

чи дисперсной фазы при составлении эмульсии, имеющей заданную жирность. При использовании щели, ширина которой составляет 0,5–0,9 мм наблюдается 3–5 кратное снижение энергетических затрат, относительно варианта с использованием щели, ширина которой составляет менее 0,5 мм.

Результаты экспериментальных исследований позволяют утверждать, что для получения молочных продуктов, имеющих высокие дисперсные характеристики необходимо использовать сливки жирностью 25–40%, при этом скорость подачи сливок должна находиться в пределах 10–40 м/с. Результаты дальнейших экспериментов свидетельствуют о том, что для получения молока с средним размером жировых шариков в пределах 0,8–1,2 мкм необходимо устанавливать минимальный размер (0,5 мм и меньше) ширины щели и применять сливки, жирность которых находится в пределах 30–40% [2].

Полученные результаты позволяют утверждать, что наименьший диаметр жировых шариков после диспергирования обеспечивается при скорости подачи сливок 10 и 110 м/с. Однако, поскольку в последнем варианте процесс будет проходить по типу клапанного гомогенизатора, рациональным параметром скорости сливок является 10 м/с [2].

Результаты оптимизации скорости подачи сливок свидетельствуют о том, что при использовании сливок жирностью 40% для получения молочной эмульсии жирностью 3,5% скорость сливок должна находиться в пределах 11–13 м/с. При этом энергозатраты на гомогенизацию не будут превышать 0,7–0,75 кВт·ч/т. Результаты оптимизации, для жирности сливок, свидетельствуют о том, что минимальные энергозатраты при среднем размере жировых шариков на уровне 0,85 мкм и ширине щели 0,4–0,6 мм обеспечиваются при использовании сливок, жирность которых составляет 40–42%.

Оценка экономической эффективности внедрения гомогенизатора свидетельствует о том, что промышленный образец диспергатора при замене на него базового варианта К5–ОГ2А–1,25 обеспечивает 56% снижение эксплуатационных затрат, 59% экономии электроэнергии. Годовой экономический эффект от внедрения струйно-щелевого гомогенизатора 292200 грн, срок его окупаемости составляет 0,29 года.

#### Литература

1. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій : автореф. дис ... док. техн. наук: 05.18.12// – Харків, 2018 . – 44 с.
2. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Колодій О. С., Лебідь М. Р. Експериментальні дослідження параметрів струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків щільового типу // Праці ТДАТУ імені Дмитра Моторного. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 117–129.
3. Walstra P, Wouters J T M and Geurts T J. Homogenization. In: Dairy Science and Technology. Second Edn. Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton London New York. 2006, p. 279.

УДК 66.047.57:582.28–047.28

#### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСУШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОРМОВ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ**

**Середюк В.В.<sup>1</sup>, Чепелюк Е.А.<sup>2</sup>**, к.т.н., доцент, **Чепелюк А.Н.<sup>2</sup>**, к.т.н., доцент  
<sup>1</sup>ООО «Новофарм-Биосинтез», г. Новоград-Волынский, <sup>2</sup>НУПТ, г. Киев, Украина

В промышленности особое внимание уделяется эффективному использованию материальных ресурсов. Одним из них является мицелий, образуемый при производстве лимонной кислоты. Удельный выход мицелия на 1 т лимонной кислоты при поверхностном способе брожения составляет 160 кг, при глубинном – 230 кг. Значительное содержание в мицелии органических и минеральных веществ, витаминов, ферментов делает его ценным сырьем для производства кормов для животных [1]. На сегодня лишь незначительная часть мицелия высушивается, остальное – используется для откорма животных после инактивации и частичного обезвоживания прессованием.

Одним из способов переработки мицелиальной биомассы является повторное использование грибкового мицелия для ферментации лимонной кислоты [2], однако сложность реализации этой технологии делает его нерентабельным. Более эффективным является получение кормов из мицелия, который высушивают преимущественно в сушильных аппаратах барабанного типа. Их использование связано с большими затратами энергоресурсов и требует определения специальных режимов для сушки конкретной продукции, поэтому совершенствование конструкции такого оборудования является актуальной задачей.

Цель работы – обоснование конструкционных и режимных параметров работы усовершенствованной барабанной сушилки, в которой используется контактно-конвективный способ обогрева, для сушки смеси мицелия с отрубями. Влажность мицелия – около 70%. Смешивание его с пшеничными отрубями в разной пропорции обеспечивает снижение влажности до оптимального показателя с точки зрения энергоэффективности процесса и снижение липкости сырья при высушивании.

Рассматривается барабанная сушилка с насадками, выполненными в виде пустотелых ковшей, установленных по внутренней поверхности барабана по всей его длине с наклоном 1–2° относительно образующей цилиндра в направлении разгрузки. Теплоагент подается внутрь сушилки и в каждый из ковшей.

В ходе моделирования учтены изменения теплофизических характеристик мицелия в процессе сушки. При имитационном моделировании в пакетах Flow Vision и Solidworks Flow Simulation использована модель Пористая среда.

Материал движется в барабане, постепенно прогревается от начальных 40°C до конечной температуры, которая зависит от условий теплообмена. Во время сушки температура слоя мицелия изменяется по степенному закону, приобретая наибольших 82,6 °C при температуре теплоносителя 85 °C (рис.1).

При высушивании мицелия, который в дальнейшем будет использован как составляющая кормов, рекомендуется, чтобы его температура не превышала 80°C для сохранения питательных веществ и ферментов, поэтому для рассматриваемой конструкции сушилки температура теплоносителя должна составлять 81,5 °C

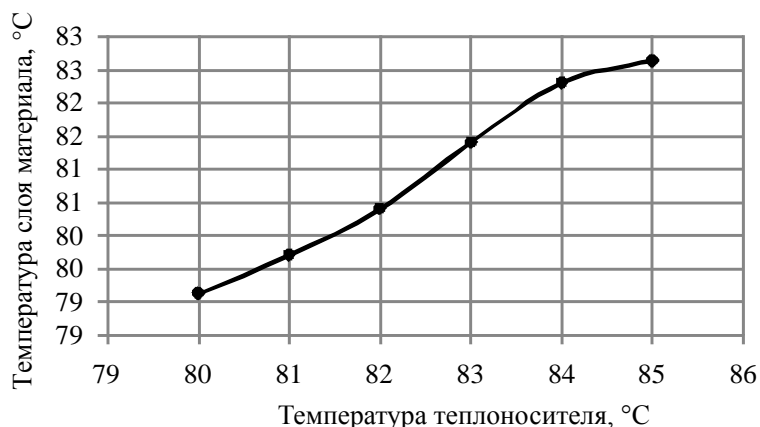


Рисунок 1 – Зависимость температуры слоя материала на выходе из сушилки от температуры теплоносителя

Температура продукта в усовершенствованном варианте сушилки увеличивается на 3,07%. Температура слоя материала достигает заданных значений при прохождении 6 м сушилки и в дальнейшем не меняется. Предложенный способ обогрева позволяет уменьшить размеры сушилки и увеличить ее производительность.

Выводы. Насадки внутри барабана сушилки целесообразно выполнять в виде полых ковшей, в которые подается теплоагент. Это приводит к созданию конвективно-кондуктивного теплообмена в сушилке и обеспечивает значительное увеличение напряжения по удаляемой влаге с единицы ее объема, уменьшает продолжительность сушки материала. Рациональным режимом работы усовершенствованной сушилки является температура теплоносителя 81,5 °C.

Литература

1. Клишанец Е.Т. Исследование свойств хитина различного происхождения [Текст] / Е.Т. Клишанец, Т.П. Троцкая, З.В. Апанович // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2015. – №1 (198). – С.99 – 104.
2. Ikram ul Haq. Re-use of fungal mycelium for the production of citric acid by *Aspergillus niger* / Ikram ul Haq, Sauda Ali, Asad Rehman // Pakistan Journal of Botany. – 2003. –35(4). – P. 553 – 556.
3. Пат. 119355 Україна, МПК F26B 11/04 (2006.01), Барабанна сушарка [Текст] / Середюк В.В., Прохоров О.М.; № и 2017 02771; Заявл. 24.03.2017; Опубл. 25.09.2017, Бюл.№18.

УДК 663.1

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ  
МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СРЕДАХ**

**Соколенко А.И.**, д.т.н., профессор, **Бойко А.О.**, к.т.н., доцент  
НУПТ, г. Киев, Украина

Газожидкостные среды с диспергированной газовой фазой в значительной мере представлены в бродильных технологиях и в технологиях, связанных с синтезом микробных культур. В первом случае они представлены как анаэробные, а во втором – как аэробные. Очевидно, что эти особенности определяют природу газа диспергированной фазы. В анаэробной системе – это диоксид углерода, а в аэробной – это смесь азота, кислорода и диоксида углерода. Хотя физико-химические свойства названных газов различные, однако их диспергированные в жидкостной фазе массивы создают подобные физические поля и подобно реагируют на внешние возмущения систем. Очевидно, что самогенерирование газовой фазы  $\text{CO}_2$  в среде связано с внутренним массообменом, а в условиях аэробных процессов диспергированная воздушная фаза генерируется за счет барботажных или других процессов. В обоих случаях интенсификация массообмена связана с гидродинамическим состоянием сред и возможностями физического воздействия на них энергоматериальными импульсами. В связи с изложенным рассмотрим взаимосвязи между геометрическими характеристиками аппаратов и сред, гидродинамическими параметрами, механическими импульсными воздействиями и массообменом.

Проявление энергетических последствий сбраживания сред происходит в следующей последовательности.

Во-первых, в результате жизнедеятельности микроорганизмов достигается накопление в жидкостной фазе спирта и диоксида углерода с постепенным приближением к состоянию насыщения. При этом время наступления такого насыщения на  $\text{CO}_2$  в переходном процессе и его числовой показатель зависят от величины гидростатического давления. В связи с этим зона образования газовой фазы в форме пузырьков начинается с поверхности жидкой фазы и постепенно расширяется в сторону углубления в среду.

Результаты исследований и их обсуждение

По известной и программируемой скорости сбраживания среды возможным является определение скорости синтеза  $\text{CO}_2$   $dc_n/d\tau$ , кг/( $\text{м}^3 \cdot \text{с}$ ). Тогда при условии стабильной концентрации микроорганизмов и других параметров брожения записываем для элементарного слоя толщиной  $dx$  на высоте  $x$  (рис. 1) условие:

$$\left(\frac{dc_n}{d\tau}\right)\tau_{(x)} = k_r(P_0 + mgx), \quad (1)$$

где  $\tau_{(x)}$  – Время достижения полного насыщения слоя на высоте  $x$ ;  $P_0$  – внешнее давление;  $m$  – удельная масса жидкой фазы