и решения проблемы импортозамещения актуальнейшей является задача использования новейших научных достижений в области техники и технологии, обеспечения стабильности производственных процессов сушки, оснащения поточно-механизированных линий современными средствами непрерывного автоматического контроля, регулирования и управления с использованием высокоэффективных интеллектуальных технологий [3]. Грамотно внедренная современная интеллектуальная автоматическая система управления технологическими процессами (АСУТП) вакуумной сушки позволяет получить существенное конкурентное преимущество, а также высвободить скрытые резервы производства за счет снижения издержек и увеличения прибыли [4].

Поэтому очень важно эффективное решение задачи автоматизации вакуумной сублимационной сушки продукции на современном уровне с использованием интеллектуальных технологий. Суть технологического процесса вакуумной сублимационной сушки подразумевает под собой испарение из замороженного продукта влаги в результате перехода вещества (льда) из твердого состояния в газообразное без прохождения жидкой фазы. В конечном итоге получается продукт с влажностью 2...5%, что создает возможность для его длительного хранения

в условиях нерегулируемых температур [1]. Основные стадии технологического процесса (ТП) вакуумной сублимационной сушки продукта представлены на рис. 1.

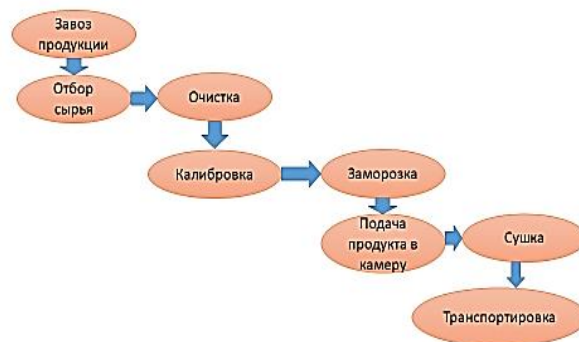


Рис. 1

Решение задачи автоматизации вакуумной сублимационной сушки продукции возможно лишь при наличии математических моделей этих процессов, что позволит наглядно изучить влияние входных контролируемых и регулируемых параметров, возмущающих воздействий на величину влажности высушенной продукции, а также даст возможность прогнозировать ход этих ТП и определять необходимые при этом режимы работы используемого оборудования [5]. Для разработки таких математических моделей были проведены экспериментальные исследования, на основе чего получена структурно-параметрическая модель сублимационной сушки продукта с выделением факторов, оказывающих наибольшее влияние на выходную величину (рис. 2).

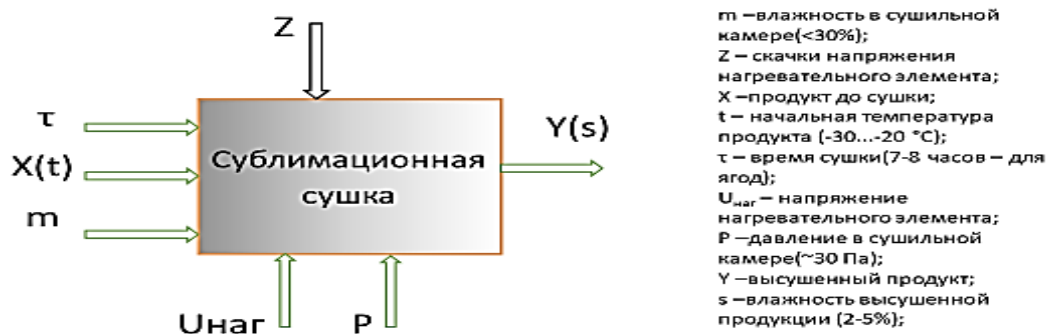


Рис. 2

На основании полученной структурно-параметрической модели сублимационной сушки продукта была разработана функцио-

нальная схема автоматизации (ФСА) процесса вакуумной сушки продукции (рис. 3).

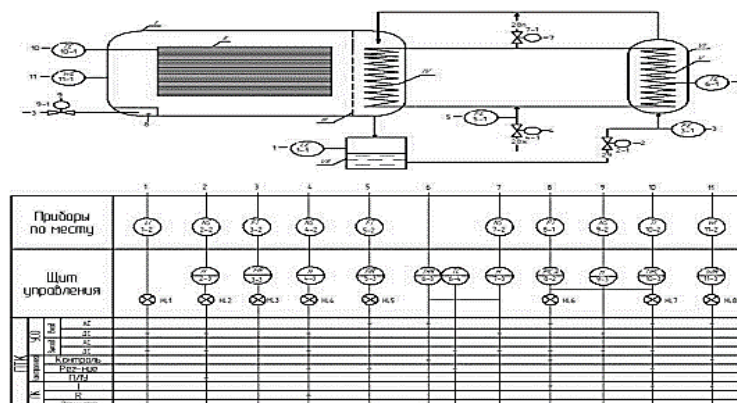


Рис. 3

Одной из главных задач, которая выполняется в ФСА в ходе технологического процесса вакуумной сублимационной сушки, это поддержание на заданном уровне параметров продукта сушки и основных систем сублимационной установки. Решение данной задачи во многом позволяет получить не только высушенный продукт с заданным уровнем качества, но и высокие экономические показатели процесса. В целом разработанная ФСА обеспечивает должный контроль и управление всеми технологическими параметрами с целью получения на выходе продукта с максимально качественными физико-химическими показателями за минимальное время, затраченное на его производство.

Управление процессом вакуумной сублимационной сушки происходит по трем направлениям: регулирование интенсивности теплоподвода с целью достижения заданного уровня температур в замороженной и осушенной частях продукта; регулирование параметров вакуума в сушильной камере и регулирование температуры поверхности десублиматора. Регулирующие воздействия на два последних параметра осуществляются посредством работы вакуумных насосов и системы хладоснабжения (рис. 3). Эти параметры после выхода сублимационного аппарата на рабочий режим остаются неизменными до конца процесса, либо претерпевают незначительные изменения.

Существуют различные методы управления технологическим процессом вакуумной сушки и каждый из них имеет свои пре-

имущества и недостатки [1]. Для определения оптимального метода управления ТП вакуумной сушки была создана экспериментальная лабораторная установка, приведенная на рис. 4. На основании проведенных нами экспериментальных исследований выявлено, что наиболее эффективным является метод комбинированного управления с использованием программно-логического контроллера [6]. Данный метод основан на использовании нескольких параметров сушки одновременно. В частности, рассматриваются такие параметры, как показатель вакуума в сушильной камере, температура продукта на противнях, и также важна зависимость данных показателей от работы вакуумных насосов и системы хладоснабжения.



Рис. 4

Результаты проведенных экспериментальных исследований представлены на рис. 5.

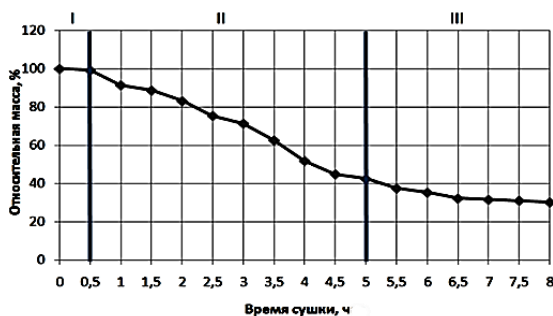


Рис. 5

Проведенные исследования показали, что метод комбинированного управления с использованием программно-логического контроллера (ПЛК) позволяет увеличить надежность и точность воспроизведения требуемых режимных параметров. Модель функционирования ПЛК для датчиков сублимационной камеры представлена на рис. 6.



Рис. 6

При этом программируемый логический контроллер (ПЛК) представляет собой микропроцессорное устройство, предназначенное для сбора, преобразования, обработки, хранения информации и выработки команд управления, имеющее конечное количество входов и выходов, подключенных к ним датчиков, ключей, исполнительных механизмов к объекту управления, и предназначенное для работы в режимах реального времени.

Программное обеспечение ПЛК состоит из двух частей. Первая часть – это системное программное обеспечение. Если сравнивать ее с компьютером, можно сказать, что это операционная система, то есть управляет работой узлов контроллера и внутренней диагностикой. Системное программное обеспечение ПЛК расположено в постоянной памяти центрального процессора и всегда готово к работе. По включению питания ПЛК готов взять на себя управление системой уже через несколько миллисекунд. ПЛК работает циклически по методу периодического опроса входных данных. Ра-

бочий цикл ПЛК включает 4 фазы: опрос входов; выполнение пользовательской программы; установку значений выходов; некоторые вспомогательные операции (диагностика, подготовка данных для отладчика, визуализации и т.д.). Выполнение первой фазы осуществляется системным программным обеспечением. После чего управление передается прикладной программе – той программе, которую пользователь сам записал в память. По этой программе контроллер выполняет все требования, а по ее завершению управление опять передается системному уровню. За счет этого обеспечивается максимальная простота построения прикладной программы.

Для получения высокого уровня управления, с минимальным периодом опроса датчиков, рекомендуется использовать ПЛК CRM1A компании ОМРОН, который отличается мощной вычислительной функцией и объемом памяти, он позволяет работать напрямую с портами. Данный контроллер способен работать в режиме реального времени и имеет порт Ethernet для подключения в локальные или глобальные сети верхнего уровня. В целом ПЛК CRM1A компании ОМРОН соответствует всем требованиям, выставляемым для автоматизированного управления процессом вакуумной сублимационной сушки различной продукции.

На рис. 7 представлена разработанная структура организации АСУТП сублимационной сушки материала.

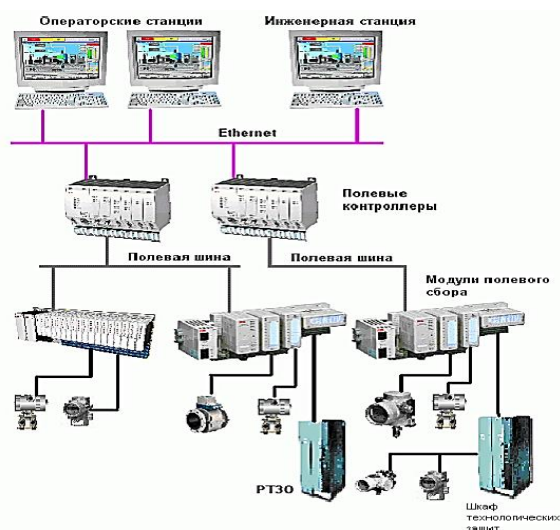


Рис. 7

Автоматизация процесса вакуумной сублимационной сушки с использованием метода комбинированного управления на базе ПЛК CRM1A компании ОМРОН предусматривает размещение датчиков контроля одновременно в нескольких точках сушильной камеры: измерение температуры поверхностей десублимации и общего давления в камере, регистрация изменения веса высушиваемого продукта в нескольких контрольных точках.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, регистрация и хранение параметров процесса, формирование управляющих воздействий на процесс вакуумной сублимационной сушки продукции с использованием метода комбинированного управления на основе ПЛК CRM1A компании ОМРОН способствует получению массы преимуществ: во-первых, позволяет полностью автоматизировать технологический процесс и существенно уменьшить возможность вмешательства человеческого фактора, во-вторых, появляется широкое "поле" для использования современных интеллектуальных технологий в процессах сублимационной сушки различной продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов Г.В. Вакуумная сублимационная сушка. – М.: ДеЛи плюс, 2013.
2. Jochen Petry. IEC 61131-3 mit CoDeSys V3: Ein Praxisbuch für SPS-Programmierer. – 2011.
3. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. – М.: Высшая школа, 2005.
4. Благовещенская М.М. Основы стабилизации процесса приготовления многокомпонентных масс. – М.: Изд-во Франтера, 2009.
5. Балыхин М.Г., Борзов А.Б., Благовещенский И.Г. Методологические основы создания экспертных сис-

тем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий. – М.: Изд-во Франтера, 2017.

6. Балыхин М.Г., Благовещенский И.Г., Благовещенская М.М., Гусаров П.К., Бунеев А.В. Программирование контроллера для автоматизации вакуумной сушки ягод с использованием комбинированного метода управления // Пищевая промышленность. – 2018, №12. С.90...92.
7. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004.

## REFERENCES

1. Semenov G.V. Vakuumnaya sublimatsionnaya sushka. – M.: DeLi plus, 2013.
2. Jochen Petry. IEC 61131-3 mit CoDeSys V3: Ein Praxisbuch für SPS-Programmierer. – 2011.
3. Blagoveshchenskaya M.M., Zlobin L.A. Informatsionnye tekhnologii sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami. – M.: Vysshaya shkola, 2005.
4. Blagoveshchenskaya M.M. Osnovy stabilizatsii protsessa prigotovleniya mnogokomponentnykh mass. – M.: Izd-vo Frantera, 2009.
5. Balykhin M.G., Borzov A.B., Blagoveshchenskiy I.G. Metodologicheskie osnovy sozdaniya ekspertnykh sistem kontrolya i prognozirovaniya kachestva pishchevoy produktsii s ispol'zovaniem intellektual'nykh tekhnologiy. – M.: Izd-vo Frantera, 2017.
6. Balykhin M.G., Blagoveshchenskiy I.G., Blagoveshchenskaya M.M., Gusarov P.K., Buneev A.V. Programmirovaniye kontrollera dlya avtomatizatsii vakuumnoy sushki yagod s ispol'zovaniem kombinirovannogo metoda upravleniya // Pishchevaya promyshlennost'. – 2018, №12. S.90...92.
7. Petrov I.V. Programmiruemye kontrollery. Standartnye yazyki i priemy prikladnogo proektirovaniya / Pod red. prof. V.P. D'yakonova. – M.: SOLON-Press, 2004.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами. Поступила 18.12.18.