Наиболее значимыми факторами последующей стандартизации следует считать режим подачи питательного раствора, температуру корнеобитаемой зоны, плотность размещения растений и интервал отбора сформировавшихся мини-клубней.

Заключение

При экспериментальном аэропонном выращивании картофеля сорта Леди Клер получено 40–146 мини-клубней с растения. Результат подтверждает высокий потенциал технологии, одновременно различие между минимальным и максимальным значениями в 3,65 раза показывает необходимость стандартизации режимов выращивания и накопления индивидуальных данных для последующей статистической оценки устойчивости продуктивности.

Список использованной литературы

1. Федорова Ю. Н., Федорова Л. Н., Тельпук М. Б. Получение мини-клубней картофеля методом аэропоники // Главный агроном. 2020. № 7.

2. Farran I., Mingo-Castel A. M. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals // American Journal of Potato Research. 2006. Vol. 83. P. 47–53.

3. Mateus-Rodriguez J. F., De Haan S., Rodríguez-Delfín A. Genotype by environment effects on potato mini-tuber seed production in an aeroponics system // Agronomy. 2014. Vol. 4. No. 4. P. 514–528.

4. Çalışkan M. E., Yavuz C., Yağız A. K., Demirel U., Çalışkan S. Comparison of aeroponics and conventional potato mini tuber production systems at different plant densities // Potato Research. 2021. Vol. 64. P. 41–53.

5. Brońić Z., Oljača J., Pantelić D., Rudić J., Momčilović I. Potato aeroponics: effects of cultivar and plant origin on minituber production // Horticulturae. 2022. Vol 8. No. 10. Art. 915.

УДК 8.32

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПУТЕМ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОРАЖЕННЫХ УЧАСТКОВ ПОСЕВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ

И.Л. Павловская, начальник центра

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Рассмотрена задача повышения эффективности применения сельскохозяйственной техники за счет автоматизированного выявления пораженных

участков посевов и перехода от сплошной к дифференцированной обработке. Предложена структура системы, объединяющая получение цифровых изображений, их предварительную обработку, распознавание состояния растений, геопривязку результатов и формирование карты-задания для техники. Обоснована целесообразность использования БПЛА, методов компьютерного зрения и нейросетевой сегментации. Показано, что технологически значимым результатом является не только классификация изображения, но и выделение пространственных контуров зон поражения с учетом минимально допустимой площади обработки. На расчетном примере для поля площадью 100 га рассмотрена возможность сокращения площади обработки до 22 га при выявленной зоне поражения 18 га, что позволяет повысить коэффициент целевого применения техники и снизить затраты на технологическую операцию.

Abstract. Rassmotrena zadacha povysheniya effektivnosti primeneniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki za schet avtomatizirovannogo vyyavleniya porazhennykh uchastkov posevov i perekhoda ot sploshnoy k differentsirovannoy obrabotke. Predlozhena struktura sistemy, ob"yedinyayushchaya polucheniye tsifrovykh izobrazheniy, ikh predvaritel'nuyu obrabotku, raspoznavaniye sostoyaniya rasteniy, geoprivyazku rezul'tatov i formirovaniye karty-zadaniya dlya tekhniki. Obosnovana tselesoobraznost' ispol'zovaniya BPLA, metodov komp'yuternogo zreniya i neyrosetevoy segmentatsii. It is demonstrated that a technologically significant result is achieved not only through image classification but also by delineating the spatial boundaries of affected areas, taking into account the minimum permissible treatment area. A calculation based on a 100-hectare field illustrates the potential to reduce the treated area to 22 hectares when an 18-hectare affected zone is identified; this approach improves the efficiency of targeted machinery use and lowers the costs associated with the technological operation.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, точное земледелие, пораженные участки, БПЛА, машинное зрение, нейронные сети, распознавание изображений, карта-задание, дифференцированная обработка.

Keywords: agricultural machinery, precision farming, affected areas, UAVs, machine vision, neural networks, image recognition, task map, variable-rate application.

Введение

Современное сельскохозяйственное производство характеризуется значительной пространственной неоднородностью состояния посевов. Поражение растений болезнями, вредителями или неблагоприятными факторами, как правило, распределяется по полю неравномерно. При традиционной технологии защиты растений обработка выполняется по всей площади, что не учитывает фактическое состояние отдельных участков и может приводить к избыточному расходу препаратов, топлива и рабочего времени. Развитие точного земледелия создает возможность связать результаты мониторинга с исполнительными системами машин и перейти к адресному воздействию [1; 2].

Цель исследования состоит в повышении эффективности применения сельскохозяйственной техники при мониторинге и защите посевов путем автоматизированного выявления пораженных участков по цифровым изображениям и формирования на их основе карты-задания. Для достижения цели необходимо определить состав информационно-технической системы, установить признаки, пригодные для распознавания, и разработать последовательность преобразования изображения в технологическое задание.

Материалы и методы

В основу предлагаемого подхода положен замкнутый цикл «получение данных – распознавание – картирование – выполнение операции – контроль результата». Исходные данные могут поступать от БПЛА, спутниковых систем и наземных средств наблюдения. Для детального обследования отдельных полей целесообразно применять БПЛА, поскольку они обеспечивают высокое пространственное разрешение и позволяют оперативно получать материалы обследования [3].

На этапе предварительной обработки выполняются коррекция изображений, устранение шумов, нормализация освещенности и геопривязка. При наличии соответствующих каналов могут рассчитываться вегетационные индексы, характеризующие состояние растительного покрова. Однако использование одного индекса не гарантирует надежного определения причины повреждения, поэтому его целесообразно сочетать с анализом текстуры, формы и цветовых признаков, а также с нейросетевыми методами.

Для автоматизированного распознавания перспективны сверточные нейронные сети. Исследования показывают высокую результативность глубокого обучения при классификации заболеваний растений и анализе сельскохозяйственных изображений [4; 5]. Для рассматриваемой задачи особенно важна сегментация, позволяющая определить не только класс объекта, но и его пространственное положение. Архитектуры типа U-Net могут использоваться для построения бинарной или многоклассовой маски пораженных участков, тогда как модели обнаружения объектов применимы для выделения отдельных очагов [6].

После распознавания результат преобразуется в набор геопространственных объектов. Для каждого пораженного участка целесообразно хранить координаты, площадь, класс поражения, вероятность принадлежности к классу, степень риска и технологический

приоритет. Такой набор данных позволяет перейти от изображения к карте поражения, а затем — к карте-заданию для сельскохозяйственной машины.

Таблица 1 – Основные этапы автоматизированной обработки данных

Этап	Результат	Назначение
Съемка	Цифровые изображения	Получение исходных данных
Распознавание	Маска/контуры поражения	Определение зон риска
Картирование	Геопривязанные полигоны	Подготовка карты-задания
Обработка	Команды технике	Дифференцированное воздействие

Ключевым условием передачи задания на технику является учет ее технологических ограничений. Слишком мелкие полигоны могут быть непригодны для практической обработки из-за инерционности исполнительной системы, ширины захвата и времени переключения режимов. Поэтому после сегментации выполняется постобработка: удаляются незначительные области, объединяются близко расположенные контуры и устанавливаются технологические буферы. Карта-задание должна содержать геометрические границы зон и параметры воздействия, совместимые с контроллером машины. Для обмена данными целесообразно ориентироваться на стандартизированные форматы и требования информационных систем сельскохозяйственной техники [7; 8].

Оценка эффективности. Качество распознавания следует оценивать как по показателям машинного обучения, так и по технологическим результатам. Для классификации и сегментации целесообразно использовать Precision, Recall, F1 и IoU. При практическом внедрении дополнительно необходимо учитывать площадь необоснованной обработки, площадь пропущенного поражения, точность геопривязки и соответствие размеров выделенных полигонов возможностям агрегата. Это позволяет избежать ситуации, когда высокая точность нейросети не приводит к реальному повышению эффективности технологической операции.

Для расчетного примера рассмотрено поле площадью 100 га. При использовании БПЛА с расчетным размером пикселя на местности 0,033 м, продольным перекрытием 75 % и поперечным перекрытием 70 % потребность в снимках оценивается примерно в 510 кадров. С учетом технологического резерва принимается 600 кадров, а

продолжительность полевого этапа мониторинга – 1,2–1,5 ч. Эти значения следует рассматривать как расчетные и уточнять с учетом типа камеры, высоты полета, скорости БПЛА и условий освещения.

По результатам распознавания в качестве расчетного варианта принята площадь фактического поражения 18 га. С учетом геометрических буферов, минимальной площади обрабатываемого контура и технологических ограничений машины площадь задания составляет 22 га. Таким образом, обработке подвергается 22 % площади поля вместо 100 % при сплошной технологии. При принятой в исходных расчетах структуре затрат это обеспечивает прямую экономию около 6827 руб. и повышает коэффициент целевого применения техники с 0,18 до 0,82.

Следует подчеркнуть, что экономический эффект определяется не только сокращением расхода препаратов. При локальной обработке уменьшается продолжительность работы агрегата, снижается расход топлива и износ рабочих органов, а также повышается производительность техники на единицу действительно необходимой обработки. Одновременно необходимо учитывать затраты на съемку, обработку данных, обслуживание БПЛА и программного обеспечения. Поэтому окончательное решение о внедрении должно приниматься на основе полного технико-экономического сравнения.

Заключение

Предложен подход к повышению эффективности сельскохозяйственной техники, основанный на объединении дистанционного мониторинга, автоматизированного распознавания и дифференцированного выполнения технологической операции. Наиболее перспективной является система, в которой БПЛА или другой источник изображений формирует исходные данные, алгоритм машинного зрения выделяет пораженные участки, геоинформационный модуль преобразует результат в карту-задание, а сельскохозяйственная машина выполняет локальное воздействие с последующим контролем фактического выполнения. Для дальнейшего развития системы необходимы полевые испытания на конкретных культурах, накопление локальной размеченной базы изображений, сравнение RGB- и мультиспектральных данных, а также проверка фактической экономии по данным контроллеров машин. Таким образом, автоматизированное выявление пораженных участков может стать основой перехода от сплошной обработки к управляемому пространственно дифференцированному применению сельскохозяйственной техники.

Список использованной литературы

1. Gebbers R., Adamchuk V. I. Precision agriculture and food security // Science. 2010. Vol. 327. P. 828–831.

2. Mulla D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps // Biosystems Engineering. 2013. Vol. 114, No. 4. P. 358–371.

3. Chin R., Catal C., Kassahun A. Plant disease detection using drones in precision agriculture // Precision Agriculture. 2023. Vol. 24. P. 1663–1682. DOI: 10.1007/s11119-023-10014-y.

4. Mohanty S. P., Hughes D. P., Salathé M. Using Deep Learning for Image-Based Plant Disease Detection // Frontiers in Plant Science. 2016. Vol. 7. Article 1419. DOI: 10.3389/fpls.2016.01419.

5. Ferentinos K. P. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 145. P. 311–318. DOI: 10.1016/j.compag.2018.01.009.

6. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. 2015. P. 234–241.

7. ISO 11783-10. Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network – Part 10: Task controller and management information system data interchange.

8. ISO 19157. Geographic information – Data quality. International Organization for Standardization.

УДК 8.54

ФРЕЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВ СОВМЕЩЕНИЕМ С ПОСЕВОМ В ЦЕЛЯХ БОРЬБЫ С ОБРАЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНОЙ КОРКИ

Б.П. Шаймарданов, д-р техн. наук, профессор,
П.Т. Бердимуратов, канд. техн. наук, доцент
Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований процессов образования поверхностной корки на почве, а также рассмотрены эффективные методы ее предотвращения.

Анализ отечественных и зарубежных источников на данную тему показывает, что рыхление и разрушение почвенной корки производится, в основном, двумя способами: ручным и механизированным. Ручная обработка почвенной корки и рыхление поверхности почвы является трудоемкой операцией с низкой производительностью, и выполнять ее приходится в тяжелых условиях. Рыхление почвенной корки, а так же поверхности почв должно проводиться быстрыми темпами в течение 3-4 дней.

Существующие методы механизированного разрушения почвенной корки предполагают непосредственный контакт инструмента (зуба бороны, иглы ротор-