

Исследование влияния основных факторов на производительность распылительной сушки экстракта солодкового корня

Екатерина В. Соколова¹ k_sokolova93@mail.ru  0000-0003-2663-1786

¹ Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия

Аннотация. Распылительная сушка жидких материалов растительной природы, в том числе экстрактов, позволяет получать тонкодисперсные порошки качественной конечной продукции, исключая при этом перегрев высушиваемого материала при высокой интенсивности протекания тепломассообменных процессов. Солодка на сегодняшний день имеет широкую сферу использования в производстве различных продуктов пищевой промышленности. Для внедрения в производственную практику распылительной сушки экстракта солодкового корня требуется выполнение комплексных экспериментально – аналитических исследований по статике, кинетике и моделированию процесса распылительной сушки. Цель исследования состоит в изучении влияния основных факторов: начальной влажности и температуры сушильного агента на производительность распылительной сушки экстракта солодкового корня. Экспериментальные исследования выполнялись по многофакторному полному плану, а для обработки результатов был использован статистический метод. Для совершенствования процесса распылительной сушки удельная производительность рабочего объема сушильной камеры по экстракту солодкового корня (исходному экстракту) была принята как целевая функция, поскольку она соответствует массе исходного экстракта, сушку которого проводили до принятой конечной влажности, в единице рабочего объема сушильной камеры в единицу времени. При организации непрерывного процесса распылительной сушки на установке УС-015 была определена эмпирическая зависимость для вычисления объема сушильной камеры, задействованного в момент проведения процесса сушки, при различных комбинациях факторов, имеющих влияние на процесс. Результаты позволили определить экспериментальное время сушки до влажности $W_k=0,05\text{кг/кг}$ и численные значения рассчитанных параметров процесса распылительной сушки экстракта солодкового корня. Анализ полученных результатов вычислений и их графической интерпретации показывает, что повышение значений температуры сушильного агента обуславливает рост значений целевой функции по причине интенсификации процессов влагоудаления из диспергированных капель экстрактного раствора солодкового корня.

Ключевые слова: экстракт солодкового корня, растительное сырье, распылительная сушка, производительность распылительной сушки, интенсификация сушки.

Study on the influence of main factors on the performance of spray drying of licorice root extract

Ekaterina V. Sokolova¹ k_sokolova93@mail.ru  0000-0003-2663-1786

¹ Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, building 16/1, Astrakhan, 414056, Russia

Abstract. Spray drying of liquid plant materials, including extracts, allows obtaining fine powders of high-quality final products, while eliminating overheating of the dried material at high intensity of heat and mass transfer processes. Today, licorice has a wide range of applications in the production of various food products. To implement spray drying of licorice root extract in production practice, it is necessary to perform complex experimental and analytical studies on statics, kinetics and modeling of the spray drying process. The purpose of the study is to study the influence of the main factors: initial humidity and temperature of the drying agent on the productivity of spray drying of licorice root extract. Experimental studies were carried out according to a multifactorial complete plan, and a statistical method was used to process the results. To improve the spray drying process, the specific productivity of the working volume of the drying chamber for the licorice root extract (initial extract) was adopted as the target function, since it corresponds to the mass of the initial extract, which was dried to the adopted final moisture content, in a unit of the working volume of the drying chamber per unit of time. When organizing a continuous spray drying process on the УС-015 unit, an empirical dependence was determined for calculating the volume of the drying chamber involved at the time of the drying process, with various combinations of factors affecting the process. The results made it possible to determine the experimental drying time to a moisture content of $W_k=0.05\text{ kg/kg}$ and the numerical values of the calculated parameters of the spray drying process of the licorice root extract. Analysis of the obtained calculation results and their graphical interpretation shows that an increase in the temperature of the drying agent causes an increase in the values of the target function due to the intensification of the processes of moisture removal from the dispersed droplets of the licorice root extract solution.

Keywords: licorice root extract, plant material, spray drying, spray drying performance, drying intensification.

Введение

Распылительная сушка жидких материалов растительной природы, в том числе экстрактов, позволяет получать тонкодисперсные порошки качественной конечной продукции, исключая при этом перегрев высушиваемого материала при высокой интенсивности протекания тепломассообменных процессов, что подтверждается многочисленными современными иссле-

дованиями [1–3] и отмечается в классических работах по теории сушки И.А. Рогова, А.В. Лыкова, А.С. Гинзбурга, Г.К. Филоненко.

Солодка является одним из самых коммерчески ценных растений в мире и имеет широкую сферу использования в производстве различных продуктов пищевой промышленности [4].

Для организации процессов жидких материалов растительной природы, в том числе экстракта солодкового корня, используются

Для цитирования

Соколова Е.В. Исследование влияния основных факторов на производительность распылительной сушки экстракта солодкового корня // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 47–53. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-47-53

For citation

Sokolova E.V. Study on the influence of main factors on the performance of spray drying of licorice root extract. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 47–53. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-47-53

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

различные виды сушки. В частности, в технологии получения сухого порошка экстракта солодкового корня известно применение микроволновой [5, 6], вакуумной [5], ультразвуковой [6], сублимационной сушки [7].

Известен способ получения порошка корня солодки [5], полученного методом электромагнитного пиролиза с использованием микроволновой и вакуумной сушки. Метод включает в себя несколько технологических этапов. Первый этап включает в себя нарезку, предварительную обработку корня, помещение в высокочастотное переменное электромагнитное поле для электромагнитной крекин-обработки с целью достижения молекулярного нагрева до 100–110 °С и крекинг корня солодки и в завершении сушка материала до содержания влаги менее 10%. На втором этапе происходит подготовка к экстракции, а именно измельчение материала до размера частиц 0.177–0.178 мм, добавление 15–30% по весу этанола и перемешивание на протяжении 1–3 часов. На третьем этапе предлагаемого способа полученную смесь подвергают ультразвуковой экстракции, далее полученный материал подвергается разделению на пульпу, а полученную пульпу концентрируют, сушат и измельчают для получения электромагнитного крекирующего порошка солодки. В данном методе сушка на первом технологическом этапе может осуществляться различными способами, но предпочтение отдается микроволновой сушке. На третьем же технологическом этапе сушка выполняется с использованием вакуумного сушильного бака для сушки материала до содержания влаги 10% или менее. Преимуществом данного способа является экономия времени, снижение количества используемого растворителя и потребления энергии, а также значительное снижение себестоимости продукции. Однако вышеописанный метод является довольно сложным, поскольку экстракция проводится специфическим методом, который состоит из электромагнитного крекинга в сочетании с ультразвуковой экстракцией и дополняется.

В способе низкотемпературной ультразвуковой экстракции полисахарида солодки [6] главной задачей было интенсифицировать процесс экстракции полисахарида солодки и повысить чистоту экстракции. В данном изобретении под низкотемпературной экстракцией понимается экстракция при температуре 50–70 °С с применением ультразвука для повышения эффективности процесса получения экстракта, также с помощью ультразвука происходит сушка при низком давлении и температуре 40–60 °С в ультразвуковой машине.

Сушка с помощью микроволнового излучения также является преимуществом, поскольку данная технология позволяет интенсифицировать процесс влагоудаления, что позволяет повысить эффективность при получении полисахарида солодки.

С целью получения функциональных компонентов из солодки предложен комбинированный метод экстракции, в котором одной из технологических операций является вакуумная сублимационная сушка [7]. Метод включает последовательное замачивание корня солодки в виде порошка с размером частиц 0,5–3,0 мм. в воде от 30 минут до 2 часов и настаивание в воде при температуре 95–100 °С на протяжении 1–2 часов для получения водного экстракта, количество замачиваний в воде составляет 2–3 раза; проведение спиртового осаждения водной вытяжки на протяжении 10–12 часов с получением спиртовой осадочной жидкости и спиртового осадительного продукта. Последующая обработка включает первую последующую обработку с помощью сушки или вторую последующую обработку с последовательным восстановлением и вакуумной сублимационной сушкой. Преимущество данного метода в синхронном и эффективном извлечении глицирризиновой кислоты высокой чистоты и глицирризинового полисахарида. Массовая доля глицирризиновой кислоты в экстракте солодки, полученном по предложенному способу, составляет 7,3–7,9%.

Однако вышеописанный метод имеет ряд недостатков, среди которых продолжительность проведения процесса экстракции.

Одним из наиболее распространенных способов сушки растительных экстрактов является распылительная сушка. Используемая ранее в молочной промышленности, в данный момент распылительная сушка получила широкое распространение во всей пищевой промышленности. Например, с помощью распылительной сушки сушат мёд [8, 9], эмульсии рыбьего жира в воде [10], рыбные бульоны [11], производят мясные порошки [12, 13], растительные экстракты [1–3, 14, 15].

Для внедрения в производственную практику распылительной сушки экстракта солодкового корня требуется выполнение комплексных экспериментально – аналитических исследований по статике, кинетике и моделированию процесса распылительной сушки.

Цель работы – исследование влияния начальной влажности и температуры сушильного агента, которые являются основными факторами,

на производительность распылительной сушики экстракта солодкового корня.

Объекты и методы исследования

При исследовании процесса сушки использовались экстракт солодкового корня (*Glycyrrhiza glabra*), выращенного в Красноярском районе Астраханской области. Экстракт солодкового корня получен в научно-исследовательской лаборатории «Пищевые системы и биотехнологии» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».

Объект сушки – экстракт солодкового корня с начальной влажностью $W_H = 0,85\text{--}0,95$ кг/кг, которая достигается в результате вакуум-выпаривания. Диапазон варьирования исходной влажности обоснован в результате выполнения предварительных постановочных экспериментов по распылительной сушке и выбран из условия качественного распыления экстракта в объем рабочей камеры сушилки.

Влажность высушенного экстракта (порошок) $W_K \leq 0,045\text{--}0,05$ кг/кг обоснована при исследовании гигроскопических характеристик.

Изучение кинетики процесса сушки экстракта солодкового корня выполнено с использованием распылительной сушилки модели УС-15.

Результаты и обсуждение

При выполнении постановочных предварительных исследований по сушке экстракта солодкового корня установлены основные факторы (начальная влажность $W_H = 0,85\text{--}0,95$ кг/кг и температура сушильного агента $T_{c.a.} = 403\text{--}423$ К), которые могут оказывать воздействие на то, насколько эффективно протекает процесс, а также характер протекания данного процесса.

На основе исследований и полученных выводов, описанных в работе [16], ряд факторов было принято считать постоянными.

В ходе проведенных исследований конвективная распылительная сушка экстракта солодкового корня выполнялась при заданных параметрах режима:

- Средний диаметр распыленных частиц продукта 5–15 мкм;

- Начальная влажность экстракта солодкового корня: $W_H = 0,85\text{--}0,95$ кг/кг (уровни варьирования: 0,85 кг/кг, 0,9 кг/кг, 0,95 кг/кг) и исходная температура $T_{про} = 313\text{--}323$ К;

- Конечная влажность сухого экстракта солодкового корня (порошок) $W_K \leq 0,045\text{--}0,05$ кг/кг, температура 323 ± 5 К, средний диаметр частиц 1–5 мкм;

- Характеристики конвективного энергоподвода: температура нагретого воздуха $T_{c.a.} = 403\text{--}423$ К (исходный сушильный агент) при удельном расходе воздуха $Q_{c.a.} \geq 100$ кг/кг на 1 кг испаренной влаги (уровни варьирования: 403 К, 413 К, 423 К), температура воздуха на выходе сушилки 343 ± 5 К. (отработавший сушильный агент).

Экспериментальные исследования выполнялись по многофакторному полному плану, а для обработки результатов использован статистический метод.

Получение экспериментальных кривых сушки экстракта солодкового корня $W(\tau)$ (в качестве примеров, представлены на рисунках 1–3), где τ – время процесса, проводилось по лабораторной методике А.С. Гинзбурга путем измерения массы проб, отобранных из зоны сушки на определенных участках, до и после их высушивания и расчета текущей влажности проб. Участки отбора проб соответствуют определенному времени пребывания высушиваемых частиц экстракта в сушильной камере и воздухопроводов.

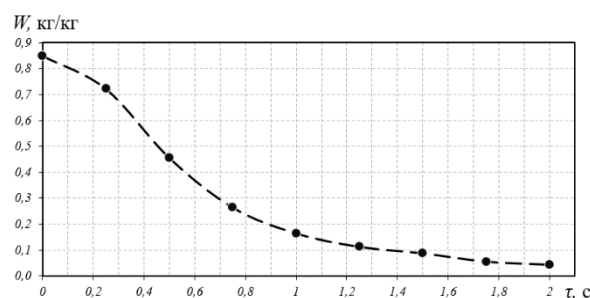


Рисунок 1. Кривая сушки экстракта солодкового корня $W_H = 0,85$ кг/кг, $T_{c.a.} = 403$ К

Figure 1. Drying curve of licorice root extract $W_H = 0.85$ kg/kg, $T_{c.a.} = 403$ K

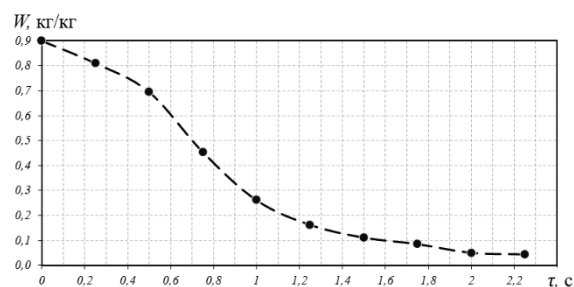


Рисунок 2. Кривая сушки экстракта солодкового корня $W_H = 0,9$ кг/кг, $T_{c.a.} = 413$ К

Figure 2. Drying curve of licorice root extract $W_H = 0.9$ kg/kg, $T_{c.a.} = 413$ K

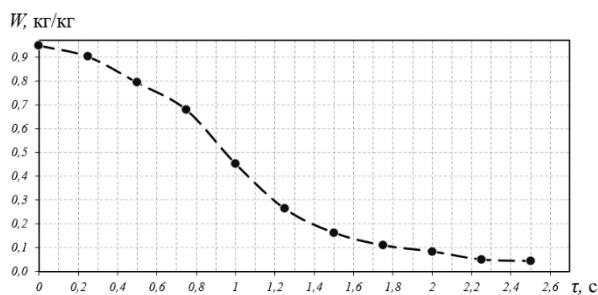


Рисунок 3. Кривая сушки экстракта солодкового корня $W_n = 0,95$ кг/кг, $T_{c.a.} = 423$ К

Figure 3. Drying curve of licorice root extract $W_n = 0.95$ kg/kg, $T_{c.a.} = 423$ K

На кривых сушки экстракта солодкового корня (рисунки 1–3) четко наблюдаются два характерных участка. На начальной стадии сушки до точки перегиба при влажности экстракта 0,2–0,3 кг/кг, отмечается интенсивное влагоудаление при всех исследуемых режимах и повышении скорости до максимума, причем для данного периода характерно удаление преимущественно свободной влаги при отсутствии значительного нагрева материала. На второй стадии, которая именуется периодом падающей скорости сушки, обезвоживание рабочего материала осуществляется за счет удаления связанной влаги, в большей части, полимолекулярной адсорбционно-связанной влаги.

На основе проведенного поисково-аналитического исследования и дальнейшего анализа главных постулатов ряда научно-исследовательских работ [9, 11, 17] для улучшения процесса распылительной сушки удельная производительность рабочего объема сушильной камеры по экстракту солодкового корня (исходному экстракту) P , кг/(м³·ч) была принята как целевая функция, поскольку она соответствует массе исходного экстракта, сушку которого проводили до принятой конечной влажности, в единице рабочего объема сушильной камеры в единицу времени:

$$P = \frac{Q}{V}, \quad (1)$$

где Q – массовый расход исходного экстракта, кг/ч; V – задействованный рабочий объем камеры для достижения конечной влажности экстракта, м³.

Затрачиваемое на сушку материала время должно количественно соответствовать тому времени, которое распыленные частицы материала находятся в рабочем объеме сушильной камеры.

Время, на протяжении которого распыленные частицы экстракта солодкового корня находятся в рабочем объеме сушильной камеры, зависит от ряда факторов: скорости, температуры, влагосодержания и других параметров потока сушильного агента; параметров распыления экстракта; переменной в процессе обезвоживания скорости витания частиц экстракта; условий активного аэродинамического взаимодействия продукта и сушильного агента и других факторов.

При организации непрерывного процесса распылительной сушки на установке УС-015 была определена эмпирическая зависимость для вычисления объема сушильной камеры, задействованного в момент проведения процесса сушки, V , м³ при различных комбинациях факторов, имеющих влияние на процесс:

$$V = 0,0204 \cdot \tau_c, \quad (2)$$

Для того чтобы сделать выводы о том, насколько различные режимы сушки экстракта солодкового корня эффективны и рациональны необходимо брать в расчет зависимость удельной производительности по высушенному продукту (порошок) Π , кг / (м³·ч) и удельной влагонапряженности рабочего объема сушильной камеры B , кг / (м³·ч):

$$\Pi = \frac{Q_{wk}}{V}, \quad (3)$$

где Q_{wk} – производительность по высушенному продукту, кг/ч.

Учитывая взаимосвязь удельной производительности и влагонапряженности получена следующая зависимость:

$$B = P - \Pi = \frac{\Pi \cdot (W_n - W_k)}{(1 - W_n)}, \quad (4)$$

Результаты исследований позволили определить экспериментальное время сушки τ_c с помощью кривых сушки до влажности $W_k = 0,05$ кг/кг и численные значения рассчитанных параметров процесса распылительной сушки экстракта солодкового корня, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры процесса распылительной сушки экстракта солодкового корня

Table 1.

Parameters of Spray Drying Process of Licorice Root Extract

№ эксп. Experiment number	$T_{c.a.}, K$ $T_{c.a.}, K$	$W_n, \text{kg/kg}$ $W_n, \text{kg/kg}$	τ_c, c τ_c, s	V, m^3 V, m^3	$\Pi, \text{кг} / (\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ $P, \text{kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$	$B, \text{кг} / (\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ $V, \text{kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$	$P, \text{кг} / (\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ $WV, \text{kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{h})$
1	403	0,85	1,9	0,0388	2,037	10,863	12,900
2	413	0,85	1,7	0,0347	2,276	12,141	14,418
3	423	0,85	1,7	0,0347	2,276	12,141	14,418
4	403	0,9	2,1	0,0428	1,229	10,443	11,671
5	413	0,9	2	0,0408	1,290	10,965	12,255
6	423	0,9	1,9	0,0388	1,358	11,542	12,900
7	403	0,95	2,5	0,0510	0,516	9,288	9,804
8	413	0,95	2,4	0,0490	0,537	9,675	10,212
9	423	0,95	2,2	0,0449	0,586	10,554	11,141

Применяя математический метод точного попадания в узловые точки и после математических преобразований установлены функциональные зависимости целевой функции, влагонапряженности

$$\begin{aligned} \Pi(W_n, T_{c.a.}) = & (-0,22519538 \cdot W_n^2 + 0,418701183 \cdot W_n - 0,1943904763) \cdot T_{c.a.}^2 + \\ & + (186,52483138 W_n^2 - 346,856014545 \cdot W_n + 161,0650607369) \cdot T_{c.a.} + \\ & + (-38576,6115540203 \cdot W_n^2 - 71732,4748657355 \cdot W_n - 33308,0379429518) \end{aligned} \quad (5)$$

$$B(W_n, T_{c.a.}) = \frac{(W_n - W_k)}{(1 - W_n)} \cdot \Pi(W_n, T_{c.a.}) \quad (6)$$

$$P(W_n, T_{c.a.}) = \Pi(W_n, T_{c.a.}) + B(W_n, T_{c.a.}) \quad (7)$$

Размерность эмпирических коэффициентов определяется как отношение размерности функции к размерности аргумента (или произведения аргументов).

Аналитическое исследование полученных результатов вычислений и их графическое выражение (рисунки 4–6) позволяет сделать вывод, что повышение значений температуры сушильного агента $T_{c.a.}$ обуславливает рост значений целевой функции P по причине интенсификации

и удельной производительности и с целью анализа построены поля значений данных параметров процесса сушки экстракта солодкового корня (рисунки 4–6).

процессов влагоудаления из диспергированных капель экстрактного раствора солодкового корня. Рост значений целевой функции P при уменьшении начальной влажности экстрактного раствора W_n также очевиден, вследствие уменьшения общего количества удаляемой при сушке влаги. При увеличении P , соответственно, отмечается увеличение значений, ее составляющих – удельной производительности по высушенному продукту Π и влагонапряженности B .

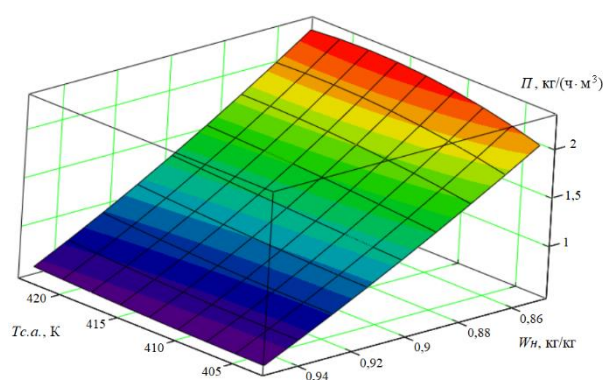


Рисунок 4. Поле значений удельной производительности рабочего объема сушильной камеры по значениям высушенного продукта при сушке экстракта солодкового корня

Figure 4. Field of values of specific productivity of the working volume of the drying chamber according to the values of the dried product when drying licorice root extract

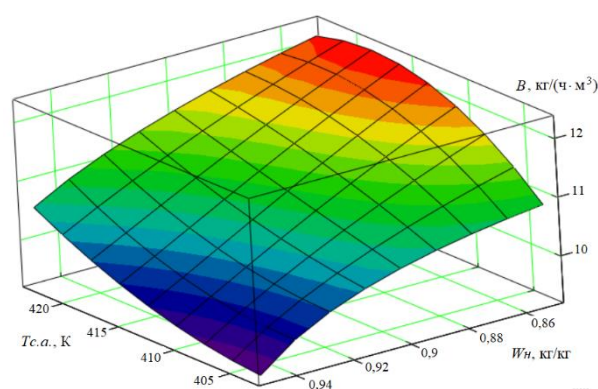


Рисунок 5. Поле значений влагонапряженности рабочего объема сушильной камеры при сушке экстракта солодкового корня

Figure 5. Field of moisture tension values of the working volume of the drying chamber during drying of licorice root extract

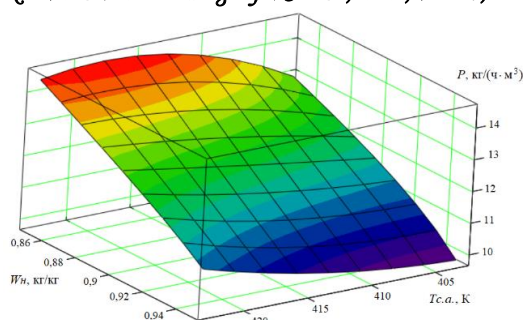


Рисунок 6. Поле значений удельной производительности рабочего объема сушильной камеры по количественным значениям исходного экстракта солодкового корня

Figure 6. Field of values of specific productivity of the working volume of the drying chamber according to quantitative values of the initial licorice root extract

Изменение начальной температуры сушильного агента в диапазоне $T_{c.a.} = 403\text{--}423$ К, который определен в ходе предварительных экспериментов, и регистрации на выходе из сушилки температуры сушильного агента равной 343 ± 5 К, позволяет получать сухую форму экстракта солодкового корня (тонкодисперсный порошок) требуемого качества и без перегрева материала при сушке выше 328 ± 5 К.

С учетом ряда рекомендаций [11, 16, 17], а также, учитывая свойства экстрактного раствора и подходы к организации процесса его вакуум-

выпаривания перед сушкой, принят диапазон варьирования начальной влажности $W_n = 0,85\text{--}0,95$ кг/кг.

В обозначенных диапазонах изменения $T_{c.a.} = 403\text{--}423$ К и $W_n = 0,85\text{--}0,95$ кг/кг при сушке экстрактного раствора солодкового корня достигаются значения производительности, которые соответствуют производительности промышленных распылительных сушильных установок при сушке жидких пищевых систем.

На основе выполненных исследований и используя полученные аппроксимирующие зависимости (5), (6) и (7) был сделан вывод о том, что практическая реализация разработанных режимов для распылительной сушки экстракта солодкового корня даст возможность получения сухого экстракта, характеризующегося значениями параметрами удельной производительности $\Pi = 0,516\text{--}2,306$ кг/(м³·ч); влагонапряженности сушильной камеры $B = 9,804\text{--}12,301$ кг/(м³·ч); удельной производительности по исходному экстракту $P = 9,288\text{--}14,607$ кг/(м³·ч).

Заключение

Установленные аппроксимирующие зависимости рекомендуется применять для расчета производительности промышленных распылительных сушильных установок для различных технологических режимов на производстве сухого экстракта солодкового корня.

Литература

- 1 Аванесов В.М., Плаксин Ю.М., Стрелюхина А.Н., Ларин В.А. Производство дисперсных растительных продуктов методом распылительной сушки // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2016. № 5. С. 9–13.
- 2 Myriam C. Rojas Salas, Héctor J. Ciro Velásquez, Jesús H. Gil Gonzalez. Spray drying of sisal liquids extracts (*Furcraea* spp.): Overall performance of the drying process // *Powder Technology*. 2017. Т. 321. С. 163–172. doi: 10.1016/j.powtec.2017.08.005.
- 3 Магомедов М.Г., Чусова А.Е., Полянский К.К., Пронина О.В., Романова О.Н. Технология и аппаратное оформление распылительной сушки растворов стевии // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81. № 3 (81). С. 81–85. doi: 10.20914/2310-1202-2019-3-81-85.
- 4 Wahab S., Annadurai S., Abullais S.S., Das G., Ahmad W., Ahmad M.F., Kandasamy G., Vasudevan R., Ali M.S., Amir M. *Glycyrrhiza glabra* (Licorice): A Comprehensive Review on Its Phytochemistry, Biological Activities, Clinical Evidence and Toxicology // *Plants*. 2021. Т. 10. С. 2751. doi: 10.3390/plants10122751.
- 5 CN104352551 Licorice root powder obtained through electromagnetic pyrolysis and preparation method and application of licorice root powder : заявл. 11.05.2023 : опубл. 08.08.2023 / Chen Jianle, Wang Qi, Ye Xingqian, Kwak Dong-Ki, Cheng Huan, Chen Shiguo.
- 6 CN111253499 Method for low-temperature ultrasonic extraction of glycyrrhiza polysaccharide : заявл. 06.04.2020 : опубл. 09.06.2020 / Lai Zuogang, Song Fei.
- 7 CN11654257 Combined extraction method for functional factors of liquorice : заявл. 11.05.2023 : опубл. 08.08.2023 / Chen Jianle, Wang Qi, Kwak Dong-Ki, Cheng Huan, Chen Shiguo.
- 8 Jedlińska A., Samborska K., Wiecezorek A., Wiktor A., Ostrowska-Ligęza E., Jamróz W., и др. Применение осушенного воздуха при распылительной сушке рапса и меда падевого — характеристики процесса и свойства порошков // *Journal of Food Engineering*. 2019. Т. 245. С. 80–87. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.10.017.
- 9 Жунева Л.С., Семченко М.В., Асякина Л.К. Анализ процесса получения сухого меда // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2019. № 2. С. 8–23. doi: 10.36107/spfp.2019.69.
- 10 Wang Q., Xie Y., Xiong Z., Gu X., Nie X., Lan Y., Chen B. Structural and physical properties of spray-dried fish oil microcapsules via pea protein isolate based emulsification or complex coacervation with sugar beet pectin // *Journal of Food Engineering*. 2022. Т. 335. С. 111173. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111173.
- 11 Максименко Ю.А., Коннова О.И., Алексанян И.Ю., Мемедейкина Н.П. Перспективные конструкторские решения для сушки жидких пищевых систем // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. 2024. № 1. С. 116–122. doi: 10.24143/2073-5529-2024-1-116-122.
- 12 Long Jade M., Mohan A. Development of meat powder from beef byproduct as value-added food ingredient // *LWT*. 2021. Т. 146. С. 111460. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111460.
- 13 Gagneten M., Corfield R., Gómez Mattson M., Sozzi A., Leiva G., Salvatori D., Schebor C. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content // *Powder Technology*. 2019. Т. 342. С. 1008–1015. doi: 10.1016/j.powtec.2018.09.048.

14 Новикова И.В., Агафонов Г.В., Коротких Е.А., Магомедов М.Г., Голубева Л.В. Математическое моделирование процесса распылительной сушки солодовых экстрактов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 11. С. 44–48.

15 Gagneten M., Corfield R., Gómez Mattson M., Sozzi A., Leiva G., Salvatori D., Schebor C. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content // Powder Technology. 2019. T. 342. С. 1008–1015. doi: 10.1016/j.powtec.2018.09.048.

16 Шевцов А.А., Дерканосова А.А., Коротаева А.А., Муравьев А.С. Моделирование процесса распылительной сушки суспензии протеинового зеленого концентрата (ПЗК) // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 1 (63). С. 51–57.

17 Moradi Maryamnegari S., Ashrafizadeh A., Baake E., Guglielmi M. Effects of thermal boundary conditions on the performance of spray dryers // Journal of Food Engineering. 2023. T. 338. С. 111250. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111250.

References

1 Avanesov V.M., Plaksin Yu.M., Strelyukhina A.N., Larin V.A. Production of dispersed plant products by spray drying. Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. 2016. no. 5. pp. 9–13. (in Russian)

2 Rojas Salas M.C., Ciro Velásquez H.J., Gil Gonzalez J.H. Spray drying of sisal liquids extracts (Furcraea spp.): Overall performance of the drying process. Powder Technology. 2017. vol. 321. pp. 163–172. doi: 10.1016/j.powtec.2017.08.005.

3 Magomedov M.G., Chusova A.E., Polyansky K.K., Pronina O.V., Romanova O.N. Technology and apparatus design of spray drying of stevia solutions. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy. 2019. vol. 81. no. 3(81). pp. 81–85. doi: 10.20914/2310-1202-2019-3-81-85. (in Russian)

4 Wahab S., Annadurai S., Abullais S.S., Das G., Ahmad W., Ahmad M.F. et al. Glycyrrhiza glabra (Licorice): A comprehensive review on its phytochemistry, biological activities, clinical evidence and toxicology. Plants. 2021. vol. 10. 2751. doi: 10.3390/plants10122751.

5 CN104352551. Licorice root powder obtained through electromagnetic pyrolysis and preparation method and application of licorice root powder. Decl. 11.05.2023. Publ. 08.08.2023 / Chen, J., Wang, Q., Ye, X., Kwak, D.K., Cheng, H., Chen, S.

6 CN111253499. Method for low-temperature ultrasonic extraction of glycyrrhiza polysaccharide. Decl. 06.04.2020. Publ. 09.06.2020 / Lai, Z., Song, F.

7 CN116554257. Combined extraction method for functional factors of liquorice. Decl. 11.05.2023. Publ. 08.08.2023 / Chen, J., Wang, Q., Kwak, D.K., Cheng, H., Chen, S.

8 Jedlińska A., Samborska K., Wiczorek A., Wiktor A., Ostrowska-Ligęza E., et al. The application of dehumidified air in rapeseed and honeydew honey spray drying – Process performance and powders properties considerations. Journal of Food Engineering. 2019. vol. 245. pp. 80–87. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.10.017.

9 Zhuneva L.S., Semchenko M.V., Asyakina L.K. Analysis of the process of obtaining dry honey. Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. 2019. no. 2. pp. 8–23. doi: 10.36107/spfp.2019.69. (in Russian)

10 Wang Q., Xie Y., Xiong Z., Gu X., Nie X. et al. Structural and physical properties of spray-dried fish oil microcapsules via pea protein isolate based emulsification or complex coacervation with sugar beet pectin. Journal of Food Engineering. 2022. vol. 335. pp. 111173. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111173.

11 Maksimenko Yu.A., Konnova O.I., Aleksanyan I.Yu., Memedeikina N.P. Promising engineering solutions for drying of liquid food systems. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoye khozyaystvo. 2024. no. 1. pp. 116–122. doi: 10.24143/2073-5529-2024-1-116-122. (in Russian)

12 Long J.M., Mohan A. Development of meat powder from beef byproduct as value-added food ingredient. LWT. 2021. vol. 146. pp. 111460. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111460.

13 Kurozawa L.E., Park K.J., Hubinger M.D. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. Journal of Food Engineering. 2009. vol. 91. no. 2. pp. 287–296. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.09.006.

14 Novikova I.V., Agafonov G.V., Korotkih E.A., Magomedov M.G., Golubeva L.V. Mathematical modeling of the spray drying process of malt extracts. Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. 2014. no. 11. pp. 44–48. (in Russian)

15 Gagneten M., Corfield R., Gómez Mattson M., Sozzi A., Leiva G. et al. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content. Powder Technology. 2019. vol. 342. pp. 1008–1015. doi: 10.1016/j.powtec.2018.09.048.

16 Shevtsov A.A., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Muravyov A.S. Modeling of spray drying process of protein green concentrate suspension. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy. 2015. no. 1(63). pp. 51–57. (in Russian)

17 Moradi Maryamnegari S., Ashrafizadeh A., Baake E., Guglielmi M. Effects of thermal boundary conditions on the performance of spray dryers. Journal of Food Engineering. 2023. vol. 338. 111250. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111250.

Сведения об авторах

Екатерина В. Соколова ассистент, кафедра технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, k_sokolova93@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2663-1786>

Вклад авторов

Екатерина В. Соколова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ekaterina V. Sokolova assistant, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, building 16/1, Astrakhan, 414056, Russia, k_sokolova93@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2663-1786>

Contribution

Ekaterina V. Sokolova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 31/01/2025	После редакции 05/02/2025	Принята в печать 11/02/2025
Received 31/01/2025	Accepted in revised 05/02/2025	Accepted 11/02/2025