

## Автоматизация процесса определения показателя всхожести зерен пшеницы с использованием биоэлектрических сигналов

*О.В. Лукоянычева, С.П. Пронин*

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (Барнаул, Россия)

## Process Automation of Wheat Seeds Germination Evaluation Based on Bioelectric Signals

*O.V. Lukoyanycheva, S.P. Pronin*

Polzunov Altai State Technical University (Barnaul, Russia)

Рассматривается вопрос автоматизации процесса определения показателя всхожести для зерен пшеницы с использованием биоэлектрических сигналов. Описаны методика и программное обеспечение, которое позволяет получить базу образцов всхожести зерен и в дальнейшем использовать ее для определения всхожести экспериментальных проб. Процесс обработки экспериментальных данных начинается с низкочастотной фильтрации посредством алгоритма скользящего среднего, после чего производится отбор бракованных экспериментальных данных. Далее следует приведение всех экспериментов к единой точке фиксации, а именно к началу биоэлектрического импульса, и расчет усредненного значения параметров и доверительных точек. Для оценки соответствия выборки зерен с неизвестной всхожестью базовыми значениями были выбраны следующие параметры: амплитуда переднего фронта импульса и его длительность; амплитуда спада импульса и длительность спада импульса; амплитуда начального значения импульса; усредненное значение амплитуды фазы реполяризации. Сравнение данных параметров и формирование итоговых показателей позволяют определить всхожесть зерна. Разработанное программное обеспечение и методика проведения анализа позволяют создать базу образцов всхожести зерен и в полуавтоматическом режиме проводить идентификацию опытных образцов.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, биоэлектрические сигналы, низкочастотная фильтрация, сельскохозяйственные культуры, зерна пшеницы, показатель всхожести.

In this paper, the problem of process automation of wheat seeds germination evaluation based on bioelectric signals is investigated. A technique is proposed, and software for obtaining the database of grain germination samples for possible use in further experiments is presented. Experimental data processing starts with low-frequency filtration performed by a moving average algorithm with further exclusion of all the rejected data. The processing is followed by reduction of the rest data to point with the lowest bioelectric impulse and calculation of parameters mean values and confidence intervals. Evaluation of grain samples with unknown germination is performed with the following parameters: the amplitude of the pulse leading edge and its length, the amplitude of the pulse trailing edge and its length, the amplitude of the pulse initial value, and the amplitude mean value at the phase of repolarization. Comparison of the given parameters and production of resulting indices allows the grain germination to be evaluated. The proposed technique and software allows the database of grain germination samples to be obtained and semi-automatic samples identification to be performed.

**Key words:** software, bioelectric signal, low-frequency filtration, agricultural crops, wheat seeds, wheat seeds germination.

Урожайность сельскохозяйственных культур во многом определяется показателем всхожести семян. Данный показатель проверяется контрольно-семенными лабораториями многократно, начиная с момента уборки урожая, в процессе сушки и хранения зерна, а также непосредственно перед посевом. В соответствии с ГОСТ-12038-84 всхожесть семян определяется методом проращивания на лотках. Оценку и учет проросших семян при определении всхожести проводят через 7–8 суток, и на текущий момент это единственный гостированный способ. Для Алтайского края наиболее актуально исследование злаковых культур, и особенно пшеницы.

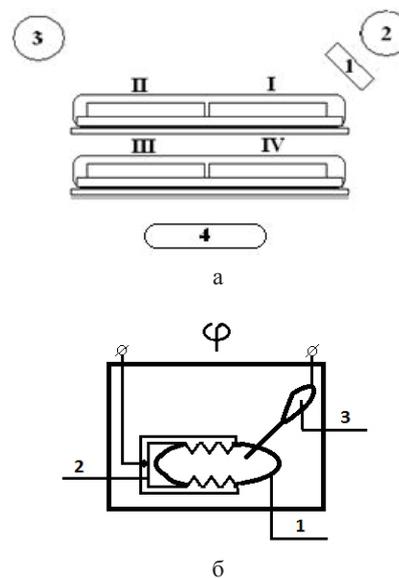
Как известно, всем живым организмам, и растениям в частности, присуще наличие биоэлектрического потенциала [1, с. 154]. Использование этого показателя для определения всхожести семян может значительно сократить время анализа и уменьшить риск закладки на хранение и риск посева низкокачественных семян. В настоящее время существует экспериментальная установка для определения показателя всхожести с использованием биоэлектрических сигналов зерен пшеницы [2, с. 204-205]. Однако обработку данных на ней оператор производит в ручном режиме [3, с. 167].

Целью работы является разработка методики и программного обеспечения по обработке экспериментальных результатов для принятия решения о показателе всхожести зерен пшеницы. В соответствии с предложенной методикой сначала производится первичная обработка экспериментальных результатов, выделение и расчет параметров узловых точек биоэлектрического сигнала, используемых для анализа. На основе гостированных проб производится создание базы образцов всхожести семян пшеницы. Затем на основе собранной базы образцов производится анализ опытных партий, сравнение значений параметров узловых точек с базовыми образцами и определение значения достоверности результатов. По итогам обработки и результатам анализа производится принятие решения о всхожести исследуемых экспериментальных партий семян.

Ход исследований состоит из нескольких этапов. Первый этап — предварительная подготовка зерна. Зерна помещают в ячейки поролиновых форм, которые ставят в пластмассовые лотки по две формы в лоток и заливают дистиллированной водой. Лотки помещают в полиэтиленовые пакеты, для того чтобы предотвратить выпаривание воды. Далее зерна набухают в течение 12 часов при заданной температуре 21°C в экспериментальной термоустановке. Структурная схема установки представлена на рисунке 1(а).

Второй этап — измерение параметров биоэлектрических сигналов, которые получают с помощью платы сбора данных LA50-USB. Сначала каждое зерно (1) захватывают электродом-фиксатором (2),

после чего оболочку зерна прокалывают электродом-иглой (3) на третьей секунде от начала записи сигнала на ПК. В проведенной серии экспериментов использовали электрод со стальной иглой.



а) I, II, III, IV — поролиновые формы с ячейками для 40 зерен; 1 — нагревающий элемент; 2, 3 — вентиляторы; 4 — устройство для измерения параметров биоэлектрического сигнала;  
б) 1 — зерно пшеницы, 2 — электрод-фиксатор, 3 — электрод-игла

Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки: а — структурная схема термокамеры; б — структурная схема устройства для измерения параметров биоэлектрического сигнала

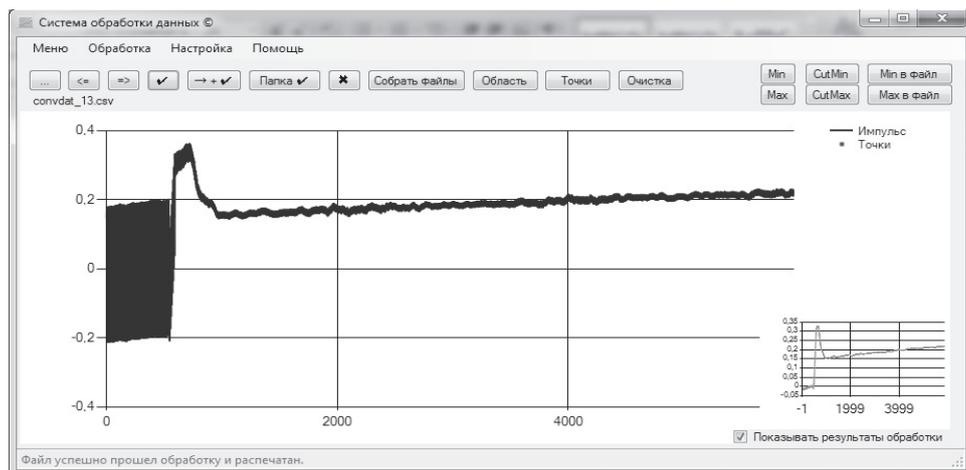
Третий этап — анализ полученных данных.

На текущий момент анализ данных осуществляется в полуавтоматическом режиме с помощью специализированного программного обеспечения. Данное программное обеспечение разработано в среде Microsoft Visual Studio 2010 и позволяет производить низкочастотную фильтрацию, находить точки экстремума (в том числе и локальные), отображать доверительные интервалы, выгружать обработанные данные в документы формата .csv.

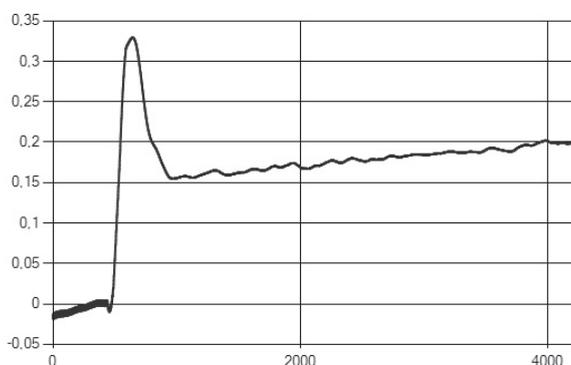
Экспериментальные данные подвергаются низкочастотной фильтрации посредством алгоритма скользящего среднего (рис. 2).

При этом производится отбраковка неудовлетворительных результатов, обусловленных неудачным проведением эксперимента (замыкание электродов в процессе прокалывания), а также самим зерном (сколами зерна и прочими механическими повреждениями).

После этого первично обработанные данные подвергаются вторичной обработке, т.е. приводятся к единому моменту (к единой точке) начала измерения импульса. Таким образом исключаются погрешности начала

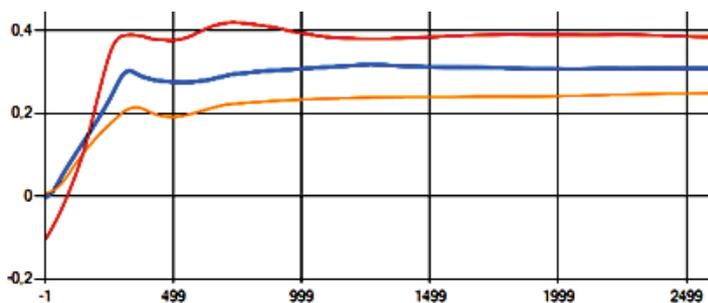


а



б

Рис. 2. Фильтрация экспериментальных данных: а — до фильтрации; б — после фильтрации



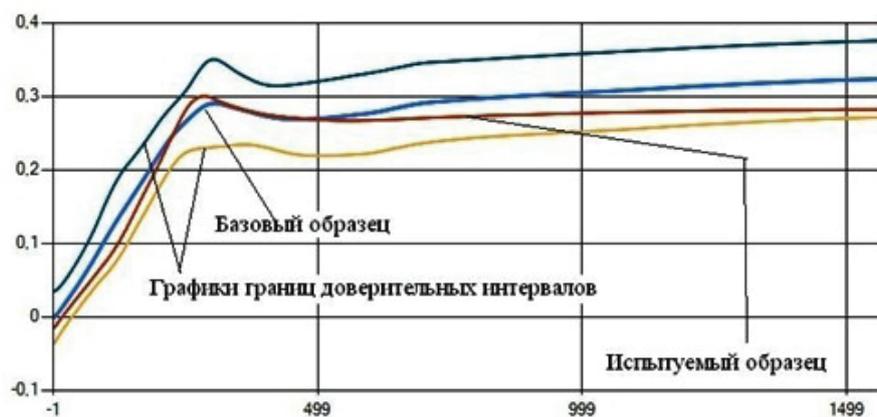
По горизонтальной оси — время в отсчетах (300 отсчетов соответствуют 1 секунде), по вертикальной оси — напряжение в вольтах

Рис. 3. Усредненные графики биоэлектрических сигналов зерен всхожести 99, 97 и 93%

записи биоэлектрических сигналов, обусловленные реакцией экспериментатора. За такую точку принимается начало биоэлектрического сигнала. Для этого определяется передний фронт импульса (по максимальному изменению амплитуды сигнала). Нормализованные данные используются для формирования усредненного значения по всем экспериментам и, если необходимо, рассчитывается доверительный интервал.

Данное программное обеспечение может использоваться для создания базы образцов на основании экс-

периментов с зернами с заранее известной всхожестью (их всхожесть определена в соответствии с ГОСТ). Полученные усредненные экспериментальные графики сохраняются вместе с доверительными интервалами. Уровень значимости  $\alpha$  для всех расчетов следующий:  $\alpha = 0,05$ . Образцовые экспериментальные данные для разной всхожести имеют существенные отличия друг от друга (рис. 3). Это свидетельствует о том, что они могут быть использованы для получения показателя и идентификации всхожести зерен.



По горизонтальной оси – время в отсчетах (300 отсчетов соответствуют 1 секунде), по вертикальной оси – напряжение в милливольтах

Рис. 4. Базовый усредненный график зерен всхожести 97% с графиками границ доверительных интервалов и график испытуемого образца

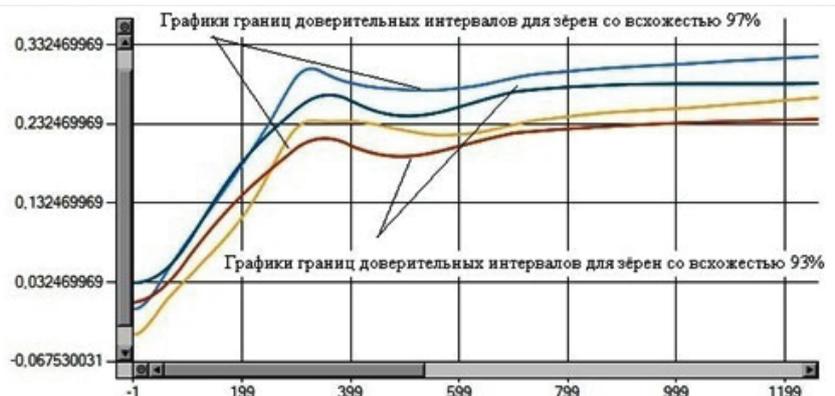


Рис. 5. Базовые усредненные графики зерен всхожести 97 и 93% с доверительными интервалами

Как следует из рисунка 3, наибольшее отклонение изменения биоэлектрического сигнала происходит в фазе нарастания сигнала (от 0 до 350 отсчета) и в начале фазы спада биоэлектрического сигнала (350–1000 отсчет). Сравнение и анализ усредненных графиков испытуемого образца с базовым образцом (рис. 4) показывает, что подход, основанный на сравнении графиков при создании автоматизированной системы, является избыточным. Сигнал реполяризации от 1000-го отсчета не несет большой информативности.

Это объясняется тем, что при программном анализе результатов по расстоянию от исследуемого графика до эталонной кривой или по попаданию исследуемого графика в доверительную область, основной вклад в принятие решения будет принадлежать фазе реполяризации, когда наиболее информативная часть (фаза нарастания сигнала и начало фазы реполяризации) окончилась. Поэтому при автоматизации принятия решения надо увеличить вес анализа импульса

во временном интервале от 0 до 1000 отсчетов. Кроме того, при создании базы образцов оказалось, что частично доверительные интервалы зерен с разной всхожестью перекрываются (рис. 5), а это также свидетельствует о том, что при автоматизации принятия решения за счет большего вклада фазы реполяризации ответ системы может быть недостоверным. Для программного принятия решения необходимо уменьшить вклад фазы реполяризации.

Для оценки принадлежности выборки к одному из эталонных значений были выбраны следующие параметры (рис. 6):

- 1 — амплитуда переднего фронта импульса и его длительность;
- 2 — амплитуда спада импульса и длительность спада импульса;
- 3 — амплитуда начального значения импульса;
- 4 — усредненное значение амплитуды фазы реполяризации.

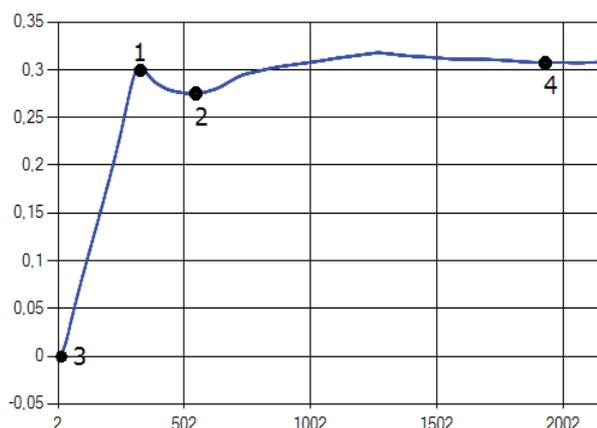


Рис. 6. Контролируемые параметры биоэлектрического импульса

Усредненное значение положения пика (1) и спада (2) импульса определяется по всей выборке. Относительно этих значений рассчитываются доверительные интервалы по амплитуде и по времени. Полученные усредненные значения могут быть несколько сдвинуты по сравнению с пиком и спадом импульса на усредненном графике сигнала (рис. 7).

Для оценки окончания сигнала берется значение из фазы реполяризации, т.е. между 3-й и 4-й секундой (тысячный временной отсчет).

Таким образом, для анализа всхожести зерна используются значения положения четырех точек биоэлектрического сигнала. Попадание усредненных зна-

чений выборки в доверительные интервалы базовых образцов является основанием для принятия решения.

Если проверяемые параметры испытуемого образца не полностью соответствуют доверительным интервалам базового образца (рис. 7), то по данному параметру проверяется возможность принадлежности его к другим базовым образцам всхожести.

В проверке участвуют базовые образцы, которые удовлетворяют правилу «трех сигм». Для них определяются значения квантилей стандартного нормального закона распределения, которые характеризуют уровень доверительной вероятности принадлежности испытуемого показателя к проверяемой базовой всхожести.

По таблице соответствия значений квантилей и интеграла функции стандартного нормального распределения можно определить доверительную вероятность. Для рассматриваемого примера (рис. 7) доверительная вероятность составляет 0,9756.

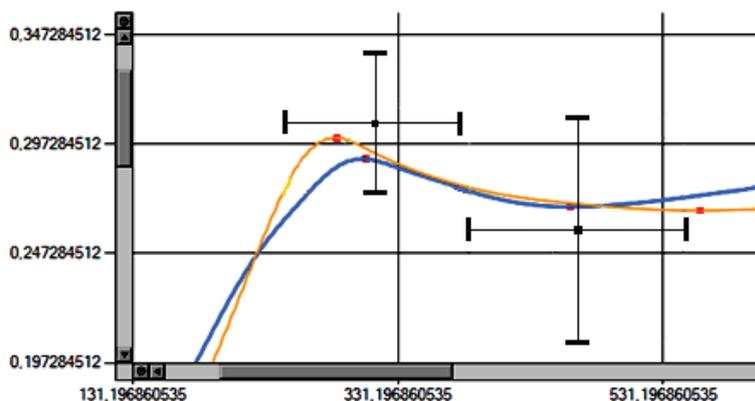
Если уровень значимости при проверке принадлежности к другой всхожести более высокий, то в этом случае проверяются все исследуемые параметры.

По найденным квантилям стандартного нормального распределения рассчитываются взвешенные коэффициенты оценки исследуемых параметров (табл.). При этом если значение попадает в доверительный интервал, то значение оценки равно единице. По полученным оценкам формируется итоговая суммарная оценка соответствия исследуемого образца определенной всхожести зерна. Весовые коэффициенты принимаются равными.

Таблица

Оценки значений параметров исследуемого образца (рис. 4)

Измеряемый показатель	Оценка достоверности попадания в доверительные значения для зерен пшеницы со всхожестью 97%						
	точка 1 амплитуда	точка 2 амплитуда	точка 2 время	точка 3 амплитуда	точка 3 время	точка 4 амплитуда	итог суммарная
Оценка	1	1	1	1	0,852	1	0,975



Начало импульса  
 Доверительные границы базового образца 97% — 0,03637 и 0,03451  
 Испытуемый образец — 0,015226513  
 Конец импульса  
 Доверительные границы базового образца 97% — 0,28024 и 0,36424  
 Испытуемый образец — 0,28194

Рис. 7. Базовое усредненное значение всхожести — 97%

Окончательное решение о показателе всхожести принимается после анализа четырех проб. Значение показателя всхожести принимается как среднеарифметическое значение между ними в соответствии с ГОСТ 12038-84.

Таким образом, разработанное программное обеспечение позволяет создать базу образцовых биоэлектрических сигналов для зерен пшеницы с разной

всхожестью, сохранить усредненные графики, значения узловых точек с доверительными интервалами, обрабатывать экспериментальные данные сигналов зерен пшеницы с неизвестной всхожестью и проводить сравнение с сигналами базовых образцов. Предложенная методика и программное обеспечение являются основой для создания автоматизированной системы по определению всхожести семян пшеницы.

### **Библиографический список**

1. Пятюгин С.С. Распространяющиеся электрические сигналы в растениях // Цитология. — 2008. — Т. 50.
2. Пронин С.П., Зрюмова А.Г. и др. Исследование изменения потенциала действия зерна пшеницы // Ползуновский альманах. — 2010. — № 2.
3. Лукоянчева О.В. Анализ измерений биоэлектрических потенциалов // Ползуновский альманах. — 2012. — № 2.