

УДК 632.51

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШАЕМОСТИ РАСТИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА**

Шемякин Александр Владимирович  
д.т.н., профессор  
РИНЦ SPIN-код: 4403-7671  
shem.alex62@yandex.ru  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) 390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1*

Каширин Дмитрий Евгеньевич  
д.т.н., доцент  
РИНЦ SPIN-код: 6888-2937  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) 390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1*

Горшков Денис Романович  
ассистент  
РИНЦ SPIN-код: 6006-4027  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) 390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1*

Павлов Виктор Вячеславович  
к.т.н.  
РИНЦ SPIN-код: 7023-6206  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) 390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1*

В статье описано исследование зависимости времени, необходимого для возникновения электрической дуги в растительной ткани при протекании постоянного электрического тока в зависимости от величины приложенного постоянного напряжения, а также наиболее вероятного места повреждения вдоль длины стебля испытуемого образца. Опыты выполнены в

UDC 632.51

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

### **STUDY OF THE DEGRADABILITY OF PLANT TISSUE OF WEEDS FROM DIRECT ELECTRIC CURRENT**

Shemyakin Alexander Vladimirovich  
Doctor of Technical Sciences, Professor  
RSCI SPIN-code: 4403-7671  
shem.alex62@yandex.ru  
*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev" (FGBOU VO RGATU). 390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1*

Kashirin Dmitry Evgenievich  
Doctor of Technical Sciences, associate Professor  
RSCI SPIN-code: 6888-2937  
*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev" (FGBOU VO RGATU). 390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1*

Gorshkov Denis Romanovich  
assistant  
RSCI SPIN-code: 6006-4027  
*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev" (FGBOU VO RGATU). 390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1*

Pavlov Viktor Vyacheslavovich  
Candidate of Technical Sciences  
RSCI SPIN-code: 7023-6206  
*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev" (FGBOU VO RGATU). 390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1*

The article describes a study of the dependence of the time required for the occurrence of an electric arc in plant tissue when a direct electric current flows, depending on the magnitude of the applied direct voltage, as well as the most likely location of damage along the length of the stem of the test sample. The experiments were carried out in the conditions of the scientific and technical base of the Department of

условиях научно-технической базы кафедры электроснабжения ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева. В результате исследования установлено: минимальный уровень испытательного постоянного напряжения, приложенного к концам стебля сорного растения, необходимый для образования электрической дуги с последующим разрушением стебля, составляет 1500 В; влияние температуры при протекании через стебель растения постоянного электрического тока на скорость возникновения электрической дуги незначительно, разрушение имеет не термический, а электролитический характер; наблюдается значительное влияние наличия неоднородностей и механических повреждений растения до воздействия и (или) их появления в ходе воздействия на место образования электрической дуги вдоль стебля; в исследуемом факторном пространстве (1500...2500 В) выявлена убывающая экспоненциальная зависимость времени с момента начала воздействия до образования электрической дуги от величины приложенного напряжения, при значении напряжения 1500 В время составляет в среднем 105 секунд и убывает до 3-4 секунд при увеличении напряжения до 2500 В. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании электропропалочных агрегатов и оборудования для нужд сельского хозяйства

Ключевые слова: СОРНЫЕ РАСТЕНИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК, ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-195-010>

Power Supply of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Aviation Technical University named after P.A. Kostychev. As a result of the study, the following things were established: the minimum level of test direct voltage applied to the ends of the stem of a weed plant, necessary for the formation of an electric arc with subsequent destruction of the stem, is 1500 V; the influence of temperature when a direct electric current flows through the stem of a plant on the rate of occurrence of an electric arc is insignificant, the destruction is not thermal, but electrolytic in nature; there is a significant influence of the presence of inhomogeneities and mechanical damage to the plant before exposure and (or) their appearance during exposure to the place of formation of the electric arc along the stem; in the factor space under study (1500...2500 V), a decreasing exponential dependence of the time from the start of exposure to the formation of an electric arc on the applied voltage was revealed; at a voltage value of 1500 V, the time averages 105 seconds and decreases to 3-4 seconds with increasing voltage up to 2500 V. The results of the study can be used in the design of electric weeding units and equipment for agricultural needs

Keywords: WEEDS, ELECTRIC CURRENT, HIGH VOLTAGE, ELECTRIC ARC

**Введение.** Для борьбы с сорной растительностью в настоящее время применяются различные способы. Традиционный, наиболее популярный и распространенный среди них – химический, с применением гербицидов, однако, при всей его эффективности, имеет место экологический вред, связанный с накоплением химических соединений в почве и растительной продукции [1, 2]. Жесткое законодательное регулирование применения пестицидов и гербицидов и установление их предельной концентрации приносит положительные результаты в решении данной проблемы, кроме того работает программа субсидирования хозяйств, занимающихся экологическим земледелием, то есть выпускающих полностью натуральную продукцию без применения химических препаратов для

<http://ej.kubagro.ru/2024/01/pdf/10.pdf>

борьбы с вредителями [3]. Данная тенденция порождает спрос на технологии и средства механизации для борьбы с сорной растительностью альтернативными «чистыми» способами. Одним из таких способов является электропрополка, то есть уничтожение сорняков путём пропускания через них электрического тока [2, 3].

**Цель исследований.** Установление зависимости времени от начала воздействия постоянным электрическим током на растение до момента возникновения электрической дуги в месте разрушения растительной ткани от величины приложенного напряжения.

**Результаты исследований.** В качестве опытных образцов сорных растений использовали 15-дневные ростки овса сорта «Яков», применяемого в травосмесях для газонного озеленения. Для проведения исследования была разработана и изготовлена лабораторная установка, принципиальная электрическая схема которой приведена на рисунке 1, общий вид – на рисунке 2.

Источником электрического тока в лабораторной установке является высоковольтный повышающий трансформатор с коэффициентом трансформации 10,8 (рис. 2, поз. 7). Для плавного регулирования напряжения на выходе трансформатора, к его первичной обмотке подключали лабораторный автотрансформатор (рис. 2, поз. 1) с возможностью изменения напряжения от 0 до 250 В. С целью получения выпрямленного тока к выходу повышающего трансформатора подключали двухполупериодный выпрямитель на диодах 2CLHC20KV-2A-90 (рис. 2, поз. 5). Для ограничения тока, протекающего через растительную ткань, использовали каскад токоограничивающих керамических цементированных резисторов общим сопротивлением 165 кОм. Величина падения напряжения на исследуемом образце растения оценивалась с помощью осциллографа AttenADS 1022C+ (рис. 2, поз. 2), подключенного параллельно стеблю растения через резистивный делитель напряжения,

выполненный на стеклянных высоковольтных резисторах, помещенных в пластиковую емкость с трансформаторным маслом, общим сопротивлением 196 МОм с коэффициентом деления 203 (рис. 2, поз. 3). Для устранения наведенного напряжения пластиковая емкость делителя экранирована и соединена с одним из выводов высокой стороны повышающего трансформатора. Для подключения стебля в электрическую цепь использовали специально изготовленное крепление-держатель, представляющее собой текстолитовое основание с расположенными по краям медными пластинами-электродами, образующими разъемное контактное соединение при помощи резьбовых элементов, которые обеспечивают надежный и достаточный прижим (рис. 2, поз. 4; рис. 3; рис. 5). Для улучшения электрического контакта место соприкосновения электрода с растением покрывали контактной графитовой пастой.

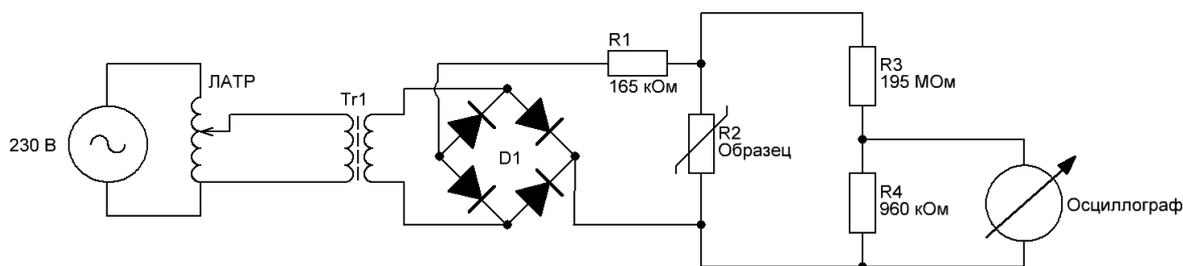
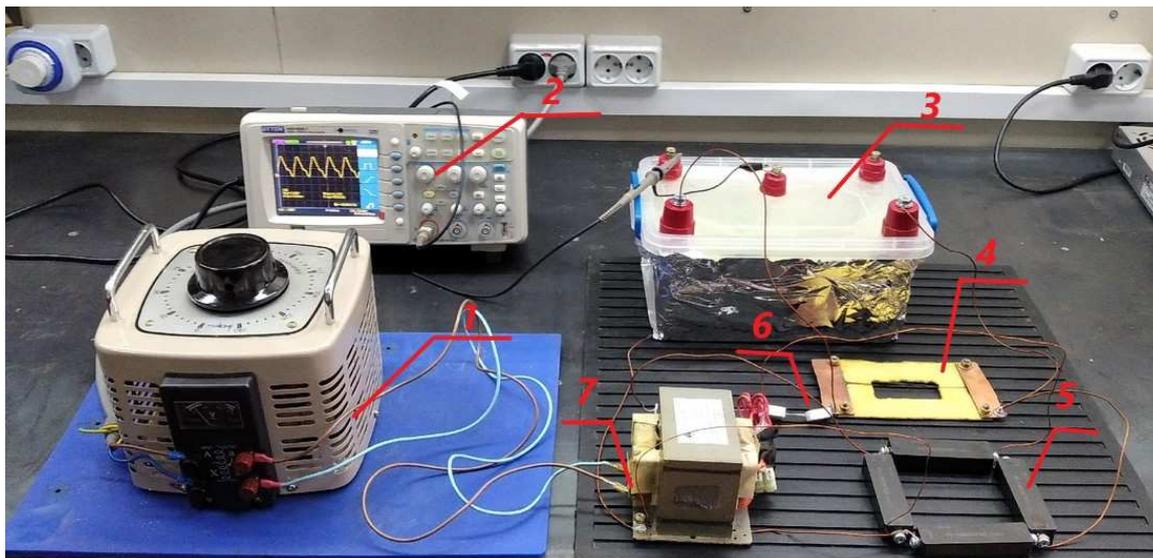


Рисунок 1 – Электрическая схема лабораторной установки



1 – лабораторный автотрансформатор; 2 – осциллограф; 3 – делитель напряжения; 4 – крепление-держатель для фиксации растения; 5 – диодный мост; 6 – токоограничивающие резисторы; 7 – повышающий трансформатор

Рисунок 2 – Внешний вид лабораторной установки во время испытаний

Предварительно проведенные опыты позволили установить, что значение испытательного напряжения 500 В является недостаточным для образования электрической дуги. При относительно малых напряжениях растение нагревается, деформируется (скручивается), со стороны отрицательного электрода происходит пожелтение, которое увеличивается и постепенно распространяется вдоль испытуемого образца примерно до середины стебля, после чего процесс останавливается (рис. 3).

Также установлено, что минимальное значение напряжения, при котором возникает электрическая дуга на образце, составляет 1500 В. Предполагалось, что возникновение электрической дуги на стебле происходит в месте наибольшего локального нагрева и связано с термическим разрывом растительной ткани.



Рисунок 3 – Испытуемый образец (стебель растения), установленный в крепление-держатель во время испытания при воздействии постоянным напряжением величиной 500 В: а – до подключения к электрической цепи; б – результат воздействия электрическим током (пожелтение стебля со стороны отрицательного электрода)

Поскольку нагрев образца неравномерен, следовало предварительно установить наиболее вероятное место повреждения при прохождении электрического тока через стебель, где создаются самые благоприятные условия для образования дуги. С этой целью в ходе проведения опыта контролировали изменение температуры при помощи тепловизора Testo 865 (рис. 4).

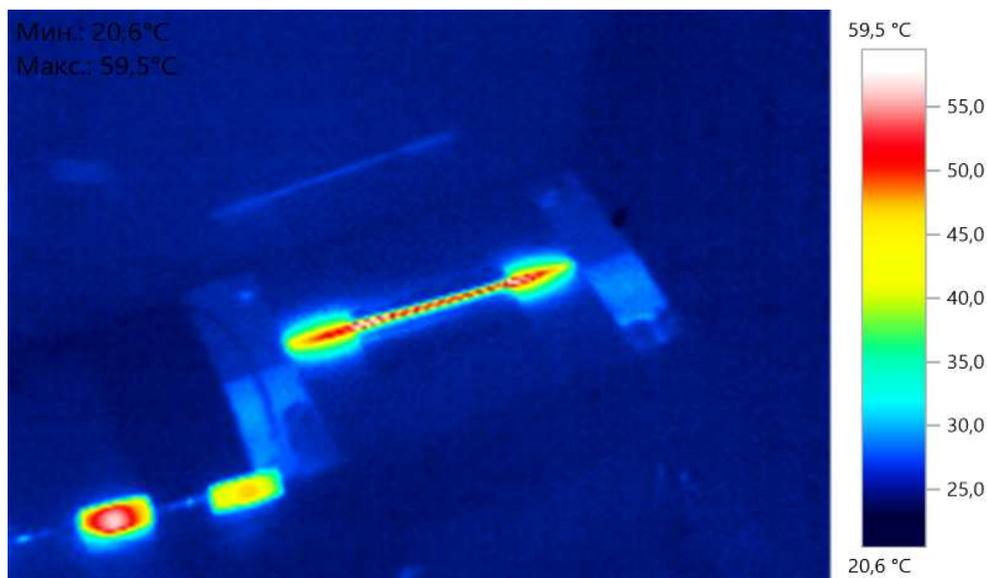


Рисунок 4 – Испытуемый образец, установленный в держателе во время испытания при воздействии постоянным напряжением величиной 1500 В, экспозиция 30 секунд (инфракрасная съемка тепловизором Testo 865)

Как видно из рисунка 4, нагрев стебля имеет точечный неравномерный характер. Увеличение напряжения приводит лишь к ускорению нагрева, но ярко выраженной локальной области повышения температуры, где возможно предсказать место разрушения и связанного с этим появления электрической дуги, не наблюдается. В ходе предварительных исследований установлено, что изменение цвета растения (потемнение) со стороны отрицательного электрода имеет не термическую природу. Предположительно данный эффект связан с электролитическими процессами в стебле, сопровождающимися движением жидкости вдоль стебля к электродам.

Последующие наблюдения показали, что дуга образуется в месте механического повреждения растительной ткани, чему предшествует выделение сока в данной области (рис. 5-б). В этом же месте через некоторое время появляется электрическая дуга (рис. 5-в). Как правило, повреждение возникает на границе потемневшей и зеленой части стебля, при повышении напряжения данная закономерность проявляется наиболее отчетливо. Кроме того, выявлено значительное влияние наличия неоднородностей и механических повреждений растения до воздействия и (или) их появления в ходе воздействия на место образования электрической дуги вдоль стебля.

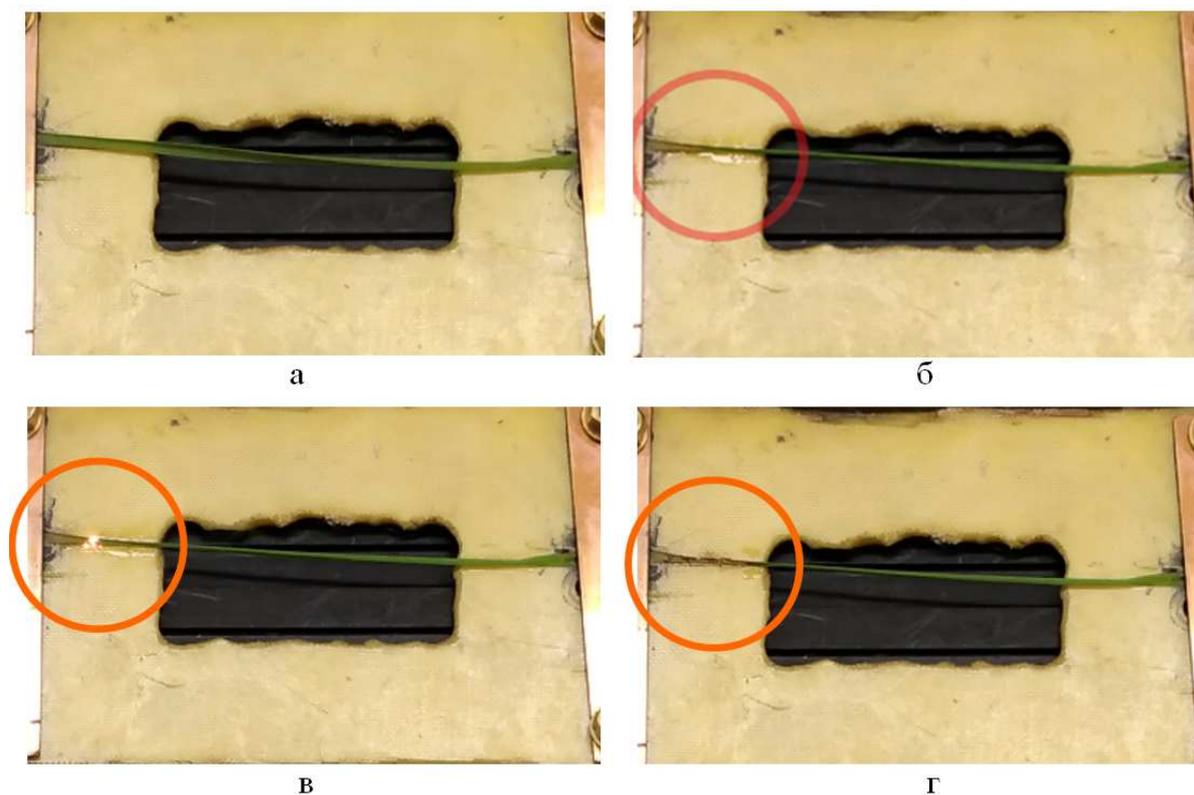


Рисунок 5 – Испытуемый образец, установленный в крепление-держатель во время испытания при воздействии постоянным напряжением величиной 2000 В: а – до подключения к электрической цепи; б – появление сока из стебля в месте последующего разрушения; в – разрушение и образование электрической дуги; г – разрушенный потемневший стебель со стороны отрицательного электрода по окончании воздействия электрическим током

Основной этап исследования состоял в определении времени до появления электрической дуги в зависимости от величины приложенного испытательного напряжения. Для этого был проведен однофакторный эксперимент, уровни варьирования фактором «Напряжение  $U$ , В» составляли 1500, 2000 и 2500 В с трехкратной повторностью в каждой экспериментальной точке.

В результате проведения исследования получены экспериментальные данные, по которым методами статистического

анализа в программной среде Mathcad построена регрессионная модель, представленная уравнением (1) и графиком на рисунке 6.

$$t(U) = 1,67 \cdot 10^4 \cdot e^{-3,4 \cdot U} \quad (1)$$

Значение коэффициента детерминации  $R^2$  составляет 0,998, что свидетельствует о высокой точности аппроксимации экспериментальных данных показательной функцией.

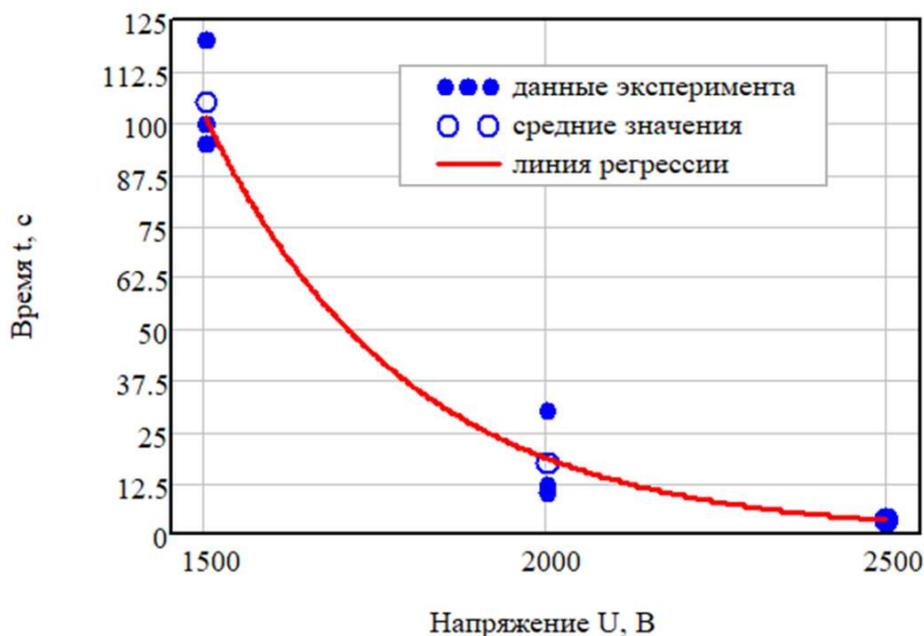


Рисунок 6 – График зависимости времени до возникновения электрической дуги на стебле растения  $t$ , с. от величины приложенного напряжения  $U$ , В

Из анализа полученной зависимости следует, что время, пройденное с начала воздействия до возникновения электрической дуги, монотонно убывает с увеличением приложенного напряжения. При значении напряжения 1500 В время до образования дуги составляет в среднем 105 секунд и убывает до 3-4 секунд при увеличении напряжения до 2500 В. Значительные отклонения времени от средней величины при малых напряжениях связано с влиянием неоднородностей в тканевой структуре испытуемых образцов растений. По мере увеличения значения фактора вариация отклика ослабевает и практически отсутствует вблизи верхнего уровня факторного пространства (рис. 6).

**Выводы.** Исследование разрушения растительной ткани сорных растений при воздействии постоянным электрическим током позволило сформулировать следующие выводы: 1) минимальный уровень испытательного постоянного напряжения, приложенного к концам стебля сорного растения, необходимый для образования электрической дуги с последующим разрушением стебля, составляет 1500 В; 2) влияние температуры при протекании через стебель растения постоянного электрического тока на скорость возникновения электрической дуги незначительно, разрушение имеет не термический, а электролитический характер; 3) наблюдается значительное влияние наличия неоднородностей и механических повреждений растения до воздействия и (или) их появления в ходе воздействия на место образования электрической дуги вдоль стебля; 4) в исследуемом факторном пространстве (1500...2500 В) выявлена убывающая экспоненциальная зависимость времени с момента начала воздействия до образования электрической дуги от величины приложенного напряжения, при значении напряжения 1500 В время составляет в среднем 105 секунд и убывает до 3-4 секунд при увеличении напряжения до 2500 В.

### Библиографический список

1. Действие электромагнитного стимулирования семян в повышении продуктивности ярового ячменя / А. А. Соколов, Д. В. Виноградов, С. Н. Борычев [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 1(49). – DOI 10.51419/202121119. – EDN LWNAXG.
2. Использование градиентного магнитного поля в предпосевной обработке семян огурца / Л. А. Антипкина, В. И. Левин, С. Н. Борычев [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 1(49). – DOI 10.51419/202121123. – EDN ERAУММ.
3. Применение электромагнитного стимулирования яровых зерновых культур на фоне обработки семян биологически активными препаратами / А. А. Соколов, Д. В. Виноградов, С. Н. Борычев [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 2(50). – DOI 10.51419/202122225. – EDN WMQEOX.

### References

1. Dejstvие e`lektromagnitnogo stimulirovaniya semyan v povu`shenii produktivnosti yarovogo yachmenya / A. A. Sokolov, D. V. Vinogradov, S. N. Bory`chev [i dr.] // AgroE`koInfo. – 2022. – № 1(49). – DOI 10.51419/202121119. – EDN LWNAXG.

2. Ispol`zovanie gradientnogo magnitnogo polya v predposevnoj obrabotke semyan ogurcza / L. A. Antipkina, V. I. Levin, S. N. Bory`chev [i dr.] // AgroE`koInfo. – 2022. – № 1(49). – DOI 10.51419/202121123. – EDN ERAYMM.

3. Primenenie e`ktromagnitnogo stimulirovaniya yarovy`x zernovy`x kul`tur na fone obrabotki semyan biologicheski aktivny`mi preparatami / A. A. Sokolov, D. V. Vinogradov, S. N. Bory`chev [i dr.] // AgroE`koInfo. – 2022. – № 2(50). – DOI 10.51419/202122225. – EDN WMQEOX.