

Научная статья

УДК 664.6

EDN CRIJWP

<https://doi.org/10.22450/978-5-9642-0637-8-164-169>

**Моделирование и прогнозирование эффективности производства
хлебобулочных изделий с использованием текстурированной муки**

Василий Викторович Матюшев¹, доктор технических наук, профессор
Ирина Александровна Чаплыгина², кандидат биологических наук, доцент
^{1, 2} Красноярский государственный аграрный университет

Красноярский край, Красноярск, Россия

¹ don.matyusheff2015@yandex.ru, ² ledum_palustre@mail.ru

Аннотация. Проведено моделирование производства растительно-зерновых экструдатов и хлебобулочных изделий с текстурированной мукой на основе данных по оборудованию и компонентам. Разработаны модели оптимизации производства. Модели предназначены для решения задач научного прогнозирования и повышения эффективности работы предприятия.

Ключевые слова: экструдат, текстурированная мука, смесь, хлебобулочные изделия, имитационная модель, алгоритм, прогнозирование

Для цитирования: Матюшев В. В., Чаплыгина И. А. Моделирование и прогнозирование эффективности производства хлебобулочных изделий с использованием текстурированной муки // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 18–19 апреля 2024 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2024. С. 164–169.

Original article

**Modeling and forecasting the efficiency
of bakery products production using textured flour**

Vasily V. Matyushev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor

Irina A. Chaplygina², Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

^{1, 2} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk krai, Krasnoyarsk, Russia

¹ don.matyusheff2015@yandex.ru, ² ledum_palustre@mail.ru

Abstract. The production of plant-grain extrudates and bakery products with textured flour was simulated on the basis of data on equipment and components. Production optimization models have been developed. The models are designed to solve scientific forecasting problems and increase the efficiency of the enterprise.

Keywords: extrudate, textured flour, mixture, bakery products, simulation model, algorithm, forecasting

For citation: Matyushev V. V., Chaplygina I. A. Modeling and forecasting the efficiency of bakery products production using textured flour. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (Blagoveshchensk, 18–19 aprelya 2024 g.)* (PP. 164–169), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2024 (in Russ.).

Выработке хлебобулочных изделий с использованием текстурированной муки на основе зерновых и зернобобовых культур посвящен ряд исследований, представленных в работах [1–5]. Анализ существующих поточно-технологических линий и технических средств производства экструдатов на основе двух- и многокомпонентных растительных смесей показал, что в зависимости от применяемых компонентов необходимо использовать соответствующий набор оборудования и проводить оценку принятых решений на основе моделирования закономерностей их функционирования и оптимизации параметров.

Учеными Красноярского государственного аграрного университета на основании экспериментальных исследований разработана имитационная модель получения экструдата из многокомпонентных смесей, адаптированная для двухкомпонентной смеси на основе зерна пшеницы и растительного сырья (*свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023665188*). Информационно-логическое представление производства экструдатов для двухкомпонентной смеси отражает структуру и направления производственных потоков технологической линии, а также взаимодействие ее технологических звеньев (рис. 1). Исходными данными для имитационной модели являлись экспертные оценки производительности, конструктивно-режимных и технологических показателей функционирования технологических звеньев линии производства экструдатов. В модель был включен алгоритм использования многокомпонентных растительных смесей различного состава.

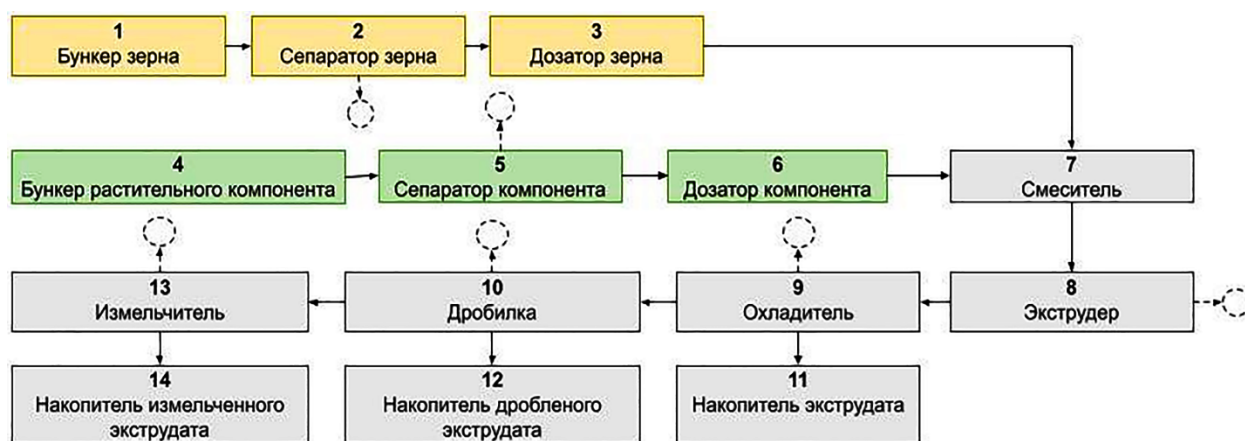


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема технологической линии с представлением потоков перерабатываемого сырья

Аналитическое представление технологических процессов производства экструдатов выполнено в форме задачи Коши для системы дифференциальных уравнений состояния технологических звеньев с учетом данных по загрузке оборудования в начальный момент времени.

Программа разработанной имитационной модели включает получение готовой продукции в виде дробленого и измельченного экструдата для использования в пищевых системах на основе компьютерной среды Maple. Относительные погрешности приближения технологических и режимных параметров в контрольных точках не превышают 5 %. Программа имитирует и выводит прогнозные значения состояний технологических звеньев в зависимости от различных рецептурных соотношений компонентов сырья.

Разработанная экспертно-аналитическая модель получения энергонасыщенных экструдатов из питательных смесей на основе зерна пшеницы показывает динамику технологических процессов и представляет собой систему дифференциальных уравнений, аналогичных уравнениям Колмогорова, и компьютерным решением соответствующей задачи Коши (*свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022613485*). Числовые оценки интенсивностей работы технологической линии выполнены опытным и экспертным путем с использованием нормативно-справочных данных, а

также методом хронометража и вычислительного эксперимента. Экспертно-аналитическая модель позволяет получить прогнозные значения функционирования технологической линии в зависимости от продолжительности работы ее отдельных звеньев.

На основании указанных выше экспериментальных исследований, была разработана экспертно-аналитическая модель получения хлебобулочных изделий с использованием текстурированной муки из растительных смесей на основе зерна (*свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660431*). Программа позволяет использовать экспертно-аналитическую модель и алгоритм расчета динамики технологических процессов получения текстуратов и их использования при производстве хлебобулочных изделий. Алгоритм формируется на основе экспертных оценок, модельных представлений и предусматривает поиск теоретических закономерностей функционирования линий получения текстуратов и хлебобулочных изделий.

Согласно алгоритму исследований, выполнена формализация двух сопряженных технологических линий: линии получения текстурированной муки и линии получения хлебобулочных изделий, а также получены экспертные оценки структурно-функциональных свойств технологических линий, режимных состояний и технологических параметров планируемого производства, что представлено на рисунках 2, 3. Основой для алгоритма программы является математическая формализация строения сопряженных технологических линий, взаимозависимость технологических звеньев, выполненная с использованием аппарата дифференциальных уравнений.

Постановка и решение задачи описываются в виде уравнений и выстраиваемой последовательности формул, аналогичных уравнениям Колмогорова для вероятностей переходных процессов и являющихся решением задачи Коши. Результативность алгоритма обеспечивается теоремой существования

и единственности решения для данной задачи Коши. Программа позволяет получить прогнозные значения и графики функций технологической линии в зависимости от выбранных режимов и продолжительности работы оборудования и принять соответствующие управленческие решения.

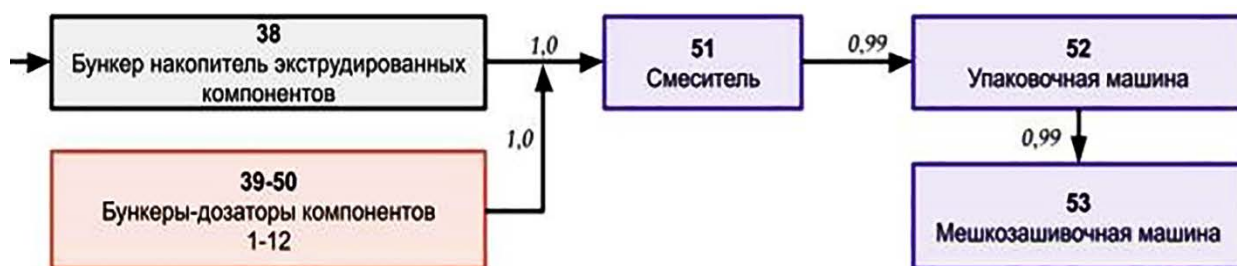


Рисунок 2 – Подструктура технологической линии получения текстурированной муки; строение и режимы функционирования с заданными интенсивностями взаимодействия

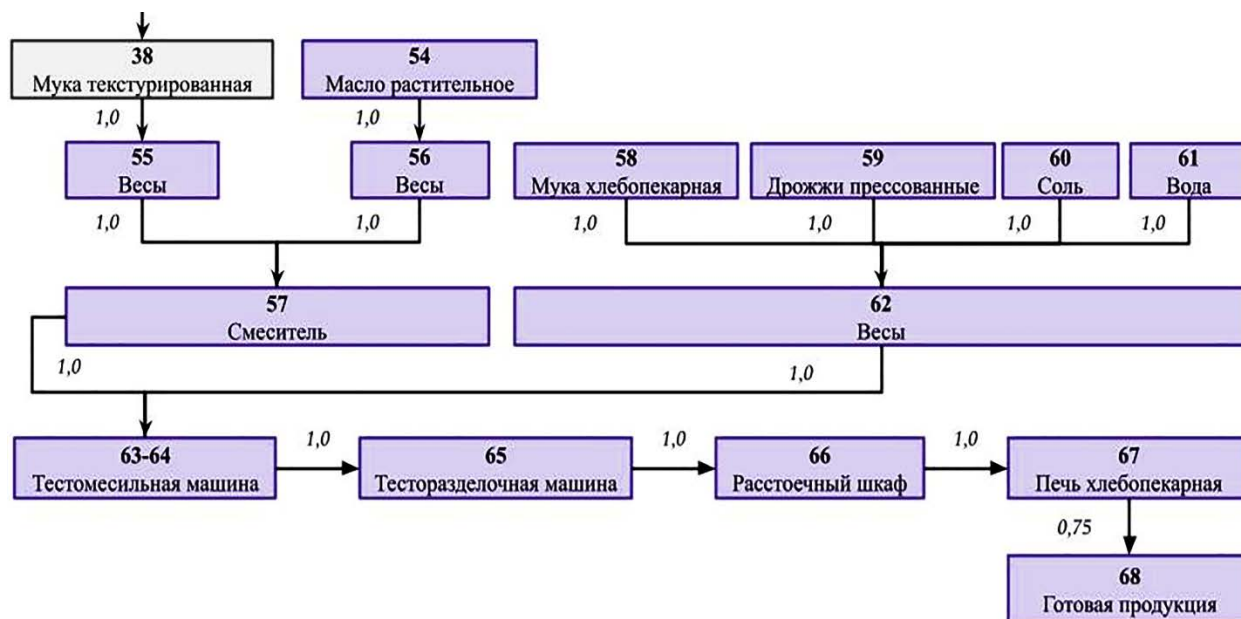


Рисунок 3 – Подструктура технологической линии получения хлебобулочных изделий; строение и режимы функционирования с заданными интенсивностями взаимодействия

Разработанные модели производства экструдатов из растительных смесей на основе зерна и на их основе текстурированной муки для получения хлебобулочных изделий предназначены для решения задач научного прогнозирования и повышения эффективности работы предприятия.

Список источников

1. Магомедов Г. О., Брехов А. Ф., Черных В. Я., Юрьев В. П. Экструзионная технология пищевых продуктов // Пищевая промышленность. 2003. № 12. С. 10–14.
2. Пашенко Л. П., Никитин И. А., Прохорова А. С. Влияние текстурированной муки на изменение состояния влаги в хлебе при хранении // Успехи современного естествознания. 2004. № 4. С. 74–75.
3. Жиркова Е. В., Малкина В. Д. Перспективы применения отечественных экструзионных ингредиентов в хлебопекарном производстве // Хлебопродукты. 2016. № 2. С. 54–59.
4. Урубков С. А., Королев А. А., Коптяева И. С., Корнева Л. Я. Разработка диетических экструдированных поликомпонентных продуктов со льном // Ползуновский вестник. 2018. № 4. С. 84–88.
5. Фролов Д. И. Современные тенденции и перспективы использования экструдатов в функциональных пищевых продуктах // Инновационная техника и технология. 2018. № 3 (16). С. 10–15.

References

1. Magomedov G. O., Brekhov A. F., Chernykh V. Ya., Yuryev V. P. Extrusion technology of food products. *Pishchevaya promyshlennost*, 2003;12:10–14 (in Russ.).
2. Paschenko L. P., Nikitin I. A., Prokhorova A. S. The effect of textured flour on changes in the moisture state in bread during storage. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2004;4:74–75 (in Russ.).
3. Zhirkova E. V., Malkina V. D. Prospects for the use of domestic extrusion ingredients in bakery production. *Khleboprodukty*, 2016;2:54–59 (in Russ.).
4. Urubkov S. A., Korolev A. A., Koptyaeva I. S., Korneva L. Ya. Development of dietary extruded polycomponent products with flax. *Polzunovskii vestnik*, 2018; 4:84–88 (in Russ.).
5. Frolov D. I. Modern trends and prospects of using extrudates in functional food products. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*, 2018;3(16):10–15 (in Russ.).

© Матюшев В. В., Чаплыгина И. А., 2024

Статья поступила в редакцию 29.03.2024; одобрена после рецензирования 01.05.2024; принята к публикации 07.06.2024.

The article was submitted 29.03.2024; approved after reviewing 01.05.2024; accepted for publication 07.06.2024.