

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ УРОЖАЕМ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ ИХ ВЛАЖНОСТИ И НАЛИЧИЮ ПРИМЕСЕЙ

**С.В. Мишуков, И.Н. Воротников, Н.А. Ставицкая**

ФГБОУ «Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия,  
e-mail: stas.mishukov.92@mail.ru

***Аннотация.** В статье рассмотрена проблема низкого уровня внедрения интеллектуальных алгоритмов управления урожаем в сельском хозяйстве и приведены причинно-следственные связи сложившейся ситуации. В качестве решения поставленного вопроса предложены интеллектуальные алгоритмы управления урожаем зерновых культур на основе данных об их влажности и наличии примесей, получаемых от встраиваемых емкостных датчиков информационно-измерительной системы, принцип работы которой построен на диэлькометрическом методе идентификации свойств продуктов.*

***Ключевые слова:** влажность, примеси, зерновые культуры, качество, интеллектуальность, алгоритмы, эффективность, автоматизация, сельское хозяйство, емкостной датчик*

**Введение.** Сельское хозяйство является одним из наиболее рискованных видов деятельности, поскольку зависит от большого количества сложно учитываемых факторов (природно-климатических, технологических, рыночно-конъюнктурных, производственных и др.), оказывающих значительное влияние на уровень и темпы развития отрасли. Такое количество факторов риска неизменно приводит к снижению интереса в инвестировании и модернизации сельхозпредприятий, которые остаются в стороне от научно-технического прогресса, в том числе от современных подходов к администрированию и управлению. В частности, подавляющее большинство производств сельскохозяйственного сектора ни только не применяют, но и не рассматривают возможность внедрения в технологические процессы алгоритмов интеллектуального управления, способных значительно увеличить эффективность работы всего хозяйства. Причинами отказа от подобных технологий являются:

- низкий уровень автоматизации производств;
- отсутствие специализированного персонала;
- приверженность традиционным подходам ведения хозяйства;
- сложность в освоении и реализации;
- необходимость обучения и повышения квалификации сотрудников;
- недостаточная информированность;
- малое количество предложений и др.

Следует отметить, что последняя причина отказа от внедрения интеллектуальных алгоритмов в сельское хозяйство весьма актуальна, поскольку уровень развития этого направления в нашей стране крайне низкий, а исследования ведутся медленно и не находят реального потребителя. Например, по данным аналитического центра Минсельхоза РФ методы точного земледелия, включающие в себя базовые интеллектуальные алгоритмы выбора оптимальных норм высева, внесения удобрений, борьбы с сорняками и т.д., применяются лишь в 28 регионах страны, в которых насчитывается не более 3-5 таких хозяйств (Карачаево-Черкесская Республика – три хозяйства, Смоленская область – четыре хозяйства, Костромская область – пять хозяйств) [1].

Неутешительные показатели свидетельствуют об острой необходимости изменения вектора развития сельского хозяйства в сторону его комплексной цифровизации с упором на разработку и применение систем интеллектуального управления, а также популяризации этого направления в научном сообществе. Немаловажным является и то, что данное

направление цифровой трансформации сельского хозяйства признано Минсельхозом РФ приоритетным и поддерживается государством на всех уровнях, как научно-исследовательских, так и прикладных, о чем свидетельствует действующий ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» [2], задающий курс на формирование современного, эффективного и полностью автоматизированного «умного» хозяйства.

**Материалы и методы.** По мнению авторов настоящей статьи, недостаточное внимание в приведенном проекте уделено цифровизации процессов интеллектуального управления урожаем зерновых культур при уборке, хранении, переработке и потреблении, сохранение которого является основой продовольственной безопасности и пищевой удовлетворенности населения. В подтверждение этого довода можно привести ежегодный рост продовольственных потерь сельскохозяйственных продуктов, который по статистическим данным Центра развития потребительского рынка Московской школы управления «Сколково» превышает 1,3 млрд. тонн (рисунок 1).

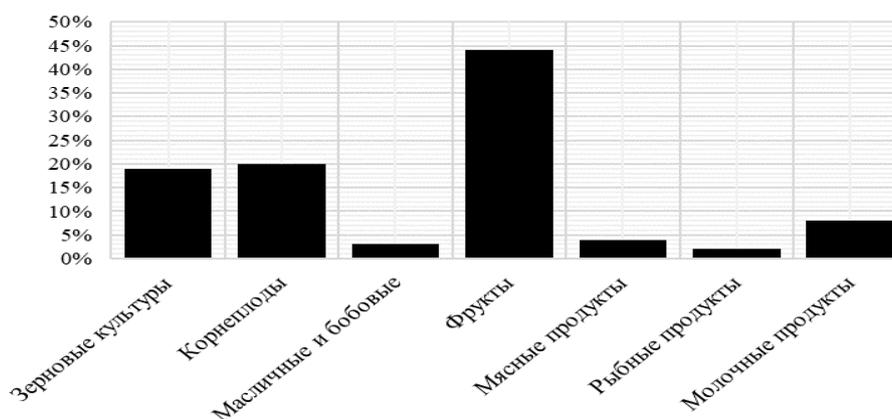


Рисунок 1. Доля мировых продовольственных потерь (% от общего числа потерь)

Такой высокий показатель потерь свидетельствует о проблемах в области получения информации о состоянии урожая зерновых культур, либо в принятии несвоевременных решений о необходимости проведения технологических операций сушки, очистки, обработки и т.д. Решение первой проблемы заключается в применении современных подходов к оценке состояния зерновой массы, которые могут быть реализованы с помощью определения влажности и наличия примесей в культурах, поскольку указанные показатели оказывают значительное влияние на их физико-химические и физиологические свойства. Для этого может быть применена информационно-измерительная система контроля влажности и примесей сельскохозяйственных продуктов, разработанная и опробованная авторами настоящей статьи [3].

В данной системе применен диэлькометрический метод определения свойств исследуемых культур с помощью емкостных датчиков, заключающийся в декомпозиции процесса измерения на две ступени с применением соответствующих режимов работы измерительных цепей. При этом определяются электрофизические параметры исследуемой пробы сельскохозяйственного продукта, которые представляют из себя четырехэлементную схему замещения, включающую:

- сквозное активное сопротивление  $R_1$ , описывающее сквозную проводимость измеряемого вещества;
- емкость мгновенной поляризации  $C_1$ , характеризующую электрофизические и естественные свойства измеряемой среды;
- активное релаксационное сопротивление  $R_2$ , описывающее релаксационную проводимость измеряемого вещества;
- емкость релаксационной поляризации  $C_2$ , отражающую количество и размер частиц воды в измеряемой среде.

На основе приведенных параметров, градуировочных кривых и функциональных зависимостей, рассматриваемая информационно-измерительная система позволяет с высокой точностью определить влажность и наличие примесей в исследуемой зерновой культуре (пшенице, ячмене, кукурузе, овсе, рисе, горохе и др.). Результат измерений системы выводится на автоматизированное рабочее место в виде отдельного диалогового окна (рисунок 2), что удобно для выполнения контроля и мониторинга состояния зерновой массы при наличии у сельхозпредприятия оператора или технолога, отвечающего за сохранность урожая на всех этапах уборки, хранения и переработки.

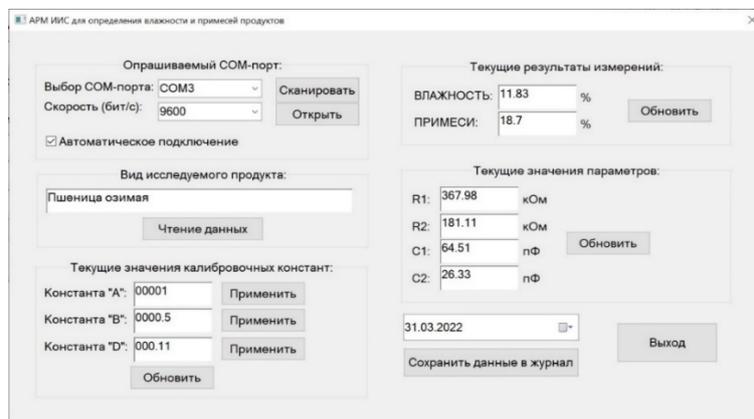


Рисунок 2. Окно программного обеспечения информационно-измерительной системы

Универсальность данной информационно-измерительной системы позволяет обеспечить ее внедрение практически во все технологические процессы сельхозпредприятия [4], что значительно упрощает сбор необходимой информации о состоянии зерновой массы (рисунок 3).

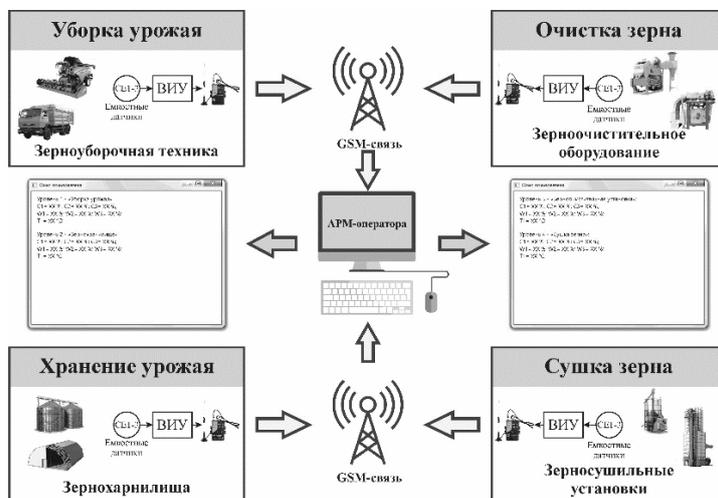


Рисунок 3. Схема внедрения системы в технологический процесс сельскохозяйственного предприятия

Применение указанной системы позволяет решить вопрос быстрого получения актуальной информации о культуре, однако, для обработки этих данных и принятия решений о состоянии урожая требуется участие человека, который на основе государственных стандартов и нормативных документов будет выявлять отклонения влажности и наличия примесей. После чего, на основе этих данных, урожай направляется на необходимые линии по сушке или очистке, либо распределяется на хранение, продажу и т.д., при этом длительность принятия таких решений зачастую может достигать месяца и более, что негативно сказывается на состоянии и качестве продукции. Исходя из этого, можно сделать вывод о необходимости разработки и внедрения в приведенную систему алгоритмов

интеллектуального управления, которые смогут принимать важные решения о требуемых технологических операциях над урожаем без участия человека, что достижимо с помощью применения экспертных алгоритмов обработки данных, объединённых с искусственными нейронными сетями [5].

**Результаты.** В основе интеллектуальных алгоритмов управления урожаем зерновых культур целесообразно применить требования нормативно-правовых актов и государственных стандартов, регламентирующих предельно-допустимые значения влажности и наличия примесей для каждой конкретной культуры на любом технологическом этапе уборки, хранения и переработки. При принятии решения о необходимости проведения операций сушки или отчистки урожая, система обращается к базе данных и формирует задание на выполнение процедуры по следующему алгоритму (рисунок 4). Задание может быть направлено любым доступным способом, например, с помощью GSM-связи в виде сообщения на мобильный телефон специалиста (агронома, технолога, комбайнера, водителя зерновоза и т.д.).

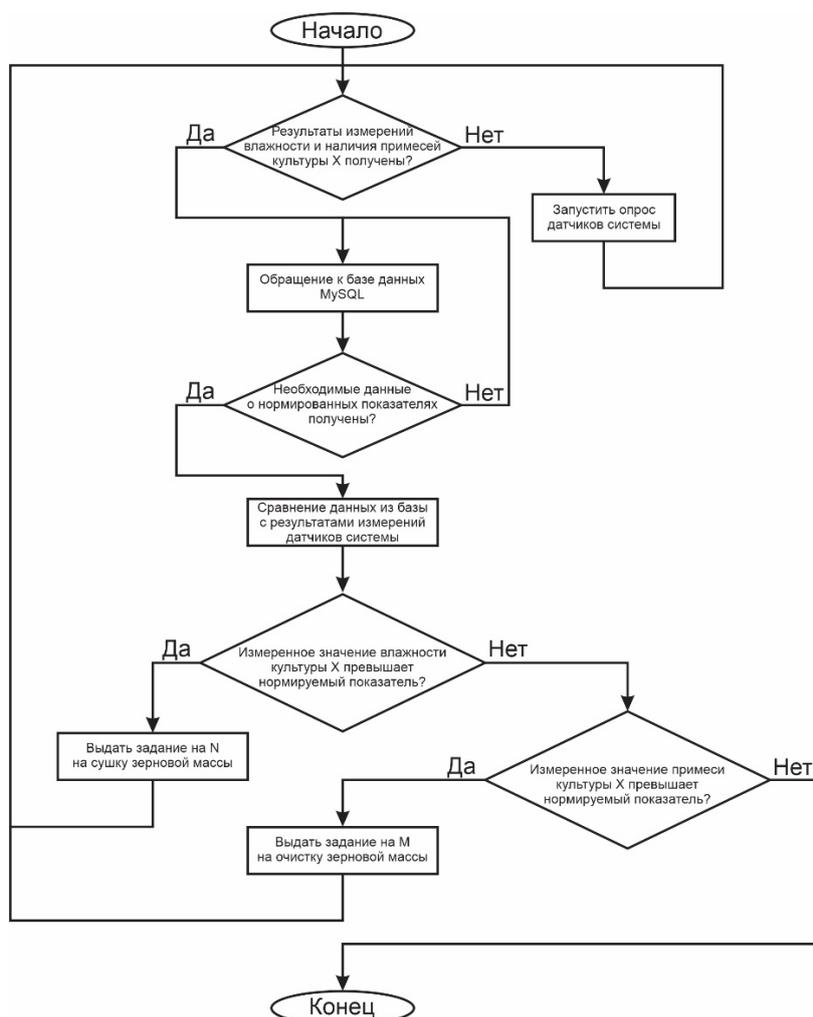


Рисунок 4. Алгоритм интеллектуального управления урожаем

Для этого формируется база данных типа MySQL, включающая в себя следующую информацию:

- Тип культуры: пшеница, ячмень, овес, рожь, кукуруза, рис, просо, сорго, тритикале и др. – будет является основным идентификатором (id\_general) для базы данных, к которому обращается система в процессе проведения экспертной оценки. Каждой культуре присваивается уникальный id с типом данных INT и длиной 4 байта – INT(4);
- Вид культуры: на примере пшеницы – озимая, яровая, мягкая, твердая, продовольственная;

- Класс культуры: для пшеницы – 1-5 классы с соответствующими типами I-VI;
- Сорт культуры: на примере пшеницы – антоновка, безенчукская, леннокс, подолянка, тая, ирень, новосибирская, саратовская, харьковская, илиас, ларс, фаворитка, шестопаловка, мелянопус, московская, рино, чикаго и т.д.;
- Нормируемое значение влажности в %: для пшеницы в соответствии с ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия» – не более 14 %, а также классификация по степени увлажненности зерновой массы – сухое (не более 14 %), средней сухости (14,1-15,5 %), влажное (15,6-17,0 %), сырое (17,1 % и более);
- Нормируемое значение сорной примеси в %: для пшеницы в соответствии с ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия» – для 1-4 классов не более 2,0 %, для 5 класса не более 5,0 %, а также классификация по степени засоренности – чистое (не более 1,0 %), средней чистоты (1,1-3,0 %), сорное (3,1 % и более).

**Обсуждение и заключение.** Предлагаемый интеллектуальный алгоритм позволит значительно сократить время на принятие решений по выполнению важных технологических операций сушки и очистки урожая, упростит процессы оценки состояния и качества зерновых культур, увеличит производительность и эффективность уборки, хранения, переработки и потребления урожая, что в свою очередь уменьшит продовольственные потери сельскохозяйственных продуктов в целом. Внедрение подобных алгоритмов и информационно-измерительных систем позволяет повысить уровень цифровизации сельского хозяйства, что является важнейшим показателем развития отрасли, обеспечивающей продовольственную безопасность и пищевую обеспеченность населения. Следует отметить, что заинтересованность в применении подобных технических решений должна исходить не только от разработчиков, но и от сельхозпроизводителей, поскольку целесообразность их применения может быть оценена только в реальных эксплуатационных условиях – в полях на уборке, зернохранилищах, элеваторах, сушильных и очистительных установках, перерабатывающих предприятиях и т.д., поэтому важным аспектом развития рассматриваемого направления является вовлеченность в него всех представителей сельскохозяйственной отрасли страны.

#### **Библиографический список.**

1. Анищенко А.Н. «Умное» сельское хозяйство как перспективный вектор роста аграрного сектора экономики России // Продовольственная политика и безопасность. 2019. №2. С. 97-107.
2. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2019. 48 с.
3. Воротников И.Н., Мастепаненко М.А., Габриелян Ш.Ж., Мишуков С.В. Разработка и исследование алгоритма работы информационно-измерительной системы контроля качества сыпучих сельскохозяйственных продуктов // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2022. № 1(38). С. 59-63.
4. Мишуков С.В. Разработка и исследование системы контроля влажности и примесей сельскохозяйственных продуктов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 2(40). С. 5-12.
5. Плаксин И.Е., Трифанов А.В. Анализ систем интеллектуального управления в сельском хозяйстве // АгроЭкоИнженерия. 2021. №4 (109). С. 82-94.