

На правах рукописи



Лукоянычева Ольга Викторовна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ПОКАЗАТЕЛЯ
ВСХОЖЕСТИ ЗЁРЕН ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНОЙ
СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СИГНАЛОВ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул –2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Пронин Сергей Петрович

Официальные оппоненты: Басарыгина Елена Михайловна,
доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой «Физика» ФГБОУ ВО
«Южно-Уральский государственный аграрный
университет»

Бастрон Андрей Владимирович,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Электроснабжение
сельского хозяйства» ФГБОУ ВО
«Красноярский государственный аграрный
университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный
университет»

Защита диссертации состоится **«3» декабря 2015 г. в 13.00** на заседании диссертационного совета Д212.004.02 при ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46; тел./факс 8(3852) 36-71-29; <http://www.altstu.ru>, e-mail: ntsc@desert.secna.ru, elnis@inbox.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» и на сайте http://www.altstu.ru/media/f/Dis_Lukoynycheva.pdf

Автореферат разослан «__» октября 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Л.В. Куликова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Аграрная деятельность является одной из основных для экономики Алтайского края. Качественное зерно – залог будущего хорошего урожая. Поэтому качество зерна проверяют многократно, начиная с уборки урожая, сушки, хранения и перед посевом.

Оценка посевных качеств зёрен осуществляется Российским сельскохозяйственным центром. К посевным качествам относятся: чистота семян, всхожесть, жизнеспособность, влажность, крупность, зараженность болезнями и вредителями. Посевная (хозяйственная) годность семян рассчитывается на основании чистоты и всхожести. Для определения всхожести применяется ГОСТ-12038-84. В соответствии с ГОСТ-12038-84 из семян основной культуры, выделенных из навесок при определении чистоты, отбирают четыре пробы по 100 семян в каждой. Анализ проводят методом проращивания на ложах. Оценку и учет проросших семян при определении всхожести проводят через 7-8 суток путём механического подсчёта проросших зёрен.

Основными недостатками данного метода являются отсутствие автоматизации процесса определения всхожести и значительная продолжительность исследования. Эти факторы не позволяют повысить эффективность процесса определения всхожести зёрен.

Несколько лет назад было выдвинуто предположение, что у зёрен пшеницы можно зафиксировать биоэлектрический сигнал, после чего было установлено, что у зёрен пшеницы с разной всхожестью биоэлектрические сигналы отличаются по форме. В существующих на текущий момент методах определения всхожести с использованием биоэлектрического сигнала нет полной шкалы всхожестей.

Степень разработанности метода.

Исследованиям, связанным с выявлением сигналов и реакций у растений на раздражения, посвящены труды Д.Ч. Боса, Я. Кагава, А.А. Болдырева, В.А.Опритова, С.С. Пятыгина, и других. Однако в этих работах мало внимания уделялось биоэлектрическому сигналу у зёрен. Вопросами развития методов исследования показателя всхожести зёрен пшеницы с помощью биоэлектрических сигналов занимались на базе Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Тем не менее, алгоритмы определения показателя всхожести, которые разработаны на данный момент, не дают конкретное значение показателя всхожести.

В этих алгоритмах не проводился многопараметрический анализ биоэлектрических сигналов в условиях нечетких критериев. Это не позволяет определять конкретное значение показателя всхожести, что крайне важно для оценки посевных качеств зёрен. Алгоритм определения показателя всхожести, основанный на экспертной системе, способен реализовать определение конкретного показателя всхожести зёрен пшеницы.

Целью диссертационной работы является разработка структуры, алгоритмов и программная реализация экспертной системы и базы знаний для определения всхожести зёрен пшеницы с помощью биоэлектрических сигналов зёрен, которые позволят сократить время исследования зерна для определения всхожести и повысить надёжность определения показателя всхожести.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**.

1. Провести аналитический обзор методов и алгоритмов принятия решений для определения показателей всхожести зёрен пшеницы.
2. Выделить отличительные признаки биоэлектрических сигналов у зёрен пшеницы, на основе которых будет построена экспертная система для определения показателя всхожести зёрен пшеницы.
3. Найти отличительные признаки биоэлектрических сигналов зёрен пшеницы, разработать алгоритм и программное обеспечение для установления их числового значения.
4. Провести серию экспериментов с зёрнами пшеницы разной всхожести с целью создания базы знаний по определению показателя всхожести зёрен пшеницы.
5. Разработать базу знаний для экспертной системы по определению показателя всхожести зёрен пшеницы.
6. Провести анализ существующих алгоритмов принятия решений.
7. Разработать экспертную систему для определения показателя всхожести зёрен пшеницы с использованием биоэлектрических сигналов.
8. Разработать программное обеспечение, реализующее экспертную систему определения показателя всхожести.

Научная новизна результатов работы.

1. Получены биоэлектрические сигналы зёрен пшеницы мягких сортов в различных лабораторных условиях и выполнен анализ их форм, на основе которых выявлены наиболее информативные показатели биоэлектрических сигналов зёрен.
2. Разработано специальное программное обеспечение, предназначенное для предварительной подготовки данных и выявления информативных показателей биоэлектрических сигналов зёрен.
3. Впервые на основе систематизации и структурирования результатов анализа биоэлектрических сигналов зёрен пшеницы мягких сортов, создана актуальная база знаний для мягких сортов пшеницы, входящая в состав экспертной системы.
4. Разработан алгоритм принятия решений в условиях нечётких критериев, который реализует процесс определения показателя всхожести.
5. Разработано специальное программное обеспечение, которое реализует экспертную систему для определения показателя всхожести зёрен пшеницы.

Теоретическая значимость. Получены новые экспериментальные данные, подтверждающие зависимость параметров биоэлектрического сигнала от показателей всхожести пшеницы, на основе которых сформированы обобщенные формы биоэлектрических сигналов и выделены их наиболее информативные параметры. Предложена экспертная система, позволяющая диагностировать процент всхожести по показателям сигналов. Разработанные метод и методика диагностики показателя всхожести зёрен пшеницы на основе экспертной системы с использованием биоэлектрических сигналов могут быть использованы для определения показателя всхожести других видов зерновых культур.

Практическая значимость. Разработан метод и алгоритм анализа биоэлектрических сигналов зёрен пшеницы для оценки качества зерна по показателю всхожести. Реализованная экспертная система, включающая программно-аппаратный комплекс предварительной обработки результатов, позволяет определить конкретный показатель всхожести, который важен для определения густоты посева пшеницы (густота посева напрямую зависит от показателя всхожести, даже если показатель всхожести считается рекомендованным к высадке), причём этот результат получается за 12 часов. По сравнению с ГОСТ-12038-84 время получения результата в 14 раз меньше (7 суток, против 12 часов).

Методология и методика исследований базируются на использовании методов системного анализа, аналитического моделирования, теории вероятности и математической статистики, методов вычислительной математики, теории нечётких множеств и теории принятия решений. Кроме того, использованы методы экспериментальных исследований.

Положения, выносимые на защиту.

1. Набор показателей биоэлектрического сигнала зерна, сформированный на основании системного подхода с использованием методов статистики.
2. Алгоритм и специальное программное обеспечение, разработанное для подготовки данных с целью формирования базы знаний экспертной системы.
3. Алгоритм принятия решений в условиях неопределённости для определения показателя всхожести с помощью анализа биоэлектрических сигналов зёрен.
4. Алгоритм оценки и специальное программное обеспечение, реализующее экспертную систему оценки показателя всхожести зёрен пшеницы, которая позволяет в короткие сроки определить показатели всхожести.

Достоверность и обоснованность результатов обеспечивались сравнением полученных результатов с данными, полученными в лаборатории филиала ФГУ "Россельхозцентр" по Алтайскому краю.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и региональных конференциях, в том числе: V международная научно-практическая конференция «Science and education. Materials of the V international research and practice conference», (Мюнхен, Германия, 2014); международная научно-практическая конференция «Теоретические и практические вопросы развития научной мысли в современном мире» (Уфа, 2013); Седьмая Международная научно-теоретическая конференция «Образование и наука в третьем тысячелетии» (Барнаул, 2013); V Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (Ульяновск, 2013); IX Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (Барнаул, 2014); IX международная научно-практическая конференция «Виртуальные и интеллектуальные системы – ВИС-2014» (Барнаул, 2014); VIII международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения» (Санкт-Петербург, 2015).

Публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы представлены в 16 научных работах, среди которых 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, и 1 публикация в иностранном издании. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных. Всего по теме диссертации – 18 публикаций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы и приложений. Работа изложена на 113 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков, 21 таблицу, 2 приложения. Список литературы включает 154 наименования.

Благодарности.

Автор выражает огромную благодарность заслуженному деятелю науки и техники России, доктору технических наук, профессору Никольскому О.К. за обсуждение и полезные комментарии.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи диссертации, изложены ее основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации основных результатов работы.

В первой главе обсуждается вопрос важности для сельского хозяйства задачи определения показателя всхожести. Представлен аналитический обзор информации из научно-технических источников о развитии, принципах работы и использовании методик и алгоритмов определения показателя всхожести зёрен пшеницы. Обоснована необходимость разработки алгоритма и программного обеспечения, реализующего экспертную систему для определения показателя всхожести зёрен пшеницы на основании биоэлектрических сигналов. Проведён обзор и анализ алгоритмов, которые на текущий момент применяются для оценки биоэлектрических показателей.

Производство сельскохозяйственных культур, и в первую очередь зерновых, является одним из приоритетных видов деятельности на территории России. К высаживаемым культурам предъявляется большой набор требований с целью получения наибольшего по количеству и наилучшего по качеству урожая. Контроль качества высеваемых семян осуществляют многократно, начиная с уборки урожая, сушки, хранения, и непосредственно перед посевом.

В соответствии с ГОСТ–12038-84 показатель всхожести определяется в течение 7-8 суток. Определение всхожести осуществляется путём подсчёта проросших зёрен.

Для ускорения процесса определения всхожести применяют различные биохимические методы. Они основываются на показателях биохимических реакций семян на внешние раздражители. Данные методы являются либо сложными в реализации, либо требуют не менее 4-5 дней.

Перспективными в плане проведения быстрого и точного анализа всхожести зерна, не требующего при этом дорогостоящего и сложного оборудования, являются исследования биоэлектрических сигналов растений. Но в существующих на текущий момент методах определения всхожести с использованием биоэлектрического сигнала нет полной шкалы всхожестей.

Биоэлектрические сигналы растений подразделяются на импульсную активность и активность клеток высших растений в покое (потенциал покоя).

Потенциал покоя — мембранный потенциал возбудимой клетки в невозбужденном состоянии. Он представляет собой разность электрических потенциалов, имеющих на внутренней и наружной сторонах мембраны.

В импульсной электрической активности выделяют три типа: потенциал действия, переменный потенциал и микроритмы.

Потенциалы действия — это импульсные электрические ответы на надпороговое раздражение. Переменные потенциалы — специфические биоэлектрические реакции высших растений на повреждающие воздействия.

Микроритмы — ритмическая электрическая активность в микровольтовом (десятки-сотни микровольт) диапазоне амплитуд.

Основные исследования электрических сигналов в семенах зерновых культур посвящены вопросам повышения урожайности зерна и, как результат, воздействию на семена химических веществ, ультрафиолетового и электромагнитного облучения и т.п. Оценке естественной всхожести зерна исследователи внимания не уделяли. При оценке всхожести семян зерна есть свои сложности, связанные, в первую очередь, с малыми размерами зерна и с особенностями строения зерна. У зерна толстая оболочка, около 4/5 массы зерна составляет эндосперм, а наиболее жизненно важный зародыш занимает мало места. Процесс прорастания зерна — это переход из состояния вынужденного покоя в активное состояние. Прорастающие семена непрерывно поглощают кислород и выделяют углекислый газ, при этом выделяется тепло.

Было доказано, что оболочку зерна можно рассматривать как мембрану. Для исследования биоэлектрических сигналов используется мембранно-ионная теория, согласно которой потенциал покоя определяется по формуле Нернста и равен:

$$\Delta\varphi_m = \varphi_{вн} - \varphi_{нар} = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{C_{вн}}{C_{нар}},$$

где $\Delta\varphi_m$ — равновесный потенциал, R — газовая постоянная, T — абсолютная температура, Z — валентность иона, F — постоянная Фарадея, $C_{вн}$ и $C_{нар}$ — концентрации какого-либо иона вне и внутри клетки, соответственно.

В отличие от потенциала покоя, потенциал действия оценивается по скорости распространения: используется его способность продвижения с определенной скоростью от клетки к клетке.

Многочисленные эксперименты с семенами пшеницы, проведенные в лаборатории, показали, что, в зависимости от состояния семян и условий эксперимента, им присущи все виды биоэлектрических сигналов.

Разнородность подходов к анализу сигналов, активная биохимическая фаза состояния исследуемого объекта, геометрические размеры зёрен не позволяют применить существующий математический аппарат для анализа всхожести семян. Таким образом, требуется разработка специального метода для оценки всхожести зёрен по изменению биоэлектрического потенциала, который опирается на результаты экспериментов.

Неточность экспериментальных результатов определяется как объективными причинами: различием энергии прорастания у каждого отдельного зерна, аппаратными ограничениями экспериментальной установки, - так и субъективными причинами: особенностями объекта исследования и, как результат, невозможностью получения идентичности проведения опытов, временными ограничениями проведения замеров и так далее. Ненадежность знаний связана с отсутствием формальных процедур получения точных данных, вероятностной природой поступающих данных, недостаточной математической и логической обоснованностью правил определения всхожести. Статистический характер относится как к количественным, так и качественным

показателям. Задача определения всхожести зерен обладает ошибочностью, неполнотой, неоднозначностью и противоречивостью, как в исходных данных, так и в плане знаний о решаемой задаче. В связи с этими особенностями, в информационных системах анализа и принятия решения применяют вероятностные оценки тех или иных знаний, как в части данных, так и правил вывода. В результате анализа систем по искусственному интеллекту было определено, что подобными неформализованными задачами занимается направление, получившее название "экспертные системы". В соответствие с приведёнными выше данными обоснованным представляется создание статической экспертной системы доопределяющего типа для определения показателя всхожести зёрен пшеницы.

Во второй главе рассматриваются данные, с которыми необходимо работать при создании экспертной системы по определению показателя всхожести зёрен. Рассмотрена пошаговая методика подготовки данных, выбран наиболее информативный тип биоэлектрического сигнала, рассмотрены варианты возможных ошибок при проведении эксперимента и алгоритмы их выявления. Кроме того, в главе выделены информативные показатели биоэлектрических сигналов зёрен, которые используются в базе знаний экспертной системы.

Представлена архитектура аппаратно-программного комплекса для формирования данных (рисунок 1).

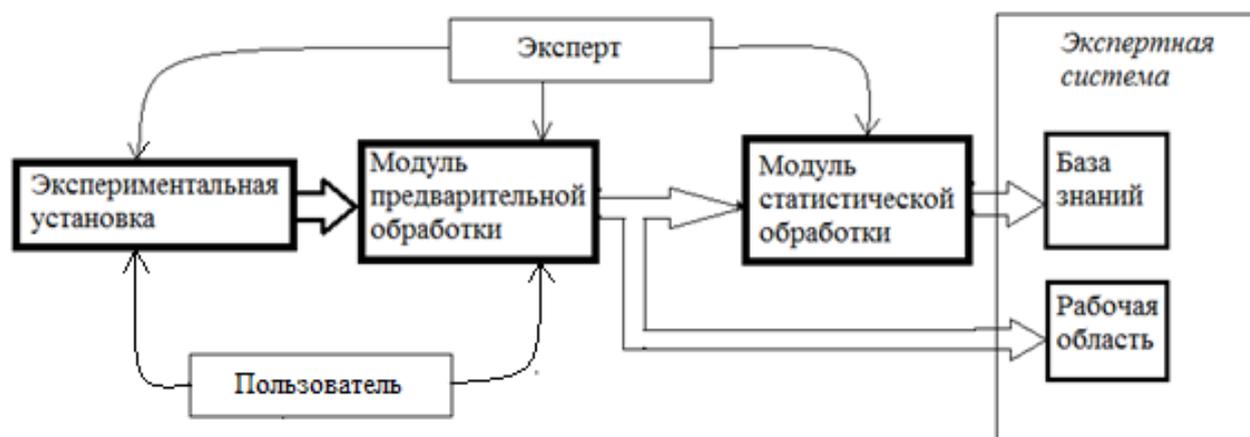


Рисунок 1 - Архитектура аппаратно-программного комплекса для формирования данных для экспертной системы

Комплекс состоит из экспериментальной установки для подготовки зёрен и исследования биоэлектрического сигнала, программного модуля для предварительной обработки результатов опытов и модуля статистической обработки, с помощью которого непосредственно производится формирование данных для базы знаний.

Основой разрабатываемой экспертной системы является различие биоэлектрических сигналов зерен с разной всхожестью по амплитудным и временным показателям. Для детализации этих показателей разработаны обобщенные формы биоэлектрических сигналов. Они указывают на

существенные отличительные признаки различных типов сигналов. Такой подход позволяет выделить определяющие параметры импульсов (узловые точки), которые могут идентифицировать каждый из биоэлектрических сигналов.

Кроме абсолютных амплитудных и временных показателей импульсов следует использовать и относительные, которые учитывают погрешности измерений, динамические параметры импульсов и отличие каждого отдельного образца.

Первичным звеном в аппаратно-программном комплексе является экспериментальная установка, предназначенная для получения данных о биоэлектрическом сигнале. Она представляет собой термокамеру и технические средства для проведения экспериментов.

Исследование биоэлектрических сигналов проходит в три этапа. Первый этап – предварительная подготовка зерна. Зёрна набухают в четырех поролоновых формах в течение 12 часов при заданной температуре 21°C в экспериментальной установке. Второй этап – измерение параметров биоэлектрических сигналов, которые получают с помощью платы сбора данных ЛА50-USB. Третий этап исследования биоэлектрических сигналов - анализ полученных данных, то есть программная обработка экспериментальных результатов в модуле предварительной обработки. В этом модуле полученные результаты подвергаются первичной обработке с целью удаления помех, устранения ошибок экспериментов, приведения сигналов к единой точке отсчета.

Успешно обработанные экспериментальные результаты подвергаются обработке в соответствии с обобщенной формой сигнала. Вычисляются абсолютные и относительные показатели на основании узловых точек, которых должно быть достаточно, чтобы достоверно характеризовать импульс. Такими показателями являются:

1. Значение начала сигнала.
2. Максимальное значение сигнала.
3. Амплитуда фронта импульса.
4. Длительность фронта импульса.
5. Значение окончания среза импульса.
6. Время окончания среза импульса.
7. Амплитуда среза импульса.
8. Длительность среза импульса.
9. Среднее значение реполяризации.

В третьей главе определены числовые значения показателей биоэлектрического сигнала и интервальные характеристики этих показателей. В ходе анализа полученных интервальных показателей, были зафиксированы области неопределённости. Описано программное обеспечение, реализованное в модуле статистической обработки. Также приведены экспертные оценки для всех показателей биоэлектрического сигнала зерна пшеницы.

Для определения показателей разных всхожестей были проведены серии экспериментов с зёрнами пшеницы мягких сортов всхожестью 88%, 89%, 90%, 92%, 95%, 97%, 98%, 99%, то есть использовались выборки с заранее известной всхожестью из филиала ФГУ "Россельхозцентр" по Алтайскому краю. Для всех всхожестей были найдены характерные параметры.

На рисунке 2 представлен пример усредненных значений и доверительных интервалов показателей биоэлектрического сигнала для зёрен с разной всхожестью.

Полученные усредненные значения 9 параметров биоэлектрических потенциалов и их доверительных интервалов можно разделить на три группы показателей: основные, качественные и показатели формы.

Основные показатели вносят наибольший вклад в процесс определения всхожести зерна.

Качественные показатели характеризуют степень достоверности проведения экспериментов.

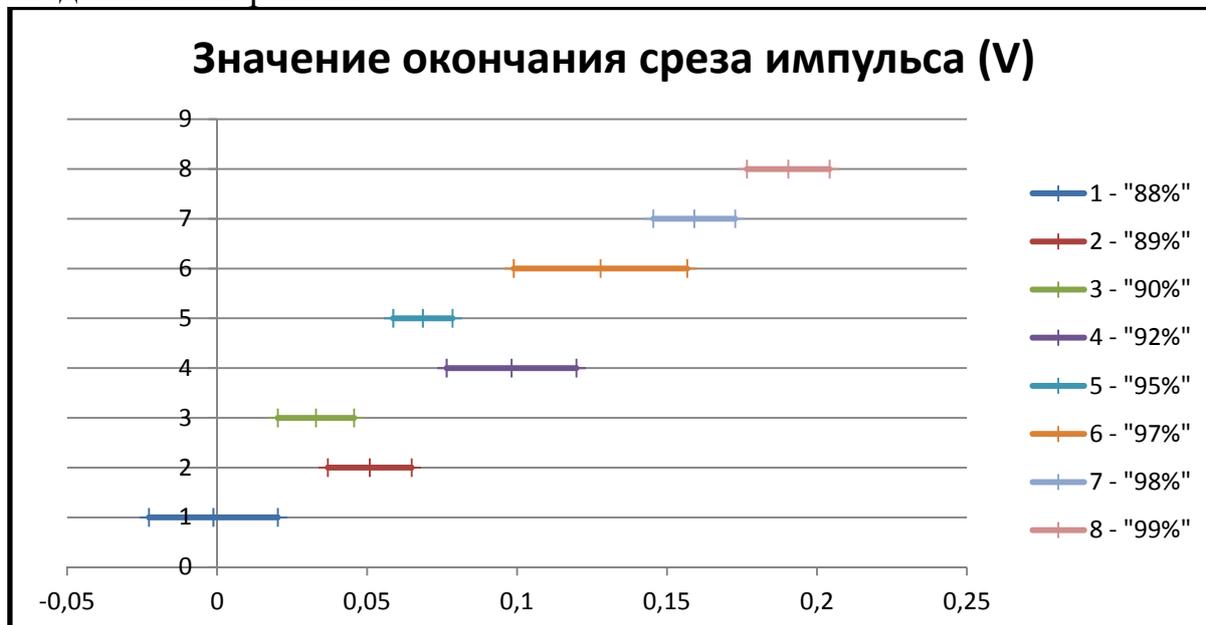


Рисунок 2 - Диаграмма усредненных значений окончания среза биоэлектрических сигналов и доверительных интервалов, измеряемых в вольтах, у зёрен с разной всхожестью для IV поролоновой формы

Показатели формы характеризуют изменение формы биоэлектрического потенциала в зависимости от изменения реакции зерна и могут служить отличительными признаками между отдельными показателями всхожести зерна.

Некоторые показатели присутствуют сразу в двух группах. Это свидетельствует о многофункциональности показателей, нечеткости исходных данных и подтверждает необходимость учета всех девяти выделенных параметров для определения показателя всхожести зерен.

Разная степень пересечения доверительных интервалов по различным показателям, различное назначение анализируемых показателей свидетельствуют о том, что необходимо учитывать степень влияния каждого

отдельного полученного показателя на результат оценки принадлежности исследуемого образца к определенной всхожести. Для этой цели необходимо иметь в базе знаний экспертные оценки значимости анализируемых показателей. Данные, которые участвуют в определении характерных показателей для базы знаний, обрабатываются программным модулем статистической обработки. Чтобы исключить попадание «нетипичных» экспериментальных данных в статистический модуль обработки для формирования прототипов образцов всхожести, необходимо обеспечить эксперту возможность удалять подобные данные из статистического анализа.

Для создания обоснованной и качественной базы знаний модуль предварительной обработки дополнен режимом экспертной оценки. С его помощью эксперт имеет возможность просмотреть все графики одновременно, оценить визуально их разброс, точно определить минимальные и максимальные значения амплитуды и времени каждой узловой точки и определить, к какому графику эти значения принадлежат. Дополнительно возможно оценить разброс положения усредненных и расчетных узловых точек и их доверительных интервалов. Используя перечисленные данные, эксперт, основываясь на своем опыте, может удалить любой предварительный результат (график) и пересчитать результаты, добиваясь повышения достоверности окончательных результатов. Удаление графиков, которые свидетельствуют об ошибках при проведении экспериментов и являются не типичными, позволяет повысить надёжность проводимой статистической обработки.

Для получения независимой объективной оценки влияния каждого из параметров на конечный результат была привлечена группа из 10 специалистов по обработке сигналов.

Таким образом, кроме параметров, характеризующих всхожесть зерен, в базу знаний заносятся показатели степени влияния на наблюдаемый результат каждого параметра.

В четвёртой главе даётся подробное описание алгоритмов решателя экспертной системы, работающей в двух режимах: экспресс-анализа и углубленного анализа, представлена реализация экспертной системы и показано практическое применение системы «Определение показателя всхожести зерна».

Принятие решения при определении всхожести зерна носит экспертный (субъективный) характер, свойственный задачам, решаемым в нечетких предметных областях. В подобных экспертных системах обычно применяется табличная логика, но в общем случае возможна более сложная логика, отражающая реальные взаимосвязи. При исследовании биоэлектрических сигналов зависимости показателей между собой в явном виде не наблюдалось. Поэтому наиболее подходящим методом принятия решения в исходных условиях является именно табличный метод. Табличный метод предполагает, во-первых, разработку алгоритмов создания и формализации параметров, описывающих биоэлектрические сигналы данной нечеткой предметной области. Во-вторых, в табличном методе должны быть отражены

формализованные алгоритмы отнесения исследуемой пробы зерна к определенному классу всхожести.

К решателю подключаются база знаний и рабочее поле. В рабочее поле из аппаратно-программного комплекса предварительной подготовки загружаются узловые параметры исследуемых графиков биоэлектрических сигналов. Таким образом, в рабочем поле находятся значения результатов из 4 поролоновых форм - 4 пробы. Каждая проба содержит 9 показателей для одного зерна, причем в пробе не менее 30 зерен.

Принятие решения возможно двумя способами: экспресс-анализ и углубленный анализ.

Диаграмма экспресс-анализа представлена на рисунке 3.

В режиме экспресс-анализа предварительно вычисляются выборочные средние для каждого из 9 показателей исследуемых проб и формируются усредненные наборы значений параметров по каждой пробе.

Для каждого усредненного значения параметра пробы проверяется гипотеза принадлежности к определенной всхожести (нулевая гипотеза). Если проверяемая величина попадает в доверительный интервал, нулевая гипотеза не отклоняется, поскольку исследуемый параметр не является необычным, и оценке достоверности нулевой гипотезы присваивается значение единицы. С другой стороны, если проверяемая величина не попадает в доверительный интервал, нулевая гипотеза отклоняется, поскольку исследуемый параметр является экстремальным, и оценке достоверности нулевой гипотезы присваивается значение нуля. По результатам проверки гипотез формируется оценка доверительной вероятности с учетом коэффициентов степени влияния (веса) отдельно по каждому классу всхожести. Таким образом, для каждой пробы формируется суммарный массив оценки всхожести.

По четырем пробам вычисляется в соответствии с теоремой Байеса вероятность по каждой всхожести.

Возможность предположения об условной независимости экспериментов отдельных проб друг от друга позволяет упростить правило Байеса.

По максимальному значению в итоговом массиве определяется доверительная вероятность принадлежности испытуемого зерна к определенной всхожести.

В качестве результата принимают всхожесть, у которой наблюдается максимальное значение итогового показателя доверительной вероятности.

Если результат неудовлетворительный, то при проведении анализа по четырем пробам пользователь (эксперт) может исключить из анализа любую из 4 проб и вычислить оценку показателя всхожести повторно.

Если результат, с точки зрения пользователя, неудовлетворительный и в этом случае, то пользователь может перейти к углубленному анализу.

В режиме экспресс-анализа пользователь имеет возможность просмотреть суммарные массивы оценок всхожести, оценки доверительной вероятности у каждой партии и проанализировать причину неудовлетворительного результата.

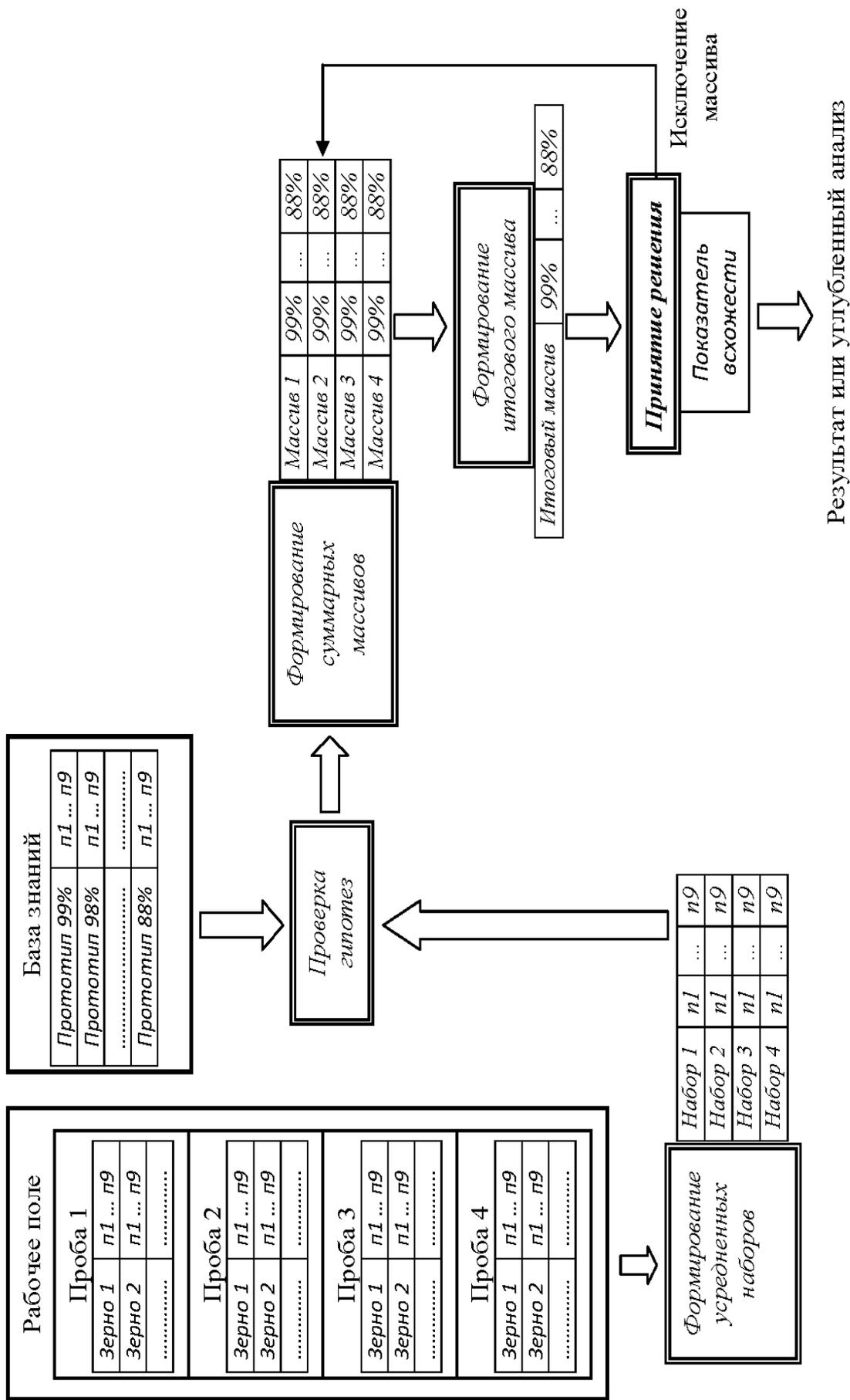


Рисунок 3 - Диаграмма экспресс-анализа

Основной особенностью углубленного анализа является анализ показателей по каждому образцу зерна проверяемой партии. Это позволяет выяснить причины неудовлетворительного результата при экспресс-анализе и в пределах допустимых ограничений провести необходимые действия для получения более достоверного результата. Диаграмма углубленного анализа представлена на рисунке 4.

Набор из девяти показателей каждого графика в каждой пробе сравнивается с прототипами из базы знаний - проверяются статистические гипотезы принадлежности ко всем классам всхожести (прототипам) из базы знаний с учетом весовых коэффициентов (степени влияния) и определяются оценки достоверной вероятности для каждого зерна по каждому классу всхожести (промежуточный массив).

По результатам оценивания гипотез для каждого образца (зерна) формируется промежуточный массив достоверных вероятностей принадлежности образца ко всем классам всхожести.

Суммарный массив пробы содержит значения математических ожиданий, полученных по всем промежуточным массивам отдельных образцов.

Затем, как и в экспресс-анализе, сформированные суммарные массивы для каждой из четырех проб подвергаются байесовскому оцениванию, и в результате формируется итоговый массив, представляющий собой обобщенные значения оценок принадлежности всех проб по каждому классу всхожести.

По максимальному значению показателя в итоговом массиве выбирается гипотеза с максимальным доверием, которая принимается как результат оценки принадлежности испытуемого зерна к определенному классу всхожести.

Если отличие предлагаемого решения незначительно по отношению к другим альтернативным гипотезам, то возможна оценка по трем пробам.

Если результат не удовлетворяет пользователя (эксперта), то он может посмотреть все промежуточные расчеты по отдельным партиям и удалить самые ненадежные результаты в количестве, определяемом ограничением стандартного нормального распределения. После этого следует провести анализ повторно.

Если и в этом случае результат не кажется пользователю (эксперту) надежным, то необходимо повторить эксперимент.

На основании разработанной методики реализована специализированная экспертная система «Определение показателя всхожести зерна».

Для проверки качества работы системы «Определение показателя всхожести зерна» использовались дополнительно полученные партии зерна урожая 2014 года. Эксплуатация системы показала, что экспресс-анализ дает хороший результат при качественном проведении эксперимента, когда нетипичных биоэлектрических сигналов практически не наблюдается. Это связано с тем, что при этом получают «кучные» сигналы, и экспресс-анализ уверенно дает правильный результат. При наличии искаженных сигналов наблюдается «размытый» результат, и определение показателя всхожести либо получается ошибочное, в пределах соседних всхожестей, либо определенная

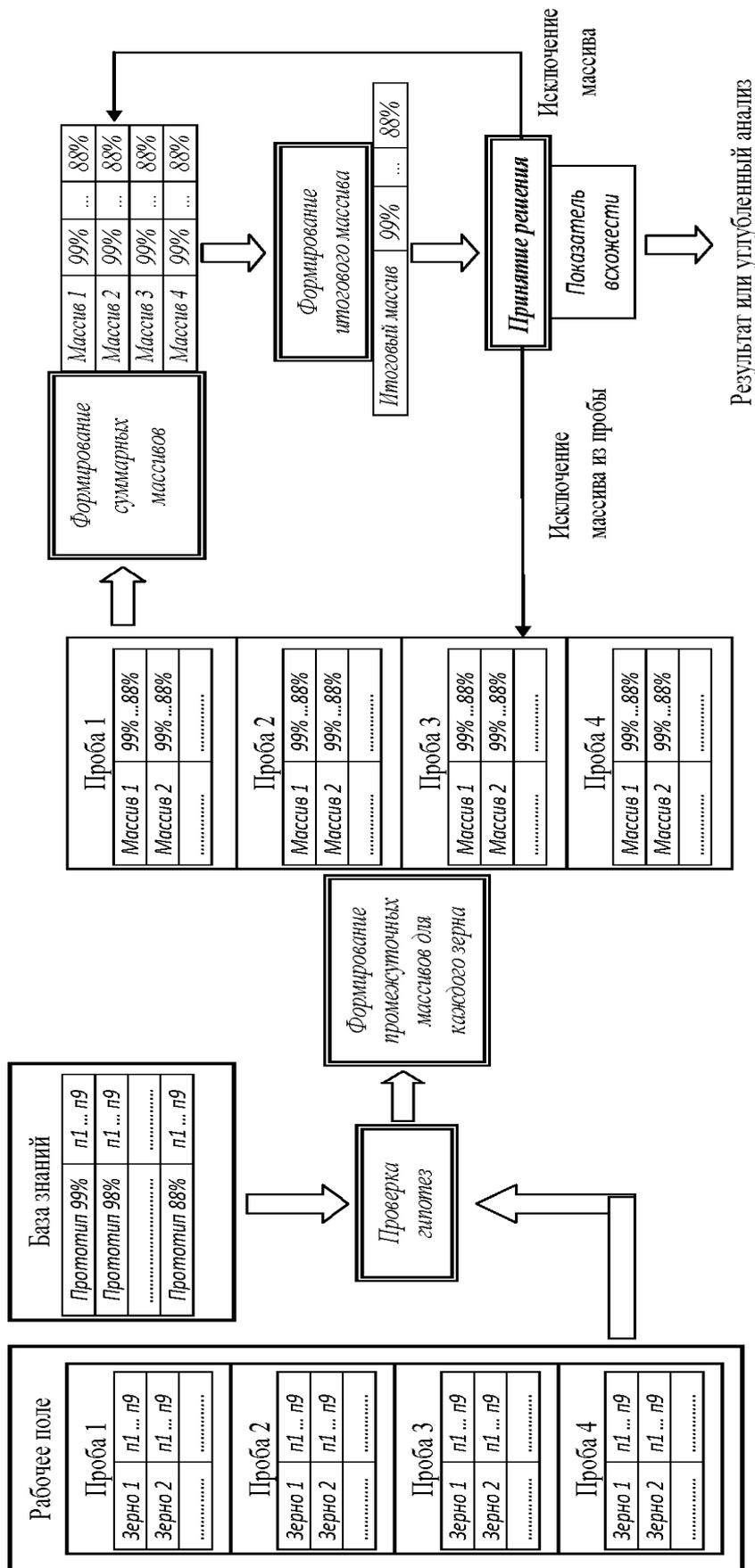


Рисунок 4 - Диаграмма углубленного анализа

доверительная вероятность незначительно отличается от соседних показателей всхожести. Использование углубленного (полного) анализа позволяет преодолеть подобные неопределенности. Это связано с возможностью исключения из анализа нетипичных сигналов. Но в этом случае основным ограничением является количество участвующих в анализе образцов (зерен). Исключение 1-2 образцов часто бывает недостаточно для получения «контрастного» результата. Типовое количество, которое влияет на результат - это 3-5 образцов. Другой положительный результат использования углубленного анализа заключается в ширине охвата возможных гипотез.

Примеры экспресс-анализа и углубленного анализа для одной и той же партии зерна показаны на рисунках 5 и 6.

Экс "Определение всхожести" | Режим: Экспресс | База: Base1 | Оценки:

Проба	88	89	90	92	95	97	98	99
Проба 1	0,1769	0,1121	0,4102	0,294	0,294	0,294	0,6496	0,7628
Проба 2	0,1121	0,1121	0,2981	0,0648	0	0,4061	0,4614	0,6496
Проба 3	0,1769	0,2242	0,1769	0,1769	0,1769	0,1769	0,1121	0,4636
Проба 4	0,1121	0,1121	0,1769	0	0	0	0,1212	0,6496
	0,00249...	0,00200...	0,02424...	0	0	0	0,02580...	0,945462449...

Лучший результат: 0.945462449... | Всхожесть: 99

Таблица успешно пересчитана.

Рисунок 5 – Экспресс-анализ тестовой партии

Экс "Определение показателя всхожести" | Режим: Полный | База: Base1 | Оценки:

Проба	88	89	90	92	95	97	98	99
Проба 1	0,4061	0,289	0,6433	0,294	0,294	0,41	0,6496	0,8788
Проба 2	0,1769	0,1769	0,4141	0,0648	0,1769	0,4061	0,8788	0,6496
Проба 3	0,1769	0,289	0,1769	0,289	0,1769	0,1769	0,2981	0,5848
Проба 4	0,1769	0,289	0,1769	0,289	0,1769	0,0648	0,186	0,6496
	0,00837...	0,01590...	0,03104...	0,00592...	0,00606...	0,00710...	0,11788...	0,807692638...

Лучший результат: 0.807692638... | Всхожесть: 99

Таблица успешно пересчитана.

Рисунок 6 – Углубленный анализ тестовой партии

В заключении сформулированы общие выводы и приведены результаты работы.

В приложении представлены документы, подтверждающие внедрение диссертационной работы: акт о внедрении результатов диссертационной работы, а также свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и свидетельство о регистрации базы данных.

Основные результаты и выводы.

В диссертационной работе представлено новое решение актуальной научной задачи автоматизации определения показателя всхожести зёрен пшеницы мягких сортов, которое позволяет значительно ускорить и повысить надёжность определения показателя всхожести сложного биологического объекта – зерна пшеницы.

1. На основании обзора литературы выполнен анализ существующих методов определения показателя всхожести зёрен пшеницы. Используемый стандартный метод определения всхожести ГОСТ–12038–84 является низкопроизводительным из-за длительного срока проведения. Методы, основанные на биохимических способах определения всхожести, имеют преимущество по времени определения всхожести, но являются более трудоёмкими. Наиболее эффективными с точки зрения производительности и трудоёмкости являются методы, основанные на анализе биоэлектрических сигналов.

2. В результате анализа биоэлектрических сигналов зерен были классифицированы формы сигналов, что позволило выделить наиболее информативные параметры импульсов (узловые точки) и определить условия их получения. Это позволило идентифицировать каждый из биоэлектрических сигналов.

3. В ходе экспериментов была выявлена самая информативная форма биоэлектрического сигнала зёрен пшеницы, полученная путем выдержки зерна в течение 12 часов в дистиллированной воде в экспериментальной установке и дальнейшего снятия сигнала стальным электродом. Наиболее информативной является форма, соответствующая потенциалу действия и переменному потенциалу. В результате исследований систематизированы и структурированы девять выявленных показателей биоэлектрического сигнала, из них 6 показателей вносят наибольший вклад в процесс определения всхожести зёрен; 4 показателя характеризуют степень достоверности проведения экспериментов (показатели могут входить более чем в одну группу). Для всех показателей получены экспертные оценки значимости этих показателей.

4. На основании разработанных алгоритма обработки экспериментальных данных и специального программного обеспечения получены числовые значения показателей биоэлектрического сигнала и их интервальные показатели для зёрен с разной всхожестью, что позволило разработать базу знаний для экспертной системы.

5. Разработаны алгоритмы и специальное программное обеспечение, реализующее экспертную систему для определения показателя всхожести. Экспертная система работает в двух режимах: экспресс-анализ и углублённый анализ. Экспресс-анализ применяется для первичной оценки экспериментальных данных. Углублённый анализ дает пользователю

возможность детально проанализировать проверяемые пробы и принять решение.

Разработанное программное обеспечение прошло апробацию в филиале ФГУ "Россельхозцентр" по Алтайскому краю. В дальнейшем планируется расширение базы знаний и настройка программного обеспечения с учётом поступления новых данных. Разработанная экспертная система является универсальной и может применяться для определения всхожести других зерен за счет переключения базы знаний и, если необходимо, таблицы оценок экспертов.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации.

Научные статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ:

1. **Лукоянычева, О.В.** Исследование электрических сигналов в зёрнах пшеницы с различной всхожестью и разработка рекомендаций по построению экспертной системы / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. - №1(111). – С. 109-114.

2. **Лукоянычева, О.В.** Модуль определения биоэлектрических сигналов зёрен пшеницы, обусловленных ошибками проведения эксперимента / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Ползуновский вестник. – 2014. – №2. – С. 47-50.

3. **Лукоянычева, О.В.** Автоматизация процесса определения показателя всхожести зерен пшеницы с использованием биоэлектрических сигналов / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Известия АГУ. – 2014. – № 1-2(81). – С. 108-113.

4. **Лукоянычева, О.В.** Экспертная система для определения показателя всхожести пшеницы/ О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Ползуновский вестник. – 2015. – №2. – С. 65-69.

Свидетельства регистрации интеллектуальной собственности:

5. **Лукоянычева, О.В.** Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ «Обработка биоэлектрических сигналов зёрен пшеницы» / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин. – №2014618149, 2014.

6. **Лукоянычева, О.В.** Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Параметры биоэлектрических сигналов зёрен» / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин. – №2015620622, 2015.

Публикации в других журналах, не вошедших в перечень журналов, рекомендованных ВАК, публикации в сборниках по материалам международных и всероссийских конференций:

7. **Лукоянычева, О.В.** Анализ измерения биоэлектрических потенциалов / О.В. Лукоянычева // Ползуновский альманах. – 2012. – №2. – С. 167–170.

8. **Лукоянычева, О.В.** Программно-аппаратный комплекс для исследования всхожести семян пшеницы / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Наука в центральной России. – Тамбов, 2013. – №2. – С. 30-35.

9. **Лукоянычева, О.В.** Исследование биоэлектрических потенциалов семян пшеницы для оценки их всхожести / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Сборник статей международной научно-практической конференции «Теоретические и практические вопросы развития научной мысли в современном мире» 27-28 февраля 2013. – Уфа, 2013. – С. 193-196.
10. **Лукоянычева, О.В.** Экспертная система для оценки всхожести семян пшеницы / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Материалы к седьмой Международной научно-теоретической конференции «Образование и наука в третьем тысячелетии». – Барнаул, 2013. – С. 98-99.
11. **Лукоянычева, О.В.** Использование измерения потенциала покоя для построения аппаратно-программного комплекса по определению всхожести зёрен пшеницы / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Технические науки – от теории к практике. – Новосибирск, 2013. – №10(23). – Часть 2. – С. 32-38.
12. **Лукоянычева, О.В.** Использование значений биоэлектрических потенциалов для построения аппаратно-программного комплекса определения всхожести зерна / О.В. Лукоянычева // Перспективы развития науки и образования. Часть IV. – М.: «АР-Консалт», 2013. – С. 50-53.
13. **Лукоянычева, О.В.** Исследование всхожести семян пшеницы с использованием биоэлектрических потенциалов / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Материалы V Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения». – Ульяновск, 2013. – Том I. – С. 46-49.
14. **Лукоянычева, О.В.** К вопросу создания эталонной базы экспертной системы для определения всхожести семян пшеницы / О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин // Ползуновский альманах. – 2013. – №1. – С. 139 – 141.
15. **Лукоянычева, О.В.** Ускорение определения всхожести семян пшеницы за счёт анализа биоэлектрического потенциала / О.В. Лукоянычева // IX Международная научно-практическая конференция «Аграрная наука – сельскому хозяйству». Сборник статей. – Барнаул, 2014. – Кн. 2. – С. 161 – 163.
16. **Lukoyanycheva, O.V.** Investigation of time parameters of bioelectrical signals of wheat grains for compilation of expert system knowledge / O.V. Lukoyanycheva, S.P. Pronin // Science and education. Materials of the V international research and practice conference. – Munich, Germany, 2014. – Vol. II. – P. 337 – 340.
17. **Лукоянычева, О.В.** Анализ биоэлектрических сигналов с целью формирования базы знаний для экспертной системы по определению показателя всхожести зёрен пшеницы / О.В. Лукоянычева // Ползуновский альманах. – 2014.– №1. – С. 97 – 99.
18. **Лукоянычева, О.В.** Экспресс-анализ определения показателя всхожести зёрен пшеницы на основе экспертной системы / О.В. Лукоянычева // Общественная научная организация "Наука и хозяйство". – Санкт-Петербург, 2015. - №3 (8) – С. 18-21.