

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)

doi:10.18286/1816-4501-2024-4-192-200

УДК 631.171+57.013

К вопросу электроимпульсного воздействия на растительные объекты для достижения максимального повреждения внутренних структур их тканей

И. В. Юдаев^{1✉}, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроснабжение»

Ю. В. Даус¹, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника, теплотехника и возобновляемые источники энергии»

Р. Г. Кокурин², инженер-конструктор, соискатель

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»

350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13, ✉ etsh1965@mail.ru

²ООО «Приборостроительная компания «Высоковольтные технологии»

400074, Волгоградская область, г. Волгоград, ул. Козловская, д. 71

Резюме. Для переработки растительного сырья и обработки растений на разных этапах технологических операций применяют воздействия электрической природы, среди которых выделяется обработка короткими электрическими импульсами высокого напряжения. Для осуществления такого рода воздействий проведены исследования, позволившие оценить форму тока и дозы повреждающей энергии, режимы работы технических средств, но до сих пор существует дискуссия о том, что за электроды следует применять для подведения электроэнергии и какова их эффективность. Целью представленных исследований является анализ полученных результатов по изучению высоковольтных импульсных воздействий на растительные объекты, организованных за счет применения электродов разной формы. Методика исследований включала традиционные подходы по созданию экспериментальной установки, регистрации осциллограмм импульсов при разных режимах обработки и различных конструкциях электродов. Воздействия на листья традесканции организовывались с применением как электродов прямого контакта, так и электродов с диэлектрическими прокладками. Электроды типа «острие-плоскость» без диэлектрических барьеров формировали локализованное прожигание ткани листа, мало изменяющееся с количеством подводимых импульсов и не влияющее на временное изменение состояния поверхности листа. Дисковые электроды приводили к образованию пятен по всей площади листа. Присутствие диэлектрического барьера позволяло сохранять параметры поля в растительной ткани на большей площади контакта, что позволяло сразу же фиксировать после обработки потемнение листа. Наблюдаемые эффекты позволяют конкретизировать внесение различных конструктивных изменений в электродные системы при электрообработке.

Ключевые слова: электроимпульсное повреждающее воздействие, электроды, диэлектрические накладки, особенности построения генераторов импульсного напряжения, растительная ткань.

Для цитирования: Юдаев И. В., Даус Ю. В., Кокурин Р. Г. К вопросу электроимпульсного воздействия на растительные объекты для достижения максимального повреждения внутренних структур их тканей // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4 (68). С. 192-200. doi:10.18286/1816-4501-2024-4-192-200

On the issue of electric impulse effect on plant materials to achieve maximum damage to the internal structures of their tissues

I. V. Yudaev^{1✉}, **Yu. V. Daus**¹, **R. G. Kokurin**²

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin"

350044, Krasnodar Region, Krasnodar, Kalinina St., 13, ✉ etsh1965@mail.ru

²ООО "Instrument-Making Company "High Voltage Technologies"

400074, Volgograd Region, Volgograd, st. Kozlovskaya, 71

Abstract. For processing plant materials and treating plants at different stages of technological operations, electrical effects are used, among which the treatment with short high-voltage electrical impulses stands out. To implement this type of impact, studies were conducted that allowed to evaluate the shape of the current and the dose of the damaging energy, the operating modes of technical means, but there is still a debate about what kind of electrodes should be used to supply electricity and what their efficiency is. The aim of the presented studies is to analyze the results obtained in

studying high-voltage pulse effects on plant objects, organized by using electrodes of different shapes. The research methodology included traditional approaches to creating an experimental setup, recording impulse oscillograms under different processing modes and different electrode designs. Effects on *Tradescantia* leaves were organized using both direct contact electrodes and electrodes with dielectric spacers. Point-and-plane electrodes without dielectric barriers formed a localized burning of leaf tissue, which changed little with the number of impulses supplied and did not affect the temporary change in the state of the leaf surface. Disk electrodes led to formation of spots over the entire leaf area. The presence of a dielectric barrier allowed to maintain the field parameters in the plant tissue over a larger contact area, which enabled to immediately record the darkening of the leaf after processing. The observed effects allow us to specify the introduction of various design changes into electrode systems during electrical processing.

Keywords: electric impulse damaging effect, electrodes, dielectric pads, design features of impulse voltage generators, plant tissue.

For citation: Yudaev I. V., Daus Yu. V., Kokurin R. G. On the issue of electric impulse effect on plant materials to achieve maximum damage to the internal structures of their tissues// Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2024;4(68): 192-200 doi:10.18286/1816-4501-2024-4-192-200

Введение

Целью заранее планируемого результата во многих технологических процессах перерабатывающей промышленности и сельского хозяйства при использовании электроимпульсной обработки растений, растительного сырья и материалов является достижение «нарушения их нормальной жизнедеятельности или естественного для них функционирования внутриклеточных компонентов растительных организмов, проявляющееся в «разрушении» клеточных мембран растительных тканей за счет непосредственного воздействия на обрабатываемый объект электрического поля высокой напряженности и его длительности» [1].

Применение для этого импульсного электрического воздействия определилось проведением сравнения идентичности теоретических предпосылок и полученных результатов экспериментальных исследований по оценке степени повреждения растительной ткани (глубины необратимых нарушений функционирования внутриклеточных компонентов ткани) различных видов растений и растительных материалов, обработанных энергетически равнозначными синусоидальным и импульсным токами, и которое показало, что наибольший эффект необратимых нарушений в естественной жизнедеятельности внутриклеточных структур фиксировался как раз при протекании через обрабатываемую растительную ткань импульсного тока проводимости [2].

Реализация поставленной технологической задачи характеризуется достижимостью положительного с технологической точки зрения эффекта: при электроимпульсном плазмоллизе необходимо добиться дополнительного выхода внутриклеточной и межклеточной жидкости – основы производимого продукта (сок, нектар, пюре, паста и др.) [3, 4]; перед сушкой фруктов, овощей, бахчевых культур необходимо сокращения времени и максимальной сохранностью в готовом продукте полезных (питательных) компонентов [5, 6]; при борьбе с сорной и нежелательной растительностью необходимо добиться необратимого повреждения внутриклеточных структур растений, что приведет эти растения в итоге к гибели [7, 8]; при обработке перед уборкой возделываемых растений в посевах

и посадках, что определяется необходимостью обеспечить равномерное созревание семян подсолнечника, формирование здоровых клубней картофеля, подсыхание центральной жилки листьев табака и т.п., существенно сокращая тем самым материальные и энергетические затраты, и максимально сохраняя в них необходимые полезные компоненты для их последующего хранения и переработки [9, 10, 11] и др.

Экспериментальные исследования, проведенные в коллаборации с Кольским научным центром РАН, определяли необходимость «достоверно смоделировать и изучить условия максимально эффективного использования энергии электрического поля при обработке растительных объектов, добываясь характерного для создаваемого импульса напряжения времени воздействия, порождающего максимальную напряженность электрического поля в растительной ткани, в как можно большем объеме растительного материала, даже в условиях ограниченной величины энергии этого воздействующего импульса» [12]. Реализовать обозначенные задачи можно, если попробовать исключить возможность возникновения электрического пробоя, как в случае поверхностного электрического перекрытия по периметру обрабатываемого растительного объекта. Такой подход диктуется тем фактом, что достигаемая технологическая эффективность повреждения его внутриклеточных компонентов за счет действия физических факторов канала пробоя, например, таких как температура и давление, крайне невелика из-за непродолжительности существования самого канала и его локализованности [9, 13]. Наиболее близки по описанию к изученным процессам – процессы, которые возникают при работе отдельных электротехнологических установок, например, в электрофильтрах и в озонаторах. В этих аппаратах эффективность протекания разрядного процесса характеризуется определенным количеством «затравочных» свободных электронов, которые осуществляют ионизацию нейтральных атомов и молекул. Так в электрофильтрах на электродах формируется резко неоднородное электрическое поле, ограничивая тем самым напряжение в зоне чехла короны, а в озонаторах при практически однородном

электрическом поле в пространстве между электродами, выполненных в виде, например, соосных цилиндров, применяют диэлектрические барьеры, прерывающих распространение стримерного разряда [14, 15].

Поэтому, на наш взгляд, для повышения технологической эффективности электроимпульсной обработки объектов растительного происхождения, следует исключить возможность возникновения при этом поверхностного или сквозного электрического пробоя в ткани растительного материала или целого растения.

Целью исследования является анализ экспериментально полученных результатов при изучении процесса электроимпульсного воздействия на растительную ткань с применением различных вариантов конструкции электродов, подводящих электрическую энергию к изучаемым растительным объектам.

Материалы и методы

При изучении электроимпульсного необратимого повреждения внутренних структур объектов биологической природы, а в нашем случае растительных объектов, исследователи и испытатели часто применяют остроконечные или острийные электроды, особенности конструкции которых позволяют обеспечить максимальную концентрацию силовых линий электрического поля в изучаемом объекте и создают при этом достаточную для запланированного эффекта плотность протекающего через них тока. Проводимые в исследовании эксперименты преследовали цель оценить интенсификацию повреждения внутриклеточных компонентов растительных объектов за счет увеличения «площади

соприкосновения» их с электродами или электродными системами.

Были проведены следующие экспериментальные исследования: 1) сериями разрядов в резко неоднородном электрическом поле, создаваемом системой электродов типа «острие-плоскость»; 2) электроимпульсным воздействием в равномерном электрическом поле между плоскими дисками-электродами, без использования на них диэлектрических накладок-барьеров; 3) электроимпульсным воздействием в равномерном электрическом поле между плоскими дисками-электродами, с использованием диэлектрических накладок-барьеров.

Высоковольтные электроды представляли собой диски из нержавеющей стали диаметром 10, 20, 30 мм. Диэлектрические накладки-барьеры, конструктивно были выполнены также в виде дисков, которые были изготовлены из политетрафторэтилена (тефлона) толщиной 0,6 мм. Объектом исследования являлись листья и фрагменты стеблей комнатного растения – традесканция (лат. *Tradescantia*). Число воздействующих высоковольтных импульсов варьировалось и было равно соответственно – 1, 10, 50 и 100.

Специально изготовленная экспериментальная установка содержала следующие структурные элементы (рис. 1): 1) источник высокого постоянного напряжения – зарядный блок; 2) источник импульсов высокого напряжения – генератор высоковольтных импульсов (ГИН); 3) систему подведения электрической энергии к растительным объектам – электродную систему; 4) комплекс приборов и регистраторов параметров и режимов обработки – измерительный каскад.

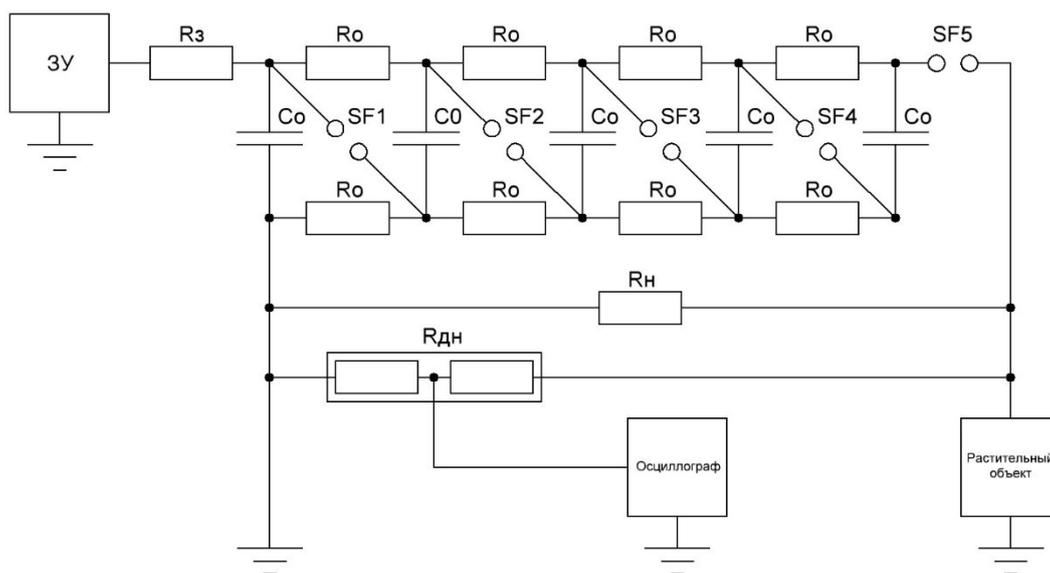


Рис. 1. Электрическая схема экспериментальной установки, изготовленной на основе ГИН

Источником высокого постоянного напряжения представлял собой некую часть электрической принципиальной схемы, необходимой для зарядки

емкостей генератора – зарядное устройство (ЗУ), которое подключалось в лаборатории к сети переменного тока промышленной частоты напряжением 220

В и которое обеспечивало на своем выходе постоянное зарядное напряжение значением $U_0 = 6$ кВ. Для формирования электрических импульсов высокого напряжения было использовано техническое решение в виде генератор импульсного напряжения Аркадьева-Маркса с четырьмя ступенями, в каждой из которых смонтирована разрядная емкость $C_0 = 470$ пФ. На выходе этого генератора (ГИН) формировался аperiодический импульс напряжения амплитудой 24 кВ с энергией 0,034 Дж. Значение этой энергии в одиночном импульсе подбиралось таким, чтобы оно по порядку величин было приблизительно равно тем значениям, которые уже использовались для организации энергетического воздействия на растительные ткани сорных и культурных растений при необратимом повреждении их внутриклеточных структур [1, 9].

Заряд конденсаторов каскада умножения C_0 , соединенных друг с другом параллельно через коммутаторы – искровые разрядники SF производился от источника постоянного тока U_0 через большое по значению зарядное сопротивление R_3 , превышающее многократно разрядное нагрузочное сопротивление R_n , отключаемое коммутатором SF_5 на время заряда конденсаторов C_0 (рис. 1). При достижении заданного напряжения на конденсаторах C_0 коммутаторами SF производится их переключение на последовательное соединение с одновременным подключением нагрузки R_n . Напряжение на нагрузке после коммутации становится равным:

$$U_n = n \cdot U_0, \quad (1)$$

где n – число последовательно включенных конденсаторов (ступеней конденсаторов).

Процесс коммутации конденсаторов C_0 ГИН осуществлялся при помощи искровых разрядников SF , которые пробивались при достижении напряжения пробоя воздушного промежутка между их электродами.

Заряд конденсаторов каждой ступени разряда C_0 ГИН должен был быть осуществлен таким образом, чтобы к моменту коммутации разрядников напряжение на конденсаторах всех ступеней было бы практически одинаковым.

Особый вопрос при выборе схемы ГИН – выбор зарядных и разделительных элементов этого генератора. В исследовательских установках высокого напряжения для воздействия на электротехническую аппаратуру грозовыми и коммутационными перенапряжениями применяют ГИН с резисторными разделительными элементами между ступенями генератора. В технологических электроимпульсных и электрогидроимпульсных установках, где принципиально важным параметром считаются энергетические затраты, наиболее оптимальным вариантом заряда конденсаторов ГИН является их заряд через индуктивность, а в качестве разделительных элементов используют катушки индуктивности L_0 . Достоинство такого способа заряда – высокий коэффициент полезного действия (КПД) ГИН, в то

время как при заряде через резисторы КПД не превышает 50 %.

Выбор величины разделительной индуктивности L_0 определяется из условия, что за время формирования импульсного напряжения и до пробоя зарядного промежутка, саморазряд емкости отдельной ступени C_0 на разделительный элемент L_0 не должен превышать некоей установленной нормы, в качестве которой чаще всего принимают 5 %, или при условии, что постоянная времени саморазряда на разделительную индуктивность L_0 должна быть на два порядка выше постоянной времени разряда емкости генератора импульсного напряжения на нагрузку. В ГИН для формирования воздействия на растительные объекты с ограниченной энергией в импульсе, и соответственно, малыми значениями емкости, для обеспечения требуемой постоянной времени разряда в соответствии с указанным выше принципом потребуются разделительные индуктивности L_0 значительной величины по номиналу, и соответственно, по длине катушек. С использованием таких разделительных элементов, даже если их выполнять на сердечниках с магнитным материалом с повышенной магнитной проницаемостью (например, феррит), габариты генератора получаются неоправданно большими, поэтому применительно к схеме генератора импульсного напряжения для организации электроимпульсных воздействий на растительные объекты использование катушек в качестве разделительных элементов неоправданно, и поэтому в данной ситуации целесообразно согласиться с пониженным КПД, используя в качестве разделительных элементов резисторы. Разделительные резисторы R_0 между ступенями генератора должны выбираться таким образом, чтобы время разряда ГИН на нагрузку τ_n было бы значительно меньше времени разряда τ_0 емкости каждой ступени генератора C_0 на сопротивление этой ступени R_0 :

$$\tau_n \ll \tau_0, \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_n &= 3 \cdot R_n \frac{C_0}{n} \\ \tau_0 &= 3 \cdot C_0 \frac{R_0}{2} \end{aligned} \right\} \text{ где} \quad (3)$$

И поэтому получится следующее условие:

$$R_0 > \frac{2R_n}{n}. \quad (4)$$

Электродная система в исследованиях представляла собой один из трех вариантов, подводящих электрические импульсы к растительному объекту: 1) «острие-плоскость»; 2) «диск-диск»; 3) «диск-диэлектрический барьер-диэлектрический барьер-диск».

Измерительный каскад содержал делитель напряжения $R_{дн}$, сигнал, с которого поступал на вход осциллографа.

Результаты

Для визуализации формы кривой и регистрации параметров высоковольтного воздействия на

растительный объект производилось осциллографирование в основных экспериментально реализуемых режимах (рис. 2).

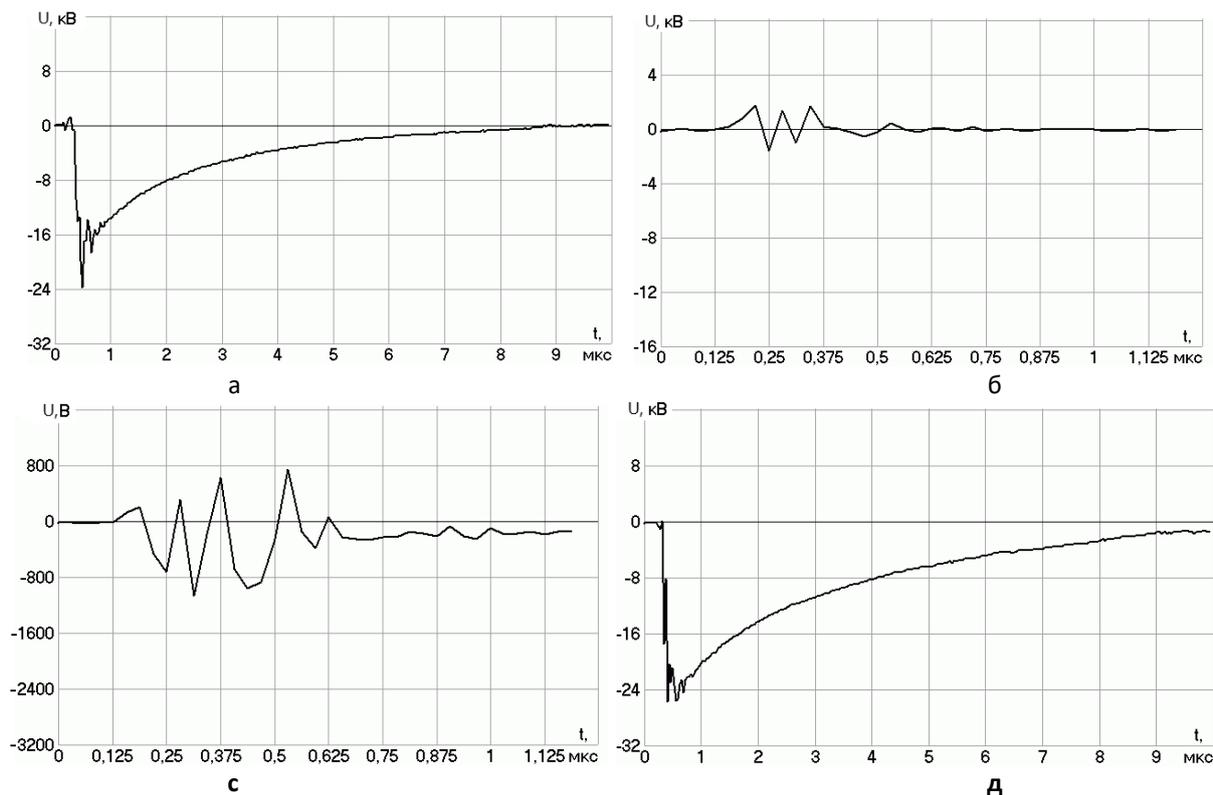


Рис. 2. Осциллограммы импульсов напряжения для следующих режимов: а) режим холостого хода; б) режим короткого замыкания; в) при воздействии на растительный объект с непосредственным контактом электродов (режим тока сквозной проводимости); д) при воздействии на растительный объект через диэлектрические барьеры (режим тока смещения)

Внимательное рассмотрение полученных осциллограмм импульсного напряжения (рис.2) позволяет говорить о следующем:

- генератор Аркадьева-Маркса формировал аperiodические импульсы амплитудой 20 ± 4 кВ и временем нарастания импульса (длительностью фронта) – $0,1 \dots 0,2$ мкс;
- осциллограмма режима короткого замыкания показывает, что форма импульса напряжения симметрична относительно линии абсцисс, и это позволяет говорить об отсутствии систематической ошибки в измерениях;
- осциллограмма импульса напряжения при непосредственном контакте с растительным объектом острых электродов представляет собой колебательный вид, что характерно и для режима короткого замыкания;
- осциллограмма импульса напряжения для режима обработки с применением дисковых электродов показывает, что его амплитуда из-за достаточно высокой проводимости растительного объекта не превышала значения 1000 В;
- для режима при непосредственном контакте с растительным объектом посредством диэлектрических барьеров-накладок имело место быть увеличение, по сравнению с режимом

холостого хода, амплитуды импульса и постоянной времени разряда τ .

Обсуждение

Фиксируемый рост амплитуды импульса, на наш взгляд, следует объяснить тем фактом, что по цепи протекает дополнительный нагрузочный ток, снижающий падение напряжения на воздушном искровом промежутке коммутаторов. Увеличение длительности постоянной времени разряда – $\tau = R \cdot C_p$ (R – общее сопротивление параллельно соединенных сопротивлений: разрядного $R_p = R_n$ и делителя напряжения $R_{дн}$; C_p – разрядная емкость ГИН), также следует объяснить тем фактом, что при подключении емкости растительного объекта C_{po} к емкости C_p , происходит увеличение общей емкости системы в целом – $C_c = C_p + C_{po}$. В связи с этим постоянная времени разряда закономерно уменьшается по мере необратимого повреждения внутриклеточных компонентов растительной ткани, так на первом импульсе она была равна 3,72 мкс и затем, после 100 импульсов – 3,24 мкс, что и связано со снижением активного сопротивления нагрузки.

Качественная картина изменения параметров электроимпульсного воздействия на растительные объекты, оцениваемая по снятым экспериментальным осциллограммам позволяет обоснованно

говорить о принципиально возможном варианте осуществления воздействия и через диэлектрические барьеры-накладки. Само же обсуждение

может быть дополнено и некоторыми количественными характеристиками, полученными расчетным путем для схемы формирования импульсов.

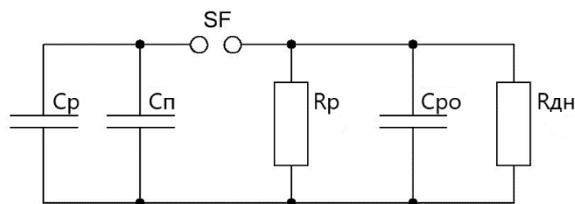


Рис. 3. Электрическая схема замещения для оценки постоянной времени разряда на биологическом объекте

Анализируя протекание процессов в схеме на рисунке 3, пренебрегая при этом паразитной емкостью монтажа электрических компонентов схемы ГИН, которые по значениям равны $R_p = 22$ кОм, $R_{дн} = 33,7$ кОм и $C_p = 117,5$ пФ, можно отметить, что постоянная времени разряда на холостом ходу равна значению $\tau_{хх} = 1,57$ мкс, что отличается от экспериментально снятого по осциллограммам на 25 %. Для ГИН с таким соотношением конструктивных (многоступенчатое исполнение) и энергетических (малое значение разрядной емкости) параметров фиксируемое небольшое отклонение вполне объяснимо. Для полного соответствия расчетного и экспериментально полученного значений постоянной времени разряда на холостом ходу $\tau_{хх}$ достаточно учесть паразитную емкость монтажа, которая практически оценивается вполне реалистичным значением $C_{л} = 37,4$ пФ. Используя этот же подход, можно сказать, что суммарную емкость растительного объекта с диэлектрическими барьерами и паразитной емкости монтажа можно оценить значением $C_{Б0} = 93,8$ пФ в исходном состоянии и значение $C_{Б0} = 66,4$ пФ после воздействия 100 высоковольтными импульсами.

Дальнейшая модернизация методики экспериментального осциллографирования создает предпосылки для углубленных оценок распределения электрического поля в структурных элементах растительного объекта с выявлением всех аспектов механизма необратимого повреждения внутриклеточных компонентов растительной ткани.

Эффект электроимпульсного необратимого повреждения растительных тканей объектов и материалов и влияние режимов электрообработки в представляемой работе оценивались по визуальному контролю усыхания листьев растения традесканции (лат. *Tradescantia*). Для этого осуществляли периодическую, в течение нескольких суток, фоторегистрацию контрольного растительного объекта и объекта, подвергнутого электроимпульсному воздействию, и визуально сравнивали степень изменения их состояния (усыхания) при различном энергетическом воздействии, характеризуемом изменением числа поданных на листовую часть растения импульсов (рис. 4).



Рис. 4. Фотографии листьев традесканции (лат. *Tradescantia*) после электроимпульсной обработки. В верхнем ряду: контрольный образец и листья, подвергнутые воздействию 10, 20 и 50 импульсами. В нижнем ряду – эти же объекты через сутки

В общем случае визуальный эффект повреждения листьев растения традесканции (лат. *Tradescantia*) после электроимпульсной обработки зафиксирован в виде потемнения с капельками жидкости на поверхности, который наблюдался сразу же после проведения опыта. Более заметное потемнение места повреждения отмечалось по прошествии 3 часов после электроимпульсного воздействия. Дальнейшие наблюдения показали, что контрастность пятна только увеличивалась, а через сутки наблюдалось и начало усыхания листа.

Воздействие электрическими импульсами на лист растения при использовании электродов «острие-плоскость» без диэлектрических барьеров проводило к локализованному прожиганию растительной ткани листа, мало изменяющемуся с увеличением числа импульсов и мало влияющему на дальнейшее визуальное состояние поверхности листа с течением времени.

При электрическом воздействии на растительный объект в системе дисковых электродов пятна образовывались по всей площади листа вне зависимости от наличия диэлектрического барьера, хотя и имели некоторые свои особенности. При отсутствии барьера из-за высокой проводимости растительной ткани нагрузкой ГИН являлось низкоомное сопротивление, что не позволяло создавать на объекте высокий уровень напряженности электрического поля и в нашем случае признаков прожигания ткани листа растения не наблюдалось. Область потемнения была четко ограничена диаметром дискового электрода, и с увеличением площади контакта потемнение становилось все менее выраженным.

При наличии диэлектрического барьера, видимо, удавалось сохранять параметры электрического поля в растительной ткани на большей площади контакта.

При использовании электродов: «диск (ограниченного диаметра) – плоскость» на листе четко выделялась область потемнения в форме кольца по диаметру верхнего электрода, выходя за пределы контактного диска, то есть в области с максимальными градиентами электрического поля. При использовании электрода большей площади, увеличенной до 30 см² с перфорацией, специально предназначенного для создания локальных участков с

повышенными градиентами поля, при том же уровне электрического воздействия, повреждающий эффект возрастал пропорционально площади электрода. Предпочтительность электроимпульсного повреждения с использованием электродных систем с диэлектрическим барьером, отмечалась сразу же после воздействия по внешнему виду – потемнению листа, достаточно ясно проявлялась через несколько суток на стадии высыхания листа.

Одновременно со сказанным интересно отметить следующий факт: в системе электродов «острие-плоскость» с диэлектрическими барьерами также отмечается область потемнения, приуроченная к области, в которой по поверхности диэлектрического барьера развивались скользящие разряды, т.е. имел место максимальный градиент электрического поля (в опыте их отмечено не более 5...10% от поданного числа импульсов).

Абсолютно идентичные наблюдения были зафиксированы при анализе наблюдений изменения внешнего вида пластинок свеклы (лат. *Béta vulgaris*), что позволяет говорить об эквивалентности реакции растительных объектов, несмотря на то, что контактирование рабочих электродов в первом случае (листья традесканции) организовывалось с наружными растительными тканями (эпидермисом), обладающими более высоким электрическим сопротивлением, а во втором случае (пластинки свеклы) – с внутренними тканями, характеризующимися более низким электрическим сопротивлением.

Заключение

Проанализировав полученные результаты экспериментальных исследований по электроимпульсному воздействию на растительную ткань с применением различных вариантов конструкции электродов, подводящих электрическую энергию к изучаемым объектам, можно заключить, что повреждение от электрического воздействия имеет существенное и технологически значимое различие в достигаемом эффекте при конкретном режиме подведения электрических импульсов посредством рабочих электродов. Именно этот зафиксированный факт, на наш взгляд, и следует учитывать при разработке электродных систем, используемых для непосредственного контакта с обрабатываемыми растениями, растительным сырьем или материалом.

Литература

1. Electrotechnology as one of the most advanced branches in the agricultural production development / V.I. Baev, I.V. Baev, V.A. Petrukhin, et al. // In: Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. Ed. by V. Kharchenko, P. Vasant. Hershey PA: IGI Global, 2018. P. 149–175. doi: 10.4018/978-1-5225-3867-7.ch007
2. Baev V. I., Yudaev I. V. Efficiency estimation of type of the electrical exposure on plants at their processing // Ad Alta. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 252-257.
3. Boussetta N., Grimi N., Vorobiev E. Pulsed Electrical Technologies Assisted Polyphenols Extraction from Agricultural Plants and Bioresources: A Review // International Journal of Food Processing Technology. 2015. Vol. 2. No. 1. P. 1-10. doi: 10.15379/2408-9826.2015.02.01.1.
4. Vorobiev E., Lebovka N. Processing of sugar beets assisted by pulsed electric fields // Research in Agricultural Engineering. 2022. Vol. 68. No. 2. P. 63–79. doi:10.17221/91/2021-RAE

5. Impact of pulsed electric field treatment on drying kinetics, mass transfer, colour parameters and microstructure of plum / A. Rahaman, A. Siddeeg, M. F. Manzoor, et al. // *J Food Sci Technol*. May 2019. Vol. 56. No. 5. P. 2670–2678. doi:10.1007/s13197-019-03755-0.
6. The application of PEF technology in food processing and human nutrition / K. Nowosad, M. Sujka, U. Pankiewicz, et al. // *J Food Sci Technol*. February 2021. Vol. 58. No. 2. P. 397–411. doi:10.1007/s13197-020-04512-4
7. Slaven M. J., Koch M., Borger C. P. D. Exploring the potential of electric weed control: a review // *Weed Science*. Published online by Cambridge University Press. 2023. P. 1-19. doi: 10.1017/wsc.2023.38
8. Influence of Factors Determining Weeds' Plant Tissue Reaction to the Electric Pulse Damage Impact / I. Yudaev, Y. Daus, V. Panchenko, et al. // *Agriculture*. 2023. Vol. 13. No. 5. P. 1099. doi:10.3390/agriculture13051099
9. Баев В. И., Бородин И. Ф. Электроимпульсная предуборочная обработка растений подсолнечника и табака: Монография. Волгоград: Волгоградская ГСХА: Станица-2, 2002. 228 с. ISBN 5-85536-179-9.
10. Pre-planting and Post-harvest Treatment of Potato with Low-Frequency Pulse Electric Field Suppresses the Development of the Leaf and Tuber Blight / S. Ulbasheva, D. Vorobyev, N. Statsyuk, et al. // In: Ronzhin, A., Kostyaev, A. (eds) *Agriculture Digitalization and Organic Production. ADOP 2023. Smart Innovation, Systems and Technologies, 2023*, Springer, Singapore. Vol. 362. P 279–291. doi:10.1007/978-981-99-4165-0_26
11. Klauk B., Löbmann A., Petersen J. Möglichkeiten eines elektrophysikalischen Verfahrens zur Sikkation in Frühkartoffeln und Bekämpfung von ausdauernden Unkräutern [Possibilities of an electrical–physical technology for desiccation of early potatoes and control of perennial weeds]. in *Proceedings of the 30th German Workshop on Questions of Weed Biology and Control/Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung*. Braunschweig, Germany: Julius Kühn Institute. 2022. P. 262–268
12. Usov A. F., Yudaev I. V. About vegetative fabrics biodamage character by electropulse high-voltage influence // *Poljoprivredna tehnika*. 2009. Vol.34. No. 4. P.63-68
13. Бородулин В. В., Усов А. Ф. Вопросы разработки электротехнического оборудования для электроимпульсных дезинтеграционных установок // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2010. № 6 (111). С. 90-98.
14. Electro-ozonizers: A new approach for an old problem / J.A. Lara, C. Saez., F. Machuca-Martínez, et al. // *Separation and Purification Technology*. February 2020. Vol.241. P. 116701. doi: 10.1016/j.seppur.2020.116701
15. Возмилов А. Г., Илимбетов Р. Ю., Астафьев Д. В. Теоретические и экспериментальные исследования эффективности очистки воздуха электростатическим фильтром // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*. 2016. № 5-6(193-194). С. 80-89. doi:10.15518/isjaee.2016.05-06.009.

References

1. Electrotechnology as one of the most advanced branches in the agricultural production development / V.I. Baev, I.V. Baev., V.A. Petrukhin, et al. // In: *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development*. Ed. by V. Kharchenko, P. Vasant. Hershey PA: IGI Global, 2018, pp. 149–175. doi: 10.4018/978-1-5225-3867-7.ch007
2. Baev V. I., Yudaev I. V. Efficiency estimation of type of the electrical exposure on plants at their processing // *Ad Alta*. 2018. Vol. 8.No. 1. P. 252-257.
3. Boussetta N., Grimi N., Vorobiev E. Pulsed Electrical Technologies Assisted Polyphenols Extraction from Agricultural Plants and Bioresources: A Review // *International Journal of Food Processing Technology*. 2015. Vol. 2.No. 1. P. 1-10. doi: 10.15379/2408-9826.2015.02.01.1.
4. Vorobiev E., Lebovka N. Processing of sugar beets assisted by pulsed electric fields // *Research in Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 68.No. 2. P. 63–79. doi:10.17221/91/2021-RAE
5. Impact of pulsed electric field treatment on drying kinetics, mass transfer, color parameters and microstructure of plum / A. Rahaman, A. Siddeeg, M. F. Manzoor, et al. // *J Food Sci Technol*. May 2019. Vol. 56.No. 5. P. 2670–2678. doi:10.1007/s13197-019-03755-0.
6. The application of PEF technology in food processing and human nutrition / K. Nowosad, M. Sujka, U. Pankiewicz, et al. // *J Food Sci Technol*. February 2021. Vol. 58.No. 2. P. 397–411. doi:10.1007/s13197-020-04512-4
7. Slaven M. J., Koch M., Borger C. P. D. Exploring the potential of electric weed control: a review // *Weed Science*. Published online by Cambridge University Press. 2023. P. 1-19. doi: 10.1017/wsc.2023.38
8. Influence of Factors Determining Weeds' Plant Tissue Reaction to the Electric Pulse Damage Impact / I. Yudaev, Y. Daus, V. Panchenko, et al. // *Agriculture*. 2023. Vol. 13. No. 5. P. 1099. doi:10.3390/agriculture13051099
9. Baev V. I., Borodin I. F. Electropulse pre-harvest treatment of sunflower and tobacco plants: Monograph. Volgograd: Volgograd State Agricultural Academy: Stanitsa-2, 2002. 228 p. ISBN 5-85536-179-9.
10. Pre-planting and Post-harvest Treatment of Potato with Low-Frequency Pulse Electric Field Suppresses the Development of the Leaf and Tuber Blight / S. Ulbasheva, D. Vorobyev, N. Statsyuk, et al. // In: Ronzhin, A., Kostyaev, A. (eds) *Agriculture Digitalization and Organic Production. ADOP 2023. Smart Innovation, Systems and Technologies, 2023*, Springer, Singapore. Vol. 362. P 279–291. doi:10.1007/978-981-99-4165-0_26

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

11. Klauk B., Löbmann A., Petersen J. Möglichkeiten eines elektrophysikalischen Verfahrens zur Sikkation in Frühkartoffeln und Bekämpfung von ausdauernden Unkräutern [Possibilities of an electrical–physical technology for desiccation of early potatoes and control of perennial weeds]. in Proceedings of the 30th German Workshop on Questions of Weed Biology and Control/Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Braunschweig, Germany: Julius Kühn Institute. 2022. P. 262–268
12. Usov A. F., Yudaev I. V. About vegetative fabrics biodamage character by electropulse high-voltage influence // Poljoprivredna tehnika. 2009. Vol. 34. No. 4. P. 63–68
13. Borodulin V. V., Usov A. F. Issues of development of electrical equipment for electro-pulse disintegration installations // Scientific notes of Petrozavodsk state university. 2010. No. 6 (111). P. 90-98.
14. Electro-ozonizers: A new approach for an old problem / J.A. Lara, C. Saez., F. Machuca-Martínez, et al. // Separation and Purification Technology. February 2020. Vol.241. P. 116701. doi: 10.1016/j.seppur.2020.116701
15. Vozmilov A. G., Ilimbetov R. Yu., Astafiev D. V. Theoretical and experimental studies of the efficiency of air purification by an electrostatic filter // International scientific journal Alternative Energy and Ecology. 2016. No. 5-6(193-194). P. 80-89. doi:10.15518/isjaee.2016.05-06.009



75 лет

Катмакову Петру Сергеевичу,

доктору сельскохозяйственных наук, профессору, академику РАН, профессору кафедры «Морфология и физиология, кормление, разведение и частная зоотехния» Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина

Будущий учёный Петр Сергеевич Катмаков родился в многодетной семье в послевоенные годы 1 октября 1949 г. в д. Малая Акса Дрожжановского района республики Татарстан. После окончания с отличием зооинженерного факультета Ульяновского сельскохозяйственного института в 1976 году, он начал трудиться на благо Родины. Работал главным зоотехником совхоза «Прогресс» Николаевского района Ульяновской области, затем зоотехником в племенном колхозе «Победа» Чердаклинского района.

Молодого специалиста тянуло в вуз желание преподавать и изучать науки. С сентября 1980 г. по июль 1981 г. Пётр успешно прошёл педагогическую подготовку в Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева. Затем был принят на должность преподавателя, а позже и заведующего зоотехническим отделением Вольского сельскохозяйственного техникума Саратовской области.

Шли годы трудовой деятельности. В 1986 году Катмаков П.С. был переведен в Поволжский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства на должность старшего зоотехника отдела интенсивных технологий производства молока и мяса.

Петр Сергеевич, обладая аналитическим умом, всегда стремился к научной деятельности. И в 1988 году после окончания аспирантуры и успешной защиты кандидатской диссертации под руководством известного профессора Карликова Д.В. при Всесоюзном научно-исследовательском институте животноводства, работал в Ульяновском НИИСХ сначала в должности старшего, а затем ведущего научного сотрудника.

Судьба сложилась так, что Пётр снова вернулся в родной вуз в декабре 1995 года и стал работать доцентом кафедры разведения сельскохозяйственных животных, генетики и животноводства.

В 2003 году научному сообществу Катмаков П.С. представил докторскую диссертацию на тему «Генетические и средовые факторы в системе формирования высокопродуктивных типов и популяций молочного скота», за которую удостоился присвоению ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности 06.02.01 – Разведение, селекция, генетика и воспроизводство сельскохозяйственных животных. Далее в 2004 году получил звание профессора. В период с 2006 по 2011 года руководил кафедрой «Разведение, генетика и животноводство».

Катмаков П.С. не останавливается на достигнутом и не снижает темпы научной деятельности в области генетических основ селекции животных и учебного процесса подготовки магистрантов. По материалам его исследование опубликовано более 170 научных и методических работ, в том числе 9 научных монографий. Петром Сергеевичем написаны учебники для студентов Вузов с грифом УМО: «Биотехнология в животноводстве», «Генетика», для направления магистратуры и аспирантуры «Зоотехния», учебные пособия с грифом УМО: «Биометрия», «Генетика», «Биотехнология в животноводстве», «Генетика для сельскохозяйственных направлений подготовки», «Селекционно-племенная работа в молочном скотоводстве», «Генетические основы селекции животных», «Генетико-статистические методы анализа популяций животных по качественным и количественным признакам», «Математические методы в генетике и селекции сельскохозяйственных животных».

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

Петр Сергеевич являясь научным руководителем и консультантом подготовил 3 кандидата наук, 1 доктора наук, 8 магистрантов и более сотни студентов-дипломников.

За личный вклад в развитие системы высшего профессионального образования и развитие агропромышленного комплекса Ульяновской области Катмаков П.С. награжден Почётными грамотами Министерства образования и науки Российской Федерации (2013 г), администрации Ульяновской области (2003, 2009 г), благодарственное письмо сенатора Российской Федерации (2023 г) и администрации сельхозакадемии (2009, 2019 г). Награжден дипломом III степени в номинации «Лучшее научное издание» конкурса выставки-презентации учебных, учебно-методических и научных изданий (2016 г), грамотой в номинации «Лучшее учебное издание по агрономии» IV Всероссийского конкурса изданий учреждений ДПО, подведомственных Минсельхозу России (2018 г), дипломом за издание «Зоотехния» в номинации «Открытие года» VIII Всероссийской книжной премии «Золотой фонд» (2021 г).

Катмаков П.С. более 20 лет являлся постоянным членом диссертационного совета Вуза, выполняет обязанности члена регионального отделения биотехнологов России, ему присвоено звание академика Российской Народной академии наук.

Многогранная научная, педагогическая и общественная деятельность профессора Катмакова Петра Сергеевича получила широкое признание. Он пользуется заслуженным авторитетом среди своих коллег, как на кафедре, факультете, в вузе, так и в Ульяновской области, и далеко за ее пределами. О том, что научные издания профессора Катмакова П.С. вызывают большой интерес у ученых, достаточно отметить, что на сегодняшний день они процитированы в РИНЦ более чем 1000 раз.

Продолжая сегодня работать в должности профессора кафедры «Морфология и физиология, кормление, разведение и частная зоотехния» Ульяновского ГАУ, Петр Сергеевич служит примером высочайшего профессионализма, трудолюбия и беззаветной преданности и любви к своему делу.