

Оценка влияния технологических параметров процесса распылительной грануляции эмульсий в псевдооживленном слое на физические характеристики гранул на примере производственного процесса получения кормового витамина А¹

Максим Марченко¹, Егор Рочин¹, Юлия Пентехина²,
Тамара Сенотрусова², Андрей Сидоренко^{1,2}, Николай Куприянов²

¹ ООО “Арника”, R&D “Agrobiotechnology”
с. Вольно-Надеждинское, Приморский край, Россия

² Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия

Информация о статье

Поступила в редакцию:

14.11.2023

Принята

к опубликованию:

22.12.2023

УДК 66.047-912

JEL N50

Ключевые слова:

технология распылительной сушки, грануляция, эмульсия, кормовой витамин А.

Keywords:

spray drying technology, granulation, emulsion, feed vitamin A.

Аннотация

В работе описаны результаты определения зависимостей между технологическими параметрами процесса распылительной сушки и физическими характеристиками гранул на примере процесса получения инкапсулированного кормового витамина А. В ходе работы было выявлено влияние параметров скоростей подачи эмульсии и вращения распылительной форсунки на размер и остаточную влажность гранул. Установлено, что параметры интенсивности подачи температуры воздуха влияют на остаточную влажность и насыпную плотность гранул. Наибольшее влияние на морфологию и структуру гранул оказывает параметр температуры технологического воздуха.

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2023-4/89-100>.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке по Соглашению о предоставлении субсидии от 25 июня 2021 г. № 075-11-2021-065 в рамках 13 очереди реализации Постановления Правительства от 9 апреля 2010 г. № 218 “Разработка промышленной технологии и организация в Дальневосточном федеральном округе высокотехнологичного производства кормового витамина А повышенной стабильности и биодоступности”.

Assessment of the Influence of Technological Parameters of the Process of Spray Granulation of Emulsions in a Fluidified Bed on the Physical Characteristics of Granules Using the Example of the Production Process of Producing Feed Vitamin A

Maxim V. Marchenok, Egor O. Rochin, Yulia K. Pentekhina,
Tamara A. Senotrusova, Andrey V. Sidorenko, Nikolay A. Kupriyanov

Abstract

The paper describes the results of experiments on determining the dependencies between the technological parameters of the spray drying process and the physical characteristics of granules during the process of producing encapsulated vitamin A feed. During the work, the influence of the parameters of the emulsion feed rate and the spray nozzle rotation speed on the size and residual moisture content of the granules was revealed. It was found that the parameters of the air temperature supply intensity significantly affect the residual moisture content and bulk density of the granules. Among the studied parameters, the parameter of the technological air temperature has the greatest impact on the morphology and structure of the granules: increased air temperature leads to swelling and disruption of the proper structure of the granules.

Введение

В настоящее время технология распылительной сушки широко применяется в различных направлениях промышленности, включая пищевую, фармацевтическую, кормовую и другие отрасли. Принцип распылительной сушки основан на высушивании горячим воздухом капель распыляемой, с помощью форсунки, смеси для получения сухих частиц в форме порошка или гранул. Принципиальное устройство распылительной сушки представлено на рис. 1.

Технология получения кормовых витаминов включает следующие этапы: раствор, содержащий необходимые компоненты подаётся с помощью насоса на распылительную форсунку, которая распыляет раствор в корпусе распылительной башни; через фильтрационную установку с помощью вентилятора поступает газ (обычно воздух), который прогревается на теплообменном узле и поступает в корпус распылительной башни; между каплями раствора и прогретым газом осуществляются процессы тепло- и влагообмена, в результате чего влага из капель испаряется и переходит в газовую среду, а капли переходят в твёрдое состояние — порошок или гранулы. Для отделения порошка от паровоздушной смеси часто используются циклонные установки, в которых, под воздействием центробежной силы, твёрдые частицы перемещаются вниз, а отработанный теплоноситель направляется вверх на фильтрационную установку для обеспыливания.

Процесс распылительной сушки зависит от большого числа параметров, влияющих на производительность и характеристики готового продукта, наиболее значимыми из которых являются: влажность и температура технологического воздуха (теплоносителя), влажность, размер, вязкость и температура капель раствора, расход воздуха (теплоносителя) и др. [1].

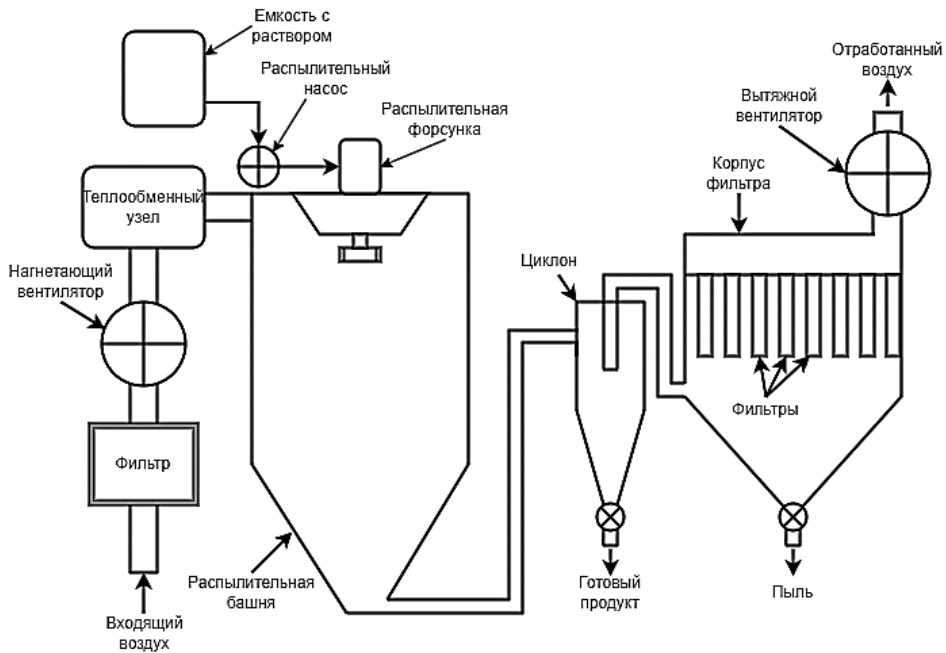


Рис. 1. Типовая схема системы распылительной сушки [1]

Отличительной особенностью разработанной технологии микро-капсулированных жирорастворимых витаминов является относительно крупный размер частиц продукта (0,25–0,8 мм), и сложный состав смеси для распыления, которая представляет собой эмульсию типа “жир в воде” [2].

Стабильность витаминов при хранении является важной качественной характеристикой гранулированных форм жирорастворимых витаминов, в том числе витаминов А и D₃. Витамин А (наиболее распространённая товарная форма — ретинол ацетат) и витамин D₃ (наиболее распространённая товарная форма — холекальциферол) подвержены быстрому окислению при контакте с кислородом воздуха [3–4].

Для снижения скорости окисления кормовых витаминов применяют антиоксиданты, такие как бутилгидрокситолуол или этоксиквин [2], однако, включение антиоксидантов в состав кормовых витаминов недостаточно для сохранения активности целевого вещества на протяжении длительного времени (более 12 мес.). Таким образом, одной из основных задач технологии распылительной сушки жирорастворимых витаминов является физическая изоляция жировой фазы (непосредственно витамина) от контакта с внешней средой (воздухом) с помощью барьера (оболочки) из водорастворимых компонентов.

Защитные свойства оболочки могут обуславливаться рядом параметров, например, степенью полимеризации или сшивки оболочки. Следует отметить, что морфология частиц, получаемых в процессе распылительной сушки, может оказывать большое влияние на стабильность гранул, на которую, в свою очередь, также влияют технологические па-

раметры (прямое влияние). На рис. 2 представлено влияние технологических параметров и характеристик раствора на морфологию гранул.

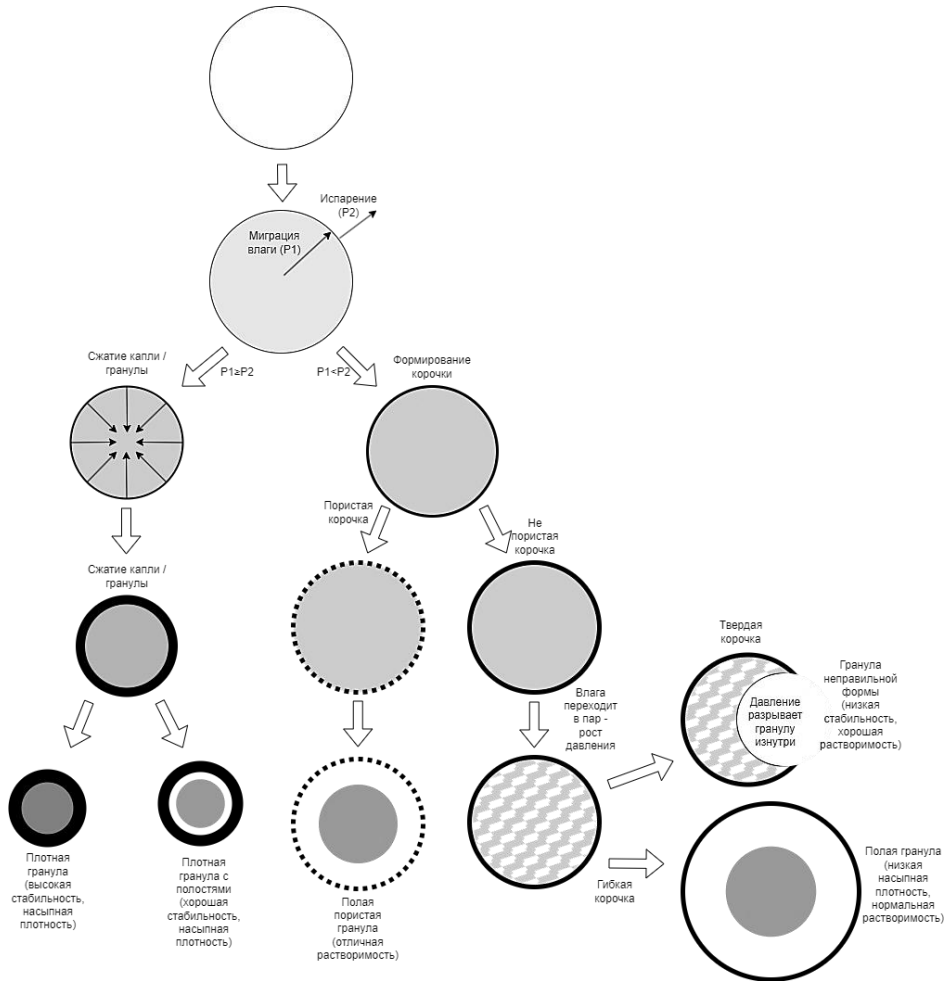


Рис. 2. Влияние технологических параметров и характеристик раствора на морфологию гранул [5–7]

Одним из ключевых факторов, оказывающим влияние на морфологию гранул, является баланс между скоростью испарения влаги с поверхности капли (гранулы) и скоростью миграции влаги из центра капли (гранулы) к её поверхности. Испарение влаги повышает концентрацию сухих веществ на поверхности капли, что обычно приводит к формированию плотной оболочки на её поверхности. Если скорость перемещения влаги из центра капли к её поверхности будет больше или равна скорости испарения влаги с поверхности, то капля начнёт сжиматься, формируя плотную частицу (гранулу), что будет препятствием для формирования плотной оболочки. При описанных условиях оболочка гранулы будет обладать повышенной стабильностью, благодаря плотной упаковке компонентов и уменьшенной площади поверхности гранулы. Если скорость испарения влаги с поверхности капли будет превышать скорость перемещения влаги к поверхности, то это будет способство-

вать образованию плотной оболочки и дальнейший процесс будет зависеть от состава раствора для распыления. Если сухие вещества образуют пористую оболочку, то она будет пропускать пары влаги, которые образуются внутри капли (гранулы), что приведёт к образованию полой гранулы с пористой оболочкой. Такая гранула будет обладать средней насыпной плотностью и высокой растворимостью. Если состав гранулы обеспечит образование плотной пластичной оболочки, то пары влаги останутся внутри гранулы, и возросшее давление приведёт к увеличению объёма оболочки гранулы. В данном случае, получившаяся гранула будет обладать увеличенным размером и низкой насыпной плотностью. В некоторых условиях такая оболочка может лопнуть, и тогда гранула пройдёт несколько циклов вздутия и сжатия, что приведёт к формированию гранул неправильной формы с разрывами [5–7]. Оба типа таких гранул будут обладать увеличенной площадью поверхности, в том числе увеличивается площадь контакта с воздухом, что является нежелательным для гранул высокоокисляющихся веществ.

В результате вышеизложенного можно сделать вывод, что среди технологических параметров на морфологию влияют: температура, скорость движения воздуха, а также физические характеристики капли, на которые кроме химического состава, влияют параметры распыления: скорость подачи раствора и скорость вращения форсунки.

Однако, влияние состава эмульсии на характеристики гранул опубликовано ранее [8], поэтому, в связи с вышесказанным, данная работа направлена на изучение влияния параметров распылительной сушки (температура и скорость подачи воздуха, скорость подачи смеси, скорость вращения форсунки и др.) на качественные характеристики гранул кормового витамина А, а именно — морфологию и насыпную плотность.

Материалы и методы исследования

Методика проведения экспериментальных запусков производственной линии для получения кормового витамина А. Оценку влияния технологических параметров на физические характеристики гранул проводили на промышленной установке производства инкапсулированного кормового витамина А. Принципиальная схема установки представлена на рис. 3.

Для распыления использовали эмульсию, в состав которой входят следующие основные компоненты: ретинол ацетат, этоксиквин, крахмал и другие углеводы.

Экспериментальные работы выполняли в следующем порядке: на первом этапе с помощью высокоскоростной мешалки получали эмульсию, смешав раствор водорастворимых компонентов со стабилизированным раствором витамина А, далее полученную эмульсию перекачивали в бак для распыления, откуда она подавалась по трубопроводу с обогревом на распылительную форсунку установки распылительной грануляции.

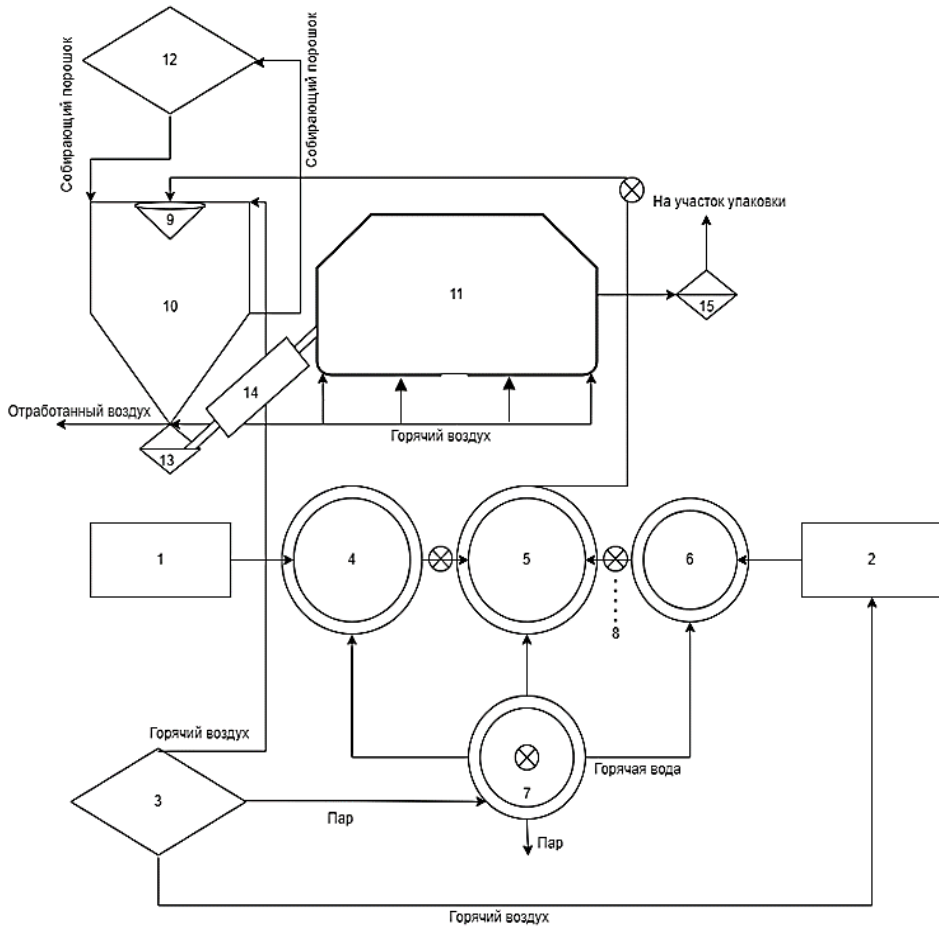


Рис. 3. Аппаратная схема производства кормового витамина А:

1 — бункер для загрузки сыпучих компонентов; 2 — камера нагрева масла ретинола; 3 — котельная; 4 — бак для эмульгирования с водяным обогревом, оснащённый эмульгирующим перемешивающим устройством; 5 — бак для распыления с водяным обогревом, оснащённый лопастным перемешивающим устройством; 6 — масляный бак, оснащённый высокоскоростным перемешивающим устройством; 7 — бак нагрева воды; 8 — жидкостные насосы; 9 — распыляющее устройство, оснащённое центробежной распылительной головкой; 10 — распылительная башня; 11 — установка псевдооживленного слоя для досушивания гранул; 12 — накопительный бункер для собирающего порошка; 13 — промежуточное сито-сепаратор; 14 — шнековый транспортер; 15 — сито-сепаратор готовой продукции

Установку распылительной суши переводили в режим готовности к распылению, настраивая частоты приводов узлов, температуру воздуха и другие параметры. Подача горячего воздуха в башню осуществлялась снизу вверх по вертикальной траектории. Одновременно с подачей воздуха в башню подавали поток сухого крахмала из накопительного бункера, образующего псевдокипящий слой на дне башни и служащего в роли антислеживающего агента. Эмульсия, достигнув форсунки ротационного типа, распылялась под действием центробежной силы внутри корпуса башни в форме капель. Капли попадали в облако взвеси крахмала и высыхали под воздействием горячего воздуха,

формируя частицы. Частицы опускались на дно башни, и выгружались вместе с крахмалом на сито-сепаратор, где отделялись от крахмала. Образцы для исследования отбирались непосредственно с после сепарации на сите.

Насыпную плотность (объёмную массу) микрогранул определяли по ГОСТ 28254-89. Содержание влаги в образцах определяли по ГОСТ Р 54951-2012. Размер частиц определяли согласно ГОСТ 13496.8-72. Методом микроскопирования определяли внешний вид полученных гранул экспериментальных образцов: фиксировали отсутствие или наличие дефектов структур гранулята (разрыв, сжатие, вздутие и т.д.).

Перечень регулируемых технологических параметров процесса производства кормового витамина А. В рамках данного экспериментального исследования регулировали следующие параметры технологического процесса:

1. Скорость подачи эмульсии в распылитель (Чп) — по умолчанию значение составляло 1,0 л/мин.

2. Скорость вращения ротационной форсунки для распыления эмульсии (Ф) — по умолчанию значение составляло 10 000 об/мин.

3. Интенсивность подачи воздуха в корпус распылительной башни (производительность подающего вентилятора, Чв) — по умолчанию значение составляло 9100 м³/час.

3. Температуру входящего воздуха (Т) — по умолчанию значение составляло 140 °С.

Проводили серию экспериментов по получению кормового витамина А методом грануляции распылительной сушкой. В рамках каждого экспериментального запуска регулировали один из четырёх технологических параметров, остальные параметры не менялись и были идентичными. Всего было проведено 4 экспериментальных запуска распылительной сушки. Состав и метод приготовления эмульсии для распылительной сушки не менялся. Отбор точечных проб для анализа осуществляли на протяжении всего процесса, каждые 20 мин от момента начала распыления. Для оценки влияния регулируемых параметров на характеристики гранул было отобрано и проанализировано по пять проб для каждого экспериментального запуска.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведённых исследований осуществили оценку влияния технологических параметров производства кормового витамина А путём распылительной грануляции эмульсий в псевдооживленном слое. Для этого провели экспериментальные запуски распылительной сушки, при которых меняли один из четырёх исследуемых параметров (см. таблицу).

В процессе эксперимента № 1 регулировали скорость подачи эмульсии (производительность подающего насоса) и определяли характеристики гранул готового кормового витамина А. Диапазон скорости подачи эмульсии составил от 0,8 л/мин до 1,6 л/мин. В результате эксперимента прослеживается прямая зависимость между скоростью по-

дачи эмульсии и размером гранул, и их влажностью. Насыпная плотность гранул снижается при снижении скорости подачи эмульсии менее 0,8 л/мин. Внешний вид гранул изменяется с ростом скорости подачи эмульсии: чем выше скорость подачи эмульсии, тем больше размер гранул и меньше деформация, что вероятно обусловлено увеличением массовой доли влаги в результате снижения интенсивности сушки.

Характеристики гранул кормового витамина А, отобранных в процессе экспериментальных запусков № 1–4

№ пробы	Регулируемый параметр	Насыпная плотность гранул, кг/л	Массовая доля влаги, %	Средний размер гранул, мкм
Эксперимент №1				
Скорость подачи эмульсии, л/мин				
1	0,6	0,34	7,1	411
2	0,8	0,42	7,5	416
3	1,0	0,47	8,4	447
4	1,2	0,47	9,6	537
5	1,4	0,46	11,4	582
Эксперимент № 2				
Скорость вращения форсунки, об/мин				
1	5 000	0,45	9,4	673
2	7 500	0,44	9,2	514
3	10 000	0,46	8,6	427
4	12 500	0,45	8,2	394
5	15 000	0,45	7,4	328
Эксперимент № 3				
Т входящего воздуха, °С				
1	110	0,50	13,6	451
2	120	0,48	11,4	433
3	130	0,46	9,6	448
4	140	0,45	8,5	459
5	150	0,41	6,9	487
Эксперимент № 4				
Интенсивность подачи воздуха, м ³ /ч				
1	7 600	0,49	8,4	428
2	8 350	0,46	8,0	430
3	9 100	0,41	7,4	441
4	9 850	0,43	7,2	439
5	10 600	0,42	6,9	435

В процессе эксперимента № 2 регулировали скорость вращения распылительной форсунки. Диапазон скорости вращения форсунки составил от 5 000 об/мин до 15 000 об/мин. По результатам эксперимента выявлена обратная зависимость между скоростью вращения форсунки, размером гранул и их влажностью. Насыпная плотность гранул изменялась в пределах погрешности измерений. Принципиальных отличий во внешнем виде гранул отмечено не было. Поверхность большинства гранул была неровная с присутствием деформаций, вероятно, вызванных неравномерной усадкой гранул в процессе сушки. Крупные гранулы (преимущественно более 1,0 мм в диаметре) обладали признаками вздутия.

В ходе эксперимента № 3 регулировали температуру входящего воздуха и определяли характеристики гранул. Диапазон температуры составлял от 110 °С до 150 °С. Установлено, что температура входящего воздуха значительно повлияла на влажность и насыпную плотность гранул, что обосновано прямым воздействием температуры воздуха на интенсивность тепло- и массообмена в процессе сушки: при повышении температуры массовая доля влаги и насыпная плотность снижается. При этом важно отметить, что повышение температуры приводит к увеличению среднего размера гранул — в образцах, полученных при повышенных температурах, наблюдалась увеличенная доля полых гранул с увеличенным размером. Результаты микроскопирования показали, что образцы, полученные при более низких температурах, обладали более гладкой поверхностью и более правильной формой, чем образцы, полученные при высоких температурах. Следует отметить, что образцы, полученные при температуре 150 °С отличались множеством деформаций, характеризующихся бугристой поверхностью и крошливостью.

В эксперименте № 4 регулировали интенсивность подачи воздуха и определяли характеристики гранул готового кормового витамина А. Диапазон интенсивности подачи составил от 7 600 до 10 600 м³/ч. Следует отметить, что параметр интенсивности работы подающего воздух вентилятора, в рамках конструктивного устройства технологической линии, обеспечивал поддержание слоя крахмала в корпусе сушильной установки в состоянии псевдооживления. В результате эксперимента установлено, что при работе вентилятора с низкой мощностью (менее 7 600 м³/ч) или с высокой мощностью (более 11 000 м³/ч) поддержание псевдооживленного слоя крахмала на дне башни невозможно. Результаты данного эксперимента показали, что большинство физико-технологических характеристик полученных гранул кормового витамина А изменялись незначительно. При этом, прослеживается уменьшение массовой доли влаги экспериментальных образцов с ростом производительности подающего воздух вентилятора снизу. Эксплуатация данного нагнетающего вентилятора в режиме повышенной нагрузки (свыше 9100 м³/ч по умолчанию) может быть применима в случае необходимости снижения массовой доли влаги в гранулах, получаемых после грануляции методом распылительной сушки. Внешний вид гранул, полученных в результате экспериментального запуска № 4 не имеет суще-

ственных различий. Гранулы представляли собой умеренно шероховатую структуру с некоторыми присутствовали деформациями.

Выводы

В результате проведённых исследований были подтверждены и установлены следующие зависимости между характеристиками гранул и технологическими режимами процесса:

– чем выше скорость подачи эмульсии, тем больше размер и массовая доля влаги гранул;

– чем выше скорость вращения форсунки, тем меньше размер и массовая доля влаги получаемых частиц;

– чем выше температура воздуха, тем ниже насыпная плотность, массовая доля влаги и хуже структура гранул;

– чем интенсивнее подача воздуха снизу, тем ниже массовая доля влаги получаемых гранул, насыпная плотность нелинейна, наблюдаются незначительные изменения характеристик гранул.

Установлена зависимость насыпной плотности получаемых гранул от температуры входящего воздуха. Образцы, полученные при более низких температурах, обладали более гладкой поверхностью и более правильной формой (насыпная плотность от 0,48 до 0,50 кг/л), чем образцы, полученные при высоких температурах (насыпная плотность от 0,41 до 0,46 кг/л). Повышенная насыпная плотность образцов, полученных при низких температурах воздуха, коррелирует с увеличением остаточной влажности в гранулах продукта, что, очевидно, связано с замедлением процессов тепло- и массообмена в процессе сушки, обусловленных снижением влагоёмкости воздуха вследствие снижения его температуры. Следует отметить, что образцы, полученные при температуре 150 °С, отличались множеством деформаций, характеризующихся бугристой поверхностью и крошливостью, что может свидетельствовать о слишком быстром формировании твёрдой корочки на капле раствора и последующих циклах вздутия-сжатия частицы в процессе сушки.

В результате полученных данных можно сделать следующий вывод: снижение температуры входящего воздуха (110–120 °С и ниже), при грануляции методом распылительной сушки, способствует улучшению внешнего вида гранул, их структуры и повышению насыпной плотности. Для удаления из гранул излишков влаги предполагается использование дополнительного этапа щадящей сушки, для этого может использоваться этап подсушивания гранул в псевдооживленном слое на дополнительной установке при низкой температуре.

Альтернативным способом снижения массовой доли остаточной влаги в гранулах продукта может являться уменьшение среднего размера частиц с помощью увеличения скорости вращения форсунки и (или) увеличение потока технологического воздуха. Однако, при этом, поток технологического воздуха в установках рассматриваемого типа может изменяться в небольших пределах, обеспечивающих нормальное функционирование псевдокипящего слоя. Излишнее увеличение потока воздуха приведёт к нарушению кипящего слоя на дне установки, что может при-

вести к агломерации влажных частиц внутри корпуса распылительной башни. Уменьшение среднего размера частиц (капель) за счёт ускорения вращения распылительной форсунки повышает площадь контакта капель с теплоносителем (воздухом), что способно компенсировать снижение скорости тепло- и массообмена в процессе сушки. Однако такой продукт вследствие увеличения удельной площади поверхности гранул может обладать пониженной стабильностью при хранении.

Для определения влияния исследованных факторов на стабильность гранул кормового витамина А все, наработанные в процессе проведённого эксперимента, образцы были заложены на хранение в нормальных условиях для контроля стабильности (концентрации) ретинола ацетата в промежутке времени.

Полученные результаты будут использованы в разработке технологии производства инкапсулированного кормового витамина А в целях оптимизации технологических параметров.

Список источников

1. Талипова И.П., Арсланов И.М. Расчёт сушильных установок. Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов по направлениям подготовки бакалавров: 15.03.02 — Технологические машины и оборудование (Машины и аппараты пищевых производств), 13.03.01 — Теплоэнергетика и теплотехника (Промышленная теплоэнергетика) / Под ред. И.П. Талиповой. – Набережные Челны: ИПЦ НЧИ КФУ, 2019. — 69 с.
2. Марченко М.В., Рочин Е.О., Гончаренко С.И. [и др.] Современные методы получения защищённых форм кормового витамина D₃ // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. статей по материалам ХСХVI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Новосибирск, 27 декабря 2023 г.). — Новосибирск: Сибирская академическая книга, 2023. — С. 20–27. — EDN WMYJMU.
3. Rucker R.B., Zempleni J., Suttie J.W. [et al.]. Handbook of Vitamins. — 4th ed. — CRC Press, 2012. — 608 p. — DOI 10.1201/9781420005806.
4. Mahmoodani F., Perera C.O., Abernethy G. [et al.]. Lipid oxidation and vitamin D₃ degradation in simulated whole milk powder as influenced by processing and storage // Food Chemistry. 2018. Vol. 261. P. 149–156.
5. Santos D., Maurício A.C., Sencadas V. [et al.]. Spray Drying: An Overview // Biomaterials — Physics and Chemistry — New Edition. InTech. 2018. 114 p. — DOI: 10.5772/intechopen.72247.
6. Verhey J.G.P. Vacuolenvorming bij het verstuijingsdrogen (Vacuole formation during spray drying). — Wageningen, 1973. — ISBN 978-902200-450-0.
7. Sadek C., Schuck P., Fallourd Y. [et al.]. Drying of a single droplet to investigate process–structure–function relationships: a review // Dairy Science & Technology. 2015. Vol. 95. P. 771–794. — DOI 10.1007/s13594-014-0186-1.
8. Подволоцкая А.Б., Шинкарук П.А., Марченко М.В. и др. Обоснование рецептурных компонентов и определение параметров распылительной сушки при получении кормового витамина А/D₃ // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2023. № 3 (107). С. 122–136. — DOI 10.24866/2311-2271/2023-3/122-136. — EDN YXZBOG.

Сведения об авторах / About authors

Марченко Максим Валерьевич, ведущий технолог производства “Кормбиосинтез”, цех витаминов, ООО “Арника”. 692481, Россия, Приморский край, с. Вольно-Надеждинское, ул. Центральная, 42. ORCID: 0000-0002-6940-5394. E-mail: marchenok_mv@dvfu.ru.

Maksim V. Marchenok, Lead Technologist of the KormbiosynteZ, Arnika Ltd. 42 Centralinaya st., TOR “Nadezhdinsky”, Nadezhdinsky region, Primorsky Krai, Russia. ORCID: 0000-0002-6940-5394. E-mail: marchenok_mv@dvfu.ru.

Рочин Егор Олегович, главный технолог производства “Кормбиосинтез”, цех витаминов, ООО “Арника”. 692481, Россия, Приморский край, с. Вольно-Надеждинское, ул. Центральная, 42. ORCID: 0000-0001-7291-7289. E-mail: rochin_eo@dvfu.ru.

Egor O. Rochin, Chief Technologist of the KormbiosynteZ, Arnika Ltd. 42 Centralinaya st., TOR “Nadezhdinsky”, Nadezhdinsky region, Primorsky Krai, Russia. ORCID: 0000-0001-7291-7289. E-mail: rochin_eo@dvfu.ru.

Пентехина Юлия Константиновна, Ph.D., научный сотрудник, Передовая инженерная школа “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. ORCID: 0009-0009-3133-1703. E-mail: pentekhina.ik@dvfu.ru.

Yulia K. Pentekhina, Ph.D., Research Scientist of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. FEFU Campus, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922, Russia. ORCID: 0009-0009-3133-1703. E-mail: pentekhina.ik@dvfu.ru.

Сенотрусова Тамара Алексеевна, кандидат технических наук, доцент Передовой инженерной школы “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. ORCID: 0000-0003-0580-3235. E-mail: senotrusova.tale@dvfu.ru.

Tamara A. Senotrusova, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. FEFU Campus, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922, Russia. ORCID: 0000-0003-0580-3235. E-mail: senotrusova.tale@dvfu.ru.

Сидоренко Андрей Владимирович, главный механик производства “Кормбиосинтез”, цех витаминов, ООО “Арника”. Приморский край, Надеждинский район, ТОР “Надеждинская”, Центральная, 42. Механик Передовой инженерной школы “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. E-mail: sidorenko.avla@dvfu.ru.

Andrey V. Sidorenko, Chief Mechanical Engineer of the “KormbiosynteZ”, Arnika Ltd. 42 Centralinaya st., TOR “Nadezhdinsky”, Nadezhdinsky region, Primorsky Krai, Russia. Mechanic of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. FEFU Campus, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922, Russia. E-mail: sidorenko.avla@dvfu.ru.

Куприянов Николай Алексеевич, главный специалист Передовой инженерной школы “Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем”, Дальневосточный федеральный университет. 690922, Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10. E-mail: kupriyanov.na@dvfu.ru.

Nikolay A. Kupriyanov, Chief Specialist of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University. FEFU Campus, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922, Russia. E-mail: kupriyanov.na@dvfu.ru.

© Марченко М.В., Рочин Е.О., Пентехина Ю.К.,
Сенотрусова Т.А., Сидоренко А.В., Куприянов Н.А., 2023
© Marchenok M.V., Rochin E.O., Pentekhina Yu.K.,
Senotrusova T.A., Sidorenko A.V., Kupriyanov N.A., 2023

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