Безбабченко Александр Владиславович – руководитель структурного подразделения, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур», Россия, г. Тверь, e-mail: fnc_lk44@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Koroleva Evgenia – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Bast Crops”, Russia, Tver, e-mail: e.koroleva@fnccl.ru.

Novikov Eduard – candidate of technical sciences, associate professor, head of the bast processing laboratory of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Bast Crops”, Russia, Tver, e-mail: edik1@kmt.ru.

Khaitov Nurullo – graduate student of Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Kostroma State University”, Russia, Kostroma, e-mail: khaitov_7375@mail.ru.

Bezbabchenko Alexander – head of the structural unit, senior researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Bast Crops”, Russia, Tver, e-mail: fnc_lk44@mail.ru.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ
в рамках государственного задания 0477-2019-0005*

Поступила в редакцию (Received): 24.03.2020 Принята к публикации (Accepted): 10.06.2020

УДК 66.047.38

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-25-31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СУШКИ ПЛОДОВ БОЯРЫШНИКА В БАРАБАННОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

^{1,2,3}Завражнов Анатолий Иванович

²Щербаков Сергей Юрьевич

²Лазин Павел Сергеевич

¹Ведищев Сергей Михайлович

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

²ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

³ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Эффективным технологическим процессом в пищевой промышленности, сохраняющим биохимический состав, питательные свойства сырья является сушка пищевого продукта. Разработан и представлен, общий вид барабанной сушилки, которая позволяет существенно увеличить производительность и повысить качество процесса сушки. Процесс сушки осуществляется с помощью нагретого воздуха при подаче с двух сторон, при температуре 55 – 60 °С. Использовали многофакторный эксперимент. В план исследований включили следующие факторы: скорость подачи воздуха, коэффициент заполнения барабана, частоту вращения мешалки. Было получено уравнение регрессии, проверку которого и построение поверхности отклика осуществили с помощью программы Statistica 100 на ПК. Экспериментально исследовали показатели энергоемкости процесса сушки. Базовым для изучения энергоэффективности сушки плодов боярышника был выбран показатель удельного расхода электроэнергии, который достаточно легко регулируется и имеет четкую область определения. Установлено изменение удельного расхода электроэнергии в диапазоне 1,75 – 1,92 кВт·ч/кг при изменении частоты вращения мешалки в диапазоне 10 – 30 об/мин, а скорости подачи воздуха в диапазоне 1 – 3 м/с при температуре воздуха 60 °С. Определены рекомендуемые значения следующих параметров, обеспечивающих наиболее энергосберегающий режим при сохранении высокого качества готового продукта: - скорость подачи воздуха – 2,5 м/с; коэффициент заполнения барабана – 0,25; частота вращения мешалки – 20 об/мин. Данным значениям параметров соответствует удельный расход электроэнергии равный 1,83 кВт·ч/кг испаренной влаги.

Ключевые слова: барабанная сушилка; перемешивание; сушка; плоды; энергоемкость; лопастная мешалка.

**DETERMINATION OF ENERGY INTENSITY OF HAWTHORN FRUIT
DRYING IN DRUM DRYING PLANT**^{1,2,3}Zavrazhnov Anatoly²Scherbakov Sergey²Lazin Pavel¹Vedishchev Sergei¹FSBEI HE "Tambov state technical university"²FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"³FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. An effective technological process in the food industry that preserves the biochemical composition and nutritional properties of raw materials is the drying of a food product. A general view of the drum dryer, which allows to significantly increase productivity and improve the quality of the drying process, is developed and is presented. The drying process is carried out using heated air when supplied from two sides, at a temperature of 55 – 60 °C. A multivariate experiment was used. The following factors were included in the research plan: air flow rate, drum fill factor, stirrer speed. The regression equation, the verification of which and the construction of the response surface was carried out using the Statistica 100 program on a PC, was obtained. The energy intensity of the drying process was experimentally investigated. The basis for studying the energy efficiency of drying the fruits of hawthorn was selected indicator of specific energy consumption, which is quite easily regulated and has a clear definition area. The change in specific electric energy consumption was set in the range of 1.75 – 1.92 kW · h / kg with a change in the frequency of rotation of the mixer in the range of 10-30 rpm, and the air supply speed in the range of 1 – 3 m / s at an air temperature of 60 °C. Recommended values of the following parameters providing the most energy-saving mode while maintaining the high quality of the finished product: - air flow rate – 2.5 m / s; drum fill factor – 0.25; the stirrer rotation speed – 20 rpm; these values of the parameters correspond to a specific power consumption of 1.83 kW · h / kg of evaporated moisture were determined.

Keywords: drum dryer; hashing; drying; fruits; power consumption; bladed mixer.

Введение. Потребности населения в широком ассортименте высококачественной продукции, сохраняющей высокие биологические свойства на протяжении всего года при их ярко выраженной сезонности достаточно сложно удовлетворить. Площади выращивания плодово-ягодного сырья постоянно увеличиваются, объемы производства значительны, необходимость качественной переработки велика.

Длительное хранение плодов и ягод в натуральном виде в обычных условиях невозможно, так как в процессе хранения в плодах и ягодах происходит развитие различных плесневых грибов и патогенной микрофлоры, что приводит к порче продукта [1].

В настоящее время существуют различные способы переработки растительного сырья, такие как, сушка, замораживание, экстрагирование и т.д. Сушка, как один из традиционных эффективных технологических процессов, сохраняющих биохимический состав и полезные свойства пищевых продуктов, в значительной мере определяет не только качество получаемого продукта, но и показатели технико-экономической эффективности всего производства.

Результаты и их обсуждение. Широко используют в сельскохозяйственном производстве машины барабанного типа [2 – 4]. Для сушки продуктов растительного происхождения была разработана барабанная сушилка [5], периодического действия (рисунок 1).

Научная новизна заключается в разработке конструктивно – технологической схемы барабанной сушилки, имеющей лопастное перемешивающее устройство, обеспечивающее сушку растительного сырья, преимущественно плодов боярышника, шиповника, рябины.

Принцип действия установки заключается в следующем. Через люк 5 исходный влажный продукт подается в перфорированный барабан 1. Вращение барабана осуществляется по часовой стрелке. Внутри барабана лопастная мешалка, вращающаяся против часовой стрелки, перемешивает продукт, который равномерно распределяется по барабану, при этом предотвращается слипание продукта и обеспечивается хороший контакт его с сушильным агентом [1, 6]. Нагретый воздух, поступающий с двух сторон, обеспечивает процесс сушки при температуре 55 – 60 °C.

1 – барабан цилиндрический, сварной; 2 – привод барабана; 3 – привод мешалки; 4 – пульт;
5 – люк загрузочный; 6 – люк выгрузной; 7 – патрубки; 8 – камера нагревательная; 9 – вентилятор;
10 – электросчетчик; 11 – винты регулировочные

Рисунок 1 – Сушилка барабанная (вид общий)

Процесс предлагаемой сушки можно полностью механизировать и автоматизировать. Сушилка надежна в работе и проста в эксплуатации, отличается высокой интенсивностью обезвоживания продуктов, имеющих большие размеры и объемы. Имеется возможность точной регулировки рабочего процесса.

Из недостатков можно отметить высокую металлоемкость, накопление нагара на стенках барабана, малый коэффициент использования рабочего объема барабана.

Изучали зависимость показателей энергоемкости процесса сушки от различных факторов. Базовым для изучения энергоэффективности сушки плодов боярышника (начальное влагосодержание продукта 74,9 %) был выбран показатель удельного расхода электроэнергии (кВт·ч/кг), учитывающий затраты энергии и количество испаренной влаги по формуле:

$$Q_{уд} = \frac{N}{W_{вл}}, \quad (1)$$

где N - количество потребляемой электроэнергии, кВт·ч; $W_{вл}$ - количество испаренной влаги, кг.

Изучив теоретические вопросы, касающиеся сушки, проведя определенную экспериментальную работу, были установлены факторы, определяющие удельный расход электроэнергии: температура, влагосодержание и скорость подачи сушильного агента, частота вращения барабана и перемешивающего устройства, коэффициент заполнения барабана, продолжительность сушки, мощность электрических нагревательных элементов, конструктивное исполнение рабочих органов.

По предварительным экспериментам [1, 6] наиболее ощутимым влиянием на качество и скорость процесса сушки, обладают скорость подачи воздуха и коэффициент заполнения барабана. Улучшению качества продукта и увеличению скорости сушки плодов боярышника способствует использование перемешивающего устройства. По результатам предварительных экспериментов выбрали следующие значимые факторы:

n - частота вращения мешалки, мин⁻¹.

V - скорость подачи воздуха, м/с;

k - коэффициент заполнения барабана;

Эти факторы можно варьировать при одновременном контроле в процессе обезвоживания продукта, с возможностью учета изменения количественных параметров внутри барабан [7].

Для определения уровней варьирования факторов (таблица 1) по критерию удельного расхода электроэнергии для плодов боярышника были проведены предварительные исследования [1, 6].

Таблица 1– Интервалы варьирования значимых факторов

Значимые факторы:	Натуральные значения факторов		
	n , мин ⁻¹	V , м/с	k
Основной уровень	20	2	0,3
Интервал варьирования	10	0,5	0,05
Верхний уровень (+1)	30	2,5	0,35
Нижний уровень (-1)	10	1,5	0,25

При получении точных результатов исследования надежность эксперимента составила $H = 0,95$ с предельной ошибкой $\Delta = \pm 3\sigma$ (наибольшей возможной статистической), тогда повторность выполняемых замеров $k=3$.

Для ускоренного получения экспериментальных данных проводили только по два параллельных опыта ($n=2$).

Используя данные таблицы 1, раскодировав переменные, получили уравнение регрессии как функцию выбранных значимых факторов:

$$Y = 163,61 - 4,3578k - 1,728V - 1,243n + 0,641kn + 0,344kV + 0,232k^2. \quad (2)$$

Для проверки уравнения регрессии и построения графической интерпретации поверхности отклика использовали программу Statistica 10.0. Графические интерпретации поверхности отклика показаны на рисунках 2-4.

Анализируя поверхность отклика (рисунок 2) можно увидеть, что с увеличением частоты вращения мешалки и скорости подачи воздуха возрастает удельный расход электроэнергии, для обеспечения 1,75 - 1,86 кВт·ч/кг испаренной влаги. Коэффициент заполнения барабана, при этом, равен $\eta_v = 0,25$.

Рисунок 2 – Влияние частоты вращения мешалки, скорости подачи воздуха, коэффициента заполнения барабана ($\eta_v = 0,25$) при сушке плодов боярышника на удельный расход электроэнергии кВт·ч/кг испаренной влаги

Анализ поверхности отклика (рисунок 3) показал, что с увеличением скорости подачи воздуха в диапазоне 1 - 3 м/с, возрастает удельный расход электроэнергии в диапазоне от 1,76 до 1,92 кВт·ч/кг испаренной влаги. Отмечено при этом, что влияние η_v - коэффициента заполнения

барабана на эту характеристику практически отсутствует. Частота вращения перемешивающего устройства в этом случае фиксирована и составляет 20 мин^{-1} .

Рисунок 3 – Влияние коэффициента заполнения барабана, скорости подачи воздуха, частоты вращения мешалки (20 мин^{-1}) при сушке плодов боярышника на удельный расход электроэнергии кВт·ч/кг испаренной влаги

Анализ поверхности отклика, представленной на рисунке 4, показал, что для частоты вращения мешалки $18 - 22 \text{ мин}^{-1}$ и коэффициента заполнения барабана $\eta_v = 0,24 - 0,26$, удельный расход электроэнергии лежит в диапазоне $1,77 - 1,79 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$ испаренной влаги. Подача воздуха фиксируется при скорости $2,5 \text{ м/с}$.

Рисунок 4 – Влияние частоты вращения мешалки, коэффициента заполнения барабана, скорости подачи воздуха ($2,5 \text{ м/с}$) при сушке плодов боярышника на удельный расход электроэнергии

Заключение. Результаты экспериментальных исследований позволили определить диапазоны параметров энергоемкости при сушке плодов боярышника в барабанной сушильной установке: частота вращения мешалки $10 - 30 \text{ мин}^{-1}$, скорость подачи воздуха $1 - 3 \text{ м/с}$, температура воздуха 60°C , удельный расход электроэнергии $1,75 - 1,92 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$.

Установлены рекомендуемые значения следующих параметров, обеспечивающих наиболее энергосберегающий режим при сохранении высокого качества готового продукта: для скорости подачи воздуха – $2,5 \text{ м/с}$; для коэффициента заполнения барабана – $0,25$; для частоты вращения мешалки – 20 мин^{-1} , для температуры сушки – 60°C с начальным влагосодержанием продукта $74,9\%$ и конечным 14% . При этом удельный расход электроэнергии составит $1,83 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$ испаренной влаги.

Список литературы

1. Лазин П.С. Совершенствование технологии сушки плодов боярышника в барабанной сушилке с лопастным перемешивающим устройством: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ Лазин Павел Сергеевич. – Мичуринск, 2019. – 24 с.
2. Валуцкий В.Я. Продвижение сыпучих продуктов через наклонный барабан / В.Я. Валуцкий // Известия вузов. Пищевая технология, 1965. – № 1. – С. 139 - 143.
3. Антипов С.Т. Тепло- и массообмен при сушке в аппаратах с вращающимся барабаном / С.Т. Антипов, В.Я. Валуцкий, В.Н. Меснянкин. – Воронеж, 2001. – 308 с.
4. Меснянкин В.Н. Совершенствование аппаратов с вращающимся барабаном для сушки сыпучих пищевых продуктов: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.18.12 / Меснянкин Виктор Николаевич. – Воронеж, 2002. – 23 с.
5. Пат. 170138 Российская Федерация, МПК F26B 11/04. Барабанная сушилка / А.И. Завражнов, С.Ю. Щербаков, П.С. Лазин, З.А. Щербакова; патентообладатель: ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет. – № 2016133239, заявл. 11.08.2016; опубл. 14.04.2017. Бюл.№ 11.
6. Shcherbakov S.Y., Krivolapov I.P., Lazin P.S. Drying Hawthorn Berries in Drum Dryer Using Blade Agitator // Amazonia Investiga. 2019. 8 (21), P. 588-595. Retrieved from <https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/139>
7. Лыков А. В. Теория сушки /А.В.Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

References

1. Lazin P.S. Sovershenstvovanie tekhnologii sushki plodov boyaryshnika v barabannoj sushilke s lopastnym peremeshivayushchim ustroystvom: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01/ Lazin Pavel Sergeevich. – Michurinsk, 2019. – 24 s.
2. Valuisky V.Ya. Promotion of bulk products through an inclined drum/V.Ya. Valuisky//News of universities. Food technology, 1965. - No. 1. - S. 139 - 143.
3. Antipov S.T. Heat and mass exchange during drying in apparatuses with a rotating drum / S.T. Antipov, V.Ya. Valuisky, V.N. Mesnyankin. - Voronezh, 2001. - 308 s.
4. Mesnyankin V.N. Improvement of devices with a rotating drum for drying bulk food products: autoref. yew.... edging. техн. Sciences 05.18.12/Mesnyankin Victor Nikolaevich. - Voronezh, 2002. - 23 p.
5. Pat. 170138 Rossijskaya Federaciya, MPK F26B 11/04. Barabannaya sushilka / A.I. Zavrazhnov, S.YU. SHCHerbakov, P.S. Lazin, Z.A. SHCHerbakova; patentoobladatel': FGBOU VO Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. – № 2016133239, zayavl. 11.08.2016; opubl.14.04.2017. Byul.№ 11.
6. Shcherbakov S.Y., Krivolapov I.P., Lazin P.S. Drying Hawthorn Berries in Drum Dryer Using Blade Agitator // Amazonia Investiga. 2019. 8(21), P. 588-595. Retrieved from <https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/139>
7. Lykov A.V. Drying Theory/A.V. Lykov. - M.: Energy, 1968. - 472 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Завражнов Анатолий Иванович – академик РАН, доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru.

Щербаков Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: scherbakov78@yandex.ru.

Лазин Павел Сергеевич – кандидат технических наук Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: lazinpavel@mail.ru.

Ведищев Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент доктор технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: serg666_65@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Zavrazhnov Anatoly – Academician of the Russian Academy of Sciences, Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru.

Scherbakov Sergey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsk state agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: scherbakov78@yandex.ru.

Lazin Pavel – Candidate of Technical Sciences of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsk state agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: lazinpavel@mail.ru.

Vedischev Sergey – Full Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: serg666_65@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 23.03.2020 Принята к публикации (Accepted): 10.06.2020

УДК 631.34

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-31-40

БЕСПИЛОТНЫЕ МАШИНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

¹Балабанов Виктор Иванович

²Елесеев Владимир Викторович

¹Солдатов Павел Дмитриевич

¹Бабанский Иван Владимирович

¹Романенкова Мария Сергеевна

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

²ООО «РОБОПРОБ»

Реферат: Дан обзор применения беспилотных машин в сельском хозяйстве в целях проведения мониторинга состояния почвы и посевов, дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений. Определены качественные показатели различных типов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и почвенных пробоотборников, обсуждаются их достоинства и недостатки. Выбор типа применяемой беспилотной техники и её техническое оснащение напрямую зависят от решаемых задач и рентабельности его применения. Показано, что мультиспектральная съемка с помощью БПЛА с координатной привязкой до нескольких сантиметров, позволяет получить множество вегетационных индексов - NDVI, PVI, WDI в реальном масштабе времени. Анализ информации о состоянии посевов и электронных карт полей позволяет сельхозпроизводителю принимать решение о необходимости проведения агротехнологических работ, месте и объеме их проведения. В соответствии с принятым решением, программным методом формируется алгоритм проведения работ преобразуемый в программу, именуемую «файлом предписаний». Приведены показатели экономической эффективности для данных беспилотных систем, что подчеркивает их рентабельность. Использование автоматических пробоотборников позволит достичь повышения качества