

На правах рукописи



Матлаев Александр Геннадьевич

**МЕТОД И СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ ВСХОЖЕСТИ
СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПОТЕНЦИАЛА ДЕЙСТВИЯ**

Специальность: 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2009

Работа выполнена в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Пронин Сергей Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Горбова Галина Михайловна
кандидат физико-математических наук,
доцент Иордан Владимир Иванович

Ведущая организация: ФГОУ ВПО Алтайский государственный аграрный университет

Защита диссертации состоится 29 декабря 2009 г. в 12-00 на заседании диссертационного совета Д212.004.06 Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова по адресу: 656099, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Автореферат разослан 27 ноября 2009 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Д.Е. Кривобоков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Успешное развитие аграрного сектора российской экономики возможно лишь при поставке на рынок сельскохозяйственной продукции, отвечающей жестким мировым стандартам качества. Особенно актуальна задача повышения качества, например, выращенной пшеницы, стоит в тех регионах страны, где сельское хозяйство является одним из основных источников пополнения бюджета.

Работа над улучшением посевных качеств сельскохозяйственных культур ведется селекционерами. Но использование селекционных семян не дает гарантии хорошего урожая, так как в процессе сбора, хранения и транспортировки семена могут прийти в негодность. Для контроля посевных качеств семян лабораториями «Россельхозцентра» применяется метод, описанный в ГОСТ 12038–84. Этот метод, введенный в действие в 1986 году, обладает рядом существенных недостатков: трудоемкость, длительность проведения исследования, отсутствие автоматизации процесса. Существующий метод не может обеспечить требуемой скорости проведения анализа.

В настоящее время не существует альтернативных методов определения посевных качеств семян. Разработка методов и средств контроля, позволяющих с минимальными временными и материальными затратами проводить экспресс–анализ посевных качеств семян, является актуальной и практически значимой проблемой сельскохозяйственного производства.

Основываясь на результатах научных исследований и работ в области электротехнологии и учитывая хемозлектромагнитные процессы, происходящие на уровне биологических клеток, предлагается решение проблемы, связанной с контролем посевных качеств семян пшеницы, а именно всхожести, при минимальных временных и материальных затратах за счет разработки электрофизического метода и средства контроля всхожести, основанном на контроле потенциала действия зерна пшеницы.

Цель работы. Разработать метод и средство контроля всхожести семян пшеницы по изменению потенциала действия, которые позволяют повысить производительность лабораторного анализа.

Для достижения цели выделены **задачи**:

– провести аналитический обзор существующих методов и средств контроля всхожести семян пшеницы и выполнить анализ возможности применения потенциала действия в качестве параметра контроля;

– выделить отличительные признаки потенциала действия и на их основе разработать модель контроля всхожести семян пшеницы;

– создать экспериментальную установку и исследовать изменение потенциала действия от известной всхожести семян пшеницы. Установить значения отличительных признаков потенциала действия в зависимости от известной всхожести;

– разработать метод контроля всхожести семян пшеницы и дать техническое описание программно-аппаратному комплексу как средству контроля.

Объектом исследования является процесс изменения потенциала действия, характеризующий всхожесть семян пшеницы различных сортов.

Предметом исследования является разработка метода и средства контроля всхожести семян пшеницы по изменению потенциала действия.

Методы исследования. Для решения поставленных задач при выполнении работы использовались как теоретические, так и экспериментальные методы исследования. Теоретические исследования проводились путем математического моделирования и статистических методов обработки экспериментальных данных в программе MS Excel. Для экспериментальных исследований использовали метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

Научная новизна. В результате проведенных исследований разработан новый метод контроля всхожести семян пшеницы. Отличительной особенностью разработанного метода является использование в качестве

параметра контроля изменение потенциала действия в заданном временном интервале, который характеризует биологические свойства семян пшеницы. Экспериментально определено минимальное время подготовки семян к анализу на всхожесть. Выделены отличительные признаки изменения потенциала действия, характеризующие всхожесть семян пшеницы.

На защиту выносятся:

1. Модель контроля всхожести семян пшеницы.
2. Результаты экспериментальных исследований всхожести семян пшеницы.
3. Метод и средство контроля всхожести семян пшеницы по потенциалу действия.

Практическая значимость. Предложенный метод сокращает время контроля всхожести семян пшеницы на 7 – 10 суток, по сравнению с методом, используемым в настоящее время. Этот факт является особенно актуальным для контроля всхожести семян яровой пшеницы.

Аппаратно–программное средство контроля всхожести семян пшеницы легко может быть реализовано в любой лаборатории и имеет низкую себестоимость.

Исследованы семена пшеницы различных сортов на всхожесть и установлены отличительные признаки изменения потенциала действия.

Достоверность результатов обеспечена использованием зерен с известной всхожестью, теоретическими представлениями об изменении потенциала действия в биологических объектах, статистической обработкой и характера вытекающих из них зависимостей.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно–практических конференциях: науч.–практич. конф. «ИКИ», г. Барнаул, 2007 и 2008; науч.–практич. конф. «Виртуальные и интеллектуальные системы», г. Барнаул, 2007, 2008, 2009гг.; VII Всерос. науч.–практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Молодежь и современные информационные технологии», г. Томск, 2009; Междунар. науч.

конф. молодых ученых «Актуальные задачи современной науки», г. Красноярск, 2008; Всерос. науч.-практич. конф. С международным участием «Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе», г. Йошкар–Ола, 2009; VII региональная науч.-практич. конф. молодых ученых и специалистов СФО «Инновационный потенциал молодых ученых в развитии агропромышленного комплекса Сибири», г. Новосибирск, 2009; X Международная науч.-практич. конф. «Информационно-вычислительные технологии и их приложения», г. Пенза, 2009.

Публикации. По материалам исследований опубликованы 11 печатных работ. Из них 1 статья в журнале, входящем в Перечень ВАК, 3 статьи и 7 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 87 наименований и 3 приложений на 20 листах. Основной текст работы изложен на 91 странице машинописного текста и содержит 26 рисунков и 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, научная и практическая значимость полученных результатов, определены цели и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту. Приведена краткая характеристика работы.

В первой главе проведен обзор методов и средств контроля всхожести зерна пшеницы. Описана процедура подготовки к анализу на всхожесть. Выявлены недостатки существующих методов не позволяющие проводить высокоскоростной анализ всхожести семян пшеницы.

Проведен анализ возможности применения потенциала действия в качестве параметра контроля всхожести семян пшеницы. Сделан вывод о функциональной значимости потенциала действия у высших растений. В заключении главы сформулированы задачи диссертационных исследований, стоящие перед автором.

Во второй главе, основываясь на полученных экспериментальных данных такими учеными как Оприотов, Бос, Хоувинк, Умрат и других, а также на основании уравнения Нернста, разработана модель контроля всхожести семян пшеницы. Моделью контроля всхожести семян пшеницы является график генерации потенциала действия (ПД) на клеточной мембране.

На рисунке 1 показано изменение мембранного потенциала под действием внешнего раздражения.

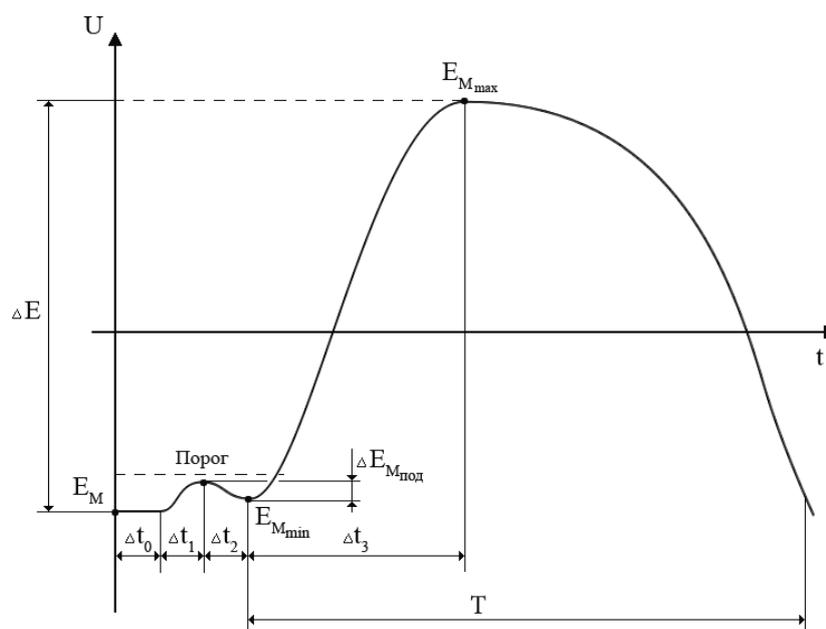


Рисунок 1 – Изменение потенциала действия под действием внешнего раздражения

Значение возникающего потенциала на мембране описывается формулой Нернста:

$$E_i = \frac{RT}{Z_i F} \cdot \ln \frac{C_{Bi}}{C_{Hi}}, \quad (1)$$

где E_i – разность потенциалов на клеточной мембране, F – число Фарадея, R – газовая постоянная, T – температура, C_{Hi} – концентрация ионов снаружи клетки, C_{Bi} – концентрация ионов внутри клетки, Z_i – валентность i -того иона.

Изменение ПД клеточной мембраны имеет ряд свойств, которые могут быть использованы в качестве отличительных признаков для контроля всхожести зерен пшеницы разработанным методом.

Когда клетка находится в невозбуждённом состоянии, ионы по разные стороны мембраны создают относительно стабильную разность потенциалов, называемую потенциалом покоя (ПП). На рисунке 1 ПП соответствует значение E_M на временном отрезке Δt_0 . Величины ПП у разных растений отличаются друг от друга. Применение внеклеточного метода измерения не позволяет зафиксировать значение ПП, так как в этом случае необходимо возбуждение мембраны для получения значения разности потенциалов на ней. То есть внеклеточный метод измерения способен регистрировать только ПД. Для генерации ПД достаточно непродолжительного неразрушающего раздражения. Возникновение ПД подчинено закону «все или ничего» и происходит в случае подпорогового раздражения. Подпороговому раздражению предшествует незначительное изменение ПП ($E_{M\text{под}}$) не приводящее к дальнейшему нарастанию разности концентраций ионов по обе стороны мембраны.

Дальнейший рост E_M в фазе деполяризации, сопровождающийся перераспределением ионов на мембране имеет два важных параметра: пик ($E_{M\text{max}}$) и время (Δt_0) фазы нарастания. У растений максимальные значения ПД и время нарастания отличаются. Так $E_{M\text{max}}$ у мимозы достигает 180 мВ, у росянки значение $E_{M\text{max}}$ равно 80 – 90 мВ, а у пестика лилии – 30 – 60 мВ. Отличие времени фазы нарастания у растений обусловлено участием ионов различных веществ обеспечивающих изменение разности потенциалов на мембране, создающих «быстрые» и «медленные» ионные токи.

Пройдя пик фазы деполяризации клетка стремится вернуться в свое первоначальное состояние. Ионный баланс на поверхности мембраны восстанавливается образуя фазу реполяризации.

В клетках высших растений длительность ПД (T) варьируется от 0,5 сек у насекомоядного растения венериной мухоловки до нескольких десятков секунд, и даже минут, у обычных высших растений: тыквы, люпина, подсолнечника. Учитывая длительность ПД у растений, а также тот факт, что используемый

метод регистрации ПД за счет того, что раздражителем является измерительный электрод-игла, оказывает постоянное возбуждающее воздействие на зерно, наблюдение фазы реполяризации, и как следствие измерение T не представляется возможным.

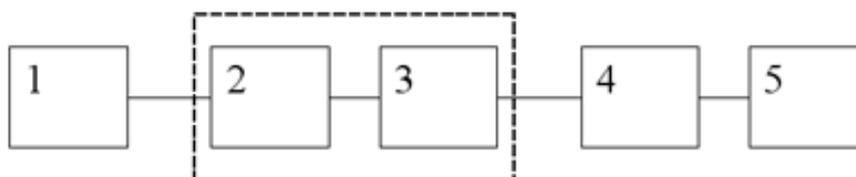
Получены шесть отличительных признаков изменения потенциала действия. К ним относятся: время и величина изменения подпорогового потенциала, начальное значение E_M при генерации ПД, значение $E_{M \max}$ в пике фазы деполяризации, время фазы деполяризации Δt_0 .

В третьей главе приведено описание экспериментальной установки и процесса подготовки зерен пшеницы к исследованиям. Показаны результаты экспериментальных исследований зерен пшеницы. Проведена оценка достоверности полученных экспериментальных данных.

Для проведения экспериментальных исследований применялся разработанный программно-аппаратный комплекс на основе платы сбора данных ЛА–50USB.

В состав экспериментальной установки входят (рисунок 2):

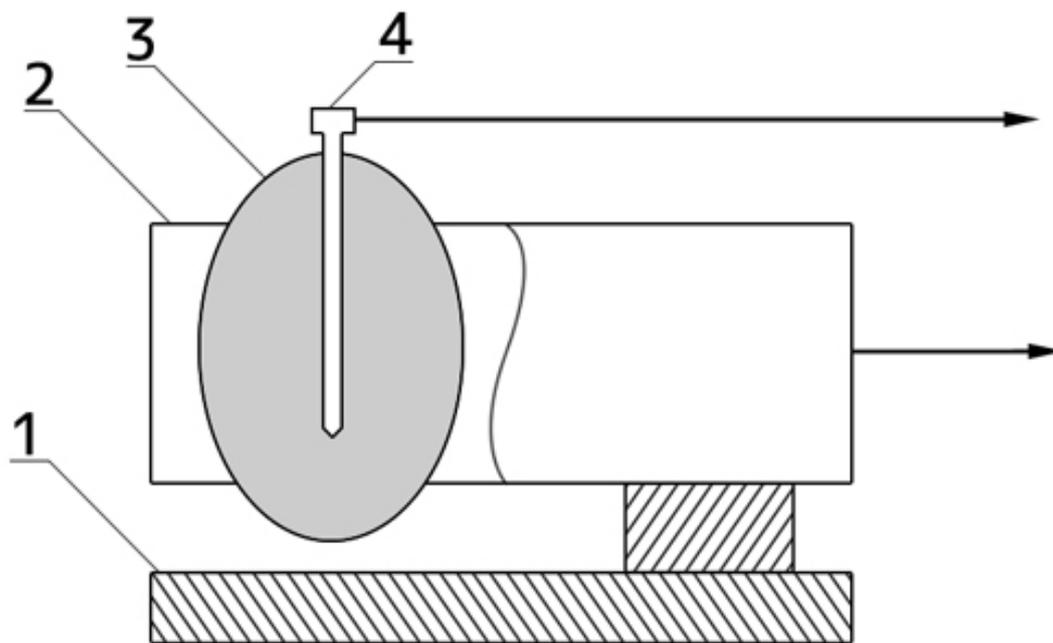
- блок усиления и фильтрации входного сигнала;
- плата сбора данных ЛА–50USB;
- измерительные электроды;
- программное обеспечение для управления режимом работы платы сбора данных, регистрации изменения потенциала действия зерна пшеницы и обработки полученных данных.



- 1 – держатель зерна с электродами; 2 – низкочастотный фильтр;
3 – операционный усилитель; 4 – плата сбора данных; 5 – персональный компьютер

Рисунок 2 – Структурная схема экспериментальной установки

Так как длина зерновки очень мала и составляет 6 – 9 мм, то расположить электроды на поверхности зерновки не представляется возможным. Для подключения зерна к измерительной установке разработаны специальные регистрирующие электроды. Первый электрод выполнен в виде зажима с углублениями на каждой из сторон для более плотного контакта с поверхностью зерна и закреплен на текстолитовой площадке. Этот электрод крепился к зерну снаружи. Помимо своей основной функции он выполняет функцию фиксатора зерна. Второй электрод выполнен в форме тонкой иглы, длиной 4 мм. Электрод помещался внутрь зерна, в одну из семядолей. Оба электрода выполнены из одинакового материала – стали. Схема держателя зерна с измерительными электродами представлена на рисунке 3.



1 – подставка; 2 – электрод-зажим; 3 – зерно; 4 – электрод-игла

Рисунок 3 – Держатель зерна с измерительными электродами

ГОСТ 12038-84 требует проведения ряда мероприятий по обработке свежееубранных и покоящихся семян для снятия состояния покоя. Применяли метод обработки семян, используемый при проведении анализа на жизнеспособность. Данный метод предписывает замачивать семена в воде в течение 15 – 18 ч (на ночь) при температуре 20°C, а свежееубранные семена –

при температуре 10 – 15°C в течение такого же времени. Экспериментально установлено, что время замачивания можно сократить до 12 часов, тем самым повысив производительность метода контроля всхожести семян пшеницы на стадии подготовки к проведению исследований.

Семена пшеницы замачивали в дистиллированной воде, исключая влияние всевозможных примесей, содержащихся в трубопроводной воде, на ионный состав зерна.

Установлено, что измеренные значения ПД имеют нормальное распределение. При этом значения дисперсий каждой из групп зерен пшеницы с различной всхожестью отличаются друг от друга. Оценка достоверности полученных данных проводилась с использованием доверительных интервалов и проверки гипотезы о разности двух математических ожиданий независимых случайных величин с разными неизвестными дисперсиями (двухвыборочный t-критерий для нормальных случайных величин с различными дисперсиями) с уровнем значимости $p = 0,05$.

При проверке гипотезы $H_0 = \bar{x}^* - \bar{y}^* = \delta$ о том, что разность между математическими ожиданиями \bar{x}^* и \bar{y}^* независимых нормальных случайных величин x и y с различными неизвестными дисперсиями S_x^2 и S_y^2 равна заданному числу δ , используется статистика Фишера–Бернеса

$$T = \frac{\bar{x}^* - \bar{y}^*}{\sqrt{\frac{S_x^2}{n} + \frac{S_y^2}{m}}}, \quad (2)$$

где \bar{x}^* и \bar{y}^* – выборочные оценки математических ожиданий нормальных случайных величин x и y , S_x^2 и S_y^2 – выборочные оценки дисперсий нормальных случайных величин x и y , δ – гипотетическое значение разности математических ожиданий случайных величин x и y , n и m – объемы выборок, по которым проверяется гипотеза H_0 .

Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Всхожесть	87% и 97%	97% и 93%	87% и 93%
T / tкр	3,5 / ±2,36	0,14 / ±2,09	3,45 / ±2,36
T / tкр	3,64 / ±2,3	3,78 / ±2,13	5,22 / ±2,2
T / tкр	-3,61 / ±2,36	-3,49 / ±2,14	7,07 / ±2,16
T / tкр	3,32 / ±2,29	0,04 / ±2,3	-4,17 / ±2,26
T / tкр	-2,41 / ±2,16	1,08 / ±2,26	-7,62 / ±2,3
T / tкр	-3,3 / ±2,36	2,24 / ±2,11	-4,58 / ±2,36
T / tкр	-3,27 / ±2,36	2,2 / ±2,1	-3,39 / ±2,36

Во всех контрольных точках результат сравнения средних значений ПД для зерен пшеницы с всхожестью 87% и 97%, 87% и 93% показал, что расхождение полученных значений значимо и не носит случайный характер. Таким образом разработанный метод с точностью 95% позволяет определить некондиционное и семенное зерно пшеницы по пограничному значению всхожести 91%, так как значения измеренного ПД у зерен пшеницы с 87% и 93%, 97% имели неслучайное отличие.

Отличительные признаки изменения ПД зерен пшеницы, характеризующие всхожесть, получили исследовав 4 сорта мягкой пшеницы урожая 2008 года с различными значениями всхожести. Сорта пшеницы, использовавшиеся в экспериментальных исследованиях и соответствующие им значения всхожести, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сорт пшеницы	Всхожесть, %
Алтайский янтарь	97
Алтайская 70	94
Алтайская 88	87
Омская 28	93

Исследования изменения ПД от всхожести проводили весной (март-апрель). Результаты измерений представлены на рисунках 4 – 7.

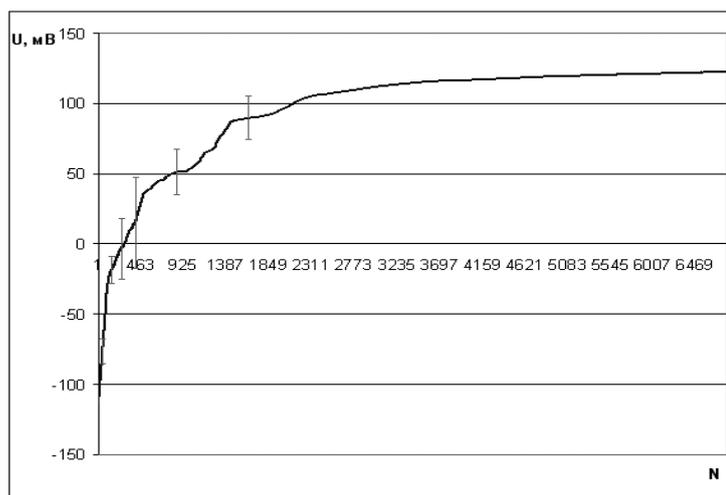


Рисунок 4 – Усредненное изменение ПД зерен пшеницы с всхожестью 87% за время 30 сек, 300 отсчетов соответствуют 1 сек

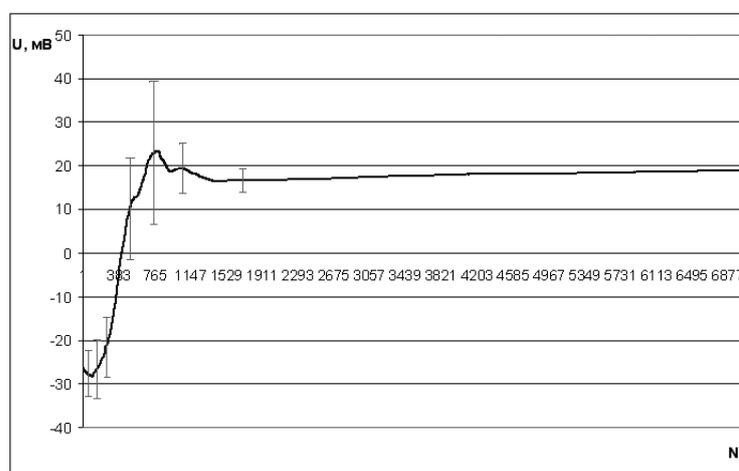


Рисунок 5 – Усредненное изменение ПД зерен пшеницы с всхожестью 97% за время 30 сек, 300 отсчетов соответствуют 1 сек

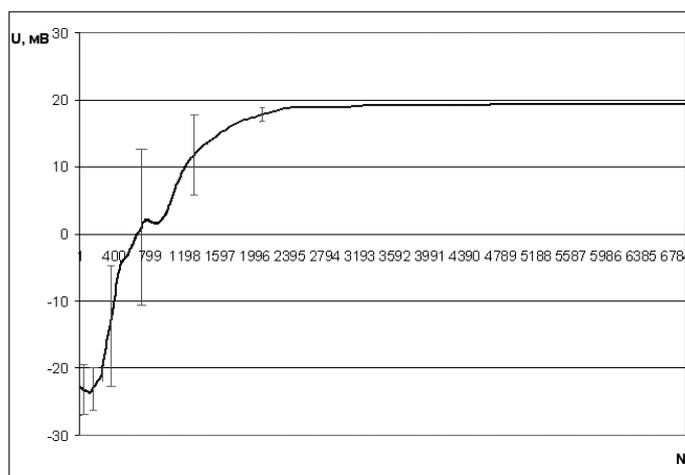


Рисунок 6 – Усредненное изменение ПД зерен пшеницы с всхожестью 94% за время 30 сек, 300 отсчетов соответствуют 1 сек

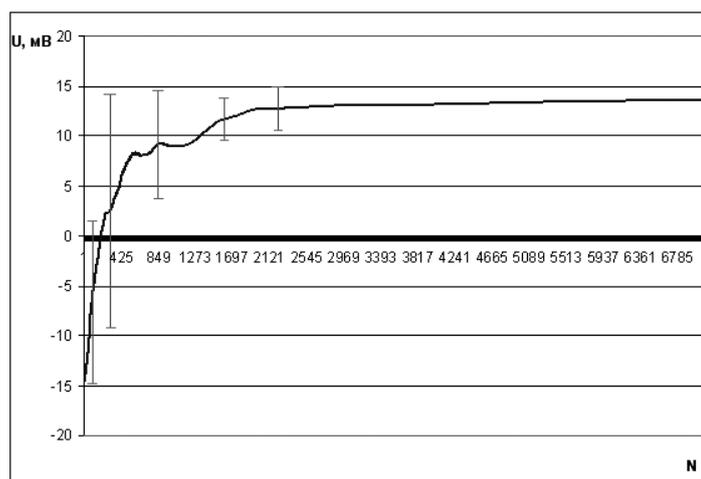


Рисунок 7 – Усредненное изменение ПД зерен пшеницы с всхожестью 93% за время 30 сек, 300 отсчетов соответствуют 1 сек

На экспериментальных графиках выделяются две характерные фазы изменения ПД: фаза деполяризации и неяркая фаза реполяризации. Первым и вторым отличительными признаками изменения ПД у зерен с всхожестью 97% и 94% являлись изменение подпорогового потенциала на 13 мВ и длительность фазы реполяризации подпорогового потенциала 1 – 1,5 сек. У зерен с всхожестью 87% и 93% этих признаков не было. Фазой деполяризации считается время, за которое ПД достигает максимального значения, после чего начинается уменьшение значения ПД (реполяризация). У зерен с всхожестью 97% фазы деполяризации и реполяризации ярко выражены и имеют классический вид. Длительность фазы деполяризации составляет 2,5 секунды. У зерен пшеницы с всхожестью 94% и 93% фаза деполяризации не носит явного характера, но при этом через 7 секунд наблюдается максимальное значение ПД. Так как эти значения всхожести близки к границе в 91%, перейдя которую семена считаются некондиционными, поэтому в исследуемых партиях присутствуют некондиционные зерна, у которых нарушен или отсутствует механизм саморегуляции мембранного ионного баланса. У некондиционных зерен пшеницы с всхожестью 87% пик роста напряжения приходился на 10 сек. измерения. Тенденции к снижению ПД за время 30 сек. у зерен с всхожестью 87%, 93% и 94% не наблюдалось. Зафиксированный рост напряжения

объясняется тем, что наряду с ПД в поврежденных клетках возникает переменный потенциал (ВП) обладающий, в сравнении с ПД, большей силой и длительностью.

Исходя из полученных данных третьим отличительным признаком ПД, характеризующим всхожесть зерна пшеницы, является наличие явной или неярко выраженной фазы деполяризации.

Четвертым отличительным признаком ПД у зерен с различной всхожестью является начальное измеренное значение ПД. У зерен с высокой всхожестью, то значение не ниже -30 мВ. У зерен пшеницы с всхожестью 97% – -28 мВ, у зерен с всхожестью 94% – -24 мВ и у зерен с всхожестью 93% – -15 мВ. У зерен пшеницы с всхожестью 87% начальное измеренное значение ПД равно -110 мВ.

Пятым отличительным признаком является максимальное значение ПД, полученное за время измерения равное 30 сек. Зерна пшеницы с высокой всхожестью (97%, 94% и 93%) имели максимальное значение ПД равным 15 – 25 мВ. Зерна пшеницы с низкой всхожестью имели максимальное значение ПД равное 125 мВ.

Величина ΔE между начальным и максимальными значениями ПД у зерен пшеницы с высоким значением всхожести равна 25 – 45 мВ, у зерен с низкой всхожестью 235 мВ.

Шестым отличительным признаком у партии зерен с 97% всхожести является падение значения ПД на временном отрезке от нуля до двух секунд на величину 13 мВ. В партии зерен с всхожестью 87% такого падения ПД не наблюдается.

Названные признаки контроля всхожести семян пшеницы сгруппированы и отражены в таблице 3.

Таблица 3

Всхожесть	97%	94%	93%	87%
Время фазы нарастания, сек	2,5	7	7	10

Таблица 3

Начальное значение ПД, мВ	-28	-24	-15	-110
Максимальное значение ПД, мВ	25	20	14	125
Время фазы реполяризации подпорогового потенциала, сек	1	1,5	–	–
Изменение подпорогового потенциала, мВ	13,5	13	–	–
Диапазон нарастания ПД, мВ	53	45	28	235

В результате экспериментов выделены четыре параметра ПД, по которым можно охарактеризовать всхожесть зерна пшеницы. К ним относятся: наличие фазы деполяризации и ее продолжительность, начальное и максимальное значения ПД, наличие падения напряжения в первые две секунды измерений.

В четвертой главе описан разработанный метод контроля всхожести семян пшеницы по изменению потенциала действия. Контроль всхожести семян пшеницы по изменению потенциала действия зерна осуществляется при помощи разработанного средства измерения, включающего в себя измерительные электроды, блок предварительного усиления и фильтрации входного сигнала, плату сбора данных и ПК (см. рис.2 и рис.3). Метод разработан в соответствии с теорией мембранного потенциала и действующих ГОСТов, устанавливающих сроки и условия подготовки семян к исследованиям, а также условия проведения исследований на всхожесть.

Разработанный метод определения всхожести по изменению ПД включает в себя три этапа: подготовка семян пшеницы к проведению исследований,

измерение ПД семян пшеницы, обработка полученных данных с применением статистических методов анализа.

Отличительными признаками изменения ПД являются:

1. Длительность фазы нарастания.
2. Начальное значение потенциала действия.
3. Максимальное значение потенциала действия.
4. Диапазон нарастания потенциала действия.
5. Длительность подпорогового потенциала.
6. Величина изменения подпорогового потенциала.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. На основе обзора литературы выявлено, что проращивание семян пшеницы является основным методом контроля всхожести. Из-за длительных сроков подготовки и проведения анализа на всхожесть существующий метод является низкопроизводительным. Для повышения производительности лабораторного анализа всхожести семян пшеницы предложен метод контроля по изменению потенциала действия.

2. Разработана графическая модель контроля, в которой выделены шесть основных признаков, характеризующих всхожесть семян пшеницы. К ним относятся время изменения подпорогового потенциала, минимальное и максимальное значения потенциала действия, время и диапазон нарастания потенциала действия.

3. Разработан программно-аппаратный комплекс для исследования изменения потенциала действия семян пшеницы в зависимости от их всхожести. Экспериментально установлены значения отличительных признаков потенциала действия при различной всхожести. При всхожести свыше 91% длительность подпорогового потенциала составляет $\Delta t_0 = 2\text{с}$ при изменении подпорогового потенциала $\Delta E_{M\text{ под}} = 13 \pm 5\text{мВ}$. Длительность фазы нарастания $\Delta t_1 = 2,5\text{с}$ с минимальным и максимальным значениями

потенциала действия: $\Delta E_{M_{\min}} = -(28 \pm 5) \text{ мВ}$ и $\Delta E_{M_{\max}} = (25 \pm 15) \text{ мВ}$. Диапазон нарастания потенциала действия составляет $\Delta E = (53 \pm 10) \text{ мВ}$. При всхожести менее 91% подпороговый потенциал отсутствует. Длительность фазы нарастания $\Delta t_1 = 10 \text{ с}$ с минимальным и максимальным значениями потенциала действия: $\Delta E_{M_{\min}} = -(110 \pm 5) \text{ мВ}$ и $\Delta E_{M_{\max}} = (125 \pm 7) \text{ мВ}$. Диапазон нарастания потенциала действия составляет $\Delta E = (235 \pm 15) \text{ мВ}$.

4. На основе полученных экспериментальных данных разработан новый метод и средство контроля всхожести семян пшеницы по изменению потенциала действия. Метод отличается высокой производительностью по сравнению с существующими и принят к внедрению в ФГУП «Россельхозцентр».

Основные результаты работы отражены в следующих публикациях:

1. **Матлаев А.Г.** Применение виртуальной системы для исследования изменения электропроводности зерна пшеницы / Пронин С.П., Хомутов О.И., Матлаев А.Г., Солодова И.А. // Ползуновский альманах. – 2007. – №3. – С. 80.

2. **Матлаев А.Г.** Исследование изменения сопротивления зерна пшеницы при набухании в солевой и бессолевой водных средах / Пронин С.П., Матлаев А.Г. // Научно-практическая конференция «ИКИ», г. Барнаул, 2008. – С. 159–162.

3. **Матлаев А.Г.** Контроль качества зерна пшеницы по потенциалу покоя / Матлаев А.Г., Пронин С.П. // Ползуновский альманах. – 2008. – №2. – С. 110–111.

4. **Матлаев А.Г.** Зависимость изменения потенциала действия зерна пшеницы от всхожести / Матлаев А.Г., Пронин С.П. // Ползуновский альманах. – 2009. – №2. – С. 138–140.

5. **Матлаев А.Г.** Получение информации о качестве зерна пшеницы по нернстовскому потенциалу // VII Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Молодежь и современные информационные технологии»: Тез. докл. Томск, 2009 – С. 299–300.

6. **Матлаев А.Г.** Метод контроля всхожести зерна пшеницы по нернстовскому потенциалу // Международная научная конференция молодых ученых «Актуальные задачи современной науки»»: Тез. докл. Красноярск, 2009 – С. 20–22.

7. **Матлаев А.Г.** Средство измерения потенциала действия зерна пшеницы / Матлаев А.Г., Пронин С.П. // Всероссийская научно–практическая конференция с международным участием «Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе»»: Тез. докл. Йошкар–Ола, 2009. – С. 141–142.

8. **Матлаев А.Г.** Потенциал действия как параметр контроля всхожести зерна пшеницы / Матлаев А.Г., Пронин С.П. // X Международная научно-техническая конференция «Информационно-вычислительные технологии и их приложения»»: Тез. докл. Пенза, 2009. – С. 179–181.

9. **Матлаев А.Г.** Амплитудно-частотная характеристика зерна пшеницы / Пронин С.П., Матлаев А.Г., Солодова И.А., Сидорова Е.В. // Научно-практическая конференция «ИКИ», г. Барнаул, 2007. – С. 65.

10. **Матлаев А.Г.** Потенциал действия как параметр контроля всхожести зерна пшеницы / Матлаев А.Г., Пронин С.П. // VII региональная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов СФО «Инновационный потенциал молодых ученых в развитии агропромышленного комплекса Сибири»»: Тез. докл. Новосибирск, 2009. – С. 134–136.

11. **Матлаев А.Г.** Контроль всхожести семян пшеницы по параметрам потенциала действия / Матлаев А.Г., Пронин С.П. // Естественные и технические науки (издание, входящее в перечень ВАК), Москва, 2009. – С. 305–308.