

## **ИНФРАСТРУКТУРА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ УРОВНЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ РАСТЕНИЙ МОБИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ**

В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов, М.В. Самохвалов, Д.В. Морокин

*Почвенный канал, вегетационно-климатическая камера, мобильные электротехнологические установки и информационно-измерительное обеспечение позволяют проводить измерения характеристик электродных систем, изучать реакционность растений под действием электромагнитных полей, исследовать процессы передачи электромагнитной энергии в растительные объекты через скользящий контакт в системе "электрод-воздух-растительность-почва". Сформулированы задачи исследований.*

*Ключевые слова: мобильные электротехнологические установки, растения, электромагнитное поле, напряжение, электродная система, почвенный канал, вегетационно-климатическая камера*

В Государственной программе РФ "Развитие науки и технологий" на 2013-2020 гг. отмечается: отсутствие эффективного преобразования формируемых фундаментальных знаний в передовые коммерческие технологии; ослабление прикладной науки в большей степени, чем фундаментальной; проведение в малом количестве и по ограниченному числу направлений поисковых и проблемно-ориентированных исследований. В обеспечении научного и технологического приоритета в Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года важную роль играет развитие науки, повышение эффективности НИОКР. Решение проблемы научно-технологического обеспечения предполагает создание и поддержание уровня научно-образовательной деятельности в условиях бакалавриата, магистратуры и аспирантуры, не уступающего зарубежным вузам, т.е. усиление научных исследований, проводимых в вузах, являющихся базой для подготовки кадров для новой технологической сферы (усиление кадровой составляющей вузовской науки, обновление оборудования, развитие междисциплинарной исследовательско-технологической базы, участие вузов в создании малых предприятий, интеграция с научно-исследовательскими организациями, обладающими указанной инфраструктурой). В конечном итоге при реализации Концепции должны быть обеспечены возможности решения сектором исследований и разработок качественно новых по объему и сложности научно-технологических задач, повышение результативности выполняемых НИОКР, а также улучшение качества

кадрового состава научных и образовательных организаций.

В Концепции и Госпрограмме используется распространенная классификация исследований на фундаментальные, прикладные и проблемно-ориентированные. В случае объектно-ориентированных исследований предполагается, что облик продукта или технологии в принципе уже может быть очерчен, исследования ведутся для получения (уточнения) данных, необходимых для принятия решения о начале и для реализации ОКР. Итак, в рамках Программы под создаваемым научно-технологическим заделом понимаются новые данные о различных объектах материального мира и механизмах их взаимодействия, результаты испытаний (исследований) экспериментальных образцов (макетов, моделей) новой продукции и лабораторных технологий, рекомендации по созданию технических нововведений, проекты технических заданий на проведение продолжающихся НИОКР, а также иные результаты НИР, демонстрирующие реализуемость новых научно-технических решений, которые в дальнейшем могут быть использованы в работах по созданию новой продукции или новых технологий. Прикладные проблемно ориентированные исследования, выполняемые в рамках Программы, относятся к исследованиям на докоммерческой стадии, т.е. к исследованиям, в результате которых не разрабатываются новые изделия, технологии, но их результаты в дальнейшем могут быть использованы в работах по созданию новой продукции или новых технологий. Известно, что, эффективность НИОКР по техническим наукам обеспечивается и, соответственно,

оценивается: установками – их уровнем, продолжительностью и результативностью работы, числом пользователей; результатами поисковых или фундаментальных исследований – качеством интеллектуального продукта наукометрически, т.е. патентами, лицензионными соглашениями, публикациями, цитированием; превращение этих исследований в продукты технологий и работы на установках – долей рынка, захваченного технологиями. Поэтому эффективность НИОКР по электротехнологическим направлениям обеспечивается при развитии имеющейся научно-лабораторной и технологической базы и создании новых оснащенных на мировом уровне лабораторий с соответствующим информационным обеспечением. Современные экономическая и экологическая ситуации требуют опережающего развития отдельных специфичных направлений научных исследований и технологических разработок ("чистая" энергетика, электротехнологии, новые технологии в сельском хозяйстве и т.д.), по которым в РФ исчерпаны или отсутствуют научно-технологические заделы для проведения НИОКР, что приводит к их недостаточной результативности.

В последние десятилетия растет интерес к процессам и технологиям, основанным на применении электромагнитных полей (ЭМП), действующих на растительные объекты (РО). Перспективны в этом направлении стимулирующие и повреждающие РО мобильные электротехнологические установки и аппараты (ЭТУиА) [1-3]. В публикациях на эту тему имеются результаты исследований в областях:

- физики электромагнитных процессов;
- методов расчета ЭТУиА и их конструкций;
- технологий разнообразных процессов обработки под действием ЭМП;
- электромагнитных свойств системы электрод-воздух-РО-почва на различных частотах и напряжениях.

Мобильные ЭТУиА с функцией электростатического заряда капель широко используются в защите растений в Японии, Австралии, странах Западной Европы, Северной Америки. Ограничения применения технологии электрического повреждения РО определялись энергетическими факторами, электробезопасностью, негативным действием мобильных ЭТУиА на нецелевые биологические объекты. В плане научно-методического, технического и информационного обеспечения экспериментальных работ по электрическому повреждению РО научными сотрудни-

ками и аспирантами аграрных вузов (ФГБОУ ВПО "Новосибирский ГАУ", "Волгоградский ГАУ", "Челябинская ГАА", "Костромская ГСХА", "РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева") и ГНУ ВИЭСХ, СибИМЭ Россельхозакадемии создавались установки для выполнения НИР, что давало возможность проводить в лабораториях научные исследования со студентами и позволяло отнести их к лабораториям учебно-исследовательского типа, важного для современного бакалавриата, магистратуры и аспирантуры. Эти лаборатории создавались в течение длительного времени и отражают специфический путь развития НИОКР и лабораторий учебно-исследовательского типа по электротехнологиям.

В Новосибирском ГАУ функционирует учебно-исследовательская лаборатория с широким арсеналом оборудования и приборов для исследования электрофизических свойств РО, почвы, электродов и технологических характеристик ЭТУиА. В состав лаборатории входят мобильные ЭТУиА, многофункциональные электротехнологические стенды и компьютеризированные информационно-управляющие системы для проведения комплексных измерений, отвечающие требованиям в области метрологического обеспечения. Основными задачами лаборатории являются стандартизация параметров и свойств материалов, объектов, элементов и структур электротехнологий, подлежащих измерениям, а также обеспечение признания результатов измерений. К примеру, вегетационно-климатическая камера с информационно-измерительной системой исследования электрических характеристик РО при электромагнитных воздействиях (рис. 1, 2), почвенный канал (рис. 3) с мобильной электродной системой (ЭС), аппаратура для исследования зоны взаимодействия ЭМП электрода с почвой, РО, воздушной средой и конструктивными элементами (рис. 4, 5), позволяют проводить измерения дифференциальных и интегральных характеристик ЭМП (табл. 1) и электродов, изучать реакционную способность растений, их активное повреждение под действием ЭМП (низкочастотного и в комбинации с ультрафиолетовым, видимым и инфракрасным спектрами) при различных величинах технологического напряжения  $U_t$ , скоростных режимов, геометрии ЭС. Наличие приборных средств, аппаратуры и устройств с электронным и программным обеспечением допускают работу с РО и почвой в широких диапазонах  $U_t$  и тока электрода  $I_\Sigma$ , параметры которых позволяют использовать этот класс экспериментального оборудования для

# ИНФРАСТРУКТУРА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ УРОВНЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ РАСТЕНИЙ МОБИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

решения относительно широкого круга исследовательских и образовательных задач с малыми финансовыми затратами по сравнению с проведением исследований в полевых условиях (рис. 6).

нию с проведением исследований в полевых условиях (рис. 6).



Рисунок 1 - Вегетационно-климатическая камера с информационно-измерительной системой для исследования реакционной способности растений, их активного повреждения под действием электромагнитных полей

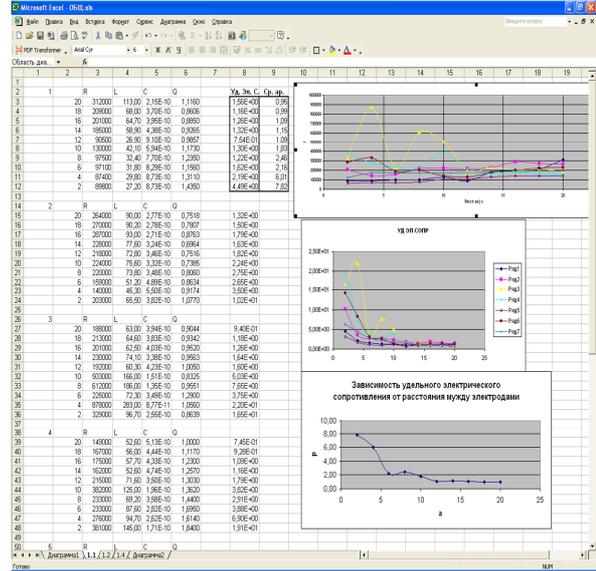


Рисунок 2 – Визуализация электрических свойств растительных объектов в среде программирования Lab VIEW



Рисунок 3 - Почвенный канал для исследования электродной системы мобильных электротехнологических установок: сверху – облучательная кассета с ультрафиолетовыми, инфракрасными, фитолампами и блоком управления, слева – экранирующие сетки, на переднем плане – электропривод шасси, в центре – шасси для позиционирования электродов, датчиков, приборов, аппаратуры с широким набором вариантов крепления электродов, как устройств и электродной системы в целом



Рисунок 4 - Электротехнологический стенд для исследования зоны взаимодействия электромагнитного поля электродной системы с почвой, растениями, воздушной средой, конструктивными элементами: на переднем плане 4-х зондовый манипулятор для съема электрических характеристик растительных объектов и почвы; на заднем - манипулятор технологических электродов; внизу - контейнер с почвенно-растительными материалами на платформе, управляемой электроприводом

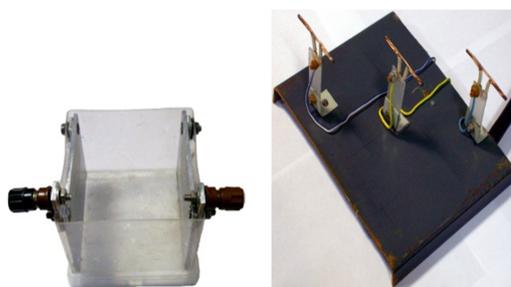


Рисунок 5 - Аппаратура для исследования электрического поля электродов (снизу первичный преобразователь для измерения электропроводности электролита и физическая модель электродной системы)

Рисунок 6 - Техническое оснащение исследований мобильных электротехнологических установок в Карасукском районе Новосибирской области: сверху – оборудование, аппаратура и приборы, снизу - рабочее место исследователя с компонентами для проведения опытов в полевых условиях

Таблица 1 - Основные измеряемые параметры электрического поля

Наименование	Обозначение	Измеряемый параметр	Размерность
Напряженность электрического поля (вектор)	$\dot{E}$	$E_k, (k = x, y, z)$	В/м
Градиент вектора напряженности электрического поля (тензор)	$grad \dot{E} $ $(\nabla \otimes \dot{E})$	$\frac{\partial E_k}{\partial l_i}, (i = x, y, z; k = x, y, z)$	В/м <sup>2</sup>
Ротор напряженности электрического поля (вектор)	$rot\dot{E}$ $(\nabla \times \dot{E})$	$\frac{\partial E_k}{\partial l_i},$ $(i = x, y, z; k = x, y, z; i \neq k)$	В/м <sup>2</sup>
Электрический потенциал (скаляр)	U	U	В
Плотность электрического тока (вектор)	$\dot{\delta}$	$\delta_k, (k = x, y, z)$	А/м <sup>2</sup>

Облик отдельных компонентов современных ЭТУиА был predetermined в России и США в 1960-1980 годах. Многолетние исследования

заложили фундамент для разработки эффективных и экономичных конструкций ЭС, высоковольтных источников вторич-

## ИНФРАСТРУКТУРА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ УРОВНЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ РАСТЕНИЙ МОБИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

ного питания, систем управления, защиты и сигнализации и переходу к их миниатюризации. На протяжении десятилетий велись работы по исследованию и научному обоснованию физических процессов передачи электромагнитной энергии в РО через скользящий контакт мобильных ЭТУиА. В последние годы возникла необходимость нахождения пути увеличения электро- и теплопроводности поверхностного слоя электродов, получения больших плотностей электродного тока в импульсных режимах, что для ЭС ограничивается появлением искрений при высоких  $U_t$ .

Известно, что физико-химические процессы, протекающие при электромагнитной обработке РО, сложны и скоротечны, и большинство из них могут быть описаны только качественно. Экспериментальное исследование ЭМП в ЭС ЭТУиА представляет определенную сложность, поскольку требуется достоверная информация о параметрах каждого электрода в отдельности, чтобы характеризовать систему в целом. Измерения в условиях непосредственной близости от электрода в динамике электротехнологического процесса, который характеризуется длительностью секундного диапазона, осложнены высоким  $U_t$ , большими скоростями движения ЭС ЭТУиА и др. экстремальными воздействиями. Большое значение при разработке электротехнологических процессов имеет проблема зависимости параметров ЭМП ЭТУиА от геометрии и скоростных режимов ЭС [3-6],  $U_t$  и др. Эффективность электромагнитных процессов при обработке РО ЭТУиА определяется параметрами ЭМП:

- интенсивностью;
- градиентом;
- вектором;
- экспозицией;
- частотой;
- формой импульса;
- локализацией;
- характером контакта ЭС;
- площадью воздействия.

Различия в параметрах ЭМП и состоянии РО объясняют противоречивые результаты их использования на практике. Отсутствие единых взглядов на эти процессы связано, прежде всего, с крайней сложностью описания явлений [7, 8]:

- происходящих на рабочих поверхностях электродов;
- эрозии ЭС;
- массопереноса продуктов эрозии и их взаимодействия с различными материалами поверхностей и межэлектродной средой.

Поэтому для выбора оптимальных режимов ЭТУиА, обеспечивающих максимальную эффективность электромагнитных процессов и высокие эксплуатационные свойства ЭС, требуются обширные теоретические и экспериментальные исследования. Задание физических условий для исследуемых РО, почвы, воды, конструктивных элементов и ЭМП – одно из направлений в общей задаче, связанной с научно-методическим, электронным и программным обеспечением экспериментальных установок, используемых в научных исследованиях и учебном процессе в области электротехники, биофизики, электроматериаловедения, электротехнологии и т.д. Объекты исследования – лабораторная или исследовательская установка и процессы, протекающие в ней (электромагнитные процессы в системе "электроды–воздух–РО–почва–вода") – из вышеперечисленных областей обладают разными особенностями и влияют на технические и программные средства, научно-методическое, информационное и метрологическое обеспечение НИОКР. В общем случае анализ ЭМП можно проводить, используя аналитические, численные и экспериментальные исследования, но для расчета полей сложных систем требуется учет большого количества исходных данных, в т.ч. взаимного расположения объектов, граничных условий, электрофизических характеристик материальных сред и др.

Известно, что ЭМП – материальный агент, обеспечивающий функционирование электротехнических, электротехнологических, электроэнергетических систем, установок и устройств, а глубина знаний в области теории поля и овладение практикой их применения в условиях бакалавриата, магистратуры и аспирантуры определяют фундаментальность подготовки и уровень квалификации инженера, научного работника, преподавателя в области электротехники, электротехнологии и электроэнергетики. Освоение учебной литературы по теории ЭМП [9-11] и практикой, в т.ч. компьютерной [12-13], решения практических задач [14-16] позволяет приобрести хорошую базу знаний и умений в области математических моделей ЭМП. Подобная ситуация в приобретении знаний, умений, навыков и по электротехнологиям [13, 17-21]. Знания, умения и навыки, необходимые при работе с реальными физическими ЭМП, электротехническими, электротехнологическими, электроэнергетическими системами, установками и устройствами приобретаются в лабораториях учебно-исследовательского типа [12, 22-23].

Как показано в [3], наиболее важной проблемой при электрическом повреждении РО является получение интенсивного электрического поля в локальных областях растительных тканей по ширине захвата ЭС. Применение специальных концентраторов, электромагнитных экранов, усовершенствование конструкций и изобретение новых типов электродов, способных управлять краевыми эффектами в ЭС, могут существенно повлиять на энергетические параметры, электробезопасность и экологичность этого класса ЭТУиА. Так как стимуляция и повреждение в ЭМП происходит за счет поляризации и тока проводимости, а совокупность этих процессов приводит к поглощению РО энергии ЭМП, то для проектирования этого класса оборудования достаточно учитывать лишь макроскопические свойства РО (описываемые с помощью классической физики) и основные параметры (табл. 2) мобильных ЭТУиА. Создание новых ЭС ("рабочих органов") ЭТУиА из диэлектрических, полупроводниковых и композиционных материалов с заданными электрофизическими свойствами и дальнейшее исследование их изменения в зависимости от различных внешних воздействий (температуры, давления, влажности, широкого спектра электромагнитных излучений) при электро-

магнитной обработке требует разработки оперативных методов определения характеристик ЭМП и конструктивных элементов. Особый интерес для электротехнологий составляет возможность исследования панорамы проводимости и диэлектрической проницаемости почвы, РО и электродов, а также процессов накопления и релаксации заряда в них под действием внешних факторов в пределах всего объекта или на определенной траектории. Поэтому следующим этапом работы является разработка аппаратуры для панорамного преобразования обозначенных параметров в электрический сигнал и применение соответствующих алгоритмов в документировании информации. Диапазон экспериментальных исследований - определение проводимости, диэлектрической проницаемости, рельефа поверхности и его изменения, амплитуд и частот ЭМП и вибраций, исследования пространственного распределения этих параметров в почве, РО и ЭС. Важно, практически на любой стадии электротехнологического процесса, иметь возможность контроля выходных параметров ЭС и РО. Это позволит развить теоретические представления об ЭТУиА в условиях бакалавриата, магистратуры, аспирантуры и их практическое применение.

Таблица 2 - Параметры мобильных электротехнологических установок и аппаратов

Наименование	Обозначение	Размерность
Ширина захвата	B	м
Установленная мощность источника электрической энергии	СИЭЭ	кВА
Установленная и используемая мощности электропреобразователя	SЭП и SЭПи	кВА
Электротехнологическое (рабочее) напряжение	U <sub>т</sub>	кВ
Сила тока электрода	IЭ	А
Конфигурация и износ электродов	dЭ, bЭ, hЭ и yЭи	мм
Коэффициент мощности	cosφ	
Электрический КПД	ηэ	
Активное и реактивное сопротивления: сети электропреобразователь – электродная система электродной системы блока сигнализации, диагностики и управления	гс и хс	МОм
	гЭС и хЭС	КОм
	гДУ и хДУ	Ом
Расход электроэнергии	Wуд	кВт·ч/га
Производительность	П	га/ч
Электротехнологический критерий (повреждение растений)	кЭТ	%

Изменяемые требования к техническому уровню экспериментального оборудования в условиях совершенствования элементной базы определяют стратегию создания новых или переоснащения старых приборных средств, аппаратуры и устройств с электронным и программным обеспечением, удовлетворяющим по своим функциональным возможностям и параметрам современным тре-

бованиям научно-образовательной деятельности. В ЭС ЭМП возникает в результате действия U<sub>т</sub> между электродами (классическое представление), однако оно возбуждается и под действием точечных, линейных, поверхностных и объемных зарядов, находящихся в ней. Существующие подходы к математическому описанию процессов измерения параметров ЭС и РО с известными

## ИНФРАСТРУКТУРА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ УРОВНЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ РАСТЕНИЙ МОБИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

геометрическими характеристиками позволяют определить проводимость и диэлектрическую проницаемость всего объекта. Приведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости: разработки приборных средств, аппаратуры и устройств для исследования влияния компонентов ЭС и наблюдения за структурно-функциональным состоянием РО в режиме реального времени; выявления электропроводящих особенностей тканей в областях частот проявления эффектов импеданса, связанных с динамическим изменением структурно-функционального состояния РО. Для решения этих вопросов необходима разработка комплексов, позволяющих исследовать спектральные особенности комплексной проводимости биологических тканей в выделенном частотном диапазоне и производить регистрацию стимулированных внешним потенциалом высокочастотных токов (10-6-10-4 А) в этом частотном диапазоне, протекающих через РО.

Важной особенностью практического применения данной электротехнологии является возможность одной и той же ЭТУиА осуществлять электрическое повреждение РО в защите растений - сорняков, перед уборкой - ботвы корнеклубнеплодов, картофеля, стеблей подсолнечника, табака и др. В связи со сложной конфигурацией трехмерного электрического поля в системе "электроды-воздух-БО-почва-вода", строгой зависимостью распределения плотности тока по растительным тканям от их нелинейных электрофизических свойств, нелинейностью процессов электрического повреждения РО не удастся сделать расчеты с необходимой точностью и спроектировать ЭС, отвечающие современным требованиям по энергосбережению и экологичности. Ряд аналитических методов теории электрических цепей позволили получить аналитические выражения, решение которых при малом количестве вводимых переменных составляют основу при выполнении первого приближения моделирования электрического повреждения РО и соответствующих ЭТУиА. Но в процессе работы ЭТУиА возникает необходимость оценки локальной области электрического поля с учётом сложной геометрии и нелинейных физических свойств материалов в электрическом поле - растительных тканей, почвенной и воздушной сред, а также конструктивов, используемых в ЭС. Одним из источников получения информации об электрическом поле в биологических, почвенных, воздушных и конструктивных средах является физическое моделирование в программном пакете

Elcut, функциональные возможности которого позволяют проводить анализ распространения поля ЭС в почвенной среде (рис. 7). Наиболее вероятными факторами, способными вносить изменения в распространение электрического поля ЭС, являются ее геометрия,  $U_t$ , свойства сред, в которых перемещаются электроды (влажность, температура, вид и количество растений), и др.

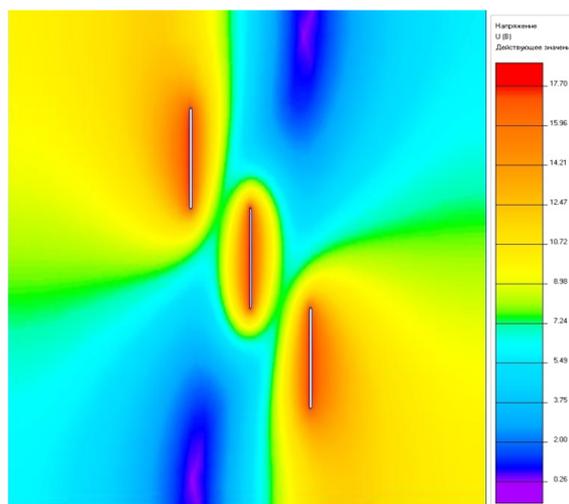


Рисунок 7 – Визуализация картины электрического поля электродной системы стержневого типа, полученная с помощью программного пакета Elcut 5.6

Как показано многочисленными исследованиями, проводимыми НГАУ, важной проблемой при применении ЭТУиА с многоэлектродными системами, является ограничение потенциала  $\phi$  и напряженности  $E$  за полосой захвата ЭС, в частности интенсивности  $E$ , обеспечивающей снижение энергозатрат электротехнологии и негативных действий на биологические организмы, находящиеся вне полосы захвата электродов, повышение электробезопасности электротехнологического процесса. Результаты численного моделирования показывают, что взаимное расположение электродов при подводе  $U_t$  значительно влияет на создаваемую картину  $E$  электрического поля ЭС, интенсивность поля, наведение в локальной зоне с растительными тканями активной мощности и, как следствие, электротехнологический эффект [6]. Анализируя картины распространения электрического поля можно сделать вывод, что ограничение или "экранирование" потенциального электрода нейтральными электродами существенно концентрирует электрическое поле в полосе захвата, за пределами ограничительных электродов с нулевым потенциалом  $\phi$  и  $E$  практически не распростра-

няются. Поэтому, для многоэлектродных систем ЭТУиА рекомендуется использование трехфазных или многофазных источников вторичного питания с ограничением распространения поля за пределами обрабатываемой зоны нейтральными электродами. Прогнозирование формы электрического поля аналитическим методом на основе распределения активной мощности по локальной области обрабатываемой зоны почвенной и растительных сред может дать только качественную информацию, которая для ЭС конечных размеров, как известно, может оказаться неточной. Правильный выбор ЭС ЭТУиА может дать численное решение совмещенной трехмерной электромагнитной и электроматериаловедческой задачи. Результаты, полученные при помощи численных моделей, показали возможность их применения для электромагнитной и материаловедческой задач в защите растений, электротехнологии и экспериментах.

Достоверность и единство измерений параметров РО, почвы, электродов и технологических характеристик ЭТУиА обеспечивается рабочими средствами измерений и нормативными документами. Манипуляторы и шасси отличаются повышенной жесткостью, возможностью агрегатирования с различными модулями, способны обеспечить высокие динамические характеристики при относительно небольшой металлоёмкости, особенностями которых являются: большая зона обслуживания, широкий набор вариантов крепления электродов, как устройств и ЭС в целом. Применение вышеперечисленного оборудования, приборных средств, аппаратуры и устройств с электронным и программным обеспечением при измерении электрофизических свойств РО, почвы, электродов и технологических характеристик ЭТУиА позволяет не только исключить ряд систематических погрешностей при измерениях, например, связанных с наличием воздушного зазора в технологических и измерительных ЭС, механическим повреждением РО измерительными электродами, но и разрабатывать новые приемы и методы измерений. Например, регистрация величины и характера электрического сопротивления, т.е. электрофизических параметров электродов и РО при электрическом повреждении РО находит применение при обнаружении дефектов, повреждений в соответствующих образцах. Именно параметры импеданса (модуль, активная и реактивная составляющие, емкость, индуктивность, тангенс угла потерь, добротность и др.) характеризуют с высокой точно-

стью свойства РО, качество компонентов ЭС и электротехнологического процесса, примесей, содержащихся в почве, разнообразные изменения, происходящие в РО и конструктивных элементах ЭТУиА. При этом степень проявления импеданса в первую очередь связана с особенностями состояния клеточной мембраны, наружной (защитной) ткани РО и поверхности электродов. Известно, что при воздействии ЭМП на материалы с низкой электро- и теплопроводностью, к которым относятся большинство РО, происходит поглощение электромагнитной энергии [3] всем объемом материала, а максимальный эффект повреждения или защиты наблюдается на границах раздела сред с разными электродинамическими характеристиками. Поэтому, перспективными являются системы из плоских с дискретно-линейным распределением потенциала электродов, позволяющих увеличивать эффективную площадь рабочих областей, как анализаторов при диагностике РО, так и "рабочих органов" электромагнитной обработки при произвольном соотношении их размеров.

Перспективным направлением исследования является не только оценка электрофизических свойств почвы, РО и электродов, но и проблемы защиты (обеспечения прочностных электрофизических характеристик) культурной растительности и исследования влияния условий сложных электромагнитных воздействий на изменение электрофизических свойств РО при обработке мобильными ЭТУиА. Учитывая, что IЭ зависит от Uт и степени проявления импеданса в поверхностях сложной формы (электродов, наружных тканей, клеточных мембран), то для оперативной диагностики электротехнологических процессов и ЭС необходимы учет большого количества контролируемых параметров и использование цифровой и микропроцессорной техники. Это дает возможность сопоставления эталонного состояния объекта с диагностируемым. В качестве диагностируемого и обрабатываемого микропроцессором объекта можно использовать матричные структуры, получаемые на основе матриц Грина.

Осуществление НИОКР в области электрооборудования и электротехнологий содержит стадию создания действующего устройства (схемы, макета, прототипа и пр.) на котором и отрабатываются схемотехнические и компоновочные решения, варьируется элементная база, исследуются параметры надежности, долговечности и безотказности ЭТУиА, получают аппаратные кривые, градуировочные графики и зависимости, исследу-

дуются метрологические характеристики и пр. Экспериментальные данные как важнейший фактор развития теоретических подходов, позволяют описать параметры ЭМП в биологических, почвенных, воздушных, конструкционных средах, а также развить представления о мобильных ЭТУиА и их практическое применение. Эксплуатация многофункционального оборудования позволяет при проведении ресурсных и метрологических исследований моделировать дорогостоящие полевые испытания мобильных ЭТУиА в лабораторных условиях. Это оборудование используется для подготовки бакалавров, инженеров, магистров и аспирантов по профилю "Электрооборудование и электротехнологии в АПК" и специальности "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства". На его базе осуществляются НИОКР по дальнейшей модернизации и созданию новых образцов современной техники по электрическому повреждению РО, диагностики технического состояния мобильных машин и их компонентов, метрологического обеспечения испытаний ЭТУиА. Полученные результаты НИОКР используются в системе высшего профессионального образования при проведении лабораторно-практических занятий, курсового и дипломного проектирования, предназначены в первую очередь для создания ЭС мобильных ЭТУиА, а также имеют спрос в электротехнических и электроэнергетических приложениях.

Актуальность работ в области развития инфраструктуры и обеспечение уровня исследований по электротехнологиям в условиях бакалавриата, магистратуры и аспирантуры определяются их направленностью на создание теоретических, конструкторско-технологических и экспериментальных предпосылок для разработки компактных с невысокой стоимостью ЭС, как анализаторов при диагностике, так и "рабочих органов" электрического повреждения РО. В результате построения развивающейся исследовательской инфраструктуры сектора образовательной деятельности и НИОКР по электротехнологиям студенты, преподавательский состав и научные сотрудники принимают активное участие в разработке и реализации образовательных программ, выполнении НИОКР и внедрении результатов интеллектуальной деятельности, на практике обеспечены возможностями проведения многопрофильных, многометодовых и междисциплинарных исследований. Для повышения эффективности образовательного процесса и обеспечения высокого качества подготовки в учебный про-

цесс внедряются результаты НИОКР, в лабораторных практикумах используются собственные разработки студентов, аспирантов, преподавательского состава и научных сотрудников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдаев, И.В. Электроимпульсный пропольщик: обоснование проектного конструкторского решения: монография/Ю.В. Юдаев. - Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2012. - 224 с.
2. Баев, В.И. Повышение эффективности электрического метода уничтожения сорной растительности/В.И. Баев, Д.С. Елисеев. - Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградская ГСХА, 2011. - 200 с.
3. Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью/В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. - 2-е изд. перераб. и доп. - Новосибирск, 2012. - 366с.
4. Ляпин, В.Г. Диагностика электродных систем мобильных электротехнологических установок/В.Г. Ляпин//Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, 2010, №2. - С. 381-383.
5. Ляпин, В.Г. Исследование влияния диэлектрических пластин на электрическое поле электродной системы электротехнологического культиватора/В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов//Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, 2012, №2. - С. 332-338.
6. Ляпин, В.Г. Влияние взаимного расположения электродов на электрическое поле мобильных электротехнологических машин/В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов//Техника в сельском хозяйстве, 2013, №2. - С. 21-23.
7. Мышкин, Н.К. Электрические контакты/Н.К. Мышкин, В.В. Кончиц, М. Браунович. - Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. - 560 с.
8. Braunovic, M. Electrical contacts: Fundamentals, applications and technology/ Milenko Braunovic, Valery V. Konchits, Nikolai K. Myshkin. - Boca Raton: CRC Press, 2007. - 645 p.
9. Демирчян, К.С. Теоретические основы электротехники. Учебник для вузов. - 5-е изд. В 2-х т./К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин. - СПб.: Питер, 2009: Т. 1. 512 с.; Т. 2. 432 с.
10. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: учебник для бакалавров/Л.А. Бессонов. - 11-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Юрайт-Издат, 2013. - 317 с.
11. Ляпин, В.Г. Электротехника и электроника. Элементы, схемы, системы. Учебное пособие. - 2-е изд., перераб. и доп./В.Г. Ляпин, В.А. Аксиутин, Г.С. Зиновьев, Е.В. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 454 с.
12. Бутырин, П.А. Современная учебно-исследовательская лаборатория теории электромагнитного поля/П.А. Бутырин, Ф.Н. Шакирзянов//Электричество, 2013, №8. - С. 65-68.
13. Инкин, А.И. Специальные главы электротехники. Электротепловые поля и аналитические

расчеты параметров проводников в установках электронагрева: учебное пособие/А.И. Инкин, А.И. Алиферов, А.В. Бланк; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 154 с.

14. Бычков, Ю.А. Сборник задач по основам теоретической электротехники/Ю.А. Бычков. – СПб. [и др.]: Лань, 2011. – 400 с.

15. Лоторейчук, Е.А. Расчет электрических и магнитных цепей и полей: решение задач. Учеб. пособие/Е.А. Лоторейчук. – М.: ИНФРА-М: ФОРУМ, 2011. – 272 с.

16. Сборник задач по теоретическим основам электротехники: в 2 т.: Том 2. Электрические цепи с распределенными параметрами. Электромагнитное поле/П.А. Бутырин, Л.В. Алексейчик, С.А. Важнов и др.; под ред. чл.-корр. РАН П.А. Бутырина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 571 с.

17. Баранов, Л.А. Светотехника и электро-технология/Л.А. Баранов, В.А. Захаров. – М.: КолосС, 2006. – 344 с.

18. Современные энергосберегающие электротехнологии/Ю.И. Блинов, А.С. Васильев, А.Н. Никаноров и др. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2000. – 548 с.

19. Инкин А.И. Электротепловые расчеты установок электронагрева на основе универсальных каскадных схем замещения: монография/А.И. Инкин, А.И. Алиферов, А.В. Бланк. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 201 с.

20. Ляпин, В.Г. Проектирование и энергоаудит электрического нагрева и специальных видов электротехнологий. Учебное пособие/Новосиб. гос. аграр. ун-т; Сост.: В.Г. Ляпин, В.Н. Делягин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск, 2013. – 130 с.

21. Электротехнологическая виртуальная лаборатория: учебное пособие/Ф.Н. Сарапулов, С.Ф. Сарапулов, Д.Н. Томашевский и др. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. – 233 с.

22. Учебно-научная лаборатория автоматизации электротехнических комплексов и теплообменных процессов в электротехнологическом оборудовании. Ч.1 Оборудование: учебное пособие/Коллектив авторов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 124 с.

23. Делягин, В.Н. Оптимизация параметров систем энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей (тепловые процессы)/ РАСХН. Сиб.отд.-ние. СибИМЭ, – Новосибирск, 2005. – 256 с.

**Ляпин В.Г.** - ФГБОУ ВПО "Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева", кафедра электроснабжения и электротехники, доцент, к.т.н.,

*E-mail: Lei130@ngs.ru,  
тел. (499)9772401*

**Болотов Д.С.** - ФГБОУ ВПО "Новосибирский государственный аграрный университет", кафедра электрификации и автоматизации сельского хозяйства, старший преподаватель, тел. 8(383)267-39-44

*E-mail: Vol-Den@ngs.ru*

**Самохвалов М.В.** - ФГБОУ ВПО "Новосибирский государственный аграрный университет", кафедра электрификации и автоматизации сельского хозяйства, доцент, тел. 8(383)267-39-44, *E-mail: nsau@ngs.ru*

**Морокин Д.В.** - ФГБОУ ВПО "Новосибирский государственный аграрный университет", кафедра электрификации и автоматизации сельского хозяйства, ассистент, тел. 8(383)267-39-44, *E-mail: nsau@ngs.ru*