

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ МЯСНОЙ ОТРАСЛИ Automation of meat industry equipment

И.С. Калентьев, магистрант

Н.А. Калашников, магистрант

Уральский государственный аграрный университет

(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Аннотация

Автоматизация – это применение технических и/или программных средств, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в производственных процессах. В настоящее время многие пищевые предприятия нацелены на автоматизацию, частичную или полную, так как это позволяет повысить эффективность производства и снизить трудоемкость операций. Цель мини-обзора – показать современные технологии в автоматизации мясной отрасли.

Ключевые слова: автоматизация, мясная отрасль, индустрия 4.0, обвалка, промышленные роботы.

Summary

Automation is the use of technical and/or software tools that partially or completely free a person from direct participation in production processes. Currently, many food companies are focused on automation, partial or complete, as this allows them to increase production efficiency and reduce the complexity of operations. The purpose of the mini-review is to show modern technologies in the automation of the meat industry.

Keywords: automation, meat industry, industry 4.0, deboning, industrial robots.

Мясная отрасль является одной из наиболее важных и динамично развивающихся отраслей пищевой промышленности. Производство и переработка мяса требуют высокой степени точности, безопасности и эффективности, чтобы обеспечить качество готовой продукции и удовлетворить растущий спрос потребителей. Однако, традиционные методы производства и ручной труд часто не могут обеспечить необходимый уровень производительности и качества, что может привести к снижению эффективности и увеличению затрат [1, 2].

Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами позволяет повысить эффективность производства, улучшить качество продукции, снизить затраты на персонал и сырьё, а также обеспечить безопасность рабочих процессов.

Актуальность автоматизации оборудования в мясной промышленности обусловлена рядом факторов. Рост объёмов производства. Автоматизация позволяет увеличить производительность труда и сократить время на производство продукции. Улучшение качества продукции. Автоматизированные системы контроля позволяют отслеживать параметры технологических процессов и предотвращать выпуск некачественной продукции. Снижение затрат. Автоматизация способствует снижению затрат на электроэнергию, сырьё и расходные материалы, что ведёт к повышению конкурентоспособности предприятия. Безопасность. Автоматические системы безопасности предотвращают аварийные ситуации и обеспечивают безопасность рабочих [1, 2, 3, 4].

Для отрасли, столкнувшейся с проблемами сокращения рабочей силы и усложнения технологических процессов, увеличение автоматизации не только приветствуется, но и необходимо. В тех сегментах отрасли, где биологическая вариативность ниже (в основном свинина и мясо

птицы), автоматизация внедряется быстрее, в то время как в других сегментах возникают проблемы, ограничивающие внедрение. К трудностям относятся источники сырья, биологические различия, санитарные нормы, долговечность оборудования, безопасность людей и продуктов питания, обучение, управление производством и многое другое.

Роботизация и автоматизация производства могут помочь пищевой промышленности преодолеть ряд проблем, включая нехватку рабочих кадров и сокращение времени и затрат на производство.

Внедрение автоматизации на мясокомбинатах традиционно было сложной задачей из-за высоких первоначальных затрат и того факта, что туши животных имеют разные размеры. Это затрудняло соблюдение единообразия в процессе разделки для роботов. Однако пандемия COVID-19 заставила производителей пересмотреть плюсы автоматизации. Это ускорило реализацию планов по автоматизации заводов [1, 2, 5].

Благодаря роботам и автоматизации производители смогли оптимизировать процессы разделки, обвалки и измельчения мяса (говядины, баранины, свинины, птицы), которые ранее полностью зависели от ручного труда. Сокращение времени цикла и увеличение производительности позволили предприятиям повысить эффективность работы и конкурентоспособность на рынке.

Таким образом, внедрение промышленных роботов и систем автоматизации в пищевую промышленность открывает новые перспективы для развития отрасли. Оно позволяет не только преодолеть существующие проблемы, но и создать более современные и эффективные производственные линии. Автоматизация процессов на мясокомбинатах способствует повышению безопасности труда, снижению затрат на рабочую силу и улучшению качества продукции.

Цель обзора – изучить проблемы автоматизации оборудования для мясной отрасли и рассмотреть существующие решения и технологии на примере оборудования для первичной обработки скота.

1. Материалы и методы

Описание обзорного исследования включало методы поиска литературы, критерии включения и исключения, источники данных, определение субъектов исследования, сопоставление, обобщение и представление результатов.

Из-за разнообразия используемой терминологии был определен поисковый запрос, включающий следующие ключевые слова: «автоматизация», «мясная отрасль», «оборудование», «технологии», «индустрия 4.0», «обработка мяса» и др.

Чтобы сосредоточиться на самых актуальных исследованиях, поиск в базе данных был ограничен последними 7 годами (2017–2024). Проводился дополнительный ручной поиск публикаций, на которые ссылались авторы наиболее информативных статей за последние 7 лет. В исследование включались обзорные с описанием технологий, полученных результатов и обсуждения. Исключались публикации, в которых не описывались технологии автоматизации оборудования мясной отрасли.

В качестве источника информации использовались базы данных eLIBRARY.RU, MDPI, OXFORD ACADEMIC и Google Scholar.

В качестве субъектов исследования применялись аннотации, полнотекстовые статьи в журналах открытого и закрытого доступа. В результате поиска литературы было получено 7200 аннотаций и статей. В целом, 51 ссылка были признаны потенциально подходящими. После анализа 31 статья и аннотация были исключены, а 20 были включены.

2. Большие данные (Big Data)

Большие данные связаны с неструктурированными данными разного типа, которые поступают непрерывно, с высокой скоростью и в больших объёмах. Кроме того, большие данные характеризуются высокой достоверностью и ценностью. В цепочке поставок мяса информация поступает в основном от датчиков. В частности, данные, связанные с физиологическими или поведенческими параметрами скота. Например, можно проанализировать различные данные, связанные с поведением животных, такие как отдых, кормление и передвижения, и выявить тенденции, связанные с их здоровьем. Знание этой информации может помочь в составлении расписания кормления и лечения заболеваний [6].

Существует большой потенциал для использования Big Data для повышения эффективности операций в цепочке поставок мяса. Big Data также можно использовать для прогнозирования результатов, связанных с массой тела, продуктивностью скота, что позволяет повысить эффективность и получить больше экономических выгод на основе прогнозов. Это может помочь в понимании тенденций рынка и потребителей, а также в разработке новых продуктов и услуг [7].

Большие данные ценны для анализа и принятия решений. В сфере поставок мяса большие данные создаются преимущественно датчиками, отслеживающими физиологические и поведенческие параметры скота [8, 9].

Таким образом, применение больших данных в мясной промышленности представляет собой удобный инструмент для оптимизации процессов, повышения качества продукции и улучшения взаимодействия с рынком благодаря систематизации, анализу и прогнозированию по полученным структурированным данным.

3. Автоматизационное оборудование.

Потребность в устойчивых продовольственных системах требует инновационных планов, которые обеспечат глобальное снабжение продовольствием и сведут к минимуму потери и отходы продуктов питания на всех этапах цепочки поставок. В этом контексте особое значение имеет использование технологий в цепочке переработки и хранения мяса, поскольку они могут предотвратить потери продуктов питания. Среди инструментов, которые могут помочь свести к минимуму потери и обеспечить достаточную производительность - робототехника и автоматизированные системы, поскольку они способствуют быстрой переработке, сводя к минимуму человеческий фактор. Однако из-за особенностей туш животных и получаемых из них продуктов роботизация и автоматизация процессов являются сложной задачей. Поскольку туши могут быть разных размеров и массы в силу особенностей роста животных. Несмотря на эту первоначальную сложность, разработка и внедрение робототехники и автоматизации имеют практическую ценность, поскольку убой скота и вторичная переработка туш – это работы, которые в настоящее время в основном выполняются вручную, являются повторяющимися, однотипными и должны выполняться с высокой скоростью. Хотя на скотобойнях многие операции по переработке (оглушение, обескровливание, ошпаривание, ощипывание, снятие шкуры, потрошение, разделка и охлаждение) уже успешно автоматизированы, при вторичной переработке мяса необходимо внедрять аппаратное и программное обеспечение, чтобы работы могли стать гибкой, масштабируемой, компактной и прибыльной альтернативой на производственных линиях [11, 12, 13, 14, 15, 16].

Операции по разделке и обвалке являются одними из самых трудоёмких, необходимых при обработке. В этой области существуют некоторые системы автоматизации, которые используют разнообразные сканеры для определения геометрии и параметров туш животных. Вычисляя по полученным данным траекторию и глубину для разрезов мяса на этапах первичной

и вторичной обработки. В этом случае для автоматизации разделки часто используется 3D-сканирование и рентгеновская съёмка. Одним из примеров автоматизации в мясной промышленности является роботизированный комплекс AiRA, разработанный компанией Frontmatec для использования на линии очистки свиной шпик. Изображение в 3D визуализации представлено на рисунке 1 [4, 6].



Рис. 1. AIRA ditchbone cutter [21]

Кроме того, в настоящее время существуют различные технологии для разделки свинины, которые позволяют отделять кости (бедренную и большеберцовую кости) задних ног с помощью роботизированных систем. Hamdas-RX (см. рис.2) и проекта SRDVand – это две технологии, которые используют рентгеновское и 3D сканирование соответственно, чтобы рассчитать траектории для ножей [6, 17].



Рис. 2. HAMDAS-RX - automated pork ham deboning machine [22]

Другие аналогичные технологии позволяют обрабатывать туш ягнят и говядины. Так, в случае с ягнятами существует автоматизированная камера обвалки SCOTT, которая представляет собой сложную систему, использующую 3D-сканирование для расчета оптимального маршрута разделочных ножей. Что позволяет производить большое количество операций в потоке и с достаточно большой точностью, при этом снижая трудоемкость операций и уменьшая необходимое количество персонала при сохранении высокой производительности. Представлена на рисунке 3.

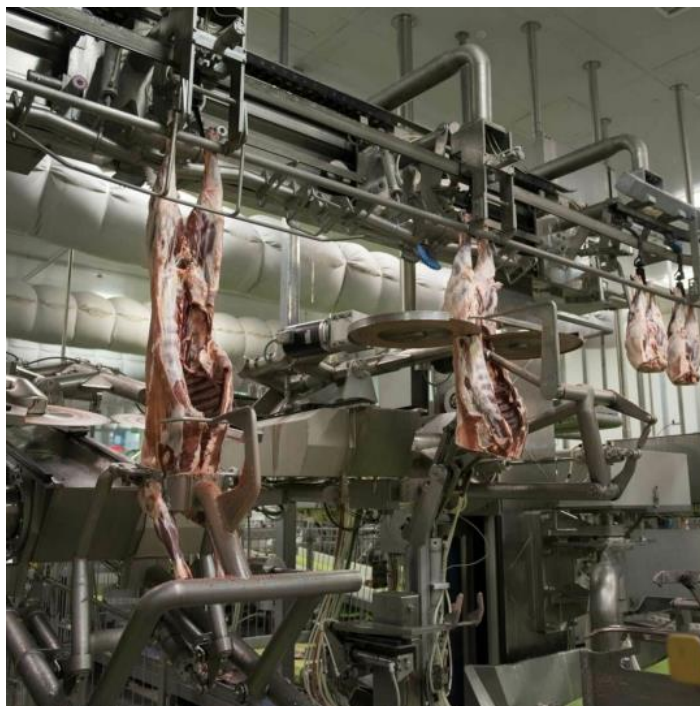


Рис. 3. SCOTT Automated Boning Room [23]

Оборудование SRDViand, которое позволяет работать с тушами говядины. Система визуализации состоит из камеры и сканера, которые выполняют 3D-реконструкцию туши, с помощью которой в виртуальной модели обозначаются рёбра и позвоночник. По полученной модели определяется траектория распила туши. Сами разделочные операции выполняются роботизированными манипуляторами оснащенными лезвиями. Путь и условия, в которых выполняется разрез (скорость движения вперёд, движение лезвия, боковая опора лезвия на кость и угол наклона лезвия), корректируются в соответствии с данными и характеристиками, каждой конкретной туши (толщина костей, количество жира, текстура мяса и др.), полученными с помощью сканирования [6, 18].

В отрасли птицеперерабатывающей промышленности в настоящее время наибольший уровень автоматизации. Это связано с тем, что у тушек птицы меньше различий по сравнению с тушками других более крупных животных. Однако автоматизация распространена при первичной переработке птицы. Этот факт, наряду с высоким потреблением мяса птицы, означает, что отрасль продолжает постоянно нуждаться в интеллектуальных и автоматизированных системах, которые позволяют повысить производительность, особенно при вторичной переработке птицы (разделке и обвалке). В этой части существует несколько успешных систем, таких как GRIBBOT – робот для разделки тушек на куриное филе, оснащённый 3D-камерой, захватами и системой транспортировки, которая позволяет роботизированной руке захватывать и

перемещать тушки. Благодаря сочетанию успешных решений данная система позволяет выполнять операции по разделке с достаточно высокой скоростью (около 5 секунд), что положительно сказывается на повышении производительности предприятия [19, 20]. Изображение представлено на рисунке 4.

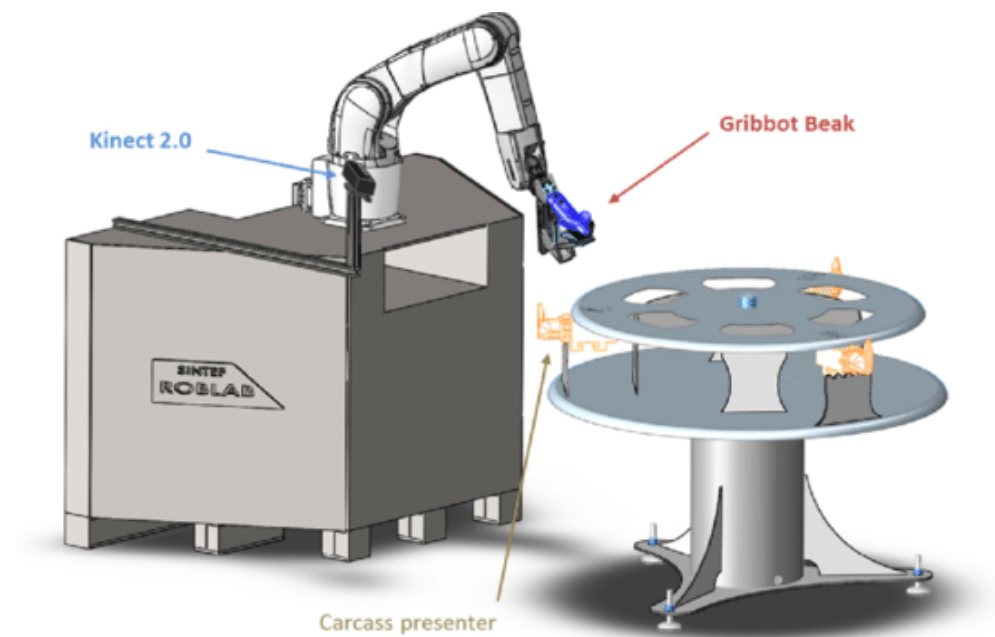


Рис. 4. 3D изображение GRIBBOT subsystems [24]

Вывод

Автоматизация технологического оборудования в мясной отрасли имеет большое значение для повышения эффективности производства, снижения трудоемкости, улучшения качества продукции и обеспечения безопасности рабочих процессов. Внедрение автоматизированных систем позволяет оптимизировать технологические операции, снизить влияние человеческого фактора и минимизировать риски, связанные с человеческим фактором.

Однако успешная реализация проектов по автоматизации требует тщательного планирования, анализа и подготовки от руководства предприятия. Необходимо учитывать специфику производственных процессов, требования к качеству продукции и особенности используемого оборудования. Кроме того, важно обеспечить обучение персонала работе с новыми системами и оборудованием, а также предусмотреть меры по техническому обслуживанию и поддержке автоматизированных решений.

Автоматизация технологического оборудования является перспективным направлением развития мясной отрасли, которое способствует повышению производительности предприятий и улучшению качества выпускаемой продукции.

Библиографический список

1. Robert J. Delmore. Automation in the Global Meat Industry // Animal Frontiers. Vol. 12, Iss. 2, April 2022. P. 3-4. URL: <https://doi.org/10.1093/af/vfac021>.
2. Ahlin K. The robotic workbench and poultry processing 2.0 // Anim. Front. 2022. Vol. 12 (2). P. 49-55. URL: <https://doi.org/10.1093/af/vfab079>.

3. *Barbar C., Bass P., Barbar R., Bader J., Wondercheck B.* Artificial intelligence-driven automation is how we achieve the next level of efficiency in meat processing // *Anim. Front.* 2022. № 12 (2). P. 56-63. URL: <https://doi.org/10.1093/af/vfac017>.
4. *Hinrichsen L., Wu H., Gregersen K.* We need to rethink production technology for meat packers—the old cutting table is being revived // *Anim. Front.* 2022. № 18 (2). P. 18-24. URL: <https://doi.org/10.1093/af/vfab077>.
5. *Khodabandehloo K.* Achieving robotic meat cutting // *Anim. Front.* 2022. № 12 (2). P. 7-17. URL: <https://doi.org/10.1093/af/vfac012>.
6. *Barbut S.* Meat Industry 4.0: A Distant Future? // *Animal Frontiers*. 2020. Vol. 10. Iss. 4, October. P. 38-47. URL: <https://doi.org/10.1093/af/vfaa038>.
7. *Seaton M.* Lessons in automation of meat processing // *Animal Frontiers*. Vol. 12. Iss. 2. April 2022. P. 25-31. URL: <https://doi.org/10.1093/af/vfac022>.
8. *Echegaray N., Hassoun A., Jagtap S., Tetteh-Caesar M., Kumar M., Tomasevic I., Goksen G., Lorenzo J. M.* Meat 4.0: Principles and Applications of Industry 4.0 Technologies in the Meat Industry. *Appl. Sci.* 2022, 12, 6986. URL: <https://doi.org/10.3390/app12146986>.
9. *Park M., Britton D., Daley W., McMurray G., Navaei M., Samoylov A., Usher C., Xu J.* Artificial intelligence, sensors, robots, and transportation systems drive an innovative future for poultry broiler and breeder management // *Anim. Front.* 2022. № 12 (2). P. 40-48. URL: <https://doi.org/10.1093/af/vfac001>.
10. *Rady A., Adedeji A. A.* Application of Hyperspectral Imaging and Machine Learning Methods to Detect and Quantify Adulterants in Minced Meats // *Food Anal. Methods*. 2020. № 13. P. 970-981. URL: <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01719-1>.
11. *Reda O.; Sassi I.; Zellou A.; Anter S.* Towards a Data Quality Assessment in Big Data. In *Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications*, Rabat, Morocco, 23-24 September 2020. P. 91-96.
12. *Jin C., Bouzemrak Y., Zhou J., Liang Q., van den Bulk L. M., Gavai A., Liu N., van den Heuvel L. J., Hoenderdaal W., Marvin H. J. P.* Big Data in Food Safety-A Review. *Curr. Opin // Food Sci.* 2020. № 36. P. 24-32.
13. *Debauche O., Elmoulat M., Mahmoudi S., Bindelle J., Lebeau F.* Farm Animals' Behaviors and Welfare Analysis with Ia Algorithms // A Review. *Rev. D'intelligence Artif.* 2021. № 35. 243-253.
14. *Neethirajan S.* The Role of Sensors, Big Data and Machine Learning in Modern Animal Farming. *Sens. Bio-Sens. Res.* 2020. № 29. P. 100367.
15. *Jagtap S., Duong L. N. K.* Improving the New Product Development Using Big Data: A Case Study of a Food Company // *Br. Food J.* 2019. № 121. P. 2835-2848.
16. *Fontanesi L.* Meat Authenticity and Traceability. In *Lawrie's Meat Science*; Toldrá, F., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. 2017. P. 585-633.
17. *Brizzi P., Conzon D., Pramudianto F., Paralic M., Jacobsen M., Pastrone C., Tomasi R., Spirito M. A.* The Ebbits Platform: Leveraging on the Internet of Things to Support Meat Traceability. In *Proceedings of the EFITA WCCA-CIGR Conference on Sustainable Agriculture through ICT Innovation*, Turin, Italy, 24-27 June 2013. P. 23-27.
18. *Gupta K.; Rakesh N.* IoT-Based Solution for Food Adulteration. *Smart Innov // Syst. Technol.* 2018. № 79. P. 9-18.
19. *Cao S., Powel, W., Foth M.; Natanelov V., Miller T., Dulleck U.* Strengthening Consumer Trust in Beef Supply Chain Traceability with a Blockchain-Based Human-Machine Reconcile Mechanism // *Comput. Electron. Agric.* 2021, 180, 105886.

20. *Ropodi A. I., Panagou E. Z., Nychas G. J. E.* Multispectral Imaging (MSI): A Promising Method for the Detection of Minced Beef Adulteration with Horsemeat // *Food Control*. 2017. № 73. P. 57-63.
21. URL: <https://www.frontmatec.com>.
22. URL: https://mayekawa.com/products/deboning_machines.
23. URL: <https://scottautomation.com>.
24. *Misimi, Ekrem & Øye, Elling & Lillienkiold, Aleksander & Mathiassen, John & Berg, Olav Åsebø & Gjerstad, Tone Beate & Buljo, Jan & Skotheim, Øystein.* (2016). GRIBBOT – Robotic 3D vision-guided harvesting of chicken fillets. *Computers and Electronics in Agriculture*. 121. 84-100. 10.1016/j.compag.2015.11.021.