

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В АПК

В.А. Ковалев,

доцент каф. электроснабжения и электротехники БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Крутов,

доцент каф. электроснабжения и электротехники БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.А. Пашинский,

зав. каф. энергоэффективных технологий Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова БГУ, канд. техн. наук, доцент

В статье анализируются области применения технологии Интернета вещей в АПК. Наиболее перспективными для применения Интернета вещей в АПК на современном этапе являются – предиктивное техническое обслуживание электроустановок на перерабатывающих предприятиях, «точное земледелие», «умное животноводство». В качестве сдерживающих факторов широкого применения данной технологии можно отметить – недостаточно развитое состояние стандартизации в этой области, проблемы безопасности, сложности метрологического обеспечения.

Ключевые слова: Интернет вещей, предиктивное техническое обслуживание, «точное земледелие», тепличное хозяйство, «умное животноводство», стандартизация, достоверность, метрологическое обеспечение..

The article analyzes the areas of Internet of Things technology application in agribusiness. The most promising areas for current application in agribusiness are predictive maintenance of electrical installations at processing enterprises, precision farming, and smart animal husbandry. The factors hindering the widespread application of this technology in agribusiness include insufficient standardization of the area, problems with security, and metrological support problems.

Keywords: Internet of Things, predictive maintenance, precision agriculture, greenhouse farming, smart animal husbandry, standardization, reliability, metrological support.

Введение

Четвертая промышленная революция, на пороге которой мы стоим, включает ряд технологических концепций, одной из которых является Интернет вещей (англ. *internet of things, IoT*) – концепция сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащенными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Предполагается, что организация таких сетей способна перестроить экономические и общественные процессы, исключить из части действий и операций необходимость участия человека. Концепция была сформулирована в 1999 году как осмысление перспектив широкого применения средств радиочастотной идентификации для взаимодействия физических предметов между собой и с внешним окружением. Наполнение концепции многообразным технологическим содержанием и внедрение практических решений для ее реализации, начиная с 2010-х гг. считается устойчивой тенденцией в информационных технологиях, прежде всего благо-

даря повсеместному распространению беспроводных сетей, появлению облачных вычислений, развитию технологий межмашинного взаимодействия, началу активного перехода на IPv6 и освоению программно-определяемых сетей [1].

Анализу вопросов применения Интернета вещей в различных сферах человеческой деятельности и проблемам, связанным с этим, посвящены работы Д. Швецова, А. А. Тускова, С. Грингарда, М.Н. Осовина, К.В. Сапожниковой и многих других [2-5].

Интернет вещей уже сейчас находит применение при построении таких комплексных систем, как «умный дом», «умный город», «умная медицина», «умное сельское хозяйство» и др. (рис. 1) [2, 3; 7].

Цель данной статьи – выделить наиболее перспективные области для внедрения IoT в АПК.

Материалы и методы

Исследование базировалось на изучении и обобщении литературных источников отечественных и зарубежных авторов. В ходе исследования применялись методы – системного анализа и экспертных оценок.

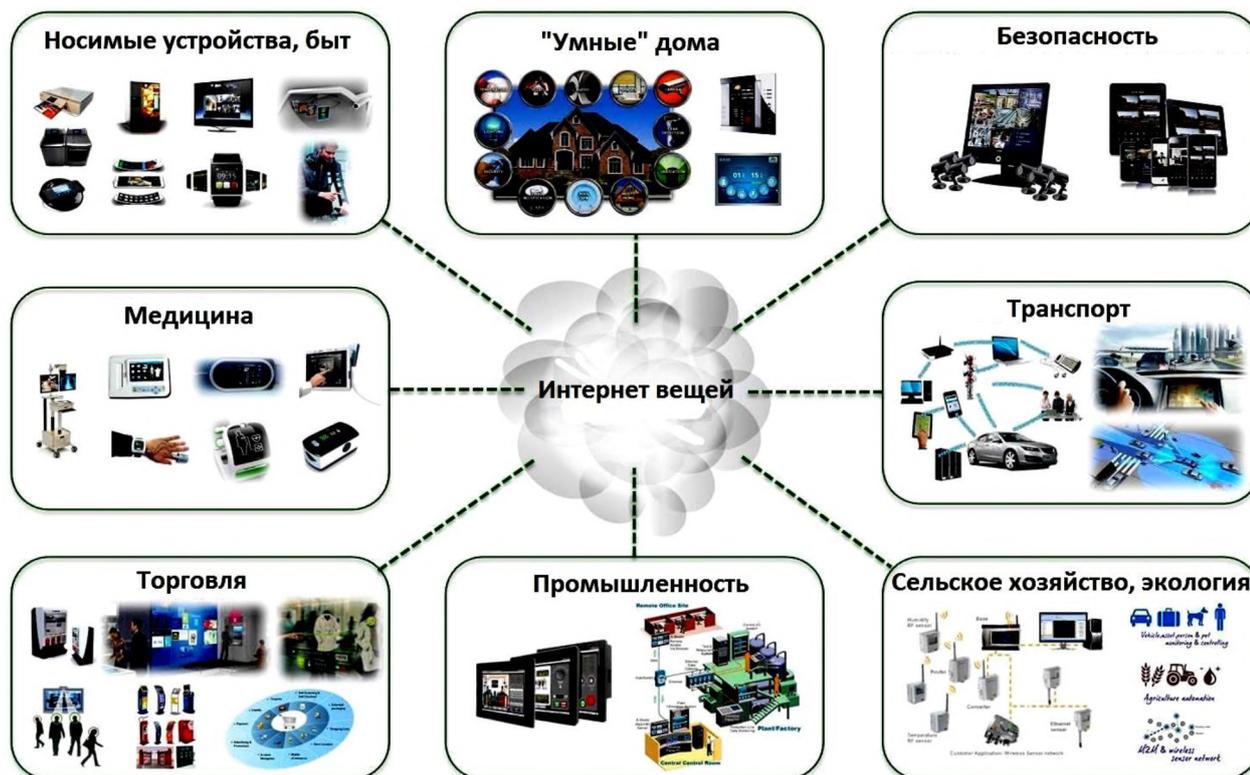


Рисунок 1. Области применения Интернета вещей

Основная часть

Сельское хозяйство и другие объекты агропромышленного комплекса (АПК) можно отнести к перспективным для внедрения IoT, хотя далеко не везде можно ожидать его быстрое применение [6, 7]. В первую очередь сюда можно отнести такое направление, как предиктивное (предсказательное) техническое обслуживание оборудования (PdM). «Предиктивное техническое обслуживание – это стратегия проактивного обслуживания, которая использует анализ данных, мониторинг состояния в реальном времени и передовые технологии для прогнозирования отказов оборудования до их возникновения, что позволяет проводить плановые и своевременные вмешательства. В отличие от традиционных подходов к обслуживанию, таких как реактивное обслуживание, когда ремонт выполняется после отказа, или профилактическое обслуживание, которое включает в себя плановое обслуживание на основе установленного графика, PdM обслуживание основано на анализе реальных данных и фокусируется на фактическом состоянии оборудования для оптимизации его графиков обслуживания» (рис. 2) [8].

В настоящее время PdM обслуживание является тем направлением Промышленного Интернета вещей (Industrial Internet of Things – IIoT), которое в отличие от других направлений, касающихся непосредственного управления технологическими процессами промышленного производства, уже широко применяется на Западе, а также в России и Беларуси. Это можно

объяснить тем, что при предиктивном обслуживании все заканчивается выработкой рекомендаций по срокам и объемам обслуживания, но в конечном счете решение остается за экспертами, т.е. отсутствует непосредственное вмешательство в технологический процесс, а значит сохраняется его безопасность.

Наиболее подготовленными для широкого внедрения PdM обслуживания в АПК можно признать электроустановки перерабатывающих предприятий – молочных заводов, мясокомбинатов, консервных заводов, сыродельных предприятий и некоторых других. Эти предприятия отличает высокий уровень автоматизации, где широко применяются логические контроллеры с возможностью организации передачи в сеть многих данных, характеризующих состояние электрооборудования, задействованного в АСУ ТП. Там также широко применяются преобразователи частоты (ПЧ) для регулируемого электропривода. Данные с ПЧ могут передаваться в программное обеспечение верхнего уровня, создавая тем самым базовые условия для организации предиктивного обслуживания [9].

В качестве перспективной области для применения IoT также можно выделить «точное земледелие» [10, 11]. Для успешного ведения «точного земледелия» нужен постоянный мониторинг многих параметров: питательного состава почвы, влажности, кислотности и некоторых других. Необходимо также отслеживать состояние всходов после посева, их развитие, засоренность, подверженность действию вредителей. Одновременно должны контролироваться



Рисунок 2. Предиктивное техническое обслуживание

параметры окружающей среды: температура воздуха, его влажность и т.д.

Далеко не все перечисленные выше величины легко измерить в реальном времени. Так, плодородие почв и их питательный состав можно определить только с применением аналитических приборов. Следовательно, необходимо предварительно провести такие измерения и составить соответствующую базу данных, обеспечив доступ к ней через Интернет.

Еще один непростой вопрос – измерение такого важного параметра, как влажность почвы. В первую очередь интерес представляет влажность поверхностного слоя (где расположена корневая система), а она может быть разной для разных культур. Именно на такой глубине должен находиться чувствительный элемент датчика влажности. Встает вопрос: как быть с этими датчиками, разнесенными в пространстве, при проведении полевых работ по подготовке почвы к следующему сезону (например, вспашке), чтобы их не повредить?

Также не до конца решенным остается вопрос электропитания измерительных преобразователей. Далеко не все серийно выпускаемые интеллектуальные датчики соответствуют минимальному энергопотреблению. Следовательно, стоит задача разработки модификаций, соответствующих этим требованиям.

Далее на помощь должен прийти Интернет вещей. После обработки массива данных от измерительных преобразователей и базы данных о плодородии почв полей можно более обоснованно принимать управленческие решения по срокам посадки, внесения удобрений, применения гербицидов, инсектицидов и т.д.

Наиболее подготовленным сектором земледелия для применения IoT, на наш взгляд, является выращивание овощей в защищенном грунте, т.е. тепличное хозяйство. Теплицы имеют ограниченную площадь, выращивание растений в основном производится по гидропонной технологии, что облегчает контроль питания растений, обеспечивая их оптимальность.

«Умную теплицу» можно представить как киберфизическую систему, архитектура которой может быть представлена в виде следующих уровней (рис. 3):

1. *Периферийный уровень* (уровень датчиков), включающий распределенную сеть сенсоров для мониторинга таких параметров, как температура и влажность воздуха, влажность почвы, интенсивность фотосинтетически активной радиации, концентрация CO₂; гидропонных параметров – pH, электропроводность питательного раствора, уровень растворенного кислорода; биологических показателей – диаметр стебля, тургор листа (с использованием дендрометров и других методов).

2. *Сетевой уровень* (передачи данных) обеспечивает коммуникацию между устройствами. Для условий теплиц с высоким уровнем влажности и металлоконструкций наиболее эффективны технологии с низким энергопотреблением и большой дальностью действия, такие как LoRaWAN и NB-IoT.

3. *Уровень платформы и аналитики* (облачный) – данные агрегируются на IoT-платформах. На этом уровне применяются алгоритмы машинного обучения для выявления аномалий, прогнозирования развития заболеваний и построения предиктивных моделей роста культуры.

4. *Уровень исполнительных механизмов* – на основе аналитических решений формируются управляющие сигналы для исполнительных устройств (систем капельного полива и фертигации, моторов открывания фрамуг, систем отопления, досвечивания и туманообразования).

Внедрение IoT-решений позволяет оптимизировать ключевые производственные процессы:

1. *Управление микроклиматом.* Традиционное регулирование основано на поддержании заданных пороговых значений. IoT-система реализует динамическое управление. Например, алгоритм может временно повысить допустимый порог температуры при низкой влажности воздуха для активации работы си-

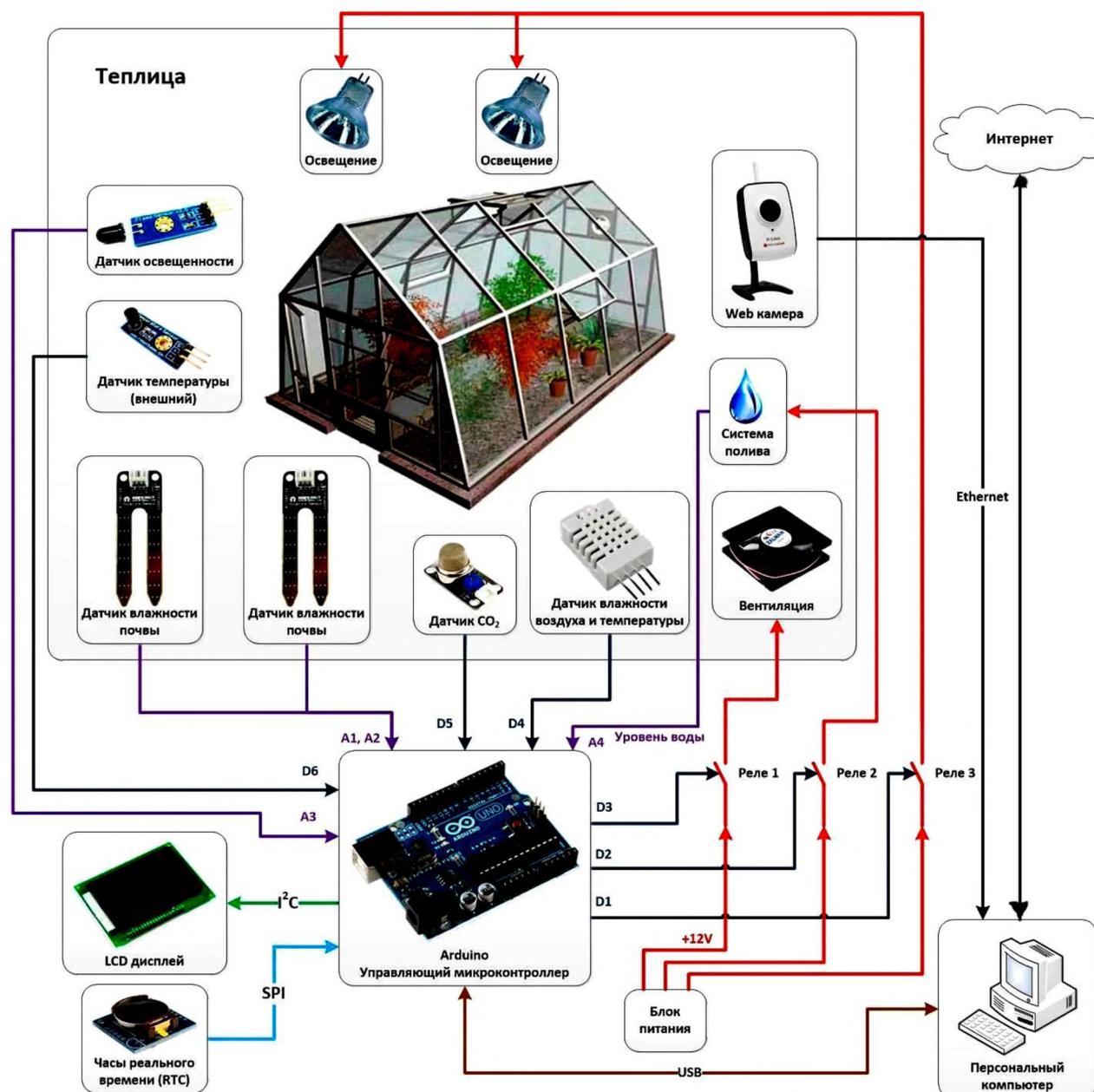


Рисунок 3. Умная теплица

стем туманообразования, что предотвращает тепловой стресс и оптимизирует влажность. Исследования показывают, что такой подход позволяет повысить эффективность фотосинтеза на 15-25 % [10].

2. Система прецизионной фертигации. Использование сенсоров влажности субстрата и электропроводности питательного раствора позволяет реализовать стратегию полива по потреблению культуры. Это исключает дренаж и вымывание питательных элементов в грунтовые воды, а экономия воды и минеральных удобрений, по данным полевых испытаний, достигает 30-50 % и 25-40 % соответственно, при одновременном снижении риска развития корневых гнилей [7].

3. Фитосанитарный мониторинг. IoT-системы интегрируют данные с феромонных ловушко-камер и гиперспектральных сенсоров для ранней диагностики фитопатогенов и вредителей. Анализ изображений с помощью компьютерного зрения позволяет идентифицировать очаги поражения на доклинической стадии, что является основой для интегрированной системы защиты растений и точечного применения средств защиты.

Еще одной перспективной областью применения Интернета вещей в сельском хозяйстве является животноводство [12]. При внедрении IoT в животноводстве можно выделить следующие направления:

– использование ушных «бирок-чипов», содержащих индивидуальные данные о животных, что дает возможность организовать их кормление в соответствии с потребностями каждого животного, обеспечить оптимальный расход кормов, а также производить мониторинг поведения и здоровья скота в реальном времени;

– отслеживание производственных показателей, таких как объемы получаемого молока, вес животных, эффективность размножения, предоставляет точные данные для принятия управленческих решений.

Широкому применению IoT, особенно PoT, на данном этапе препятствует ряд факторов, на которые указывают некоторые авторы [5; 13]. В качестве одного из таких факторов следует признать недостаточно развитое состояние стандартизации в этой области. Необходимо отметить, что в настоящее время здесь наметился существенный сдвиг в лучшую сторону, появился ряд международных стандартов, еще большее их количество находится на заключительных стадиях разработки.

Вторая причина – обеспечение безопасности таких решений. Данный фактор является одним из основных сдерживающих для широкого применения PoT, ведь любой сбой в системе управления промышленной технологической установкой может привести к неприемлемому ущербу.

Проблемным вопросом также является обеспечение достоверности информации. Первичным источником информации в большинстве случаев являются измерения, производимые в автоматическом режиме с использованием интеллектуальных датчиков, а значит необходимо создать надлежащее метрологическое обеспечение большого парка средств измерений.

Традиционные подходы, базирующиеся на первичной и периодической поверках, либо калибровках, в поверочных и калибровочных лабораториях, здесь очевидно малоприменимы. Если не решить проблему обеспечения единства измерений в приложениях Интернета вещей, то значимость конечной информации, на основании которой принимаются решения по воздействию на процессы с участием человека, либо автоматически, может быть ничтожной.

Очевидно, что в такой ситуации нужен парк интеллектуальных датчиков, содержащих в своем составе меру измеряемой величины или однородной с ней, либо рабочий эталон, которые позволяли бы периодически проводить их калибровку. Однако при таком подходе остается проблема периодической калибровки самих мер и рабочих эталонов, встроенных в измерительные преобразователи. Эту проблему можно было бы решить, подключив первичные Национальные эталоны к сети Интернет, но это уже государственная задача и она очень непростая.

Стоит признать, что реализация такого подхода позволяет обеспечить достоверность результатов статических измерений, когда измеряемые величины изменяются медленно, но, к сожалению, это нельзя отнести к

динамическим измерениям, так как нормировать динамические погрешности не представляется возможным. В системах автоматического управления с обратной связью динамические погрешности в какой-то мере можно скомпенсировать, введя дифференциальную составляющую в алгоритм управляющего устройства (Д-составляющую). Гораздо сложнее это сделать в разомкнутых управляющих устройствах, но эта задача пока не имеет решения. Одним из путей ее решения может стать использование адекватных динамических цифровых моделей («цифровых двойников») измерительных каналов.

Присутствуют и экономические факторы, сдерживающие быстрое применение IoT, включающие инфляцию, которая снижает покупательную способность, а также геополитические конфликты (например, на Украине), нарушающие цепочки поставок и увеличивающие стоимость компонентов IoT-систем. К тому же интеллектуальные датчики, применяемые в IoT и PoT, стоят значительно выше, нежели обычные.

Сдерживающим фактором также является и не всегда достаточный уровень квалификации специалистов в сфере инновационного сельского хозяйства. Для успешного решения вопросов широкого применения Интернета вещей в АПК необходимо повышать уровень квалификации инженерных кадров и специалистов, работающих на селе, касающийся информационного обеспечения. Учреждениям высшего и среднего специального образования следует задуматься о разработке новых учебных программ для ряда существующих учебных дисциплин, новой специальности либо профилизации в рамках специальности по энергетическому обеспечению и автоматизации.

Заключение

1. Наиболее перспективными сценариями применения Интернета вещей в АПК на современном этапе являются: предиктивное техническое обслуживание электроустановок на перерабатывающих предприятиях; «точное земледелие» (особенно в тепличных хозяйствах); «умное животноводство».

2. Для широкого внедрения приложений Интернета вещей в земледелии необходимо решить вопросы с размещением датчиков влажности почвы, исключающие их повреждение при проведении полевых работ, а также минимального потребления энергии применяемых интеллектуальных измерительных преобразователей.

3. Сдерживающими факторами широкого применения данной технологии в настоящее время являются: недостаточно развитое состояние стандартизации в этой области, проблемы безопасности, сложности метрологического обеспечения и обеспечения достоверности информации, относительно высокая стоимость компонентов (в частности, интеллектуальных датчиков), не всегда достаточный уровень квалификации специалистов в сфере инновационного сельского хозяйства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интернет вещей – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Интернет_вещей (дата обращения: 12.06.2025).
2. Швецов, Д. Современные тенденции развития промышленного Интернета вещей / Д. Швецов. – URL: <https://www.cta.ru/articles/cta/obzory/tekhnologii/124338/> (дата обращения: 12.05.2025).
3. «Индустрия 4.0» в АПК: Основные тенденции применения технологий Интернета вещей в сельском хозяйстве. – URL: <https://industriya-4-0-v-apk-osnovnye-tendentsii-primeneniya-tehnologiy-interneta-veshchey-v-selskom-hozyaystve.pdf/> (дата обращения: 22.04.2025).
4. Грингард, С. Интернет вещей. Будущее уже здесь / С. Грингард. – М.: Альпина Паблишер, 2016. – 188 с.
5. Сапожникова, К.В. Проблемы метрологии в эпоху Интернета вещей / К.В. Сапожникова. – URL: <https://metrology-bg.org/fulltextpapers/19.pdf/> (дата обращения: 25.08.2025).
6. 30 примеров применения технологий Интернета вещей (IoT). – URL: <https://sofio.io/blog/poleznye-materialy-iot/30-primerov-primeneniya-tehnologiy-interneta-veshchey-iot/> (дата обращения: 11.06.2025).
7. Интернет вещей в сельском хозяйстве (IoTAg). – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 02.09.2025).
8. Предиктивное техническое обслуживание: преимущества и вызовы внедрения в Казахстане. –

URL: <https://itecsu.com/ru/resources/prediktivnoe-tehnicheskoe-obslyuzhivanie-v-kazahstane/> (дата обращения: 10.06.2025).

9. Ковалев, В.А. Перспективы применения предиктивного технического обслуживания электроустановок в АПК / В.А. Ковалев, А.В. Крутов, Л.А. Липницкий // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 65-летию агроэнергетического факультета и 100-летию И.Ф. Кудрявцева, г. Минск, 21-22 декабря 2022 г. / Белор. гос. аграрн. техн. ун-т, редкол.: И.В. Протосовицкий (науч. ред.) и [др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 74-77.

10. IoT в сельском хозяйстве: точное земледелие, умные теплицы и другие инновационные решения. – URL: <https://www.euromobile.ru/m2m-resheniya/iot-v-selskom-khozyaystve-tochnoe-zemledelie-umnye-teplitsy-i-drugie-innovatsionnye-resheniya/> (дата обращения: 12.05.2025).

11. 9 революционных решений IoT в сельском хозяйстве, которые должен знать каждый умный фермер. – URL: <https://fnb.tech/ru/iot-in-agriculture/> (дата обращения: 11.04.2025).

12. Будущее животноводства: инновации и технологии. – URL: <https://polymya-agro.by/news/budushchee-zhivotnovodstva-innovatsii-i-tehnologii/> (дата обращения: 08.09.2025).

13. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля: ГОСТ Р 8.734-2011; введ. 23.11.2011. – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.10.2025

Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55



Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/55 предназначен для гладкой вспашки старопахотных не засоренных камнями почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа. Плуг агрегируется с тракторами класса 2,0 («Беларус 1221»).

Преимущества разработки:

- регулируемая ширина захвата;
- цена на 30-40% ниже зарубежных аналогов.

Производство плугов освоено на ДП «Минойтовский ремонтный завод». В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.

Основные технические данные

Тип.....	навесной
Тип корпуса.....	полувинтовой
Производительность за 1 ч сменного времени, га.....	0,65...1,14
Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....	400/450/500/550
Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....	7...9
Масса плуга конструкционная, кг.....	не более 1150
Конструкционная ширина захвата плуга, м.....	1,20/1,35/1,50/1,65