

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ПЧЕЛИНЫХ КОЛОНИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А.А. Кочеткова

kochetkovaaa@student.bmstu.ru

А.А. Кочетков

kochetkovaa@student.bmstu.ru

Ан.Н. Пушкин

pan20u718@student.bmstu.ru

Ал.Н. Пушкин

pan23u367@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Статья посвящена применению методов машинного обучения для реализации системы мониторинга популяции пчелиной колонии. Предложен инновационный метод использования систем технического зрения и искусственных нейронных сетей в пчеловодстве. Разработаны алгоритмы машинного обучения и программное обеспечение для анализа динамики популяции пчел. Эмпирические данные подтверждают возможность эффективного мониторинга популяции пчел с использованием методов машинного обучения. Предложенный подход позволяет осуществлять автоматизированную идентификацию состояния пчелиных сот, обнаруживать патологии, контролировать развитие расплода и оценивать качество кормовой базы. Система предназначена для использования в аграрной отрасли и научных исследованиях в области пчеловодства.

Ключевые слова: машинное обучение, системы технического зрения, YOLO, ultralytics, пчеловодство, управление популяцией пчелиной колонии, инновационные технологии в сельском хозяйстве, четвертая промышленная революция

Введение. XXI век ознаменовал наступление новой, цифровой эпохи. Каждой новой эпохе соответствуют особые политические и экономические события. Индустрия 4.0 (Четвертая промышленная революция) — новый этап развития промышленности, который предполагает массовое внедрение информационных технологий, искусственного интеллекта, машинного обучения, а также различных аналитических систем во все сферы общества.

Сельское хозяйство играет неотъемлемую роль в обеспечении стабильности и суверенности современного общества. Оно влияет на продовольственную безопасность, экономику и социальное благополучие [1]. Инновационные технологии имеют большое значение для сельскохозяйственного производства. Современные подходы позволяют сельскохозяйственным предприятиям оптимизировать процессы управления, прогно-

зирать урожаи и обнаруживать потенциальные проблемы на ранних стадиях [2].

В 2022 году численность пчелиных семей сократилась на 200 тысяч и составила около 3 млн. Эти тенденции наблюдаются не только в России, но и в других странах, что связано с экологическими проблемами, вызванными человеческой деятельностью, что снижает продуктивность пчеловодства [3]. Проведение профилактических мероприятий, таких как обработка ульев и дезинфекция оборудования, помогает предотвратить заболевания среди пчел. Важно также обеспечивать пчел достаточным и разнообразным питанием [4]. Решением данной проблемы может стать автоматизированная система мониторинга, основанная на технологиях технического зрения и нейронных сетях.

Искусственные нейронные сети и машинное обучение. Искусственный интеллект (ИИ) основан на модели биологического нейрона, который учится на ошибках, передавая взвешенные сигналы [5]. В основе нейронных сетей лежит искусственный нейрон (перцептрон), который принимает входные данные, умножает их на веса, суммирует и применяет функцию активации к полученному значению. Перцептрон, впервые предложенный Розенблатом, стал основой для развития более сложных архитектур, таких как многослойные нейронные сети [6]. Математическая модель нейрона может быть представлена следующим образом:

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i X_i - b\right),$$

где y — выходной сигнал; f — функция активации; $\sum_{i=1}^n w_i X_i$ — взвешенная сумма входных сигналов; n — количество входов; w_i — весовой коэффициент; X_i — входной сигнал; b — смещение [6, 8].

Функция активации вводит нелинейность в нейронную сеть для моделирования сложных зависимостей, что делает ее важным компонентом современных алгоритмов машинного обучения [7]. Градиентный спуск оптимизирует параметры модели, минимизируя функцию потерь, которая отражает расхождение между прогнозами и фактическими значениями. Выбор метрик для оценки зависит от задачи и помогает оценить качество модели. Наиболее распространенные метрики — precision (точность) и recall (полнота). Они позволяют понять, насколько эффективно модель справляется с классификацией, и являются ключевыми при работе с несбалансированными данными [8].

Оценки выполняют по формулам

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}; \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (2)$$

где TP — true positive (сумма истинно положительных предположений); FP — false positive (сумма ложных положительных значений); FN — false negative (сумма ложных отрицательных значений) [6, 8].

Система технического зрения YOLOv8. Системы технического зрения (СТЗ) предназначены для автоматизации сбора и анализа визуальной информации, заменяя человека в этих процессах. Системы технического зрения особенно эффективны в высокоразвитых производствах, а в менее организованных средах служат вспомогательным инструментом для оператора [9]. YOLOv8 — это современная модель СТЗ для распознавания объектов в реальном времени. Она использует сеточную структуру для предсказания объектов и отличается высокой гибкостью и эффективностью [10].

YOLO — это искусственная нейронная сеть для распознавания объектов, отличающаяся способностью работать в реальном времени и являющаяся одностадийным алгоритмом, который обладает высокой эффективностью и гибкостью. В каждой категории моделей YOLOv8 есть пять моделей для обнаружения, сегментации и классификации.

Архитектура YOLOv8 включает три ключевых компонента (рис. 1).

1. Backbone (*Выделение признаков*): CSPDarknet53. Этот компонент отвечает за извлечение начальных признаков из изображения. Он использует межступенчатые частичные соединения для улучшения передачи информации и повышения эффективности обработки данных.

2. Neck (*Объединение карт признаков*): экстрактор признаков с новым модулем C2f. Он улучшает качество признаков, извлеченных из изображения, что помогает лучше различать объекты на разных уровнях детализации.

3. Head (*Прогнозы, классификация и обнаружение*): отвечает за прогнозирование ограничивающих рамок, оценку объектов и вероятности их классов. Этот компонент обеспечивает точность идентификации и классификации объектов на изображении. Благодаря классификации внутри ограничивающих рамок формируются маски.

Цели и задачи исследования. Цель исследования — разработать программное обеспечение для автоматизированного сбора данных о составе и состоянии здоровья пчелиных сот. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи: подготовить и разметить базу данных

с изображениями пчелиных сот для обучения модели; выбрать модель и настроить параметры ее обучения; по подготовленным данным обучить сеть; разработать программное обеспечение для обеспечения работы обученной модели; апробировать синтезированные решения. Функции разработанной системы: осуществление автоматизированного учета содержания пчелиных рамок; анализ динамики развития потомства; обнаружение аномалий в поведении и болезней в пчелиной колонии.

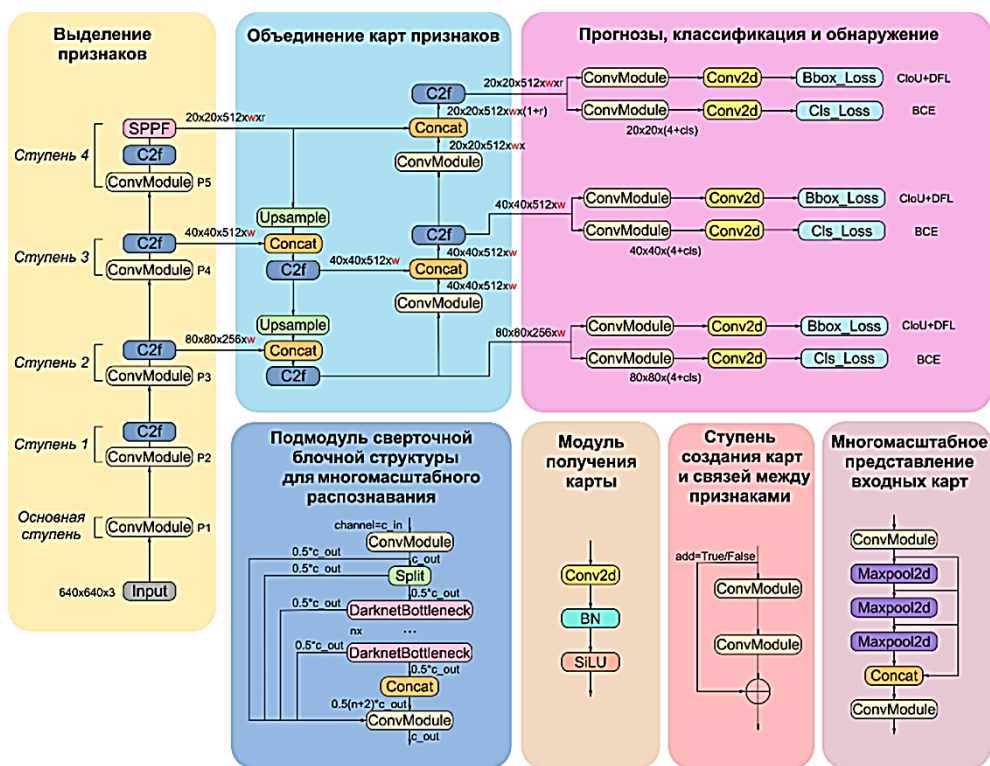


Рис. 1. Архитектура YOLOv8s

Подготовка обучающего набора данных. Для подготовки датасета использовалась программа Labellmg, которая служит популярным инструментом для разметки объектов на изображениях вручную. На следующем этапе маски формировались с помощью Python-скрипта, который преобразовывал координаты размеченных объектов в сегменты, представляющие области изображения, соответствующие определенным классам. Каждый сегмент кодировался уникальным идентификатором класса, а оставшиеся области ин-

терпретировались как фон. Для обучения модели технического зрения были отмечены границы ячеек на каждом изображении из обучающего набора данных. В зависимости от их внешнего вида к каждой помеченной ячейке присваивается свой класс. Были выбраны следующие классы (рис. 2): «яйцо» — сота, в которой находится пчелиное яйцо, только что отложенное маткой; «личинка» — сота, в которой находится личинка пчелы, проходящая начальные стадии развития; «закрытая личинка» — личинка запечатана восковой крышечкой; «мед» — соты, заполненные свежим медом; «засахаренный мед» — соты, заполненные засахарившимся медом; «пчела» — соты, частично или полностью закрытые пчелами, что затрудняет определение содержимого ячейки; «пустая» — пустая сота, не содержащая меда, личинок или других объектов.

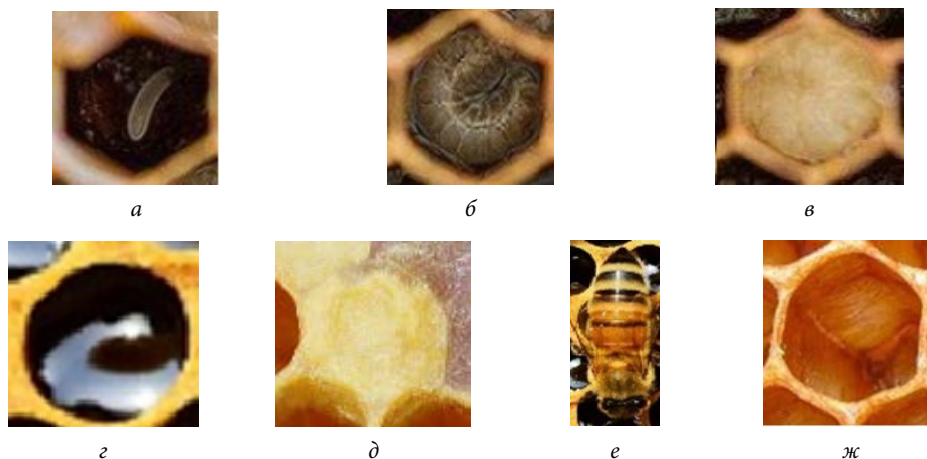


Рис. 2. Классы детектирования для составления обучающего датасета:

а — яйцо; *б* — личинка; *в* — закрытая личинка; *г* — мед; *д* — засахаренный мед; *е* — пчела; *ж* — пустая

Размеченный датасет включает около 10 000 объектов, размеченных на 100 фотографиях при различных условиях освещения.

Обучение. В ходе обучения использованы предобученные модели семейства YOLOv8, ориентированные на классификацию (**YOLOv8 Classification**) и сегментацию (**YOLOv8 Segmentation**) изображений. Алгоритм обучался на сегментацию ячеек, т. е. имелись идеальные данные с ответами, и искусственная нейронная сеть училась повторять предсказания, далее происходила валидация на данных, на которых алгоритм не обучался, для получения независимой оценки качества ответов. Модель классификации показала низкую эффективность из-за ограниченного учета формы объектов, что привело

к большому числу ошибок и чрезмерным предположениям. Модель сегментации показала лучшие результаты благодаря точному определению границ объектов. Оценку качества работы моделей проводили с использованием метрик Precision (1) и Recall (2).

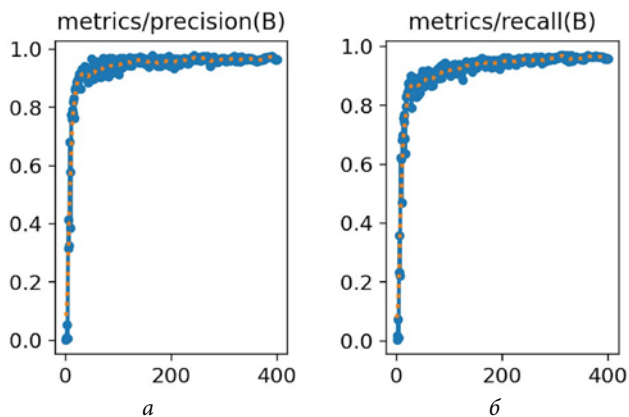


Рис. 3. Динамика метрик Precision (а) и Recall (б) в процессе обучения

На графиках, представленных на рис. 3, отображены метрики Precision и Recall, рисунок является стандартным файлом, автоматически создаваемым в процессе обучения модели YOLOv8. По оси абсцисс отложены номера итераций обучения, по оси ординат — значения метрик. Графики демонстрируют, что по мере увеличения числа итераций обе метрики показывают положительную динамику, стремительно повышаются и стабилизируются на высоком уровне, что свидетельствует о хорошем качестве предсказаний модели.

Апробация работы. Для апробации разработанного программного обеспечения была проведена серия тестов, направленных на оценку эффективности системы мониторинга пчелиных колоний.

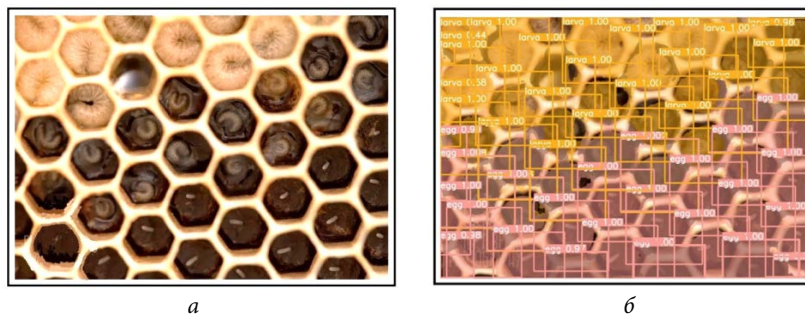


Рис. 4. Входное (а) и выходное (б) изображения

После завершения обучения модель способна принимать новые изображения, обрабатывать их и предоставлять информацию о состоянии пчелиной колонии. Графическое отображение полезной информации, получаемой от СТЗ, представлено на рис. 4. Этот сигнал содержит данные о количественном и возрастном составе расплода, а также о количестве пустых ячеек и ячеек, заполненных медом. Таким образом, модель не только обеспечивает автоматический анализ изображений, но и позволяет получить точную информацию о структуре и состоянии пчелиных сот.

Заключение. По результатам выполненной работы успешно достигнуты все поставленные цели и задачи. В ходе исследования был сформирован и размечен датасет с изображениями пчелиных сот, проведены выбор и настройка оптимальной модели системы технического зрения, ориентированной на сегментацию и классификацию объектов. Обученная модель была интегрирована в разработанное программное обеспечение для автоматизированного сбора и анализа данных о состоянии пчелиных колоний. Апробация подтвердила высокую точность и стабильность системы при распознавании содержимого пчелиных сот.

Литература

- [1] Сеитов С.К. Инновационное развитие сельского хозяйства России: современное состояние и меры поддержки. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, 2023, № 5, с. 134–150.
<https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-5-134-150>
- [2] Ветчинников Д.В., Кокурин Д.И., Ворожейкина Т.М. Анализ состояния инновационной политики в инфраструктурной экономике РФ на примере сельского хозяйства. *Вестник МФЮА*, 2023, № 3, с. 160–172.
https://doi.org/10.52210/2224669X_2023_3_160
- [3] Афанасьев В.Н. Эффективное ведение пчеловодства в Российской Федерации. *Фундаментальные и прикладные решения приоритетных задач пчеловодства. Междунар. науч.-практ. конф.: сб. матер.* Казань, ФГБОУ ДПО «ТИПКА», 2023, вып. II, с. 57–61.
- [4] Медведева Н.И. *Основы пчеловодства*. Москва, АСТ, 2015, 191 с.
- [5] Weiss G.M. *Mining with Rare Cases. Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. Springer, 2005, pp. 765–776.
- [6] Chawla N.V., Bowyer K.W., Hall L.O., Kegelmeyer W.P. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2002, vol. 16, pp. 321–357.
- [7] Fawcett T. An Introduction to ROC Analysis. *Pattern Recognition Letters*, 2006, vol. 27, no. 8, pp. 861–874.

- [8] Bishop C.M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2006, 738 с.
- [9] Шапиро Л., Стокман Дж. *Компьютерное зрение*. Москва, БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015, 763 с.
- [10] *Ultralytics YOLOv8 Docs*. URL: <https://docs.ultralytics.com/ru> (дата обращения 26.12.2024).

Поступила в редакцию 09.01.2025

Кочеткова Анжелика Алексеевна — студентка кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Кочетков Алексей Алексеевич — студент кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Пушкин Андрей Николаевич — студент кафедры «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Пушкин Александр Николаевич — студент кафедры «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Кирилл Викторович Парфентьев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Кочеткова А.А., Кочетков А.А., Пушкин Ан.Н., Пушкин Ал.Н. Применение машинного обучения и технического зрения для автоматизированного мониторинга пчелиных колоний в сельском хозяйстве. *Политехнический молодежный журнал*, 2025, № 3 (98). URL: https://ptsj.bmstu.ru/catalog/icec/inf_tech/1048.html

MACHINE LEARNING AND COMPUTER VISION APPLICATION IN AUTOMATED MONITORING OF THE BEE COLONIES IN AGRICULTURE

A.A. Kochetkova

kochetkovaaa@student.bmstu.ru

A.A. Kochetkov

kochetkovaaa@student.bmstu.ru

An.N. Pushkin

pan20u718@student.bmstu.ru

Al.N. Pushkin

pan23u367@student.bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

The paper is devoted to application of the machine learning methods in implementation of the bee colony population monitoring system. It proposes an innovative method for using the computer vision systems and artificial neural networks in the beekeeping. The machine learning algorithms and software for analyzing dynamics in the bee population are developed. The empirical data confirm a possibility of the efficient bee population monitoring using the machine learning methods. The proposed approach allows for automated identification of the honeycombs state, detection of the pathologies, monitoring the brood development, and assessment of the food supply quality. The system is intended for use in agriculture and scientific research in the beekeeping.

Keywords: machine learning, computer vision systems, YOLO, ultralytics, beekeeping, bee colony population management, innovative technologies in agriculture, Fourth Industrial Revolution

Received 09.01.2025

Kochetkova A.A. — Student, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Kochetkov A.A. — Student, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Pushkin An.N. — Student, Department of Instruments and Systems of Orientation, Stabilization, and Navigation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Pushkin Al.N. — Student, Department of Instruments and Systems of Orientation, Stabilization, and Navigation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Parfentyev K.V., Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Kochetkova A.A., Kochetkov A.A., Pushkin An.N., Pushkin Al.N. Machine learning and computer vision application in automated monitoring of the bee colonies in agriculture. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2025, no. 3 (98). (In Russ.). URL: https://ptsj.bmstu.ru/catalog/icec/inf_tech/1048.html