Международный научно-практический семинар «Цифровизация и роботизация в ресурсосберегающем сельском хозяйстве России и Германии. Взаимодействие науки и практики», 15 декабря 2021 года, Санкт-Петербург

15 декабря 2021 года Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН) и Проект Федерального министерства продовольствия и сельского хозяйства Германии «Германо-Российский аграрно-политический диалог» провели в онлайн-формате совместный международный научно-практический семинар «Цифровизация и роботизация в ресурсосберегающем сельском хозяйстве России и Германии. Взаимодействие науки и практики».

Целью мероприятия было обсудить имеющиеся технические и научные наработки в данной сфере в России и в Германии, а также их внедрение и реализацию на практике, найти точки соприкосновения и сотрудничества по дальнейшему развитию данного направления. Модератором семинара выступил заместитель руководителя проекта «Германо-Российский аграрно-политический диалог» **Александр Дягилев**.

С российской стороны с приветственным словом выступил **Андрей Леонидович Ронжин**, директор СПб ФИЦ РАН, отметивший научную и практическую важность обсуждаемой на семинаре темы, а также значимость сотрудничества России и Германии по данному направлению. С германской стороны участников семинара приветствовал проф. д-р **Дитер Траутц** (Prof. Dr. Dieter Trautz), факультет сельскохозяйственных наук Оснабрюкского университета прикладных наук, руководитель профильного направления ресурсосберегающего землепользования и органического растениеводства, который также представил своих коллег, выступающих с докладами.

Открыл семинар с докладом на тему «Междисциплинарные задачи и решения СПб ФИЦ РАН по цифровизации и роботизации в агропромышленном комплексе» **Андрей Леонидович Ронжин**, директор СПб ФИЦ РАН.

Он отметил, что в последние годы расширяется международное сотрудничество СПб ФИЦ РАН с профильными организациями и учреждениями разных стран, в том числе Германии, причем не только сотрудничество в области образовательной, но также научно-практической деятельности.

Благодаря преобразованию в 2020 году Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук в Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук и кооперации с тремя институтами аграрной направленности у СПб ФИЦ РАН появилась возможность реализовывать не только теоретические разработки, но и перейти в практическую плоскость, связанную с сельским хозяйством.

В частности, в настоящее время в одном из филиалов ФИЦ проводятся испытания беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для АПК, являющихся собственной разработкой Центра. Партнером в этом проекте является Университет телекоммуникаций Лейпцига (Hochschule für Telekommunikation Leipzig). Целью совместного проекта являлась интеграция наземной

робототехники и беспилотных летательных аппаратов и разработка интерфейса для безопасного взаимодействия человека с роботизированными системами в сельском хозяйстве.

Еще один профильный проект «WaterDrive», реализованный СПб ФИЦ РАН в рамках программы приграничного сотрудничества «Interreg Baltic Sea Region 2014-2020», касался разработки различных подходов к сокращению экологического ущерба, наносимого водным ресурсам в ходе сельскохозяйственного производства. Третий проект в сфере АПК реализуется совместно с финскими партнерами и направлен на развитие животноводства (в частности, оленеводства) и повышение качества мясной продукции.

Наряду с решением конкретных научных и практических вопросов, международное сотрудничество СПб ФИЦ РАН и работа в сфере цифровизации и роботизации в агропромышленном комплексе способствует обмену опытом и знаниями, поискам возможных решений глобальных проблем (таких как проблема изменения климата, продовольственная безопасность) и адаптации теоретических разработок под практические нужды конкретных регионов и сельхозпроизводителей.

В процессе кооперации с профильными научно-исследовательскими организациями СПб ФИЦ РАН выработал ряд направлений для дальнейшей научно-исследовательской и практической работы в аграрной области, в том числе автоматизация вертикальных ферм, мониторинг и предсказание поведения сельскохозяйственных животных, цифровизация систем заготовки кормов, водная робототехника, автоматизация мониторинга внутренних водоемов, системы замкнутого водоснабжения для гидробионики и другие направления, в том числе с использованием БПЛА и дистанционного зондирования земли.

Также были разработаны различные модели наземной робототехники, которые служат как сервисные платформы для транспортировки БПЛА и для обмена физическими ресурсами (например, минеральными удобрениями). Разработаны различные модели по управлению группами роботов, БПЛА, наземной техники с предварительным анализом территории, распознаванием объектов на ней (в т.ч. подлежащих уборке плодов), на основании которых затем рассчитываются оптимальные траектории движения техники и ее количества. Спроектированы различные типы захватов для роботизированной уборки овощей и фруктов. Ведется работа по совершенствованию алгоритмов контроля за перемещением БПЛА.

Разработки в сфере автоматизации вертикальных ферм сосредоточены на создании полностью автоматизированных систем замкнутого цикла для гидропоники и аэропоники. Еще одна задача, над которой работают специалисты СПб ФИЦ РАН – выявление аномалий в зерне, снижающих его качества, с помощью радио-рентгенографии, и формирование на основе машинного обучения системы, которая с высокой точностью (около 90 %) на ранней стадии выявляет дефектное зерно.

Еще одно направление работы связано с переходом от экзогенной концепции развития сельских территорий к эндогенной и имеет целью привлечение молодежи в АПК и на село за счет использования современных методов производства, в чем может помочь опыт немецких коллег.

Далее специалисты Центра разрабатывают электронно-цифровой паспорт для отраслевых процессов на стыке растениеводства и животноводства, начиная от производства кормов и заканчивая получением молока, в рамках которого анализируются информационные, технические, технологические и экономические возможности и выбираются (формируются) те сервисы, которые необходимы для эффективного развития этих направлений.

В 2021 году планируется реализация проекта по разработке эффективной системы кормопроизводства для европейского севера России, учитывающая различные факторы и потенциал кормовой базы на конкретных территориях. Еще одно перспективное направление – создание Центра коллективного пользования по мониторингу и прогнозированию развития территорий. Решения в рамках этого проекта позволяют создавать картографические интерфейсы различного уровня для визуализации массивов данных, исходно имеющих табличную или текстовую форму. Ядром системы является платформа «Region-B», обеспечивающая сбор данных различных типов и их интеграцию для дальнейшего анализа и визуализации.

В заключение докладчик перечислил ряд перспективных тем, над которыми планирует работать Центр в будущем, в том числе: дальнейшее развитие Центра коллективного пользования по мониторингу и прогнозированию развития территорий, цифровизация мультивариантного анализа и планирования развития производства в Северо-западном регионе РФ, оценка экологического состояния водных ресурсов, поддержка эпизоотического благополучия оленеводства, цифровые технологии для контроля фитопатологий, анализ качества зерна, а также автоматизация, цифровизация и роботизация различных этапов сельскохозяйственного производства.

Комментируя доклад, **Сергей Николаевич Косогор**, руководитель проекта по цифровизации АПК Центра технологического трансфера НИУ ВШЭ, сопредседатель Экспертного совета «Цифровизация и инновации» в рамках АПД от российской стороны, предложил директору СПб ФИЦ РАН в качестве возможного направления для обсуждения и обращения к опыту немецких коллег тему разработки цифровых решений для прогнозирования и повышения экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

Вторым с докладом выступил проф. д-р **Дитер Траутц** (Prof. Dr. Dieter Trautz), факультет сельскохозяйственных наук Оснабрюкского университета прикладных наук, руководитель профильного направления ресурсосберегающего землепользования и органического растениеводства. Тема его выступления – «Цифровизация в сельском хозяйстве. Актуальные исследовательские проекты и первые результаты».

Профессор Траутц напомнил, что в своем развитии цифровизация в сельском хозяйстве прошла три этапа: точное земледелие (уровень точности – поле), «умное» земледелие (уровень точности – отдельные участки поля) и, наконец, цифровое земледелие (уровень точности – растения) с такими технологиями, как Big Data, интернет вещей (IoT), передача данных от машины к машине, облачные вычисления.

Внедрение и практическое применение подобных технологий требует передачи и обработки значительных массивов данных, а это, в свою очередь, требует соответствующих технологий связи. При этом в Германии, например, далеко не все территории обеспечены покрытием сетей 5G, и обеспечить полное покрытие планируется к 2025 году.

Экспериментальный центр трансфера «AGRO NORDWEST» ведет работу по шести основным направлениям: экологичные технологии; трансформационные процессы на предприятии в рамках цифровизации; процессы, объединенные в единую сеть (технологические цепочки); цифровая поддержка принятия решений в растениеводстве; аграрные системы будущего (в т.ч. автономная робототехника); цифровая квалификация (обучение цифровым технологиям, трансфер знаний).

В качестве примера одной из разработок по четвертому направлению профессор Траутц привел пример проекта по выявлению связи оценочных показателей доли клевера в урожае с результатами мониторинга полей с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Следующий представленный проект носит название AGRI GAIA и представляет собой цифровую платформу для формирования инфраструктуры искусственного интеллекта (ИИ) для аграрно-продовольственной отрасли. Задачами проекта являются разработка единых стандартов для данных и алгоритмов на основе платформы GAIA-X, снижение затрат при разработке ИИ благодаря общему стандарту и сотрудничеству между производителями, увеличение числа пользователей ИИ в аграрно-продовольственной отрасли благодаря простой и дешевой разработке ИИ. Платформа объединяет для сотрудничества поставщиков данных (селекционеры и т.п.) и разработчиков ИИ, предоставляет необходимый инструментарий для разработки. Разработанные в рамках платформы модели формируют реестр моделей, а затем конечные разработки поступают в распоряжение пользователей (сельхозпроизводителей).

Третий проект, о котором рассказал докладчик, направлен на когнитивную борьбу с сорняками. Данный проект поддерживается германскими министерствами сельского хозяйства и экологии. В рамках проекта собранные на полях за счет проведения сканирования растений с использованием дронов данные попадают в «облако» и обрабатываются искусственным интеллектом. Распознанные растения распределяются по трем категориям (основная сельскохозяйственная культура, сопутствующие растения, сорные растения), на основании этих данных составляется аппликационная карта, которая позволяет проводить выборочную борьбу с сорняками (избирательная обработка).

И, наконец, четвертый представленный в рамках доклада проект «Устойчивый шелковый путь 4.0» направлен на внедрение основанного на биоразнообразии управления сельскохозяйственными землями в Центральной Азии. Отправная точка для пилотных проектов в Кыргызстане с возможностью распространения на Узбекистан, Таджикистан, Казахстан и др. страны региона. Развитие и внедрение цифровых аграрных технологий с вовлечением местных производителей и дилеров агротехнологий и интеграцией в образовательно-консультационные программы позволяет способствовать росту урожайности благодаря повышению резилентности экосистем и адаптации к изменениям климата для устойчивого сельского хозяйства.

Эта работа ведется по трем направлениям: полевые испытания (развитие системы земледелия, основанной на биоразнообразии; цифровая поддержка принятий решений в управлении растениеводством; тестирование малобюджетных цифровых приложений; масштабирование наземных данных для дистанционного зондирования), снимки БПЛА (среднемасштабный мониторинг биоразнообразия; анализ цифровых изображений дронов и аппаратов Sky Sat; увеличение масштаба от наземной информации до спутниковых снимков; тестирование и оценка малобюджетных датчиков), спутниковые снимки (мониторинг биоразнообразия в масштабе ландшафта; анализ данных с помощью датчиков sentinel 2 & rapid eye; метод машинного обучения; идентификация приоритетного региона/территории). На основании собранных на этих трех уровнях данных формируются рекомендации по технологиям, одновременно обеспечивающим экономическую эффективность и устойчивость сельхозпроизводства, а также сохраняющих биоразнообразие.

Далее **Антон Игоревич Савельев**, руководитель лаборатории автономных робототехнических систем СПб ФИЦ РАН, представил доклад на тему «Цифровые и робототехнические решения для мониторинга открытого грунта и автоматизации вертикальных ферм».

В аграрном направлении лаборатория работает над задачей автоматизации вертикальных ферм, работающих по технологии аэропоники. В лаборатории тестируются различные типы освещения, а также различные микроклиматические условия и фильтрация воздуха и их влияние на рост и развитие культур, а также их потребительские свойства с целью увеличить урожайность, повысить лежкость выращиваемых культур и т.п.

Архитектура разработанной в лаборатории системы автоматизации аэропонных вертикальных ферм включает три блока, которые обеспечивают соответствующую степень автономности на определенных уровнях производственной системы. Такое деление позволяет обеспечить необходимую автономную работу на самом нижнем, третьем уровне (уровень аппаратных модулей - отдельные устройства) даже в случае технических неполадок на более высоких (управляющий и информационный) уровнях. Для связи третьего и второго уровня обеспечивается за счет технологии LoRaWAN, второй и первый – посредством WiFi/USB подключения.

Также для аэропонных ферм лабораторией разработан ряд аппаратных модулей, которые обеспечивают реализацию всего ряда технологий третьего уровня, позволяя управлять лампами, насосами, регистрировать параметры температуры и влажности для управления климатическими установками. Это обеспечивает быстрое развертывание технической части производства и масштабируемость решений.

Цифровой пользовательский интерфейс позволяет среди прочего выводить статистику регистрируемых показателей за нужный период, формировать отчетность для инженеров и операторов производственного комплекса.

В качестве перспективных направлений работы в сфере автоматизации вертикальных ферм лаборатория рассматривает: разработку систем искусственного интеллекта для поддержки принятия решений и оперативного реагирования на внештатные ситуации для минимизации ущерба (отключение электроэнергии и т.п.); разработку системы автоматической срезки готовой продукции аэропоники и отбраковки некачественной продукции; анализ состояния растений в контейнерах на основании данных мультиспектрального анализа для выявления на ранних стадиях заболеваний, отклонений в росте и т.п.

Наряду с этим, лаборатория ведет разработки БПЛА и решений для построения траекторий движения таких аппаратов, которые служат для проведения различных типов сельскохозяйственного мониторинга посевов, сельхозугодий и т.п. Полученные в ходе таких мониторингов данные после соответствующей обработки позволяют строить двухмерные и трехмерные карты местности с отражением ее структуры, элементов рельефа и т.п.

Третье направление – разработки в области лазерной стимуляции растений, для которой используются специальные лазерные модули, установленные на специальный БПЛА. В ходе последующих практических экспериментов был выведен ряд математических зависимостей и разработаны управляющие алгоритмы, которые позволяют, исходя из ряда парамтеров (высота полета БПЛА, мощность лазерного излучателя и др.) вычислить необходимую скорость и угол движения аппарата для проведения эффективной лазерной стимуляции культур.

При проведении полевых испытаний эффективности лазерной стимуляции на различных культурах был выявлен различный эффект данной технологии; для тех культур, по которым был отмечен рост урожайности, также отмечалось повышение качественных характеристик полученной продукции. Полученные результаты первичных испытаний позволили внести корректировки в режимы настроек и алгоритмы лазерной стимуляции и расширить объемы проведения испытаний на полях сельскохозяйственных предприятий в разных регионах РФ (в общей сложности 72 га).

Дальнейшие направления работы лаборатории также включают обработку изображений различных спектров для анализа различных составляющих, отражающих состояние полей, разработки наземных станций для автономного функционирования БПЛА, разработка собственного СПЛА самолетного типа, который позволит увеличить площадь обработки лазерными модулями и перенос различных типов грузов.

После завершения выступления докладчику поступил ряд вопросов. Первый касался взаимодействии лаборатории с Агрофизическим институтом – как ответил докладчик, такое взаимодействие ведется по нескольким направлениям, в том числе в сфере технологий гидро- и аэропоники, а также точного земледелия.

Далее три вопроса задал **Сергей Николаевич Косогор**. В первом он интересовался, использует ли лаборатория опыт других разработчиков технологий для вертикальных ферм, или ведет разработки «с нуля», во втором – не ведет ли лаборатория исследований в области оперативного мониторинга уровня поглощения углекислого газа сельскохозяйственными

угодьями, и в третьем – имеет ли смысл обеспечивать лазерную стимуляцию растений точечно (например, для участков замедленным развитием) или сплошную для всех насаждений.

Отвечая на них, докладчик отметил, что лаборатория изучает технологии для вертикальных ферм различных производителей, и именно благодаря этому был выявлен дефицит определенных типов решений, например, решений для поддержки принятия решений и оперативного реагирования на внештатные ситуации. По второму вопросу докладчик подтвердил, что использование мультиспектрального анализа полученных с камер изображений позволяет реализовать в том числе и такую задачу, и что для СПб ФИЦ РАН данное направление работы также является перспективным. По третьему вопросу докладчик подчеркнул, что исследования еще ведутся, и пока невозможно дать определенный ответ на вопрос о предпочтительности точечной или сплошной лазерной стимуляции растений.

Затем слово для доклада было передано **Кристиану Шольцу** (Christian Scholz), представителю факультета инженерии и информатики Оснабрюкского университета прикладных наук, лаборатории микро- и оптоэлектроники. Свое выступление на тему «Полевая робототехника в сельскохозяйственной практике. Презентация систем и технологий» он начал с обзора проводимых практических экспериментов в сфере автономной полевой робототехники (роботизированные платформы Naio).

Цель этих экспериментов – получить ответы на конкретные вопросы, интересующие в первую очередь самих сельхозпроизводителей, в т.ч.: Насколько хорошо работает подобная техника? Насколько рентабельно применение этих систем? Как меняется труд фермера? Какое повышение квалификации необходимо? Какие требуются правовые шаги? и др. Для получения ответов на эти вопросы необходима «многослойная интеграция», которая включает взаимодействие технической части, знаний и умений фермера, экономический анализ и юридические аспекты.

Доклад в основном затрагивает вопросы технической интеграции, которая включает в себя целый ряд сфер и процессов, обеспечивающих практическое использование полевой робототехники, начиная с продажи и сервисного обслуживания роботизированных платформ и заканчивая управлением их работой и обеспечением соответствующих технических возможностей (веб-сервисы, передача данных, навигация GPS, интернет и др.), обеспечение охраны и безопасности данных и др.

В ходе практических экспериментов проводилось сравнение работы двух роботизированных платформ для борьбы с сорняками – Dino и Oz, а также традиционной технологии (культиватор + опрыскиватель и только культиватор). Для обеспечения научности эксперимента, достоверности и сравнимости данных было реализовано семь этапов: 1) разработка схемы полевого опыта; 2) посев кукурузы на базе GPS; 3) подсчет сорняков до обработки; 4) обработка разными технологиями/системами; 5) подсчет сорняков после обработки; 6) уборка и картирование урожайности; 7) визуализация результатов.

Проводимые эксперименты позволили не только оценить эффективность роботизированных систем в сравнении с традиционными технологиями, но также послужили для трансферта знаний для аграриев-практиков в формате «дней поля».

Сразу за Кристианом Шольцем выступил **Фредерик Лангсенкамп** (Frederik Langsenkamp), владелец фермерского хозяйства Хоф Лангсенкамп (Hof Langsenkamp), Бельм, дополнивший доклад «Полевая робототехника в сельскохозяйственной практике. Результаты применения в производственных условиях» с точки зрения сельхозпроизводителя.

Он начал с представления фермерского хозяйства и характеристики его полей, а также техники, использованной для проведения экспериментов (трактор, сеялка с точным высевом, системы борьбы с сорняками - культиватор + опрыскиватель с гербицидом, только культиватор, роботизированные платформы Dino и Oz). Борьба с сорняками проводилась в два подхода – 1 и 15 июня 2020 г., в типичный период для проведения данной операции. Также на поле была «контрольная» полоса, на которой не проводилась какая-либо обработка против сорняков.

Генерация маршрутов для движения роботизированных платформ проводилась с помощью специального приложения от их разработчика, компании Naio, которое предоставляется фермерам-пользователям. При этом возникали сложности с генерированием данных GPS, поскольку поля хозяйства часто имеют неровности, они располагаются на склонах. Особенности рельефа вызывали ошибки в следовании маршрутам, из-за чего роботизированная платформа Oz сходила с заданной траектории движения и выпалывали растения не между, а в самих рядках. Также ее небольшая величина делает ее не слишком подходящей для полеводства, скорее для овощеводства. Похожие проблемы возникали и у более крупной роботизированной системы Dino, хотя и не в таком масштабе, как у однорядного Oz.

Также были выявлены следующие проблемы роботизированных платформ: обновления программного обеспечения содержат ошибки, которые разработчик не успевает устранять в период использования робота, несущая конструкция рабочих органов недостаточно прочна.

Возможные пути решения выявленных проблем включает корректировку координат GPS в зависимости от крутизны склона самим GPS-приемником (как у трактора), а также апгрейд активной смещаемой рамы и укрепление несущей конструкции рабочих органов после полевых испытаний для Dino.

Общий итог проведенных в 2021 году испытаний двух видов полевой робототехники для борьбы с сорняками на базе хозяйства Хоф Лангсенкамп показал, что робот Dino обеспечил приемлемые результаты воздействия на сорняки, хотя и потребовал ряда усовершенствований, а робот Oz оказался непригоден для полей в данном хозяйстве. Таким образом, с учетом ряда внешних факторов (например, общественно-политический курс на сокращение использования агрохимикатов), переход на устойчивые и экологические технологии, использование решений, подобных роботизированной платформе Dino, перспективно для сельхозпроизводителей.

По итогам доклада Антон Игоревич Савельев поинтересовался у немецких коллег, велась ли ими работа по анализу полей для построения трехмерных отображений их рельефа для

формирования более точных и эффективных траекторий движения технических средств. Как следует из ответа немецкой стороны, такие планы на будущее есть, но в рамках представленных экспериментов решались другие задачи. Второй вопрос был задан **Андреем Леонидовичем Ронжиным,** которого интересовали источники финансирования процессов трасфера наукоемких технологий от разработчиков к аграриям в Германии. Как разъяснили немецкие коллеги, представленные в докладе эксперименты финансировались на проектной основе министерствами сельского хозяйства и экологии Германии. Что касается дальнейшего внедрения подобных решений в практику, то соответствующая техника и технологии либо приобретаются фермерами за собственные средства, либо с помощью программ государственной поддержки.

С германской стороны был задан встречный вопрос о данных механизмах финансирования в России. Андрей Леонидович перечислил имеющиеся варианты – государственная поддержка для приобретения соответствующих техники и технологий, целевые инвестиционные проекты с участием государства, научных организаций и т.п., финансирование науки (фундаментальных исследований).

Подводя итоги семинара, **Андрей Леонидович Ронжин** поблагодарил всех участников и отметил важность и перспективность сотрудничества и обмена знаниями и опытом по данному направлению. В дополнение **Сергей Николаевич Косогор** отметил, что в текущем году должен заработать механизм государственного субсидирования затрат на цифровизацию АПК, а также выразил надежду, что озвученные в рамках «Золотой осени 2021» планы правительства выделить 50 млрд. рублей на цифровизацию отечественного сельского хозяйства также будут реализованы.

С германской стороны профессор **Дитер Траутц**, подводя итоги мероприятия, положительно оценил сделанные доклады и обсуждаемые темы, а также выразил интерес к дальнейшему сотрудничеству и предложил совместно выбрать направления для взаимодействия и реализации проектов.