

предоставляют встроенную поддержку для Python.

Запуская вычисления на периферийных устройствах с интегрированными графическими процессорами или используя ресурсы локального шлюза ПоТ для туманных вычислений, мы можем применять обученную модель на месте [1]. В области компьютерного зрения, необходимого для того, чтобы роботизированная рука могла что-то взять, машины используют свои камеры в роли глаз и способны распознавать объекты [1].

Несколько авторов рассматривают Python как альтернативу Matlab [2-4] и высоко ценят его преимущества. В конечном итоге, умение использовать Python для решения задач автоматического управления становится несомненным преимуществом для инженера по автоматизации.

Список использованных источников

1. Jivan S. Parab, Madhusudan Ganuji Lanjewar, Marlon Darius Sequeira, Gourish Naik, Arman Yusuf Shaikh. Python Programming Recipes for IoT Applications, – Springer Singapore 2013 192 p.

2. Kumar, R.Mathusoothana & Lakshmi, S.L. & K.V., Shiny & P., Venkadesh. (2023). Problem Solving and Python Programming. 10.59646/pythonprog/049.

3. Raja, K. (2023). Python-based fuzzy logic in automatic washer control system. Soft Computing. 27. 1-27. 10.1007/s00500-023-07979-3.

4. Shaw, Rabindra. (2021). Innovations in Electrical and Electronic Engineering. 10.1007/978-981-16-0749-3_.

УДК 621.798:664

Е.А. Дынько, П.Г. Крупская

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ УПАКОВКА: ОБЗОР, ТЕНДЕНЦИИ, ИННОВАЦИИ

Аннотация. Потребители заинтересованы в покупке безопасных продуктов питания. В связи с этим разработаны интеллектуальные упаковки, отслеживающие состояние продукта и предотвращающие покупку

некачественного товара. В статье рассматриваются основные виды таких упаковок, их преимущества и недостатки, применение в мире, а также тенденции и перспективы развития

El.A. Dynko, P.G. Krupskaya
Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus

INTELLIGENT PACKAGING: OVERVIEW, TRENDS, INNOVATIONS

***Abstract.** Consumers are keen to purchase safe food products, prompting the creation of intelligent packaging that monitors product condition and prevents the acquisition of substandard goods. This article delves into the primary types of such packaging, its corresponding merits and demerits, its global applicability, as well as trends and future prospects of development.*

Качество продукции напрямую зависит не только от соблюдения технологических параметров в процессе производства, но и от условий её хранения. В соответствии с исследованием ФАО, в глобальном масштабе теряется или выбрасывается примерно треть продуктов, предназначенных для потребления человеком, что эквивалентно примерно 1,3 миллиарда тонн в течение года. Около 40–50% фруктов и овощей годового урожая используется неэффективно из-за физиологического метаболизма после сбора, неправильных условий хранения и порчи, вызванной размножением микробов. Нарушение температурного режима, влажности и газового состава может изменить физиологический метаболизм овощей и фруктов, что, в свою очередь, ускоряет их порчу [1]. Например, мясо является благоприятной средой для развития и размножения микрофлоры, так как оно содержит воду, азотистые вещества, жиры. Поэтому создание эффективных технологий с целью снижения порчи продуктов питания путем воздействия на вышеупомянутые факторы остается актуальным направлением исследований.

Упаковка играет ключевую роль в предотвращении загрязнения пищевых продуктов воздействием химических веществ, механическим повреждением, пылью, температурными изменениями, воздействием света, влажностью и микробами. Это эффективное средство для увеличения срока хранения и сокращения потерь и порчи продуктов. Полимерная упаковка до сих пор не проявила своего максимального потенциала в уменьшении потерь и продлении срока годности. Эти возможности могут быть реализованы при использовании технологий, гарантирующих высокий уровень санитарно-гигиенической обработки

и обращения с продукцией до упаковывания, а также при строгом соблюдении условий хранения в холодильных условиях. Но современные исследования в области упаковочных решений не стоят на месте. На сегодняшний день выделяются перспективные направления в области упаковки, включая внедрение новых компонентов, обеспечивающих дополнительные функции для мониторинга различных параметров, связанных с прослеживаемостью, безопасностью и качеством упакованных продуктов. Это активно развивающееся направление получило название «интеллектуальная упаковка» [3].

Интеллектуальная упаковка определяется как система, которая способна формировать, принимать, фиксировать и обмениваться информацией между продуктом и потребителем в режиме реального времени. Внедрение в упаковку специализированных устройств, способных обнаруживать и сигнализировать об изменениях внешних и внутренних параметров в процессе хранения, транспортировки и реализации продукции, расширит функциональные возможности упаковки, а также обеспечит своевременное информирование всех участников рынка о нарушениях, таких как изменения температуры хранения, влажности, повреждение упаковки или микробиологическая порча. Наиболее актуальной интеллектуальная упаковка является для скоропортящихся продуктов, в том числе для мясной и рыбной продукции, фруктов и овощей.

Интеллектуальную упаковку для фруктов и овощей можно условно разделить на две группы: индикаторы и датчики. Индикаторы включают в себя колориметрические индикаторные этикетки или плёнки и индикатор температуры и времени (ТТІ). Датчики подразделяются на биосенсоры и химические сенсоры.

Этикетки-индикаторы, созданные из высокомолекулярных полимеров (чаще всего белков или полисахаридов), в сочетании с химическими или натуральными красителями, представляют собой наиболее распространенную форму интеллектуальной упаковки для оценки таких характеристик продукции из фруктов и овощей, как свежесть и спелость, путем изменения цвета. Принцип работы индикаторов следующий: цвет меток изменяется в результате химического взаимодействия между красителем и целевыми метаболитами, что свидетельствует об изменении качества продукта.

В качестве химических хромогенных красителей используют метиловый красный, феноловый красный, бромфеноловый синий и бромкрезоловый фиолетовый. Несмотря на эффективность индикаторных этикеток с одним красителем для оценки качества

свежих продуктов, их ограниченный диапазон цветовых переходов и нечеткость в различении состояний ограничивают их применение. Поэтому проводятся исследования по созданию этикеток с несколькими красителями для улучшения чувствительности и более эффективного обнаружения ухудшения качества продукции. Также необходимо учитывать потенциальную токсичность миграции химических красителей в пищевые продукты. В связи с этим такие натуральные красители, как куркумин, антоцианы и пигменты свеклы, становятся приоритетными для исследований, обеспечивая доступность и безопасность в умной упаковке фруктов и овощей.

Индикаторы времени и температуры (ТТ) эффективно применяются для мониторинга температурных колебаний в цепочке поставок пищевых продуктов в режиме реального времени, что обеспечивает контроль качества и безопасности продукции.

Датчики, объединяя компоненты идентификации, преобразования, электроники отображения сигнала и обработки сигналов, генерируют сигнал через взаимодействие компонента идентификации с обнаруживаемым веществом. Это инициирует модификацию рецептора и последующее преобразование в полезный электронный сигнал для отображения с использованием компонента преобразования. В качестве компонента обнаружения у фруктов и овощей могут выступать продукты метаболизма сырья (кислород, этилен и альдегиды), а также эндогенные вещества (токсины, остатки пестицидов, микроорганизмы).

В зависимости от взаимодействия компонента идентификации с анализируемым веществом различают биосенсоры и химические сенсоры. В биосенсорах вещества, используемые для анализа, состоят из ферментов, антител, антигенов, нуклеиновых кислот, фагов. Химические датчики работают на основе реакций между рецепторами и аналитами, которые генерируют сигналы, подлежащие записи и последующему анализу [1].

Интеллектуальные упаковочные системы для мясной продукции включают в себя индикаторы температуры, температурно-временные индикаторы, индикаторы целостности упаковки, колориметрические индикаторы микробиологической порчи и биосенсоры.

Индикатор температуры функционирует на основе того, что при повышении температуры активное вещество переходит из твердого в жидкое состояние, в результате чего этикетка поглощает образовавшуюся жидкость и частично теряет цвет, включая печатный штрих-код, из-за чего впоследствии потребитель не может отсканировать испорченный товар на кассе [2].

Колориметрические индикаторы микробиологической порчи и индикаторы целостности упаковки изменяют цвет при взаимодействии с веществами, которые выделяются микрофлорой, вызывающей порчу, что говорит об нарушении потребительских свойств продукта либо о времени с момента вскрытия упаковки в случае индикатора целостности [3].

В интеллектуальных упаковочных системах также используется такая технология, как метка радиочастотной идентификации (RDIF). Данная метка представляет собой устройство с радиочастотным микрочипом и антенной, предназначенными для беспроводной передачи данных. Прогресс в технологии RDIF значительно улучшили интеллектуальную упаковку, позволяя более эффективно определять качество продукции и предотвращать ее порчу. Интеграция датчиков контроля и меток RFID расширяет возможности технологии RFID в мониторинге холодовой цепи, а также управлении температурой и влажностью при упаковке пищевых продуктов. Преимущества RFID-меток по сравнению со штрих-кодами включают дистанционное управление, способность одновременного контроля в разных местах и возможность хранения разнообразной информации для идентификации продукции [1, 2].

Несмотря на многочисленные преимущества инновационной упаковки для продуктов питания, включая более эффективное использование сырья, улучшение безопасности продуктов и сокращение отходов, существует ряд препятствий, которые требуется преодолеть для широкого внедрения интеллектуальной упаковки в промышленности. Основные проблемы широкого промышленного использования интеллектуальной упаковки включают в себя безопасность компонентов интеллектуальной упаковки, чувствительность отклика и точность показаний, высокая стоимость производства, вопросы правового регулирования и признание потребителями [1].

Несмотря на существующие препятствия внедрения интеллектуальной упаковки, уже есть примеры ее промышленного производства: разработанные две биосенсорные системы. Первая, разработана компанией ToxinGuard, встраивается непосредственно в упаковку и представляет из себя пленку, в которой находятся антитела, которые обнаруживают болезнетворные бактерии (*Listeria*, *Salmonella*). Вторая биосенсорная система, созданная Food Sentinel System, имеет схожее предназначение, однако микроорганизмы обнаруживаются при помощи иммунологических реакций. Эти реакции связаны с областью

штрих-кода и, если внутри упаковки начали размножаться опасные микроорганизмы, считать на кассе товар не получится [2].

На текущий момент из перспективных направлений является концепция интеграции биосенсоров с системой RFID-меток, обеспечивая возможность мониторинга состояния продукта в реальном времени. Также направлениями для будущих исследований являются колориметрические индикаторы с использованием природных красителей и повышение стабильности их цвета, ДНК-биочипы, способные распознавать запах и вкус, использование растительных отходов для создания компонентов интеллектуальной упаковки.

Таким образом, интеллектуальная упаковка, предназначенная для мониторинга продуктов, в особенности для скоропортящихся, предоставляет возможность потребителям избежать покупки некачественных, небезопасных товаров и минимизировать риски для здоровья. Несмотря на активные исследования в этой области, существующие недостатки пока ограничивают массовое внедрение интеллектуальных упаковок.

Список использованных источников

1. Бурак, Л.Ч. Интеллектуальная упаковка для овощей и фруктов, классификация и перспективы использования / Л.Ч. Бурак, А.Н. Сапач, М.И. Писарик // Здоровье, пищевая и биотехнология. – 2023. – Т. 5, вып. 1. с. 51 – 80
2. Ревуцкая, Н.М. Интеллектуальная упаковка – индикатор качества мяса и мясной продукции / Н.М. Ревуцкая, В.В. Насонова // Все о мясе. – 2019. – №4. С. 48 – 51
3. Семенова, А.А. Достижения и перспективы развития полимерной упаковки мяса и полуфабрикатов / А. А. Семенова, В. В. Насонова, Н. М. Ревуцкая [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 3. С. 161 – 174