

Минобрнауки России

Юго-Западный государственный университет

Кафедра программной инженерии

ОТЧЕТ

о преддипломной (производственной) практике

наименование вида и типа практики

на (в) ООО «Предприятие ВТИ-Сервис»

наименование предприятия, организации, учреждения

Студента 4курса, группы ПО-11б

курса, группы

Крюкова Никиты Михайловича

фамилия, имя, отчество

Руководитель практики от
предприятия, организации,
учреждения

Оценка _____

директор

должность, звание, степень

Федосов Д. В.

фамилия и. о.

подпись, дата

Руководитель практики от
университета

Оценка _____

к.т.н. доцент

должность, звание, степень

Чаплыгин А. А.

фамилия и. о.

подпись, дата

Члены комиссии

подпись, дата

фамилия и. о.

подпись, дата

фамилия и. о.

подпись, дата

фамилия и. о.

Курск 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Анализ предметной области	5
1.1	Описание предметной области	5
1.2	Роль искусственного интеллекта в сельском хозяйстве	6
1.3	Сверточные нейронные сети	7
1.4	Анализ основных видов заболеваний томатов	10
1.5	Анализ существующих решений	20
2	Техническое задание	24
2.1	Основание для разработки	24
2.2	Цель и назначение разработки	24
2.3	Актуальность темы разработки	25
2.4	Этапы разработки	25
2.5	Требования к программной системе	26
2.5.1	Требования к данным	26
2.5.2	Функциональные требования	26
2.5.3	Сценарий прецедента пользователя «Загрузка изображения»	27
2.5.4	Сценарий прецедента пользователя «Просмотр описания проблемы»	27
2.5.5	Сценарий прецедента пользователя «Просмотр рекомендаций по лечению и профилактике»	27
2.5.6	Сценарий прецедента пользователя «Просмотр рекомендаций по профилактике»	28
2.6	Требования пользователя к интерфейсу web-интерфейса	28
2.7	Нефункциональные требования	29
2.7.1	Требования к программному обеспечению	29
2.8	Ограничения	30
2.8.1	Требования к аппаратному обеспечению	30
2.9	Требования к оформлению документации	30
3	Технический проект	31
3.1	Общая характеристика организации решения задачи	31

3.2	Обоснование выбора технологии проектирования	31
3.2.1	Язык программирования Python	31
3.2.2	Фреймворк PyTorch	31
3.2.3	YOLO	32
3.2.3.1	Backbone	34
3.2.3.2	Neck	35
3.2.3.3	Head	36
3.2.3.4	Применение в задаче	37
3.2.4	Фреймворк Flask	37
3.3	Диаграмма компонентов	37
3.4	Структура базы данных	39
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	41

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

БД – база данных.

ИС – информационная система.

ИТ – информационные технологии.

ПО – программное обеспечение.

РП – рабочий проект.

СУБД – система управления базами данных.

ТЗ – техническое задание.

ТП – технический проект.

CNN – свёрточная нейронная сеть.

ИИ – искусственный интеллект.

UML (Unified Modelling Language) – язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения.

1 Анализ предметной области

1.1 Описание предметной области

В настоящее время, когда население планеты продолжает расти, сельское хозяйство сталкивается с очень важной задачей – обеспечение продовольственной безопасности. Поэтому поддержание здоровья сельскохозяйственных растений напрямую влияет на объемы и стабильность урожая [5].

На сегодняшний день, проблема защиты растений от болезней и вредителей по-прежнему актуальна. По данным ФАО, по состоянию на 2024 год, потери сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней растений достигают 40%. В России ситуация также остается непростой: до 25% зерновых культур гибнет из-за ржавчины, мучнистой росы, фузариоза и других заболеваний. Потери урожая картофеля из-за фитофтороза, альтернариоза и вирусных инфекций составляют 20–30%. Рис страдает от пирикуляриоза, подсолнечник — от гнилей, сахарная свёкла — от церкоспороза, а яблони и сливы — от парши и монилиоза [1]. Болезни растений, вызываемые разнообразными патогенами и неблагоприятными условиями, представляют собой серьезную угрозу для сельского хозяйства. Поэтому важно разработать эффективные методы их диагностики.

Традиционные методы для выявления болезней включают в себя несколько подходов:

1. Визуальный осмотр: этот метод опирается на опыт и знания квалифицированных специалистов, предполагает анализ видимых симптомов, которые видны на различных частях растения [6].

2. Микроскопический анализ: данная методика позволяет найти патогены в тканях растения. Для него используются оптические микроскопы, что помогает более точно определить источник заболевания [2].

3. Молекулярные методы: этот метод исследования позволяет выявить генетические и молекулярные изменения в организме. Это обеспечивает высокую точность и специфичность диагностики [10].

Однако, традиционные методы диагностики имеют свои ограничения. Они трудоемки, требуют использования специализированного оборудования и привлечения высококвалифицированных специалистов. Кроме того, их недостатками является то, что они могут потребовать много времени. Поэтому использование методов искусственного интеллекта и глубокого обучения может повысить точность и эффективность диагностики заболеваний сельскохозяйственных культур. [50]

1.2 Роль искусственного интеллекта в сельском хозяйстве

Искусственный интеллект находит всё более широкое применение в аграрном секторе. Его внедрение способствует снижению зависимости от ручного труда, оптимизации производственных процессов и повышению устойчивости агропроизводства перед лицом климатических и биотических рисков.

Одним из направлений применения ИИ является мониторинг состояния посевов. С использованием спутниковых и беспилотных летательных аппаратов, которые оснащены высокоточным оптическим и мультиспектральным оборудованием, осуществляется регулярная съёмка посевов. Затем полученные изображения анализируются с помощью алгоритмов машинного и глубокого обучения для выявления отклонений в цвете, текстуре и структуре растений. Такой подход позволяет оперативно локализовать проблемные участки и сократить использование химических препаратов за счёт точечного воздействия [51].

Ещё одно важное направление – моделирование урожайности с помощью предсказания. На основе данных о метеоусловиях, составе почв, предыдущем урожае и многих других факторах формируются модели, способные предсказывать какой объём урожая может быть при текущих условиях. Эти системы активно применяются в странах ЕС, США, Китае и Индии для планирования сельскохозяйственных работ и оценки экономических рисков [50].

Третье направление – это диагностика заболеваний растений с использованием мобильных и веб-приложений. Эти платформы используют обу-

ченные сверточные нейронные сети, способные по фото растения сделать предположение о наличии конкретных заболеваний. Обучение таких моделей осуществляется на десятках тысяч размеченных изображений растений, которые пострадали от болезней или вредителей. Точность идентификации может превышать 90%, что делает технологию полезной для мелких фермеров, не имеющих доступа к агрономам [52].

Кроме того, активно развиваются роботизированные системы на базе ИИ, способные выполнять операции по уходу за растениям. Так, компании Naïo Technologies из Франции, Ecorobotix из Швейцарии, Small Robot Company из Великобритании разрабатывают автономных агроботов, которые смогут облегчить работу фермерам, путём автоматизации сложных и требующих высокой точности задач [4].

1.3 Сверточные нейронные сети

Сверточные нейронные сети (CNN, англ. Convolutional Neural Networks) представляют собой тип глубоких нейронных сетей, которые специально разработаны для обработки данных с сеточной структурой, таких как двумерные изображения. CNN кардинально изменили подход к анализу изображений, благодаря способности автоматически извлекать релевантные признаки из данных. Это сделало возможным решение таких задач, как классификация, сегментация, обнаружение и распознавание объектов с высокой точностью и устойчивостью к шумам и искажениям.

Их основной принцип работы заключается в применении свёрточных фильтров, которые последовательно выявляют локальные закономерности в изображениях, начиная с простых признаков, таких как границы, и заканчивая высокоуровневыми абстракциями, такими как формы, контуры, объекты [21].

Одной из первых архитектур, продемонстрировавших эффективность CNN, стала LeNet-5, разработанная Яном Лекуном в 1998 году для распознавания рукописных цифр. Она включала в себя два сверточных и два пулинг слоя, а также полносвязные слои на выходе. Несмотря на свою простоту

ту, LeNet-5 продемонстрировала фундаментальные принципы, которые были заложены в более поздние архитектуры. На рисунке 1.1 представлена архитектура LeNet-5.

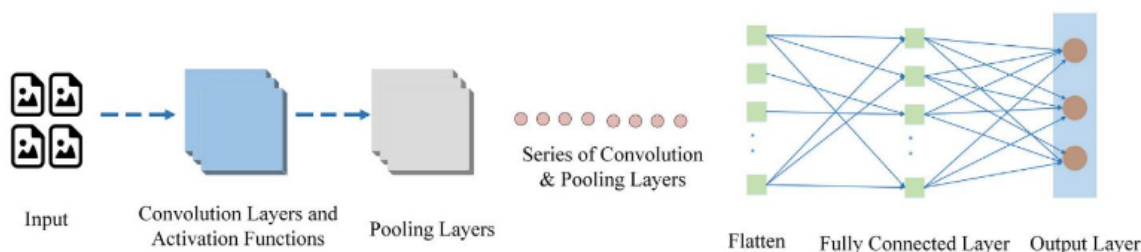


Рисунок 1.1 – Архитектура LeNet-5

Существенный прорыв в развитии сверточных сетей произошел, когда была разработана AlexNet в 2012 году. Она выиграла соревнование ImageNet, сократив ошибку классификации почти вдвое по сравнению с предыдущими моделями. AlexNet глубже использовала сверточные архитектуры, функцию активации ReLU, нормализацию по пакету и технику «дропаут» для уменьшения переобучения. Эта модель показала эффективность свёрточных сетей и стала катализатором их развития в целом. На рисунке 1.2 представлена архитектура AlexNet.

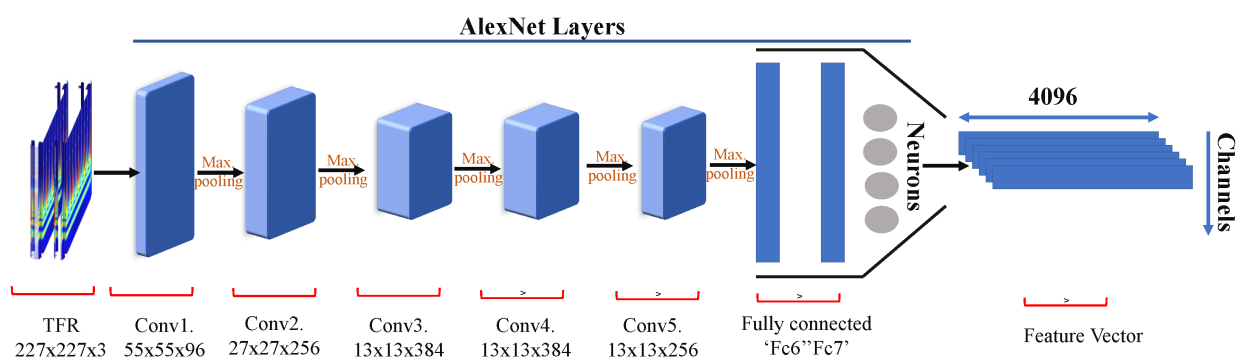


Рисунок 1.2 – Архитектура AlexNet

Впоследствии были разработаны более глубокие и эффективные архитектуры, такие как VGG, в которой использовались только 3×3 свёрток и 2×2 пуллинга, ResNet, в которой введены остаточные связи для облегчения обучения очень глубоких сетей, и GoogLeNet, которая использовала модули Inception. Эти модели стали стандартом в компьютерном зрении. Они приме-

няются в различных отраслях: от медицины и промышленной диагностики до систем анализа спутниковых снимков.

Развитие CNN позволило перейти от задач классификации к задачам более высокого уровня сложности, в частности к сегментации. Суть этой задачи заключается в построении пиксельных масок, которые соответствуют различным объектам или классам на изображении. Такой подход позволил расширить функциональность моделей по сравнению с обычной классификацией. Примерами соответствующих архитектур являются U-Net, DeepLab и Mask R-CNN, каждая из которых использует комбинацию сверточных и деконволюционных операций, а также механизмы пропуска слоев и многоуровневого объединения признаков [22] .

Одним из ключевых направлений в развитии методов компьютерного зрения стало обнаружение объектов. Данная задача предполагает совместное решение задач классификации и локализации. Модель при этом должна не только определить принадлежность объекта к определённому классу, но и задать его пространственные координаты на изображении.

Для её решения были разработаны архитектуры, сочетающие высокую производительность и точность. Наиболее известными моделями являются YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot Multibox Detector) и Faster R-CNN.

Первая из них представляет собой одноэтапную архитектуру. Она осуществляет предсказание координат и классов объектов в рамках единой свёрточной сети. Благодаря своей архитектуре, отличается высокой вычислительной эффективностью и возможностью обработки изображений в режиме, близком к реальному времени.

Модель SSD тоже основана на одноэтапном подходе. Она использует многомасштабные карты признаков для распознавания объектов различных размеров, что делает её более универсальной при работе с разнородными данными.

Faster R-CNN имеет двухэтапную архитектуру. Первый модуль генерирует предложений о потенциальной области объектов, а второй выполняет

классификацию. Такой подход обеспечивает высокую точность за счёт явного разделения этапов локализации и распознавания.

1.4 Анализ основных видов заболеваний томатов

Томаты (*Solanum lycopersicum*) – это одна из ключевых овощных культур, которую выращивают во всём мире. Она широко используется при приготовлении пищи и обладает высокой агрономической значимостью. В 2023 году мировое производство томатов составило более 190 млн тонн [12]. Это показывает устойчивую тенденцию роста, даже на фоне климатических и биотических стрессов.

Однако томаты подвержены значительным потерям урожая из-за болезней и вредителей. Потери могут достигать 50% в условиях высокой заболеваемости, особенно при отсутствии своевременного выявления заболеваний [14].

Одной из таких болезней является альтернариоз, или сухая пятнистость листьев. Это грибковое заболевание, вызываемое патогенами рода *Alternaria*, преимущественно *Alternaria solani* и *Alternaria tomatophila*. Заболевание поражает листья, стебли, плоды и приводит к значительным потерям урожая.

Первые признаки болезни проявляются на нижних листьях в виде небольших тёмно-коричневых пятен с концентрическими кольцами. Со временем пятна увеличиваются, сливаются и охватывают большую часть листовой поверхности, вызывая преждевременное отмирание листьев. На стеблях и черешках появляются продольные тёмные полосы, которые могут приводить к их растрескиванию. На плодах появляются пятна гнили болотного цвета.

Развитию болезни способствуют: высокая влажность воздуха, температура в диапазоне от +20°C до +30°C, густая посадка, мешающая циркуляции воздуха. Споры гриба могут сохраняться в почве и на растительных остатках до 2–3 лет, поэтому необходимо соблюдать севооборот и тщательно убирать поля после сбора урожая [2]. На рисунке 1.3 представлены признаки болезни на листьях.



Рисунок 1.3 – Альтернариоз

Одним из наиболее опасных заболеваний томатов является фитофтороз, вызываемый оомицетом *Phytophthora infestans*. Эта патогенная микроскопическая структура также поражает картофель и другие растения семейства паслёновых. Фитофтороз способен стремительно распространяться в условиях высокой влажности и умеренных температур, вызывая массовое заражение посадок и значительное снижение урожайности.

Первые признаки заболевания появляются на нижних листьях в виде водянистых пятен бурого или серо-зелёного цвета. По мере развития болезни пятна становятся более выраженными, часть листа вокруг них отмирает, и образуется светлый ободок. С нижней стороны листьев может наблюдаться белый налёт, представляющий собой мицелий патогена. Поражение распространяется вверх по растению. Оно охватывает стебли и плоды. На плодах фитофтороз вызывает бурые, твёрдые пятна, часто с чёрной каймой. Такие плоды быстро загнивают, особенно в условиях хранения [3]. На рисунке 1.4 представлены признаки болезни на листьях.

Кладоспориоз томатов, также известный как бурая пятнистость, — это грибное заболевание. Патоген поражает преимущественно листья томатов,



Рисунок 1.4 – Фитофтороз

реже – стебли и плодоножки. У болеющего томата значительно снижается урожайность и качество самих плодов.

Болезнь вызывается грибом *Cladosporium fulvum*, который развивается на межклеточном уровне и продуцирует токсины, нарушающие физиологические процессы в растении. Грибки распространяется спорами, которые разносятся с потоками воздуха, а также через инструменты, одежду или капли воды. Также источником инфекции могут быть заражённые растительные остатки или семена, не прошедшие предварительную обработку [11].

Наиболее характерные признаки кладоспориоза проявляются на нижней стороне листьев в виде светло-зелёных, жёлтых, а затем бурых пятен округлой или неправильной формы. На рисунке 1.5 представлено больное растение. Поражённые листья постепенно скручиваются, усыхают и опадают.



Рисунок 1.5 – Кладоспориоз

Септориоз томатов, или белая пятнистость, – это одно из наиболее распространённых грибных заболеваний, вызываемое патогеном *Septoria lycopersici* Speg. Болезнь поражает преимущественно листву в фазу активного роста растений.

По данным специалистов Россельхозцентра, септориоз регистрируется ежегодно во всех регионах России, но чаще всего в зонах с повышенной влажностью [8].

Первые признаки проявляются на нижних листьях в виде маленьких светло-серых пятен с тёмной каймой. Постепенно пятна увеличиваются до

2–5 мм в диаметре, становятся округлыми, с отчетливо выраженной тёмной границей. В центре пятен можно разглядеть мелкие тёмные точки — пикниды гриба. Изображение больного листа представлено на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Септориоз томата

При сильном развитии болезни пятна сливаются, листовая пластинка желтеет, высыхает и опадает. Это нарушает фотосинтез и ослабляет растение, особенно в период формирования завязей.

Мозаичный вирус томатов – одно из наиболее известных и широко распространённых вирусных заболеваний томатов. Болезнь отличается высокой заразностью и может вызвать значительное снижение урожайности и ухудшение качества плодов.

Вирус впервые был описан в начале XX века. Возбудитель относится к роду *Tobamovirus* и представляет собой устойчивую РНК-вирусную частицу [19].

Первые признаки заражения чаще всего появляются на молодых листьях. Они приобретают характерную мозаичную окраску, при которой чередуются светло-зелёные и тёмно-зелёные участки. На стеблях и черешках появляются бурые полосы, а плоды теряют равномерность окраски и могут быть покрыты кольцевыми пятнами. В условиях высокой температуры и интенсивного солнечного света симптомы становятся более выраженными. Изображение зараженного томата представлено на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Мозаичный вирус

Передача вируса происходит через контакт с руками, одеждой, садовым инвентарём, на которых есть вирус, или при контакте с насекомыми-переносчиками, такими как тля и табачный трипс [5].

Вирус жёлтой курчавости листьев томата – ещё одно опасное вирусных заболеваний. Он относится к роду *Begomovirus*, семейству *Geminiviridae*, и

характеризуется способностью к быстрому распространению, особенно в регионах с тёплым климатом.

На территории России заболевание наиболее часто встречается в южных регионах — Краснодарском крае, Ростовской области, Крыму и Ставрополье, где благоприятные климатические условия способствуют активному размножению основного переносчика — белокрылки (*Bemisia tabaci*). Она является единственным распространителем данного вируса [13]. Изображение зараженного томата представлено на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Вирус жёлтой курчавости

У заражённых растений листья уменьшаются в размере, становятся ломкими, закручиваются вверх и приобретают лимонно-жёлтую окраску. Снижается способность к фотосинтезу, и, как следствие, ограничивается формирование цветков и завязей, что приводит к недостаточному развитию плодов или полному отсутствию урожая[14].

Минирующая мушка – один из опаснейших вредителей овощных культур. Они наносят серьёзный вред растениям, как на стадии рассады, так и в период плодоношения. Эти мелкие двукрылые насекомые относятся к семейству Agromyzidae и отличаются высокой плодовитостью и быстрой адаптацией к инсектицидам. На изображении 1.9 представлена минирующая мушка [15].



Рисунок 1.9 – Минирующая мушка

Самки прокалывают эпидермис листьев для откладки яиц. Вылупившиеся личинки начинают проделывать ходы в мезофилле листа, и, тем самым, разрушают фотосинтетическую ткань. Визуально повреждения проявляются в виде извилистых светлых линий – мин, которые увеличиваются в размерах по мере роста личинки. Повреждения представлены на изображении 1.10. При высокой численности вредителя может быть снижение урожайности до 40% [ссылка]ФГБУ «Россельхозцентр», 2021).



Рисунок 1.10 – ”Мины”

Мушки особенно опасны в теплицах, где температурно-влажностные условия способствуют быстрому размножению. В одном поколении может развиваться до 600–700 яиц, а полный цикл развития при благоприятных условиях занимает 15–20 дней.

Паутинный клещ – один из наиболее опасных вредителей, поражающих более 200 видов растений, включая томаты. Его биология, малые размеры и высокая устойчивость к пестицидам делают борьбу с ним крайне сложной [ссылка]. Особь клеща представлена на изображении 1.11.

Развитие клеща проходит особенно интенсивно при температуре 25–30 °С и относительной влажности менее 60%. Полный цикл развития — от яйца до взрослой особи — может занимать всего 7–10 суток, что позволяет вредителю развиваться до 20 поколений в год в теплицах. Самки откладывают до 100–150 яиц за жизнь, формируя плотные колонии в межжилковых пространствах листьев [18].

На томатах паутинный клещ вредит в основном с нижней стороны листьев, прокалывая эпидермис и высасывая клеточный сок. Первичные симптомы проявляются в виде мелких светлых точек – хлорозов, которые со вре-



Рисунок 1.11 – Паутинный клещ

менем сливаются и придают листьям мраморный вид. При сильной степени заражения листья буреют, скручиваются, засыхают и опадают. Также можно наблюдать тонкую паутину, покрывающую нижнюю сторону листьев, черешки и даже соцветия. Паутина служит защитой для колоний клещей и яиц от внешних воздействий и инсектицидов [ссылка](Минаев, 2018). На изображении 1.12 представлен, томатный куст, пострадавший от клещей.



Рисунок 1.12 – Колония паутинных клещей на кусте томата

1.5 Анализ существующих решений

С помощью анализу существующих решений с похожей тематикой, можно выделить их достоинства и недостатки, чтобы использовать эту информацию при разработке своего решения. Были выбраны три веб-сервиса, в которых используются технологии компьютерного зрения и искусственного интеллекта:

- "plantix";
- "culiKure";
- "pdd.jinr".

Все указанные платформы решают задачи идентификации болезней растений по загруженным изображениям, однако имеют отличия в интерфейсе, используем технологиях и функционале.

Так Plantix – это мобильное приложение, ориентированное на фермеров и агрономов. пользователь делает фото растения, а приложение анализирует его и предоставляет подробную информацию о заболевании, методах лечения. Интерфейс рассчитан на массового пользователя и поддерживает множество региональных языков. Однако его минусом является то, что это

мобильное приложение, поэтому нет возможности использовать его через браузер. На изображении 1.13 представлен страница Plantix.

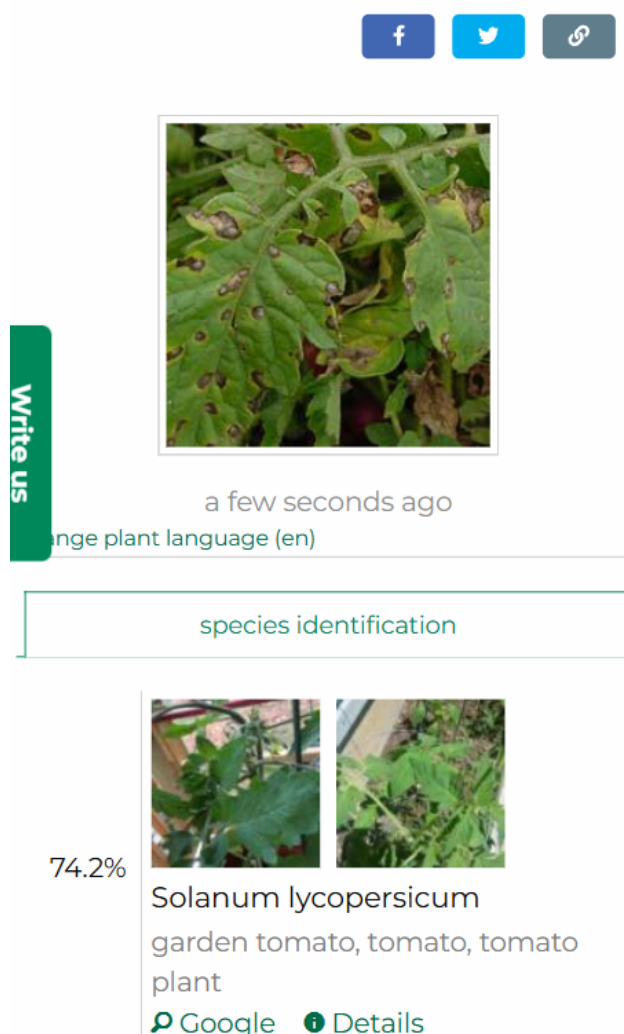


Рисунок 1.13 – Интерфейс Plantix

CultiKure – это веб-приложение, предназначенное для помощи пользователям в выявлении и устранении заболеваний растений. Оно анализирует изображения листьев с помощью модели VGG16 и выдаёт результаты с информацией по болезням. Само приложение построено на базе фреймворка Flask. Минусом данного решения является то, что оно использует не самую лучшую версию модели, и, как результат, может выдавать не самые точные предсказания [46]. На изображении 1.14 представлен страница CultiKure.



Рисунок 1.14 – Интерфейс Cultikure

PDD.JINR.RU является исследовательским проектом, созданным в "Объединённом институте ядерных исследований". Веб-интерфейс позволяет загружать изображения листьев и определять заболевание с помощью сверточной нейросети. Акцент данного решения делается на точность и демонстрацию работы алгоритма ИИ. Однако визуальное оформление сайта значительно уступает в удобстве и современности свои конкурентам. На изображении 1.15 представлен интерфейс, а на 1.16 - результат предсказания PDD.JINR.RU.

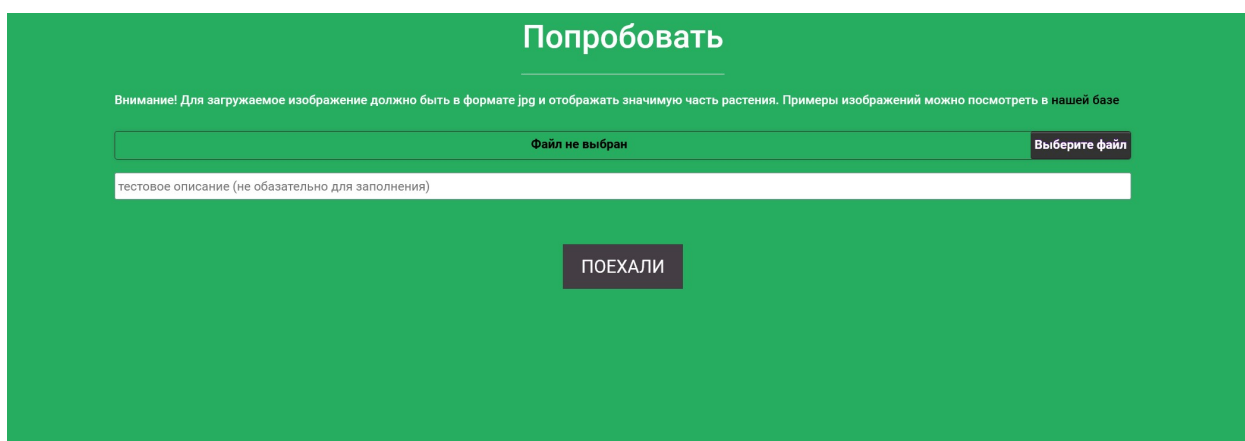


Рисунок 1.15 – Интерфейс PDD.JINR.RU

Вероятнее всего это: Аскохитоз



Возбудители аскохитоза: грибы, принадлежащие к роду *Ascochyta*. Аскохитоз является опасным заболеванием, поражающим тыкву, дыни, арбуз, горох, фасоль, свеклу, огурцы, смородину, крыжовник и некоторые другие культуры. Растения поражаются на протяжении всего периода вегетации. Основными симптомами заболевания является появление пятен различной окраски и формы, но всегда с бурым окаймлением. Отличительной чертой аскохитоза является обязательное образование пикнид - полых вместилищ, которые состоят из сплетения мицелия. В пикнидах формируются пикноспоры, которые разносят заболевание.

Пораженные аскохитозом семена приводят к снижению всхожести растений. У заболевших аскохитозом взрослых растений снижается урожайность. Недобор урожая может составлять до 50%. Плоды образуются недоразвитыми, плохого качества.

Заболеванию подвергаются все части растений. Размножению грибной культуры способствует повышенная влажность при выпадении обильных осадков в сочетании с температурой около +20-25°C. Источниками заражения являются пораженные аскохитозом семена или неубранные остатки предыдущего урожая. Когда преобладает чередование сухой и влажной погоды развитие заболевания замедляется, а при повышении температуры до +30°C и выше - заболевание прекращается.

Лечение аскохитоза заключается в избавлении от зараженных растений, сокращении объема полива. Также необходимо контролировать температурный режим для культур, выращиваемых в тепличных условиях, проводить обработку специальными фунгицидами, применять стимуляторы роста, укрепляющие иммунитет, проводить опудривание или обмазывание пораженных участков растворами медного купороса и мела, толченым углем.

Профилактические меры, предупреждающие возникновение аскохитоза, довольно обширны и незначительно разнятся в зависимости от конкретной культуры. Для предотвращения появления аскохитоза необходимо проводить своевременную очистку от растительных остатков предыдущих урожаев с посевных площадей и из теплиц, дезинфицирование используемой тары и садового инструмента, обеззараживание почвы, протравливание семенного материала перед посадкой. Также рекомендуется вносить в почву биопрепараты против аскохитоза, использовать регуляторы роста для повышения иммунитета растений и проводить регулярные опрыскивания фунгицидными препаратами, предотвращающими заражение.

Профилактика

Профилактические меры, предупреждающие возникновение аскохитоза огурца:

- Очистка теплиц от растительных остатков.
- Проведение дезинфицирования используемой тары и садового инструмента.
- Проведение обеззараживающей обработки почвы.
- Предотвращение переохлаждения растений.
- Тщательный контроль режим полива и проветривания в теплицах.
- Проведение обследования растений в зонах повышенного риска.
- Соблюдение севооборота.

Рисунок 1.16 – Интерфейс PDD.JINR.RU

2 Техническое задание

2.1 Основание для разработки

Полное наименование системы: «Разработка интеллектуальной системы для выявления заболеваний сельскохозяйственных растений». Основанием для разработки программы является приказ ректора ЮЗГУ от «17» апреля 2025 г. № 1828-с приказа «О направлении (допуске) на практику».

2.2 Цель и назначение разработки

Программно-информационная система предназначена для диагностики заболеваний томатов по изображениям их листьев. Пользователями системы могут быть как агрономы, так и дачники.

Пользователи должны иметь возможность загружать фотографии поражённой листвы, получать результаты анализа и рекомендации по лечению и профилактике. Кроме того, система должна предоставлять краткое описание выявленного заболевания и возможные причины его возникновения.

Целью разработки является повышение эффективности сельскохозяйственного производства за счёт раннего выявления заболеваний и предоставления точных рекомендаций для их устранения. Это позволит сократить потери урожая, снизить затраты на химическую обработку и улучшить качество плодов.

Задачами данной разработки являются:

1. Создание базы данных для хранения информации о заболеваниях, их симптомах, способах лечения и профилактики.
2. Проектирование пользовательского интерфейса для удобной загрузки изображений и отображения результатов анализа.
3. Разработка и обучение свёрточной нейросети для точной классификации заболеваний по изображениям.

2.3 Актуальность темы разработки

Заболевания растений остаются одной из ключевых проблем в сельском хозяйстве. Они приводят к значительным потерям урожая и снижению его качества, поэтому крайне важной задачей является минимизация потерь за счёт внедрения современных технологий диагностики.

Разработка системы, основанной на использовании свёрточных нейронных сетей для распознавания заболеваний по фотографиям, актуальна по нескольким причинам. Во-первых, она позволяет сократить зависимость от квалификации специалистов, обеспечивая высокую точность диагностики даже для пользователей, которые не разбираются в агрономии. Во-вторых, такая система предоставляет возможность раннего выявления болезней, что существенно увеличивает шансы на успешное лечение. [52]

Кроме того, использование веб-технологий делает решение доступным для пользователей в любых регионах, где есть доступ к сети Интернет. Применение данного подхода может повысить эффективность сельскохозяйственного производства, сократить экономические потери и снизить экологическую нагрузку за счёт оптимизации использования химических средств защиты растений.

В сравнении с традиционными методами диагностики, предложенная система способна в течение нескольких секунд предоставить точный результат анализа, а воспользоваться ею можно везде, где есть Интернет. Эти факторы могут сделать данное решение удобным инструментом для современного сельского хозяйства.

2.4 Этапы разработки

Для реализации программной системы предполагается выполнение следующих этапов:

1. Изучение существующих решений, определение перечня заболеваний томатов и их визуальных симптомов.

2. Разработка структуры базы данных для хранения информации о заболеваниях, методах лечения и профилактики.
3. Сбор и разметка набора данных, обучение модели YOLO 11 и её тестирование.
4. Создание пользовательского интерфейса, интеграция CNN с веб-приложением.
5. Проведение функционального тестирования, проверка точности диагностики.

2.5 Требования к программной системе

2.5.1 Требования к данным

Входными данными для системы являются:

- изображения листьев растений, которые пользователь загружает для анализа.

Выходными данными для системы являются:

- информация о заболевании;
- данные об актуальных методах лечения и профилактики;
- сообщения об отсутствии информации о заболевании в базе.

2.5.2 Функциональные требования

Пользователю должны быть доступны следующие функции:

- загрузка фотографии пораженного листа томата для диагностики заболеваний;
- просмотр результатов анализа с информацией о выявленном заболевании;
- просмотр рекомендаций по лечению;
- просмотр информации по профилактике.

На рисунке 2.1 представлена диаграмма прецедентов для пользователя.

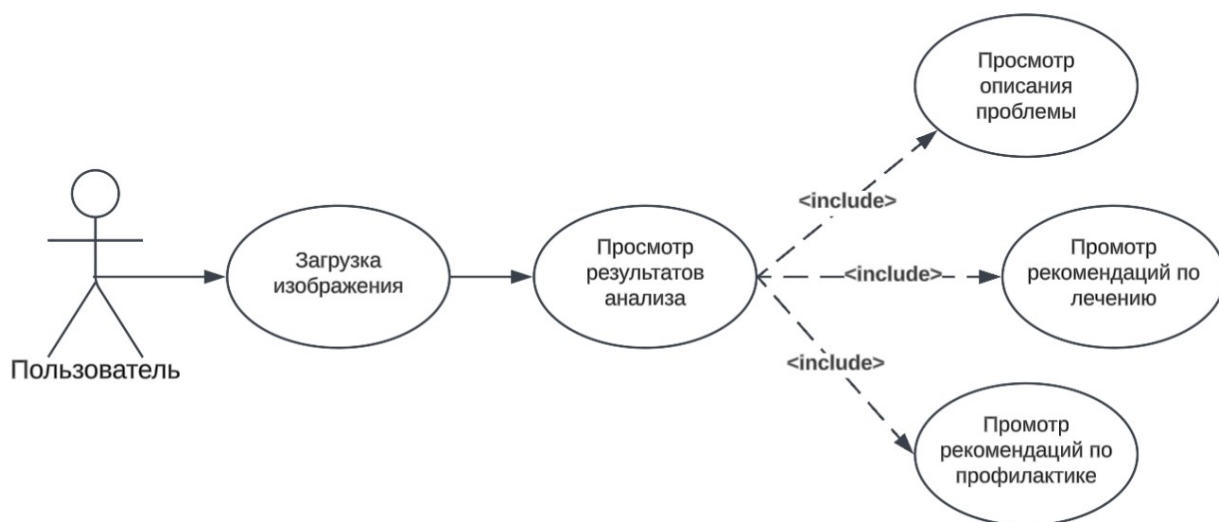


Рисунок 2.1 – Диаграмма прецедентов для пользователя

2.5.3 Сценарий прецедента пользователя «Загрузка изображения»

Основной успешный сценарий:

- пользователь заходит на главную страницу системы;
- выбирает опцию "Обзор...";
- выбирает изображение на своем устройстве;
- подтверждает выбор, нажав кнопку "Анализировать изображение";
- дожидается завершения анализа.

2.5.4 Сценарий прецедента пользователя «Просмотр описания проблемы»

Основной успешный сценарий:

- изображение проанализировано;
- пользователь переходит к параграфу "Описание";
- просматривает информацию о найденной проблеме.

2.5.5 Сценарий прецедента пользователя «Просмотр рекомендаций по лечению и профилактике»

Основной успешный сценарий:

- изображение проанализировано;
- пользователь переходит к параграфу "Лечение";
- просматривает способы устранить проблемы.

2.5.6 Сценарий прецедента пользователя «Просмотр рекомендаций по профилактике»

Основной успешный сценарий:

- изображение проанализировано;
- пользователь переходит к параграфу "Профилактика".
- просматривает методы профилактики болезни.

2.6 Требования пользователя к интерфейсу web-интерфейса

Интерфейс должен быть интуитивно понятным, чтобы агрономы и обычные пользователи могли легко взаимодействовать с системой. На рисунке 2.2 представлен макет страницы.

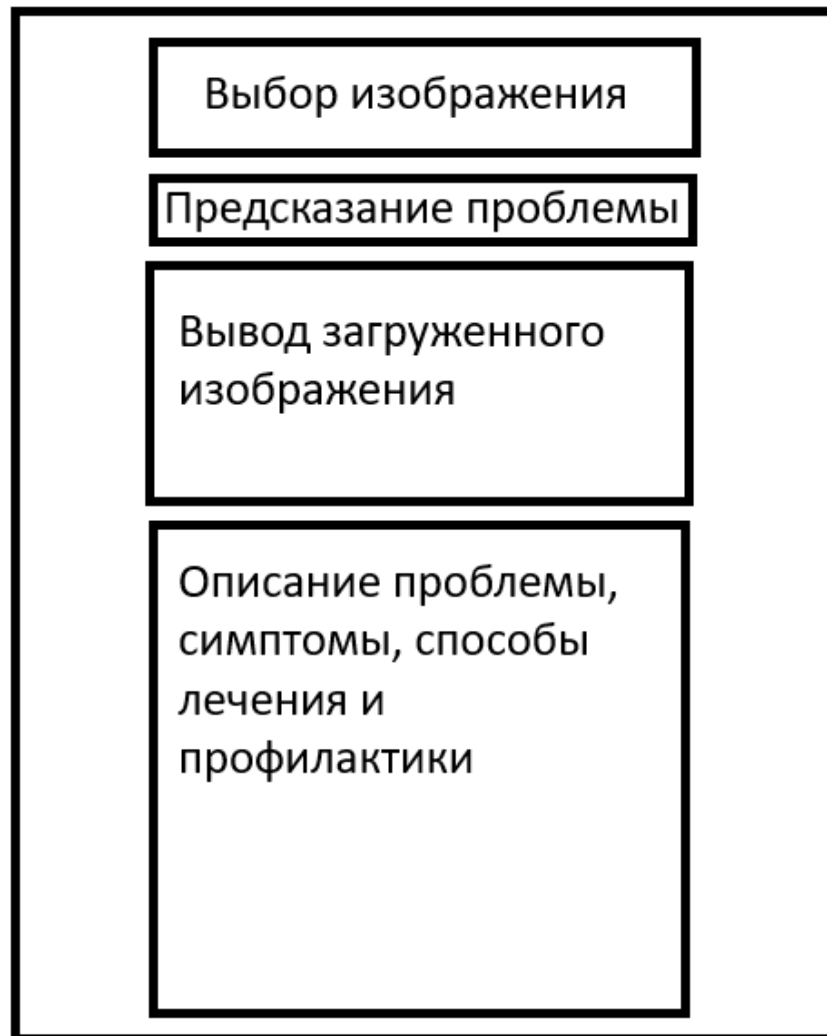


Рисунок 2.2 – Макет страницы

2.7 Нефункциональные требования

2.7.1 Требования к программному обеспечению

Для разработки и работы программной системы необходимы следующие компоненты:

- среда разработки Python для реализации и настройки алгоритмов;
- фреймворк Flask для создания веб-приложения;
- СУБД PostgreSQL для хранения данных о пользователях, результатах анализа и рекомендациях;

- инструменты машинного обучения Ultralytics и Pytorch для работы с CNN;
- библиотеки OpenCV, PIL для обработки изображений и Pandas, NumPy для работы с данными.

Предлагаемые технологии поддерживаются на всех популярных операционных системах, таких как Windows, macOS и Linux [39]. Выбор таких инструментов обусловлен их гибкостью, производительностью и большим сообществом разработчиков, что упрощает разработку и последующую поддержку системы.

2.8 Ограничения

1. Система ориентирована на диагностику заболеваний томатов и не поддерживает другие культуры, поэтому может выдавать ошибочные предположения при загрузке изображений других культур.
2. Точность диагностики зависит от качества предоставленных входных данных.
3. Для работы системы требуется стабильное интернет-соединение.

2.8.1 Требования к аппаратному обеспечению

Для работы приложения требуется дисковое пространство не менее 2,5 Гб, минимум 2 Гб оперативной памяти и подключение к Интернету. Рекомендуется использовать процессор с 2 или более ядрами и частотой 2 ГГц или выше.

2.9 Требования к оформлению документации

Разработка программной документации и программного изделия должна производиться согласно ГОСТ 19.102-77 и ГОСТ 34.601-90. Единая система программной документации.

3 Технический проект

3.1 Общая характеристика организации решения задачи

Задача заключается в создании веб-приложения для диагностики заболеваний томатов и выдачи рекомендаций по их лечению и профилактике. Приложение поможет агрономам и дачникам быстро выявлять болезни растений и принимать меры для сохранения урожая.

Приложение представляет собой веб-страницу, доступную через Интернет по адресу, например, `www.доменПриложения.ru`. На странице размещены текстовые описания, поле для загрузки изображений и область для вывода результатов анализа.

3.2 Обоснование выбора технологии проектирования

Для создания приложения выбраны технологии, которые обеспечивают высокую производительность, удобство для пользователей и простоту интеграции с моделью машинного обучения.

3.2.1 Язык программирования Python

Python – высокоуровневый язык программирования с динамической типизацией. Его интерпретатор позволяет запускать код на различных платформах, включая Windows, macOS и Linux, без необходимости компиляции. Официальная документация поддерживает разные подходы к программированию, включая процедурный, объектно-ориентированный и функциональный стили, что даёт разработчикам гибкость [40] [41].

В 2025 году Python остаётся одним из самых популярных языков благодаря своему простому синтаксису и большому количеству библиотек, которые и позволяют создавать на нём веб-приложения и модели ИИ [42][39].

3.2.2 Фреймворк PyTorch

PyTorch – это инструмент, созданный для работы с нейронными сетями на Python. Он используется разработчиками, когда нужно быстро протестиро-

вать идею и собрать прототип, особенно в проектах, связанных с машинным обучением. Его ценят за гибкость, читаемость кода и большое количество готовых решений.

Открытый исходный код PyTorch позволяет любому разработчику внести изменения или адаптировать его под собственные задачи. Благодаря этому вокруг проекта сформировалось большое и активное сообщество. Постоянно появляются новые библиотеки, расширения и обучающие материалы, которые делают работу с фреймворком ещё проще [34].

Среди особенностей – поддержка как классических, так и продвинутых архитектур нейросетей. Встроенные модули позволяют обрабатывать данные, визуализировать результаты и отслеживать, как ведёт себя модель во время обучения.

Благодаря всему этому PyTorch активно применяется в разных сферах.

3.2.3 YOLO

YOLOv11 – это одна из последних разработок в серии алгоритмов для распознавания объектов на изображениях. Эту версию представила команда Ultralytics. Данная модель стала логичным продолжением предыдущих модификаций YOLO, сохранив при этом основной подход: находить и определять объекты за один проход по изображению [36].

Главное, за что ценят YOLO – это скорость и точность. Она справляется с обработкой видео и изображений практически в реальном времени. Такая производительность достигается благодаря улучшенной архитектуре сверточной нейросети и доработанному механизму обучения. Разработчики также внедрили более точные методы предобработки данных, что заметно повысило стабильность работы модели [30].

Для обучения YOLO требуется датасет, где каждый объект уже размечен. После обучения модель может точно распознавать объекты даже на тех изображениях, которых не было в тренировочном наборе. Например, её можно применять для поиска признаков заболеваний на листьях растений — она определит поражённые участки по загруженному фото [29].

На графике 3.1 ниже представлены результаты сравнения 11-ой версии с предшествующими ей.

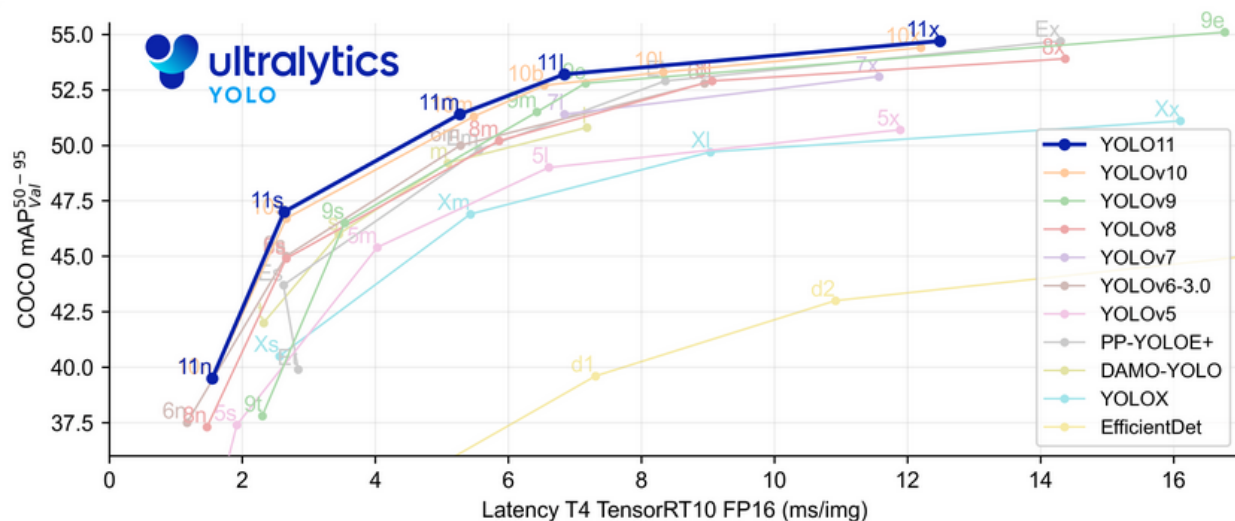


Рисунок 3.1 – График сравнения версий YOLO

По графику видно, что модель демонстрирует высокую точность на наборе данных COCO, достигая значения около 54.5, при меньшей задержке по времени в сравнении с другими моделями [35].

Архитектура YOLOv11 делится на три основные части: Backbone, Neck и Head. Они представлена на схеме 3.2.

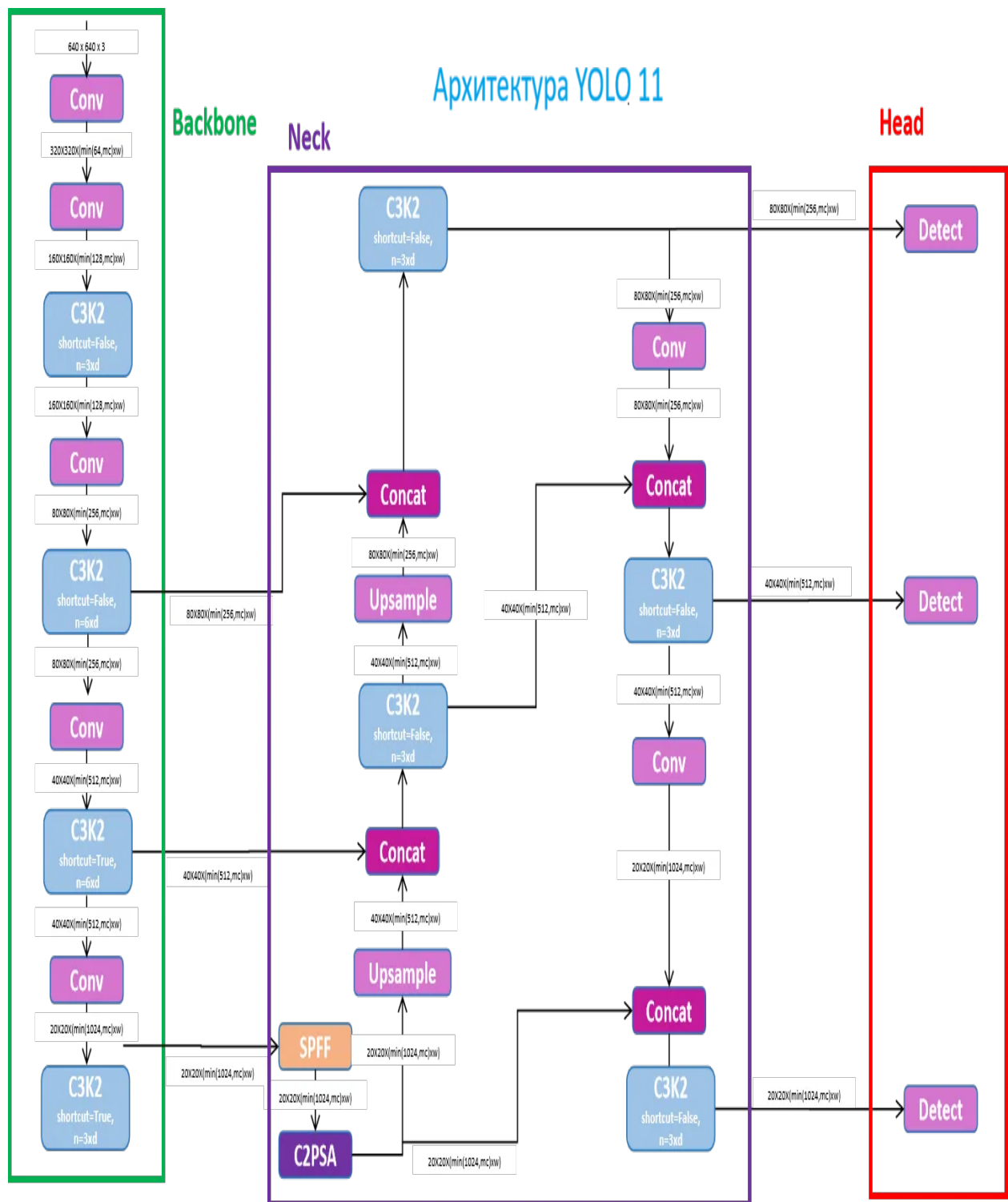


Рисунок 3.2 – Архитектура YOLO 11

3.2.3.1 Backbone

Backbone анализирует входное изображение размером 640x640 пикселей. Основной его задачей является выделение важных деталей, таких как края, текстуры или пятна на листе. Backbone состоит из нескольких слоёв,

которые постепенно уменьшают размер изображения и извлекают признаки [36]:

1. Свёрточные слои отвечают за процесс свёртки, при котором фильтр проходит по изображению и выделяет его особенности. В YOLO11 такие слои уменьшают размер изображения шаг за шагом: сначала до 320x320, потом до 160x160, 80x80, 40x40 и 20x20. На каждом этапе детали становятся более обобщёнными.

2. Блоки C3K2 представляют собой улучшенную версию блоков C3, которые использовались в более ранних моделях YOLO. Такой блок включает несколько свёрток и остаточные связи. Остаточные связи позволяют пропустить часть данных через блок без изменения и добавить их к результату. Это помогает модели бороться с проблемой затухающего градиента, когда верхние слои практически не обучаются при малом значении градиента во время обратного распространения. Эти блоки применяются на разных этапах backbone, чтобы выделить признаки разного уровня.

3. C2PSA (Cross-Stage Partial Self-Attention) – это технология срабатывает на этапе уменьшения размерности до 20x20, в её основе лежит алгоритм само-внимания. Она помогает модели сосредоточиться на важных частях изображения, не отвлекаясь на второстепенные. Само-внимание смотрит, как разные части изображения связаны между собой, что полезно для обнаружения мелких деталей.

Backbone формирует карты признаков и передаёт их в neck.

3.2.3.2 Neck

Neck собирает данные из backbone и готовит их к финальному этапу детекции. Эта часть объединяет информацию с разных масштабов, чтобы модель могла лучше находить мелкие объекты. Neck состоит из следующих модулей [31]:

1. SPFF (Spatial Pyramid Pooling Fast) – это модуль, который улучшает стандартный SPP из прошлых версий YOLO. SPP берёт карту признаков, и применяет пулинг с разными размерами фильтров, чтобы выделить признаки

разной детализации [32]. Пулинг — это процесс, который берёт, например, максимальное значение в окне 2x2, уменьшает размер карты, но сохраняет важные данные. SPFF делает это быстрее за счёт особых свёрток, что экономит время без потери качества.

2. Слои Concat соединяют карты признаков разных размеров — 80x80, 40x40, 20x20, чтобы модель могла использовать данные с разных уровней.

3. Upsample увеличивает размер карты признаков. Этот слой использует интерполяцию, добавляя промежуточные значения, чтобы «растянуть» данные. Это нужно, чтобы мелкие детали можно было передать на более крупные масштабы и соединить с другими признаками через Concat.

4. Блоки C3K2 используются в neck, чтобы ускорить работу. Они продолжают выделять признаки, но требуют меньше вычислений, что важно для увеличения скорости обработки.

Neck готовит три карты признаков размерностями 80x80, 40x40, 20x20 и отправляет их в head.

3.2.3.3 Head

Head — это последняя часть модели, которая выдаёт результаты на основе данных из Neck. Она определяет координаты рамок, классы и вероятность в трёх масштабах.

1. Блок Detect обрабатывает каждый масштаб и делает предсказания координат рамок, вероятностей классов и уверенности. Он использует свёртки, чтобы получить эти данные.

2. Dual Label Assignment — это новый способ, который YOLO11 использует для работы с метками. Обычно модели детекции привязывают одну рамку к одному объекту, но в реальных данных объекты могут пересекаться. Данная технология позволяет модели рассматривать несколько вариантов меток для одного объекта, что делает её точнее в сложных случаях.

Head выдаёт итоговые данные, которые приложение использует для показа результатов.

3.2.3.4 Применение в задаче

В проекте диагностики заболеваний томатов YOLO11 берёт изображение листа размером 640x640. Backbone выделяет признаки, такие как текстура и пятна, с помощью свёрток и C3K2, а C2PSA помогает найти мелкие детали. Neck соединяет эти признаки через SPFF и Concat, чтобы учесть разные масштабы. Head выдаёт результаты, определяя, есть ли болезнь. YOLO11 подходит для этой задачи, так как он быстро работает, точно определяет мелкие объекты и хорошо справляется с анализом изображений растений в реальном времени [38].

3.2.4 Фреймворк Flask

Flask – это легковесный веб-фреймворк на языке Python, который часто используют для разработки простых и понятных веб-приложений. Он не навязывает структуру проекта, поэтому подойдёт как новичкам, так и разработчикам, которым нужен контроль над архитектурой [43].

В отличие от более тяжёлых решений, Flask не включает в себя избыточных модулей. Вместо этого он предлагает только базовые инструменты – маршрутизацию, работу с запросами и шаблонизатор [44].

Для разработки веб-интерфейса системы распознавания заболеваний растений Flask подойдёт особенно хорошо. Он позволяет быстро реализовать обработку изображений, вывод результатов и взаимодействие с нейросетью. Благодаря простому синтаксису и большому количеству обучающей информации, с реализацией приложений не возникает серьёзных трудностей, даже при ограниченном опыте в веб-программировании [47].

Фреймворк хорошо работает на любых операционных системах и легко разворачивается как на локальной машине, так и на сервере. Это делает Flask удобным выбором для небольших и средних проектов [?].

3.3 Диаграмма компонентов

На рисунке 3.3 изображена диаграмма компонентов системы.

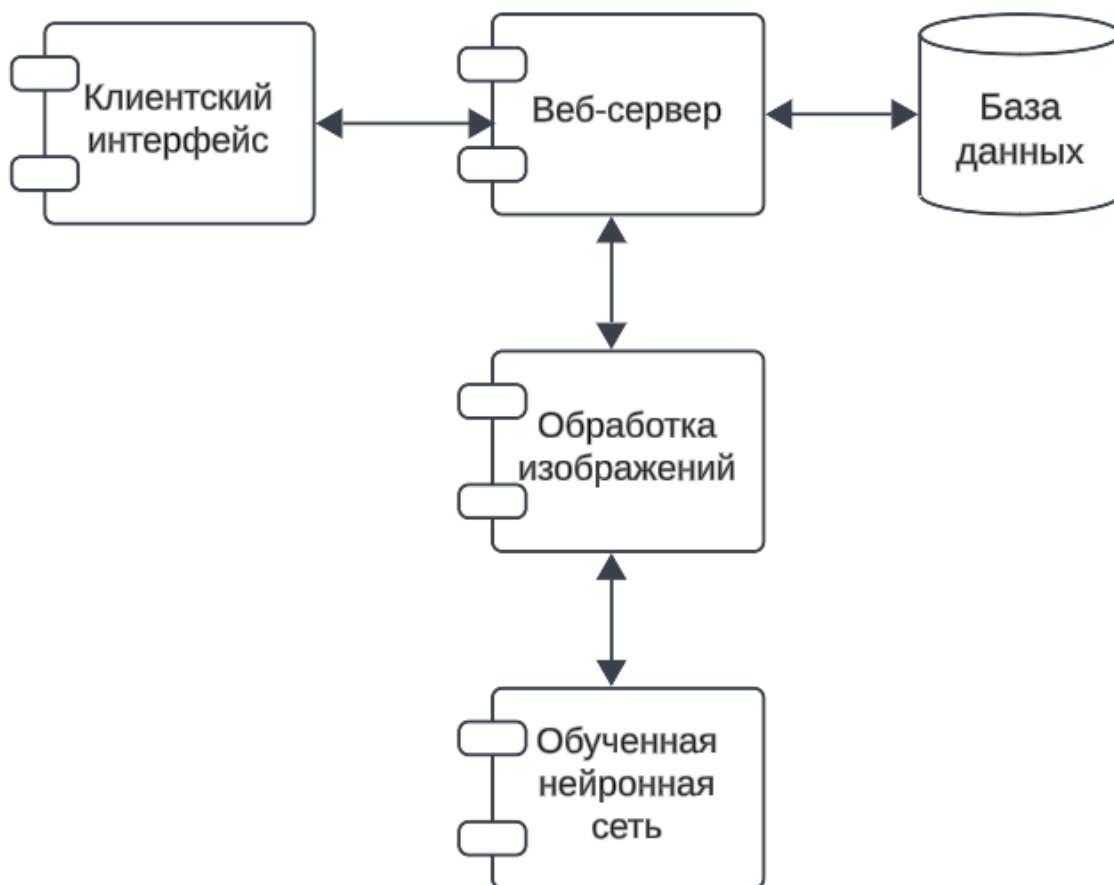


Рисунок 3.3 – Диаграмма компонентов

Диаграмма показывает, как устроено веб-приложение для диагностики заболеваний томатов. Она представлена в виде схемы с пятью основными блоками, соединёнными стрелками. Они указывают, как данные передаются между частями приложения. Каждая часть выполняет свою задачу, чтобы обеспечить работу системы.

Клиентский интерфейс – это веб-страница, через которую пользователь загружает изображение листьев. На этой же странице он видит результат анализа.

Веб-сервер стоит в центре схемы и управляет всем процессом. Он принимает запросы от интерфейса, направляет данные в нужные модули и возвращает результат пользователю.

База данных хранит описание болезней томатов, методы лечения, способы профилактики. Сервер обращается к ней, если модель нашла недуг.

Модуль обработки изображений подготавливает загруженное фото для анализа. Он изменяет размер изображения, повышает резкость и контраст, а затем передаёт его в модель.

Нейронная сеть анализирует изображение и определяет, есть ли на фото болезнь и возвращает на сервер результат.

3.4 Структура базы данных

Сущности и отношения между ними отображены на ER-диаграмме.

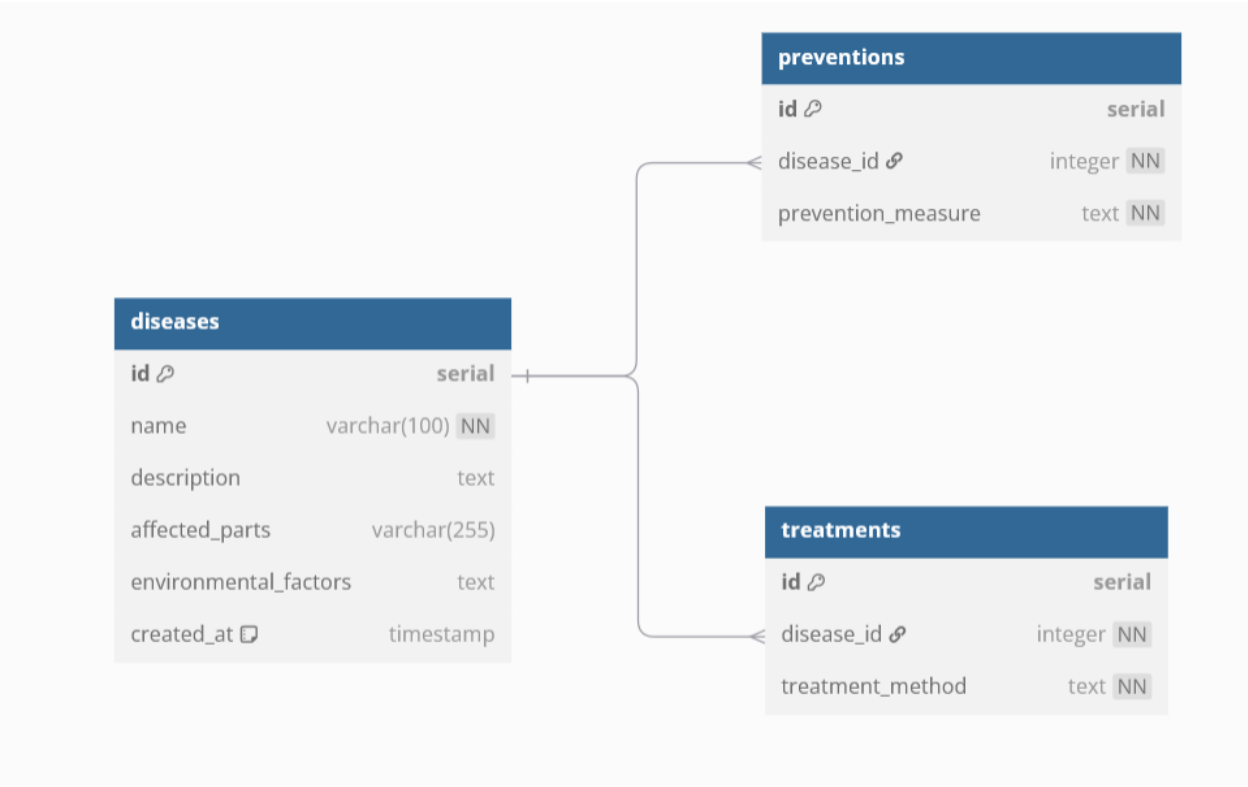


Рисунок 3.4 – ER-диаграмма

Таблица 3.1 – Атрибуты сущности diseases

Поле	Тип	Обязательное	Описание
1	2	3	4
id	serial	true	Первичный ключ
name	varchar(100)	true	Название болезни

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
description	text	false	Подробное описание болезни
affected_parts	varchar(255)	false	Части растения, поражаемые болезнью
environmental_factors	text	false	Экологические факторы, способствующие болезни
created_at	timestamp	false	Дата и время создания записи

Таблица 3.3 – Атрибуты сущности treatments

Поле	Тип	Обязательное	Описание
1	2	3	4
id	serial	true	Первичный ключ
disease_id	integer	true	Внешний ключ, ссылка на таблицу diseases
treatment_method	text	true	Описание методов лечения

Таблица 3.5 – Атрибуты сущности preventions

Поле	Тип	Обязательное	Описание
1	2	3	4
id	serial	true	Первичный ключ
disease_id	integer	true	Внешний ключ, ссылка на таблицу diseases
prevention_measure	text	true	Описание мер профилактики

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ходж, Д. Ботаника для садоводов / Д. Ходж – Москва : Азбука-Бизнес, 2024. - 224 с. – ISBN 978-5-389-13415-7. – Текст : непосредственный.
2. Кошкин, Е. И. Патофизиология сельскохозяйственных культур / Е. И. Кошкин – Москва : РГ-Пресс, 2024. - 304 с. – ISBN 978-5-9988-1405-1. – Текст : непосредственный.
3. Сергеева, М. Н. Культурные растения / М. Н. Сергеева – Москва : Проспект, 2023. - 120 с. – ISBN 978-5-392-37362-8. – Текст : непосредственный.
4. Абросимов, В.К. Интеллектуальные сельскохозяйственные роботы- /В.К. Абросимов, А.Н. Райков – Москва : Карьера Пресс, 2022. - 512 с. – ISBN 978-5-00074-318-8. – Текст : непосредственный.
5. Гриценко, В. В. Меры борьбы с болезнями и вредителями растений в сооружениях защищенного грунта /В. В. Гриценко, И. М. Митюшев, Ю. М. Стройков – Москва : Академия, 2020. - 160 с. – ISBN 978-5-44-689434-5. – Текст : непосредственный.
6. Ерофеева, Т. В. Сельскохозяйственная экология /Ерофеева Т. В., Фадькин Г. Н., Чурилова В. В. Санкт-Петербург : Лань, 2025. - 100 с. – ISBN 978-5-507-52249-1. – Текст : непосредственный.
7. Курбанов, С. А. Сельскохозяйственная мелиорация /С. А. Курбанов – Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 208 с. – ISBN 978-5-8114-6623-8. – Текст : непосредственный.
8. Овсинский, И. Е. Новая система земледелия /И. Е. Овсинский – Москва : Концептуал, 2023. - 240 с. – ISBN 978-5-907624-99-3. – Текст : непосредственный.
9. Монторо, Ж. Семена и зерна / Ж. Монторо – Москва : Эксмо, 2024. - 256 с. – ISBN 978-5-04-196329-3. – Текст : непосредственный.
10. Копытин, И. П. Ведение сельского хозяйства в Центрально-Нечерноземном округе России / И. П. Копытин – Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 336 с. – ISBN 978-5-8114-9863-5. – Текст : непосредственный.

11. Савельев, В. А. Растениеводство / В. А. Савельев – Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 316 с. – ISBN 978-5-8114-8194-1. – Текст : непосредственный.
12. Торилов, В. Е. Агрономический контроль в растениеводстве / В. Е. Торилов, О. В. Мельникова/ Санкт-Петербург :Лань, 2024. - 132 с. - ISBN 978-5-507-49427-9. - Текст: непосредственный.
13. Ганичкина, О. А. Секреты огорода. Как получить богатый урожай овощей и зелени на вашем участке / О. А. Ганичкина, А. В. Ганичкин / Москва :Эксмо, 2024. - 224 с. - ISBN 978-5-04-211846-3. - Текст: непосредственный.
14. Кочелаева, Л. Н. Сеньор Помидор. Выращиваем, ухаживаем и едим / Л. Н. Кочелаева – Москва : АСТ, 2024. - 160 с. – ISBN 978-5-17-161963-3. – Текст : непосредственный.
15. Кузнецова, Е. А. Рассадоводство. Первые шаги к здоровому урожаю / Е. А. Кузнецова – Москва: Издательство АСТ, 2023. - 160 с. – ISBN 978-5-17-157334-8. – Текст: непосредственный.
16. Ожехелева, З. Е. Биологические препараты для эффективного садоводства / З. Е. Ожехелева – Москва: ФГБНУ ВНИИСПК, 2022. - 166 с. – ISBN 978-5-6049204-3-5. – Текст: непосредственный.
17. Кизима, Г. А. Огород и сад для ленивых. Урожаю быть / Г. А. Кизима – Москва: Издательство АСТ, 2020. - 192 с. – ISBN 978-5-17-120651-2. – Текст: непосредственный.
18. Волкова, А. П. Энциклопедия пасленовых. Томат. Перец. Баклажан. Физалис / А. П. Волкова – Москва: Издательство АСТ, 2024. - 416 с. – ISBN 978-5-17-164151-1. – Текст: непосредственный.
19. Кизима, Г. А. Рассада для начинающих. Первые шаги к богатому урожаю / Г. А. Кизима – Москва: Издательство АСТ, 2025. - 128 с. – ISBN 978-5-17-164591-5. – Текст: непосредственный.
20. Демиденко, А. Введение в Computer Vision: как научить компьютер видеть / А. Демиденко – Москва: Литрес, 2025. – 100 с. – ISBN 978-5-04-720541-0. – Текст: непосредственный.

21. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский – Москва: Горячая линия-Телеком, 2023. – 385 с. – ISBN 978-5-9912-0320-3. – Текст: непосредственный.
22. Лекун, Я. Как учится машина: Революция в области нейронных сетей и глубокого обучения / Я. Лекун – Москва: Альпина PRO, 2021. – 335 с. – ISBN 978-5-907394-92-6. – Текст: непосредственный.
23. Мэтиз, Э. Изучаем Python: программирование игр, визуализация данных, веб-приложения. 3-е издание / Э. Мэтиз – Санкт-Петербург: БХВ, 2024. – 352 с. – ISBN 978-5-9775-1944-1. – Текст: непосредственный.
24. Демиденко, А. ИИ и зрение: как машины понимают изображения / А. Демиденко – Москва: Литрес, 2025. – 80 с. – ISBN 978-5-04-727123-1. – Текст: непосредственный.
25. Любанович, Б. Простой Python / Б. Любанович – Санкт-Петербург: Питер, 2021. – 592 с. – ISBN 978-5-4461-1701-7. – Текст: непосредственный.
26. Амундсен, М. RESTful Web API паттерны и практики / А. Демиденко – Москва: Sprint Book, 2025. – 464 с. – ISBN 978-601-08-4867-2. – Текст: непосредственный.
27. Определитель болезней томатов: фото, описание, меры борьбы и профилактика : сайт / Огород. – Москва : Огород, 2023 – . – URL: <https://www.ogorod.ru/ru/ogorod/tomats/14384/Opredelitel-bolezney-tomato-foto-opisaniye-mery-borby-i-profilaktika.htm> (дата обращения: 13.05.2025). – Текст: электронный.
28. Болезни рассады томатов: описание с фото, лечение : сайт / КП. – Москва : КП, 2023 – . – URL: <https://www.kp.ru/family/sad-i-ogorod/bolezni-rassady-tomato/> (дата обращения: 13.05.2025). – Текст: электронный.
29. Распознавание объектов с помощью YOLO v3 на Tensorflow 2.0 : сайт / Proglib. – Москва : Proglib, 2020 – . – URL: <https://proglib.io/p/raspoznavanie-obektov-s-pomoshchyu-yolo-v3-na-tensorflow-2-0-2020-11-08> (дата обращения: 13.04.2025). – Текст: электронный.

30. YOLOv11: улучшения в детекции объектов для реального времени : сайт / Ultralytics, 2024 – . – URL: <https://docs.ultralytics.com/ru/models/yolo11/> (дата обращения: 13.05.2025). – Текст: электронный.

31. Детекция объектов с помощью YOLOv5 : сайт / Habr. – Москва : Habr, 2021 – . – URL: <https://habr.com/ru/articles/576738/> (дата обращения: 11.05.2025). – Текст: электронный.

32. YOLOv7: пользовательское обнаружение объектов : сайт / Habr. – Москва : Habr, 2022 – . – URL: <https://habr.com/ru/articles/700794/> (дата обращения: 11.05.2025). – Текст: электронный.

33. Обнаружение объектов с YOLOv3 на Tensorflow 2.0 : сайт / Habr. – Москва : Habr, 2021 – . – URL: <https://habr.com/ru/articles/556404/> (дата обращения: 21.04.2025). – Текст: электронный.

34. Как выполнить обнаружение объектов YOLO с помощью OpenCV и PyTorch в Python : сайт / Waksoft. – Челябинск : Waksoft, 2021 – . – URL: <https://waksoft.susu.ru/2021/05/19/kak-vypolnit-obnaruzhenie-obektov-yolo-s-pomoshhyu-opencv-i-pytorch-v-python/> (дата обращения: 11.05.2025). – Текст: электронный.

35. Explore Ultralytics YOLOv11 : сайт / YOLOv11, 2024 – . – URL: <https://yolov11.com/> (дата обращения: 21.04.2025). – Текст: электронный.

36. Как использовать YOLOv11 для обнаружения объектов : сайт / SO Development. – Москва : SO Development, 2024 – . – URL: <https://ru.so-development.org/how-to-use-yolov11-for-object-detection/> (дата обращения: 11.05.2025). – Текст: электронный.

37. YOLO11: A New Iteration of “You Only Look Once”: сайт / viso.ai, 2024 – . – URL: <https://viso.ai/computer-vision/yolov11/> (дата обращения: 12.05.2025). – Текст: электронный.

38. YOLOv11: настройка и обучение модели для специфичных задач : сайт / Roboflow, 2024 – . – URL: <https://roboflow.com/model/yolo11> (дата обращения: 12.05.2025). – Текст: электронный.

39. Документация Python: сайт / Habr. – Москва : Habr, 2024 – . – URL: <https://www.python.org/doc/> (дата обращения: 02.03.2025). – Текст: электронный.

40. Язык программирования Python: особенности и перспективы : сайт / GeekBrain. – Москва : GeekBrain, 2024 – . – URL: <https://gb.ru/blog/python/> (дата обращения: 14.05.2025). – Текст: электронный.

41. Обзор языка программирования Python : сайт / Proglib. – Москва : Code Basics, 2023 – . – URL: https://code-basics.com/ru/blog_posts/obzor-yazyka-programmirovaniya-python (дата обращения: 11.03.2025). – Текст: электронный.

42. Библиотеки для веб-разработки на Python : сайт / Code Basics. Skyprow – Москва : Skyprow, 2023 – . – URL: <https://sky.pro/wiki/python/biblioteki-dlya-veb-razrabotki-na-python/> (дата обращения: 11.03.2025). – Текст: электронный.

43. Мега-Учебник Flask : сайт / Habr. – Москва : Habr, 2024 – . – URL: <https://habr.com/ru/articles/804245/> (дата обращения: 12.03.2025). – Текст: электронный.

44. Проектирование RESTful API с помощью Python и Flask : сайт / Skyprow. – Москва : Skyprow, 2024 – . – URL: <https://sky.pro/media/kak-sozdat-rest-api-na-flask/> (дата обращения: 12.03.2025). – Текст: электронный.

45. Документация Flask : сайт / Flask, 2020 – . – URL: <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/> (дата обращения: 14.05.2025). – Текст: электронный.

46. Vatathanavaro, S. White Blood Cell Classification: A Comparison between VGG-16 and ResNet-50 Models / V. ESupawit, T. Suchat, P. Kitsuchart – Bangkok : PG- King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2018. - 2 с. – Текст : электронный – . – URL: <https://site.ieee.org/thailand-cis/files/2018/11/JSCI6-Paper-2.pdf> (дата обращения: 11.05.2025).

47. Фреймворк Flask: как он работает и зачем нужен : сайт / Skillbox. – Москва : Skillbox, 2023 – . – URL: <https://skillbox.ru/media/code/freymvork-flask-kak-on-rabotaet-i-zachem-nuzhen/> (дата обращения: 14.05.2025). – Текст: электронный.

48. Документация PostgreSQL : сайт / Postgresql, 2025 – . – URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата обращения: 11.05.2025). – Текст: электронный.
49. Обзор баз данных PostgreSQL : сайт / Cnews, 2022 – . – URL: https://market.cnews.ru/news/top/2022-04-25_obzor_baz_dannyh_postgresql (дата обращения: 11.05.2025). – Текст: электронный.
50. ИИ в сельском хозяйстве : сайт / Sber Developer. – Москва : Sber Developer, 2024 – . – URL: <https://developers.sber.ru/help/gigachat-api/ai-agricultural> (дата обращения: 14.05.2025). – Текст: электронный.
51. Цифровые технологии и нейросети в сельском хозяйстве : сайт / It фабрика, 2025 – . – URL: <https://it-fabric.ru/catalog/neyroseti/tsifrovye-tehnologii-i-neyroseti-v-selskom-khozyaystve/> (дата обращения: 12.05.2025). – Текст: электронный.
52. Использование машинного обучения и ИИ в сельском хозяйстве : сайт / БиоТех2030. – Москва : БиоТех2030, 2025 – . – URL: <http://biotech2030.ru/kak-ii-i-kompyuternoe-zrenie-mogut-sledit-za-rasteniyami/> (дата обращения: 12.05.2025). – Текст: электронный.