

УДК 631.362.7

Профессор С.Т. Антипов, доцент А.В. Журавлев,
аспирант Д.А. Нестеров, студент А.С. Марухин

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств.
тел. (473) 255-38-96

E-mail: nestor13_lord@mail.ru

Professor S.T. Antipov, associate Professor A.V. Zhuravlev,
graduate D.A. Nesterov, student A.S. Marukhin

(Voronezh state university of engineering technologies) Department of machinery and equipment for food production. phone (473) 255-38-96

E-mail: nestor13_lord@mail.ru

Алгоритм управления процессом сушки дисперсных материалов в аппарате с закрученными потоками теплоносителя и СВЧ-энергоподводом

The control algorithm of the drying process particulate materials in the apparatus with the swirling flow of coolant and microwave energy supply

Реферат. Технической задачей осуществления процесса сушки является повышение качества готового продукта, повышение точности и надежности управления, снижение удельных энергозатрат. Одним из направлений совершенствования технологического процесса является комплексная и локальная его автоматизация. В данной работе рассматривается проблематика разработки и создания нового алгоритма управления процессом сушки дисперсного материала. Выявлен ряд недостатков существующих способов автоматического управления данным процессом. В результате авторами предложен способ сушки дисперсных материалов в аппарате с закрученными потоками теплоносителя и СВЧ-энергоподводом и алгоритм его автоматического управления. Представлено описание принципа работы самого сушильного аппарата, заключающегося в том, что влажный дисперсный материал при помощи тангенциального потока теплоносителя подается в цилиндрический сушильный аппарат, куда также подается осевой поток теплоносителя, в результате чего теплоноситель вместе с частицами дисперсного материала начинает совершать сложное циркуляционное движение вдоль окружности аппарата, увеличивая при этом свою скорость и алгоритма регулирования его работы. Работа данной схемы осуществляется по трем уровням регулирования на основе определения коэффициента эффективности работы сушильной установки, что дает возможность определить оптимальные значения мощности оборудования и составить прогноз затрат на электроэнергию. Все выше перечисленное позволяет получить готовый продукт высокого качества с минимизацией тепло-энергетических и материальных затрат за счет оптимизации режимных параметров процесса сушки дисперсного материала в сушилке с комбинированным СВЧ-энергоподводом и обеспечить рациональное использование тепло-энергетических ресурсов, варьируя их величину в зависимости от характеристик высушиваемого дисперсного материала и хода процесса.

Summary. The technical task of the process is to improve the drying quality of the final product, increasing the precision and reliability of control, the reduction of specific energy consumption. One of the ways to improve the process is complex and its local automation. This paper deals with the problems of development and creation of a new control algorithm drying process of the particulate material. Identified a number of shortcomings of the existing methods of automatic control of the process. As a result, the authors proposed a method for drying particulate materials in the device with swirling flow and the microwave energy supply and its automatic control algorithm. The description of the operating principle of the drying apparatus consists in that the particulate material is wet by using a tangential flow of coolant supplied to the cylinder-drying apparatus which also serves the axial coolant flow, whereby the heat transfer fluid with the particulate material begins to undergo a complex circular movement along the circumference apparatus, thereby increasing its speed and its operation control algorithm. The work of this scheme is carried out at three levels of regulation on the basis of determining the coefficient of efficiency of the dryer, which makes it possible to determine the optimal value of the power equipment and to forecast the cost of electricity. All of the above allows you to get ready for a high quality product while minimizing thermal energy and material costs by optimizing the operating parameters of the drying of the particulate material in the dryer with a combined microwave energy supply and ensure the rational use of heat energy by varying their quantity depending on the characteristics to be dried particulate material and the course of the process.

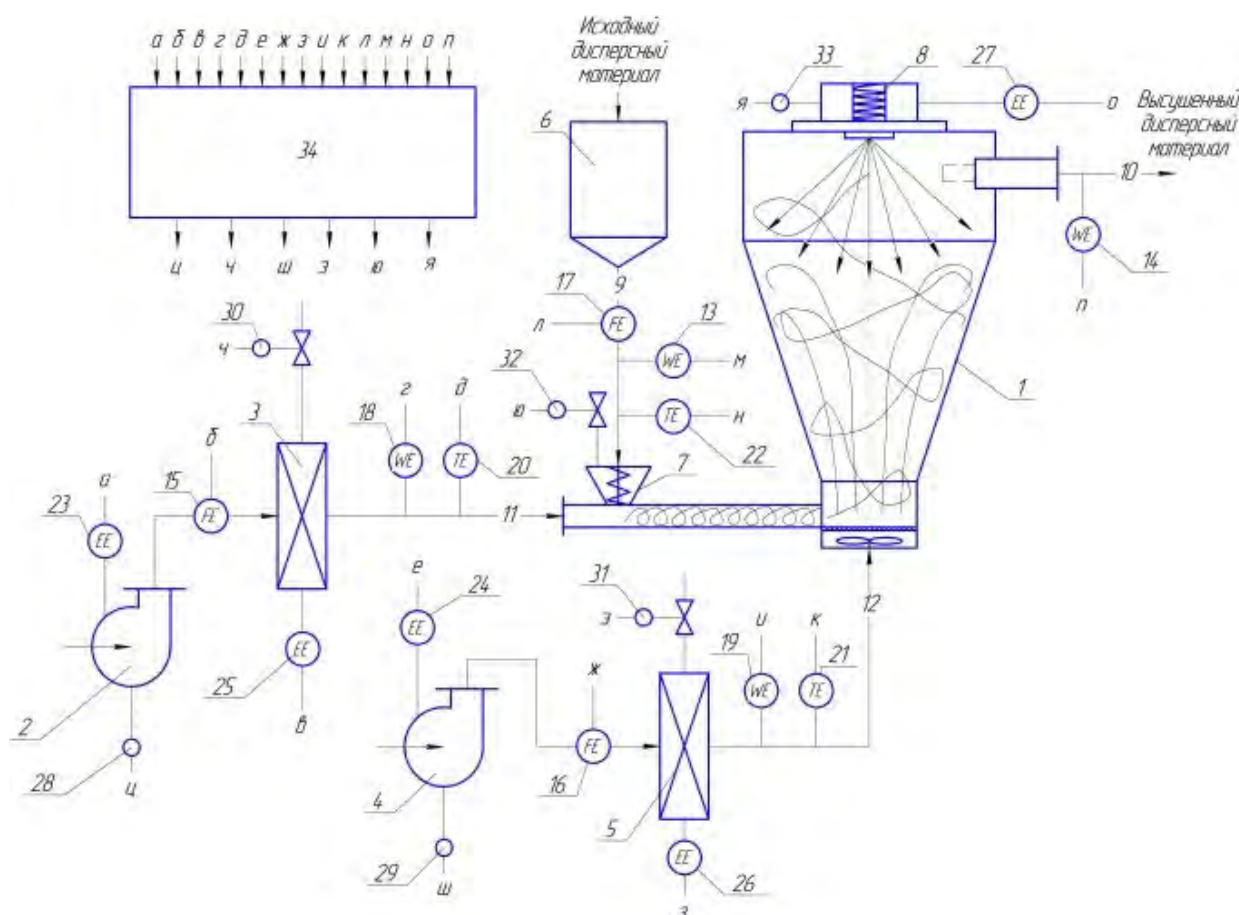
Ключевые слова: сушка, схема автоматизации, СВЧ-энергоподвод, эффективность, дисперсный материал.

Keywords: drying, scheme automation, microwave energy supply, efficiency, particulate material.

© Антипов С.Т., Журавлев А.В.,
Нестеров Д.А., Марухин А.С., 2015

При разработке нового сушильного оборудования в современных условиях, как правило, применяют комбинированные способы подвода энергии к продукту. Традиционно одним из них является конвективный подвод, сопровождающийся подготовкой теплоносителя путем смешивания продуктов сгорания жидкого топлива или природного газа, либо нагреванием в калориферах[2]. В качестве второй составляющей энергоподвода нами предлагается использование сверхвысокочастотного излучения. Данное сочетание позволит обеспечить высокое качество высушиваемого продукта вследствие «правильного» - от внутренних к внешним слоям продукта - направление градиента массопереноса влаги, не реализуемое ни в одном из иных известных методов сушки [1].

Известен ряд алгоритмов управления [4, 5], отличающийся наличием следующих недостатков: недостаточное качество высушенного материала, нерациональное использование тепло-энергетического и материального потенциала, невозможность установления оптимального управления процессом сушки, большая инерционность предлагаемых схем автоматизации. Для устранения вышеперечисленных проблем, возникающих при создании алгоритмов управления, нами предлагается способ автоматического управления процессом сушки дисперсных материалов в аппарате с закрученными потоками теплоносителя и СВЧ-энергоподводом (рисунок 1).



1 – цилиндрикосушительный аппарат, 2 – вентилятор подачи тангенциального потока теплоносителя, 3 – калорифер, 4 – вентилятор подачи осевого потока теплоносителя, 5 – калорифер, 6 – бункер для хранения исходного дисперсного материала, 7 – питатель для подачи исходного дисперсного материала в сушильную камеру, 8 – СВЧ-излучатель; линии: 9 – подачи исходного дисперсного материала, 10 – отвода высушенного дисперсного материала, 11 – подвода тангенциального потока теплоносителя, 12 – подвода осевого теплоносителя; датчики: 13, 14 – влагосодержания исходного и высушенного дисперсного материала; 15, 16 – расхода тангенциального и осевого потоков теплоносителя, 17 – расхода исходного дисперсного материала; 18, 19 – влагосодержания тангенциального и осевого потоков теплоносителя, подаваемых в цилиндрикосушительную камеру; 20, 21, 22 – температуры тангенциального, осевого потоков теплоносителя и исходного дисперсного материала; 23, 24, 25, 26, 27 – потребляемой мощности вентиляторов подачи тангенциального и осевого потока теплоносителя, калориферов, СВЧ-излучателя; 28-33 – исполнительные механизмы (а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к, л, м, н, о, п – входные каналы управления, ц, ч, ш, э, ю, я – выходные каналы управления); 34 – микропроцессор.
Рисунок 1. Схема управления процессом сушки дисперсных материалов в аппарате с закрученными потоками теплоносителя и СВЧ-энергоподводом:

Предлагаемый алгоритм осуществляется следующим образом.

Влажный дисперсный материал питателем 7 при помощи тангенциального потока теплоносителя подается в цилиндрикоконический сушильный аппарат 1, куда также подается осевой поток теплоносителя. В результате теплоноситель вместе с частицами дисперсного материала начинает совершать сложное циркуляционное движение вдоль окружности аппарата, увеличивая при этом свою скорость [3].

За счет этого дисперсный материал по мере его высыхания поднимается в верхнюю часть цилиндрикоконического сушильного аппарата 1, где происходит интенсификация тепломассобмена в процессе сушки за счет воздействия СВЧ-излучателя 8 на частицы дисперсного материала.

Информация о влажности, температуре и расходе исходного дисперсного материала в линии 9 с помощью датчиков 13, 17 и 22 передается в микропроцессор 34, который по заложенному в него алгоритму в зависимости от влажности и температуры исходного дисперсного материала, подаваемого на сушку, и от условий материального и теплового балансов, устанавливает задание на необходимый тепловой режим и режим подачи как тангенциального, так и осевого, потоков теплоносителя на входе в цилиндрикоконический сушильный аппарат посредством исполнительных механизмов 30 и 31, соответственно, калориферов 3 и 5, исполнительных механизмов 28 и 29, регулирующих, соответственно, приводы вентиляторов 2 и 4, и исполнительного механизма 33 СВЧ-излучателя 8, регулирующих напряжение электрического тока питания СВЧ-излучателя.

В ходе процесса сушки влажного дисперсного материала в закрученном потоке теплоносителя с СВЧ-энергоподводом с помощью оперативной информации с датчиков исходного влагосодержания исходного дисперсного материала 13 и высушенного 14 измеряют текущее значение влажности исходного и высушенного дисперсного материала, по которым осуществляется постоянная коррекция процесса сушки по 3 уровням, а именно скорости потока теплоносителя, мощности калориферов и СВЧ-излучателя, в зависимости от их приоритетной последовательности. Вследствие этого происходит значительное снижение инерционности управления, т.е. сужение интервала времени с момента получения информации о ходе сушки до подачи управляющего воздействия на исполнительные механизмы регулирования,

повышает чувствительность системы управления процессом на случайные возмущения со стороны работы оборудования, большую часть которых удается полностью компенсировать, т.е. удается повысить точность и надежность управления процессом сушки.

При осуществлении вышеуказанного алгоритма корректировки не маловажным фактором определения оптимальных режимов управления является нахождение экстремума функции коэффициента эффективности работы сушильного аппарата, которую представим в виде:

$$K_{\text{эф.}} = \frac{\Pi}{\Sigma Z}, \quad (1)$$

где Π – производительность сушильного аппарата, кг/ч; ΣZ – сумма всех затрат в стоимостном выражении, руб./ч,

$$\Sigma Z = Z_{\text{э}} + Z_{\text{м}}, \quad (2)$$

$Z_{\text{э}}$ – энергетические затраты, руб./ч; $Z_{\text{м}}$ – материальные затраты, руб./ч.

Суммарные энергетические затраты определяют по формуле:

$$Z_{\text{э}} = N_{\text{к1}} \Pi_{\text{эл.}} + N_{\text{к2}} \Pi_{\text{эл.}} + N_{\text{в1}} \Pi_{\text{эл.}} + N_{\text{в2}} \Pi_{\text{эл.}} + N_{\text{пит}} \Pi_{\text{эл.}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{к1}}$ – мощность калорифера, установленного на подаче тангенциального потока теплоносителя, кВт; $N_{\text{к2}}$ – мощность калорифера, установленного на подаче осевого потока теплоносителя, кВт; $N_{\text{в1}}$ – мощность привода вентилятора, установленного на подаче тангенциального потока теплоносителя, кВт; $N_{\text{в2}}$ – мощность привода вентилятор, установленного на подаче осевого потока теплоносителя, кВт; $N_{\text{пит}}$ – мощность питателя, кВт; $\Pi_{\text{эл.}}$ – цена единицы электроэнергии, руб./(кВт·ч).

Суммарные материальные затраты определяют по формуле:

$$Z_{\text{м}} = G_{\text{исх.п.}} \cdot \Pi_{\text{ед.п.}}, \quad (4)$$

где $G_{\text{исх.п.}}$ – расход исходного продукта, поступающего на сушку, кг/ч; $\Pi_{\text{ед.п.}}$ – цена единицы исходного продукта, руб./кг.

Таким образом, предлагаемый способ автоматического управления процессом сушки дисперсных материалов в закрученном потоке теплоносителя с СВЧ-энергоподводом позволяет:

- обеспечить многоканальное управление по трем уровням, что позволяет повысить точность и надежность управления в наиболее оптимальных диапазонах изменения режимных параметров, т.е. снизить инерционность управления;

- позволяет получить высушенный дисперсный материал высокого качества за счет оптимизации режимных параметров процесса сушки дисперсного материала в закрученном потоке теплоносителя с СВЧ-энергоподводом;

- снизить инерционность управления, т.е. уменьшить интервал времени с момента получения информации о ходе процесса сушки до

подачи управляющего воздействия на исполнительные механизмы регулирования;

- обеспечивает рациональное использование тепло-энергетических ресурсов, варьируя их величиной в зависимости от характеристик высушиваемого дисперсного материала и хода процесса, и тем самым снизить затраты на единицу массы высушенного дисперсного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1 Странадко Г.Г., Шевцов А.А., Лыткина Л.И., Дятлов В.А. Теоретические основы теплотехнических процессов зерноперерабатывающих производств: учеб. пособие. Воронеж: ВГТА, 2005. 256 с.

2 Шевцов А.А., Дранников А.В., Крячко А.В. Алгоритм управления процессом сушки термолабильных материалов в двухступенчатой теплонасосной сушильной установке // Хранение и переработка сельхозсырья. 2006. № 10. С. 79-81.

3 Антипов С.Т., Журавлев А.В., Казарцев Д.А., Бородинкина А.В. и т.д. Комбинированные аппараты с закрученным потоком теплоносителя для сушки дисперсных материалов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания. 2014. №2. С. 52-59.

4 Тимонин А.С., Нгуен Т.З., Муштаев В.И., Пахомов А.А. Спирально-вихревые аппараты – эффективное оборудование для термообработки дисперсных материалов // Химическое и нефтяное машиностроение. 1997. № 2 С. 11–13.

5 Антипов С.Т., Казарцев Д.А., Журавлев А.В., Рязских Э.В. Алгоритм управления процессом сушки дисперсных материалов в шахтной СВЧ-сушилке // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 5. С. 76-77.

REFERENCES

1 Stranadko G.G., Shevtsov A.A., Lytkina L.I., Diyatlov V.A. Teoreticheskie osnovy teplotekhnologicheskikh protsessov zernopererabatyvayushchikh proizvodstv [Theoretical foundations of thermal processes grain processing pro-production]. Voronezh: VSTA, 2005. 256 p. (In Russ.).

2 Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Kryachko A.V. Process control algorithm drying heat-sensitive materials in a two-stage heat pump dryer. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyriya*. [Storage and processing of agricultural raw materials], 2006, no. 10, pp. 79-81. (In Russ.).

3 Antipov S.T., Zhuravlev A.V., Kazartsev D.A., Borodkina A.V. et al. Combined devices with twisted coolant flow for drying particulate materials. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaiya*. [Technologies for the food processing industry AIC - healthy food], 2014, no. 2, pp. 52-59. (In Russ.).

4 Timonin A.S., Nguyen T.Z., Mushtaev V.I., Pakhomov A.A. Spiral-vortex devices - efficient equipment for heat treatment of particulate materials. *Khimicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*. [Chemical and petroleum engineering], 1997, no. 2, pp. 11-13. (In Russ.).

5 Antipov S.T., Kazartsev D.A., Zhuravlev A.V., Ryazhskikh E.V. Process control algorithm drying particulate materials in the shaft of the microwave oven. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. [Storage and processing of agricultural raw materials], 2008, no. 5, pp. 76-77. (In Russ.).