

УДК 634.11:621.317.421:581.821

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗРЕЛОСТИ ЯБЛОК НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ

**Александр Сергеевич Гордеев**

доктор технических наук, профессор

gorde2020@gmail.com

**Вадим Игоревич Никитин**

аспирант

invant201@yandex.ru

**Борис Сергеевич Мишин**

кандидат технических наук, доцент

boris.sergeewitch@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В данной научной статье совершенствуется процесс уборки яблок и метод определения зрелости яблок. На основе этих данных была обучена нейронная сеть, написанная на языке Python с использованием библиотеки Keras.

**Ключевые слова:** зрелость яблок, метод определения зрелости, искусственный интеллект, нейронные сети, Python, Keras.

Уборка плодов является важнейшим этапом в их выращивании и играет ключевую роль в сохранении яблок в процессе их хранения и реализации населению. Чтобы успешно реализовать эту технологическую операцию, необходимо улучшать качество продукции, создавать соответствующую инфраструктуру для хранения и транспортировки плодов. Важно также учитывать, что яблоки созревают в зависимости от многих факторов, включая помологический сорт и климат. Поэтому сбор плодов должен проводиться по мере созревания в определенные временные интервалы. [4, с. 5]

Если сбор яблок производить **слишком рано**, то это может привести к потерям урожая, так как в определенной стадии зрелости масса плодов ежедневно увеличивается на 1-2% и более. Если яблоки будут собраны **слишком поздно**, то они будут менее пригодными для длительного хранения из-за повышенной восприимчивости к болезням. Только яблоки, которые собраны **в оптимальной стадии зрелости**, т.е. в оптимальные сроки, могут достичь нужных размеров, цвета, вкуса и аромата, которые характерны для каждого помологического сорта. Кроме того, такие яблоки будут иметь наибольшую лёжкость и устойчивость к болезням. [4, с. 10-22]

Технологический процесс уборки можно представить структурной схемой, изображенной на рисунке. Основные элементы технологического процесса уборки яблок [2, с. 317-322]:

1. Планирование уборочного процесса.
2. Контроль зрелости каждого помологического сорта на каждом квартале сада осуществляется через определенные интервалы времени, начиная за 20 дней до предполагаемого срока уборки.
3. Обучение людей.
4. Подготовка тары, вспомогательного оборудования, инвентаря и технических средств.
5. Подготовка к уборке (уборка сучьев, скашивание травы, выравнивание почвы, подготовка дорог, подбор падалицы).
6. Съём плодов с дерева и заполнение тары.

7. Транспортировка на пункт обработки.
8. Подготовка к хранению, обработка.
9. Реализация (хранение).

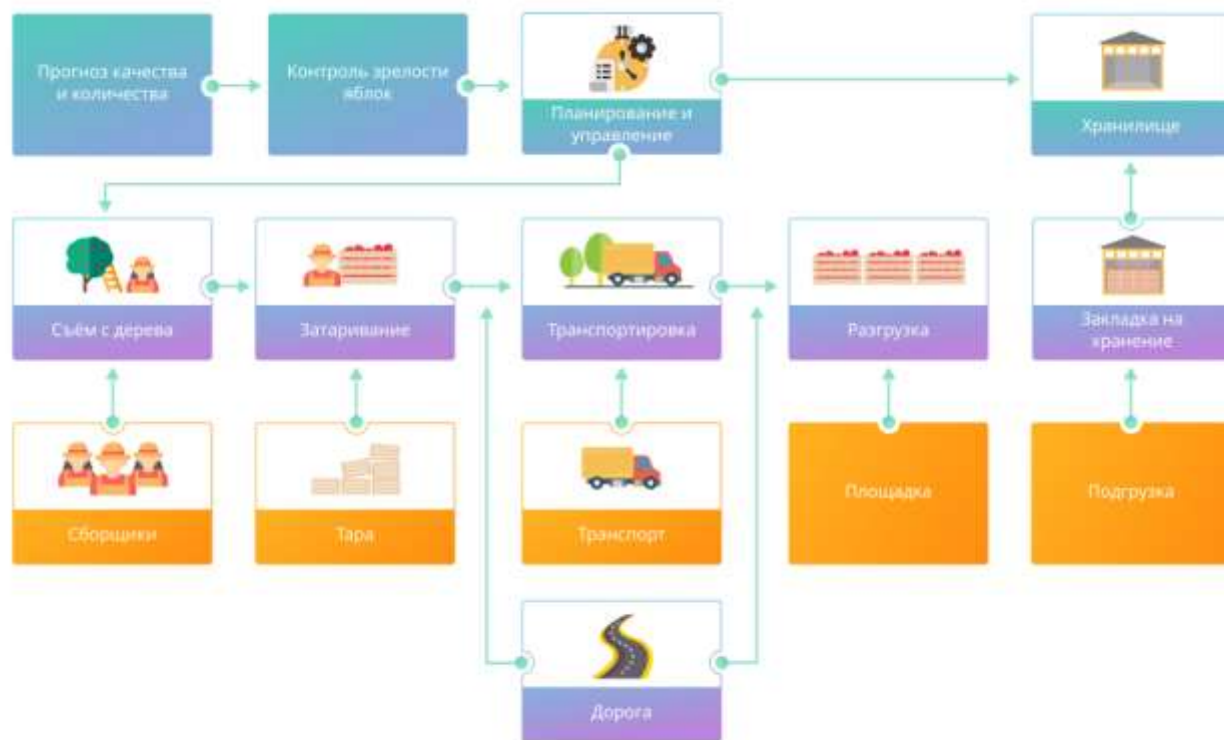


Рисунок 1– Схема уборки

Плоды яблони проходят три степени зрелости: съёмную, техническую и потребительскую. В процессе созревания плоды начинают накапливать крахмал, который в конечном итоге превращается в сахар и придает им лучшие вкусовые качества. Обычно, уборка урожая происходит при наступлении съёмной зрелости, когда процессы роста и накопления питательных веществ в плодах завершаются, и они достигают своих характерных размеров и формы. В этой стадии плоды еще не пригодны для потребления, так как их вкус, мякоть и аромат не достигают показателей, характерных для сорта. И только когда наступает потребительская зрелость, что связано с полным биологическим созреванием плодов, они становятся пригодными для потребления в пищу. [5]

Для определения съёмной зрелости плодов яблони применяются различные критерии: визуальные показатели, средние даты сбора в

предшествующие годы, количество дней от момента цветения, сумма температур, необходимых для созревания плодов каждого сорта, прочность мякоти, разница между содержанием сухих и растворимых веществ, содержание хлорофилла, содержание этилена и другие. Один из популярных методов определения зрелости яблок – по степени разложения в ткани яблока сахара в крахмал (йодокрахмальная проба, ЙКП) [1]. Метод основан на способности йода окрашивать крахмал в синий цвет. При созревании яблок в них накапливаются сахара. В середине созревания главным углеводом в яблоке будет крахмал. В процессе созревания крахмал превращается в глюкозу и сахарозу. Это и служит показателем степени зрелости. Раствор Люголя (4 г йодистого калия КJ и 1 г кристаллического йода J растворяются в 100 г воды) наносят на разрезанную поверхность плода [5]. На рисунке изображены разрезы яблок после нанесения на них раствора Люголя. [5]

*Таблица 1*

Влияние содержания крахмала на степень зрелости плодов по 5-ти бальной шкале

<b>Балл ЙКП</b>	<b>Характер окрашивания поверхности среза</b>	<b>Состояние, степень зрелости</b>	<b>Пригодность к хранению</b>
1	Вся поверхность среза от семенного гнезда до кожицы плода черно-синяя	Плод не дозрел	Не пригодны
2	Незначительные участки поверхности среза не окрашены, главным образом в области плодоножки и у семенного гнезда	Начальная фаза съемной зрелости	Длительное хранение
3	Сердцевина светлая, просветы по всей поверхности среза, кроме подкожного слоя	Средняя и полная фаза съемной зрелости	
4	Темное окрашивание под кожицей и незначительное потемнение отдельных участков мякоти	Потребительская зрелость	Краткосрочное хранение
5	Незначительное потемнение поверхности среза только под кожицей плода	Полное созревание плода	Потребление

При определении степени зрелости по ЙКП с использованием 5-ти бальной шкалы используют критерии, представленные в таблице 1. Для

длительного хранения плоды большинства помологических сортов снимают с оценкой 3 – 4 балла, для перевозки и реализации — 1 – 2 балла. [5]

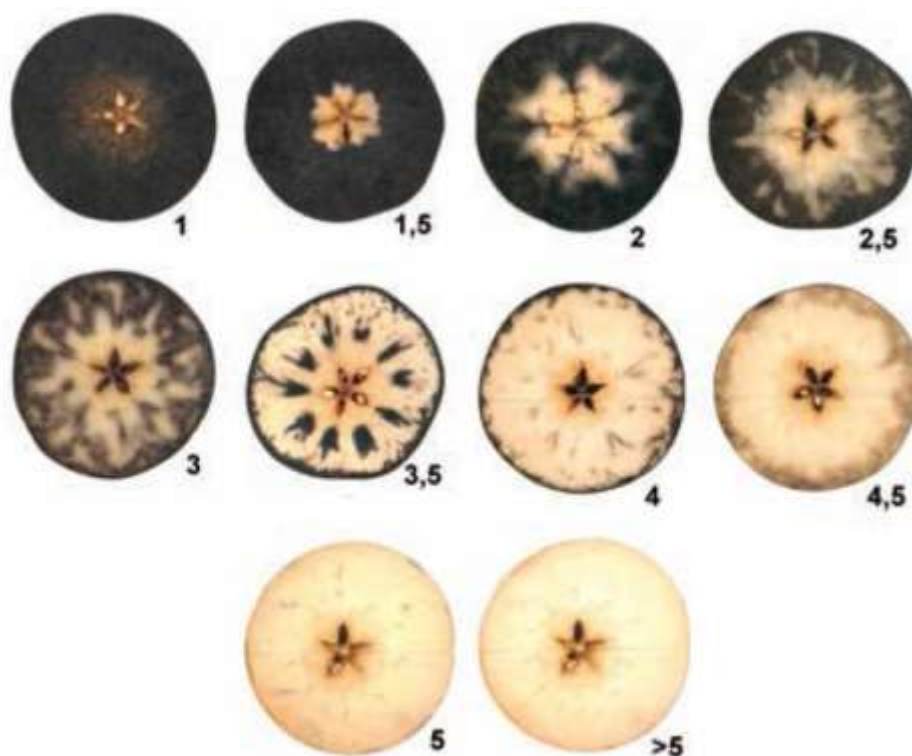


Рисунок 2– Оценка зрелости яблок по 5-ти бальной шкале с промежуточной оценкой.

Существует автоматический прибор контроля зрелости яблок **Amilon** от итальянской компании Isocell. Принцип работы основан на методе ЙКП, а процесс определения балла зрелости осуществляется компьютерной программой. В данном приборе фотографируется разрез плода, обработанного раствором Люголя, затем изображение обрабатывается, и отображается содержание крахмала для каждого отдельного кусочка и в среднем по образцу (максимум 12 кусочков). Значение крахмала может отображаться в соответствии с обычно используемыми эталонными шкалами  $1 \div 10$  (рекомендовано на международном уровне),  $1 \div 5$ ,  $1 \div 8$  или  $1 \div 1000$ . [5]

Недостатки прибора: большая стоимость, громоздкая конструкция, как следствие — невозможность определять зрелость в полевых условиях.

С целью усовершенствования алгоритма обработки изображения разреза, обработанного раствором Люголя, с последующим применением в полевых

условиях, нами создан прибор для определения зрелости яблок, в основе которого лежит метод ЙКП с распознаванием нейронной сетью. Схема работы алгоритма прибора () состоит в следующем:

1. Оператор приближается к яблоне, срывает яблоко и разрезает его пополам.
2. С помощью заранее приготовленного раствора Люголя, делает на месте ЙКП.
3. Оператор фотографирует полученный разрез яблока.
4. С помощью мобильного приложения, оператор вписывает в него помологический сорт яблок, загружает фото и отправляет данные на сервер, который может быть расположен в центре планирования и управления уборкой. Автоматически на сервер отправляются следующие параметры уборочного процесса: 1 – дата, 2 – время, 3 – координаты дерева, с которого было отобрано яблоко для анализа, 4 – температура воздуха окружающей среды, 5 – влажность воздуха.
5. Полученные данные обрабатываются на сервере, записываются в базу данных.
6. Пункты 1-5 повторяются несколько раз с разными яблоками и яблонями.
7. После проведения нескольких измерений выводится график с зависимостью потерь от времени  $P(t)$ , и рекомендации для начала и окончания уборки. На рисунке показан пример графика. Квадратичная зависимость  $P(t)$ , имеет минимум в момент  $t_{opt} = 5$  дней. Т.е. наименьшие потери при хранении  $P_{optmin}$  будут, если плоды снять с деревьев в момент  $t_{opt} = 5$  - на пятый день после начала измерений. Это самый оптимальный вариант уборки, гарантирующий минимальные потери при хранении.

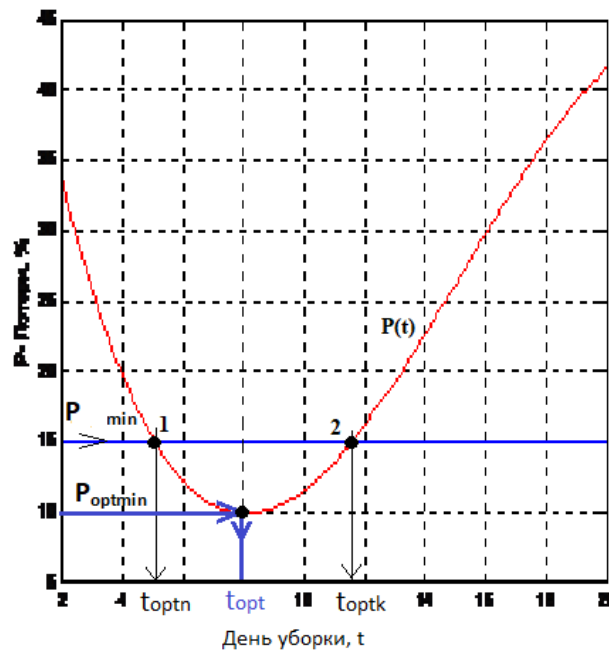


Рисунок 3 – Зависимость потерь от времени уборки

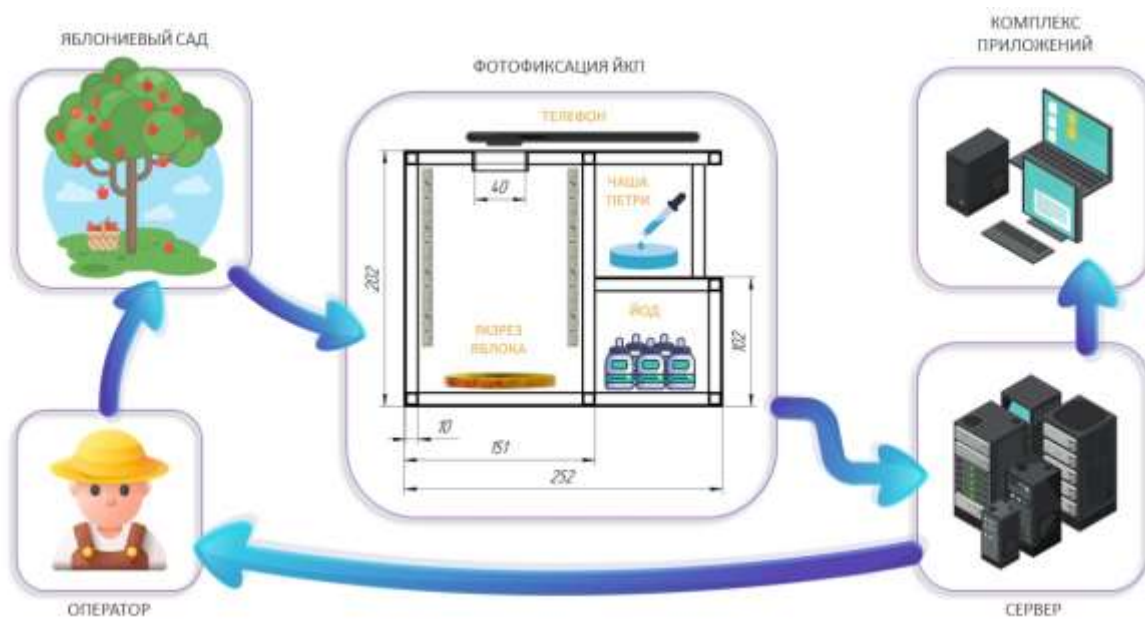


Рисунок 4 – Схема работы разрабатываемого метода определения зрелости яблок

В предлагаемом алгоритме используется свёрточная нейронная сеть [3, с. 246-266]. На рисунке представлена её структура. Выходные данные нейронной сети были представлены категориями. Категории формировались следующим образом: 1 балл ЙКП соответствует 0 категории, 1.5 балла — 1 категория, 2 балла — 2 категория и т.д. Для обучения нейронной сети были собраны 104 разреза яблок разных помологических сортов, обработанных раствором

Люголя. С помощью преобразований исходных данных было получено 97 500 фотографий, примерно по 10 000 штук в каждой категории. Все фотографии были приведены в 8-битный формат и сжаты до 200x200 пикселей.

```
101 model = Sequential()  
102 model.add(Conv2D(16, (3, 3), padding='same', activation='relu', input_shape=(img_width, img_height, 1)))  
103 model.add(MaxPooling2D(pool_size=(4, 4), strides=4))  
104 model.add(Conv2D(16, (3, 3), padding='same', activation='relu'))  
105 model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2), strides=2))  
106 model.add(Conv2D(32, (3, 3), padding='same', activation='relu'))  
107 model.add(Flatten())  
108 model.add(Dense(256, activation='relu'))  
109 model.add(Dense(len(train_generator.class_indices), activation='softmax'))
```

Рисунок 5 – Структура свёрточной нейронной сети

Из общей выборки была выделена выборка валидации, составляющая 15% от объема всей выборки. Дополнительно было создано тестовое множество, состоящее из 100 отдельных изображений.

Для обучения нейронной сети был выбран метод обучения в 20 эпох, каждая из которых включала 250 циклов с использованием 50 изображений в каждом цикле. При запуске модели на пятой эпохе обучения мы достигли 100% правильных ответов, как на обучаемой выборке, так и на выборке валидации (). На рисунке показан график зависимости доли верных ответов от номера эпохи обучения.

```
Epoch 1/20  
250/250 [=====] - 20s 78ms/step - loss: 0.7141 - accuracy: 0.7233 - val_loss: 0.1661 - val_accuracy: 0.9528  
  
Epoch 2/20  
250/250 [=====] - 13s 52ms/step - loss: 0.0937 - accuracy: 0.9714 - val_loss: 0.0317 - val_accuracy: 0.9927  
  
Epoch 3/20  
250/250 [=====] - 12s 49ms/step - loss: 0.0185 - accuracy: 0.9954 - val_loss: 0.0068 - val_accuracy: 0.9988  
  
Epoch 4/20  
250/250 [=====] - 12s 47ms/step - loss: 0.0022 - accuracy: 0.9999 - val_loss: 0.0021 - val_accuracy: 1.0000  
  
Epoch 5/20  
250/250 [=====] - 11s 46ms/step - loss: 0.0011 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 5.7518e-04 - val_accuracy: 1.0000
```

Рисунок 6 – Этапы обучения нейронной сети



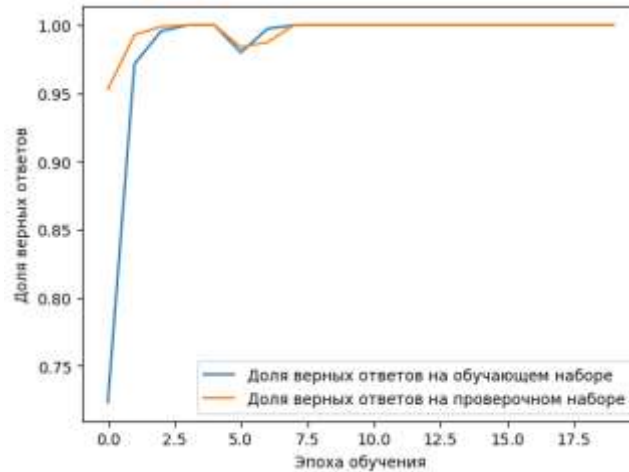
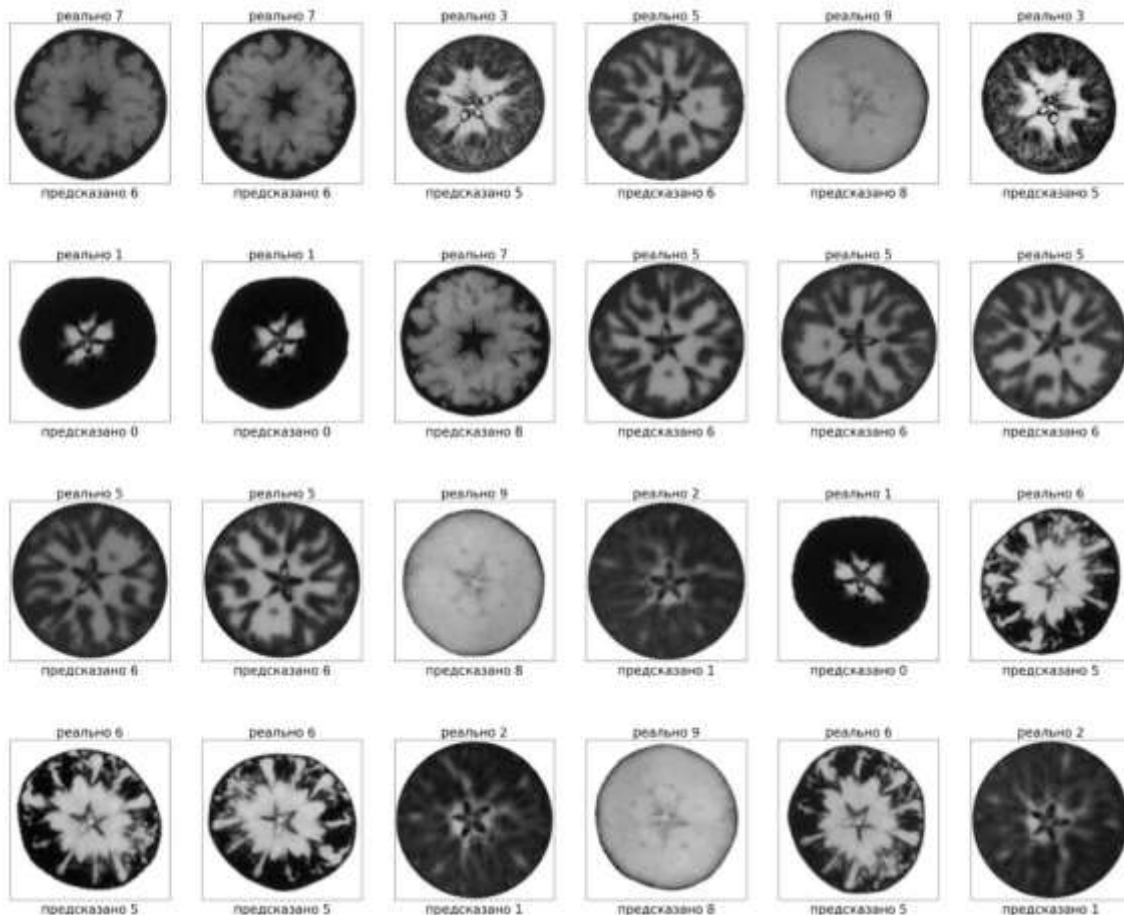


Рисунок 7 – График зависимости доли верных ответов от эпохи обучения

В ходе проверки нашей обученной модели нейронной сети на тестовой выборке было получено лишь 31% правильных ответов. Результаты работы нейронной сети на тестовой выборке и первые 28 изображений, полученных с помощью йодокрахмальной пробы, представлены на рисунке 8. Для каждого изображения на верхней строке указана реальная категория, а на нижней строке - предсказанная категория.

100/100 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 8.0240 - accuracy: 0.3100



*Рисунок 8 – Результаты обучения на тестовой выборке*

В результате проделанной работы была разработана алгоритм определения зрелости яблок, спроектирована модель нейронной сети. Нейронная сеть даже в случае предсказания неверного ответа показывает очень близкий результат к реальности. В случае ошибочного предсказания, нейронная сеть предсказывает категорию, отличную от реальной всего на 1 единицу (0.5 балла).

Например, если в действительности мы распознаем яблоко зрелостью 3 балла, то реально сеть выдаёт 3.5 баллов зрелости. Можно считать, что предложенная модель свёрточной нейронной сети достаточно правильно обучена и может быть использована в дальнейших исследованиях и практической работе.

Выводы:

1. Для правильного планирования уборочного процесса необходимо определять зрелость яблок.
2. Современные приборы не предполагают полевого исследования, что затрудняет массовое измерение зрелости на практике.
3. Предложен алгоритм обработки изображения разреза яблока, обработанного раствором Люголя, заключающийся в выполнении ряда шагов. (Фотографирование разреза. Отправка фото на сервер. Обработка на сервере и хранение данных, с последующим расчетом технологических параметров уборки)
4. Предложена свёрточная нейронная сеть для распознавания зрелости яблока. Она распознаёт зрелость яблок с отклонением в 0.5 балла.

#### **Список литературы:**

1. Гудковский В.А. Система сокращения потерь и сохранение качества плодов и винограда при хранении (Методические рекомендации). – Мичуринск. 1990. 119 с.

2. Моделирование в агроинженерии: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Агроинженерия". Изд. 2-е, испр. и доп. Санкт-Петербург [и др.]: Лань. 2014. 379 с.

3. Постолиит А.В. Основы искусственного интеллекта в примерах на Python. Самоучитель. СПб.: БХВ-Петербург. 2022. 448с.: ил. – (Самоучитель)

4. Урнев В.Л. Система хранения плодов промышленных сортов яблони ЦЧР различной степени зрелости: дис. 05.18.01. Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина. Мичуринск. 2018. 221 с.

5. Франчук Е. П. Товарные качества плодов. М.: Агропромиздат. 1986.

6. Официальный сайт Isocel, прибор Amilon. URL: <https://storage.isolcell.com/en/amilon/> (дата обращения: 14.12.2022)

**UDK 634.11:621.317.421:581.821**

## **IMPROVING THE METHOD OF DETERMINING THE MATURITY OF APPLES BY NEURAL NETWORKS**

**Alexander S. Gordeev**

Doctor of Technical Sciences, Professor

gorde2020@gmail.com

**Vadim I. Nikitin**

student

invant201@yandex.ru

**Boris S. Mishin**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

boris.sergeewitch@yandex.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** This research paper improves the apple harvesting process and the method for determining the maturity of apples. A neural network written in Python using the Keras library was trained based on this data.

**Key words:** apple maturity, maturity determination method, artificial intelligence, neural networks, Python, Keras.

Статья поступила в редакцию 10.05.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2022; принята к публикации 30.06.2023.

The article was submitted 10.05.2023; approved after reviewing 15.06.2022; accepted for publication 30.06.2023.