

УДК 004.891.2

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ВЕДЕНИИ АГРОБИЗНЕСА**

Крепышев Дмитрий Александрович  
к.э.н., доцент  
РИНЦ SPIN код: 8507-4755  
e-mail: krepyshev.d@kubsau.ru

Овчаров Александр Павлович  
студент факультета прикладной информатики  
РИНЦ SPIN код: 8175-0913  
e-mail: ovcharov.a.p.v@gmail.com

Лабинцева Валентина Романовна  
студент факультета прикладной информатики  
РИНЦ SPIN код: 4747-0754  
e-mail: valyushka.labinceva@gmail.com  
*ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, Краснодар, Россия*

В статье рассматривается вопрос внедрения систем поддержки принятия решений в бизнес-процессы агрохозяйств, использующих подход точного земледелия. Рассмотрена базовая структура модели использования бизнес-ориентированных информационных систем. Описан подход точного земледелия, преимущества и конкретные сценарии его применения в деятельности агробизнеса. Представлены проблемы тактического и стратегического планирования, специфичные для предприятий агрономической отрасли. Изучено информационное обеспечение процессов точного земледелия с точки зрения аналитических систем. Приведены предпосылки для внедрения систем поддержки принятия решений на уровне среднего и высшего менеджмента в агрономических хозяйствах. Исследованы преимущества применения гибкого и интеллектуального подхода в землепользовании, а также роли информационных систем в этом сложном процессе. Обоснована актуальность использования данных точного земледелия в процессах тактического и стратегического планирования. В статье рассмотрен принцип работы СППР, а также приведены некоторые примеры оптимизаций, которые могут быть предложены информационной системой в результате анализа переменных и выбранной бизнес-стратегии. Описаны особенности использования экспертной системы с точки зрения менеджеров. Сделаны выводы об актуальности внедрения СППР в бизнес-процессы агрономических хозяйств

UDC 004.891.2

05.20.01 - Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

**APPLICATION OF EXPERT SYSTEMS TO SUPPORT DECISION MAKING IN AGRICULTURE**

Krepyshev Dmitry Aleksandrovich  
Cand.Econ.Sci., associate Professor  
RSCI SPIN-code: 8507-4755  
e-mail: krepyshev.d@kubsau.ru

Ovcharov Aleksandr Pavlovich  
student of Applied informatics faculty  
RSCI SPIN-code: 8175-0913  
e-mail: ovcharov.a.p.v@gmail.com

Labintseva Valentina Romanovna  
student of the Applied informatics faculty  
RSCI SPIN-code: 4747-0754  
e-mail: valyushka.labinceva@gmail.com  
*Kuban state agrarian University, Krasnodar, Russia*

The article discusses the issue of implementing decision support systems in the business processes of agricultural enterprises using the precision farming approach. The work has considered basic structure of the model of using business-oriented information systems. The approach of precision farming, advantages and specific scenarios of its application in the activities of agribusiness are described. We have also presented the problems of tactical and strategic planning, specific to the enterprises of the agronomic industry. The article studies information support of precision farming processes from the point of view of analytical systems. Prerequisites for the implementation of decision support systems at the level of middle and top management in agronomic farms are given. The study investigates advantages of applying a flexible and intelligent approach in agronomy, as well as the role of information systems in this complex process. The relevance of using precision farming data in the processes of tactical and strategic planning has been substantiated. The article discusses the principle of the DSS, and also provides some examples of optimizations that can be proposed by the information system as a result of the analysis of variables and the selected business strategy. It also describes the features of using the expert system from the point of view of managers and makes conclusions about the relevance of the introduction of DSS in the business processes of agronomic farms

Ключевые слова: АНАЛИЗ, БИЗНЕС, ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ, ПЛАНИРОВАНИЕ, ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, ДАННЫЕ, МЕНЕДЖМЕНТ, СТРАТЕГИЯ

Keywords: ANALYSIS, BUSINESS, INFORMATION SYSTEM, DECISION MAKING, PLANNING, PRECISION FARMING, DATA, MANAGEMENT, STRATEGY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-164-011>

**Актуальность исследования.** Развитие агробизнеса – это стратегически важная отрасль сельского хозяйства любого государства. Возрастающие требования к эффективности землепользования ставят новые цели для бизнесменов и менеджеров. Чтобы решить проблемы, связанные с истощением земельных ресурсов, вводятся в эксплуатацию новые территории, которые ранее не считались пригодными для сельского хозяйства. Для этого необходимо применять более гибкие и интеллектуальные подходы, одним из которых является точное земледелие. Данная практика основана на широком внедрении информационных технологий для эффективного использования ресурсов и максимизации прибыли. Развитая информационная база предприятий, применяющих точное земледелие, является благоприятной средой для внедрения систем поддержки принятия решений (СППР). Такие системы распространяют преимущества точного земледелия с уровня планирования и контроля ресурсов на уровень высшего менеджмента. Поддержка принятия решений с помощью информационных систем повышает эффективность управления за счет анализа собираемых данных и использования базы знаний. Данный подход применяется в целях оптимизации стратегического планирования и снижения степени неопределенности бизнес-факторов [1].

**Постановка задачи.** Определить и описать применение СППР в процессах управления агробизнесом. Обратит внимание на преимущества такого подхода по сравнению с традиционным принятием решений, основанным на анализе данных без использования специализированных

<http://ej.kubagro.ru/2020/10/pdf/11.pdf>

систем. Рассмотреть концепцию ведения хозяйства с использованием точного земледелия как подходящую платформу для внедрения СППР.

**1 Концепция точного земледелия.** Появление и развитие технологий GPS и GNSS дали возможность фермерам применять гибкий подход к обработке земель в виде точного земледелия [2]. Урожайность, особенности местности, содержание органических веществ, уровни влажности, уровни азота, pH, ЕС, Mg, K, перепады высоты и другие переменные – всё это стало возможным не только измерить, но и объединить в карты пространственной изменчивости, которые исследователь может привязать к точному местоположению на поле или плантации.

Датчики, установленные на сельскохозяйственной технике и беспилотных летательных аппаратах, в режиме реального времени собирают аналогичные данные, измеряя практически всё: состав водной среды в почве, уровень хлорофилла в растениях и многое другое. Вместе с изображениями, сделанными со спутника, эти данные анализируются для оптимального распределения ресурсов с помощью технологии переменной нормы расхода удобрений (VRT). Пример приложения (Adapt-N), которое следит за уровнем азота в почве и формирует азотную карту поля, представлен на рисунке 1.

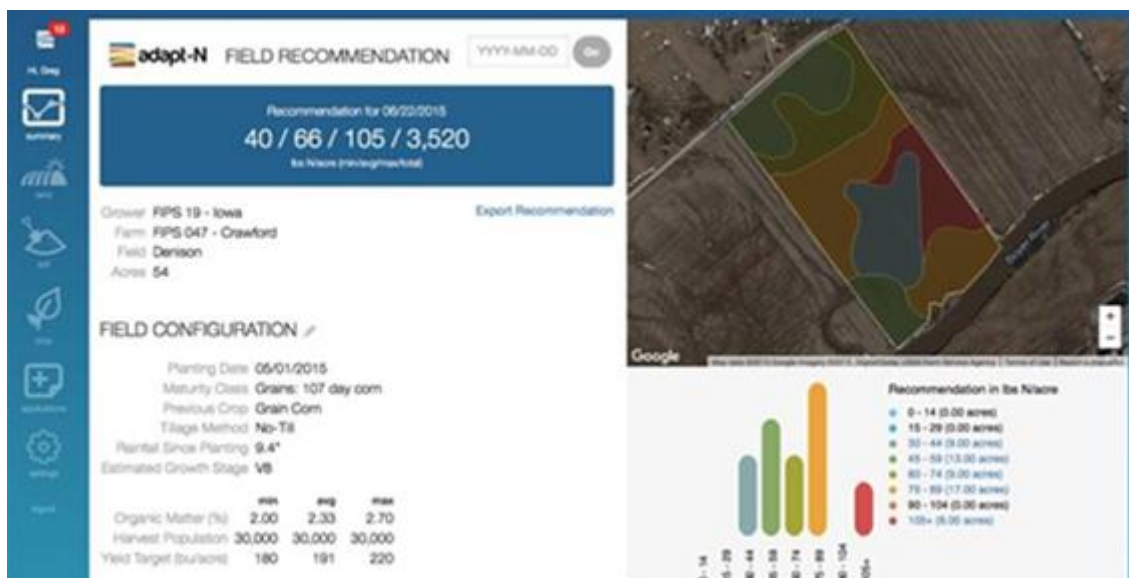


Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс приложения

Adapt-N — это онлайн-программа, которая объединяет 13 моделей, в том числе:

1. местные модели погоды, почвы и сельскохозяйственных культур, для обеспечения планирования азота;
2. инструменты сценария «что, если...»;
3. рекомендации по азоту для всего поля и переменной нормы внесения за сезон;
4. способы определения экономических и агрономических последствий для агрономов, в частности таких решений по управлению полем, как азотные стабилизаторы, нормы и сроки их внесения;
5. нормы содержания азота для отдельных полей или участков внутри полей оцениваются на основе расчетного дефицита или предложений по процентному содержанию азота, и т.д.

Adapt-N был разработан Корнельским университетом и управляется Agronomic Technology Corp (ATC). Норвежская компания по производству удобрений Yara приобрела ATC и продукцию Adapt-N в ноябре 2017 года.

Adapt-N моделирует круговорот азота, включая фиксацию, нитрификацию и денитрификацию, путем сочетания моделирования почвы, погоды, сельскохозяйственных культур и управления полями.

Точное земледелие применяется для улучшения состояния полей и агроменеджмента с точки зрения:

- агрономической: с учетом реальных потребностей культуры в питании, воде и защите от вредителей совершенствуется агропроизводство;

- технической: планирование сельскохозяйственных операций становится более точным;

- экологической: более точная оценка потребностей культуры в удобрениях и контроль их внесения сокращает негативное воздействие сельхозпроизводства на окружающую среду;

- экономической: рост урожайности и сокращение затрат повышают эффективность агробизнеса.

Благодаря достижениям информационно-технического прогресса стало возможно создавать компьютерные системы для выработки наиболее эффективной и в то же время экологичной агротехнологии для каждого поля, сада или виноградника. Эти технологии учитывают изменчивость природных условий, экономические, законодательные и другие ограничения, связанные с ведением хозяйства в определенном регионе.

Процессы, протекающие в земледелии, нельзя приостановить или замедлить, как, например, в строительном бизнесе. Поэтому оперативная поддержка решений в агробизнесе особенно важна: имеется большое количество быстро меняющихся факторов, управление которыми оказывает влияние на объем и качество урожая.

В качестве примера такого фактора может выступить показатель содержания влаги в почве. В условиях орошаемого земледелия иногда нет необходимости производить полив после сильных дождевых осадков, либо следует снизить плановую норму орошения. Такой подход поможет предотвратить как опасность для развития растения (гниение корневой системы), так и оптимизировать использование экономического ресурса (вода), а также средства, необходимые на доставку и внедрение в почву данного ресурса.

Выпадение чрезмерного уровня дождевых осадков влияет не только на степень увлажнения почвы, но и на уровень содержания питательных веществ, микро- и макроэлементов в тканях растения. Сильные и затяжные дожди способны вымывать норму необходимых для роста и развития нутриентов. В таких ситуациях требуется не только прекратить плановый полив, но и проанализировать состав почвы после окончания дождливого периода. Своевременное внесение в почву необходимых компонентов – один из основных факторов хорошего урожая.

Отдельным пунктом можно выделить факторы, влияющие на земледелие, поля и плантации которого расположены в горах. К примеру, Северный регион Португалии (субрегион Алту-Траз-уж-Монтиш) имеет в своем составе округа Вила-Реал и Браганса, которые располагают большими плантациями каштана. Поскольку регион горный с достаточно многоуровневым ландшафтом и частыми дождевыми осадками, развивать в нем земледелие достаточно сложно. По этой причине научные сотрудники опытных хозяйств представили на форуме AGRICULTURE 4.0 AND RURAL DEVELOPMENT Precision farming, проходившем в г. Лиссабон в 2017 году, проект “Control of additional water use in crop production – situational, sitespecific and automated (Precision Irrigation)”. Целью данного проекта являлась разработка экономического решения, в

котором учитывается фактическая потребность в воде сельскохозяйственных культур, для орошения специфичных участков полей и плантаций. С помощью дрона делаются аэрофотоснимки в инфракрасном спектре для получения температуры навеса сельскохозяйственных культур и для расчета индексов стресса воды. По ним формируется модель местности. После анализа почвенных зон результаты автоматически передаются на устройство, которое осуществляет управление орошением.

**2 Информационные системы в агробизнесе.** Большие массивы данных, собираемые на всех этапах ведения агробизнеса, в совокупности с современными информационными технологиями позволяют планировать обработку поля. Однако их потенциальное применение не ограничено внесением удобрений. Высокая полнота и точность этих данных делает их хорошим материалом для тактического и стратегического планирования.

Для осуществления своей деятельности агробизнес использует различные информационные системы в зависимости от уровня менеджмента. На рисунке 2 представлена диаграмма, отражающая их иерархию.





Рисунок 2 – Информационные системы на различных уровнях бизнес-менеджмента

Информационные системы нижнего уровня (системы проведения транзакций, управления клиентами и планирования ресурсов) используются для проведения бизнес-операций. В точном земледелии эти системы оперируют данными, получаемыми с измерительных приборов и рабочих мест операторов. Эти данные применяются в ежедневной работе предприятия и передаются для анализа в менеджмент-системы. Точность и полнота сведений обеспечивается высокой степенью автоматизации их сбора.

Менеджмент-системы (МИС) агрегируют материалы нижнего уровня и делают их доступными для менеджеров, которые хотят анализировать данные с помощью отчетов. Цель МИС – упрощать выработку стратегии улучшения операций на тактическом уровне. Например, становится возможно сравнить урожай и расходы на обработку почвы на различных территориях по сравнению с прошлым сезоном, или оценить



эффективность новых мер защиты от вредителей, опробованных на части сельскохозяйственных угодий. Менеджмент-системы предоставляют достаточную гибкость для решения слабо формализованных задач. При этом важно сохранить простоту и удобство интерфейса, чтобы менеджер мог сосредоточиться на тактическом планировании, а не на деталях процесса формирования отчетов.

Поддержка принятия стратегических решений возглавляет иерархию задач информационных систем. Решаемые проблемы этого уровня слабо формализованы, а уровень неопределенности очень высок. СППР используют сведения, собранные на уровне МИС и прошедшие дополнительную обработку и агрегацию.

Результаты анализа используются руководством среднего и высшего звена для принятия как текущих, так и наиболее важных решений. Например, СППР можно использовать для прогнозирования доходов на ближайшие шесть месяцев на основе новых предположений о продажах продукции. Это непростой расчет, так как высока неопределенность факторов, влияющих на прогнозируемые показатели выручки. Тем не менее, СППР может интегрировать все множество переменных и генерировать основной и альтернативные результаты, основанные на прошлых данных о продажах продукции и текущих сведениях. На основании этих отчетов высший менеджмент принимает решения о расширении или, наоборот, сокращении территорий хозяйства, планирует бюджет на закупку техники и удобрений, а также закладывает резерв средств на стратегические инвестиции.

**3 Описание системы поддержки принятия решений.** СППР или DSS (Decision Support System) возникли как естественное развитие и обобщение управленческих информационных систем и систем управления базами данных (СУБД) в направлении их большей пригодности и

приспособленности к задачам повседневной управленческой деятельности [3].

Область применения СППР – это, прежде всего, слабоструктурированные проблемы. Формализация условий, составляющих контекст принятия решения, зачастую представляет большую сложность, поэтому необходим функционал поддержки пользователя в ходе этого процесса. Также для задач, которые мы относим к области применения СППР, характерна неопределенность, делающая практически невозможным отыскание единственного объективно наилучшего решения [4]. Как следствие, система предоставляет пользователю альтернативные варианты, акцентируя внимание на положительных и отрицательных чертах каждого из них.

СППР является адаптивным и мощным инструментом, который включает в себя не только строгие алгоритмы, но и интеллектуальные методы. Это позволяет принимать решения на основе базы знаний, которая формируется в процессе анализа результатов прошлого опыта. Также СППР способна строить прогнозы изменений различных факторов, используя накопленный опыт. Это не значит, что система принимает окончательное решение – она предлагает альтернативные варианты, обосновывая их рентабельность. Но окончательное решение всегда принимает ответственное лицо.

#### **4 Использование СППР для управления агропредприятием.**

Работа СППР основывается на использовании различных источников данных: текущие и исторические показатели с сенсоров и датчиков, результаты анализов фотографий, истории полевых работ и урожаев, внешние источники (например, прогнозы метеорологической службы), спутниковые данные, специальные базы знаний, предоставляемые производителем продукта. Большие объемы данных предварительно агрегируются для более быстрой обработки [5].

Ядром СППР обычно является экспертная система, которая использует хранилище данных организации, информацию о стратегии развития предприятия, базу формализованных знаний. Используя её интерфейс, пользователь в пошаговом режиме планирует и контролирует технологии и функции своего хозяйства. Создание оптимальных процессов происходит путем адаптации базовых агротехнологий к ресурсам и стратегии конкретного предприятия.

Приведем пример интеграции систем точного земледелия и СППР. Если сельскохозяйственная техника оснащена телематической системой, позволяющей отслеживать ее местоположение, расход топлива, количество урожая с единицы площади, то все эти данные автоматически становятся материалом для исследования по множеству факторов. На основе результатов анализа система формирует предложения для руководства, которые помогают ему принимать правильные решения в ведении бизнеса [6].

Если, к примеру, расход горюче-смазочных материалов для обработки поля значительно выше среднего, система обратит внимание менеджера на этот факт. Кроме того, на основании других данных (расстояние до станции техобслуживания и склада удобрений, плотность почвы, используемая агротехнология и т.д.) СППР может формировать предложения по сокращению расходов. К ним могут относиться:

- логистические оптимизации: перемещение техники и удобрений зачастую может быть более эффективным за счет их правильного распределения между хранилищами;

- использование другого сорта выращиваемой культуры, который не требует столь сильной обработки почвы, что окажет положительный эффект на соотношение затрат и стоимости урожая, например биотехкультуры;

– применение другой агротехнологии, например минимальной/нулевой обработки (no-till) [7];

– предложение по смене типа выращиваемой культуры на конкретном участке.

СППР также призвана защитить объект деятельности от большого влияния человеческого фактора. Использование среды, предоставляющей удобные средства для предварительной оценки принимаемых решений и прогнозирования их результатов, упрощает стратегическое планирование и помогает рассмотреть больше идей развития бизнеса.

**5 Преимущества использования СППР.** В наше время возможностей сбора, обработки и хранения больших массивов данных СППР может и должна стать инструментом не только теоретического анализа, но в большей степени практического применения для увеличения эффективности деятельности агробизнеса. Конкурентными преимуществами СППР являются:

1) интеллектуальная поддержка использования территорий, которые были разработаны ранее, и освоение новых, считавшихся ранее непригодными, земель за счет выбора более гибких и точных технологий;

2) повышение эффективности использования ресурсов (химические, органические, кадровые);

3) оперативное реагирование на динамически меняющиеся факторы сельского хозяйства за счет быстрой обработки данных и использования базы знаний;

4) снижение рисков дополнительных расходов, обусловленное уменьшением роли человеческого фактора.

**Выводы.** Процесс принятия управленческих решений в агробизнесе коренным образом изменяется с помощью современных информационных технологий. Мощная технологическая база агрономических хозяйств, использующих точное земледелие, является хорошей основой для

внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Такие программные комплексы, основанные на последних достижениях в анализе данных, машинном обучении и формализации знаний, предоставляют руководству предприятия доступ к опыту многих специалистов в области сельского хозяйства, биологии, агрономии и других наук.

## ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://svetich.info/publikacii/tochnoe-zemledelie/tochnoe-zemledelie-i-sistemy-prinjatija-.html>.
2. Якушев В. П., Якушев В. В., Матвеев Д. А. Роль и задачи точного земледелия в реализации национальной технологической инициативы // Агрофизика. 2017. № 1. С. 51–65.
3. Якушев В. В. Интеллектуальные системы управления для ресурсосберегающих технологий точного земледелия // Экологические системы и приборы. 2010. № 7. С. 26–33.
4. Якушев В. П., Якушев В. В. Перспективы «умного сельского хозяйства» в России // Вестник РАН. 2018. № 9. Т. 88. С. 773–784.
5. Крепышев Д.А. Метод кластеризации как инструмент обучения искусственных нейронных сетей для обработки больших массивов данных / Д.А. Крепышев, В.Р. Лабинцева, А.П. Овчаров// Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам XI Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ и 80-летию со дня образования Краснодарского края. - 2017. – С. 255 – 256.
6. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.forbes.ru/tehnologii/378755-kompyuter-na-gryadkah-kak-tochnoe-zemledelie-vozrodit-rossijskiy-agrosektor>.
7. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://bakertilly.ua/ru/news/id42452>.

## References

1. [Elektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: <http://svetich.info/publikacii/tochnoe-zemledelie/tochnoe-zemledelie-i-sistemy-prinjatija-.html>.
2. Jakushev V. P., Jakushev V. V., Matveenko D. A. Rol' i zadachi tochnogo zemledelija v realizacii nacional'noj tehnologicheskoj iniciativy // Agrofizika. 2017. № 1. S. 51–65.
3. Jakushev V. V. Intellektual'nye sistemy upravlenija dlja resursosberegajushhih tehnologij tochnogo zemledelija // Jekologicheskie sistemy i pribory. 2010. № 7. S. 26–33.
4. Jakushev V. P., Jakushev V. V. Perspektivy «umnogo sel'skogo hozjajstva» v Rossii // Vestnik RAN. 2018. № 9. T. 88. S. 773–784.
5. Krepyšev D.A. Metod klasterizacii kak instrument obuchenija iskusstvennyh nejronnyh setej dlja obrabotki bol'shih massivov dannyh / D.A. Krepyšev, V.R. Labinceva, A.P. Ovcharov// Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: sbornik statej po materialam XI Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh, posvjashhennoj 95-letiju

Kubanskogo GAU i 80-letiju so dnja obrazovanija Krasnodarskogo kraja. - 2017. – S. 255 – 256.

6. [Jelektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.forbes.ru/tehnologii/378755-kompyuter-na-gryadkah-kak-tochnoe-zemledelie-vozrodit-rossiyskiy-agrosektor>.

7. [Jelektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: <https://bakertilly.ua/ru/news/id42452>.