

имеющихся активов. Одним из способов решения данной проблемы является услуга хранения энергии, которая позволяет предприятиям получить надежное электроснабжение при нулевых инвестициях в активы и низких затратах на внедрение, то есть обеспечивает максимальную гибкость при принятии экономических решений в условиях меняющейся рыночной конъюнктуры. Кроме того, хранение энергии как услуга помогает коммунальным предприятиям управлять перегрузками, сезонным пиковым спросом и устранять сбои сетевой инфраструктуры, а потребители энергии, живущие в отдаленных районах, со слабым подключением к сети или вообще без нее получают выгоду от повышения гибкости и эффективности сети. Развитие систем хранения напрямую зависит от развития возобновляемых источников энергии и, в определенной мере, с общим развитием энергосистемы, в рамках которой строятся крупные энергетические связи между регионами.

#### **Список использованных источников**

1. Мухаметова, Л.Р., Ахметова, И.Г., Стриелковски, В. Инновации в области хранения энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – Т.21. – №4. – С. 33 - 40.

УДК 551.508.7

**Е.А. Шаповалова**

Тюменский индустриальный университет  
Тюмень, Россия

#### **ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ И РАДИО ТЕХНОЛОГИЙ**

*Аннотация.* Предлагается альтернативный способ измерения показателей почвы биоразлагаемыми датчиками, который выгоден для предприятия, а также безопасней в эксплуатации.

**E.A. Shapovalova**

Tyumen Industrial University  
Tyumen, Russia

#### **REMOTE MONITORING OF SOIL HUMIDITY USING ADDITIVE AND RADIO TECHNOLOGIES**

*Abstract. An alternative method for measuring soil parameters using biodegradable sensors is proposed, which is beneficial for the enterprise and also safer to use.*

Глобальное сельское хозяйство постоянно сталкивается с рядом проблем, но первая и основная — это производство достаточного количества продовольствия для удовлетворения быстрого роста населения во всем мире. По различным прогнозам, население к 2060 году превысит отметку в 9 миллиардов человек и это потребует увеличение производства сельскохозяйственной продукции на 100% [1].

Сельское хозяйство также оказывает влияние на окружающую среду, так как использует природные ресурсы, такие как земля, вода [2], энергия и биоразнообразие. С одной стороны, сельское хозяйство может способствовать сохранению и восстановлению природы, например, через органическое земледелие, агролесоводство и агробиоразнообразие. С другой стороны, сельское хозяйство может наносить ущерб окружающей среде, например, через эрозию почвы, загрязнение воды и воздуха, деградацию ландшафта и потерю биоразнообразия.

Существует множество проблем, связанных с нерациональным и неэффективным использованием ресурсов, таких как почва, удобрения и вода. Водные ресурсы являются наиболее важными для устойчивого развития сельского хозяйства. От 70-80% потребляемой пресной воды уходит на нужды агропромышленного комплекса [3].

Сочетание эффективных стратегий орошения с более эффективными ирригационными системами и мониторингом влажности почвы может привести к тому, что производители будут более эффективно использовать воду и сокращать потребление энергии для орошения.

Эффективное распределение ресурсов в современных условиях может предоставить только точное земледелие, обеспечив фермеров почвенными картами для более рационального распределения ресурсов. Самые распространенные технологии для улучшения качества ведения сельского хозяйства основаны на визуальных технологиях и дистанционных зондированиях. Однако, технологии обработки изображений имеют ограничения и анализируют верхние слои почвы, не отражая состояние влажности почвы под поверхностью.

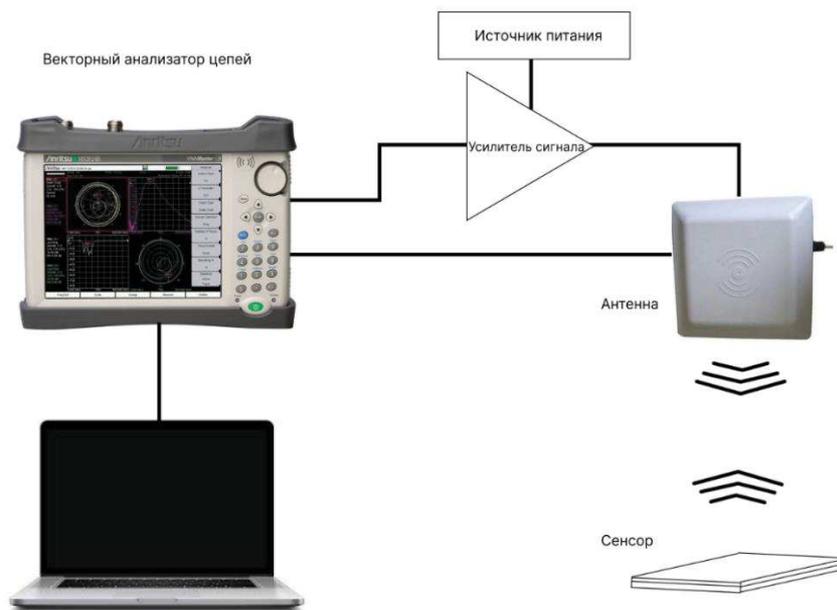
С развитием технологий появились методы беспроводного зондирования с применением интернета вещей (ИОТ) в виде современных сельскохозяйственных решений для отображения показателей в режиме реального времени [4]. Такие сети интернета

вещей используют различные стандарты беспроводного соединения, благодаря которым происходит объединение в одну сеть набора из n-го количества распределенных устройств. Сети ИОТ в основном сочетают в себе стандарты беспроводной связи и активные электронные датчики для работы в полевых условиях. Несмотря на то, что ИОТ успешно улучшает управление ресурсами и производительность в точном земледелии, существуют определенные проблемы. Например, большинство датчиков ИОТ содержат встроенные батареи и электронные чипы, что увеличивает стоимость производства и сборки и ограничивает количество узлов, которые можно развернуть. К тому же, датчики с чипами не являются экологически безопасными из-за возможности утечки вредных химических веществ из аккумуляторов и интегральных схем, которые могут загрязнять почву и водоемы после окончания сезона сбора урожая [5].

Бесчиповые беспроводные датчики используются как альтернатива сенсорам с чипами, так как они не требуют электронных чипов или батарей для работы. Благодаря недорогим возможностям реализации через аддитивное производство и высокопроизводительные технологические этапы без сборки компонентов, бесчиповые датчики стали популярным выбором для измерения влажности, обнаружения газа и мониторинга состояния конструкций. Однако у них есть определенные недостатки. Например, их размеры делают развертывание громоздким и не подходят для автоматизированного распределения на полях. К тому же, они часто изготовлены из не поддающихся биологическому разложению материалов, таких как медь и армированный стекловолокном ламинат из эпоксидной смолы, что может ухудшить качество почвы. Их надежность в полевых условиях также не всегда сообщается, что требует разработки портативной системы для тестирования на сельскохозяйственных полях. Кроме того, важно понимать срок службы и поведение биоразлагаемых сенсоров при деградации для оценки их функционального периода в полевых условиях [19].

В этом исследовании приводится разработка интеллектуального радиопередающего датчика, который деградирует со временем.

Развертываемый мониторинг влажности почв при помощи беспроводного соединения, представляет собой следующую конфигурацию (рис. 1):



**Рис. 1 - Конфигурация системы**

В общую структуру лабораторного образца входит: векторный анализатор цепей, усилитель сигнала, источник питания для усилителя, антенна, антенна, сенсор и обрабатывающее устройство.

Чтобы решить проблемы миниатюризации, биоразлагаемости, портативности и надежности в существующих сетях датчиков используется технология электрических малых антенн (ESA) в сочетании с аддитивными методами производства для создания биоразлагаемых и компактных датчиков. Было проведено систематическое исследование ESA, чтобы определить оптимальный размер датчика для работы в диапазоне частот, который идеально подходит для мониторинга почвы при любых условиях влажности. Затем были выбраны биоразлагаемые материалы, совместимые с радиочастотами, для производства экологически чистых датчиков. Для изготовления сенсоров использовали масштабируемую технологию аддитивного производства с 3D-печатью биоразлагаемых подложек и лазерной обработкой биоразлагаемых металлических листов. Также разработали легкую портативную систему считывания, интегрирование которой возможно в беспилотник для проведения измерений в реальном времени как в лабораторных условиях, так и на местности. В дальнейшем, измерения датчиков будут выполнены с помощью дронов на сельскохозяйственном поле, чтобы продемонстрировать применимость датчиков в реальных условиях и возможность интеграции портативной системы в технологии сельскохозяйственных дронов.

## Список использованных источников

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019: Highlights.
2. Levidow, L. et al. Improving water-efficient irrigation: prospects and difficulties of innovative practices. *Agric. Water Manag.* 146, 84–94 (2014).
3. UNESCO., [UNESCO] United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. (2001a) *Securing the Food Supply*. Paris.
4. Bepery, C., Sozol, M. S. S., Rahman, M. M., Alam, M. M., & Rahman, M. N. Framework for internet of things in remote soil monitoring. In 23rd International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT) (2020).
5. Kang, D. H. P., Chen, M. & Ogunseitan, O. A. Potential environmental and human health impacts of rechargeable lithium batteries in electronic waste. *Environ. Sci. Technol.* 47, 5495–5503 (2013).

УДК 634.98

**Я.А. Шапорова**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

### ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ АГАРИКОИДНЫХ МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИХ ГРИБОВ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ НА ПРИМЕРЕ НЕГОРЕЛЬСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА

*Аннотация.* Исследования на протяжении в период с 2013–2023 гг. в сосновых типах леса на территории НУОЛХ показали, что существенных изменений по видовому составу доминирующих агарикоидных микоризообразующих грибов не произошло, однако их обилие и сроки плодоношения существенно изменились, что неблагоприятно сказывается на формировании их биологического запаса.

**Ya.AI. Shaparava**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

### DYNAMICS OF DEVELOPMENT OF AGARICOID MYCORRHIZA-FORMING FUNGI IN PINE FORESTS USING