

О.С. Балман¹, К.С. Чакеева¹

¹ *Алматинский Технологический Университет, г. Алматы, Республика Казахстан*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА МУКИ: ОБЗОРНЫЙ АНАЛИЗ

Аннотация. В производстве муки выбор оптимальной стратегии помола является важным аспектом, так как от этого существенно зависит качество муки. Автоматизация играет важную роль в процессе производства муки. Автоматизированные системы способствуют контролю качества муки, для которого необходимы быстрые аналитические инструменты для прогнозирования реологических и химических свойств. В данной статье дается обзорный анализ научной литературы, которая рассматривает систему автоматизации процесса производства муки. В ходе исследования было выявлено, что автоматизированная система играет важную роль при размолоте муки. Процесс размола муки непосредственно влияет на качество продукта, а в современном мире вопрос качества продукции является одним из важных. Исследование носит описательный характер и основано на анализе ранее опубликованных работ.

Ключевые слова: автоматизация, размол муки, мукомольная промышленность, качество, технологии

O. S. Balman¹, K. S. Chakeeva¹

¹ *Almaty Technological University, Almaty, The Republic of Kazakhstan*

AUTOMATION OF THE FLOUR MILLING PROCESS: REVIEW ANALYSIS

Abstract. In flour production, the choice of the optimal grinding strategy is an important aspect, since the quality of flour significantly depends on it. Automation plays an important role in the flour production process. Automated systems facilitate flour quality control, which requires fast analytical tools to predict rheological and chemical properties. This article provides an overview analysis of the scientific literature, which considers the automation system for the flour production process. During the study, it was revealed that the automated system plays an important role in flour grinding. The process of grinding flour directly affects the quality of the product, and in the modern world, product quality is one of the important issues. The research is descriptive and based on the analysis of previously published works.

Key words: automation, flour milling, flour industry, flour quality, technologies

Введение. Мукомольные заводы всегда должны производить качественную муку для своих клиентов, чтобы обеспечить удовлетворенность клиентов и получить большую долю в сегодняшних сложных условиях конкуренции. Переход на систему автоматизации является значимым для того, чтобы все этапы бизнеса находились под контролем, а ошибки, связанные с человеческим фактором, были сведены к минимуму, чтобы не снижать уровень качества и производить продукт, который будет отправлен клиенту с минимальной ошибкой. Благодаря роботизированной технологии и технологиям искусственного интеллекта можно реализовать большинство процессов без участия персонала. Игнорирование всех этих разработок и недопущение их применения наносят ущерб компетенции компаний и затрудняют их выживание. Оборудование на современных высокопроизводительных мукомольных заводах очень точны и выражены в микрометрах (мкм) и миллиграммах (мг). На мельницу поступают новые сорта пшеницы с различными характеристиками, и мельнику необходимо наблюдать за изменениями и вносить необходимые коррективы в технические аспекты работы.

Настоящие и будущие тенденции увеличения производительности предприятий, автоматизации, и сложности требуют изменения системы сбыта пшеницы, чтобы она также основывалась на характеристиках качества переработки. Чтобы создать рынок пшеницы на основе качества помола, надлежащая оценка и сортировка должны начинаться с первого пункта сбора, на деревенском элеваторе. Во всем мире все еще существуют различия в торговых спецификациях пшеницы, которые различаются методами оценки сорта и требуют разных результатов испытаний, например, на содержание влаги. Многие страны сообщают о

пшенице и муке в пересчете на сухое вещество. Технологическая задача максимально эффективного разделения трех основных частей зерна пшеницы (эндосперма, зародыша и отрубей) сложна из-за формы ядра, складок и алейронового слоя. Эффективность разделения оценивается путем расчета количества различных конечных продуктов. Количество извлеченной муки при сохранении ее качества на определенном уровне обычно выражается как «извлечение муки» и может быть выражено несколькими способами. Более распространенные методы расчета извлечения муки основаны на количестве грязной пшеницы на мельнице, пшенице до первого отвала или общем количестве продуктов от операции помола. Все значения могут быть выражены на основе влажности «как есть» или с поправкой на сухую влажность. Периодически, выемка муки рассчитывается на основе замеров с полным учетом всех запасов на складе, «вся пшеница на входе» и «все продукты помола на выходе» за этот период. Каждый из методов имеет свои достоинства и преимущества в мукомольном производстве и генерирует информацию для разных целей. Определение общего извлечения продукта имеет преимущество при контроле и оценке технических корректировок и изменений в процессе (Карпов, 2010).

При сухом помоле невозможно добиться оптимального разделения эндосперма, отрубей и частей зародыша. Соответственно, остается задача максимально приблизиться к оптимуму. Мельнице необходимо учитывать форму, размер, текстуру, плотность и химический состав пшеницы среди характеристик, которые диктуют корректировки, необходимые в процессе помола для достижения наилучших возможных результатов. Помол также существенно различается, когда размалываются разные сорта пшеницы и процесс разработан и регулируется по-разному для каждого из сортов пшеницы. За последние несколько десятилетий были выращены новые сорта белой и особенно твердой белой пшеницы, которые завоевали популярность, поскольку они обеспечивают мельникам более высокую степень извлечения, чем красная пшеница. Глобализация технологии помола пшеницы развивается и проявляется в аналогичных концепциях дизайна новых мельниц по всему миру. Конструкции машин разных инжиниринговых компаний различаются в основном гигиеничностью, особыми возможностями настройки и управления, простотой доступа и обслуживания, уровнем шума и долговечностью.

Цель исследования заключается в обзорном анализе системы автоматизации в процессе размолла муки.

Объектом исследования являются технологические процессы помола зерна при производстве пшеничной муки, а **предметом исследования** является комплекс теоретических, методических и практических задач, связанных с автоматизацией контроля основных показателей качества муки.

Метод исследования заключается в системном и обзорном анализе научной литературы. В статье использовались описательные инструменты, в связи с чем исследование носит описательный характер. Для анализа использовались статистические сборники, материалы научных конференций, форумов и семинаров, периодические издания и другие материалы. Поиск научных статей проводился через Google scholar, research gate, Scopus и Web of Science, поиск научных статей на русском языке проводился в базе данных eLIBRARY.RU. Временной промежуток составляет последнее десятилетие. Были включены все исследовательские статьи с использованием автоматизации в размолле муки. Статьи были исключены, если тема не касалась области автоматизации и процесса производства муки.

Значимость исследования заключается в том, что результаты научных исследований, отраженные в статье могут быть использованы в дальнейших научно-исследовательских работах в области автоматизации в производстве муки.

Результаты и обсуждение

Помол зерна может быть старейшим производственным процессом в мире. Хотя в пищевой промышленности используется множество технологий, наиболее широко используются вальцовые и каменные мельницы. Выбор оптимальной стратегии помола имеет важное значение, поскольку он оказывает значительное влияние на качество

пшеничной муки, реологические свойства теста и характеристики хлеба (Каппелли, 2020). Некоторые авторы Геррини Л., Наполи М., Манчини М., Маселла П., Каппелли А., Паренти А. и др. выделяют другие факторы, влияющие на качество конечного продукта. Они начинаются с ответственного управления агротехническими обработками, которые улучшают технологические свойства муки и снижают нагрузку на окружающую среду тщательному выбору метода измельчения и процесс замешивания (Геррини, 2020).

Грасси С., Марти А., Касчелла Д., Казалино С., и Касчелла Г.Л. в своем исследовании отмечают, что взаимосвязь между мельницами и выходами датчиков MicroNIR сделала возможным автоматическое управление электродвигателями в режиме реального времени, избегая необходимости ручной настройки поведения винтового конвейера и контроллера двигателя (Грасси, 2020). Взаимосвязь между устройствами позволяла координировать каждый двигатель. Таким образом была достигнута более высокая производительность и качество по сравнению с неавтоматическим и не взаимосвязанным управлением приводами. Разработанные модели гарантировали прогноз химического состава и реологических свойств теста (Грасси, 2020). Авторы отмечают, что выдвинутая ими идея является инновационным решением для управления процессом измельчения, поскольку она использует возможности, предлагаемые Индустрией 4.0, где датчики соединяют устройства, машины и процессы. Результатом стало оптимальное управление производственным процессом, которое может успешно прогнозировать различные характеристики продукта и автоматически адаптироваться для обеспечения желаемого уровня качества продукта. В соответствии с принципом Zero-Defect Manufacturing результатом стала минимизация вероятности брака продукта и жалоб со стороны клиентов (Марти, 2015; Грасси, 2020).

В мукомольной промышленности мягкость муки или зерен с особыми свойствами была ключевым моментом для получения конечного продукта с качественными характеристиками, требуемыми потребителями в соответствии с конечным использованием самого продукта. Благодаря интеграции интеллектуальных систем, можно контролировать параметры процесса в режиме реального времени. Таким образом, можно было предсказать непредвиденные проблемы, связанные с производственной политикой или характеристиками продукта, и избежать потери конечного продукта (Ибрагим, 2018). Юхас Р., Гергели С., Геленчер Т., Салго А. отмечают, что модели на сегодняшний день могут позволить создать IoT не только на одной цепочке преобразования, но и горизонтально на нескольких производственных линиях. Вместе с тем NIR-датчики могут быть размещены на других стратегических уровнях предприятия, например, на уровне доставки сырья, что позволяет контролировать характерные параметры ядер (Юхас, 2015).

Ронколини А., Миланович В., Аквиланти Л., Кардинали Ф., Гарофало К., Саббатини Р., Фолиньи Р. в своем исследовании приходят к выводу, что кустарные пекари и производители экологически чистых продуктов по-прежнему предпочитают помол на камне, которые ценят его влияние на муку, тесто и хлеб, не говоря уже о маркетинговом преимуществе, связанном с использованием термина «каменный помол» применительно к продуктам (Ронколини, 2020). Однако в других исследованиях отмечается, что пищевая промышленность предпочитает вальцовое измельчение (Дообладо-Мальдонадо, 2012; Реккья, 2019). Это связано с тем, что последний имеет ряд производственных преимуществ. К ним относятся более высокая эффективность и гибкость, меньшее тепловыделение, оптимальное число падения и лучшая реология теста. Хотя технология вальцовой мельницы со временем была значительно улучшена, было опубликовано несколько статей, в которых каменная мельница и вальцовая мельница сравниваются с точки зрения удобства использования (Фендри, 2016). Этот пробел в литературе трудно понять, учитывая, что удобство использования стало ключевым элементом в пищевой промышленности и развитии производства.

Кокки М., Корбеллини М., Фока Г., Лучисано М., Пагани М.А., Тасси Л., Ульричи А. отмечают, что взаимодействие машины и продукта, её влияние на конечный продукт особенно актуально при помоле пшеницы. Хотя вальцовая мельница была значительно улучшена с технологической точки зрения, многое еще можно сделать. Также авторами были

отмечены различные интересные стратегии, в частности: очистка пшеницы (предварительный помол) в сочетании с обработкой отрубей и промежуточных продуктов правильное управление кондиционированием пшеницы и дифференциальными коэффициентами; и разработка полностью автоматизированных адаптивных мельниц. Несмотря на привлекательность этих решений, еще один важный вопрос заключается в том, различается ли мука, полученная из разных пар вальцов, по пищевой ценности и технологическим свойствам (Кокки, 2005).

Типичная валковая мельница разделена на три системы (Саркер, 2008). Первая — это разрывная система, которая отделяет эндосперм от отрубей и зародышей путем вскрытия ядра и соскребания отрубей с эндосперма. Вторая – это система размеров. В данной системе цель состоит в том, чтобы соскоблить частицы отрубей с эндосперма перед дальнейшей обработкой. Третья система сокращения, здесь цель состоит в том, чтобы раздавить и срезать эндосперм до тех пор, пока мука не будет соответствовать определенному стандарту очистки.

Мало исследований, в которых бы оценивались или сравнивались различия между мукой, полученной с помощью систем дробления, калибровки и измельчения. Тем не менее, мы проанализировали работу Капелли А., Мугнаини М., Чини Э. которая заключалась в том, чтобы оценить, отличается ли мука, полученная из дробильной системы, системы калибровки и измельчения, от контрольной муки, полученной в конце полного процесса помола. Авторы исследовали два сорта пшеницы: древнюю пшеницу (Conte Marzotto) и современную пшеницу (Nogal) и оценили различия в выходе муки, составе муки, реологических свойствах теста и характеристиках хлеба (Капелли, 2020). Авторы пришли к выводу, что различные системы вальцовых мельниц значительно влияют на состав муки, реологические свойства теста и характеристики хлеба. Взаимодействие машины и продукта может иметь замечательный эффект. В частности, мука с системой разрыхления имеет более низкое общее содержание пищевых волокон и более высокое содержание крахмала. С другой стороны, мука, полученная с помощью системы калибровки и измельчения, характеризуется более высоким общим содержанием пищевых волокон и фенолов и более низким содержанием крахмала. Что касается реологических свойств теста, стабильность теста была выше для муки с системой разрывов по сравнению с контролем. Более того, в случае с Nogal удельный объем был значительно выше для муки дробной системы по сравнению с мукой C и SR (Капелли, 2020).

Эти результаты ясно показывают, что каждая часть системы вальцовой мельницы производит различную муку. Мельники могут использовать этот результат в производстве в качестве альтернативы простому сбору муки в конце процесса помола, как это делается в настоящее время. В частности, мука, полученная по системе ломки, обладает лучшими реологическими характеристиками и хлебопекарными характеристиками. С другой стороны, мука, извлеченная из системы калибровки и измельчения, имеет более интересный питательный профиль из-за более высокого общего содержания пищевых волокон и фенолов (Капелли, 2020).

Анализ показывает, что данная стратегия позволяет, начиная с одной и той же партии пшеницы, использовать процесс помола для изменения характеристик полученной муки. Эти две муки могут быть проданы на разные рынки: например, потребители могут быть более заинтересованы в муке системы калибровки и измельчения с улучшенным содержанием питательных веществ, в то время как пекари могут быть больше заинтересованы в муке дробной системы, учитывая ее лучшие технологические характеристики. Авторы также указывают на преимущества, к ним относятся простота применения, отсутствие дополнительных затрат, отсутствие увеличения времени измельчения, увеличение прибыли, лучшая дифференциация продукта и расширение потенциальной клиентуры.

Заключение

Процесс измельчения и размола муки не сильно изменился за последнее столетие. Анализ литературы показывает, что время от времени внедряются инновации, такие как технология сортировки по цвету для удаления посторонних частиц и поврежденных зерен из

потока мельницы, но по большей части достижения заключаются в модернизации оборудования, уже используемого в процессе технологии. Наиболее значительным достижением стало использование компьютерной автоматизации, которая в последние десятилетия во многом помогла мукомольным предприятиям. Анализируя литературу можно сказать, что большая часть технических инноваций в отрасли, особенно за последние 30 лет, была направлена на повышение производительности мельниц в трех областях: безопасность продукции и сотрудников, энергосбережение и повышение эффективности измельчения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каппелли А., Олива Н., Чини Э. Камнедробилка против вальцовки: систематический обзор влияния на качество пшеничной муки, реологию теста и характеристики хлеба // *Trends in Food Science & Technology*, - 2020, - №97, - с. 147–155.
2. Геррини Л., Наполи М., Манчини М., Маселла П., Каппелли А., Паренти А. и др. Состав зерна пшеницы, реология теста и качество хлеба в зависимости от внесения азотных и серных удобрений и густоты посева // *Агрономия*, - 2020, - №10 (2), - с. 233.
3. Грасси С., Марти А., Касчелла Д., Казалино С., и Касчелла Г.Л. Диспетчер электропривода для автоматизации процесса измельчения 4.0: аналитический подход к процессу с устройствами IoT NIR для пшеницы обыкновенной // *Sensors*, - 2020, - № 20 (4), - с. 1147. <https://doi.org/10.3390/s20041147>
4. Марти А., Ульрици А., Фока Г., Квалья Л., Пагани М.А. Характеристика муки из мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с помощью многомерного анализа обычных реологических параметров и индексов пика глютена // *LWT-Пищевая наука. Технол.* – 2015, - № 64, - с. 95–103. doi: 10.1016/j.lwt.2015.05.029
5. Юхас Р., Гегели С., Геленчер Т., Салго А. Связь между спектрами NIR и параметрами RVA во время прорастания пшеницы // *Cereal Chem.* – 2015, - №82, - с. 488–493. doi: 10.1094/CC-82-0488.
6. Ибрагим А. Мониторинг некоторых показателей качества различных сортов пшеницы с помощью инфракрасной технологии // *Int. J. Agric. Eng.* – 2018, - №20, с. 201–210.
7. Ронколини А., Миланович В., Аквиланти Л., Кардинали Ф., Гарофало К., Саббатини Р., Фолиньи Р. Порошок из малого мучного червя (*Alphitobius diaperinus*) в качестве нового хлебопекарного ингредиента для производства снеков с высоким содержанием белка и минералов // *Food Research International*, - 2020, - №131, - с.109.
8. Дообладо-Мальдонадо А. Ф., Пайк О. А., Свели Дж., Роуз Дж. Ключевые вопросы и проблемы при помоле и хранении цельнозерновой муки // *Journal of Cereal Science*, - 2012, - №56 (2), - с. 119–126.
9. Реккья Л., Каппелли А., Чини Э., Гарбати-Пенья Ф, Бончинелли П. Экологическая устойчивость цепочек производства макаронных изделий: комплексный подход для сравнения локальных и глобальных цепочек // *Resources*, - 2019, - №8 (1), - с. 56.
10. Фендри Л. Б., Чаари Ф., Маалул М., Калель Ф., Абделькафи Л., Чаабуни С. Э. и др. Обогащение пшеничного хлеба волокнами стручков гороха и бобов: влияние на реологию теста и качество хлеба // *LWT – Пищевая наука и технология*, - 2016, - №73, - с. 584–591.
11. Кокки М., Корбеллини М., Фока Г., Лучисано М., Пагани М.А., Тасси Л., Ульрици А. Классификация муки из мягкой пшеницы в различных категориях качества с помощью алгоритма выбора/классификации признаков на основе вейвлета на спектрах NIR // *Anal. Chim. Acta.*, - 2005; 544: 100–107. doi: 10.1016/j.aca.2005.02.075.
12. Саркер И.М., Ямаути Х., Ким С., Мацуура-Эндо К., Такигава С., и др. Фаринографическое исследование характеристик теста из смесей пшеничной муки и картофельного крахмала разных сортов // *Исследования в области пищевых наук и технологий*, - 2008, - №14, с. - 211–216 .
13. Карпов В.И., Новицкий В.О. Методология исследования и моделирования сложных систем управления для предприятий и компаний зернового сектора АПК. Информационные технологии. - М.: Изд-во «Новые технологии», - 2010. - №9.

14. Капелли А., Мугнаини М., Чини Э. Совершенствование технологии вальцового помола с использованием систем дробления, калибровки и измельчения для дифференциации муки // *LWT food science and technology*, - 2020, - №133, - с. 110.

REFERENCES

1. Cappelli A., Oliva N., Cheeney E. Stone crusher versus rolling: a systematic review of the impact on wheat flour quality, dough rheology and bread characteristics // *Trends in Food Science & Technology*, - 2020, - No. 97, - p. 147–155.

2. Guerrini L., Napoli M., Mancini M., Masella P., Cappelli A., Parenti A. et al. Wheat grain composition, dough rheology and bread quality depending on the application of nitrogen and sulfur fertilizers and sowing density // *Agronomy*, - 2020, - No. 10 (2), - p. 233.

3. Grassi S., Marty A., Cascella D., Casalino S., and Cascella G.L. Electric Drive Manager for Grinding Process Automation 4.0: An Analytical Process Approach with IIoT NIR Devices for Common Wheat // *Sensors*, - 2020, - No. 20 (4), - p. 1147. <https://doi.org/10.3390/s20041147>

4. Marti A., Ulrici A., Foca G., Kvaglia L., Pagani M.A. Characteristics of soft wheat flour (*Triticum aestivum* L.) using multivariate analysis of conventional rheological parameters and gluten peak indices // *LWT-Food Science. Technol.* – 2015, - No. 64, - pp. 95-103. doi: 10.1016/j.lwt.2015.05.029

5. Juhas R., Gergeli S., Gelencher T., Salgo A. The relationship between NIR spectra and RVA parameters during wheat germination // *Cereal Chem.* – 2015, - No.82, - pp. 488-493. doi: 10.1094/CC-82-0488.

6. Ibrahim A. Monitoring of some quality indicators of various wheat varieties using infrared technology // *Int. J. Agric. Eng.* – 2018, - No. 20, pp. 201-210.

7. Roncolini A., Milanovich V., Aquilanti L., Cardinali F., Garofalo K., Sabbatini R., Foligni R. Powder from small flour worm (*Alphitobius diaperinus*) as a new baking ingredient for the production of snacks with a high content of protein and minerals // *Food Research International*, - 2020, - No.131, - p.109.

8. Dorado-Maldonado A. F., Pike O. A., Sveli J., Rose J. Key issues and problems in the grinding and storage of whole grain flour // *Journal of Cereal Science*, - 2012, - №56 (2), - pp. 119-126.

9. Recchia L., Cappelli A., Cini E., Garbati-Peña F, Boncinelli P. Ecological sustainability of pasta production chains: an integrated approach for comparing local and global chains // *Resources*, - 2019, - №8 (1), - p. 56.

10. Fendri L. B., Chaari F., Maaloul M., Kallel F., Abdelkafi L., Chaabouni S. E. et al. Enrichment of wheat bread with fibers of pea and bean pods: influence on dough rheology and bread quality // *LWT – Food Science and Technology*, - 2016, - No. 73, - pp. 584-591.

11. Cocchi M., Corbellini M., Foca G., Lucisano M., Pagani M.A., Tassi L., Ulrici A. Classification of soft wheat flour in various quality categories using a feature selection/classification algorithm based on wavelet on NIR spectra // *Anal. Chim. Acta.*, - 2005; 544: 100–107. doi: 10.1016/j.aca.2005.02.075.

12. Sarker I.M., Yamauchi H., Kim S., Matsuura-Endo K., Takigawa S., et al. Pharynographic study of the characteristics of dough from mixtures of wheat flour and potato starch of different varieties // *Research in the field of food sciences and technologies*, - 2008, - No. 14, pp. 211-216.

13. Karpov V.I., Novitsky V.O. Methodology of research and modeling of complex control systems for enterprises and companies of the grain sector of the agro-industrial complex. Information technologies. - M.: Publishing house "New technologies", - 2010. - №9.

14. Kapeli A., Mugnaini M., Chini E. Improving the technology of roller grinding using crushing, calibration and grinding systems for flour differentiation // *LWT food science and technology*, - 2020, - No.133, - p. 110.

Балман Олжас Саматович - магистрант, Алматинский технологический университет г. Алматы, Казахстан, e-mail:balmanolzhas@gmail.com.

Чакеева Карлыгаш Сайлаубаевна - Директор КЛК, к.тех.н., заведующая кафедрой "Маркетинг и логистика", Университет «Туран» г. Алматы, Казахстан. E-mail: chakeeva_karla@mail.ru

Authors

Balman Olzhas Samatovich - Master's student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail:balmanolzhas@gmail.com.

Chakeeva Karlygash Sailaubayevna - Director of the KLK, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Marketing and Logistics, Turan University, Almaty, Kazakhstan. E-mail: chakeeva_karla@mail.ru.

Для цитирования

Балман О.С., Чакеева К.С. Автоматизация процесса размола муки: обзорный анализ // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2022. – №2(14). – С.-77-83 – DOI: 10.26731/2658-3704.2022.2(14).77-83 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/214-2022>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 01.07.2022)

For citations

Balman O.S., Chakeeva K.S. Automation of the flour milling process: review analysis // *Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2022. No. 2(14). P. 77-83. DOI: 10.26731/2658-3704.2022.2(14).77-83 [Accessed 01/07/22]