

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА /
POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 581.151:635.63:538.56

DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-53-59

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В САДОВОДСТВЕ

СТРЕБКОВ ДМИТРИЙ СЕМЕНОВИЧ, академик РАН, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: nauka-ds@mail.ru

ШОГЕНОВ АСЛАНБЕК ХАЖУМАРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор²

E-mail: shah3636@mail.ru

ШОГЕНОВ ЮРИЙ ХАСАНОВИЧ, член-корреспондент РАН, докт. техн. наук³

E-mail: yh1961s@yandex.ru

¹ Федеральний научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

² Северо-Кавказская академия управления; 360004, Российская Федерация, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Ахохова, 169А

³ Сектор механизации, электрификации и автоматизации РАН; 119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский просп., 32А

Представлены области применения и примеры использования электротехнологии в сельскохозяйственном производстве с использованием электрического, магнитного и электромагнитных полей. Определены перспективные направления исследований с применением электротехнологии в садоводстве: использование для полива древесных культурных растений и кустарников омагниченной воды; применение сильного электрического поля высокого напряжения для получения тонкодисперсного электроаэрозоля в виде тумана или облака из электрически заряженных капелек раствора (химического препарата от болезней и вредителей садовых культур) для кратного повышения эффективности использования препарата с 25 до 75% и снижения нагрузки на экологию окружающей среды. Представлены технические устройства для получения омагниченной воды. Предложен оригинальный источник магнитного поля, состоящий из индуктора с обмотками и сердечника из феррита и отличающийся дополнительными возможностями по регулированию частоты (скорости) вращения магнитного поля, образованию магнитных полей с различным составом гармоник, зависящим от формы выходного напряжения транзисторного преобразователя частоты. Приведена электрическая схема (питающаяся от аккумулятора или маломощного выпрямителя) малогабаритного источника сильного электрического поля с использованием высокочастотных трансформаторов, масса и объем которых при таких частотах уменьшаются в 2 раза.

Ключевые слова: электромагнитное поле, окружающая среда, электрическое поле, аэрозольный генератор, феррит, электрический заряд, магнитное поле, высокочастотный трансформатор.

Формат цитирования: Стребков Д.С., Шогенов А.Х., Шогенов Ю.Х. Перспективы применения электротехнологии в садоводстве // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 6(94). С. 53-59. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-53-59.

PROSPECTS OF APPLYING ELECTROTECHNOLOGY IN GARDENING

DMITRY S. STREBKOV, Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor, Scientific Supervisor¹

E-mail: nauka-ds@mail.ru;

ASLANBEK KH. SHOGENOV, DSc (Eng), Professor

E-mail: shah3636@mail.ru

YURII KH. SHOGENOV, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng),
Head of the Sector of Mechanization, Electrification and Automation of the Department of Agricultural Sciences

E-mail: yh1961s@yandex.ru

¹ Federal Agroengineering Centre VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutsky Proezd Str., 5

² North-Caucasus Academy of Management; 360004, Russian Federation, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Akhokhova Str., 169A

³ Russian Academy of Sciences (RAS); 119991, Russian Federation, Moscow, Leninsky Ave., 32 A

The paper presents some application fields and examples of applying electrotechnology in agricultural production as exemplified by the use of electric, magnetic and electromagnetic fields. The authors determined promising research areas concerning the application of electrotechnology in gardening: the use of magnetized water for watering tree crops and bushes; the use of a strong electric field of high voltage to produce a fine electroaerosol in the form of fog or cloud of electrically charged solution droplets (chemical preparation to combat diseases and pests of garden crops) to increase the preparation efficiency (from 25 to 75%) and reduce the environmental impact. The paper presents the designs of technical devices for obtaining magnetized water. The authors offer an original magnetic field source consisting of an inductor with windings and a ferrite core and having additional features for regulating the rotation speed of the magnetic field, and the formation of magnetic fields with different harmonic composition, depending on the shape of the output voltage of a transistor frequency converter. The paper also provides a description of an electric circuit (powered by a battery or a low-power rectifier) of a small-sized source of a strong electric field using high-frequency transformers, the mass and size of which are reduced twice at such frequencies.

Key words: electromagnetic field, environment, electric field, aerosol generator, ferrite, electric charge, magnetic field, high-frequency transformer.

For citation: Strebkov D.S., Shogenov A.Kh., Shogenov Yu.Kh. Prospects of applying electrotechnology in gardening. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 6(94): 53-59. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-53-59 (In Rus.).

Введение. Известно, что живые организмы и окружающая их среда образуют сбалансированную экосистему, которая оптимальна и стабильно устойчива при сбалансированном обмене веществ, энергией и информацией внутри неё. Однако в силу природных явлений и антропогенных факторов устойчивость экосистемы периодически нарушается. Тогда для её восстановления, оптимизации или улучшения в желаемом направлении человеку приходится вмешиваться в данный процесс путём искусственного внешнего воздействия на составляющие экосистемы. Примером этого является применение в сельскохозяйственном производстве общеизвестных традиционных технологий – внесение удобрений в почву, использование ядохимикатов в огородах и садах для борьбы с вредителями и болезнями, орошение и осушение полей, химическая мелиорация земель и другие процессы. Относительно новым подходом к решению указанной проблемы является непосредственное воздействие электрическим током (напряжением), электрическим полем, магнитным полем (МП) и электромагнитным полем (излучением) на растения и почвенную среду с целью получения в них целесообразных (желаемых, возможно управляемых) изменений с применением современных электротехнологий в растениеводстве, садоводстве, овощеводстве, в том числе в сооружениях защищённого грунта [1, 2]. Растение и окружающая среда пронизаны сложными и тонко организованными в пространственном и временном отношениях электромагнитными полями (ЭМП) [3, 4]. В условиях непрерывного обмена с окружающей средой веществом, энергией и информацией в растительных организмах в результате физико-химических процессов создаются токи заряженных частиц, которые образуют внутри и за его пределами постоянные, квазистационарные и переменные электрические поля информационного уровня. С учётом вышеизложенного различные направления электротехнологии могут эффективно применяться в сельскохозяйственном производстве [5].

Множественные примеры применения магнитного поля, точнее «омагниченной» воды и водных систем в сельском хозяйстве и других областях человеческой деятельности, приводятся в работе [6]. В частности, рассматривается её благотворное влияние на овощные и зернобобовые культуры, которое объясняют авторы тем, что

молекулы воды, соединяясь между собой, образуют кластеры, которые часто слишком велики для проникновения в клетки растения. Процесс «омагничивания» воды размельчает их, благодаря чему возрастают возможности попадания её в клетку через корневую систему и водопроницающие ксилемные пучки, что способствует улучшению питания растений. Вопрос о влиянии МП на растительные объекты особенно актуален для Курской области, находящейся в районе магнитной аномалии. Исследования показывают, что в районе интенсивных аномалий ниже урожайность ряда сельскохозяйственных культур, снижена сахаристость сахарной свёклы, а также устойчивость растений к некоторым болезням [7].

Обнаружены данные, что слабое МП напряженностью $0,1...1,73$ Э, создаваемое кольцами Гельмгольца, вызывает значительное изменение величины биоэлектрических потенциалов окоренившихся черенков традесканции [8]. Это может служить доказательством влияния МП на окислительно-восстановительные процессы в растительных тканях. Подтверждением тому являются работы, свидетельствующие о влиянии МП на метаболические процессы, скорость и направление ферментативных реакций [9].

В настоящее время не существует цельной теории, объясняющей механизм воздействия МП на растительные объекты. Однако, учитывая, что немагнитных материалов в природе не существует, можно предположить, что этот механизм находится на субклеточном уровне и имеет электромагнитную природу [10].

Существует мнение, согласно которому механизм биологического действия МП связан с изменением структуры воды, входящей в биологические объекты. В пользу такого предположения свидетельствует тот факт, что вода, пропущенная между полюсами постоянного магнита, приобретает свойства, отличающие её от обычной и обладает физиологической активностью [11, 12].

Использованию электрического поля, точнее электроаэрозольной технологии посвящена монография, в которой рассматривается широкий круг её применения в сельском хозяйстве и других областях [13].

На основе анализа специальной литературы можно утверждать о малом количестве научных публикаций по использованию электротехнологии в садоводстве, где она

может оказаться достаточно эффективным средством для защиты растений от вредителей и болезней, при создании новых сортов плодово-ягодных культур, для повышения энергии прорастания посадочного материала и др. Поэтому данное направление исследований является актуальным и следует обстоятельно изучить с последующим внедрением позитивных результатов в садоводство. Например, можно начинать с воздействия на черенки плодово-ягодных культур ЭП, МП, ЭМП и токами различных частот или длин волн. Отдельным направлением проведения исследований в садоводстве может быть разработка технических средств для отпугивания птиц (скворцов, грачей и др.) от плантаций черешен и виноградников с помощью звуковых сигналов и ЭМП.

Цель работы – научные изыскания по определению перспективных научных направлений использования электротехнологии в садоводстве и созданию технических средств для их реализации.

В плане постановки задач рассматриваются два перспективных направления работ по использованию электротехнологии в садоводстве.

Материал и методы. Представлены технические устройства для получения омагниченной воды. Предложен оригинальный источник магнитного поля, состоящий

из индуктора с обмотками и сердечника из феррита и отличающийся дополнительными возможностями по регулированию частоты (скорости) вращения магнитного поля, образованию магнитных полей с различным составом гармоник, зависящим от формы выходного напряжения транзисторного преобразователя частоты. Приведена электрическая схема малоэнергетического (питающаяся от аккумулятора или маломощного выпрямителя) и малогабаритного источника сильного электрического поля с использованием высокочастотных трансформаторов масса

Результаты и обсуждение.

Применение омагниченной воды в садоводстве. В работе [14] приводится пример использования магнитного поля для омагничивания воды, которой обрабатываются зелёные черенки плодово-ягодных культур. Увлажнение такой водной системой оказало положительное влияние на зелёные черенки сливы и чёрной смородины. Процесс корнеобразования у них начался на 2-3 дня раньше, укореняемость черенков повысилась до 20%. Количество придаточных корней первого порядка у черенков чёрной смородины увеличилось в среднем на 63,6%, у сливы – 103,2% по сравнению с контрольными вариантами. Увеличилась также суммарная длина корней. Рост побегов под влиянием омагниченной воды усилился и др.

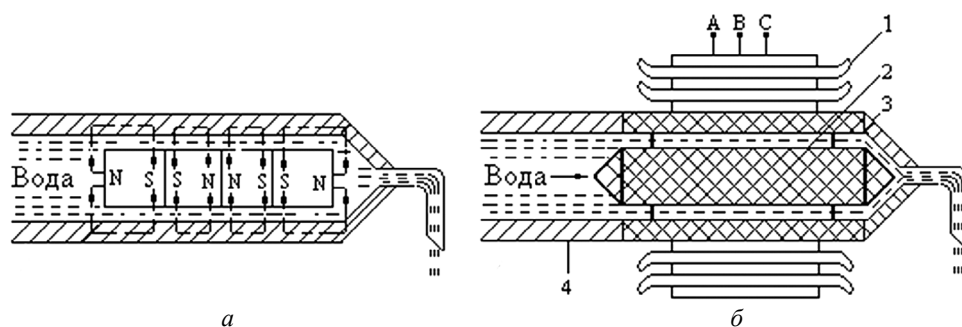


Рис. 1. Устройство для магнитной обработки воды (а), предлагаемый ИМП (б):
1 – индуктор с обмотками; 2 – сердечник из феррита; 3 – труба из диамагнитного материала;
4 – стальная труба; ABC – трёхфазная сеть

Fig. 1. Device for magnetic treatment of water (a), the proposed magnetic field source (MFS) (b):
1 – an inductor with windings; 2 – a ferrite core; 3 – a pipe made of diamagnetic material;
4 – a steel pipe; ABC – three-phase network

В качестве источника магнитного поля в нашей стране обычно используются аппараты с постоянными магнитами и электромагнитами, расположенные последовательно друг за другом и состыкованные одноимёнными полюсами. Они серийно выпускаются у нас и за рубежом.

На рисунке 1а схематически показано устройство для магнитной обработки воды с 4-мя постоянными магнитами (их может быть больше), закреплёнными внутри стальной трубы, по которой течёт вода. Между цепочкой магнитов и внутренним диаметром стальной трубы образуется зазор для протекания воды, где она и омагничивается. Аппарат с электромагнитами отличается, во-первых, тем, что вместо постоянных магнитов используются электромагниты на постоянном токе, во-вторых, последние размещены в герметически закрытой диамагнитной гильзе (например, латунной), заполненной трансформаторным маслом, внешний диаметр которого с внутренним стальной трубы образует соответствующий зазор, как

и в аппарате с постоянными магнитами. В этих аппаратах вода пересекает магнитные поля (потоки) чередующейся полярности.

Авторами предлагается использовать для этих целей оригинальный источник магнитного поля (ИМП), который подобен трёхфазному асинхронному двигателю с заторможенным ротором (рис. 1б) [15]. ИМП состоит из индуктора с обмотками (подобие статора) 1 и сердечника (подобие заторможенного ротора) 2 из феррита. Сердечник закреплён в отрезке трубы из диамагнитного материала 3 (например, полимерного), на которую насажен индуктор. Аппарат включается в рассечку стальной трубы (рис. 1б), по которой течёт вода, протекающая в зазоре между внутренним диаметром полимерной трубы и внешним сердечника. При подключении ИМП к трёхфазной сети в зазоре между индуктором и сердечником образуется вращающееся магнитное поле, которое пересекает текущую по нему воду, омагничивая её. Аппарат

может омагничивать и «стоячую» воду, если ёмкость с водой охватить им. ИМП может также питаться от однофазно-трёхфазного транзисторного преобразователя частоты (ТПЧ) [16]. В этом случае у аппарата появляются дополнительные возможности: регулирование частоты (скорости) вращения магнитного поля, образование гаммы магнитных полей с различным составом гармоник, зависящим от формы выходного напряжения ТПЧ, одни из которых вращаются в одну сторону, другие – в другую и др.

В настоящее время конкретные конструкции эффективных и оптимальных ИМП мало изучены, не изучены также свойства омагниченной ими воды во вращающемся магнитном поле, что даёт широкое поле деятельности молодым исследователям.

Применение электроаэрозольных генераторов в садоводстве. Известно, что традиционные способы защиты фруктовых садов от вредителей и болезней химическими средствами – опрыскивания жидкими химическими растворами или порошками чреваты качественными и количественными издержками, включая дополнительную нагрузку на экологию окружающей среды. При обработке растений инсектицидами их эффективность возрастает с повышением их дисперсности. В то же время при увеличении дисперсности уменьшается количество препарата, осаждающегося на растениях. Обычно на поверхность растения оседает до 15...25% препарата, а 70...85% уносится ветром за пределы обрабатываемого участка, зачастую оказывая отрицательное экологическое воздействие на окружающую среду. С целью уменьшения этих отрицательных явлений применяют электроаэрозольную технологию, сущность которой заключается в том, что жидкий раствор препарата под определённым давлением пропускают через сильное электрическое (электростатическое высокого напряжения) поле. При этом образуется тонкодисперсный электроаэрозоль (туман или облако из электрически заряжённых капелек раствора), который осаждается на растениях, поскольку, как показано в [17] растение само обладает меняющимся в динамике квазистационарным электрическим полем, образованным разностью потенциалов между корневой системой ($\varphi_k = 0$) и верхней частью ($\varphi_v = \varphi_{max}$) как травянистых, кустарниковых, так и древесных растений (плодовых). Учитывая избыточный электрический заряд распыляемых частиц от аэрозольного генератора, следует ожидать, что в спокойную ясную погоду аэрозольные частицы достаточно эффективно (до 80...90%) осаждаются на верхнюю и нижнюю части листовой поверхности растения, имеющими противоположный электрический заряд.

Известны преимущества этого способа опрыскивания садов (растений): потери препарата минимальны, практически весь материал осаждается на объекте (расход препарата в 2 раза меньше, чем при традиционной аэрозольной технологии); распылённый препарат осаждается на обеих сторонах листа благодаря электрическому заряду; раствор на покрываемой поверхности распределяется с большой степенью однородности; обеспечивается надёжное прилипание аэрозоля к объекту; отсутствует «отскакивание» осаждённых частиц при колебаниях покрываемой поверхности и др. Понятно, что при современных высоких ценах на препараты, электроаэрозольная технология является весьма привлекательным

способом для садоводов. Между тем этот достаточно эффективный способ опрыскивания садов мало распространён в нашей стране, в частности в Северо-Кавказском регионе и Крыму, где развито садоводство и виноградарство.

Одной из основных причин этого является отсутствие качественных источников электрического поля. В литературе приведены эффективные источники сильных электрических полей на современной элементной базе, в основу которых положены транзисторные инверторы напряжения (ТИН) и выпрямители с умножением напряжения (ВУМ) [16].

В качестве примера на рисунке 2а приведена принципиальная схема одного из простейших вариантов источника сильного электрического поля (ИСЭП), питающегося от аккумулятора или маломощного выпрямителя. Она состоит из ТИН (левая часть) и ВУМ (правая часть).

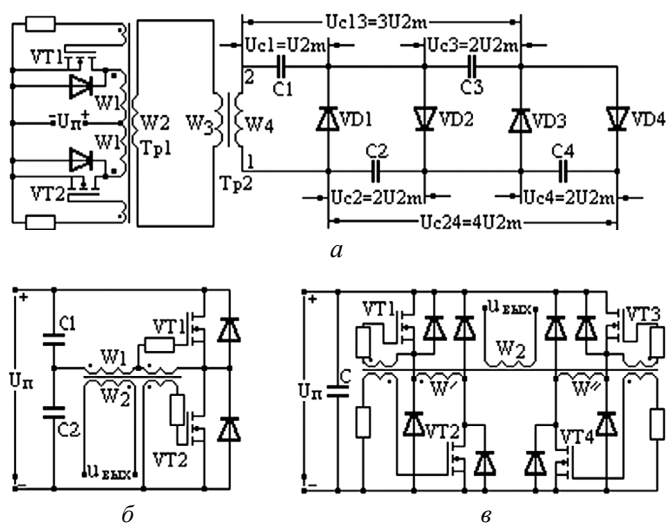


Рис. 2. Принципиальная схема источника сильного электрического поля:

а – транзисторные инверторы напряжения; б – полумостовая схема; в – мостовая схема

Fig. 2. Schematic diagram of the source of a strong electric field:

а – transistor voltage inverters; б – a half-bridge circuit; в – a full bridge circuit

С целью получения малогабаритных и с небольшим весом трансформаторов $Tr1$ и $Tr2$ их конструируют высокочастотными. При этом в качестве сердечников могут использоваться ферриты различных форм и конфигураций. Однако, как показала практика, такие трансформаторы с чрезмерно высокими частотами (например, $f \geq 20$ кГц) имеют целый ряд недостатков: при высоких частотах сказываются паразитные ёмкости обмоток трансформаторов, на перезаряд которых затрачивается значительная энергия; в ВУМ приходится применять высоковольтные и высокочастотные диоды, технические характеристики которых ниже, а цены увеличиваются с ростом частоты; возникают повышенные требования к качеству электрической изоляции трансформатора; у большинства изоляционных материалов с ростом частоты электрическая прочность падает; рабочие индукции ферритовых сердечников $Tr1$ и $Tr2$ низкие (порядка 0,2 Тл) и др.

Поэтому для высокочастотных трансформаторов ИСЭП рекомендуется брать $f \leq 5$ кГц. Дело в том, что масса и объём трансформаторов при таких частотах уменьшаются в 2 раза. Такой же эффект достигается повышением частоты от 5 до 20 кГц, а при дальнейшем её увеличении он уменьшается незначительно. Кроме этого, при частотах до 5 кГц в качестве магнитопроводов в трансформаторах ИСЭП можно использовать сердечники из электротехнических ленточных сталей марки Э2423 (Э360) толщиной ленты 0,05...0,08 мм, а рабочую расчётную индукцию брать порядка 0,8...1,0. Это существенно уменьшает число витков обмоток трансформаторов и тем самым компенсирует уменьшение их массогабаритов при частоте 20 кГц.

От трансформаторов Тр1 и Тр2 можно получать напряжение до 10 кВ и выше. Однако такие трансформаторы также имеют свои недостатки как с точки зрения необходимости усиления изоляции, которая увеличивает габариты трансформатора и цену, так и потери энергии в них. Поэтому выходные напряжения трансформаторов ИСЭП целесообразно брать $U_{\text{вых}} \leq 5$ кВ. Более того, с целью облегчения изоляции Тр1 и уменьшения коэффициентов трансформаций трансформаторы целесообразно иногда каскадировать (использовать Тр2). Однако при этом увеличиваются установленные мощности трансформаторов, возрастает общая индуктивность схемы, снижается КПД, растёт цена изделия и др. Поэтому такое каскадирование целесообразно ограничить двумя звеньями (рис. 2а) или вовсе избегать. При этом коэффициенты каскадных трансформаторов можно брать одинаковыми и равными ориентировочно $K_{mm1} \approx K_{mm2} \approx W_2/W_1 \approx W_4/W_3 \approx \sqrt{U_{\text{вых}}/U_{\text{п}}}$, (например, при $U_{\text{вых}} = 5000$ В и $U_{\text{п}} = 6$ В $K_{mm1} \approx K_{mm2} \approx 29$, при $U_{\text{вых}} = 300$ В и $U_{\text{п}} = 6$ В $K_{mm1} \approx K_{mm2} \approx 7$).

Принцип работы ИСЭП, его расчёт приводятся в работе Г.А. Таракановой и др. [9]. Приведём несколько замечаний по нему.

При применении ИСЭП в сельскохозяйственных предприятиях с различными размерами плантаций достаточно потребляемой мощности $P_{\text{пот.}} = 50...150$ Вт. При этом, когда $P_{\text{пот.}} \leq 50$ Вт целесообразно использовать ТИН (рис. 2а левая часть), который в научных источниках упоминается как генератор Ройера (Royer), когда $50 < P_{\text{пот.}} \leq 100$ Вт – полумостовую схему (рис. 2б), когда $P_{\text{пот.}} > 100$ Вт – мостовую схему (рис. 2в).

Применение в ИСЭП каскадных трансформаторов (Тр1 и Тр2) может оказаться целесообразным при $U_{\text{п}} \leq 6$ В и $U_{\text{вых1}} \geq 300$ В, если $U_{\text{п}} \geq 300$ В, то можно обойтись одним Тр1.

Таким образом, в настоящее время как ТИНЫ, так и ВУМы сами по себе изучены достаточно подробно. Между тем для предлагаемых целей они требуют доработок. Поэтому приведённые выше замечания не являются полными, что подразумевает проведение новых исследований в этом направлении с целью создания оптимальных устройств ИСЭП различных мощностей.

В нашей стране и за рубежом используются многочисленные приёмы воздействия ЭП, МП и ЭМП на растения и семена с целью их стимуляции. Сформировалось значительное число самостоятельных школ, которые, решая одинаковые (подобные) проблемы, базируются на различных теоретических предположениях [18]. Из анализа приведённых работ следует, что электромагнитная стимуляция

растений и предпосевная обработка семян часто позволяют улучшить качество продукции, повысить урожайность в среднем на 10...15%. Авторы этих методов считают, что предлагаемые ими способы воздействия на растительные объекты приводят только к положительным результатам. Другие исследователи, наоборот, доказывают угнетающие воздействия внешних ЭМП и отрицают всякую возможность стимуляции роста и развития растений электромагнитными методами. По нашему мнению, традиционные методы электромагнитного воздействия на растительные объекты не выявляют скрытых резервов их функциональной жизнедеятельности, а позволяют лишь при определенных условиях эмпирическим путём получить оптимальные параметры используемых ЭМП. Такой подход не часто приводит к воспроизводимым результатам, так как функциональное состояние растения находится в зависимости от меняющихся временных и гелио-физических факторов окружающей среды. Об этом свидетельствуют полученные зависимости адаптационных реакций организма от электромагнитных полей природного и антропогенного происхождения, а также долговременные эксперименты, показавшие высокую корреляционную взаимосвязь между активностью солнечных пятен и функциональной жизнедеятельностью растительных объектов [19, 20, 21].

Таким образом, биологическое действие ЭМП не вызывает сомнений как при непосредственном воздействии на растения, так и при воздействии через поливную воду или почвенный субстрат. Однако, в большинстве случаев выбор оптимальных режимов электромагнитной стимуляции производится эмпирическим путём. Такой подход приводит к противоречивым результатам. Несмотря на наличие большого количества исследований по эффектам нетеплового воздействия электромагнитных полей на биологические системы и растущий интерес к подобным исследованиям, сама проблема продолжает оставаться дискуссионной.

Выводы

1. Использование для полива древесных культурных растений и кустарников омагниченной воды и применение сильного электрического поля высокого напряжения для получения тонкодисперсного электроаэрозоля в виде тумана или облака из электрически заряженных капелек раствора (химического препарата) обеспечивают эффективность использования препарата от 25 до 75% икратно снижают экологическую нагрузку на окружающую среду.

2. Предложенный оригинальный источник магнитного поля, состоящий из индуктора с обмотками и сердечником из феррита, подобный трёхфазному асинхронному двигателю с заторможенным ротором и отличающийся дополнительными возможностями по регулированию частоты (скорости) вращения магнитного поля, образованию магнитных полей с различным составом гармоник, зависящим от формы выходного напряжения транзисторного преобразователя частоты позволяет получить омагниченную воду.

3. В случае, когда потребляемые мощности источника сильного электрического поля менее 50 Вт, целесообразно

использовать транзисторные инверторы напряжения, при $50 < P_{\text{пот.}} \leq 100$ Вт – полумостовую схему, когда $P_{\text{пот.}} > 100$ Вт – мостовую схему.

4. Применение в источниках сильного электрического поля каскадных трансформаторов (Тр1 и Тр2) может оказаться целесообразным при $U_{\text{п}} \leq 6$ В и $U_{\text{выкл}} \geq 300$ В, если $U_{\text{п}} \geq 300$ В, то можно обойтись одним Тр1.

Библиографический список

1. Бородин И.Ф. Электротехнология в сельскохозяйственном производстве // *Электричество*. 1982. № 11.
2. Живописцев Е.Н., Косицын О.А. Электротехнология и электрическое освещение. М.: ВО «Агрпромиздат», 1990.
3. Shogenov Yu.Kh., Mironova E.A., Moiseenkova V.Yu., Romanovsky Yu.M. Effect of monochromatic electromagnetic irradiation in the wavelength range of 330-3390 nm on plant bioelectric activity // *Russian Journal of Plant Physiology*. 1999. V. 46. N5. P. 697-703.
4. Vasil'ev V.A., Garkusha I.V., Petrov V.A., Romanovskii Yu.M., Shogenov Yu.Kh. Light induced electrical activity of green plants // *Biophysics*. 2003. V. 48. N4. P. 662-671.
5. Шогенов А.Х. Влияние электромагнитного поля на живые организмы // *Известия КБНЦ РАН*. 2003. № 1.
6. Ткаченко Ю.П. Магнитные технологии в сельском хозяйстве. <https://www.proza.ru/2016/09/26/1066>.
7. Травкин М.П. Теоретические и практические аспекты изучения биологического действия магнитных полей // *Науч. тр. Курского ГПИ*. 1978. Т. 191. С. 3-10.
8. Травкин М.П. К вопросу о влиянии магнитного поля на биоэлектрическую активность растений // *Физиология растений*. 1976. Т. 23. Вып. 5. С. 1074-1076.
9. Тараканова Г.А. Влияние постоянных магнитных полей на отдельные звенья процесса дыхания растений // *Физиология растений*. 1978. Т. 25. Вып. 1. С. 181-184.
10. Прищеп Л.Г. Механизм обмена информацией в растительном и животном мире // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1996. № 8. С. 17-20.
11. Такетоми С., Тикадзуми С. Магнитные жидкости / Пер. с яп. М.К. Овечкина и А.Д. Мицкевича. М.: Мир, 1993. 272 с.
12. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978. 238 с.
13. Лекомцев П.Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйстве: монография. Ижевск, 2006.
14. Поликарпов Ф.Я., Пилюгина В.В. Использование омагниченной воды при укоренении зелёных черенков // *Садоводство*. 1978. № 8.
15. Способ электромагнитной обработки жидкостей: А.С. № 1165640, СССР / А.Х. Шогенов: Кабардино-Балкарский государственный университет (СССР). № 35168689/23-26; заявл. 07.07.85; опубл. 01.03.85. Бюл. № 25.
16. Шогенов А.Х., Стребков Д.С., Шогенов Ю.Х. Аналоговая, цифровая и силовая электроника. М.: Физматлит, 2017. 416 с.
17. Каменская К.И., Третьяков Н.Н., Шогенов Ю.Х. О роли биоэлектрической полярности в жизнедеятельности растений кукурузы в условиях гипогравитации // *Известия ТСХА*. 1986. № 6. С. 118-121.

18. Китлаев Б.Н. Теоретические и прикладные аспекты фотоэлектрических воздействий на семена и растения // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1982. № 4. С. 21-26.

19. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 366 с.

20. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.

21. Fischer H.P. Langzeitbeobachtungen uber der Zusammenhang von Samenkeimung und Sonnenfleckenatigkeit // *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 1982. Bd.95. N3. S.457-464.

References

1. Borodin I.F. Elektrotekhnologiya v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Electrotechnology in agricultural production]. *Elektrichestvo*. 1982; 11.
2. Zhivopistsev Ye.N., Kositsyn O.A. Elektrotekhnologiya i elektricheskoye osveshcheniye [Electrotechnology and electric lighting]. Moscow, VO "Agropromizdat", 1990.
3. Shogenov Yu.Kh., Mironova E.A., Moiseenkova V.Yu., Romanovsky Yu.M. Effect of monochromatic electromagnetic irradiation in the wavelength range of 330-3390 nm on plant bioelectric activity. *Russian Journal of Plant Physiology*. 1999; 46; 5: 697-703.
4. Vasil'ev V.A., Garkusha I.V., Petrov V.A., Romanovskii Yu.M., Shogenov Yu.Kh. Light induced electrical activity of green plants. *Biophysics*. 2003; 48; 4: 662-671.
5. Shogenov A.Kh. Vliyaniye elektromagnitnogo polya na zhivyye organizmy [Influence of electromagnetic field on living organisms]. *Izvestiya KBNTS RAN*. 2003; 1.
6. Tkachenko Yu.P. Magnitnyye tekhnologii v sel'skom khozyaystve [Magnetic technologies in agriculture]. <https://www.proza.ru/2016/09/26/1066>.
7. Travkin M.P. Teoreticheskiye i prakticheskiye aspekty izucheniya biologicheskogo deystviya magnitnykh poley [Theoretical and practical aspects of studying the biological action of magnetic fields]. *Nauch. tr. Kurskogo GPI*. 1978; 191: 3-10.
8. Travkin M.P. K voprosu o vliyani magnitnogo polya na bioelektricheskuyu aktivnost' rasteniy [On the influence of the magnetic field on the bioelectric activity of plants]. *Fiziologiya rasteniy*. 1976; 23; 5: 1074-1076.
9. Tarakanova G.A. Vliyaniye postoyannykh magnitnykh poley na otdel'nyye zven'ya protsessa dykhaniya rasteniy [Influence of constant magnetic fields on the individual components of the respiration of plants]. *Fiziologiya rasteniy*. 1978; 25; 1: 181-184.
10. Prishchep L.G. Mekhanizm obmena informatsiyey v rastitel'nom i zhivotnom mire [Mechanism of information exchange in the plant and animal world]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 1996; 8: 17-20.
11. Taketomi S., Tikadzumi S. Magnitnyye zhidkosti [Magnetic fluids] / Translated from Japanese by M.K. Ovechkin and A.D. Mitskevich. Moscow, Mir, 1993: 272.
12. Klassen V.I. Omagnichivaniye vodnykh system [Magnetization of water systems]. Moscow, Khimiya, 1978: 238.
13. Lekomtsev P.L. Elektroaerol'nyye tekhnologii v sel'skom khozyaystve: monografiya [Electroaerosol technology in agriculture: Monograph]. IZHEVSK, 2006.

14. Polikarpov F.Ya., Pilyugina V.V. Ispol'zovaniye omagnichennoy vody pri ukorenении zelonykh Cherenkov [Use of magnetized water in green cutting rooting]. *Sadovodstvo*. 1978; 8.

15. Sposob elektromagnitnoy obrabotki zhidkostey [Method of electromagnetic treatment of liquids]: A.C. No.1165640, SSSR / A.Kh. Shogenov: Kabardino-Balkarskiy gosudarstvennyy universitet (SSSR). No. 35168689/23-26; applied on 07.07.85; issued on. 01.03.85. Bul. No.25.

16. Shogenov A.Kh., Strebkov D.S., Shogenov Yu.Kh. Analogovaya, tsifrovaya i silovaya elektronika [Analog, digital and power electronics]. Moscow, Fizmatlit, 2017: 416.

17. Kamenskaya K.I., Tret'yakov N.N., Shogenov Yu.Kh. O roli bioelektricheskoy polyarnosti v zhiznedeyatel'nosti rasteniy kukuruzy v usloviyakh gipogravitatsii [On the role

of bioelectric polarity in the life of maize plants in hypogravity]. *Izvestiya TSKHA*. 1986; 6: 118-121.

18. Kitlayev B.N. Teoreticheskiye i prikladnyye aspekty fotoelektricheskikh vozdeystviy na semena i rasteniya [Theoretical and applied aspects of photovoltaic effects on seeds and plants]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 1982; 4: 21-26.

19. Chizhevskiy A.L. Zemnoye ekho solnechnykh bur' [Ground echo of solar storms]. Moscow, Mysl', 1976: 366.

20. Presman A.S. Elektromagnitnyye polya i zhivaya priroda [Electromagnetic fields and wildlife]. Moscow, Nauka, 1968: 288.

21. Fischer H.P. Langzeitbeobachtungen uber der Zusammenhang von Samenkeimung und Sonnenfleckenatigkeit. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 1982; 95; 3: 457-464.

Критерии авторства

Стребков Д.С., Шогенов А.Х., Шогенов Ю.Х. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Стребков Д.С., Шогенов А.Х., Шогенов Ю.Х. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 29.11.2019

Опубликована 20.12.2019

Contribution

Strebkov D.S., Shogenov A.Kh., Shogenov Yu.Kh. carried out theoretical studies and based on them generalized the results and wrote a manuscript. Strebkov D.S., Shogenov A.Kh., Shogenov Yu.Kh. have equal author's rights and bears equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on November 29, 2019

Published 20.12.2019