



Рисунок 1. Производственные цепочки на основе молочного сырья

Комплекс мероприятий по модернизации и техническому переоснащению молокоперерабатывающих организаций, которые повлияют на увеличение производственных мощностей, включает: модернизацию и техпереоснащение действующих цехов и технологических линий по производству сыров, цельномолочной продукции, создание новых производств и модернизация действующих по производству сухих молочных продуктов (сухих молочных смесей для детского питания, сыворотки и продуктов на ее основе, сухого молока), создание новых молочных продуктов для спортивного питания.

В 2022 году мероприятия по модернизации, указанные в Стратегии были актуализированы и заложены в План мероприятий по развитию молокоперерабатывающей отрасли на 2022–2025 годы, утвержденный Министром сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 29 сентября 2022 г. В Плате определены основные мероприятия, направленные на развитие сырьевой базы, актуализированы меры по модернизации молокоперерабатывающих организаций и загрузке мощностей.

Строительство новых, реконструкция и модернизация действующих производств организаций молочной промышленности будет осуществляться с использованием новейших достижений как отечественной, так и зарубежной науки и передовой практики.

УДК 664.724

**Казарцев Д.А., доктор технических наук, доцент**

Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, Российская Федерация

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной в 2020 г. уровень самообеспечения сельскохозяйственной продукцией, в частности зерном, должен сос-

тавлять не менее 95 %. Отсюда следует актуальность не только выращивания зерновых культур, но и их дальнейшая послеуборочная обработка, в том числе сушка.

В настоящее время в России наблюдается нехватка мощностей для хранения зерна. По оценкам специалистов негде хранить от 10 до 20 млн т зерна. Большинство элеваторов построены более 40 лет назад и нуждаются в реновации. В связи с этим остро стоит вопрос о закупке и модернизации оборудования для элеваторов, в частности зерносушилок.

По данным Федеральной таможенной службы в Россию в среднем в год поставляется около 200 зерносушилок импортного производства. Около 450 единиц зерносушильного оборудования поставляют отечественные производители. Но, как отмечают специалисты, даже при столь высоких объемах наблюдается дефицит рынка. Такой дефицит объясняется тем, что многие сельхозпроизводители, как крупные агрохолдинги, так и небольшие фермерские хозяйства, отдают предпочтение строительству собственных элеваторов, которые обеспечивают качественную сушку и хранение зерна.

В настоящее время сушка зерновых культур на элеваторах производится главным образом на шахтных сушильных установках различных модификаций. Наиболее распространенными зерносушилками импортного производства являются следующие. Модульные шахтные зерносушилки непрерывного действия «Mathews Company» (США) моделей 975EM, 1075EM, 1175EM, 1195EM, 3180EM различной производительности (рис. 1а). Компания Cimbria является европейским лидером в производстве широкого ассортимента оборудования для сушки зерновых культур (рис. 1б). Немецкая компания PETKUS производит шахтные сушилки непрерывного действия типа DWU для сушки зерна, кукурузы, масличных культур, а также сыпучего гранулированного материала (рис. 1в). Также широко распространены шахтные сушилки и других зарубежных производителей, таких как Tornum (Швеция), Riella (Германия), Araj (Польша), сушилки Турецких производителей и другие.

Российские компании так же производят сушильное оборудование для элеваторов, например, Мельинвест, Воронежсельмаш, Агрострой и многие другие выпускают шахтные, жалюзийные, колонковые и др. виды сушилок.

Практически все производимые зерносушилки для крупных элеваторов как зарубежного, так и отечественного производства используют конвективный метод подвода теплоты к продукту с нагревом воздуха газовыми горелками линейного или факельного типов. Одним из главных отличий зерносушилок отечественного и импортного производства является наличие в импортных сушилках систем автоматического управления процессом.



а)

Модульная шахтная зерносушилка «Mathews Company»



б)

Шахтная зерносушилка компании Cimbria



в)

Шахтная сушилка компании PETKUS

Рисунок 1. Современные зерносушильные установки импортных производителей

Не смотря на это всем известным на сегодняшний день как отечественным так и зарубежным промышленным зерносушилкам присуще ряд общих недостатков, таких как: высокие удельные энергозатарты и небольшой съём влаги; низкий КПД и большие затраты энергии; неравномерность нагрева и сушки по сечению потоков зернового материала зерна; низкий уровень автоматизации и сложность установки системы автоматизации и регулирования температуры нагреваемого воздуха и температуры слоя зерновых культур.

Отметим, что решение вышеуказанных недостатков зерносушильного оборудования носит комплексный и в некоторой степени противоречивый характер – повышение производительности при снижении энергозатрат на процесс и сохранении высокого качества продукта.

Исходя из этого развитие современного зерносушильного оборудования основывается на создании установок с комбинированными методами физического воздействия на продукт. Оптимальным решением для сушки зерновых культур представляется сочетание конвективного и высокочастотного способа подвода теплоты. Использование токов сверхвысокой частоты при сушке позволяет не только значительно интенсифицировать процесс, но и добиться надежного управления процессом сушки, так как управление температурой горячего воздуха происходит либо ступенчато, либо с большой инерцией, чего лишены системы управления генераторов СВЧ, позволяющие мгновенно реагировать на входящие сигналы. Применение компьютерных технологий в управлении процессами сушки зерна позволит не только повысить культуру производства и производительность труда, но и оптимизировать энергетические и материальные затраты на производство продукции.

Однако, переход на компьютерные технологии управления процессами сушки в значительной степени зависит от уровня математического моделирования технологических процессов – полноты и точности отражения математической моделью всех явлений, сопровождающих технологический процесс.

Большинством современных ученых при моделировании процесса сушки применяются методы математического моделирования, основанные на законах диффузии или термодинамики. С нашей точки зрения перспективным в этом направлении является физико-химический подход, основанный на представлении сушки как квазитопохимической гетерогенной реакции. Такое представление сушки позволяет применить к математическому моделированию законы кинетики топохимических реакций гетерогенных процессов, прежде всего, два фундаментальных положения формальной химической кинетики: закон действующих масс и кинетическое уравнение Аррениуса. Данный подход позволит решать задачи прогнозирования кинетических характеристик процесса сушки с высокой точностью и надежностью, что значительно сократит сроки и средства на создание новой сушильной техники.

Для практической реализации и развития идеи применения законов химической кинетики к математическому моделированию процессов сушки с СВЧ-энергоподводом нами были разработаны математические модели сушки зерновых культур, имеющих форму шара и форму цилиндра. Были приняты допущения, что семена зерновых культур не содержат избыток свободной поверхностной влаги, очередность удаления водных фракций из семян определяется в соответствии с ростом энергии связи. Тогда кинетику сушки зерновых культур, имеющих форму шара и форму цилиндра в период постоянной скорости, предложено описывать уравнением:

$$N_1 = -\frac{dU}{d\tau} = U_n (1 - \varphi)^{n\varphi} \cdot A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT_1}\right), \quad (1)$$

где  $N_1$  – постоянная (максимальная) скорость сушки первого периода;  $\tau$  – продолжительность сушки;  $U_n$  начальное влагосодержание зернового материала;  $T_1$  – усредненная температура зернового материала, в первом периоде сушки;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $E$  – энергия активации водной фракции;  $\varphi$  – коэффициент, определяемый опытным путем.

Кинетику сушки зерновых культур в период убывающей скорости предложено описывать уравнением;

- для зерновых культур, имеющих форму шара:

$$N_2(U) = -\frac{dU}{d\tau} = N_1 \left(\frac{U}{U_{кр}}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{U}{U_{кр}}\right)^n \cdot \exp\left[-\frac{A_\varphi}{RT} \cdot \exp(-B_\varphi \cdot U)\right]. \quad (2)$$

- для зерновых культур, имеющих форму цилиндра:

$$N_2(U) = -\frac{dU}{d\tau} = N_1 \left(\frac{U}{U_{кр}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{U}{U_{кр}}\right)^n \cdot \exp\left[-\frac{A_\varphi}{RT} \cdot \exp(-B_\varphi \cdot U)\right]. \quad (3)$$

где  $N_2(U)$  – скорость сушки во втором периоде;  $U_{кр}$  – критическое влагосодержание продукта;  $A_\varphi, B_\varphi$  – эмпирические коэффициенты уравнения  $\varphi(U, T)$ ;  $n$  – порядок сушки.

Температуру продукта в 1-м периоде предложено определять по уравнению:

$$T_1 = T_m + a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n, \quad (4)$$

где  $a_0, a_1, a_2 \dots a_n$  – эмпирические коэффициенты;  $x_1, x_2, \dots x_n$  – факторы процесса.

В периоде убывающей скорости сушки – по уравнению:

$$T = T_{кр} + (T_k - T_{кр}) \cdot \frac{\frac{1}{m} \{ \exp[m(U_{кр} - U)] - 1 \} - (U_{кр} - U)}{\frac{1}{m} \{ \exp[m(U_{кр} - U_p)] - 1 \} - (U_{кр} - U_p)}, \quad (5)$$

где  $T_{кр}$  – температура материала при достижении критического влагосодержания;  $T_k$  – температура материала при достижении равновесного влагосодержания;  $U_p$  – равновесное влагосодержание;  $m$  – эмпирический коэффициент, независимый от режима сушки.

Представленные выше математические модели были подвергнуты тщательной экспериментальной проверке при сушке семян кориандра и расторопши в экспериментальной установке шахтного типа с СВЧ-энергоподводом. Величина средней относительной погрешности не превышала 10 %.

Предложенные математические модели сушки зерновых культур на основе законов химической кинетики являются более простыми и надежными и имеют существенное преимущество по сравнению с моделями, основанными на законах диффузии или термодинамики, обусловленное возможностью определения эмпирических величин, входящих в уравнения на лабораторном оборудовании методами наукоемких технологий измерения.

Разработка программно-лигистических алгоритмов управления процессами сушки зерновых культур в установках шахтного типа с конвективным и СВЧ-энергоподводом на основе законов химической кинетики гетерогенных процессов позволит повысить точность и надежность управления процессом, избавиться от недостатков, присущих существующим зерносушилкам, добиться технического превосходства над зарубежными конкурентами, и упрочить положения отечественных предприятий на конкурентном рынке зерносушилок.

УДК 338.436.33

**Киреенко Н.В., доктор экономических наук, профессор**

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

### **РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Современная система обеспечения глобальной продовольственной безопасности характеризуется неустойчивостью и высокой концентрацией производства продовольствия в нескольких странах, в то время как страны-потребители географически сильно разбросаны. При этом текущая ситуация усугубляется ухудшением условий формирования ресурсов, возникающими торгово-экономическими разногласиями, ростом цен на продовольствие, низким уровнем дохода отдельных групп населения.

Согласно данным Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) на начало 2021 г. количество голодающих на планете по отношению к 2015 г. выросло на 18,8 % и насчитывало 820 млн человек. При этом 2 млрд людей или 25,9 % мирового населения, из которых 340 млн дети, страдают от недостатка необходимых питательных микроэлементов [2]. По состоянию на декабрь 2022 г. определен перечень 45 стран, находящихся в кризисе и нуждающихся во внешней продовольственной помощи, из них 33 государства Африки, 9 – Азии, 2 – Латинской Америки и Карибского бассейна, 1 – Северной Америки, Европы и Океании [3]. Если эти тенденции не изменятся, то к