

ПРОТОТИП ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ АГРОХИМИКАТОВ

В. В. Якушев¹, В. С. Ломакин¹, Д. А. Матвиенко¹, А. В. Конев¹, С. В. Часовских¹,
Б. А. Телал¹, Б. С. Скрынник²

¹ ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14;

² ООО «Системы точного земледелия»
630098, Новосибирск, проезд Автомобилистов, д. 1
E-mail: mail@agrophys.com

Поступила в редакцию 29 ноября 2018 г., принята к печати 26 февраля 2019 г.

Статья посвящена обоснованию необходимости создания отечественных продуктов для перехода к «умному сельскому хозяйству». Приведен анализ современного состояния внедрения технологий умного сельского хозяйства за рубежом и в России. В результате анализа выявлены конкурентные преимущества стран-лидеров и компаний-лидеров, факторы необходимости разработок отечественных продуктов для точного земледелия, а также ключевые конкурентные преимущества России в данной области.

Исследован процесс проектирования и выполнения агротехнологий в растениеводстве. Определены основные процессы и информационные потоки типового сельскохозяйственного предприятия. Представлено описание разработанного авторами специализированного программного обеспечения, позволяющего планировать, корректировать и реализовывать агротехнологию в целом с учетом всех процессов и их параметров, а также функциональных возможностей навигационного комплекса «Агронавигатор плюс», оснащенного приёмником спутниковых навигационных сигналов системы ГЛОНАСС.

Рассмотрены функциональные возможности прототипа для проектирования и генерации электронных карт-заданий на дифференцированное внесение сыпучих удобрений и мелиорантов. Продемонстрирована возможность проведения азотных подкормок посевов сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования. Приведена схема интеграции разработанного программного обеспечения и навигационного комплекса «Агронавигатор плюс» в единый программно-аппаратный комплекс, полевые испытания которого проведены на базе машин РМУ-8000 (Щучинский ремонтный завод, Беларусь) и Amazone (Евротехника, г. Самара).

Ключевые слова: точное земледелие, дифференцированное внесение, робототехника, бортовой компьютер, карта-здание.

PROTOTYPE OF SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR DIFFERENTIATED APPLICATION OF AGROCHEMICALS

V. V. Yakushev¹, V. S. Lomakin¹, D. A. Matvienko¹, A. V. Konev¹, S. V. Chasovskikh¹,
B. A. Telal¹, B. S. Skrynnik²

¹ Agrophysical Research Institute
14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, 195220, Russia;

² Precision agriculture systems Llc.
1, Avtomobilistov Dr., Novosibirsk, 630098, Russia
E-mail: mail@agrophys.com

The paper is devoted to the justification of domestic products creation for the transition to "smart farming". The current state of implementation of «smart farming» techniques abroad and in Russia has been analyzed. As a result of this analysis, the competitive advantages of the leading countries and companies, the factors of necessity in development of domestic products for precision farming, as well as the key competitive advantages of Russia in this field have been identified.

The process of development and implementation of agricultural technologies in the crop farming is studied. The basic processes and information flows of a typical agricultural enterprise are specified. The special software developed by the authors, allows planning, correcting and implementing agricultural technology in general, taking into account all processes and their parameters. Also the functionality of the Agronavigator Plus navigation system equipped with a GLONASS satellite navigation signal receiver is described.

The functionality of the prototype for the development and generation of electronic task cards for the differential application of bulk fertilizers and ameliorants is considered. The possibility of nitrogen fertilization of crops on the basis of remote sensing data has been demonstrated. The scheme of integration of the developed software and the navigation system Agronavigator Plus into a single software and hardware complex is given. Tests of the software and hardware complex were carried out based on the RMU-8000 (Shchuchinskyi Repair Plant, Belarus) and Amazone (Eurotechnology, Samara) machines.

Key words: precision farming, differential application, robotics, on-board computer, task cards.

ВВЕДЕНИЕ

Одними из основных задач реализации стратегии научно-технологического развития России являются обеспечение достаточного уровня продовольственной независимости страны, повышение конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия и снижение технологических рисков в АПК. Решение указанных задач невозможно осуществить без использования новейших разработок в области растениеводства – ключевой отрасли сельского хозяйства. Переход к цифровой экономике в растениеводстве, который в последнее время широко обсуждается, связан в первую очередь с технологиями точного земледелия. Он предусматривает создание продуктов и сервисов, основанных на автоматизации и роботизации, геопозиционировании, искусственном интеллекте, «больших данных» и других информационных технологиях. Их масштабное внедрение будет способствовать ускоренному переходу сельского хозяйства к новому технологическому укладу, в основе которого лежит дифференцированный подход к объекту управления (растению или животному) и среде их обитания.

Технологии точного земледелия активно используются в мире в последние 20 лет. Наибольшее распространение они получили в развитых странах. Взрывной прогресс в области информационных технологий и техники способствовал быстрому переходу сельского хозяйства передовых стран к новому технологическому укладу. Управление производством сельскохозяйственной продукции с помощью компьютерной техники, геоинформационных технологий и современных средств связи стало стремительно совершенствоваться. Особенно это характерно для США, Германии, Голландии, Японии, Франции, Англии и Китая.

Определяющие факторы необходимости разработок продуктов для точного земледелия

Анализ источников, характеризующих процесс внедрения технологий умного сельского хозяйства (в том числе точного земледелия) за рубежом, показал, что оно является одним из основных инновационных направлений производства растениеводческой продукции в мире. Объем глобального рынка технологий точного земледелия к 2015 г., например, достиг 2,3 млрд. евро. Эксперты оценивают ежегодный прирост рынка в 12% до 2020 г., что намного больше по сравнению с рынком традиционного сельскохозяйственного оборудования, где прирост составляет не более 4% в год (The Boston Consulting Group, Gartner, European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2016).

Основными конкурентными преимуществами стран-лидеров по внедрению технологий умного сельского хозяйства являются:

– Значительный размер государственных субсидий сельскому хозяйству. Евросоюз выделяет на дотации фермерам более половины средств из своего бюджета, причём размер субсидий зависит от цен на топливо. Например, на одну корову фермеры получают около 800 долларов прямых дотаций. Уровень поддержки сельского хозяйства в Евросоюзе составляет почти 700 долларов на гектар, в США – 324, в Японии – 478, в Канаде – 188. Высокий уровень дотаций стимулирует спрос сельхозтоваропроизводителей на инновационные технологии и создает благоприятные условия для развития рынка «умного сельского хозяйства» (Agricultural policy monitoring and evaluation, 2017).

– Высокий удельный вес затрат на научные исследования и разработки. В пятерку лидеров входят Республика Корея (4,29%), Израиль (4,11%), Япония (3,59%), Финляндия (3,17%) и Швеция (3,16%) (по данным на 2016 г.). Россия по данному показателю существенно отстает от ведущих стран мира, занимая 34-е место (Ратай, 2016).

– Высокий уровень инвестиций в космические разработки. Так, в 2015 г. в США одобрены инвестиции в исследования и разработки NASA в размере 17,5 млрд. долл. (что составило 13% от годового бюджета страны), а также в технологии (3,8 млрд. долл.).

– Поддержка со стороны правительства, развитая инфраструктура и система патентной защиты.

К основным конкурентным преимуществам компаний-лидеров по внедрению технологий умного сельского хозяйства относятся:

– Высокий уровень корпоративных инвестиций в исследования. Например, компания John Deere (США) инвестирует в исследования около 15 млн. долларов ежедневно (Орленко, 2017).

– Значительный опыт в производстве навигационных систем и геотехнологий. Trimble, например, производит навигационные системы с 1978 г., а ESRI — геоинформационные системы с 1969 г.

– Высокая популярность и доля проникновения компаний на мировой рынок, в частности в РФ. Так, оборудование John Deere поставляется в Россию с 1880 г., а в 2010 г. здесь были построены сборочные заводы компании. В 2005 г. Торсон открыла в Москве исследовательский центр Торсон Technology Center. Trimble имеет офисы в 35 странах и исследовательские центры в 15 странах, а продукция компании представлена в 150 странах. У ESRI 10 региональных офисов, 80 дистрибьюторов и более

1800 партнеров по всему миру. 77% от продаж компании CLAAS приходится на внешние рынки, в РФ ее продукция присутствует с 1992 г., а в 2003 г. запущено производство в Краснодаре.

– Тесное сотрудничество с мировыми технологическими и компьютерными гигантами. Например, ESRI сотрудничает с Amazon Web Services, IBM, Microsoft, Oracle, SAP, SAS.

– Значительное количество запатентованных технологий и разработок. Так, Trimble за 2014 и 2015 гг. подала 115 заявок на патенты в США, Hexagon – более 150.

– Зрелость местного рынка: потребители достаточно хорошо информированы о продуктах для умного сельского хозяйства, имеется многолетний опыт применения технологий.

По оценкам экспертов рабочей группы платформы FoodNET Национальной технологической инициативы (НТИ), обозначенной Президентом РФ, объем рынка сервисов и продуктов для умного сельского хозяйства к 2035 г. составит порядка 500 млрд. долл. Несмотря на крайне низкое финансирование научных исследований и опытно-конструкторских разработок в настоящее время, есть возможность кардинально изменить сложившуюся ситуацию. Если Россия сможет использовать свои конкурентные преимущества, то она вполне способна занять существенную долю на данном рынке. В совокупности с укрепляющимися позициями на рынке продовольствия это может не только обеспечить продовольственную независимость и безопасность страны, но и вывести её в глобальные лидеры.

К основным конкурентным преимуществам России в области точного земледелия можно отнести следующие:

– Докучаевская школа почвоведения является одной из сильнейших в мире. В РФ разработаны методики почвенно-ландшафтного картографирования, агроэкологической оценки крупных землепользований, проектирования систем адаптивно-ландшафтного земледелия и определения внутривидовой неоднородности посредством ретроспективного мониторинга.

– Россия обладает огромным разнообразием типов почв, что может стать существенным преимуществом при внедрении агротехнологий в сходных по почвенно-климатическим условиям регионах мира.

– В РФ традиционно сильны школы математики, программирования и физики.

– Наличие собственной глобальной спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС.

– Обширная территория страны дает возможность развить большой внутренний рынок и разработать концепции по внедрению технологий точного земледелия для различных почвенно-климатических условий, что послужит конкурентным преимуществом при работе на рынках других стран.

– Существенный научный задел в области создания физико-технического, алгоритмического и аппаратно-программного инструментария, в том числе с использованием БПЛА, КА и ГЛОНАСС, для

получения, первичной обработки, структурирования и хранения информации (включая ДДЗ) о текущем и прогнозном состоянии биологических объектов и среды их обитания (Михайленко, Якушев, 2016).

– Ведется разработка принципиально новой методологии компьютерного планирования и проведения прецизионных полевых опытов по совершенствованию нормативной базы применения агроприёмов, основанной на использовании информационных технологий и технических средств точного земледелия, аэрокосмического зондирования и современных методов обработки, анализа и интерпретации данных (Якушев и др., 2015).

– Разработаны интеллектуальные системы поддержки принятия агротехнологических решений (СППР), формализующие знания предметной области с целью поддержки принятия управляющих решений с разной степенью автономности и в различных режимах (Якушев, 2016).

– В ряде регионов ведется формирование региональных геопорталов и геоинформационных баз данных (ГИС) по основным показателям. Также имеется опыт успешной реализации программ по созданию электронных карт полей и оценке используемости сельхозугодий (Краснодарский край, Ленинградская, Новосибирская, Белгородская области и др.).

– В РФ выражен спрос на инструменты точного земледелия, который будет повышаться в соответствии с мировыми тенденциями. По результатам маркетингового исследования, проведенного ООО «Агроноут» и ПАО «Акрон», из 50-ти респондентов 88% интересуется точное земледелие, а 80% из них подчеркивает необходимость обучения специалистов технологиям точного земледелия.

– В РФ существуют коммерческие, научные и образовательные организации, обладающие достаточным потенциалом для того, чтобы в будущем превратиться в лидеров рынка.

Далее будет представлено краткое описание одной из разработок Агрофизического НИИ и партнеров, направленной на создание отечественных продуктов для точного земледелия. Цель настоящей работы заключалась в создании прототипа программно-аппаратного комплекса для дифференцированного внесения сыпучих удобрений и мелиорантов. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– разработать специализированное программное обеспечение, позволяющее генерировать пространственно-ориентированные карты-задания на дифференцированное внесение удобрений;

– разработать бортовой компьютер и робототехнические агрегаты для управления дозой внесения сыпучих удобрений и мелиорантов;

– интегрировать результаты работы различных коллективов в единый программно-аппаратный комплекс для внесения сыпучих удобрений и мелиорантов на базе сельскохозяйственной машины.

Программное обеспечение

Процесс проектирования технологий для растениеводства является частью подготовки производства в годовом цикле отрасли. В рамках настоящего исследования изучены процессы проектирования и выполнения агротехнологий в растениеводстве, а также определены основные процессы и информационные потоки типового сельскохозяйственного предприятия. Современные технологии производства растениеводческой продукции состоят из 7 производственных процессов:

- 1) обработка почвы при помощи почвообрабатывающих орудий;
- 2) применение удобрений;
- 3) подготовка семенного материала к посеву (посадке);
- 4) посев (посадка);
- 5) уход за посевами в период вегетации (период регуляции естественного процесса фотосинтеза полезной биомассы, или период продукционного процесса);
- 6) уборка урожая;
- 7) послеуборочная подготовка урожая к хранению.

В настоящее время при планировании производственных процессов автоматизация используется ограниченно, а в некоторых случаях не используется вообще. Даже в традиционном земледелии, при котором планирование осуществляется по принципу «одно поле – один проект», данный процесс является достаточно трудоёмким. В точном земледелии для выполнения некоторых агротехнических операций необходимо производить расчеты по каждому элементарному участку поля, а их может быть сотни тысяч. Очевидно, что для этого требуется специальное программное обеспечение. Однако программное обеспечение, представленное на сегодняшний день на рынке, предназначено, как правило, для отдельных

операций, а некоторое — только для определенных марок техники.

Агрофизический НИИ совместно с партнерами проводит работы по проектированию и созданию специализированного программного обеспечения, позволяющего планировать, корректировать и реализовывать агротехнологию в целом с учетом всех процессов и их параметров. В данной работе рассмотрено функционирование программного обеспечения на примере планирования и выполнения операции «применение удобрений» как одной из наиболее приспособленных к дифференциации. В частности, разработанное и апробированное программное обеспечение позволяет проектировать и генерировать электронную карту-задание на дифференцированное внесение известковых мелиорантов или других сыпучих материалов. На рис. 1. приведен пример создания карт-заданий на основное внесение удобрений и проведение азотных подкормок. Для генерации карты-задания на основное внесение удобрений производится пространственная интерполяция результатов обработки данных почвенного агрохимического обследования. Размер ячейки интерполированной карты-задания выбирается равным ширине захвата разбрасывателя/опрыскивателя, который планируется использовать для дифференцированного внесения удобрений. Сгенерированная таким образом карта-задание переносится в бортовой компьютер трактора для реализации агроприема в поле.

Генерация карты-задания на проведение азотных подкормок на основе снимков посева, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов, производится автоматически для каждого однородного участка поля, выделенного при дешифрировании аэрофотоснимков, который разбивается на более мелкие элементарные участки, представляющие собой квадрат со стороной, равной ширине захвата сельскохозяйственной техники, для которой формируется карта-задание.

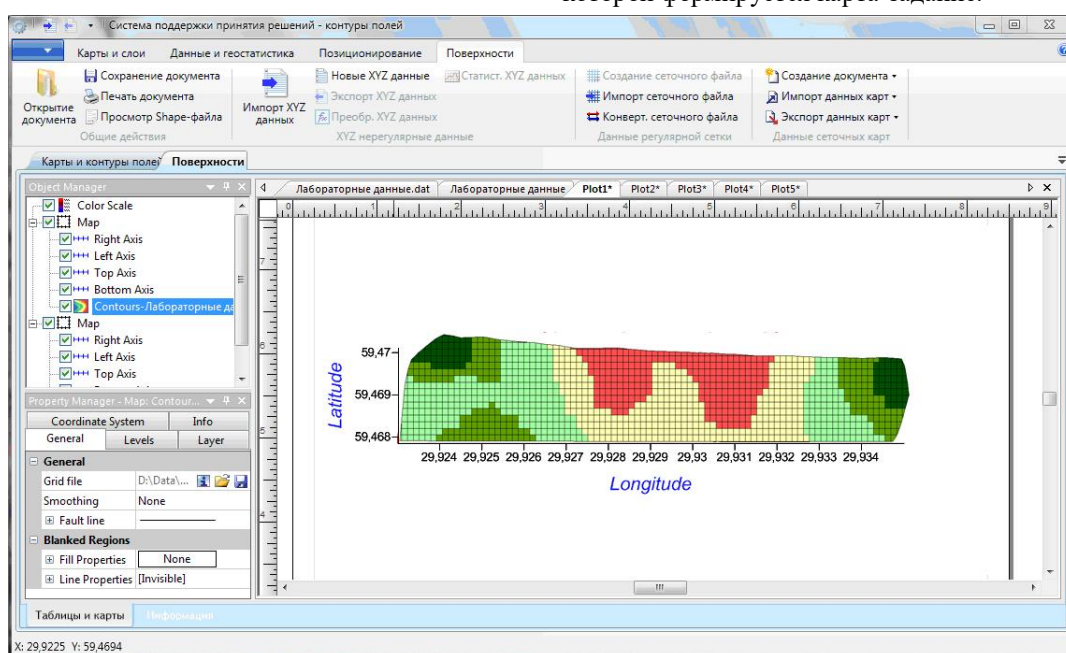


Рис. 1. Карта-задание, полученная в результате обработки данных по дозам внесения удобрений

Особенностями разработанного программного обеспечения являются встроенный редактор формул расчета доз удобрений на основании данных о свойствах каждого элементарного участка поля, а также специализированный редактор свойств с типом «нечёткое значение». Это позволяет проводить пространственно-ориентированный расчет доз агрохимикатов с помощью нечетких вычислений, что является важным в условиях часто встречающейся неопределенности значений параметров, характеризующих агрохимические свойства тех или иных элементарных участков поля.

Важной частью программного обеспечения является программный модуль, позволяющий описывать сущности агротехнологии и их свойства. Данный модуль, названный «глоссарием агротехнологий», является попыткой создания инструмента для описания части предметной области, относящейся к внесению агрохимикатов в растениеводстве. Очевидно, что переход к новым цифровым технологиям в сельском хозяйстве потребует описания предметной области (поля знаний) и, соответственно, инструментов для данного описания. Поле знаний – это описание основных сущностей и взаимосвязей между понятиями предметной области, выявленных из системы знаний эксперта в виде графа или онтологии верхнего уровня, таблицы или текста. Разработанное программное обеспечение позволяет отчасти решить указанную задачу.

Редактор глоссария представляет собой автономный программный модуль для выполнения следующих задач:

- создание словарей терминов для сельского хозяйства;
- создание информационных структур для хранения произвольных данных в ситуациях, когда реляционные базы данных не подходят (например, когда невозможно создать схему БД в силу разнородности данных и т. п.);
- создание информационных структур в ситуациях, когда в программной платформе активно используется JSON (программирование на JavaScript, Web-программирование);

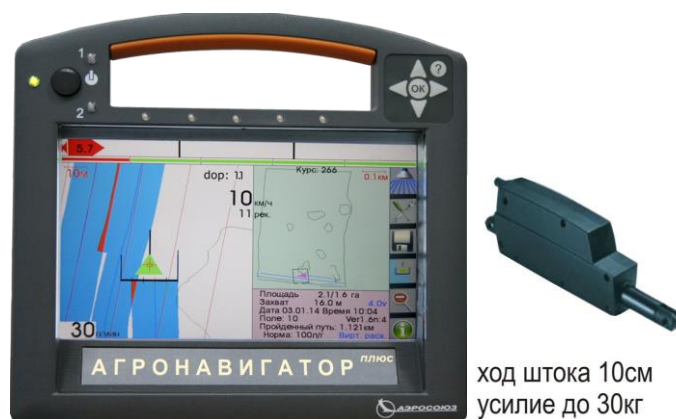
– создание набора типов без непосредственного использования языка программирования.

Для работы и внутреннего хранения данных редактор глоссария использует стандартные реляционные БД (зависит от установленного в системе движка и провайдера БД; по умолчанию используется MS SQL Server CE). Однако редактор позволяет импортировать (экспортировать) данные из словаря в формате JSON для их использования в других модулях или программах. На разработанное программное обеспечение получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018660783 от 28 августа 2018 г.

Управляющий бортовой компьютер и робототехнические агрегаты

Для выполнения дифференцированного внесения агрохимикатов необходимо соответствующее программно-аппаратное оснащение сельскохозяйственной техники, совместимое с программным обеспечением для планирования операции. В настоящей работе использовался бортовой навигационный комплекс «Агронавигатор плюс», разработанный в ООО «Системы точного земледелия» (г. Новосибирск). Навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» представляет собой систему параллельного вождения автотракторной техники с функциями автоматического управления процессом дифференцированного внесения агрохимикатов. Также разработано специальное роботизированное устройство, позволяющее управлять двумя дозирующими заслонками разбрасывателя удобрений в ходе движения, которым можно оснастить сельскохозяйственную технику, изначально не предназначенную для дифференцированного внесения удобрений. Использование данного устройства позволит значительно удешевить процесс внедрения технологий точного земледелия и расширить диапазон применяемой техники.

Навигационный комплекс «Агронавигатор плюс», укомплектованный приёмником спутниковых навигационных сигналов системы ГЛОНАСС, обеспечивает субметровую точность вождения техники.



ход штока 10см
усилие до 30кг

Рис. 2. Навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» с функциями автоматического управления процессом дифференцированного внесения агрохимикатов

В навигаторе предустановлены три программы обработок:

– ОПРЫСКИВАНИЕ: навигация + автоматическое выдерживание нормы внесения раствора пестицидов при изменении скорости обработки с автоматическим отключением форсунок/секций штангового опрыскивателя при заходе на ранее обработанный участок + дифференцированное внесение растворов пестицидов и жидких удобрений по картам-заданиям;

– ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ внесение удобрений: навигация + автоматическое выдерживание нормы внесения гранулированных удобрений (до 2-х видов) при изменении скорости и местоположения агрегата на поле + отбор почвенных проб на полях хозяйства.

– КОНТРОЛЬ ВЫСЕВА: навигация + вывод информации о параметрах работы системы контроля высева пневматического посевного комплекса + почвенное внесение КАС и ЖКУ по картам-заданиям.

Интеграция в единый комплекс

Разработанное программное обеспечение и навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» с функциями автоматического управления процессом дифференцированного внесения сыпучих удобрений и мелиорантов могут быть интегрированы в единый программно-аппаратный комплекс на базе практически любого распределителя твердых минеральных удобрений. В рамках настоящей работы испытания в полевых условиях проводились на базе двух машин: РМУ-8000 (Щучинский ремонтный завод, Беларусь) и Amazone (Евротехника, г. Самара). Обе машины могут быть оснащены электроникой и оборудованием для автоматического управления дозирующими элементами, а в качестве управляющего компьютера при этом может использоваться навигационный комплекс «Агронавигатор плюс» (рис. 3).



Рис. 3. Общая схема программно-аппаратного комплекса для дифференцированного внесения сыпучих удобрений и мелиорантов

ВЫВОДЫ

Для решения стоящих перед государством задач по обеспечению продовольственной безопасности и независимости России необходим переход АПК к новому технологическому укладу, при котором технологии точного земледелия должны использоваться на каждом сельскохозяйственном предприятии. Россия обладает достаточным почвенно-климатическим потенциалом для того, чтобы, по некоторым оценкам, обеспечить продовольствием порядка 700 миллионов человек и быть лидером на мировом продовольственном рынке. Это позволит диверсифицировать экспорт и получать основную прибыль не только от ресурсодобывающих

отраслей, но и от сельского хозяйства. Такой рывок невозможно осуществить без создания отечественных продуктов и сервисов для точного земледелия (которые сами по себе также могут являться экспортно ориентированным товаром). Понимание важности данного направления руководством страны, исследователями и производителями должно привести к увеличению финансирования НИР и ОКР. Это продиктовано в том числе возможным ограничением (или даже прекращением) поставок техники и оборудования для точного земледелия из-за рубежа.

Рассмотренный программно-аппаратный комплекс является результатом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в

области точного земледелия. Частично он повторяет аналогичные зарубежные продукты, а в некоторых аспектах даже превосходит их. Несомненным преимуществом комплекса является, например, технология расчета доз агрохимикатов с использованием уникальных агрофизических моделей, в том числе данных дистанционного зондирования Земли (снимки с БПЛА). Прототип может быть использован также как относительно

недорогое решение для оснащения оборудованием для точного земледелия техники, не приспособленной для дифференцированного внесения удобрений. Если распределитель удобрений не предназначен для дифференцированного внесения, то его можно укомплектовать дополнительным робототехническим оборудованием – специальным штоком, позволяющим в автоматическом режиме управлять двумя дозирующими элементами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Михайленко И. М., Якушев В. П. Дистанционное зондирование земли в сельском хозяйстве // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2016. № 6. С. 12–16.
- Орленко Н. «Джон Дир Агрикалчерэл Холдингз, Инк.», VI Международная агротехнологическая конференция, 03.03.2017 г., г. Волгоград.
- Ратай Т. В. Затраты на науку в России и ведущих странах мира. Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, 2016. С. 286.
- Якушев В. П., Конев А. В., Якушев В. В. Геоинформационное обеспечение прецизионных экспериментов в земледелии. // Информация и Космос. 2015. № 3. С. 96–101
- Якушев В. В. Точное земледелие – теория и практика. Монография, твердый переплет. СПб.: ФГБ-НУ АФИ, 2016. 364 с.
- Agricultural policy monitoring and evaluation 2017//OECD publishing: Paris, 2017
- European Global Navigation Satellite Systems Agency. <https://www.gsa.europa.eu/>
- Gartner – исследовательская и консалтинговая компания, специализирующаяся на рынках информационных технологий. <https://www.gartner.com>
- The Boston Consulting Group («Бостонская консалтинговая группа»). <https://www.bcg.com/>

REFERENCES

- Mikhailenko I. M., Yakushev V. P., Distancionnoe zondirovanie zemli v sel'skom khozyajstve [Remote sensing of the earth in agriculture] // *Vestnik rossijskoj sel'skoxozyajstvennoj nauki*, 2016, no. 6, pp. 12–6.
- Orlenko N. «Dzhon Dir Agrikalchere'l Xoldingz, Ink.» [John Deere Agroculture Holdings Ink.], VI *Mezhdunarodnaya agrotexnologicheskaya konferenciya* [International agrotechnological conference], 03.03.2017 g., Volgograd.
- Rataj T. V. *Zatraty` na nauku v Rossii i vedushhix stranax mira* [Costs of science in Russia and the leading countries of the world] Institut statisticheskix issledovaniy i e`konomiki znaniy NIU VShE`, 2016, 286 p.
- Yakushev V. P., Konev A. V., Yakushev V. V. *Geoinformacionnoe obespechenie precizionny`x e`ksperimentov v zemledelii* [Geoinformation support of precision experiments in agriculture]. // *Informaciya i Kosmos*, 2015, no. 3, pp. 96–101.
- Yakushev V. V., *Tochnoe zemledelie – teoriya i praktika* [Exact agriculture – the theory and practice]. Monografiya, tverdy`j pereplet. Saint-Peterburg: Publishing house of the Agrophysical Research Institute, 2016. 364 p.
- Agricultural policy monitoring and evaluation 2017//OECD publishing: Paris, 2017.
- European Global Navigation Satellite Systems Agency. <https://www.gsa.europa.eu>
- Gartner – issledovatel'skaya i konsaltingovaya kompaniya, specializiruyushhayasya na ry`nkax informacionny`x texnologij [the research and consulting company specializing in the markets of information technologies]. <https://www.gartner.com>
- The Boston Consulting Group. <https://www.bcg.com>