

Технология распылительного охлаждения для производства защищённого хлорид холина 30%¹

Юрий Кольцов¹, Павел Шинкарук², Михаил Калинин¹,
Оксана Сон², Тамара Сенотрусова²

¹ ООО “Арника”,

Приморский край, с. Вольно-Надеждинское, Россия

² Дальневосточный федеральный университет,

г. Владивосток, Россия

Информация о статье

Поступила в редакцию:

05.07.2023

Принята

к опубликованию:

24.08.2023

УДК 636.087.7

JEL N50

Ключевые слова:

распылительное охлаждение, защищённая форма, хлорид холина, кормовая добавка, оптимизация технологического процесса.

Keywords:

spray cooling, protected form, choline chloride, feed additive, process optimization.

Аннотация

В работе исследованы технологические процессы и факторы, влияющие на качественное формирование микрогранул защищённой товарной формы витамина В₄ (хлорид холина) 30% концентрации. Экспериментально обоснован оптимальный размер микрогранул хлорид холина, который составил 250–800 мкм, данные образцы обладали наилучшими показателями защищённости (67%) и концентрации активного ингредиента (30%), а также наблюдалась равномерная кривая распределения размера частиц при производстве с минимальным количеством микрогранул размером более 800 и менее 140 мкм.

Выполнена серия экспериментов по производству микрогранул защищённой формы хлорид холина 30% на пилотной экспериментальной линии распылительного охлаждения, определены оптимальные технологические параметры: частота подающего насоса — 15 Гц; скорость подачи смеси — 3,15 л/мин; давление воздуха — 5 кПа; температура смеси — 80 °С; вязкость — 0,021 Па/с.

Полученные данные об изменении распределения размера микрогранул в зависимости от скорости

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2023-2/57-70>.

¹ Данная работа выполнена на производственной площадке “Кормбиосинтез” ООО “Арника” в ГОР “Надеждинский” при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках достижения результатов федерального проекта “Передовые инженерные школы” (соглашение № 075-15-2022-1143 от 07.07.2022).

подачи расплавленной смеси и давления сжатого воздуха распылительной головки соответствуют ранее опубликованным материалам. Представленные данные свидетельствуют о зависимости размера микрогранул и степени защищённости активного ингредиента от давления сжатого воздуха. В результате изменения давления сжатого воздуха может изменяться поверхностное натяжение распыляемых капель. Важно отметить, что вязкость раствора была необходимой концентрации (0,021 Па/с), поскольку значительных отклонений от расчётной концентрации хлорид холина не наблюдалось, а следовательно распыляемая смесь была достаточно однородной. Все проведённые эксперименты показали, что полученные гранулы размером менее 140 мкм обладают низкой концентрацией хлорид холина, а также низким показателем защищённости, это может объясняться тем, что в составе данных микрогранул преобладает гидрогенизированное соевое масло, а активное вещество распределено в большей степени на поверхности.

Результаты проведённых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ планируются к внедрению на технологических участках высокотехнологичного производства “Кормбиосинтез” в ТОО “Надеждинский” ООО “Арника”.

Spray Cooling Technology for The Production of Protected Choline Chloride 30%

Yury V. Koltsov, Pavel A. Shinkaruk, Mikhail N. Kalin,
Oksana M. Son, Tamara A. Senotrusova

Abstract

This paper examines the technological processes and factors influencing the quality formation of microgranules for a protected commercial form of vitamin B₄ (choline chloride) with a concentration of 30%. Through experimental analysis, the optimal size range for choline chloride microgranules was determined which fell between 250–800 μm. Microgranules within this range demonstrated superior protection levels (67%) and an active ingredient concentration of 30%. The production process consistently yielded microgranules with a uniform size distribution, with minimal instances of microgranules exceeding 800 μm or falling below 140 μm.

To produce microgranules of the protected choline chloride form at a 30% concentration, a series of experiments was conducted using a pilot experimental line employing spray cooling. Through these experiments, optimal technological parameters were determined, including a feed pump frequency of 15 Hz, a mixture feed rate of 3.15 l/min, an air pressure of 5 kPa, a mixture temperature of 80 °C, and a viscosity of 0.021 Pa/s.

The obtained data on the correlation between the size distribution of microgranules and the feed rate of the molten mixture, as well as the pressure of the compressed air from the spray head, align with previously published research findings. This indicates that changes in compressed air pressure can alter the surface tension of the sprayed droplets.

Notably, the viscosity of the solution remained at the required concentration (0.021 Pa/s) with minimal deviations from the calculated choline chloride concentration, resulting in a homogeneous distribution of the sprayed mixture. It is important to note that the viscosity of the solution was the required concentration (0.021 Pa/s), since no significant deviations from the calculated concentration of

choline chloride were observed, and therefore the sprayed mixture was quite homogeneous.

All performed experiments demonstrated that microgranules with sizes smaller than 140 μm showed lower concentrations of choline chloride and exhibited reduced protection. This can be attributed to the higher presence of hydrogenated soybean oil in these microgranules, leading to a greater distribution of the active substance on the surface.

The results of the conducted research and development endeavors are intended for deployment at the technological facilities of the high-tech production entity known as “Kormbiosintez” within the “Nadezhdinskiy” Priority Development Territory, operated by “Arnika” LLC.

Введение

Витамин В₄ или холин является необходимым компонентом в рационе млекопитающих, в том числе сельскохозяйственных животных, поскольку поддерживает нормальное функционирование клеток, а также может способствовать повышению молочной продуктивности. По данным научных исследований в рационе крупного рогатого скота, в частности у высокопродуктивных молочных коров, наблюдается дефицит холина [1], в результате чего может снизиться молочная продуктивность. В связи с этим одним из наиболее значимых факторов для поддержания здоровья и продуктивности сельскохозяйственных животных является сбалансированный рацион кормления. В настоящее время существующие товарные формы кормовых добавок для сельскохозяйственных животных могут не усваиваться в условиях желудочно-кишечного тракта. Микрофлора рубца крупного рогатого скота способна разрушать незащищённые ценные биологически активные вещества (БАВ), в том числе витамины, поступающие в организм с кормами. По этой причине, для повышения эффективности усвоения хлорид холина в тонком кишечнике сельскохозяйственных животных необходима оболочка, которая способна обеспечить защиту кормовой добавки от агрессивного воздействия условий рубца крупного рогатого скота.

Для производства защищённой формы хлорид холина (далее защищённый ХХ) от условий рубца потенциально может применяться ряд технологий: нанесение защитной оболочки на барабанных установках дражирования, метод горячей экструзии с дальнейшим напылением оболочки. Кроме этого, предполагается, что технология распылительного охлаждения также применима для производства защищённого ХХ и может быть перспективной по показателям экономической эффективности и производительности.

Распылительное охлаждение является одним из способов, используемых для инкапсуляции действующего вещества в оболочку-носитель, технологический процесс может быть непрерывным и протекает с низкими затратами энергии, а также легко масштабируется [2]. Конечным продуктом производства являются твёрдые частицы (гранулы) сферической формы, диаметром от 50 мкм до 2 мм. Поскольку процесс не включает в себя испарение растворителей, образующиеся микроча-

стицы характеризуются плотной и непористой структурой и как следствие, повышенной механической стойкостью [3].

Технология распылительного охлаждения применяется в фармацевтической, косметической и сельскохозяйственной отраслях. Данная технология позволяет при необходимости маскировать вкус и запах [4], обеспечивать защиту активного ингредиента от неблагоприятных воздействий, к примеру, воздействие рН среды, света, активности ферментов, влажности, окисления и др. Данная технология также позволяет повысить степень растворения труднорастворимых лекарственных средств, в том числе модулирует кинетику высвобождения активных компонентов, улучшает свойства текучести, внешний вид и прочие характеристики [5]. Кроме этого, уменьшается гигроскопичность, повышается физическая и химическая стабильность [6].

Процесс распылительного охлаждения подробно описан в литературных источниках [7] и состоит из следующих этапов:

1. Расплавление носителя и смешивание с основным компонентом (активным ингредиентом), который может быть либо растворен, либо механически диспергирован в носитель. В качестве носителя могут использоваться масла, воски, липиды, а также желирующие агенты [8].

2. Подача расплавленного материала от нагреваемой ёмкости к распылительному соплу, через которое попадает в охлаждающую камеру.

3. Теплообмен холодного воздуха и капель расплавленной смеси, после чего они должны затвердеть до контакта со стенкой охлаждающей камеры.

4. Сбор и сортировка просеиванием готового продукта.

Функциональная схема процесса распылительного охлаждения представлена на рис. 1.

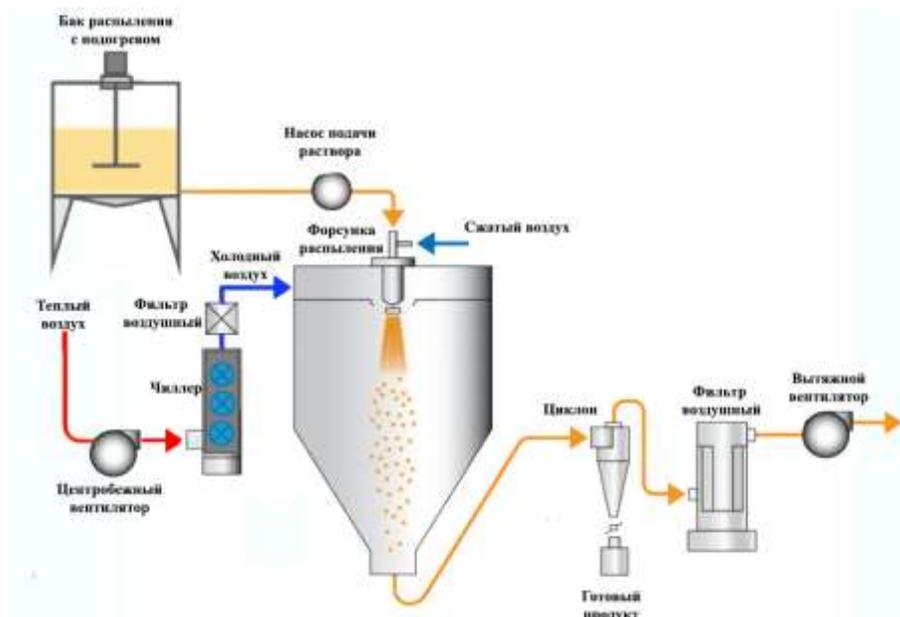


Рис. 1. Функциональная схема установки распылительного охлаждения

На физические и химические свойства конечного продукта наибольшее влияние оказывают следующие параметры технологического процесса:

– температура плавления и кристаллизации носителя — влияет на скорость приготовления раствора, на свойства некоторых активных ингредиентов, которые не стабильны при высокой температуре, и на устанавливаемые параметры температуры охлаждающего воздуха в камере распылительного охлаждения [7];

– температура готового раствора — влияет на вязкость готового раствора, которая, в свою очередь, влияет на конечный размер производимых микрогранул, чем выше вязкость, тем больше размер. [9] Высокая вязкость приводит к неравномерному распределению в растворе, кроме этого, слишком высокая вязкость может привести к невозможности процесса распыления, а это, в свою очередь, ограничивает массовую долю содержания твёрдых частиц активного вещества в растворе, как правило, не более 30% [10], так как более высокая концентрация неминуемо приведёт к недопустимо высокой вязкости смеси;

– скорость подачи насоса на распыление — влияет на размер гранул, чем выше скорость, тем больше размер [5];

– давление сжатого воздуха (в случае использования пневматических распылителей) — влияет на размер, больше давление, меньше размер [5].

Производительность установки распылительного охлаждения напрямую зависит от эффективности процесса распыления расплавленной смеси, что, в свою очередь, связано с выбором распылительного устройства [7]. В табл. 1 представлены характеристики различных распылительных устройств, применяемых для распылительного охлаждения [11, 12].

Таблица 1

Распределение размеров и скорость микрогранул в зависимости от типа распылительного устройства [11, 12]

Тип распылителя	Размер микрогранул Min, μм	Размер микрогранул Max, μм	Скорость капель, м/с
Двухфазный пневматический распылитель	10	650	150
Ротационная головка с прорезями	20	200	150
Вращающийся дисковый распылитель	40	2000	100
Распылитель высокого давления	65	850	50
Ротационная головка с большими отверстиями	150	950	30
Ротационная головка с малыми отверстиями	275	2000	5
Душевой распылитель	600	6000	5
Ультразвуковая головка	20	70	0,2

Целью исследования является оптимизация технологии распылительного охлаждения для производства защищённого хлорид холина с концентрацией 30% в микрогранулах.

Материалы и методы исследования

В качестве сырья и материалов были использованы холин хлорид и гидрогенизированное соевое масло (далее ГМ) (табл. 2).

Таблица 2

Сырьё и материалы, применяемые в работе

Наименование сырья и материала	Производитель	Показатель, обязательный для проверки		Назначение
		Наименование	Норма в пределах	
Холина хлорид	SHANDONG FY FEED TECHNOLOGY CO., LTD., Китай	Массовая доля ХХ, %	Не менее 80%	Активное вещество
		Массовая доля влаги, %	Не более 5%	
Гидрогенизированное соевое масло	Hangzhou Keying Chem Co., Ltd., Китай	Температура плавления, °С	Не менее 60 °С	Компонент матрицы
		Температура застывания, °С	36–40 °С	

В качестве устройства распыления использовалась двухфазная пневматическая распылительная головка (рис. 2). Давление сжатого воздуха в распылительной головке регулируется с помощью пневморедуктора.

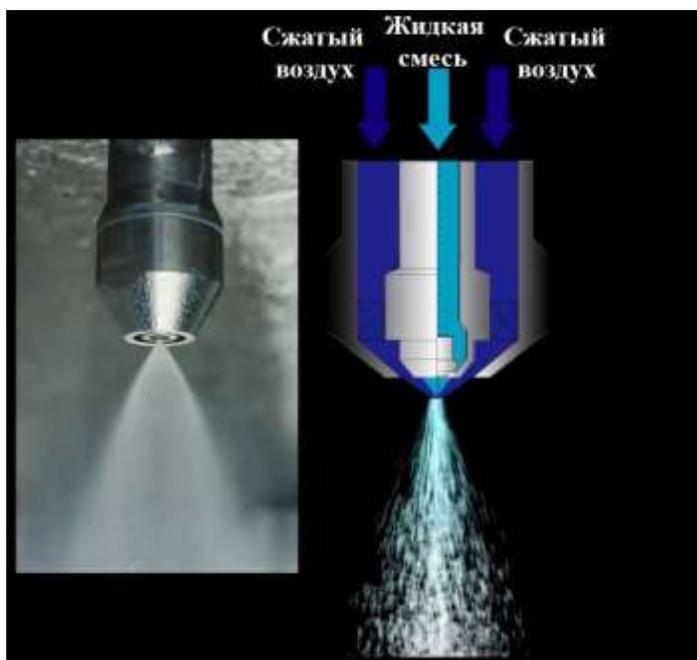


Рис. 2. Двухфазный пневматический распылитель

Для расплавления носителя, подогрева и смешивания был выбран бак с паровым теплообменником, лопастной мешалкой и гомогенизатором, объём бака — 500 л. Контроль температуры в баке осуществляется с помощью регулирующего парового клапана с электроприводом ВЭП-125-3000/63-20-220В со встроенным ПИД-регулятором температуры, активация и параметры задаются посредством операторской панели через интерфейс RS-485, протокол Modbus RTU. С помощью данного оборудования получили высокую точность температуры смеси в баке ± 1 °С, что, в свою очередь, обеспечивает поддержание желаемой вязкости смеси для распыления.

Подача смеси на распылительную форсунку осуществляется винтовым насосом BYD G20-1-SS316L для вязких жидкостей температурой до 150 °С, производительность 1,28 м³/час, мощность двигателя 2,2 кВт. Конструктивной особенностью насоса является наличие рубашки подогрева с помощью прокачиваемой горячей воды. Трубы подачи смеси от бака до насоса и от насоса до распылительной головки, также имеют водяную рубашку подогрева. Данное решение позволило избежать нежелательного затвердевания смеси на пути в распылительную головку, а также вязкость перекачиваемой смеси не увеличивалась, что является важным фактором при распылении [2]. Управление производительностью насоса выполняется с помощью частотного преобразователя с векторным режимом Veichi AC70-T3-2R2G/004P, изменение параметров реализовано через интерфейс RS-485 по протоколу Modbus RTU с помощью ПЛК и операторской панели.

Воздух, поступающий в камеру распылительного охлаждения, нагнетается центробежным вентилятором мощностью 7,5 кВт, предварительно охлаждается, проходя через теплообменник чиллера, температура контролируется встроенной автоматикой. Скорость воздушного потока регулируется с помощью частотного преобразователя Veichi AC70-T3-7R5G. Готовый продукт проходит через циклон и выгружается с помощью шлюзового питателя. Сепарация осуществляется с помощью вибросита.

Основные технологические процессы (далее ТП) производства защищённого ХХ 30% на экспериментальной пилотной установке распылительного охлаждения, для которых необходим подбор оптимальных технологических режимов и параметров, представлены на рис. 3.

На стадии ТП1 с помощью операторской панели запускается технологический процесс, далее устанавливается минимальная допустимая температура чиллера — 15 °С, затем включают вентилятор подачи холодного воздуха, для предварительного охлаждения камеры распыления до 19 °С.

На стадии ТП2 осуществляется получение раствора в следующем соотношении: 100 кг 80% холина хлорида и 155 кг гидрогенизированного соевого масла. ГМ загружается в бак для плавления, с заданной температурой 80 °С. Далее в растопленное масло вносится холин хлорид концентрацией 80%, затем осуществляется перемешивание в течение 30 мин, через 20 мин перемешивания включают гомогенизатор продол-

жительностью 10 мин для равномерного распределения активного ингредиента и получения раствора необходимой вязкости.



Рис. 3. Основные технологические процессы получения хлорид холина концентрацией 30%

На стадии ТП3 устанавливается давление сжатого воздуха и посредством операторской панели задаётся скорость подачи смеси, затем запускается подающий насос — начинается процесс распылительного охлаждения.

На стадии ТП3 в течение всего процесса гранулы, полученные при распылении в автоматическом режиме выгружаются через шлюзовый питатель, собираются в мешки и далее просеиваются через сита (140 мкм; 250 мкм; 450 мкм; 630 мкм; 800 мкм; 1000 мкм).

В соответствии с характеристиками данного технологического процесса проведён ряд экспериментов с различными параметрами (табл. 3) скорости подачи раствора и давления сжатого воздуха распылительной головки. Температура расплавленной смеси поддерживалась на заданном уровне 80 °С, при которой значение вязкости смеси составило 0,0021 Па/с. Температура охлаждающего воздуха, поступающего в распылительную камеру, не изменялась.

Полученные образцы микрогранул хлорид холина изучили стандартными методами. Определение действующего вещества в кормовой добавке (массовая доля ХХ) проводили по методике М 04-82-2014 [13] методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза “Капель–105М” (производитель Люмекс, Россия); диапазон измерений от 0,01 до 100% включительно, относительная расширенная неопределённость измерений — 15%, показатель повторяемости — 14%.

Растворимость опытных образцов в рубце осуществляли с помощью внесения навески образца 1 г в 100 мл раствора биорелевантной среды, имитирующей среду рубца рН 6,5, с последующим выдержива-

нием пробирок в орбитальном шейкере-инкубаторе Biosan Orbital Shaker-incubator ES-20 при температуре 40 °С, скорость перемешивания 120 об/мин в течение 18 час [14]. По истечению заданного времени экспозиции раствор отфильтровывали через фильтр “Белая лента” для отделения нерастворённых гранул и измеряли концентрацию вещества в растворе стандартным методом.

Таблица 3

Параметры экспериментов распылительного охлаждения

Наименование показателя, единицы измерения	Номер эксперимента			
	1	2	3	4
Частота подающего насоса, Гц	5	10	10	15
Скорость подачи смеси, л/мин	1,05	2,1	2,1	3,15
Давление воздуха, кПа	3	3	4	5
Температура смеси, °С	80	80	80	80
Вязкость, Па/с	0,021	0,021	0,021	0,021

Растворимость защищённого хлорид холина 30% в рубце (Р, %) рассчитывали по формуле:

$$P = \frac{C_2}{C_1} * 100\% ,$$

где C_1 — концентрация защищённого ХХ в исходном продукте, а C_2 — процент высвобожденного холина хлорида в биорелеватную среду (C_2 , %) рассчитывали по формуле:

$$C_2 = \frac{V * C_{изм} * Q}{m * 10\ 000} ,$$

где $C_{изм}$ — измеренное значение массовой концентрации холина хлорида в подготовленной пробе, мг/дм³; V — объём дистиллированной воды, взятый для получения водной вытяжки, см³; m — масса навески пробы, г; 10 000 — коэффициент согласования размерности единиц объёма, массы и массовой доли; Q — коэффициент разбавления пробы.

Защищённость продукта в рубце (Z) рассчитывали по формуле

$$Z = 100\% - P .$$

Размер частиц определяли в соответствии с ГОСТ 13496.8–72 [15].

Вязкость смеси определяли по ГОСТ 25276–82 [16] с помощью вискозиметра Visco с термоконтроллером.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с табл. 3 были получены экспериментальные образцы микрогранул защищённого хлорид холина концентрацией 30%, которые изучили по следующим показателям: размер частиц, концентрация действующего вещества, растворимость в условиях рубца. Результаты изучения данных показателей представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты исследования физико-химических характеристик
экспериментальных образцов**

		Размер микрогранул, мкм						
		800–1000	630–800	450–630	250–450	140–250	< 140	Среднее
Эксперимент № 1	% от общей массы	3	11	24	29	24	9	
	Концентрация, С, %	25	29	30,1	30,05	30	29,1	29,70
	Растворимость в рубце, Р, %	80	50	40	43	40	59	44,88
	Защищённость, Z, %	20	50	60	57	60	41	55,12
Эксперимент № 2	% от общей массы	2	4	12	31	35	16	
	Концентрация, С, %	24	29	30,1	30,2	29,95	28,15	29,60
	Растворимость в рубце, Р, %	78	55	38	33	36	55	39,95
	Защищённость, Z, %	22	45	62	67	64	45	60,05
Эксперимент № 3	% от общей массы	4	16	31	27	19	3	
	Концентрация, С, %	26	29	30,1	30,05	29,9	29,4	29,69
	Растворимость в рубце, Р, %	79	59	40	37	36	56	43,51
	Защищённость, Z, %	21	41	60	63	64	44	56,49
Эксперимент № 4	% от общей массы	3	8	35	37	15	2	
	Концентрация, С, %	27	30,05	30,15	30,2	30	29,7	30,03
	Растворимость в рубце, Р, %	72	41	31	29	32	38	32,58
	Защищённость, Z, %	28	59	69	71	68	62	67,42

Из табл. 4 можно сделать вывод, что размер частиц увеличивался с увеличением скорости подачи расплавленного раствора и уменьшался при увеличении давления сжатого воздуха. Большая часть гранул обладает правильной формой — сферической, за исключением частиц, размером превышающим 800 мкм, которые были вытянутой формы за счёт слипания частиц между собой, поскольку не кристаллизовались до момента столкновения со стенками оборудования, при соприкосновении

с камерой распыления обладали приплюснутой формой, что может объяснять неудовлетворительную концентрацию хлорид холина в образцах, в том числе показатель защищённости был низким. Важно отметить, что в первом и втором экспериментах микрогранул с искривлённой формой отмечается больше, чем в третьем и четвёртом. В первом эксперименте давление было недостаточным при заданной скорости подачи, при втором эксперименте скорость подачи была слишком высокой при заданном давлении. При выполнении экспериментов концентрация хлорид холина в составе микрогранул находилась в пределах расчётной и менялась незначительно.

Гранулы размером от 250–800 мкм обладали наилучшими показателями защищённости и концентрацией активного ингредиента. Частицы размером менее 140 мкм и более 800 мкм обладали низким показателем защищённости в рубце и низкой концентраций активного ингредиента.

На рис. 5 представлено распределение размера микрогранул в процессе производства.

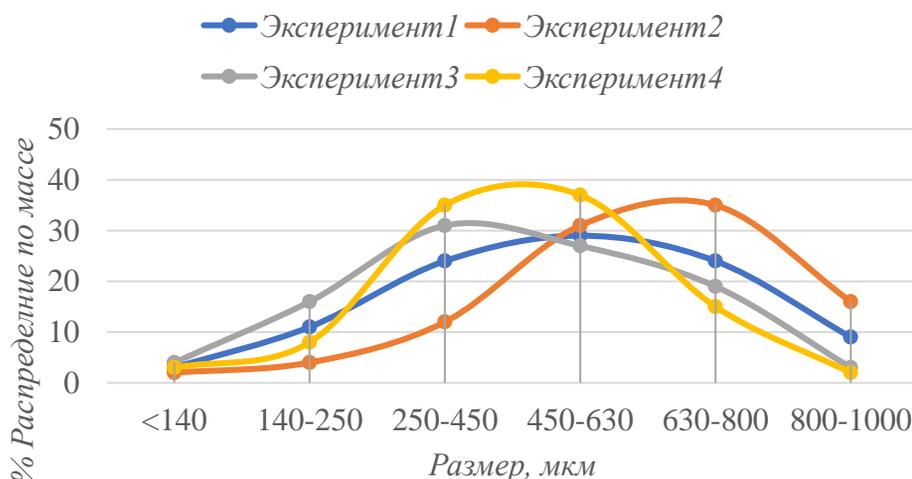


Рис. 5. График распределения размера микрогранул

На рис. 5 наблюдается равномерная кривая распределения размера частиц с минимальным количеством микрогранул размером более 800 и менее 140 мкм. Можно сделать вывод, что наилучшие результаты были получены в четвёртом эксперименте, поскольку микрогранулы обладали необходимой концентрации хлорид холина, а также показатель защищённости в условиях рубца был самым высоким.

Выводы

Полученные данные об изменении распределения размера микрогранул в зависимости от скорости подачи расплавленной смеси и давления сжатого воздуха распылительной головки соответствуют ранее

опубликованным материалам [5, 7]. Представленные данные свидетельствуют о зависимости размера микрогранул и степени защищённости активного ингредиента от давления сжатого воздуха. В результате изменения давления сжатого воздуха может изменяться поверхностное натяжение распыляемых капель. Важно отметить, что вязкость раствора была необходимой концентрации (0,021 Па/с), поскольку значительных отклонений от расчётной концентрации хлорид холина не наблюдалось, а следовательно распыляемая смесь была достаточно однородной. Все проведённые эксперименты показали, что полученные гранулы размером менее 140 мкм обладают низкой концентрацией хлорид холина, а также низким показателем защищённости, это может объясняться тем, что в составе данных микрогранул преобладает гидрогенизированное соевое масло, а активное вещество распределено в большей степени на поверхности.

Заключение

В результате проведённых исследований важно отметить, что оптимальные параметры процесса распыления были достигнуты благодаря использованным конструкторским и технологическим решениям. В результате выполнения четвёртого эксперимента были получены наилучшие значения концентрации активного ингредиента — 30%, защищённости в условиях рубца — 67%, размера микрогранул — 250–800 мкм. Технология распылительного охлаждения можно применять для производства защищённой формы хлорид холина с концентрацией 30% и обладает потенциалом увеличения производительности. Дальнейшие исследования могут быть направлены на улучшение рецептуры и технологического процесса, а также на производство других защищённых форм кормовых добавок.

Список источников

1. Омаров М.О., Слесарева О.А., Зелкова Н.Г. Влияние биофлавоноидов на биохимический статус организма высокопродуктивных коров // Ветеринария и кормление. 2019. № 3. С. 27–28.
2. Okuro P.K., de Matos Junior F.E., Favaro-Trindade C.S. Technological challenges for spray chilling encapsulation of functional food ingredients // Food Technology and Biotechnology. 2013. Т. 51. № 2. С. 171.
3. Lakkis J.M. Encapsulation and controlled release in bakery applications // Encapsulation and controlled release technologies in food systems. 2016. С. 204–235.
4. Yajima T., Umeki N., Itai S. Optimum spray congealing conditions for masking the bitter taste of clarithromycin in wax matrix // Chemical and pharmaceutical bulletin. 1999. Т. 47. № 2. С. 220–225.
5. Ilić I. [et al.]. Microparticle size control and glimepiride microencapsulation using spray congealing technology // International Journal of Pharmaceutics. 2009. Vol. 381. No. 2. P. 176–183.
6. Akiyama Y. [et al.]. Novel oral controlled-release microspheres using polyglycerol esters of fatty acids // Journal of controlled release. 1993. Vol. 26. No. 1. P. 1–10.

7. Killeen M.J. The process of spray drying and spray congealing // *Pharmaceutical Engineering*. 1993. Vol. 13. P. 56–56.
8. Oxley J.D. Spray cooling and spray chilling for food ingredient and nutraceutical encapsulation // *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*. — Woodhead Publishing, 2012. — P. 110–130.
9. Maschke A. [et al.]. Development of a spray congealing process for the preparation of insulin-loaded lipid microparticles and characterization thereof // *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2007. Vol. 65. No. 2. P. 175–187.
10. Albertini B. [et al.]. New spray congealing atomizer for the microencapsulation of highly concentrated solid and liquid substances // *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2008. Vol. 69. No. 1. P. 348–357.
11. Oxley J.D. Spray cooling and spray chilling for food ingredient and nutraceutical encapsulation // *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*. — Woodhead Publishing, 2012. — С. 110–130.
12. Mazzocato M.C., Thomazini M., Favaro-Trindade C.S. Improving stability of vitamin B₁₂ (Cyanocobalamin) using microencapsulation by spray chilling technique // *Food Research International*. 2019. Vol. 126. P. 108663.
13. Методика М 04-82-2014. ООО “Люмэкс-маркетинг”. Измерение массовой доли хлорида холина в кормовых добавках, кормах, комбикормах, премиксах и сырье для их производства // Номер в реестре ФГИС “Аршин” — ФР.1.31.2014.18123.
14. Патент US7923033B2. Composition of matter comprising particles which contain choline chloride to be administered in a rumen protected and post-rationally effective form.
15. ГОСТ 13496.8–72. Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024327>.
16. ГОСТ 25276–82. Полимеры. Метод определения вязкости ротационным вискозиметром при определённой скорости сдвига. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200020939>.

Сведения об авторах / About authors

Кольцов Юрий Владимирович, инженер АСУ, ООО “Арника”. 692481, Приморский край, Надеждинский муниципальный район, с. Вольно-Надеждинское, ТОР “Надеждинская”, ул. Центральная, 42. ORCID 0009-0006-1972-8511.

Yury V. Koltsov, Engineer of Automated Control Systems, LLC “Arnica”. 692481, Primorsky Krai, Nadezhdinsky municipal district, Volno-Nadezhdinsky, Nadezhdinskaya PDA, Tsentralnaya str., 42. ORCID 0009-0006-1972-8511.

Шинкарук Павел Алексеевич, аспирант, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690620 Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. ORCID 0009-0001-7653-6819. E-mail: shinkaruk.pa@dvfu.ru.

Pavel A. Shinkaruk, Post-graduate student of Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. ORCID 0009-0001-7653-6819. E-mail: shinkaruk.pa@dvfu.ru.

Калин Михаил Николаевич, технический директор, ООО “Арника”. 692481, Приморский край, Надеждинский муниципальный район, с. Вольно-Надеждинское, ТОР “Надеждинская”, ул. Центральная, 42. ORCID 0009-0009-4740-0734.

Mikhail N. Kalin, Technical Director, LLC “Arnica”. 692481, Primorsky Krai, Nadezhdinsky municipal district, Volno-Nadezhdinsky, Nadezhdinskaya PDA, Tsentralnaya str., 42. ORCID 0009-0009-4740-0734.

Сон Оксана Михайловна, кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690620 Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. ORCID 0000-0002-7995-7387. E-mail: *son.om@dvfu.ru*.

Oksana M. Son, Ph. D. in Technical Sciences, Deputy Director for Science of Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. ORCID 0000-0002-7995-7387. E-mail: *son.om@dvfu.ru*.

Сенотрусова Тамара Алексеевна, старший преподаватель, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690620 Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. ORCID 0000-0003-0580-3235. E-mail: *senotrusova.tale@dvfu.ru*.

Tamara A. Senotrusova, Senior Lecturer of Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690620. ORCID 0000-0003-0580-3235. E-mail: *senotrusova.tale@dvfu.ru*.