

95-letiyu so dnya rozhdeniya zaslužennogo deyatelya nauki Rossiyskoy Federatsii, Chuvashskoy ASSR, pochetnogo rabotnika vysshego professionalnogo obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii, doktora selskokhozyaystvennykh nauk, professora Aleksandra Ivanovicha Kuznetsova (1930-2015), Cheboksary, 18 noyabrya 2025 goda. – Cheboksary: Chuvashskiy GAU, 2025. – S. 686-690.

9. Alatyrev, A.S. Ustroystva dlya otgruzki kochanov kapusty v kuzov transportnogo sredstva / A.S. Alatyrev // Materialy IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov "Molodezh i innovatsii". – Cheboksary: FGBOU VPO CHGSKhA, 2013. – S. 184-187.

10. Grigorev, A. O. Ustroystvo k kapustouborochnomu kombaynu dlya ukladki kochanov v kuzov transportnogo sredstva / A. O. Grigorev, A. S. Alatyrev // Traktory i selkhoz mashiny. – 2014. – No. 9. – S. 17-19.

11. Khvostov, V.A. Spravochnik konstruktora mashin dlya uborki i posleuborochnoy obrabotki ovoshchey i korneplodov / V.A. Khvostov, E.S. Reyngart, N.N. Kolchin. – Sankt-Peterburg; Pavlovsk: Izdatelstvo SZNIIMESKh. – 200 s.

12. Tikhonov, N.I. Konteynernaya tekhnologiya uborki kapusty / N.I. Tikhonov // Tekhnologii i agropriemy vyrashchivaniya i khraneniya

ovoshchnykh bakhchevykh kultur: tezisy dokladov nauchno-metodicheskoy i koordinatsionnoy konferentsii. – Moskva: VNIIO, 1999. – S.156-157.

13. Khvostov, V.A. Proektirovanie ovoshcheuborochnykh mashin (teoriya, konstruktsiya, raschet) / V.A. Khvostov, N.P. Laryushin: uchebnoy posobie. – Penza, 1994. – 168 s.

14. Patent No. 2791017 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01D 45/26. Sposob uborki kochanov kapusty i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya: No. 2022108211: zayavl. 28.03.2022: opubl. 01.03.2023 / A. S. Alatyrev, I. S. Kruchinkina, S. S. Alatyrev; zayavitel Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Chuvashskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet".

15. Patent No. 2835191 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01D 45/26. Ustroystvo dlya uborki kochanov kapusty: zayavl. 03.10.2024: opubl. 24.02.2025 / I. S. Kruchinkina; zayavitel Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Chuvashskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet".

16. Spivakovskiy, A. O. Transportiruyushchie mashiny: ucheb. posobie dlya mashinostroitelnykh vuzov. – 3-e izd. pererab. / A. O. Spivakovskiy, V. K. Dyachkov. – Moskva: Mashinostroenie, 1983. – 487 s.



УДК 631.349.2

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-259-5-92-100

Д.Н. Пирожков, В.И. Беляев

D.N. Pirozhkov, V.I. Belyaev

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГУСТОТЫ СТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ

USE OF UNCREWED AERIAL VEHICLES TO DETERMINE PLANT STAND DENSITY

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, дрон, густота стояния растений, эффективность возделывания, нейросеть, обнаружение объектов.

В последнее время использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в различных отраслях человеческой деятельности становится все более широким и успешным. Не является исключением и сельское хозяйство, так как применение БПЛА позволяет повысить экономическую эффективность растениеводства. Целью исследования является демонстрация возможности использования беспи-

лотных летательных аппаратов среднего уровня для контроля качества проведения посева, в частности, густоты стояния растений как одного из важных показателей качества возделывания растений, от точности определения которого могут зависеть планы дальнейших мероприятий по уходу за растениями, урожайность и экономическая эффективность растениеводства. Для съемки полей предлагается использовать беспилотный летательный аппарат квадрокоптерного типа DJI Air2S. Описана последовательность настройки и использования программного обеспечения для разметки фотографий с последующим обучением нейросетевой модели

YOLO11 задаче определения количества растений на фото. Представлена последовательность непосредственного использования обученной нейросетевой модели YOLO11 для подсчета количества растений подсолнечника и сорняков на изображении. Для обучения нейросети было использовано всего 8 снимков поверхности поля со всходами подсолнечника. При таком небольшом количестве фотографий точность определения нейросетевой моделью растений подсолнечника составила 76%. Этот показатель является достаточно хорошим результатом. Но для реального использования точность работы нейросети необходимо повысить путем дообучения на большем количестве фотографий. Согласно проведенному эксперименту, задача корректного определения и подсчета количества растений подсолнечника на фотографиях, сделанных с высоты 5 м, вполне решается с использованием модели YOLO11.

Keywords: *uncrewed aerial vehicle, quadcopter, drone, plant density, growing efficiency, neural network, object detection.*

Recently, the use of uncrewed aerial vehicles (UAV) in various branches of human activity has become more widespread and successful. Agriculture is no exception as the use of UAVs makes it possible to increase the

economic efficiency of crop production. The research goal is to demonstrate the possibility of using middle price uncrewed aerial vehicles to control the quality of sowing, in particular the plant density. The plant density is one of the important indices of plant growing quality. Its accuracy may determine the plans for further plant care measures, yield and economic efficiency of crop production. It is proposed to use the DJI Air2S quadcopter-type UAV to photograph the fields. The sequence of setting up and using software for marking up photos, followed by training the YOLO11 neural network model is described. The YOLO11 model is used to solve the problem of determining the number of plants in a photo. The sequence of direct use of the trained YOLO11 neural network model for calculating the number of sunflower plants and weeds in an image is also described. Just eight images of the field surface with sunflower seedlings were used to train the neural network. With such a small number of photos, the determining accuracy of sunflower plants by the neural network model was 76%. This indicator is a fairly good result. But for real use, the accuracy of the neural network needs to be improved by further training on more photos. According to the experiment, the problem of correctly determining and counting the number of sunflower plants in photographs taken from a height of 5 m is quite solvable using the YOLO11 model.

Пирожков Дмитрий Николаевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: mms.asau@yandex.ru.

Беляев Владимир Иванович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственной техники и технологий, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: prof-belyaev@yandex.ru.

Pirozhkov Dmitriy Nikolaevich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: mms.asau@yandex.ru.

Belyaev Vladimir Ivanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: prof-belyaev@yandex.ru.

Введение

В последние годы в наш лексикон прочно вошли слова, подразумевающие использование роботизированных систем и беспилотных аппаратов. Такие слова, дрон, беспилотник, квадрокоптер, беспилотный летательный аппарат, беспилотная авиационная система и многие другие, стали обыденностью. Еще несколько лет назад авиационные беспилотники ассоциировались лишь с дорогими игрушками, способными лишь доставлять удовольствие от управления ими, а в лучшем случае получать красивые фото и видеосъемки. Резкое изменение отношения к беспилотным системам, по крайней мере в России, произошло в первую очередь из-за их широкого использования и крайне высокой эффективности в военной сфере. Но и в гражданских целях

беспилотные системы стали использоваться очень широко: мониторинг чрезвычайных ситуаций, поисково-спасательные работы, доставка различных грузов, геодезические и картографические работы, мониторинг строительства, логистические и товарно-складские операции, сельское хозяйство [1-3]. В нашей работе пойдет речь об использовании беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве для мониторинга, посевных операций, разбрасывания удобрений, обработки полей средствами защиты растений и других работах [4-7].

Целью исследований является демонстрация возможности применения беспилотного летательного аппарата для более точного и быстрого определения густоты стояния растений, чем дают традиционные методы.

Задачи:

- 1) провести фотографирование всходов подсолнечника при помощи БПЛА;
- 2) провести разметку фотографий для обучения нейросети задачам обнаружения объектов;
- 3) продемонстрировать возможность обученной нейросетевой модели по определению густоты стояния всходов подсолнечника.

Объекты и методы

Предлагается применять беспилотную авиационную систему для оценки качества проведенных весенних полевых работ не простым наблюдением с воздуха картины всходов, наличия огрехов на полях, визуальной оценки равномерности и прямолинейности посева, все это, конечно же, тоже возможно и необходимо делать.

Используя не слишком дорогой квадрокоптер, сегодня можно получить результаты определения густоты стояния растений с гораздо более высокой точностью и за менее короткое время, чем при использовании традиционных методов контроля качества посева. Основываясь на более точных мониторинговых данных состояния полей, можно получить и более точные прогнозы будущего урожая, а также выработать алгоритм действий в текущем полевом сезоне для более высокой экономической эффективности [8-10].

Традиционные способы определения густоты стояния растений состоят в ручном подсчете количества растений по различным методикам, начиная от квадратной рамки со стороной 0,5 м до площадки на поле размером 5х5 м, а также подсчету количества растений в рядах различного взаиморасположения и длины [11]. Понятно, что любой из способов является весьма трудоемким и требует участия нескольких человек. Кроме того, точность такого определения густоты растений весьма посредственна, так как на нее влияет человеческий фактор как самого подсчета, так и выбора места подсчета.

Мы же предлагаем использовать для проведения указанных работ беспилотный летательный аппарат квадрокоптерного типа, который проводит фотографирование поля. Подсчет количества растений на фотографиях предлагаем проводить при помощи обученной для этого нейросети.

Покажем возможность такого подхода на всходах подсолнечника. Для фотографирования поля применялся квадрокоптер DJI Air2S, кото-

рый имеет камеру с разрешением 20 Мп. Полет квадрокоптера осуществлялся на высоте 5 м от поверхности поля. После взлета квадрокоптера на указанную высоту фотографировался шаблон с известными линейными размерами (рис. 1). По размерам шаблона на фото определялась точная площадь части поля, попадающего в кадр. В нашем случае площадь поля в пределах одного кадра составляла около 40 м². Для обучения нейросети было сделано около 200 фото.

Разметка изображений при помощи сервиса CVAT (Computer Vision Annotation Tool). Для разметки фотоматериалов перед обучением нейросети задачам обнаружения объектов можно использовать различные сервисы. Нами был выбран CVAT, так как он имеет большое количество различных инструментов и позволяет организовать работу команды разметчиков. CVAT можно использовать как онлайн-сервис, а также как локально установленное на компьютер программное обеспечение. Онлайн-сервис находится по адресу [12]. Сервис допускает возможность работы команды разметчиков с распределением ролей между участниками команды, что очень удобно при реализации масштабных проектов. На сегодняшний день доступ к сайту затруднен по политическим причинам. К тому же объем загруженной информации в бесплатной версии сервиса ограничен, а число участников команды не может превышать 10 человек, поэтому рассмотрим использование локально установленного программного обеспечения.

Справка по использованию CVAT, а также ссылки на необходимое программное обеспечение и его настройки находятся в свободном доступе [13].

Рассмотрим процедуру установки подробнее. Компьютер на время установки сервисов должен быть подключен к Интернету. На момент написания данного материала для доступа к некоторым сайтам требовался рабочий VPN, так как из России доступ к ним был затруднен.

1. Для использования сервиса в операционной среде Windows необходимо установить подсистему для работы Linux внутри Windows WSL2 (Windows subsystem for Linux) [14]. Для этого необходимо запустить PowerShell в режиме администратора и выполнить команду `wsl --install` (рис. 2), после скачивания и установки WSL2 перезапустить компьютер.



Рис. 1. Шаблон для определения площади поля в кадре

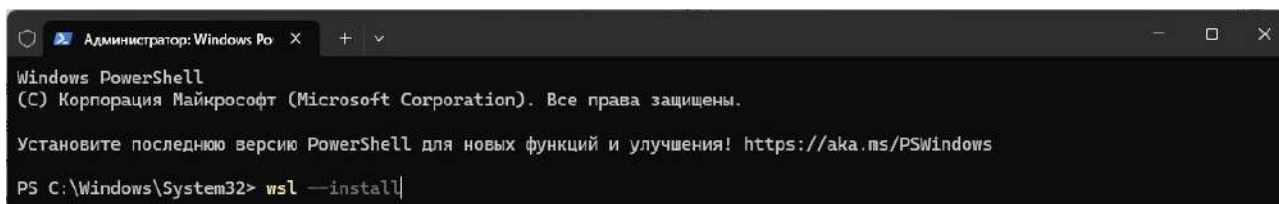


Рис. 2. Установка WSL2

2. Скачать и установить Docker Desktop for Windows [15].

3. Для правильного взаимодействия Docker и WSL2 в Docker выполнить следующие действия *Settings >> Resources >> WSL Integration*.

4. Скачать и установить Git for Windows [16]. Все настройки при установке Git for Windows оставить по умолчанию.

5. В Windows необходимо иметь браузер Google Chrome или любой другой, работающий на движке Google Chrome.

6. Для установки сервиса CVAT на локальный компьютер необходимо из командной строки Windows, запущенной от имени администратора, клонировать репозиторий при помощи команды *git clone https://github.com/cvat-ai/cvat* (рис. 3). После запуска команды в директории, указанной на рисунке 3, будет создан каталог CVAT, для наполнения которого необходимо будет подождать некоторое время.

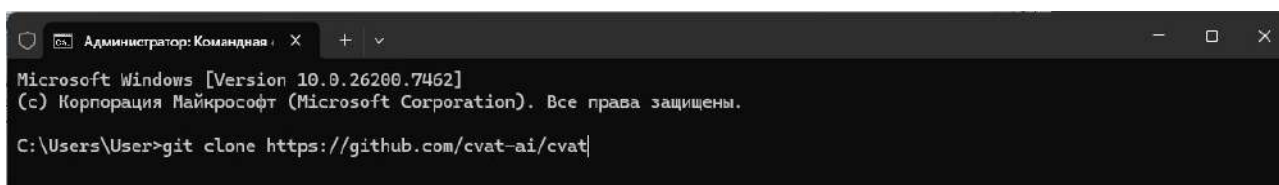


Рис. 3. Клонирование репозитория CVAT

7. Для перехода в директорию установленного сервиса CVAT в командной строке Windows выполнить команду *cd cvat* (рис. 4).

8. Из директории CVAT необходимо запустить команду *docker compose up-d*. В результате её выполнения будут скачаны и запущены в Docker контейнеры CVAT, для чего нужно будет подождать довольно продолжительное время, зависящее от скорости Интернет-соединения.

9. Для полного доступа к функциям разметки изображений перед запуском CVAT необходимо создать Суперпользователя со своим логином и паролем. Для этого в командной строке Windows выполняем команду *docker exec -it cvat_server*

/bin/bash и сразу после нее – *python3 ~/manage.py createsuperuser*. Будет запрошен логин, e-mail и пароль, с которыми планируется работать в CVAT. Поле e-mail можно оставить пустым. Если же и поле логин оставить пустым, то по умолчанию имя пользователя будет установлено как *django* (рис. 5).

10. На следующем шаге необходимо в браузере перейти по адресу *http://localhost:8080/*. Будет запущен сервис CVAT. При первом запуске необходимо ввести логин и пароль Суперпользователя. После чего сервис CVAT готов к работе.

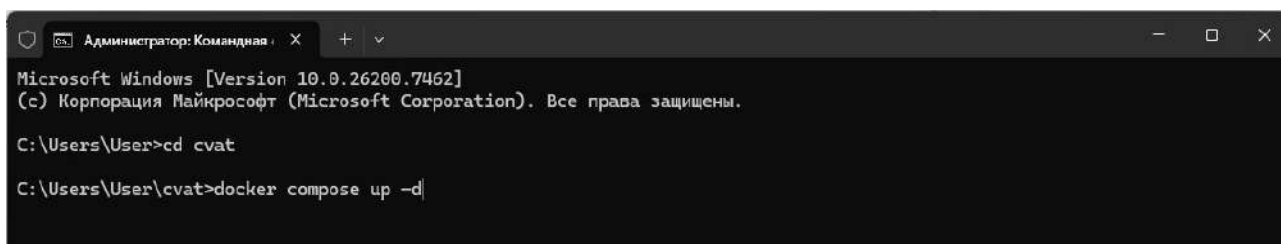


Рис. 4. Переход в директорию CVAT и установка контейнеров в Docker

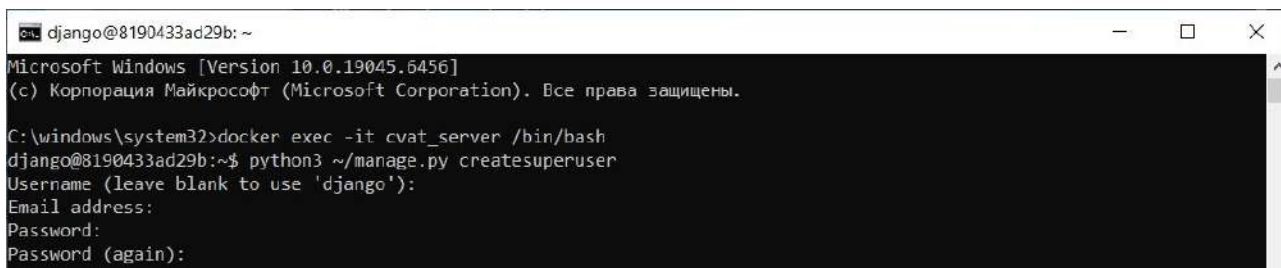


Рис. 5. Создание Суперпользователя

Процедуру разметки снимков описывать не будем, так как она довольно проста. Ограничимся лишь замечанием – нами на сегодняшний день была проведена только оценочная работа по обучению нейросети, поэтому количество размеченных фото невелико. В качестве классов для разметки использовалось лишь два: Sunflower (Подсолнечник) и Weed (Сорняк). В качестве рамок использовались прямоугольники или многоугольники для класса Sunflower красного цвета, для класса Weed – синего (рис. 6).

После разметки всех фотографий результаты можно сохранить в различных форматах. Мы

использовали для задачи распознавания объектов нейросеть YOLO11 [17], поэтому экспорт результатов разметки производился в формат YOLO.

Запуск обучения нейросети обнаружению объектов. Сервис CVAT создает текстовые файлы с информацией о размеченных на фото объектах с названиями, совпадающими с названием файла фото. Для запуска обучения модели YOLO11 необходимо полученные в CVAT данные разместить в отдельную папку, например, `C:/.../Inpit_YOLO`.

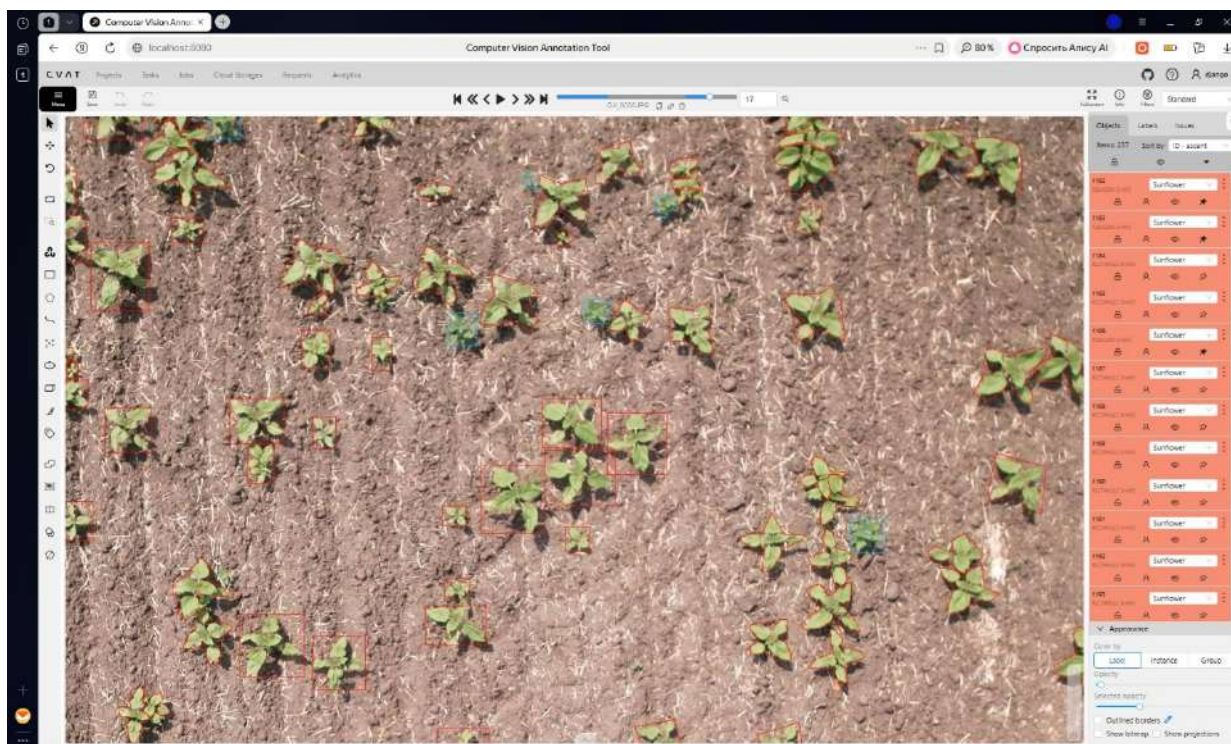


Рис. 6. Пример разметки

```

Inpit_YOLO
  images
    test
      foto1.jpg
      foto2.jpg
      ...
    train
      foto100.jpg
      foto101.jpg
      ...
    val
      foto200.jpg
      foto201.jpg
      ...
  labels
    test
      foto1.txt
      foto2.txt
      ...
    train
      foto100.txt
      foto101.txt
      ...
    val
      foto200.txt
      foto201.txt
      ...
  data.yaml
  
```

Рис. 7. Структура папки Inpit_YOLO

```

names:
- Sunflower
- Weed
nc: 2
path: c:\YOLO\Input_YOLO\
train: images/train
val: images/val
test: images/test
  
```

Рис. 8. Содержание файла data.yaml

Папка *Inpit_YOLO* должна иметь структуру (рис. 7). До 70% размеченных файлов должны быть расположены в папке *train*, 20% – *val*, 10% – *test*. Файл *data.yaml* в нашем случае содержит следующую информацию, представленную на рисунке 8.

На компьютер должен быть установлен Python с обязательной галкой в строке PATH внизу окна установки. Для запуска обучения нейросети в командной строке Python необходимо запустить команды, представленные на рисунке 9.

```

from ultralytics import YOLO
model = YOLO("yolo11m.pt")
results = model.train(data="C: \ ... \Inpit_YOLO\data.yaml", epochs=100, imgsz=640)
  
```

Рис. 9. Команды запуска обучения нейросети

Если все было выполнено правильно, то должно запуститься обучение модели. По окончании обучения модели в окне Python будет выведена информация о параметрах обучения. В программной папке Python будет создана директория *...\runs\detect\train*, в которой будет находиться файл *best.pt*, являющийся обученной моделью нейросети.

Поскольку обучение модели проводилось нами в тестовом режиме, и количество размеченных фото было небольшим, то точность определения класса Sunflower составляет около 76%.

Запуск скрипта обнаружения объектов. Методика использования обученной модели YOLO представлена на странице [18]. Именно эта методика нами и была применена ниже:

1. Модель YOLO должна быть обучена. Необходимо иметь файл, полученный в результате обучения *best.pt*.

2. В одну директорию сложить файлы:

```

best.pt
index.html
object_detector.py
  
```

3. Установить дополнительные компоненты при помощи команд из командной строки Windows:

```

pip install flask
pip install waitress
pip install pillow
  
```

4. В командной строке Windows, запущенной от имени администратора, перейти в директорию из п. 2 при помощи команды *cd*.

5. Запустить скрипт при помощи команды *python object_detector.py* (рис. 10).

6. Запустить браузер. В адресной строке браузера запустить *http://localhost:8080*.

7. В открывшемся окне выбирать файл изображения для детекции. При этом в окне командной строки Windows будет отображаться количество обнаруженных объектов (рис. 10), а в окне браузера объекты будут обведены прямоугольными рамками (рис. 11).

```

Администратор: Командная строка
Microsoft Windows [Version 10.0.26200.7462]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corporation). Все права защищены.

C:\Users\drdpi>cd c:\Users\drdpi\Documents\YandexDisk\Наука\БАС\YOLO\Dist\Sun\
c:\Users\drdpi\Documents\YandexDisk\Наука\БАС\YOLO\Dist\Sun>python object_detector.py

0: 448x640 154 SunFlowers, 2 Weeds, 779.7ms
Speed: 119.1ms preprocess, 779.7ms inference, 53.0ms postprocess per image at shape (1, 3, 448, 640)

```

Рис. 10. Окно командной строки Windows



Рис. 11. Визуальное отображение обнаруженных объектов

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ рисунка 11 показывает, что отдельные растения определяются нейросетью довольно хорошо. Если на фотографии имеются группы растений, расположенных близко друг к другу с наложением листьев одного на другое, то нейросеть не может распознать их. Мы полагаем, что это связано с тем, что обучение нейросети было тестовым. Мы ставили задачу лишь демонстрации возможности использования нейросетей для определения густоты стояния растений. Было использовано всего 8 фотографий для обучения нейросети. Модель показала, что точность определения класса Sunflower составляет около 76%, что представляется неплохим результатом для восьми обучающих изображений. Для точной работы нейросети рекомендовано использовать несколько сот фотографий. Если и после такого объема обучения результаты обнаружения растений будут недостаточно точны, то всегда можно вручную по фото досчитать растения, не определенные нейросетью. Даже в этом случае

работа по определению количества растений на определенном участке поля будет выполнена гораздо более эффективно, чем могут предложить традиционные методы.

Заключение

Представлен полный пошаговый перечень всех необходимых действий для использования беспилотного летательного аппарата при определении густоты стояния растений на примере подсолнечника: сбор первичных фотографий с квадрокоптера, пошаговая настройка и использование программного обеспечения для разметки изображений, обучение нейросети, задачи детекции растений, запуск обученной нейросетевой модели для подсчета количества растений. Можно отметить, что определение густоты стояния растений с использованием БПЛА и нейросетевых моделей вполне возможно. Таким образом, цель работы достигнута.

Разработанная методика позволяет повысить точность определения густоты стояния растений и сократить трудозатраты. В дальнейшем пред-

полагается улучшить точность работы нейросети путем её дообучения на большем количестве данных, а также расширить перечень сельскохозяйственных культур, на которых данная методика может быть использована.

Библиографический список

1. Mohsan, S.A.H., Othman, N.Q.H., Li, Y., et al. (2023). Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. *Intel Serv Robotics* 16, 109–137. <https://doi.org/10.1007/s11370-022-00452-4>.
2. Fotouhi A., et al. (2019). Survey on UAV Cellular Communications: Practical Aspects, Standardization Advancements, Regulation, and Security Challenges. In *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21 (4): 3417-3442. DOI: 10.1109/COMST.2019.2906228.
3. Skorobogatov G., Barrado C., Salami E. (2020). Multiple UAV Systems: A Survey. *Unmanned Systems*, 8 (2): 149–169. DOI: 10.1142/S2301385020500090.
4. Xue X. Y., Lan Y. B. (2013). Agricultural aviation applications in USA. *Transactions of the CSAM*, 44 (5): 194–201. <https://www.doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.034>. (in Chinese).
5. Ковалев, Д. И. Применение БПЛА в точном земледелии: обзор результатов тестирования октокоптера Agras MG-1S / Д. И. Ковалев, К. Д. Астанакулов, Е. В. Туева – Текст: электронный // Информатика. Экономика. Управление. – 2024. – Т. 3, № 3. – С. 201-214. – URL: <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2024-3-3-0201-0214>.
6. Qin W. C., Xue X. Y., Zhou L. X., et al. (2014). Effects of spraying parameters of unmanned aerial vehicle on droplets deposition distribution of maize canopies. *Transactions of the CSAE*, 30 (5): 50–56. (in Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.05.007>.
7. Беляев, В. И. Определение эффективности опрыскивания растений с использованием беспилотной авиационной системы (БАС) квадрокоптерного типа / В. И. Беляев, Д. Н. Пирожков, А. С. Ковалев. – DOI 10.53083/1996-4277-2025-246-4-69-75. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 4 (246). – С. 69-75.
8. Belyaev V.I., Buxmann V., Pirozhkov D.N., Chernyshkov V.N. Efficiency of differentiated sowing of spring wheat in the steppe zone of the Novosibirsk region/ Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). *Agricultural Cyber-Physical Systems*, Volume 1. Zug, 2024. С. 1131-1140.
9. Belyaev V., Buxmann V., Meskhi B.Ch., Rudoi D.V., Olshevskaya A.V., Kastsiukevich R. Analysis of the operation of sowing units based on DMC seeders in the Siberian federal district farms / Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. Conference proceedings. Switzerland, 2023. С. 2023-2031.
10. Моделирование урожайности яровой пшеницы при дифференцированном посеве и внесении минеральных удобрений / В. И. Беляев, Д. Н. Пирожков, А. В. Тагильцев, Л. В. Соколова – Текст: электронный // Дальневосточный аграрный вестник. – 2025. – Т. 19, № 1. – С. 5-16. – URL: <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-1-5-16>.
11. Пасечнюк, А. Д. Определение густоты стояния растений (стеблей) на агрометеорологической наблюдательной сети Росгидромета / А. Д. Пасечнюк. – Текст: непосредственный // Гидрометеорология и образование. – 2025. – № 3 (23). – С. 38-55.
12. Computer Vision Annotation. – URL: <https://app.cvat.ai/> (дата обращения: 21.01.2026). – Текст: электронный.
13. Annotate better with CVAT, the industry-leading data engine for machine learning. Used and trusted by teams at any scale, for data of any scale – URL: <https://github.com/cvat-ai/cvat/> (дата обращения: 21.01.2026). – Текст: электронный.
14. Installing Linux for Windows using WSL. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/wsl/install> (дата обращения: 21.01.2026). – Текст: электронный.
15. Docker Desktop WSL 2 backend on Windows. – URL: <https://docs.docker.com/desktop/features/wsl/> (дата обращения: 21.01.2026). – Текст: электронный.
16. Git for Windows. – URL: <https://github.com/git-for-windows> (дата обращения: 21.01.2026). – Текст: электронный.
17. Ultralytics. Revolutionizing the World of Vision. – URL: <https://www.ultralytics.com/> (дата обращения: 21.01.2026). – Текст: электронный.
18. Как обнаруживать объекты на изображениях с помощью нейронной сети YOLOv8. –

URL: <https://ru.python-3.com/?p=2630> (дата обращения: 21.01.2026). – Текст: электронный.

References

1. Mohsan, S.A.H., Othman, N.Q.H., Li, Y., et al. (2023). Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. *Intel Serv Robotics* 16, 109–137. <https://doi.org/10.1007/s11370-022-00452-4>.
2. Fotouhi A., et al. (2019). Survey on UAV Cellular Communications: Practical Aspects, Standardization Advancements, Regulation, and Security Challenges. In *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21 (4): 3417-3442. DOI: 10.1109/COMST.2019.2906228.
3. Skorobogatov G., Barrado C., Salami E. (2020). Multiple UAV Systems: A Survey. *Unmanned Systems*, 8 (2): 149–169. DOI: 10.1142/S2301385020500090.
4. Xue X. Y., Lan Y. B. (2013). Agricultural aviation applications in USA. *Transactions of the CSAM*, 44 (5): 194–201. <https://www.doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.034>. (in Chinese).
5. Kovalev, D. I. Primenenie BPLA v tochnom zemledelii: obzor rezultatov testirovaniya oktokoptera Agras MG-1S / D. I. Kovalev, K. D. Astanakulov, E. V. Tueva // *Informatika. Ekonomika. Upravlenie*. – 2024. – Т. 3, No. 3. – S. 201-214. – DOI 10.47813/2782-5280-2024-3-3-0201-0214.
6. Qin W. C., Xue X. Y., Zhou L. X., et al. (2014). Effects of spraying parameters of unmanned aerial vehicle on droplets deposition distribution of maize canopies. *Transactions of the CSAE*, 30 (5): 50–56. (in Chinese). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.05.007>.
7. Belyaev, V.I. Opredelenie effektivnosti opryskivaniya rasteniy s ispolzovaniem bespilotnoy aviatsionnoy sistemy (BAS) kvadrokopternogo tipa / V.I. Belyaev, D.N. Pirozhkov, A.S. Kovalev // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2025. – No. 4 (246). – S. 69-75.
8. Belyaev V.I., Buxmann V., Pirozhkov D.N., Chernyshkov V.N. Efficiency of differentiated sowing of spring wheat in the steppe zone of the Novosibirsk region / *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). Agricultural Cyber-Physical Systems*, Volume 1. Zug, 2024. S. 1131-1140.
9. Belyaev V., Buxmann V., Meskhi B.Ch., Rudoi D.V., Olshevskaya A.V., Kastsiukevich R. Analysis of the operation of sowing units based on DMC seeders in the Siberian federal district farms / *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. Conference proceedings. Switzerland, 2023*. S. 2023-2031.
10. Belyaev, V.I. Modelirovanie urozhaynosti yarovoy pshenitsy pri differentsirovannom poseve i vnesenii mineralnykh udobreniy / V.I. Belyaev, D.N. Pirozhkov, A.V. Tagiltsev, L.V. Sokolova // *Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik*. – 2025. – Т. 19. No. 1. – S. 5-16. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-1-5-16>.
11. Pasechnyuk, A.D. Opredelenie gustoty stoyaniya rasteniy (stebley) na agrometeorologicheskoy nablyudatelnoy seti Rosgidrometa / A.D. Pasechnyuk // *Gidrometeorologiya i obrazovanie*. 2025. No. 3 (23). S. 38-55.
12. Computer Vision Annotation. – URL: <https://app.cvat.ai> (data obrashcheniya 21.01.2026).
13. Annotate better with CVAT, the industry-leading data engine for machine learning. Used and trusted by teams at any scale, for data of any scale. – URL: <https://github.com/cvat-ai/cvat> (data obrashcheniya 21.01.2026).
14. Installing Linux for Windows using WSL. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/wsl/install> (data obrashcheniya 21.01.2026).
15. Docker Desktop WSL 2 backend on Windows. – URL: <https://docs.docker.com/desktop/features/wsl> (data obrashcheniya 21.01.2026).
16. Git for Windows. – URL: <https://github.com/git-for-windows> (data obrashcheniya 21.01.2026).
17. Ultralytics. Revolutionizing the World of Vision. – URL: <https://www.ultralytics.com> (data obrashcheniya 21.01.2026).
18. Kak obnaruzhivat obekty na izobrazheniyakh s pomoshchyu neyronnoy seti YOLOv8. – URL: <https://ru.python-3.com/?p=2630> (data obrashcheniya 21.01.2026).

