

СРАВНЕНИЕ РАЗРУШАЮЩЕГО И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ
МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗЕРЕН ПШЕНИЦЫCOMPARISON OF DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE METHODS
OF MEASURING THE MEMBRANE POTENTIAL OF WHEAT SEEDS

Ключевые слова: измерение, разрушающий метод, неразрушающий метод, сравнение, экспериментальное исследование, мембранный потенциал, зерна пшеницы, всхожесть, регистрирующее устройство, результаты.

Генерация биоэлектрических сигналов играет важную роль в жизни растений, так как характеризует физиологическое состояние растений. Поэтому анализ природы и закономерностей электрических сигналов у растений представляется весьма актуальным. Основной электрической характеристикой растений является их мембранный потенциал. Существуют разрушающие и неразрушающие методы измерения мембранного потенциала. В процессе исследования экспериментально подтверждено, что разрушающие и неразрушающие методы измерения мембранного потенциала зерен пшеницы вызывают изменение сигнала во времени, амплитуда сигналов для семян с низкой и высокой всхожестью значительно отличается. Так, для семян пшеницы со всхожестью 96% максимальное значение сигнала при использовании разрушающего метода составило 0,01 В, для семян со всхожестью 86% – 0,046 В. Экспериментальные исследования с использованием неразрушающего метода измерения мембранного потенциала семян пшеницы показали, что без механического воздействия (без протыкания иглой) максимальное значение мембранного потенциала для семян со всхожестью 96% достигло 0,038 В, для семян со всхожестью 86% – 0,10 В. В статье проанализирована работа регистрирующего устройства с целью использования его для экспериментального исследования мембранного потенциала семян пшеницы. Согласно техническим характеристикам АЦП, шум по квантованию должен составлять 10 мВ, что было подтверждено экспериментально. В результате измерений возникают в незначительном количестве случайные импульсы, шум квантования, полученные результаты требуют дальнейшей обработки. Исследования показали, что инструмен-

тальные особенности измерительных электродов значительно влияют на результаты эксперимента.

Keywords: measurement, destructive method, non-destructive method, comparison, experimental study, membrane potential, wheat seeds, germination, recording device, results.

Generation of bioelectric signals plays an important role in plant life because it characterizes the physiological state of plants. Therefore, the analysis of the nature and patterns of electrical signals in plants seems to be very relevant. The main electrical characteristic of plants is their membrane potential. There are destructive and non-destructive methods for measuring membrane potential. During the study, it was experimentally confirmed that destructive and non-destructive methods of measuring the membrane potential of wheat grains caused a change in the signal over time, the amplitude of the signals for seeds with low and high germination was significantly different. So, for wheat seeds with a germination rate of 96%, the maximum signal value using the destructive method was 0.01 V; for seeds with germination rate of 86% – 0.046 V. Experimental studies using a non-destructive method of measuring the membrane potential of wheat seeds showed that without mechanical impact (without needle piercing) the maximum value of the membrane potential for seeds with a germination rate of 96% was 0.038 V; for seeds with germination rate of 86% – 0.10 V. This paper analyzes the operation of the recording device in order to use it for the experimental study of the membrane potential of wheat seeds. According to the ADC technical characteristics, the quantization noise should be 10 mV which was confirmed experimentally. As a result of measurements, a small number of random pulses, quantization noise, and the results obtained require further processing. The studies have shown that the instrumental features of the measuring electrodes significantly affect the experimental results.

Барышева Надежда Николаевна, к.т.н., доцент каф. «Информационные системы в экономике», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: mnn-t@mail.ru.

Пронин Сергей Петрович, д.т.н., проф., каф. информационных технологий, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: spronin@mail.ru.

Афонин Вячеслав Сергеевич, к.т.н., доцент каф. «Информационные системы в экономике», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: afonin_vs@mail.ru.

Barysheva Nadezhda Nikolayevna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Information Systems in Economy, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: mnn-t@mail.ru.

Pronin Sergey Petrovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Information Technologies, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: spronin@mail.ru.

Afonin Vyacheslav Sergeevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Information Systems in Economy, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: afonin_vs@mail.ru.

Введение

Генерация биоэлектрических сигналов играет важную роль в жизни растений, так как характеризует физиологическое состояние растений [1, 2]. Поэтому анализ природы и закономерностей электрических сигналов [2] у растений представляется весьма актуальным.

Основной электрической характеристикой растений является их мембранный потенциал [3].

Существуют разрушающие и неразрушающие методы измерения мембранного потенциала. Разрушающие методы представляют собой механическое воздействие с целью генерации биоэлектрических сигналов.

Повреждение зерен пшеницы при механическом воздействии вызывает потенциал действия, который представляет собой колебание электрических потенциалов между поврежденным и неповрежденным участком оболочки. Потенциал действия представляет собой двухфазную кривую и оценивается по временным и амплитудным параметрам [3].

Примером разрушающего метода является метод измерения биоэлектрических сигналов, основанный на протыкании зерна иглой [4].

Экспериментально установлено и теоретически обосновано, что биоэлектрические сигналы семян пшеницы, полученные в результате применения разрушающего метода, могут выступать в качестве показателя их всхожести [4].

Цель работы – исследовать неразрушающий метод измерения мембранного потенциала зерен пшеницы (без протыкания) и сравнить разрушающий и неразрушающие методы.

Задачи исследования:

- 1) выполнить анализ работы регистрирующего устройства;
- 2) выполнить экспериментальное исследование биоэлектрических сигналов семян пшеницы разной всхожести, используя разрушающий и неразрушающий методы;
- 3) сравнить и сделать выводы об особенностях измерительных методов.

Объекты и методы

Для измерений биоэлектрических сигналов выбраны зерна пшеницы со всхожестью 86, 96% сорта Зимушка и зерна пшеницы со всхожестью 90, 96% сорта Алтайский янтарь. Семена с известной всхожестью предоставлены Алтайским отделением «Россельхозцентр» г. Барнаула.

В качестве регистрирующего устройства использовали ИИС, которая включает аналого-цифровой преобразователь ЛА-50 USB, ПК.

Результаты и их обсуждение

Измерение биоэлектрических сигналов семян пшеницы состоит из следующих этапов: подготовка семян к исследованию; измерения с помощью электродов с протыканием иглой и без; обработка результатов [4, 5]. Процесс подготовки семян к исследованию представляет проращивание семян пшеницы в термокамере при температуре 20°C в течение 12 ч.

В измерительном процессе одним из самых важных компонентов является аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). На рисунке 1 представлена структурная схема ИИС.



Рис. 1. Структурная схема ИИС:

1 – первый электрод; 2 – зерно;

3 – второй электрод;

4 – аналогово-цифровой преобразователь ЛА-50USB; 5 – ПК

В соответствии с теорией Клаассена напряжение [10], регистрируемое АЦП, будет равно напряжению зерна пшеницы.

На рисунке 2 представлена эквивалентная электрическая схема зерна в виде батарейки, сопротивлению и входного сопротивления АЦП ЛА-50USB.

Схема соответствует теории Клаассена и представляет собой делитель напряжения [10]:

$$U_{LA} = \frac{U_z \cdot R_{LA}}{R_z + R_{LA}} \quad (1)$$

Входное сопротивление ЛА-50USB составляет 100 Мом ($R_{LA} = 100$ Мом). Из этого следует, что $U_{LA} = U_z$.

При однополюсном режиме включения АЦП имеет напряжение ± 5 В и разрядность 10 бит. Поэтому разрешение АЦП по напряжению составит $\Delta U = \frac{10}{1024} \approx 10$ мВ. Шум по квантованию

должен составлять 10 мВ. На рисунке 3 представлен реальный сигнал от постоянного источника напряжения – батарейки (1,5 В).

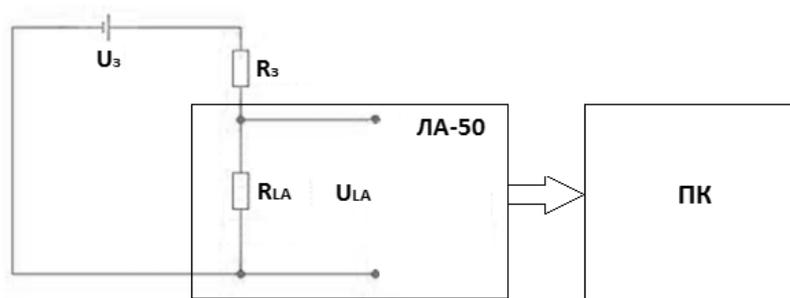


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема зерна пшеницы

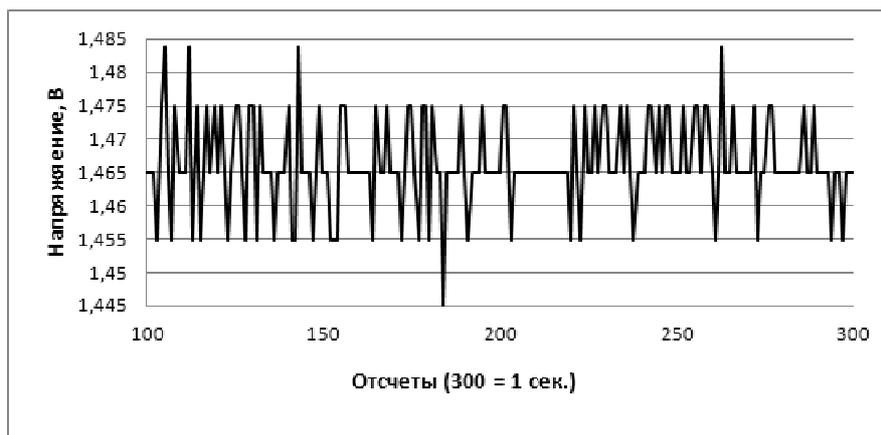


Рис. 3. Напряжение батарейки, регистрируемое с помощью ИИС

В регистрируемом сигнале присутствует шум квантования 10 мВ и в незначительном количестве помехи в виде случайных импульсов. Для оценки полученного сигнала были использованы формулы среднего значения и стандартного отклонения

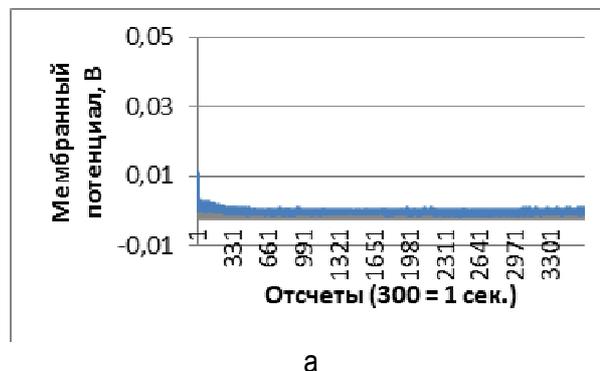
$$\bar{U}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i = 1,466 \text{ В}; \quad (2)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2} = 0,0067 \text{ В}, \quad (3)$$

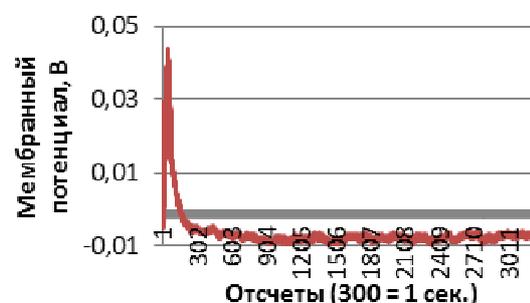
где n – количество данных, n=201.

С учетом погрешности (3) значение напряжения составило 1,47 В. Напряжение, измеренное вольтметром, составило 1,48 В, следовательно, в ИИС присутствует систематическая составляющая – 0,01 В.

Разрушающий метод измерения мембранного потенциала зерен пшеницы. Измерительный процесс представляет собой следующую процедуру: каждая зерновка помещается в электрод-держатель и протыкается электродом-иглой, тем самым вызывая раздражение, дополнительный стимул. Сигнал регистрируется с помощью специальной программы Saver. Все электроды выполнены из стали.



а

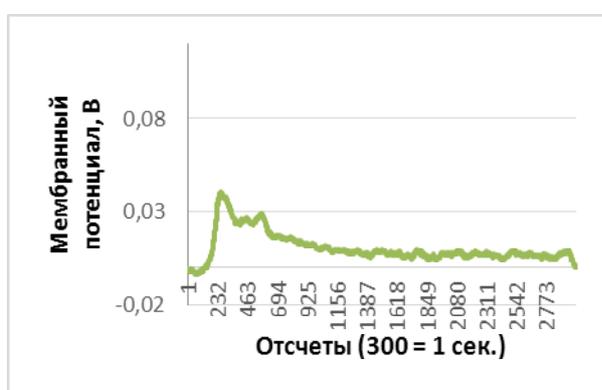


б

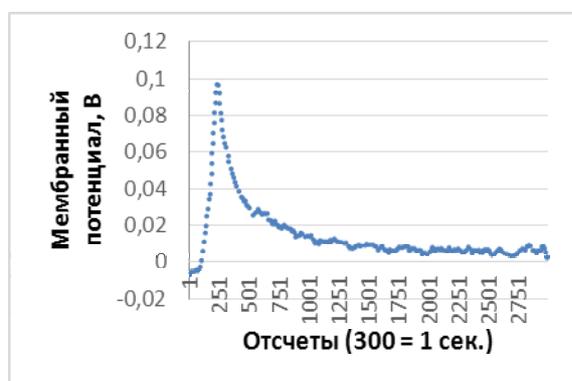
Рис. 4. Результаты экспериментального исследования биоэлектрических сигналов семян пшеницы при механическом воздействии (проколе иглой): а – со всхожестью 96%; б – со всхожестью 86%

В результате экспериментального исследования семян пшеницы со всхожестью 96 и 86% при механическом воздействии получены данные. Результаты исследований представлены на рисунке 4.

Известно, что амплитуда потенциала действия не зависит от силы раздражения, а длительность – от действия дополнительной стимуляции [3]. Результаты эксперимента показали, что амплитуда зависит от качества семян. Так, пик потенциала для семян со всхожестью 96% достигает своего значения на 0,01 В, а для семян со всхожестью 86% – 0,046 В. Полученный результат, в свою очередь, может выступать в качестве сравнительной характеристики для оценки всхожести.



а



б

Рис. 5. Результаты экспериментального исследования мембранного потенциала семян пшеницы: а – со всхожестью 96% сглаженный сигнал с окном в 48 значений; б – со всхожестью 86% сглаженный сигнал с окном в 48 значений

Неразрушающий метод измерения мембранного потенциала зерен пшеницы. Для экспериментального исследования мембранного потенциала семян пшеницы неразрушающим методом (без протыкания) были разработаны специ-

альные электроды: электрод-держатель с плоскими пластинами для плотного контакта с зерновой и тонкий измерительный электрод. Электроды выполнены из стали.

Процесс измерения заключается в следующем. Каждая зерновка помещается в электрод-держатель, затем второй тонкий электрод прикладывается к оболочке зерна, не протыкая ее, регистрируется сигнал с помощью специальной программы.

На рисунке 5 представлены результаты измерения мембранного потенциала семян пшеницы сорта со всхожестью 86, 96% без протыкания иглой.

Для семян со всхожестью 86% максимальное значение мембранного потенциала составило 0,1 В, для семян со всхожестью 96% – 0,038 В. Полученный результат также может выступать в качестве сравнительной характеристики для оценки всхожести.

Вывод

В результате исследования была проанализирована работа регистрирующего устройства с целью использования его для экспериментального исследования мембранного потенциала семян пшеницы. Согласно техническим характеристикам АЦП, шум по квантованию должен составлять 10 мВ, что было подтверждено экспериментально. В результате измерений возникают в незначительном количестве случайные импульсы, шум квантования. Полученные результаты требуют дальнейшей обработки.

В процессе исследования экспериментально подтверждено, что разрушающий и неразрушающие методы измерения мембранного потенциала зерен пшеницы вызывают изменение сигнала во времени, амплитуда сигналов для семян с низкой и высокой всхожестью значительно отличается. Так, для семян пшеницы со всхожестью 96% максимальное значение сигнала при использовании разрушающего метода составило 0,01 В, для семян со всхожестью 86% – 0,046 В.

Экспериментальные исследования с использованием неразрушающего метода измерения мембранного потенциала семян пшеницы показали, что без механического воздействия (без протыкания иглой) максимальное значение мембранного потенциала для семян со всхожестью 96% достигло 0,038 В, для семян со всхожестью 86% – 0,10 В.

Исследования показали, что инструментальные особенности измерительных электродов значительно влияют на результаты эксперимента.

Библиографический список

1. Yang, L. & Wen, B. Seed quality. In: Thomas, B. et al. Encyclopedia of applied plant sciences. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2017. p. 553-563.
2. Jha, Shyam & Narsaiah, K. & Basediya, Amrat Lal & Sharma, Rajiv & Jaiswal, Pranita & Kumar, Ramesh & Bhardwaj, Rishi. (2011). Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of foods – A review. Journal of Food Science and Technology. 48. 387-411. 10.1007/s13197-011-0263-x.
3. Медведев С.С. Электрофизиология растений. – СПб.: Изд-во СПб. университета, 1998. – 184 с.
4. Мерченко Н.Н., Пронин С.П., Зрюмова А.Г. Разработка метода контроля всхожести зерен пшеницы по мембранному потенциалу // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 10 (108). – С. 103-106.
5. Барышева Н.Н., Пронин С.П. Обзор результатов исследования биоэлектрических сигналов в растениях // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 9. – С. 233-236.
6. Антипов М. Ю. Расчет нелинейностей аналого-цифрового преобразователя // Молодой ученый. – 2016. – № 13. – С. 144-148.
7. Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николитч. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования. Digital Integrated Circuits. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – 912 с.
8. Norsworthy, S.R., Schreier, R. and Temes, G.C., Eds., Delta-Sigma Data Converters, Piscataway NJ: IEEE Press, 1997.
9. Барышева Н.Н., Пронин С.П. Выбор алгоритма фильтрации экспериментальных данных для контроля всхожести семян пшеницы по мембранным потенциалам // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 4(174). – С. 150-154.
10. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.

References

1. Yang, L. & Wen, B. Seed quality. In: Thomas, B. et al. Encyclopedia of applied plant sciences. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2017. p. 553-563.
2. Jha, Shyam & Narsaiah, K. & Basediya, Amrat Lal & Sharma, Rajiv & Jaiswal, Pranita & Kumar, Ramesh & Bhardwaj, Rishi. (2011). Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of foods – A review. Journal of Food Science and Technology. 48. 387-411. 10.1007/s13197-011-0263-x.
3. Medvedev, S.S. Elektroфизиologiya rasteniy. – SPb.: Izd-vo S.-Pb. universiteta, 1998. – 184 s.
4. Merchenko N.N. Razrabotka metoda kontrolya vskhozhesti zeren pshenitsy po membrannomu potentsialu / N.N. Merchenko, S.P. Pronin, A.G. Zryumova // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – No. 10 (108). – S. 103-106.
5. Barysheva N.N., Pronin S.P. Obzor rezultatov issledovaniya bioelektricheskikh signalov v rasteniyakh // Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. – 2018. – No. 9. – S. 233-236.
6. Antipov M.Yu. Raschet nelineynostey analogo-tsifrovogo preobrazovatelya // Molodoy uchenyy. – 2016. – No. 13. – S. 144-148.
7. Zhan M. Rabai, Ananta Chandrakasan, Borivozh Nikolich. Tsifrovye integralnye skhemy. Metodologiya proektirovaniya. Digital Integrated Circuits. – 2-e izd. – M.: Vilyams, 2007. – 912 s.
8. Norsworthy, S.R., Schreier, R. and Temes, G.C., Eds., Delta-Sigma Data Converters, Piscataway NJ: IEEE Press, 1997.
9. Barysheva N.N. Vybor algoritma filtratsii eksperimentalnykh dannykh dlya kontrolya vskhozhesti semyan pshenitsy po membrannym potentsialam / N.N. Barysheva, S.P. Pronin // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – No. 4 (174). – S. 150-154.
10. Klaassen K.B. Osnovy izmereniy. Elektronnyye metody i pribory v izmeritelnoy tekhnike. – M.: Postmarket, 2000. – 352 s.

