

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ И НЕЙРО-НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ И СРЕДСТВ

А.Е. Мисник (*anton@misnik.by*)

М.А. Шалухова (*shaluhova.m@yandex.ru*)

Белорусско-Российский университет, Могилёв

В статье описывается способ повышения качества процессов контроля выпускаемой продукции на пищевом производстве с помощью использования нейросетевых и нейронечетких методов, моделей и средств. Предложено использовать выделение признаков с помощью свёрточных сетей с дальнейшей постобработкой в системе нечёткого вывода. В ходе работы предложенной системы был получен высокий процент верных распознаваний (91,9%), за время эксплуатации возвраты покупателем продукции по причине брака на снизились на 63% к аналогичному периоду прошлого года. Полученные результаты показывают, что идентификация дефектов с использованием адаптивной нейро-нечеткой системы вывода является подходящим инструментом при решении задач анализа дефектов.

Ключевые слова: нейросетевой подход, нечеткая логика, распознавание дефектов, нейронная сеть, ANFIS.

Введение

При производстве продукции, требующей сложного технологического процесса, контроль качества в целом и своевременное обнаружение дефектов на каждой стадии играет решающую роль в конечном качестве продукции и удовлетворенности заказчика. Процесс контроля качества является сложным процессом, заключающим в выявлении явных дефектов и несоответствий заданным требованиям [Кушнаренко и др., 2011]. Как правило, контролем качества на производстве занимается отдел контроля качества, состоящий из специалистов-экспертов. При классическом подходе к проверке качества, проверки зачастую носят периодический либо плановый характер, так как сплошной контроль или разбраковка всех изделий невозможны в силу экономической нецелесообразности проверки больших партий готовой продукции или неизбежного разруше-

ния изделий при контроле [Юдин, 2022]. Часть функций контроля способны взять на себя экспертные системы, использующие нейросетевой подход. Заинтересованность крупных производств в построении эффективных систем и процессов контроля качества ежегодно растет, ведь с повышением качества отгружаемой продукции увеличивается вероятность повторных закупок, дополнительных продаж и, в целом, улучшает имидж организации [Дунченко и др., 2012].

Искусственные нейронные сети позволяют решать задачи, на решение которых другими способами уходит существенное количество времени и средств [Николенко и др., 2018]. Сочетание искусственных нейронных сетей с использованием нечеткой логики позволяет описывать сложные трудно формализуемые процессы, автоматизировать сложные производственные задачи, такие как обнаружение дефектов и определении брака [Гифт, 2019]. Применение возможностей нейросетевого подхода для процессов контроля качества способно снять часть задач с отдела контроля, а также уменьшить количество брака, фиксируемого на стороне заказчика.

В данной рассматривается способ повышения качества процессов контроля выпускаемой продукции на пищевом производстве, за счёт использования нейросетевых и нейронечетких методов, моделей и средств. Целью разработки способа является уменьшение количества возвратов покупателем продукции по причине брака.

1. Разработка способа и средств контроля качества продукции

Автоматизация части процессов по поиску и классификации дефектов за счёт нейросетевых технологий позволят существенно сократить затраты предприятия на выявление дефектов в произведенной продукции. Применение подобных систем позволит так же осуществлять переход к сплошному контролю над качеством выпускаемой продукции и своевременно выявлять дефекты на стадии незавершенного производства.

Одним из способов выявления дефектов производства является визуальный осмотр и сверка полученных размеров с эталоном (контроль по контрольному образцу, измерительный контроль, визуальный контроль) [Понамарёв и др., 2012]. Для поиска и классификации дефектов, обнаруживаемых при классическом подходе в ходе визуального контроля, предлагается использовать свёрточную нейронную сеть: для обработки дефектоскопических изображений свёрточные нейронные сети могут иметь в своем составе несколько слоев: входной, свёрточный, субдискретизации, полносвязный [Замятин, 2016].

Свёрточные сети, использующие признаковый метод анализа изображений в автоматизированной системе, хорошо справляются с поиском и определением дефектов, требующими выделения узкоспецифичных при-

знаков. Это позволяет их применять при визуальном и измерительном контроле, однако для построения полноценной экспертной системы полученные результаты следует подвергнуть дальнейшему анализу [Мисник и др., 2021].

Для анализа результатов, полученных свёрточной сетью, как правило, необходимо применение дополнительных средств интеллектуального анализа. При отборе образцов брака специалистами отдела контроля качества было отмечено, что различные специалисты оценивают степень выраженности дефекта и его исправимости неодинаково. В результате оценки разными экспертами один и тот же образец продукции мог быть признан неисправимым браком и годной продукцией одновременно. Расхождение наблюдалось в случае, если на продукции присутствовали признаки нескольких дефектов, что добавляет данным неопределенности. Экспертное мышление основано на неточных, приблизительных данных, полученном ранее опыте в сфере, анализ которых позволяет формировать четкие решения. Благодаря своим особенностям, адаптивная нейро-нечеткая система вывода хорошо справляется с задачами интерпретации полученного результата классификации [Misnik et al., 2019]. Для построения нейро-нечетких систем могут использоваться как предварительные знания, так и данные процесса. Предлагается использование для анализа полученных данных адаптивную нейро-нечеткая система вывода (ANFIS) [Шалухова, 2021].

Для построения нейро-нечетких систем могут использоваться как предварительные знания, так и данные процесса. Предварительное знание может иметь довольно приблизительный характер, можно выделить два основных подхода к интеграции знаний и данных: формулирование знаний эксперта как совокупность лингвистических правил “ЕСЛИ, ТО” и построение с нуля нечетких правил, включая связанные параметры. В первом случае таким образом создается исходная модель, а функции принадлежности и последующие параметры затем настраиваются с использованием данных процесса, во втором случае преимуществом использования нейро-нечеткой модели является возможность интерпретировать полученный результат. Эксперт может справиться с информацией, хранящейся в базе правил, своими собственными знаниями, изменять правила или предоставлять дополнительные, чтобы продлить срок действия модели [Борисов и др., 2021]. Вышеупомянутые методы, в зависимости от проблемы, могут быть объединены.

ANFIS является нейронной сетью с несколькими входами, представляющими собой нечеткие лингвистические переменные, и единственным выходом. Термы входных лингвистических переменных описываются стандартными функциями принадлежности, термы выходной переменной

представляются линейной или постоянной функцией принадлежности. Также ANFIS представляет собой систему нечеткого вывода, в которой каждое из правил нечетких продукций имеет постоянный вес, равный 1 [Горбаченко, 2022].

В адаптивных системах веса изменяются в процессе обучения для достижения наилучшей приспособленности модели к заданным значениям, а не уточняются в процессе анализа данных для определения уровня активации условия в правиле вывода. Такая сеть может быть успешно использована для настройки функций принадлежности и настройки базы правил в нечеткой экспертной системе. Предлагаемая схема работы системы представлена на рис. 1.

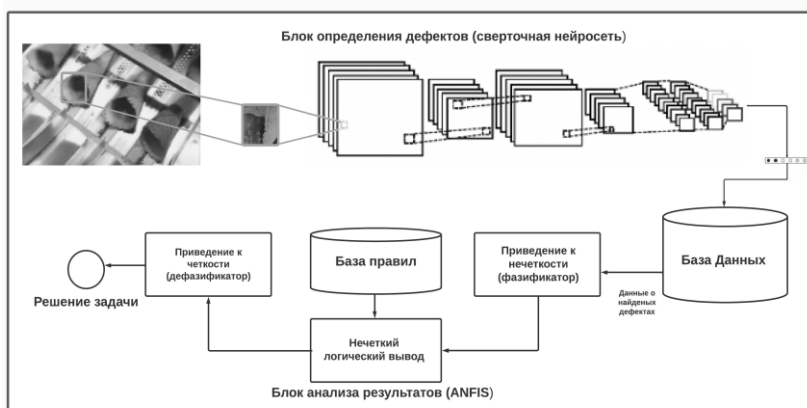


Рис. 1. Схема работы экспертной системы распознавания дефектов

Над производственной линией, с дополнительным источником света, размещена камера. Изображение с камер поступает на вход к сверточной нейронной сети, где происходит обнаружение дефекта (при наличии такового), его классификация, определяется его расположение. Сверточные нейронные сети обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям. Выходные данные, полученные от сверточной нейронной сети, передаются в блок анализа, анализ полученных данных проводится с помощью ANFIS.

2. Определение лингвистических переменных

Лингвистические переменные предназначены в основном для анализа сложных или плохо определенных явлений, их определение требует анализа как поставленной задачи, так и текущей ситуации на рассматриваем-

мом производстве. При подготовке к разработке одной из сложностей является определение необходимости и достаточности данных, так как экспертное мнение часто является плохо формализуемым, эксперт часто не может четко обозначить приоритетность признаков, отсюда возникает проблема избыточного набора данных. Для уменьшения времени обучения и повышения качества работы системы требуется определить, какие данные необходимы для решения конкретной задачи. Рассматриваемое предприятие (СООО “Айспак”) производит несколько основных видов продукции: вафельный стаканчик и конус, лист вафельный, вафельная крошка, сухари панировочные и вафельные сахарные рожки. Соответствие качества продукции определяется согласно государственному стандарту Республики Беларусь (СТБ 2400-2015) “Вафли”, и межгосударственному стандарту ГОСТ 14031-2014 в котором содержатся общие технические условия, правила приемки, методы контроля, упаковка, маркировка, транспортирование, хранение.

Целевой продукцией средств визуального контроля разработанной системы являются сахарные рожки (в том числе и окрашенные), вафельные стаканчики и вафельные листы. Визуальный контроль способен выявить следующие разновидности дефектов у произведенных вафель: разрывы либо разломы вафельного листа, неровный обрез края вафельного листа, пятна, просвечивание корпуса с доньшка изделий (для вафельных стаканчиков). Тогда, для свёрточной нейронной сети задача включает в себя обнаружение одного из перечисленных дефектов, а также варианта, при котором искомые дефекты отсутствуют. Распространённость различных дефектов продукции в общей доле всех выявляемых дефектов на производстве приведена в табл. 1.

Таблица 1

Виды дефекта			
Разрывы, разломы	Неровный обрез	Пятна	Просвечивание корпуса
57,63%	17,27%	11,40%	13,70%

При производстве различных видов продукции, процент частоты выявления характерных дефектов в каждом подвиде неодинаков. Различие в содержании сахара (массовая доля от 0 до 45%, согласно технологическим картам производства вафельной продукции, применяемым на рассматриваемом производстве) и допустимом стандартом проценте влаги обуславливает отличия в прочности изделий. В результате анализа полученных данных, а также интервью с технологами производства и специалистами контроля качества, были выявлены следующие факторы риска возникновения брака: сложность формы, содержание сахара, сложность линии обрезки (неровный обрез),

наличие разрывов/разломов и пятен, просвечиваний корпуса [Мисник и др., 2022]. Факторы риска являются входными переменными для нечеткой системы. Каждая переменная принимает три нечетких значения, которые описываются трапецевидными функциями принадлежности. Выходной переменной является нечеткая переменная «риск появления брака», которая принимает нечеткие значения: низкий, средний и высокий (рис. 2).

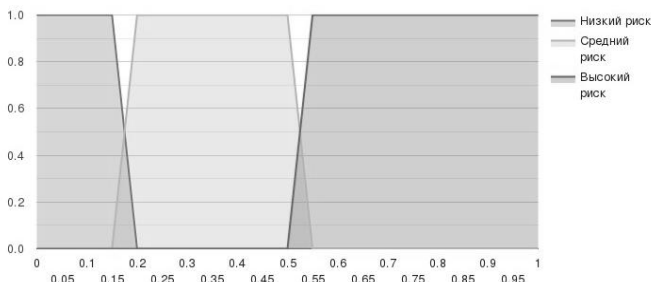


Рис. 2. Переменная риска: низкий риск [0–20%], средний риск [20–55%] и высокий риск [55–100%]

Эти нечеткие значения определяются также трапецевидной функцией принадлежности, соответствующей четкому значению процента риска. Диапазоны каждой переменной риска определяются как низкий риск [0–20%], средний риск [20–55%] и высокий риск [55–100%].

Ниже приведено несколько примеров правил, используемых в работе. Нечеткие правила и факторы риска сформированы методом изучения нормативной документации, а также по результатам интервью со специалистами контроля качества.

Примеры полученных нечетких правил:

R1: ЕСЛИ (форма – простая) И (содержание сахара – низкий) ТО (риск появления брака – низкий).

R2: ЕСЛИ (форма – простая) И (содержание сахара – высокий) И (сложность линии обрезки – средний) ТО (риск появления брака – низкий).

R3: ЕСЛИ (форма – сложная) И (содержание сахара – высокий) И (сложность линии обрезки – средний) И (просвечиваний корпуса – низкий) И (Наличие пятен – много) ТО (риск появления брака – высокий).

R4: ЕСЛИ (форма – сложная) И (содержание сахара – низкий) И (сложность линии обрезки – высокий) И (наличие разрывов – средний) ТО (риск появления брака – высокий), и т.д. правил в базе знаний должно быть достаточным, для описания лингвистических правил, однако нужно избегать избыточности.

Для определения типа дефектов и дальнейшей классификации использовалась структура с многими слоями, не имеющими обратных связей, использующих нечёткие сигналы. Операции суммирования производятся на основе фиксированной t-нормы и s-конормы или другой операции. Нечёткость в сетях этого типа проявляется при использовании ретроспективной информации, при формировании параметров функций принадлежности. Сами же параметры находятся на основе методов обучения нейронных сетей.

На основе полученной информации, были подготовлены три матрицы данных: обучающая, тестовых данных и матрица проверочных значений. В обучающей выборке содержится 7200 изображений вафельной продукции (4600 позитивных примеров, с низким риском выявления брака, 1800 примеров продукции, где риск возникновения брака средний (наличие неявных дефектов), и 800 единиц с высоким риском признания браком (явные дефекты либо сочетание нескольких видов дефектов), проверочная выборка составила 900 изображений (500, 280 и 120 соответственно).

Адаптивная нейро-нечеткая система вывода на достаточном уровне справляется с задачами высокоточного распознавания, которые требуют выделения узкоспецифичных признаков, что позволит их применять при визуальном и измерительном контроле. При выявлении несоответствия, решается задача классификации, согласно месту обнаружения, типа, и процента выявленного несоответствия.

3. Оценка эффективности способа и средств контроля качества выпускаемой продукции

При использовании в тестовом режиме на пищевом производстве ("СООО "Айспак"), разработанная по предложенной схеме система, в период с сентября 2022 по январь 2023, позволила сократить затраты, связанные с возвратом продукции покупателем по причине брака на 63%, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

Полученная точность распознавания обучающей и проверяющей выборки рассматривается в табл. 2.

Таблица 2

Тип выборки	Точность распознавания выборки			
	Неровный обрез	Пятна	Просвечивание корпуса	Разрывы, разломы
Обучающей	92,73%	90,96%	89,04%	93,83%
Проверяющей	91,70%	89,3%	88,77%	91,90%

Была достигнута цель в обеспечении непрерывного контроля за производственными линиями аппаратными средствами, что позволило разгрузить отдел контроля качества. В дальнейшей работе планируется улучшить точность распознавания, введя новые уточнения в множества лингвистических правил.

Заключение

В рамках данной работы была рассмотрена возможность применения системы с использованием ANFIS, ориентированной на распознавания дефектов вафельной продукции. При применении на производстве система, показала высокий процент верных распознаваний (91,9%), за время эксплуатации возвраты покупателем продукции по причине брака на снизились на 63% к аналогичному периоду прошлого года. Возможность автоматической отбраковки дефектной продукции способно существенно сократить дальнейшие издержки, связанные с внутренним и внешним браком, а также расширяет возможности автоматизации линий производства.

Полученные результаты показывают, что идентификация дефектов с использованием адаптивной нейро-нечеткой системы вывода достаточно эффективна, что достигается благодаря ее устойчивости к искажениям входных данных, а также является подходящим выбором при решении задач обнаружения и классификации дефектов.

Список литературы

- [Misnik et al., 2019] Misnik A., Krutalevich S., Prakapenka S., Borovykh P. and Vasiliev M. Impact Analysis of Additional Input Parameters on Neural Network Cryptocurrency Price Prediction // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP), Samara, 2019.
- [Борисов и др., 2021] Борисов В.В., Бобряков А.В., Мисник А.Е. Экспертные системы. – Смоленск: Универсум, 2021.
- [Гифт, 2019] Гифт Н. Прагматичный ИИ. Машинное обучение и облачные технологии // Серия «Библиотека программиста». – СПб.: Питер, 2019.
- [Горбаченко, 2022] Горбаченко В.И. Интеллектуальные системы: нечеткие системы и сети: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во «Юрайт», 2022.
- [Дунченко и др., 2012] Дунченко Н.И., Магомедов М.Д., Рыбин А.В., Управление качеством в отраслях пищевой промышленности: учебное пособие. – 4-е изд. – М.: ИТК «Дашков и К°», 2012.
- [Замятин, 2016] Замятин А.В. Введение в интеллектуальный анализ данных: учебное пособие. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016.
- [Кушнаренко и др., 2011] Кушнаренко В.М., Репях В.С., Чирков Е.Ю. Кушнаренко Е.В. Дефекты и повреждения деталей и конструкций: монография. – Оренбург: ОГУ, 2011.

- [Мисник и др., 2021] Мисник А.Е., Шалухова М.А., Использование нейронных сетей для идентификации дефектов вафельного производства // Энергетика, информатика, инновации – 2021 (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оптотехника): Сборник трудов XI Международ. науч.-технич. конф., филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. – Смоленск, 2021.
- [Мисник и др., 2022] Мисник А.Е., Шалухова М.А., Применение ANFIS при моделировании кибер-физических систем выявляющих дефекты незавершенного производства // XX Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение», Московский государственный психолого-педагогический университет: – М., 2022.
- [Николенко и др., 2018] Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение // Серия «Библиотека программиста». – СПб.: Питер, 2018.
- [Пономарёв и др., 2012] Пономарев С.В., Мищенко С.В., Мищенко Е.С., Гребенникова Н.М., Балабанов П.В., Евлахин, Р.Н., Злобин Э.В., Копышева Н.А., Мозгова Г.В., Чуриков А.А., Шишкина Г.В. Управление качеством процессов и продукции. В 3-х кн. Кн. 1: Введение в системы менеджмента качества процессов в производственной, коммерческой и образовательной сферах: учебное пособие / под ред. д-ра техн. наук, проф. С.В. Пономарева. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012.
- [Шалухова, 2021] Шалухова М.А. Использование нейронных сетей для идентификации дефектов незавершенного производства // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова - 2021 г. (24-25 октября 2021 г.). – Белгород: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», 2021.
- [Юдин, 2022] Юдин С.В. Управление качеством: теоретические основы и практические рекомендации: учебное пособие для вузов. – СПб.: Лань, 2022.