

Обоснование рецептурных компонентов и определение параметров распылительной сушки при получении кормового витамина A/D₃¹

Анна Подволоцкая^{1,2}, Павел Шинкарук^{1,2}, Максим Марченко^{1,2}, Юлия Пентехина^{1,2}, Егор Рочин^{1,2}

¹ Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия

² ООО “Арника”, R&D “Agrobiotechnology”
Приморский край, с. Вольно-Надеждинское, Россия

Информация о статье

Поступила в редакцию:

21.08.2023

Принята

к опубликованию:

10.12.2023

УДК 636.087.7

JEL N50

Ключевые слова:

микроинкапсулирование, распылительная сушка, гидроколлоиды, защищённый кормовой витамин A/D₃.

Keywords:

microencapsulation, spray drying, hydrocolloids, protected feed vitamins A/D₃.

Аннотация

В работе описаны рецептуры композиций и оптимизация технологии распылительной сушки с целью производства защищённого кормового витамина A/D₃ для крупного рогатого скота (КРС). По результатам проведённых исследований были определены оптимальные параметры распылительной сушки для получения сухих сыпучих форм защищённых кормовых витаминов A/D₃. Оптимальная скорость подачи эмульсии на форсунку для образцов № 1, № 4, № 5, и № 6 составила 15 мл/мин, 10 мл/мин, 5 мл/мин и 30 мл/мин, соответственно. Образцы № 2 и № 3 не соответствовали заявленным требованиям, поскольку представляли собой крупные агломераты, и не соответствовали условиям исследования. Были получены частицы с размерами от 200 до 700 мкм. Установлено, что оптимальная температура входящего воздуха для образцов № 1, № 4, № 5, № 6 составляет от 70 до 80 °С. При этом влажность полученных гранул не превышала 8%. Оптимальное давление пневматического распылителя в ходе получения образцов № 1, № 4 и № 6 составило 0,08 МПа

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2023-3/122-136>.

¹ Данная работа выполнена на производственной площадке “Кормбиосинтез” ООО “Арника” в ГОР “Надеждинский” при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования FZNS-2022-0017 “Разработка пакета технологий производства биодоступной защищённой формы кормового витамина D₃ и биоконплексов на его основе с использованием растительных и океанических ресурсов для обеспечения продуктивности и повышения иммунной защиты сельскохозяйственных животных”.

и 0,05 МПа для образца № 5. Концентрация активных веществ (витаминов А и D₃) образцов № 1, № 4 и № 5 на основе желатина, яблочного пектина и агар-агара соответствовали заявленным (А/D₃ 1000/200 тыс. МЕ/г, не менее), гранулы были нерастворимы в горячей воде, и, на данном этапе экспериментальной работы, рекомендованы для обогащения кормовых рационов КРС.

Justification of Formulation Components and Determination of Spray Drying Parameters in Obtaining Feed Vitamin A/D₃

Anna B. Podvolotskaya, Pavel A. Shinkaruk, Maxim V. Marchenok,
Yulia K. Pentekhina, Egor O. Rochin

Abstract

The work describes the development of formulations and optimization of spray drying technology for the production of protected feed vitamin A/D₃ for cattle. The emulsion optimal flow rate to the nozzle for analysed samples № 1, № 4, № 5, and № 6 was 15, 10, 5, and 30 mL/min, respectively. Samples № 2 and № 3 did not match with the requirements because of large size and they were not studied. Particles with sizes ranging from 200 to 700 μm were obtained. It was found that the optimal temperature of incoming air for samples № 1, № 4, № 5, and № 6 ranges from 70 °C to 80 °C. At the same time, the moisture content of the resulting granules did not exceed 8%. The optimal pressure of the pneumatic sprayer during the production of samples № 1, № 4, and № 6 was 0.08 MPa, for sample № 5 the optimal pressure was 0.05 MPa. The concentration of active substances (vitamins A and D₃) of samples № 1, № 4, and № 5 based on gelatin, apple pectin and agar-agar corresponded to the declared ones (A/D₃ 1000/200 thousand IU/g, no less). The granules were insoluble in hot water and were recommended for the feed rations development.

Введение

В настоящее время большое значение уделяется эффективному обеспечению населения всего мира качественными мясными и молочными продуктами питания. Основой для обеспечения высокой продуктивности сектора животноводства является наличие развитой кормовой базы. В свою очередь, в современных условиях интенсивного животноводства, традиционные источники кормового сырья (кормовые сельскохозяйственные культуры, побочные продукты переработки промышленного сектора и т.д.) не способны обеспечить в полном объеме физиологические потребности организма сельскохозяйственного животного. Таким образом, в современных условиях кормовые витаминные концентраты и кормовые добавки являются неотъемлемой частью рациона сельскохозяйственных животных и в обязательном порядке включаются в составы премиксов и комбикормов, обеспечивая продуктивность и прирост мышечной массы животных [1, 2].

По разным оценкам мировой рынок кормовых витаминов, который в 2021 г. оценивался в 10,32 млрд долл. США, достигнет 12,28 млрд долл. США к 2026 г., в связи с чем прогнозируется среднегодовой темп роста в 2,4% [3], диктующий обеспечение сельскохозяйственных животных необходимыми витаминами. В настоящее время исследователи находятся в поиске наилучшего варианта реализации технологии получения сухой

сыпучей формы кормовой защищённой композиции витаминов А/D₃ для крупного рогатого скота (КРС). В связи с особенностями технологических процессов получения качественного продукта, учитывая сильнейшую зависимость от факторов воздействия окружающей среды на субстанции витаминов, а также высокий уровень спроса и высокую импортозависимость Российской Федерации, является актуальной разработка технологии получения защищённых форм витаминов и других эссенциальных кормовых веществ [4]. Перспективным направлением для производства защищённых форм витаминов является микрокапсулирование, которое может обеспечить физический барьер между основным соединением и другими компонентами продукта [5–24].

В связи с вышеизложенным **целью исследования** явился подбор параметров процесса подготовки исходных эмульсий для распыления и параметров распылительной сушишки.

Материалы и методы исследования

Рецептуры экспериментальных образцов представлены в табл. 1. Составы рецептур отличаются по типу используемого гидроколлоида.

Таблица 1

Рецептуры экспериментальных образцов защищённого витамина А/D₃ 1000/200 тыс. МЕ/г для КРС, %

№ образца	Ретинола ацетат (2,9 млн МЕ/г)	Холекальферол (8 млн МЕ/г)	Фруктоза	Антиоксидант	Другой ингредиент
1	34,4	11,4	8,6	8,0	Желатин 37,6%
2	34,4	11,4	8,6	8,0	Камедь ксантановая 1,5; глютен 36,1
3	34,4	11,4	8,6	8,0	Камедь рожкового дерева 1,5, глютен 36,1
4	34,4	11,4	8,6	8,0	Пектин яблочный 3,5, глютен 34,1
5	34,4	11,4	6,6	8,0	Агар-агар 5, глютен 32,6
6	34,4	11,4	8,6	8,0	Лактоза 8,6, антиоксидант 8,0 хитозан 18,8, яичный лецитин 18,8

Влажность эмульсий перед распылением у всех образцов находилась в диапазоне от 45 до 50%, что связано с ограничением максимальной вязкости.

Приготовление эмульсий проводилось путём растворения компонентов водной части эмульсии и последующим смешиванием с жирорастворимыми компонентами. Эмульгирование проводилось с помо-

щью высокоскоростного перемешивающего устройства при 10 000 об/мин, в течение 3 мин, для обеспечения необходимой вязкости эмульсий (100-400 мПа×с) и наименьшего размера частиц дисперсной фазы (менее 1,5 мкм) при $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ для обеспечения стабильного процесса транспортировки исходного раствора по системе трубопроводов (капилляров). Для эмульсий, с использованием агар-агара и пектина, включали дополнительную стадию кипячения для исходного раствора гидроколлоидов, что также было необходимо для обеспечения гелеобразования при распылительной сушке.

Определение вязкости экспериментальных эмульсий для распылительной сушки. Вязкость экспериментальных образцов эмульсий определяли с использованием вискозиметра VISCO (АТАГО, Япония) с использованием специального шпинделя и мерного цилиндра для измерения низковязких растворов от 35 до 1000 мПа×с. При скорости оборотов шпинделя = 250 об/мин, $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Определение прочности гелеобразования образцов экспериментальных эмульсий. Каждый образец (5 мл) в жидком состоянии при $t = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ помещали в чашки Петри диаметром 4 см, объёмом на 7 мл. Затем в течение 120 мин образцы сначала охлаждали до комнатной температуры и наблюдали частичное или полное гелеобразование. Образцы гелей исследовали на приборе Brookfield СТЗ-4500 (Brookfield, Канада) с использованием зонда для силоизмерения до 10 000 г/см³. Параметры измерений для всех образцов были идентичны: порог срабатывания датчика силоизмерения составил 0,5 г; порог деформации образца составил 3 мм; скорость движения зонда 1 мм/с; расстояние между зондом и поверхностью образца составило 5 мм.

Распылительная сушка и получение сухих сыпучих форм экспериментальных образцов. Проводили процесс сушки распылением в псевдооживленный слой собирающего порошка (кукурузного крахмала), (рис. 1) на установке Mini Glatt (Германия).

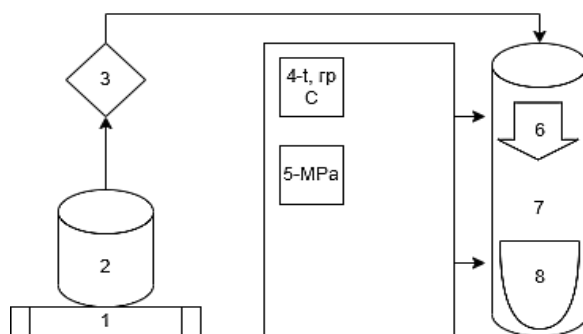


Рис. 1. Схема технологического процесса распылительной сушки в собирающий порошок

Подготовленные эмульсии образцов помещали в ёмкость (2) (объёмом 500 мл) на водяную баню (1) при температуре 60 °С, периодически перемешивая. При помощи перистальтического насоса (3) по системе

капилляров, регулируя скорость подачи, подавали эмульсию в распылитель (6). Сушку проводили в сушильной башне (7) в режиме подачи горячего воздуха снизу, распыление сверху. В съёмную ёмкость башни (8) предварительно загружали 100 г сухого сыпучего порошка кукурузного крахмала, который, под воздействием потока воздуха, образовывал псевдооживленный слой и обеспечивал дополнительное высушивание капель эмульсии. Ключевыми регулируемыми параметрами, обеспечивающих корректный процесс сушки капель эмульсии при распылении явились: скорость подачи исходной эмульсии насосом (3), регулирующая объём поступающей эмульсии на сушку и влияющий размер гранул; температура входящего воздуха (4), обеспечивающего интенсивность процесса высушивания капель; давление воздуха пневматического распылителя (5), влияющего на плотность получаемых гранул. Давление воздуха в башне явилось константой величиной 0,08 МПа и не менялось для поддержания кипящего слоя крахмала.

Определение среднего размера частиц. Для точного определения среднего размера частиц использовали метод лазерной дифракции на установке SALD Shimadzu (Япония). Навеску образца массой 5 г исследовали в автоматическом режиме.

Определение массовой доли влаги проводили в соответствии с ГОСТ 13496.3-92.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках реализации данной технологии распылительной сушки основные компоненты рецептуры классифицируются на такие категории как: целевые витамины А и D₃, эмульгатор, растворимый белок, восстанавливающий сахар, антиоксидант и вода. Введение в состав рецептуры источника редуцирующего сахара на дальнейших этапах технологического процесса обеспечивает процесс получения качественного продукта с прочной структурой за счёт взаимодействия свободных карбонильных групп редуцирующего сахара и свободных аминок групп желатина, или иного протеина, который дополнительно вводят в состав в том случае, если желатин не используется. В качестве источника редуцирующего сахара могут быть использованы: глюкоза, лактоза, фруктоза, инвертный сироп и др. [25, 26]. В качестве веществ “заменителей желатина”, аналогичных по свойствам, могут быть использованы такие гидроколлоиды как пектин, агар-агар, камеди, альгинат натрия, хитозан, лецитин и др. [27]. Животные и растительные протеины могут быть использованы как дополнительный источник белка [28].

Согласно данным Россельхознадзора о зарегистрированных в РФ кормовых добавках установлено, что кормовые формы витамина А, полученные с использованием желатина наиболее распространены [29]. При этом доля желатина в составе может достигать 60% в пересчёте на сухое вещество. При использовании, в качестве эмульгатора, других субстанций (камеди, пектина, агар-агара, альгината натрия и др.) их доля варьируется от 0,5 до 5,0%, тогда как остальной объём распределяется между белком, сахаром, антиоксидантом и целевыми витаминами.

В рамках данной работы было подготовлено и исследовано 8 экспериментальных образцов эмульсий для распылительной сушки, которые отличались по типу используемого гидроколлоида (только в тех случаях, где не использовался желатин); исследованы физико-химические показатели (вязкость, прочность гелеобразования и др.); установлена концентрация целевого вещества. Опытным путём установлено, что для проведения процесса распылительной сушки предпочтительным можно считать показатель вязкости от 110 до 220 $\text{mPa}\cdot\text{s}$. Повышение вязкости исходного раствора может приводить к образованию нестандартной фракции микрогранулированного продукта, излишней нагрузке на подающий насос и требует, как правило, повышения температуры и соответственно повышает риск излишних потерь активности целевых витаминов. Напротив, растворы, имеющие показатели вязкости ниже 100 $\text{mPa}\cdot\text{s}$, при распылении образуют гранулы с повышенной окклюзией воздуха, вследствие чего снижается насыпная плотность продукции, снижается прочность структуры гранул. При этом испарение влаги при распылении должно быть обеспечено более интенсивным потоком горячего воздуха и влечёт за собой значительные потери качества готового продукта, потерю целостности структуры гранул и пористость матрицы.

Вязкость образцов экспериментальных эмульсий представлена на рис. 2.

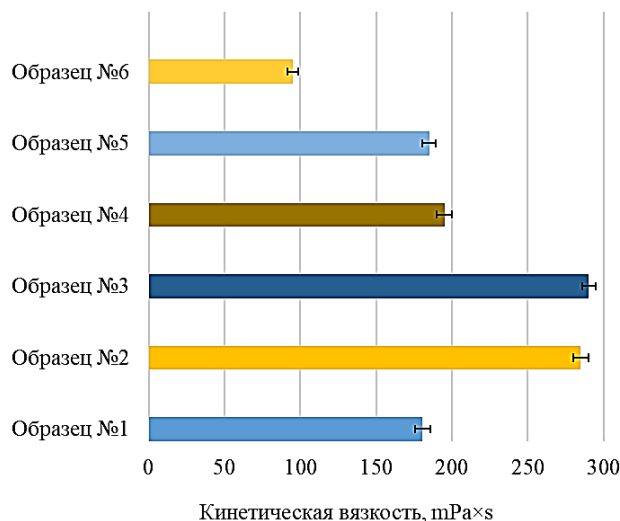


Рис. 2. Показатели вязкости экспериментальных эмульсий, $\text{mPa}\cdot\text{s}$

Образец № 6 с использованием в качестве структурообразующих компонентов смеси соевого лецитина и хитозана показал наименьшую вязкость ($95 \pm 5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$). Образцы с использованием различных видов камедей показали вязкость выше ($\geq 290 \text{ mPa}\cdot\text{s}$). Несмотря на низкие ($< 100 \text{ mPa}\cdot\text{s}$) или высокие ($> 200 \text{ mPa}\cdot\text{s}$) показатели вязкости некоторых образцов эмульсий, дальнейшее исследование было проведено в полном объёме.

Следующим этапом исследования явилось определение прочности гелей (рис. 3), полученных на основе разработанных рецептов экспериментальных эмульсий. Исследовали образцы гелей и фиксировали данные одного срабатывания при одном соприкосновении датчика с исследуемым образцом. Параметры процесса для всех образцов идентичны (см. материалы и методы).

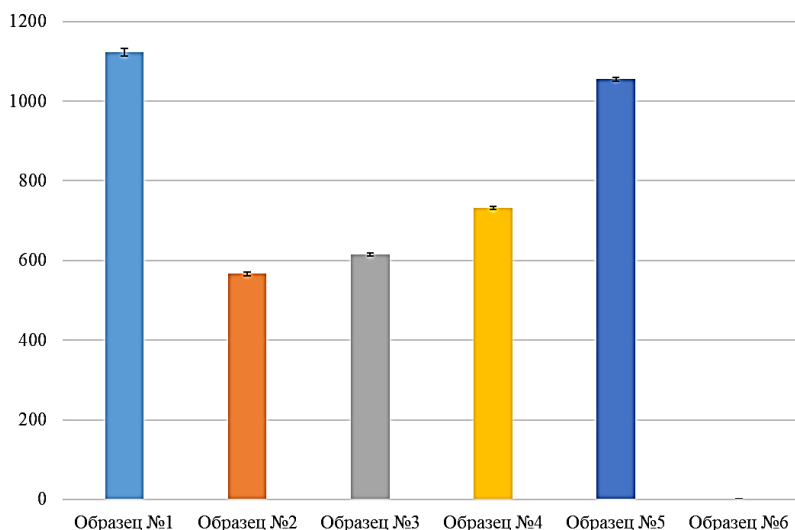


Рис. 3. Прочность гелей экспериментальных эмульсий при деформации, г/см³

Установлено, что наибольшая прочность гелеобразования характерна для образцов № 1 и № 5. Процесс распылительной сушки эмульсий с высокой прочностью гелеобразования, как правило более стабильный и не требует применения высоких (> 100 °С) температур входящего воздуха.

Для образца № 6 гелеобразование на протяжении 120 мин не наблюдалось, что, вероятно, связано с образованием прочной структуры за счёт сил электростатического взаимодействия между отрицательно заряженными ионогенными группами амфотерного лецитина и положительно заряженными аминогруппами хитозана, проявляющимся только в условиях повышенного давления, предположительно в области форсунки пневматического распылителя установки Mini Glatt (Glatt, Германия) [17].

На основании полученных данных были сделаны следующие предположения относительно температуры входящего воздуха в распылительную башню в процессе сушки: для образца № 1 на основе желатина и № 5 на основе агар-агара температура может быть снижена, предполагается возможность распыления при 60–70 °С; для образцов № 2, № 3 и № 4 температура должна составлять не менее 80 °С; температура входящего воздуха при распылительной сушке для данного образца № 6 должна составлять значительно выше 80 °С.

Для оценки влияния технологических параметров на характеристики гранул продукта проводили серию экспериментов по распылительной сушке. В процессе экспериментального исследования была проведена оценка следующих зависимостей: среднего размера получаемых частиц от скорости подачи эмульсии; остаточной влажности гранул продукции в зависимости от температуры входящего воздуха; насыпной плотности гранул в зависимости от давления на пневматическом распылителе установки.

На первом этапе эксперимента определяли зависимость среднего размера частиц получаемого продукта от скорости подачи эмульсии. В процессе эксперимента температура входящего воздуха поддерживалась на уровне 70 °С, давление распылителя 0,1 МПа, эмульсии образцов распылялась со скоростью потока в диапазоне от 5 до 30 мл/мин (рис. 4).

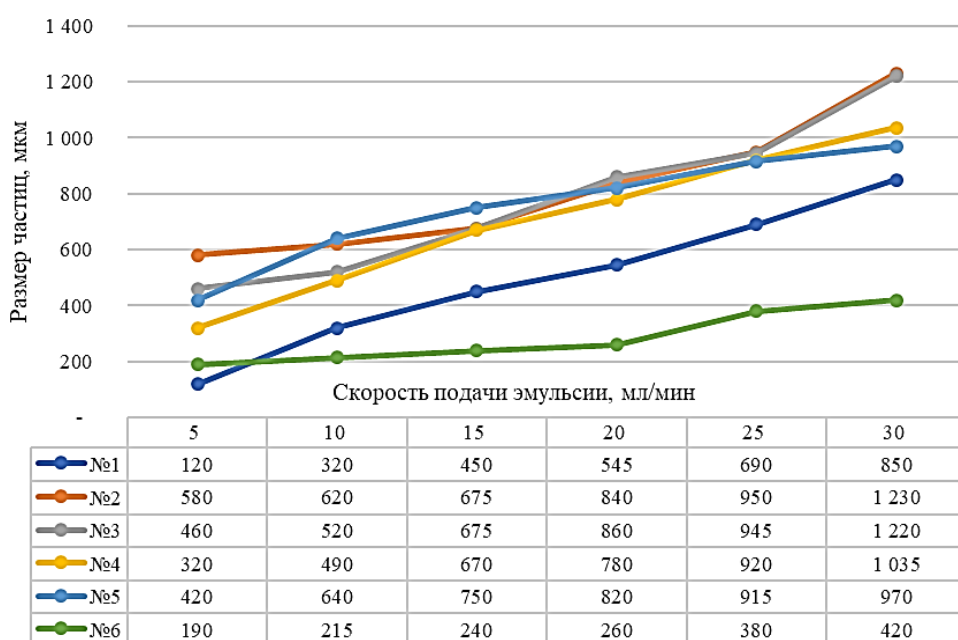


Рис. 4. Размер частиц полученных гранул в зависимости от скорости подачи эмульсии

Было установлено, что при повышении скорости подачи эмульсии размер частиц увеличивался. Предпочтительный размер частиц составил от 200 до 700 мкм, что обусловлено потребностями и номенклатурой рынка [29]. Оптимальная скорость подачи эмульсии на форсунку для образца № 1 составляла 15 мл/мин, для образца № 4 — 10 мл/мин, для образца № 5 — 5 мл/мин, для образца № 6 — 30 мл/мин.

Для образцов № 2 и № 3 с использованием камеди ксантановой и камеди рожкового дерева соответственно, в результате данного эксперимента, размер удалось определить только для небольшого количества (5–10%) гранул. Продукты представляли из себя очень крупные агломераты. По результатам эксперимента вне зависимости от параметров распыления не удалось провести процесс грануляции корректно. По внеш-

нему виду образцы № 2 и № 3 не являлись сухими и сыпучими микрогранулами, большинство из них полые внутри и имели неправильную форму. Для образцов, подготовленных по данным рецептурам, требуется проведение дополнительного ряда исследований.

На втором этапе эксперимента определяли зависимость показателя остаточной влажности частиц получаемого продукта от температуры входящего воздуха (табл. 2, рис. 5).

Таблица 2

Параметры процесса распылительной сушки для эксперимента по определению зависимости остаточной влажности продукта от температуры входящего воздуха

Параметр	Образец № 1	Образец № 4	Образец № 5	Образец № 6
Скорость подачи эмульсии, мл/мин	15	10	5	30
Температура входящего воздуха, °С	30–80			
Давление на форсунку, МПа	0,1			

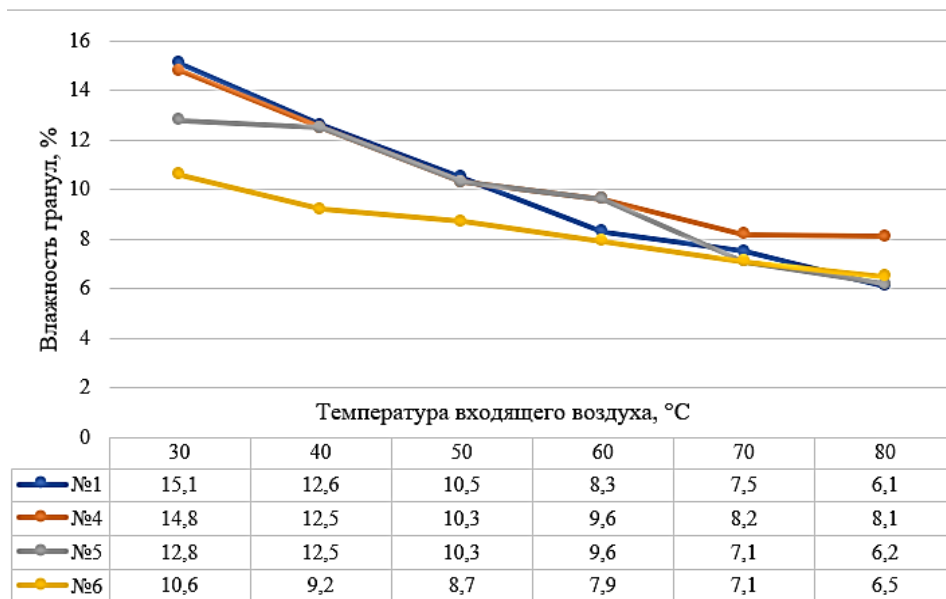


Рис. 5. Влажность полученных гранул в зависимости от температуры входящего воздуха

Было установлено, что повышение температуры входящего воздуха приводило к снижению остаточной влаги в гранулах продукта. Предпочтительная остаточная влажность сухих сыпучих кормовых добавок составляет не более 8% [30]. Оптимальная температура входящего воздуха для образцов № 1, № 4, № 5, № 6 составила от 70 °С до 80 °С.

На третьем этапе эксперимента определяли зависимость показателя насыпной плотности частиц получаемого продукта от давления пневматического распылителя (табл. 3, рис. 6).

Таблица 3

Параметры процесса распылительной сушки для эксперимента по определению зависимости насыпной плотности продукта от давления на распылительной форсунке

Параметр	Образец № 1	Образец № 4	Образец № 5	Образец № 6
Скорость подачи эмульсии, мл/мин	15	10	5	30
Температура входящего воздуха, °С	80			
Давление на форсунку, МПа	0,02–0,12			

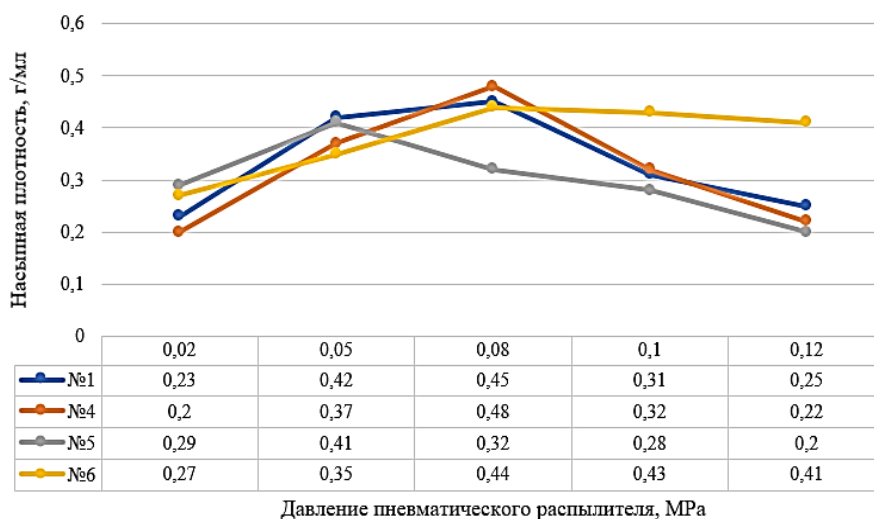


Рис. 6. Насыпная плотность гранул, в зависимости от давления пневматического распылителя

Было установлено, что показатель насыпной плотности получаемого продукта имел прямую зависимость от давления на пневматическом распылителе. Исходя из соображений удобства упаковки и снижения логистических издержек продукт с высокой насыпной плотностью является более предпочтительным при прочих равных условиях. Также установлено, что оптимальное давление для образцов № 1, № 4 и № 6 составило 0,08 МПа, для образца № 5 оптимальным явилось давление 0,05 МПа.

Следует отметить, что давление пневматического распылителя должно составлять 0,1 МПа, не более. Предполагается, что при создании более широкого конуса распыла может влиять отрицательно на показатели плотности гранул. Повышение давления воздуха на распылитель (свыше 0,1 МПа) приводило к снижению насыпной плотности гранул для всех образцов.

По результатам проведённой экспериментальной работы были установлены оптимальные параметры процесса распылительной сушки (табл. 4).

Таблица 4

**Оптимальные параметры процесса распылительной сушки
для полученных образцов**

Параметр	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4	Образец № 5	Образец № 6
Скорость подачи эмульсии мл/мин	15	–	–	10	5	30
Температура входящего воздуха, °С	70–80	–	–	70–80	70–80	70–80
Давление на форсунку, МПа	0,08	–	–	0,08	0,05	0,08

По результатам экспериментальной работы для образцов № 2 и № 3, вне зависимости от параметров распыления, не удалось провести процесс грануляции корректно, частицы при распылении образовывали крупные агломераты неправильной формы.

В результате экспериментальных исследований по подбору параметров подготовки исходных растворов для распыления и параметров распылительной сушки были получены экспериментальные образцы (табл. 5). Была проведена оценка основных показателей качества образцов — концентрации витаминов А и D₃ методом ВЭЖХ, массовая доля влаги и растворимость в воде при t = 50 °С, T = 5 мин, при ручном перемешивании. Масса исследуемого образца для определения растворимости составляла 0,5 г на 250 мл воды.

Таблица 5

**Показатели качества экспериментальных образцов
защищённых витаминов А/D₃ 1000/200 тыс. МЕ/г, для КРС**

№ образца	Содержание витамина А, МЕ/г	Содержание витамина D ₃ , МЕ/г	Массовая доля влаги, %	Растворимость
1	1 065 112	224 050	4,2±0,01	Не растворим
4	1 025 095	200 124	4,8±0,02	Не растворим
5	1 042 375	215 950	3,9±0,005	Не растворим
6	980 464	195 011	3,4±0,01	Растворим за 25 с

Было установлено, что концентрации активных веществ (витаминов А и D₃) образцов № 1, № 4 и № 5 на основе желатина, яблочного пектина и агар-агара соответствовали заявленному (А/D₃ 1000/200 тыс. МЕ/г, не менее). Гранулы были нерастворимыми в горячей воде, и могут использоваться для обогащения кормовых рационов крупного рогатого скота [4]. Для данных образцов будут проведены дополнительные исследования по устойчивости в биорелевантных средах на последующих этапах разработки.

Образец № 6 на основе смеси хитозана и яичного лецитина не выдержал испытания, концентрации активных веществ не соответствовали

заявленным. Гранулы оказались растворимы в воде. Для данного образца необходимо проведение дополнительных исследований по подбору технологических параметров и корректировка рецептуры.

Выводы

По результатам экспериментальных исследований были определены оптимальные параметры распылительной сушки для получения сухих сыпучих форм защищённых кормовых витаминов А/Д₃ для КРС. Оптимальной скоростью подачи эмульсии на форсунку для образца № 1 составило 15 мл/мин, для образца № 4 — 10 мл/мин, для образца № 5 — 5 мл/мин, для образца № 6 — 30 мл/мин. Были получены частицы с размерами от 200 до 700 мкм. Установлено, что оптимальная температура входящего воздуха для образцов № 1, № 4, № 5, № 6 составляет от 70 до 80 °С. При этом влажность полученных гранулы не превышала 8%. Оптимальное давление пневматического распылителя для образцов № 1, № 4 и № 6 составило 0,08 МПа, для образца № 5 оптимальным явилось давление 0,05 МПа. Концентрации активных веществ (витаминов А и Д₃) образцов № 1, № 4 и № 5 на основе желатина, яблочного пектина и агар-агара соответствовали заявленному (А/Д₃ 1000/200 тыс. МЕ/г, не менее), гранулы явились нерастворимыми в горячей воде. Образец № 6 на основе смеси хитозана и яичного лецитина не выдержал испытания, концентрации активных веществ не соответствовали заявленному.

Заключение

В настоящее время рацион сельскохозяйственных животных включает различные кормовые добавки, технологии производства которых требуют современных подходов. К таким подходам можно отнести разработанные композиции и технологию защищённого кормового витамина А/Д₃. В результате проведённых исследований наилучшими технологическими показателями обладали образцы № 1, № 4 и № 5, также были получены частицы с размерами от 200 до 700 мкм. Оптимальные технологические режимы обеспечивают концентрацию биологически активных веществ (витаминов А и Д₃) образцов № 1, № 4 и № 5 на основе желатина, яблочного пектина и агар-агара соответствовали заявленному (А/Д₃ 1000/200 тыс. МЕ/г, не менее).

Список источников

1. Малякко В.А., Малякко И.В. Значение кормовой базы в повышении продуктивности коров // Актуальные проблемы ветеринарии и интенсивного животноводства: сб. науч. трудов (г. Брянск, 1 октября 2013 г. – 2 октября 2015 г.). — Брянск: Брянская ГСХА, 2013. — С. 185–189.
2. Лушников Н.А., Костомахин Н.М. Повышение продуктивности животных и птицы при использовании нетрадиционных кормов и минеральных добавок // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2021. № 2. С. 3–14.

3. Pulidindi K., Kunal Ahuja K. Vitamin A market size. — URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/vitamin-a-market> (дата обращения: 12.09.2022).
4. Рудик В.А. Разработка защищённой формы кормового витамина D3 (холекальциферола) для крупного рогатого скота с применением технологии капсулирования в псевдооживленном слое // Новая экономика, бизнес и общество: сб. материалов конф. (г. Владивосток, 25 мая – 4 июня 2020 г.). — Владивосток, ДВФУ, 2020. — С. 885–893.
5. Патент РФ 2606757С2. Автор: Пенхаси А. Патентообладатель: Кипкул Лтд. Наслаивание и микроинкапсулирование термочувствительного биологически активного материала с использованием слоёв теплопоглощающего материала с возрастающими точками плавления. Опубликовано 10.01.2017, Бюл. № 1.
6. Shahidi F., Han X.Q. Encapsulation of food ingredients // *Critical Review in Food Science and Nutrition*. 1993. Vol. 33. P. 501–547. — DOI: 10.1080/10408399309527645.
7. Desai K.G.H., Park H.J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients // *Drying Technology*. 2005. Vol. 23. P. 1361–1394. — DOI: 10.1081/DRT-200063478.
8. Gouin S. Micro-encapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends // *Trends in Food Science and Technology*. 2004. Vol. 15. P. 330–347. — DOI: 10.1016/j.tifs.2003.10.005.
9. Gibbs B.F., Kermasha S., Alli I. [et al.]. Encapsulation in the food industry: A review // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 1999. Vol. 50. P. 213–224. — DOI: 10.1080/096374899101256.
10. King A.H. Encapsulation of food ingredients: A review of available technology, focusing on hydrocolloids. Encapsulation and controlled release of food ingredients // *American Chemical Society symposium series*. 1995. Vol. 590. P. 26–39.
11. Dziezak J.D. Microencapsulation and encapsulated ingredients // *Food Technology*. 1988. Vol. 2. No. 4. P. 136–151.
12. Dhakal S.P., He J. Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: A review // *Food Research International*. 2020. Vol. 137. — DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109326.
13. Mohammadi M.A., Farshi P., Ahmadi P. [et al.]. Encapsulation of Vitamins Using Nanoliposome: Recent Advances and Perspectives // *Advanced Pharmaceutical Bulletin*. 2023. Vol. 13. No. 1. P. 48. — DOI: 10.34172/apb.2023.005.
14. Mujica-Álvarez J., Gil-Castell O., Barra P.A. [et al.]. Encapsulation of vitamins A and E as spray-dried additives for the feed industry // *Molecules*. 2020. Vol. 25. No. 6. P. 1357. — DOI: 10.3390/molecules25061357.
15. Turchiuli C., Fuchs M., Bohin M. [et al.]. Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2005. Vol. 6. No. 1. P. 29–35. — DOI: 10.1016/j.ifset.2004.11.005.
16. Manu S.J., Ganesh B.L., Randhir B.C. [et al.]. Spray drying in pharmaceutical industry: A review // *Research Journal of Pharmaceutical Dosage Forms and Technology*. 2012. Vol. 4. No. 2. P. 74–79.
17. Vehring R., Foss W.R., Lechuga-Ballesteros D. Particle formation in spray drying // *Journal of Aerosol Science*. 2007. Vol. 38. No. 7. P. 728–746. — DOI: 10.1016/j.jaerosci.2007.04.005.
18. Gharsallaoui A., Roudaut G., Chambin O. [et al.]. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview // *Food Research Inter-*

- national. 2007. Vol. 40. No. 9. P. 1107–1121. — DOI: 10.1016/j.foodres.2007.07.004.
19. Egharevba H.O. Chemical properties of starch and its application in the food industry // Chemical properties of starch. 2019. Vol. 9. — DOI: 10.5772/intechopen.87777.
20. Bortnowska G. Multilayer oil-in-water emulsions: formation, characteristics and application as the carriers for lipophilic bioactive food components. A review // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. 2015. Vol. 65. No. 3. P. 157–166. — DOI: 10.2478/v10222-012-0094-0.
21. Lafarga T. Potential applications of plant-derived proteins in the food industry // Novel Proteins for Food, Pharmaceuticals and Agriculture. 2018. P. 117–137. — DOI: 10.1002/9781119385332.ch6.
22. Liang L.I., Luo Y. Casein and pectin: Structures, interactions, and applications // Trends in Food Science & Technology. 2020. Vol. 97. P. 391–403. — DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.027.
23. Brazel C.S. Microencapsulation: offering solutions for the food industry // Cereal Foods World. 1999. Vol. 44. No. 6. P. 388–393.
24. Perez-Alonso C., Baez-Gonzalez J.G., Beristain C.I. [et al.]. Estimation of the activation energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for their use as wall material for spray-dried microcapsules // Carbohydrate polymers. 2003. Vol. 53. P. 197–203. — DOI: 10.1016/S0144-8617(03)00052-3.
25. Patent US 6,444,227. Leuenberger B., Ulm J., Tritsch J.C., inventors; DSM Nutritional Products LLC, assignee. Process for preparing fatsoluble beadlets. 03.09.2002.
26. Patent WO 2015/169816. Aukrust I.R., Larsson H.M., Rove T., inventors; BASF SE, assignee. Formulation of fat-soluble vitamin. 05.05.2014.
27. Патент РФ 2745844: МПК А 23 К 40/30, А 23 К 10/30, А 23 К 20/158, А 23 К 20/174, А 61 К 9/51. Нанокapsулы жирорастворимого активного ингредиента, их производство и виды применения. Заявитель и патентообладатель АДИССЕО ФРАНС С.А.С. — № 2018135575; заявл. 17.03.2017; опубл. 01.04.2021. Бюл. № 10.
28. Патент РФ 2443120: МПК А 23 D 5/005. Заключённые в матрицу композиции, содержащие органические кислоты и жирные кислоты. Заявитель и патентообладатель НОВАС ИНТЕРНЭШНЛ ИНК. — № 2009122980/13; заявл. 13.11.2007; опубл. 27.02.2012. Бюл. № 36.
29. Федеральная служба ветеринарного и фитосанитарного надзора. Список зарегистрированных кормовых добавок. — URL: <https://galen.vetrif.ru/#/registry/feed/> (accessed 15.06.2022).
30. Preez A.D. All about feed, Managing moisture in animal feed production. — URL: <https://www.allaboutfeed.net/specials/managing-moisture-in-animal-feed-production/> (дата обращения: 11.12.2023).

Сведения об авторах / About authors

Подволоцкая Анна Борисовна, кандидат биологических наук, доцент, декан факультета биоэкономики и биобезопасности, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10. Заместитель директора, ООО “Арника”. 692481, Приморский край, Надеждинский муниципальный район, с. Вольно-Надеждинское, ТОО “Надеждинская”, ул. Центральная, 42. ORCID 0000-0002-7450-4362. E-mail: podvolotckaia.ab@dvfu.ru.

Anna B. Podvolotskaya, PhD in Biology, Associate Professor Research Engineer, Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690922. Deputy Director, LLC “Arnica”. 692481, Primorsky Krai, Nadezhdinsky municipal district, Volno-Nadezhdinsky, Nadezhdinskaya PDA, Tsentralnaya str., 42. ORCID 0000-0002-7450-4362. E-mail: *podvolotckaia.ab@dvfu.ru*.

Шинкарук Павел Алексеевич, инженер-исследователь, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. Технолог, Заместитель директора, ООО “Арника”. 692481, Приморский край, Надеждинский муниципальный район, с. Вольно-Надеждинское, ТОР “Надеждинская”, ул. Центральная, 42. ORCID 0009-0001-7653-6819. E-mail: *shinkaruk.pa@dvfu.ru*.

Pavel A. Shinkaruk, Research Engineer, Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690922. Technologist, LLC “Arnica”. 692481, Primorsky Krai, Nadezhdinsky municipal district, Volno-Nadezhdinsky, Nadezhdinskaya PDA, Tsentralnaya str., 42. ORCID 0009-0001-7653-6819. E-mail: *shinkaruk.pa@dvfu.ru*.

Марченко Максим Валерьевич, ассистент, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. Ведущий технолог, ООО “Арника”. 692481, Приморский край, Надеждинский муниципальный район, с. Вольно-Надеждинское, ТОР “Надеждинская”, ул. Центральная, 42. ORCID 0000-0002-6940-5394. E-mail: *Marchenok_MV@dvfu.ru*.

Maxim V. Marchenok, Assistant, Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690922. Leading technologist, LLC “Arnica”. 692481, Primorsky Krai, Nadezhdinsky municipal district, Volno-Nadezhdinsky, Nadezhdinskaya PDA, Tsentralnaya str., 42. ORCID 0000-0002-6940-5394. E-mail: *Marchenok_MV@dvfu.ru*.

Пентехина Юлия Константиновна, Ph.D., научный сотрудник, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. Руководитель сектора молекулярной биологии, биотехнологии и биоинформатики, ООО “Арника”. 692481, Приморский край, Надеждинский муниципальный район, с. Вольно-Надеждинское, ТОР “Надеждинская”, ул. Центральная, 42. ORCID 0009-0009-3133-1703. E-mail: *pentekhina.ik@dvfu.ru*.

Yulia K. Pentekhina, Ph.D., Researcher, Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690922. LLC “Arnica”. 692481, Primorsky Krai, Nadezhdinsky municipal district, Volno-Nadezhdinsky, Nadezhdinskaya PDA, Tsentralnaya str., 42. ORCID 0009-0009-3133-1703. E-mail: *pentekhina.ik@dvfu.ru*.

Егор Олегович Рочин, старший преподаватель, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. Главный технолог, ООО “Арника”. 692481, Приморский край, Надеждинский муниципальный район, с. Вольно-Надеждинское, ТОР “Надеждинская”, ул. Центральная, 42. ORCID 0000-0001-7291-7289. E-mail: *rochin_eo@dvfu.ru*.

Egor O. Rochin, Senior Lecturer, Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. Bld. G, FEFU Campus, Vladivostok, Russia, 690922. Chief technologist, LLC “Arnica”. 692481, Primorsky Krai, Nadezhdinsky municipal district, Volno-Nadezhdinsky, Nadezhdinskaya PDA, Tsentralnaya str., 42. ORCID 0000-0001-7291-7289. E-mail: *rochin_eo@dvfu.ru*.

© Подволоцкая А.Б., Шинкарук П.А., Марченко М.В.,
Пентехина Ю.К., Рочин Е.О. 2023

© Podvolotskaya A.B., Shinkaruk P.A., Marchenok M.V.,
Pentekhina Y.K., Rochin E.O., 2023

Адрес сайта в сети Интернет: <http://jem.dvfu.ru>