

На правах рукописи



ЮДАЕВ ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ

**ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
БОРЬБЫ С СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ**

Специальность: 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

Автореферат

на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО ВолГАУ)

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Баев Виктор Иванович

Официальные оппоненты: **Башилов Алексей Михайлович**, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина», заведующий кафедрой электротехнологии в сельскохозяйственном производстве

Шогенов Юрий Хасанович, доктор технических наук, профессор, Российская академия сельскохозяйственных наук, заведующий сектором электрификации и автоматизации отделения механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии

Газалов Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор ГНУ Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии, ведущий научный сотрудник отдела электроэнергетики.

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар (**ФГБОУ ВПО КубГАУ**).

Защита состоится 22 октября 2012 г. в 13 ч. на заседании диссертационного совета Д 220.044.02 в ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина», по адресу: 127550, г. Москва, ул. Листвиничная аллея, д. 16а, корпус 3, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина»

Автореферат разослан 20..... г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



С.А. Андреев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Важнейшая задача сельскохозяйственного производства России в настоящее время – увеличение валового и товарного объёма высококачественной экологически чистой продукции растениеводства и животноводства. Её решение возможно за счёт совершенствования исторически сформировавшихся технологий и внедрения современных технических средств механизации, электрификации и автоматизации.

Использование последних сдерживается не только отсутствием необходимого финансирования, но и недостаточной исследованностью и изученностью основ и сущности выполняемых процессов. Это характерно, в первую очередь, для технологий с использованием электрической энергии при выращивании, уборке, переработке и хранении продукции растениеводства и, в частности, для уничтожении сорной растительности.

Недостаток материально-технических средств в аграрном секторе обуславливает крайне низкий уровень хозяйствования на земле (без использования удобрений и средств защиты растений сейчас находится почти 70 % пашни) и критическое фитосанитарное состояние агроэкосистем. При такой ситуации распространился целый ряд «специализированных» вредителей и возбудителей болезней зерновых, картофеля и овощных культур, трудноискоряемые и карантинные сорные растения.

Из-за этого ежегодные потери только урожая зерновых от сорных растений оцениваются в 10...12 млн. т. В мировом земледелии также значительны потери продукции из-за сорняков: пшеницы – 9,8 % от всего собранного урожая; кукурузы – 13 %; проса, сорго – 17,8 %; риса – 10,8 %; хлопчатника – 4,5 %; сои – 13,5 %; картофеля – 4 %; томатов – 5,4 %.

Для уничтожения сорной растительности применяют различные способы (механические, химические, биологические и т.п.). Традиционный механический способ имеет высокую эффективность (70...95 %), огромный исторический опыт использования подручных и технических средств, но он отличается высокой энергоёмкостью. Химический метод характеризуется, прежде всего, избирательностью действия и более высокой эффективностью (до 100 %), но он довольно дорог и экологически не безопасен. В России и за рубежом для борьбы с сорными растениями разрабатываются другие эффективные и экологически чистые способы истребления сорняков, к которым относят и применение высоковольтных электроимпульсных воздействий.

Для получения наилучших экономических показателей использования электроимпульсного уничтожения сорняков необходимо, чтобы эта операция была технологически эффективной, энергетически малозатратной и реализовывалась при помощи простых и сравнительно дешёвых технических средств.

Цель исследования – научно обосновать и разработать энергосберегающую технологию электроимпульсной борьбы с сорной растительностью в условиях богарного земледелия Нижнего Поволжья.

В теоретических и экспериментальных исследованиях, направленных на достижение этой цели, решались следующие **задачи**:

- исследовать электропроводные свойства растительных тканей сорняков до, в процессе и после их электроимпульсного повреждения;
- провести сравнительные исследования технологической и энергетической эффективности различных родов тока для уничтожения сорняков;
- проанализировать и изучить сопротивления возможных цепей протекания повреждающего тока, выявить наиболее эффективные из них на основе анализа вариантов подведения электрической энергии к сорным растениям;
- разработать методики энергетической оценки электродной системы для подведения энергии к сорнякам;
- обосновать форму электродов навесной системы, предназначенных для контактирования с надземной частью сорных растений и электродов, заглубленных в землю, а также компоновку всей электродной системы в целом;
- выявить технологические характеристики процесса электроимпульсного уничтожения сорной растительности;
- исследовать и обосновать энергетические параметры и характеристики разрядного контура электроимпульсной установки;
- сформулировать электротехнологические и технические условия на разработку электроимпульсного устройства для уничтожения сорняков;
- показать энергетическую и экономическую эффективность технологии электроимпульсного уничтожения сорной растительности.

Объект исследования. Объект исследования – совокупность сорных растений, технических средств и технологических параметров электроимпульсного воздействия для выявления режимов, обеспечивающих надёжное необратимое повреждение сорняков при минимальном расходе энергии и минимальном отрицательном влиянии на окружающую среду.

Предмет исследования – процессы электроимпульсного уничтожения сорных растений с целью обоснования его оптимальных технологических и электротехнических параметров.

Представленные в работе материалы – итог исследований автора, выполненных индивидуально и совместно с другими исследователями по всероссийским и региональным программам: «Система ведения агропромышленного производства Волгоградской области» на 1996...2010 гг.; Координационная программа НИР на 1998...2003 гг. по выполнению задания РАСХН «Разработать агроэкологические основы интегрированной системы мер борьбы с сорными растениями в адаптивно-ландшафтных системах земледелия»; «Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области» на период до 2015 г.; «Энергетическая стратегия сельского хозяйства России на период до 2020 года».

Методики исследования. Для достижения поставленной цели и решения сформулированных задач использован методологический приём академика В.П. Горячкина, в соответствии с которым все электротехнологические процессы, а также технические вопросы и решения исследовались экспериментально и теоретически как взаимосвязанные составляющие одного цело-

го, как единая система взаимодействия трёх основных элементов электроимпульсного воздействия: источника импульсного напряжения, элементов подведения электрической энергии к объекту воздействия и самого объекта обработки – сорного растения. Работа содержит последовательное логичное сочетание теоретических и экспериментальных исследований. На основе известных представлений о процессе или явлении, разрабатывали теоретические положения, гипотезы и решения для исследуемой электротехнологической операции, которые затем проверяли экспериментально. В соответствии с полученными результатами экспериментов выполнялась корректировка ранее предложенных теоретических представлений, после чего проводились уточняющие экспериментальные исследования.

При теоретической разработке математических моделей процессов электроимпульсной обработки растительных объектов использовали классический математический анализ и численные методы решения задач на компьютере.

Экспериментальные исследования электрофизических свойств и параметров живых и повреждённых растительных тканей сорняков проведены с использованием различных электроизмерительных приборов и аппаратуры, обеспечивающих достаточную точность результатов.

Процессы электрического воздействия на растительные объекты исследовались с использованием как специально, так и промышленно, изготовленных высоковольтных установок, измерительных приспособлений, устройств, которые соответствовали требованиям техники высоких напряжений.

Результаты экспериментов подвергались статистической обработке с использованием прикладных компьютерных программ MathCAD 13, Excel 7.0, SPSS v.10.07.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- предложена математическая модель определения и расчета параметров принципиальной электрической схемы замещения растительной ткани сорняков и представлена гипотеза повреждения их внутренней структуры на основе изменения параметров в процессе электроимпульсного повреждения;

- выявлено, что наибольшее удельное электрическое сопротивление имеет ткань корневой системы сорных растений, что в процессе развития сорных трав сопротивления их корня и стебля возрастают, что удельное сопротивление поверхностных тканей стебля и корня больше, чем сопротивление внутренних;

- предложена методика энергетической оценки электродных систем для подведения энергии к сорнякам;

- определены зависимости степени повреждения тканей сорных растений от напряжённости электрического поля, от поглощенной растительной тканью энергии, от параметров воздействующих импульсов и разрядного контура;

- предложена методика расчёта основной характеристики разрядного контура – тока при начальном протекании его через живую растительную

ткань, обладающую полупроницаемыми, емкостными свойствами, и при последующем – через повреждённую;

- предложена методика расчёта электрической части установки для электроимпульсного уничтожения сорной растительности;

- исследованы технологические характеристики электроимпульсного воздействия на сорные растения и определены оптимальные показатели процесса уничтожения сорняков.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований процесса электроимпульсного уничтожения сорной растительности представляют собой научную и технологическую основу для изготовления специальных агрегатов и внедрения способа в практику земледелия.

Технология электроимпульсного энергосберегающего способа борьбы с сорной растительностью включена в Регистр технологий производства зерновых, зернобобовых, крупяных и масличных культур в Волгоградской области (система технологий). Результаты выполненных исследований внедрены в КФХ «Титов С.Н.» (Волгоградская обл.), колхозе «Заветы Ленина» (Волгоградская обл.).

В ОАО «Волгоградский электромеханический завод» (г. Волгоград) и ООО «Энерготехмаш-Пром» (г. Волжский) переданы конструкторские документы и предприятия приступили к изготовлению узлов и макетного, опытного образца навесной установки на колесный трактор для электроимпульсного уничтожения сорняков.

Материалы исследований и экспериментально-исследовательские установки включены в лекционный и лабораторно-практический цикл занятий со студентами, обучающимися на факультетах энергетики и электрификации Волгоградского ГАУ, Азово-Черноморской ГАА, по дисциплинам «Светотехника и Электротехнология»; «Электротехнология в сельском хозяйстве»; «Современные электротехнологические установки».

Новизна технологических (способ) и технических (три устройства) решений по электроимпульсному уничтожению сорных растений защищена патентом на способ (№ 2308189); патентами на изобретения (№ 2308189, 2387117) и полезную модель (№ 91808, 115622).

Практическую ценность работы составляют:

- выявленные наиболее эффективные способы подведения энергии к сорнякам с точки зрения технической реализации конструкции и достижения запланированного технологического эффекта при минимальных затратах энергии;

- методики энергетической оценки электродной системы для подведения энергии к сорным растениям;

- значения плотности повреждающего тока или напряжённости электрического поля в растительной ткани сорняков различных биологических видов, а также удельные значения расхода энергии на необратимое повреждение тканей сорных растений;

– оптимальные технологические и энергетические параметры процесса уничтожения сорных трав и технические условия на устройство для прополки;

– значения летальных доз электрической энергии на уничтожение сорных растений, произрастающих в естественных условиях;

– методики расчета и оптимизации режимов работы разрядного контура установки для электроимпульсного уничтожения сорняков.

На защиту выносятся следующие основные положения работы:

1) методика и результаты исследования электропроводных свойств и параметров растительных тканей сорняков как объектов электроимпульсного воздействия;

2) аналитическая модель энергетической оценки затрат при использовании различных электродных систем подведения электрической энергии к сорнякам;

3) математическая модель разрядных токов, зависимости степени повреждения от параметров разрядной цепи, воздействующих импульсов и энергии повреждения ткани сорных растений различной чувствительности к электрическому воздействию;

4) результаты исследования удельных энергетических показателей необратимого повреждения тканей сорняков;

5) электротехнологические характеристики процесса электроимпульсного уничтожения сорных растений и технические условия на устройство для его осуществления.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава Волгоградского СХИ – Волгоградской ГСХА – Волгоградского ГАУ по итогам НИР с 1990 по 2012 гг.; I; II; V и VI Региональных конференциях молодых исследователей Волгоградской области в 1994-1995, 2000-2001 гг.; всероссийских, международных научно-практических конференциях, семинарах, сессиях и круглых столах: «Проблемы научного обеспечения и экономической эффективности орошаемого земледелия в рыночных условиях» (г. Волгоград, ВГСХА, 2001г.); «Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе» (г. Ставрополь, СГАУ, 2001 и 2003 гг.); «Агроинженерная наука – сельскохозяйственному производству» (г. Москва, МГАУ, 2001г.); «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (г. Москва, ВИЭСХ, 2003, 2004, 2010 и 2012 гг.); Костромской государственной сельскохозяйственной академии (г. Кострома, КГСХА, 2004 и 2006 гг.); посвященной 25-летию факультета «Электрификация и автоматизация с.-х.» и кафедры «Электротехнология сельскохозяйственного производства» (г. Ижевск, ИжГСХА, 2004 г.); посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.Ф. Ульянова (г. Саратов, СГАУ, 2005 г.); Прикаспийского НИИ аридного земледелия (с. Солёное займище Астраханской обл., 2006 г.); «Достижения науки – агропромышленному производству» (г. Челябинск, ЧГАУ, 2006 г.); «Эколого-экономические аспекты развития региона», (г. Волгоград,

ВолГУ, 2007 и 2008 гг.); «Стратегия качества в промышленности и образовании» (г. Варна-Днепропетровск, Болгария - Украина, 2008 г.); «Перспективные технологии и технические средства в АПК» (г. Мичуринск, МГАУ, 2008 г.); «Энергетика предприятий АПК и сельских территорий: состояние, проблемы и пути решения» (г. Санкт-Петербург, С-ПбГАУ, 2008 и 2009 гг.); «Актуелни проблеми механизације пољопривреде 2009» (г. Белград, «Пољопривредни факултет» Университета Белграда, Сербия, 2009 г.); РУ&СУ'10 (г. Русе, Русенский университет «Ангел Кънчев», Болгария, 2010 г.); «Инновационные проекты в области агроинженерии» (г. Москва, МГАУ, 2011г.); «Инновационные энергоресурсосберегающие технологии в АПК» (г. Москва, МГАУ, 2012 г.).

Результаты теоретических и экспериментальных исследований удостоены дипломов лауреата и золотых медалей на X юбилейной Российской агропромышленной выставке «Золотая осень – 2008» в номинации «За инновационные разработки в области сельскохозяйственной науки»; на специализированной выставке «Агропромышленный комплекс. Фермерское хозяйство – 2011»; промышленно-технической выставке «Технофорум 2011».

Научный проект «Электроимпульсный пропольщик» включен в книгу «Достижения науки в Волгоградской области 2004-2009 гг.», изданную под редакцией Главы региона, а также представлен и находится в числе лидеров по привлекательности на III Международной (виртуальной) выставке «Перспективные технологии XXI века», проводимой Министерством образования и науки РФ, Федеральным агентством по науке и инновациям, некоммерческим партнерством «Международный Центр информации, обучения и консалтинга в области энергоресурсосбережения».

Публикации. Основные научные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 69-ти работах, в том числе: трех монографиях, 20 публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК, двух патентах на способ и изобретение, а также двух патентах на полезную модель, – остальные работы опубликованы в журналах и по материалам международных и всероссийских конференций.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Она содержит 372 страниц основного текста, 87 рисунков, 20 таблиц и список литературы из 431 наименований, в том числе 57 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность работы и дана её общая характеристика.

В первой главе «Борьба с сорной растительностью. Цель и задачи исследования» показана вредоносность сорняков, особенности их морфологического строения, представлен обзор технологической и экономической эффективности, а также применимости различных методов и способов борьбы с сорной растительностью как традиционных – механических (вспашка, куль-

тивация, боронование) и химических, так и нетрадиционных (биологических; огневых; с использованием СВЧ-энергии и т.п). Рассматривается использование электрической энергии для борьбы с сорняками как альтернатива традиционным способам; применение энергосберегающих и экологически чистых технологий в земледелии; возможность подавления и уничтожения трудноискоренимых и карантинных сорняков.

Большой вклад в решение проблемы изучения электрических воздействий на биологические объекты и совершенствование электротехнологий, используемых в растениеводстве, внесли ведущие российские и зарубежные ученые: Армянов Н.К., Артемьев Н.А., Баев В.И., Басов А.М., Башилов А.М., Бородин И.Ф., Владимиров Ю.А., Вяземский Т.И., Газалов В.С., Гордеев А.С., Евреинов М.Г., Живописцев Е.Н., Загинайлов В.И., Климов А.А., Кудрявцев И.Ф., Листов П.Н., Лялин О.О., Ляпин В.Г., Мартыненко И.И., Маслоброд С.Н., Мешков А.А., Мичурин И.В., Небялков Н.А., Попов В.М., Прищеп Л.Г., Савчук В.Н., Свиталка П.И., Спиринов А.А., Тарусов Б.Н., Тарушкин В.И., Усаковский В.М., Червяков Д.М., Шогенов Ю.Х. и др.

Изучение результатов исследований по воздействию электрического тока на биологические ткани позволило заключить, что и для сорных растений основным повреждающим фактором при электрической обработке является ток проводимости большой плотности или (что эквивалентно) электрическое поле высокой напряжённости в тканях растений.

Анализ технических средств («Lasco» LW-5, Bolter Destroyer, «Ervard» l' Agrichoc, ЭРПИК и др.) для уничтожения сорных растений при помощи электрической энергии определил рациональную структуру построения таких устройств, которая включает в себя: силовую установку перемещения, роль которой выполняет, например, колёсный трактор; источник электрической энергии, состоящий из генератора и блока преобразования с повышающим трансформатором; специальную систему электродов для подведения электрической энергии к объектам обработки.

На основе изложенного сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе «Методика экспериментальных исследований» приведено описание структурных и схемных решений различных высоковольтных установок, изготовленных специально для проведения исследований, а также измерительных комплексов. Представлены методики общих и частных исследований (электропроводных параметров сорных растений и цепей обработки, параметров эквивалентной электрической схемы замещения растительной ткани сорняков, частотных зависимостей сопротивления растительной ткани, влияния вида электрического воздействия на степень повреждения растительных тканей сорняков и др.), приведены результаты экспериментов и их обработка.

В третьей главе «Технологические основы электрического повреждения сорных растений» изучены электропроводные свойства как неповреждённых тканей сорняков, так и в процессе обработки, представлена рабочая гипотеза повреждения растительных тканей при электроимпульсном воздействии, а также исследована и оценена технологическая эффективность влияния на об-

рабатываемую ткань высоковольтного синусоидального воздействия и равного ему по затратам энергии высоковольтного импульсного.

При уничтожении сорняков импульсами высокого напряжения нагрузкой выходного блока электропропольщика – разрядного контура являются обрабатываемые растения, включаемые непосредственно в цепь протекания тока. Электрическое сопротивление их тканей зависит от большого числа факторов и, прежде всего, их вида и биометрических параметров; фазы развития; почвенно-климатических условий региона; места произрастания; времени года; запаса питательных веществ в почве и др.

Основой анализа электропроводных свойств растительных тканей принята известная эквивалентная электрическая схема замещения, состоящая из параллельного соединения суммарного активного сопротивления межклеточника рассматриваемого участка растительной ткани (R_2) и ветви, содержащей последовательное соединение суммарного активного сопротивления протоплазмы тех клеток, которые организуют исследуемую растительную ткань (R_1) со сложным сопротивлением мембраны, представляющим собой параллельно включённые активное сопротивление (R_3) и ёмкость мембран (C_m) клеток обрабатываемого участка растения.

Полное электрическое сопротивление обрабатываемой растительной ткани носит комплексный характер и определяется суммой его активной и реактивной (ёмкостной) составляющих. Оно зависит от частоты тока, на котором производится измерение, и уменьшается с её ростом, что характерно для всех тканей животного и растительного происхождения и в биофизике носит название «дисперсии импеданса сопротивления ткани по частоте». В проводимых исследованиях по изучению электропроводных свойств эта характеристика принята за основную.

Анализ частотных зависимостей даёт возможность получить информацию об особенностях морфологического строения растительной ткани с точки зрения электрофизических свойств; ее состоянии в зависимости от почвенно-климатических условий, внешних раздражений и воздействий и т.п. Исследования и анализ выполнены для различных биологических видов и периодов развития сорняков, а также для отдельных элементов растений: стеблей, корней и участков, содержащих корневую шейку. Для проведения качественного анализа использовали значение не полного сопротивления исследуемого растительного образца, а удельного, что позволяет избавиться от влияния на сопротивление формы и размеров образца.

Графики дисперсии удельного сопротивления растительных тканей стеблей, корней и участков с корневой шейкой (рис. 1) имеют одинаковый характер. Количественная оценка показывает, что самое большое значение имеют участки корня сорняков, а самое низкое – участки стебля. Анализ кривых дисперсии удельного сопротивления тканей стебля, участка с корневой шейкой и корня позволяет также сделать вывод – эквивалентная электрическая схема замещения растительной ткани рассматриваемых участков сорных растений одинакова, но численные значения параметров её элементов несколько

разнятся, что и определяет различие в количественных показателях их удельных сопротивлений.

Однозначного различия в значениях удельных сопротивлений однолетних

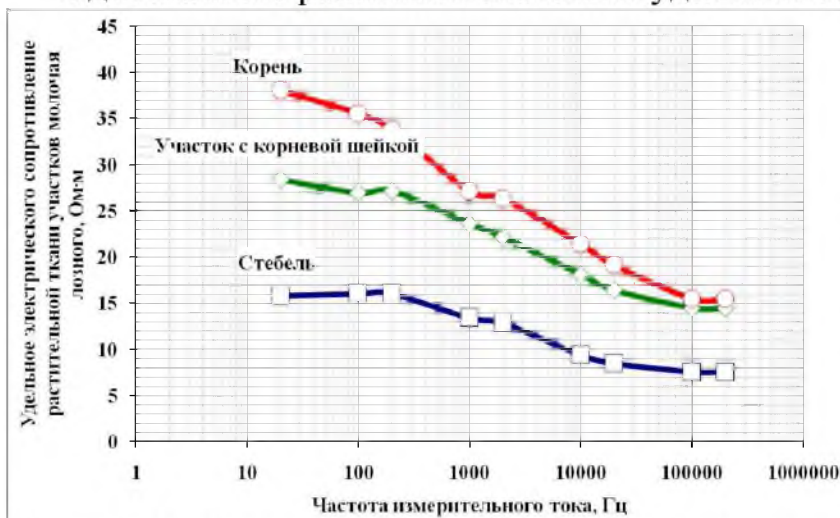


Рисунок 1. Частотные зависимости (дисперсии) удельного электрического сопротивления растительной ткани молочной лозы

и многолетних сорняков не наблюдается, что проявляется в смешивании, пересечении и наложении друг на друга зависимостей, характеризующих не только конкретный биологический вид сорных растений, но и их конкретный изучаемый участок. С увеличением времени развития удельное электриче-

ское сопротивление растительной ткани возрастает.

Интерес представляет поведение кривых дисперсии удельного сопротивления растительной ткани сорняков по частоте при её электрическом повреждении. При этом характер изменения сопротивлений не меняется, но численные значения уменьшаются. Это происходит за счёт снижения сопротивления ткани на низких частотах при практически неизменных значениях на высокой частоте (рис. 2). С увеличением степени повреждения растительной ткани сопротивление, соответствующее низким частотам, уменьшается, скоро-

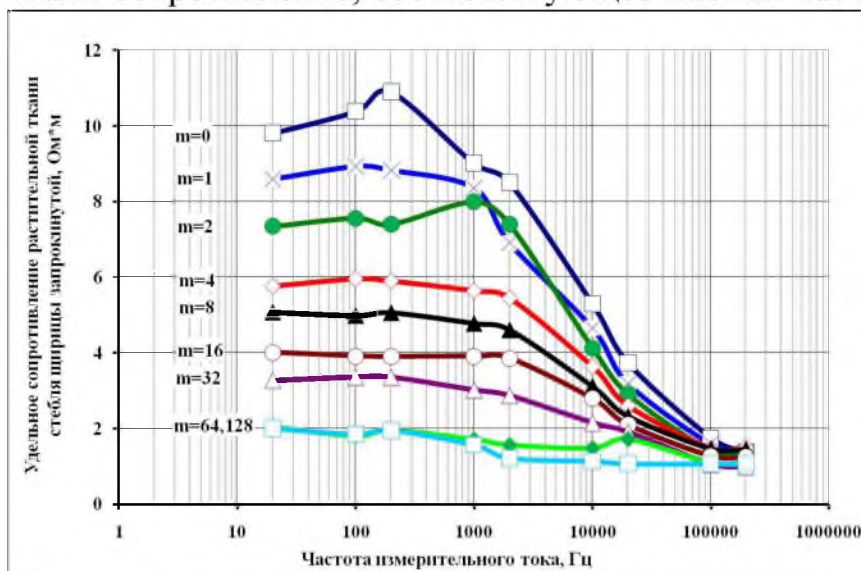


Рисунок 2. Зависимости удельного электрического сопротивления растительной ткани стебля ширицы запрокинутой от частоты измерительного тока при электрическом воздействии различным числом импульсов (m)

сть его снижения по частоте падает и при полном повреждении его значения на низких и высоких частотах выравниваются. Кривая дисперсии в этом случае опускается до линии соответствующей сопротивлению на высокой частоте и практически трансформируется в прямую, параллельную оси абсцисс или имеющую небольшой угол наклона к ней.

Это обстоятельство можно объяснить исчезновением емкостных свойств растительной ткани, что происходит или за счёт уменьшения ёмкости клеточных

мембран, или за счёт шунтирования мембранной ёмкости, возрастающей её активной проводимостью. Интенсивность спада кривых дисперсии удельного сопротивления растительной ткани сорняков при электрическом повреждении зависит от количества подведённой энергии.

Исследовались так же сопротивления наружных тканей сорняков, которые определяют значение сопротивления в месте контактирования электродной системы с объектом обработки, и сопротивление внутренних тканей, которое характеризуют плотность протекающего повреждающего тока. Сравнение их значений показывает, что поверхностные ткани различных участков сорных растений обладают бóльшим значением сопротивления, чем внутренние. Такое различие определяется наличием в наружном слое у растений большого количества отмерших клеток, придающих поверхностному слою механическую прочность и вместе с тем представляющих собой не проводящую или слабо проводящую электрический ток структуру.

Анализ процессов, протекающих в растениях и в разрядном контуре агрегата при электроимпульсном уничтожении сорняков, невозможно выполнить, зная лишь компоновку эквивалентной электрической схемы замещения их растительной ткани. Для этого необходимо иметь представление о значениях параметров элементов схемы и характере их изменений при обработке.

При определении значений этих параметров использован операторный метод расчёта переходных процессов в электрической цепи, содержащей растительную ткань, при подаче на её вход прямоугольных нетравмирующих импульсов измерительного напряжения, длительность которых превышает продолжительность переходного процесса в эквивалентной схеме замещения, и при допущении, что все элементы схемы за время импульса постоянны, а длительность фронта близка к нулю. Учтя известные соотношения для схем замещения биологических тканей, параметры элементов схемы можно определить по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &\approx \frac{U}{i_{св}} - R_{ш}; R_2 \approx \frac{U}{i_{np}} - R_{ш}; C_M \approx \frac{\tau \cdot (R_{ш} + R_2)}{R_{ш} \cdot (R_1 + R_2) + R_1 \cdot R_2}; \\ R_3 &\approx \frac{U \cdot (R_1 + R_2) - i_{np} \cdot (R_{ш} \cdot (R_1 + R_2) + R_1 \cdot R_2)}{U - i_{np} \cdot R_2}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где U – амплитуда подаваемых на ткань прямоугольных импульсов, В; $i_{св}$ и i_{np} – начальный и установившийся ток, протекающий через растительный образец при подаче прямоугольного импульса (по осциллограмме), А; $R_{ш}$ – сопротивление шунта, с которого осциллографировался протекающий по ткани измерительный ток, Ом.

Характер изменения расчетных значений параметров активных элементов схемы замещения R_1 , R_2 , R_3 соответствует поведению этих сопротивлений при электрическом повреждении и объяснению сути процессов, протекающих в тканях на основании анализа экспериментальных осциллограмм.

Незначительное расчетное увеличение мембранной ёмкости C_M характеризуется возрастанием постоянной времени процесса, что отчётливо наблюдается на осциллограммах. Но вместе с тем утверждалось, что ёмкость C_M

уменьшается. Анализ схемы замещения позволил заключить, что исключить ёмкость C_m можно не только, убрав её из схемы, но и, зашунтировав её активным сопротивлением R_3 , меньшим по значению. Такая гипотеза подтверждается тем, что при электрическом повреждении, по исследованиям биофизиков, сопротивление мембраны существенно уменьшается за счёт увеличения числа пор в стенках мембран клеток растений. Незначительное же увеличение ёмкости мембраны C_m не противоречит их исследованиям. Так Чизмаджев Ю.А. с сотрудниками приводят формулу определения изменения ёмкости мембраны, содержащей структурные дефекты.

При образовании структурного дефекта, наличии на мембране не самозатягивающейся поры, в плоском конденсаторе, моделирующем мембранную ёмкость, происходит замена диэлектрика (липиды) с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_m = 2 \dots 3$, на водный раствор с $\epsilon_s \approx 80$. Наличие большого числа дефектов на мембране приведет к тому, что открывшиеся поры образуют, с электрической точки зрения, параллельное соединение, увеличивая суммарную ёмкость мембраны, которая станет равной нулю, если мембрана полностью прекратит осуществлять свои полупроницаемые свойства, то есть произойдет замена диэлектрических свойств мембраны на проводящие.

Предложенный вариант анализа процессов повреждения растительной ткани при электрической обработке можно рассматривать как рабочую гипотезу электроимпульсного необратимого повреждения ткани сорняков.

Необратимое повреждение растительной ткани сорняков при электрической прополке можно осуществить, используя воздействия синусоидальным высоким напряжением и высоковольтными импульсами. Практически все разработанные конструкции электропропольщиков реализуют принцип воздействия на сорные растения переменным током высокого напряжения. Поэтому, при обосновании структуры электрической части агрегата и выборе вида воздействия интерес представляет вопрос оценки интенсивности повреждения растительной ткани при обработке.

Изучение влияния на степень повреждения растительной ткани сорняков высоковольтных синусоидальных и импульсных воздействий позволило установить, что обработка импульсами создает большее повреждение. Так, степень повреждения растительных тканей сорных растений мари городской и щирицы запрокинутой в два и более раза больше при импульсной обработке, чем при синусоидальном энергетически равном воздействии.

В четвертой главе «Электродная система подведения энергии к сорным растениям» рассмотрены возможные варианты ее реализации и выявлены наиболее эффективные, теоретически проанализированы и экспериментально исследованы электропроводные свойства элементов цепи протекания тока разрядного контура установки. Кроме этого, представлена методика энергетической оценки применения электродных систем, а также предложены варианты конструкции навесных секций и заглубленных электродов.

Важным техническим элементом конструкции мобильных электротехнологических агрегатов, применяемых для уничтожения сорняков, является электродная система, основная функция которых заключается в создании на-

дёжного контакта с обрабатываемыми объектами и обеспечении подведения к последним требуемой дозы электрической энергии.

Анализ способов подвода электрической энергии к обрабатываемым сорным растениям показывает, что наиболее эффективным является вариант обработки только корневой системы сорняков, который нельзя осуществить без использования системы заглубленных в почву электродов, создающих при перемещении дополнительное тяговое сопротивление. Поэтому, с точки зрения снижения совокупных потерь энергии и учитывая, что элементы надземной части и корневой системы должны подвергаться продольному воздействию протекающего по ним тока, электродные системы следует применять навесного, надземного исполнения или в случае засорения почвенных площадей трудноискоренимыми растениями – комбинированного, сочетающего навесные и заглубленные в почву электроды.

Суммарное сопротивление цепи, по которой протекает ток выходного блока агрегата – разрядного контура, определяется сопротивлением участка стебля, участка с корневой шейкой и самого корня, сопротивлением почвенного участка, содержащего различные включения, и определяющегося физико-механическими и почвенно-климатическими свойствами.

Для упрощения анализа принято, что все электрические компоненты цепи носят чисто активный характер. Это аргументируется тем, что общепринятое активно-емкостное сопротивление растительной ткани в процессе высоковольтного электроимпульсного воздействия становится активным.

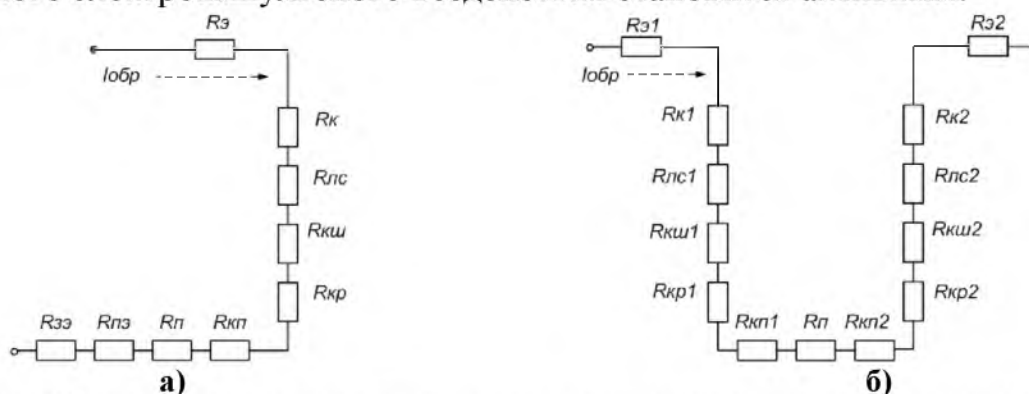


Рисунок 3. Электрические схемы замещения цепи протекания тока при уничтожении сорняков по вариантам: а) навесной электрод – стебель растения – корень растения – почва – заглубленный электрод; б) первый навесной электрод – стебель первого растения – корень первого растения – почва – корень второго растения – стебель второго растения – второй навесной электрод

Суммарное сопротивление цепей протекания тока (рис. 3) представляет собой сумму сопротивлений отдельных элементов, составляющих эти цепи:

$$R = R_{\text{э}} + R_{\text{к}} + R_{\text{ст}} + R_{\text{кш}} + R_{\text{кр}} + R_{\text{кп}} + R_{\text{п}} + R_{\text{пз}} + R_{\text{зэ}}, \quad (2)$$

$$R = R_{\text{э}1} + R_{\text{к}1} + R_{\text{ст}1} + R_{\text{кр}1} + R_{\text{кп}1} + R_{\text{п}} + R_{\text{кп}2} + R_{\text{кр}2} + R_{\text{ст}2} + R_{\text{к}2} + R_{\text{э}2} \quad (3)$$

где сопротивление, Ом: R – суммарное пути протекания тока; $R_{\text{э}}$; $R_{\text{э}1}$; $R_{\text{э}2}$ – навесного электрода, первого и второго навесных электродов или секций; $R_{\text{к}}$; $R_{\text{к}1}$; $R_{\text{к}2}$ – переходное контакта навесных электродов с надземной частью сорняков; $R_{\text{ст}}$; $R_{\text{ст}1}$; $R_{\text{ст}2}$ – листостебельной массы контактирующих с электродами растений; $R_{\text{кш}}$; $R_{\text{кш}1}$; $R_{\text{кш}2}$ – электрическому току участков с корневой шейкой; $R_{\text{кр}}$; $R_{\text{кр}1}$; $R_{\text{кр}2}$ – корневых систем сор-

ных растений включённых в цепь протекания тока обработки; $R_{кл}$; $R_{кл1}$; $R_{кл2}$ – переходное контакта корневой системы с почвой; R_n – почвы, Ом; $R_{пз}$ – переходное контакта заземляющего электрода с почвой; $R_{зз}$ – заземляющего электрода.

Экспериментальное изучение цепей протекания тока обработки в зависимости от различных факторов позволило констатировать следующее:

1. Сопротивление цепи «растение – почва – растение» при равных эквивалентных диаметрах стеблей исследованных сорняков, линейно повышается при увеличении расстояния между растениями.

2. Общее сопротивление цепи «растение – почва – растение» находится в обратной зависимости от диаметра стеблей сорных растений. С его ростом оно уменьшается по степенной зависимости, близкой к квадратичному закону.

3. С увеличением высоты подвеса электродов общее сопротивление цепи обработки «растение – почва – растение» растёт по степенной зависимости.

4. Электроимпульсную прополку наиболее эффективно проводить в периоды ведения полевых работ, когда влажность почвы достигнет значения 20...30 %, что характеризуется минимальным значением удельного электрического сопротивления почвы и позволяет эффективно эксплуатировать сельскохозяйственную технику.

5. Для минимизации затрат энергии при уничтожении сорных растений электрический контакт со стеблями сорняков следует устанавливать на как можно меньшей высоте над землей, то есть как можно ближе к корневой шейке, но не допуская электрического пробоя на почву или контакта с ней.

Система подведения электрической энергии к сорнякам представляет собой совокупность специальных электродов, которые должны отвечать ряду требований: 1) обеспечивать качественный электрический контакт с уничтожаемым сорным растением, создавая минимальное переходное сопротивление в месте контакта; 2) оказывать минимальное механическое сопротивление движению всей установки по пропалываемому участку; 3) обеспечивать необходимый технологический эффект необратимого повреждения сорных растений при как можно меньшем рабочем напряжении установки; 4) не создавать электроопасных условий поражения электрическим током человека за зоной обработки сорняков.

С энергетической точки зрения, важнейшим являются первые два требования. Общие затраты энергии на прополку складываются из затрат на электрическое повреждающее воздействие на ткани сорняков и на движение агрегата по пропалываемому полю.

Для энергетической оценки воспользуемся схемами замещения выбранных вариантов подведения энергии к сорным растениям (рис. 3).

С технологической точки зрения, важными элементами схемы являются сопротивления уничтожаемого растения ($R_{см}$, $R_{кш}$, R_k). Но поскольку энергию к этим сопротивлениям можно подвести только через $R_{см}$, то в схеме замещения все эти три сопротивления практически трудно разделить и их следует заменить одним общим – сопротивлением растительной ткани $R_{пт}$.

С энергетической точки зрения, необходимо стремиться к минимальному значению R_{pm} , чтобы технологический эффект (необратимое повреждение растения) достигался при минимально возможном расходе энергии. Это означает, что длина обрабатываемой части стебля $l_{ст}$ и, следовательно, высота расположения навесного электрода над почвой должны быть минимально допустимыми.

Переходное сопротивление между корнем и почвой мало и практически неотделимо от сопротивления почвы, поэтому его следует исключить из схемы, приняв равным сопротивлению почвы.

Сопротивление почвы R_n и растительной ткани R_{pm} , в которых выделяется основная часть энергии во время прополки, практически не зависят от конструкции и принципа действия рабочих электродов. Сопротивления же R_x и R_{mz} определяются именно их конструкцией, при этом каждый электрод обуславливает сопротивление протеканию электрического тока и чисто механическое сопротивление перемещению установки относительно растений по полю, на преодоление которых затрачивается электрическая $W_{эп}$ и механическая $W_{мэп}$ энергия.

Навесной электрод контактирует со стеблем растения касанием с его эпидермисом, покрытым жесткими не токопроводящими волосками. Для уменьшения сопротивления R_x в месте касания необходимо смять волоски и даже нарушить целостность эпидермиса, надрезав его. Чем больше и глубже надрез, тем меньше R_x , значение которого будет зависеть от угла заточки α режущей кромки электрода.

Вместе с этим значение R_x варьирует во времени из-за изменения размеров надреза, давления электрода и упругой реакции стебля, площади контактирования, и оно может быть описано функцией: $R_x = f(\alpha, t)$.

Потери электрической энергии в переходном сопротивлении:

$$W_{эп} = \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_x(\alpha, t) dt, \quad (4)$$

где t_k – продолжительность контактирования электрода с растением, с; t – текущее время, с; i – значение тока, протекающего по повреждаемому сорному растению, А.

Движущийся навесной электрод, контактируя со стеблем растения, преодолевает сопротивление упругой деформации изгибаемого стебля и сопротивление врезанию острой кромки электрода в него, на что расходуется механическая энергия, обусловленная конструктивными параметрами электрода:

$$W_{мэп} = W_{эпу} + W_{эпр} = \int_0^{t_k} F_y(t) \cdot v_{cp} \cdot dt + \int_0^{t_k} F_{рез}(t) \cdot v_{cp} \cdot dt, \quad (5)$$

где $W_{эпу}$ – энергия на преодоление упругого сопротивления стебля, Дж; $W_{эпр}$ – энергия на врезание электрода в стебель, Дж; $F_y(t)$ – изменяющаяся с наклоном стебля сила его упругой деформации, Н; v_{cp} – средняя скорость перемещения электропропольщика по полю, м/с; $F_{рез}(t)$ – изменяющаяся с наклоном стебля под давлением электрода сила сопротивления врезанию электрода в стебель, Н.

Значение F_{pez} существенно зависит от угла заточки α_1 электрода. Поэтому в расчетах необходимо это учитывать, используя не $F_{pez}(t)$, а $F_{pez}(\alpha_1, t)$.

Суммарная механическая энергия, затрачиваемая на преодоление сопротивления стебля движению навесного электрода, равна:

$$W_{эpm} = \int_0^{t_k} [F_y(t) + F_{pez}(\alpha_1, t)] \cdot v_{cp} \cdot dt \quad (6)$$

Общие затраты электрической и механической энергий, создаваемые перемещением навесного электрода относительно уничтожаемого сорняка:

$$W_{эp} = W_{эpz} + W_{эpm} = \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_k(\alpha_1, t) \cdot dt + \int_0^{t_k} [F_y(t) + F_{pez}(\alpha_1, t)] \cdot v_{cp} \cdot dt \quad (7)$$

Минимизация затрат энергии связана с оптимизацией угла заточки электрода, поскольку уменьшение α_1 снижает переходное электрическое сопротивление $R(\alpha_1, t)$ и электрическую слагаемую энергии, увеличивая (или уменьшая) механические затраты на врезание электрода в стебель.

«Заземляющий» электрод вносит в процесс электропрополки дополнительные потери энергии. Основное его назначение заключается в замыкании цепи протекания электрического тока по растительной ткани уничтожаемого сорняка. Для этого он должен обеспечить хороший электрический контакт с почвой, создавая малое значение переходного электрического сопротивления $R_{пэ}$ и, следовательно, малые потери электрической энергии $W_{пээ}$ на нем.

Очевидно, что значение этого сопротивления зависит от удельного сопротивления почвы, ее влажности, площади соприкосновения поверхности электрода с почвой и давления электрода на нее. Конструкция электрода влияет на площадь соприкосновения ($S_{пэ}$) и давление на почву (p). Чем больше площадь и выше давление, тем меньше будет $R_{пэ}$.

Значение давления определяется отношением силы механического сопротивления почвы движению электрода в ней к площади их соприкосновения. Потери электрической энергии на переходном сопротивлении:

$$W_{пээ} = \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_{пэ}(S_{пэ}, p) dt \quad (8)$$

Но, с другой стороны, заглубленный заземленный электрод должен испытывать как можно меньшее механическое сопротивление движению в почве. Значением этого сопротивления определяются затраты механической энергии $W_{пэм}$ на перемещение заглубленного электрода:

$$W_{пэм} = \int_0^{t_k} F_{пэм}(\alpha_2, t) \cdot v_{cp} \cdot dt \quad (9)$$

где $F_{пэм}(\alpha_2, t)$ – сила механического сопротивления почвы движению заглубленного электрода, Н.

Очевидно, что сила сопротивления и затраты энергии будут тем меньшими, чем меньше угол заточки α_2 электрода. То есть электрод должен представлять собой, например, нож-щелеватель, или дисковый нож. Причем механическое сопротивление движению здесь будет тем ниже, чем меньше угол

заточки кромки резания и длина электрода-лезвия ножа. Однако вместе с этим, переходное электрическое сопротивление $R_{пэ}$ и потери электрической энергии на нем $W_{пэ}$ возрастают.

Это противоречие с энергетической точки зрения можно разрешить минимизацией суммарных энергетических потерь:

$$W_{пэ} = W_{пээ} + W_{пэм} = \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_{пэ}(S_{пэ}, p) \cdot dt + \int_0^{t_k} F_{пэ}(\alpha, t) \cdot v_{cp} \cdot dt . \quad (10)$$

С учетом того, что площадь контактирования электрода с почвой и давление на почву также определяются углом заточки режущей кромки электрода (чем больше угол, тем эти параметры больше, а электрическое сопротивление меньше), суммарные потери энергии:

$$W_{пэ} = \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_{пэ}(\alpha_2, t) \cdot dt + \int_0^{t_k} F_{пэ}(\alpha_2, t) \cdot v_{cp} \cdot dt . \quad (11)$$

Следовательно, задача минимизации суммарных энергопотерь от заглубленного электрода сводится к задаче нахождения оптимального угла α_{2opt} .

Глубина погружения электрода в почву также существенно влияет на энергетические потери. Очевидно, что с увеличением глубины сопротивление электрическому току и электрическое слагаемое потерь энергии уменьшаются, а механическое сопротивление движению и слагаемое механических потерь возрастают. Суммарные потери энергии определяются выражением:

$$W_{пэ} = \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_{пэ}(\alpha_2, t, h) \cdot dt + \int_0^{t_k} F_{пэ}(\alpha_2, t, h) \cdot v_{cp} \cdot dt , \quad (12)$$

где h – глубина погружения электрода в почву, м.

Для упрощения нахождения оптимальных решений вначале следует найти минимум потерь энергии по выражению (11), определив оптимальный угол α_{2opt} , а затем следует определить минимум потерь по выражению:

$$W_{пэ} = \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_{пэ}(h) \cdot dt + \int_0^{t_k} F_{пэ}(h) \cdot v_{cp} \cdot dt , \quad (13)$$

приняв $\alpha_{2opt} = \text{const}$ и определив оптимальную глубину h_{opt} .

Из сказанного следует, что заглубляемый электрод должен иметь длину, достаточную для обеспечения оптимальных режимов работы во всем диапазоне изменения удельного электрического сопротивления и плотности почв региона. Он должен быть снабжен механизмом изменения глубины погружения с целью установки ее оптимального значения при конкретных значениях удельного сопротивления и плотности почвы пропалываемых участков.

Общие энергетические потери, обусловленные рабочими электродами, определяются суммированием потерь от каждого электрода, т.е.

$$W_{\Sigma} = \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_k(\alpha_1, t) \cdot dt + \int_0^{t_k} [F_y(t) + F_{рез}(\alpha_1, t)] \cdot v_{cp} \cdot dt + \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_{пэ}(\alpha_2, t, h) \cdot dt + \int_0^{t_k} F_{пэ}(\alpha_2, t, h) \cdot v_{cp} \cdot dt , \quad (14)$$

При малой засоренности поля эта сумма справедлива только в течение отрезков времени t_k контактирования навесного электрода с редко стоящими растениями – сорняками. На таких участках между сорными растениями навесной электрод не создает потерь энергии, а заглубленный – только потери механической энергии на его перемещение в почве, то есть

$$W_{\Sigma} = \int_0^{t_n} F_{nэ}(\alpha_2, t, h) \cdot v_{cp} \cdot dt, \quad (15)$$

где t_n – время перемещения навесного электрода между двумя сорняками.

При низкой влажности почвы переходное сопротивление $R_{nэ}$ «электрод – почва» становится большим. Для его уменьшения необходимо устанавливать несколько заглубленных электродов. Тогда их суммарное электрическое сопротивление упадет, а механическое – движению электродов в почве возрастет, и общие потери энергии от заглубленных электродов определяются

$$W_{nэ} = \frac{1}{n} \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_{nэ}(\alpha_2, t, h, n) \cdot dt + n \int_0^{t_k} F_{nэ}(\alpha_2, t, h, n) \cdot v_{cp} \cdot dt, \quad (16)$$

где n – число параллельно заглубленных в почву электродов, шт.

Задача минимизации этой энергии сводится к определению оптимального числа n заглубляемых электродов.

Необходимо отметить, что уменьшение переходного электрического сопротивления «электрод – почва» очень важно для снижения опасности поражения электрическим током людей, например, шаговым напряжением.

При использовании в электропропольщике двух навесных электродов общие потери энергии равны (9):

$$W_k = 2 \int_0^{t_k} i^2(t) \cdot R_k(\alpha_1, t) \cdot dt + 2 \int_0^{t_k} [F_y(t) + F_{pez}(\alpha_1, t)] \cdot v_{cp} \cdot dt, \quad (17)$$

оптимальные параметры таких электродов одинаковы и определяются из условия минимума потерь энергии для одного из них.

Для более точного выбора высоты подвеса электродной системы проведена экспериментальная оценка высоты сорных растений. Вероятность контакта навесного электрода с участком сорного растения на высоте 10...15 см от земли оценена близкой к единице, так как средние арифметические значения высоты изученных растений в два и более раза превышают указанный диапазон значений. Проанализировав полученные экспериментальные данные и результаты оценочных расчетов, можно заключить следующее:

- минимальная высота подвеса электродных секций при сплошной обработке почвенного массива и при обработке в междурядьях пропашных культур должна быть не менее 10 см;

- при обработке сорных растений, переросших пропашные культуры в рядках, высота подвеса настраиваемого электрода секции должна превышать высоту культурных растений примерно на 5 см.

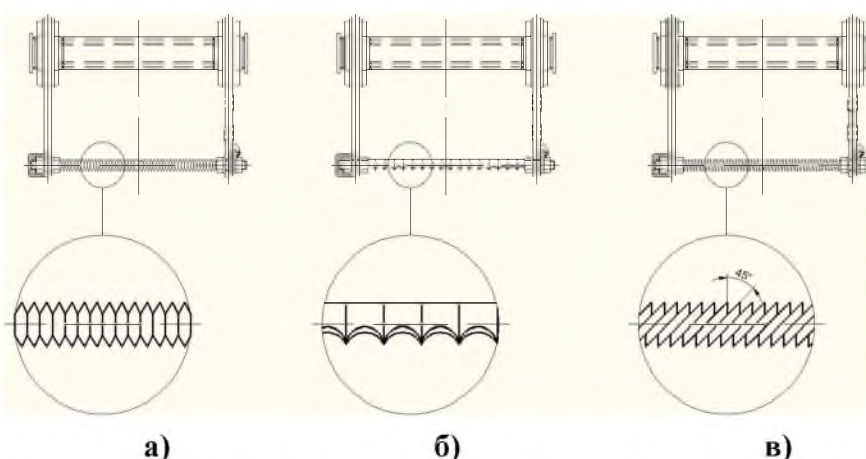
Для обоснования применения режущих кромок на навесных электродах изучено изменение переходного контакта «электрод – стебель растения» для

случая взаимодействия с сорняком гладкого электрода и имеющего кромку, нарушающую целостность эпидермиса растения.

Из результатов исследований следует, что значение переходного сопротивления контакта «электрод – эпидермис растения» уменьшается по экспоненциальной зависимости в функции силы нажатия электрода на стебель и зависит от площади контакта.

При использовании гладкого электрода значение сопротивления контакта «электрод – растение» составляет от нескольких до почти десятка кОм в зависимости от вида и числа сорняков, контактирующих с отдельной секцией. Для случая механического повреждения (надрезания) эпидермиса и контактирования режущих кромок с внутренними тканями сорняков выявлено, что такой контакт обладает сопротивлением в несколько (2...4) раз меньшим по значению, чем у сопротивления «гладкий электрод – эпидермис».

Анализ существующих технических решений конструкции электродов



навесной системы позволил предложить в качестве нового, эффективного варианта электроды, выполненные в виде цилиндрических тел с вертикальными проточками или проточками, сделанными под некоторым углом к направлению движения, имеющие режущие кромки, а также в виде пластины с контактирующей поверхностью, имеющей

Рисунок 4. Навесные электродные секции: а – с цилиндрическим рабочим органом, имеющим вертикальные проточки с режущей кромкой; б – с пластинчатым рабочим органом с острыми вершинами и режущей дугообразной частью; в – с цилиндрическим рабочим органом, имеющим проточки под углом 45° и режущей кромкой

острыйные элементы, соединенные между собой дугообразными участками с режущей кромкой (рис. 4).

Надрезание растительных волокон вдоль, которое предполагается осуществлять за счет скользящего резания острыми кромками проточек навесных электродов (рис. 4, а), срезания (сдирания) поверхностного слоя (рис. 4, в), обеспечивает более надежный контакт электрода с внутренними тканями сорного растения.

Не менее эффективным вариантом является конструкция в виде пластинчатого электрода с профилем контактирующей поверхности имеющей острийные элементы, соединенные между собой дугообразными участками с режущей кромкой (рис. 4, б). Во всех трех вариантах сдирание (счищение) покровных тканей растения обеспечивает надежный контакт электродов с внутренними, обладающими меньшим удельным сопротивлением.

За время существования воздействующего импульса на электродной секции следует учитывать три основные временные интервала, характеризующие электроимпульсное воздействие при непосредственном контакте. В момент времени, когда отсутствует контакт электрода с растением, за счет наличия в последовательной цепи с электродом разрыва в шаровом воздушном промежутке, на электродной секции отсутствует высоковольтный потенциал. В момент контакта на рабочих кромках электродной секции должен появиться повышенный, по сравнению с остальными участками электрода, потенциал, значение которого определяется найденными технологическими нормами. Оставшееся время обработки сорного растения напряженность электрического поля в самой растительной ткани сорняка должна соответствовать повреждающему эти ткани значению.

Для применения в качестве заглубленного электрода наиболее подходят электроды – ножи сельскохозяйственных орудий в виде черенкового, ножа-щелевателя, а также дисковых – неподвижного и вращающегося при перемещении.

Используя выражения, выведенные В.П. Горячкиным, выполнено сравнение тягового усилия на перемещение черенкового и дискового ножа, а также подвижного и неподвижного дисковых. Сравнение полученных результатов расчета показало, что тяговое усилие на перемещение дискового ножа приблизительно в 4 раза меньше, чем для черенкового, а для вращающегося диска – в четыре раза меньше, чем для неподвижного.

В пятой главе «Исследование технологической эффективности и энергетических показателей разрядного контура установки для электрической прополки» представлены результаты исследований по изучению чувствительности растительных тканей сорняков к электроимпульсному воздействию, проанализированы зависимости степени повреждения растительной ткани от напряженности электрического поля и воздействующей энергии, выявлены оптимальные параметры процесса электроимпульсного воздействия на сорные травы, а также исследованы энергетические показатели разрядного контура.

Чувствительность растительной ткани к электрическому воздействию оценивалась при помощи такого количественного показателя, как степень повреждения S_p , под которой в работе понимается величина, введенная учеными-исследователями Волгоградского СХИ В.И. Баевым, А.А. Климовым, В.Н. Савчуком для оценки повреждения растительных тканей, численное значение которой определяется отношением полного сопротивления ткани (или его активной составляющей) до обработки к текущему значению сопротивления ткани на фиксировано взятой частоте измерительного тока.

Для установления связи параметров разрядного контура и воздействующего импульса со степенью повреждения использована зависимость:

$$S_n = k_s \cdot E^n \cdot t = k_s \cdot \left(\frac{U_0}{l_{pm}} \right)^n t = k_s \cdot \left(\frac{R_{pm} \cdot i}{l_{pm}} \right)^n t = k_s \cdot \left(\frac{R_{pm}^{n-1} \cdot i^{n-2}}{l_{pm}^n} \right) \cdot W =$$

$$= k_s \cdot \left(\frac{R_{pm} \cdot E^{n-2}}{l_{pm}^2} \right) \cdot m \cdot \frac{C_k \cdot U_0^2}{2} = k_s \cdot \left(\frac{R_{pm} \cdot C_k}{2} \right) \cdot m \cdot E^n \quad , \quad (18)$$

где $E = U_0/l_{pm}$ – средняя напряжённость электрического поля в растительной ткани, kB/m ; t – время действия или длительность импульса, c ; n – постоянная, определяющая соотношение между изменением напряжённости поля в растительной ткани и степенью её повреждения; U_0 – начальное напряжение разрядного контура, прикладываемое к участку растительной ткани, kB ; k_s – коэффициент пропорциональности, $(cm/kB)^n \cdot c^{-1}$; i – средняя величина тока, протекающего по растительной ткани, A ; $R_{pm} = (\rho_{pm} \cdot l_{pm})/S_{pm}$ – сопротивление исследуемого участка растительной ткани с удельным электрическим сопротивлением ρ_{pm} , длиной l_{pm} и площадью поперечного сечения S_{pm} , Om ; $W = W_1 \cdot m$ – суммарная энергия, $Dж$; $W = i^2 \cdot R_{pm} \cdot t = 0.5 \cdot C_k \cdot U_0^2$ – энергия одиночного импульса, $Dж$; C_k – накопительная емкость разрядного контура, Φ ; m – количество воздействующих импульсов.

Как видно из приведённой зависимости (18), степень повреждения растительной ткани (S_n) зависит от параметров разрядного контура (C_k , U_0 , W), параметров воздействующего импульса (i , t) и чувствительности растительной ткани к повреждающему электрическому воздействию (n).

Значения показателя n для растительной ткани разных сорняков определены по результатам экспериментов и их усредненные значения равнялись для мари городской $n = 1,29$; щирицы запрокинутой $n = 1,28$; осота полевого $n = 1,22$; осота розового $n = 1,2$; молокана татарского $n = 1,23$; молочая лозного $n = 1,14$. Наиболее стойкими к электрическому повреждению являются растительные ткани молочая лозного, так как показатель n для этих тканей наименьший и максимальная степень повреждения тканей будет достигнута при большем расходе энергии, а наименее стойкими являются ткани щирицы запрокинутой и мари городской.

Для подтверждения вывода о различной чувствительности тканей рассмотрим экспериментальные зависимости $S_n = f(E)$, построенные для сорняков разных биологических групп.

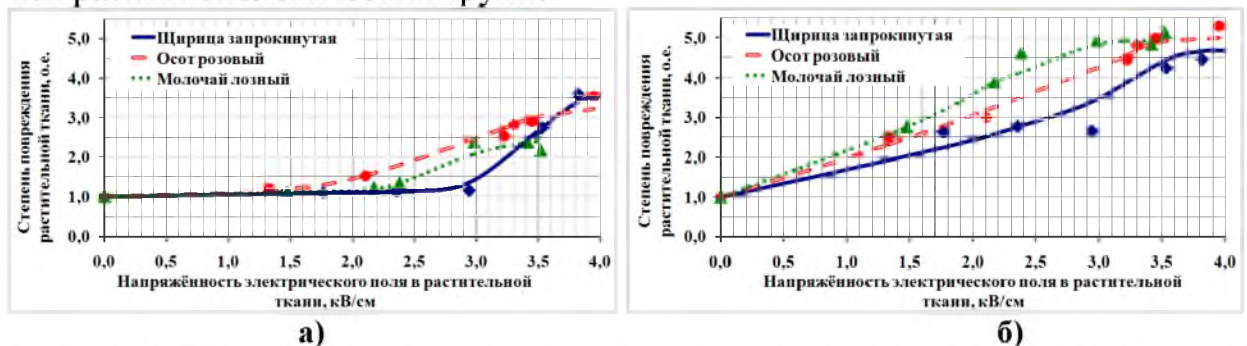


Рисунок 5. Зависимости степени повреждения растительной ткани корневой системы молочая лозного; осота розового; щирицы запрокинутой от напряжённости электрического поля в растительной ткани при числе воздействующих импульсов $m=1$ (а) и 91 (б), параметрах разрядного контура: $C_k = 1000$ пФ, $L_n = 110$ мкГн

Представленные зависимости (рис. 5) имеют ярко выраженный S-образный характер, что подчёркивает наличие у кривых начального участка с незначительным ростом степени повреждения при увеличении значения напряжённости в ткани и участка с очень высокой скоростью изменения степени повреждения, а также участка, на котором с увеличением напряжённости существенного изменения степени повреждения уже не наблюдается.

Характер кривых рисунка 5 зависимостей $S_n = f(E)$ при числе воздействующих импульсов, равном единице, на более высоком значении напряжённости свидетельствует, что растительная ткань корневой системы у щиряцы запрокинутой достигает более глубокого повреждения, чем ткани молочая лозного и осота розового. В то же время при $m = 91$ степень повреждения практически становится для всех сорняков одинаковой, да и характер поведения зависимостей очень похож друг на друга.

Рассмотрев результаты исследований, можно отметить, что степень повреждения растительной ткани корневой системы и стебля различных сорняков растёт с увеличением напряжённости электрического поля в ткани и достигает своего предельного значения при $E = 3,1 \dots 3,8$ кВ/см.

Для надёжного повреждения растительных тканей корневой системы сорняков в них необходимо создавать напряжённость электрического поля не менее 3,8 кВ/см, а для повреждения надземной части – 3,7 кВ/см.

Зависимость степени повреждения растительных тканей корня, участка с корневой шейкой и стебля сорных растений от энергии воздействующих импульсов $S_n = f(W)$ или $S_n = f(m)$ также имеет S-образный характер.

Растительная ткань различных участков таких сорняков, как осот розовый и полевой, молочан татарский, щиряца запрокинутая наиболее чувствительна к электрическим воздействиям, характеризуется тем, что степень повреждения их тканей нарастает более интенсивно с каждым воздействующим импульсом и достигает предельного значения S_n раньше, чем у растительных тканей молочая лозного при равных энергетических воздействиях. С увеличением подводимой к растению энергии, единичным импульсом или серией импульсов, степень повреждения ткани увеличивается.

Для необратимого повреждения тканей исследованных сорняков необходимо, чтобы удельный расход энергии составлял не менее $17,5$ Дж/см³, при значении предельной степени повреждения – не менее 7,5.

Скорость достижения предельного значения степени повреждения зависит от начального напряжения разрядного контура U_0 : чем оно больше, тем быстрее растительная ткань достигнет предельной степени повреждения.

Основной целью обработки является необратимое повреждение ткани и ее последующая гибель, поэтому в качестве основного показателя для анализа взяли предельную (максимальную) степень повреждения ткани сорняков $S_{n \text{ max}}$. Необходимо добиваться достижения предельного значения степени повреждения растительных тканей при как можно меньшем расходе электрической энергии. Такой результат можно получить, воздействуя на обрабатываемое растение, в зависимости от его чувствительности, или импульсами

напряжения с большой амплитудой и небольшой длительностью, или импульсами с большей продолжительностью, но небольшой амплитудой.

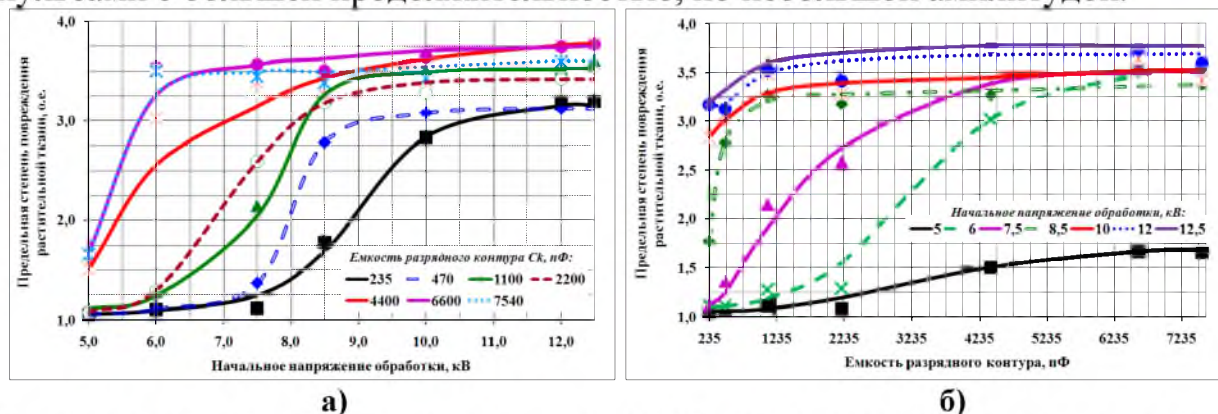


Рисунок 6. Зависимости предельных степеней повреждения растительных тканей стеблей щиряцы запрокинутой: а) – от начального напряжения контура при различной накопительной ёмкости контура; б) – от накопительной ёмкости контура при различных значениях начального напряжения контура

Анализ графиков $S_{n \max} = f(U_0)$ при $C_k = \text{const}$ (рис. 6, а) показывает, что максимальных значений предельная степень повреждения растительной ткани достигает при всех значениях накопительной ёмкости контура и напряжении обработки 8,5... 12,0 кВ. Скорость достижения $S_{n \max}$ различна: чем больше значение емкости разрядного контура, а значит и энергии воздействующего импульса, тем ткани сорняка быстрее повреждаются и при этом степень их повреждения становится максимальной.

Характер поведения зависимостей $S_{n \max} = f(C_k)$ при $U_0 = \text{const}$ (рис. 6, б) свидетельствует, что полученные кривые постепенно достигают максимального значения предельной степени повреждения при $C_k = 2200...4400$ пФ и более, на всех значениях напряжения обработки.

Анализ процессов, протекающих в разрядном контуре и растительной ткани, выполнен с использованием аналитического выражения для основной характеристики разрядного контура – тока $i = f(t)$, когда нагрузкой разрядного контура является неповрежденная растительная ткань, а также ткань, подвергнувшаяся электрической обработке. Во всех рассматриваемых случаях при изменении C_k , L_n и U_0 характер поведения кривой разрядного тока практически остаётся одним и тем же – аperiодическим. Начальное напряжение обработки определяет максимальное значение разрядного тока и влияет на напряжённость электрического поля в растительной ткани. Форма кривой тока и его значение не зависит от реальных значений индуктивности разрядной цепи ($L_n = 10 \cdot 10^{-6} \dots 100 \cdot 10^{-6}$ Гн). Значительное же увеличение этого параметра до 1... 10 мГн приводит к тому, что характер процесса становится колебательным; изменение реально возможных значений индуктивности контура ($L_n = 10 \cdot 10^{-6} \dots 100 \cdot 10^{-6}$ Гн), которые можно использовать в ГИН, влияет на скорость нарастания фронта импульса разрядного тока: чем больше индуктивность, тем позже фронт и меньше скорость его нарастания. Наблюдаемое увеличение амплитуды импульса в данном случае незначительно и составляет всего лишь 3... 5 % от максимального значения разрядного тока.

Значение накопительной ёмкости контура C_k влияет на продолжительность процесса её разрядки, определяя тем самым время электрического воздействия на растительную ткань.

Для всестороннего анализа процессов, протекающих в разрядном контуре установки, выявлено количественное изменение зависимости формы кривой тока обработки (разрядного тока) при нагрузке последнего на сорные растения, произрастающие в естественных условиях. Характер поведения расчетной и экспериментальной зависимостей $i = f(t)$ является аperiodическим.

Для определения доз энергии, при которых необратимо повреждается растительная ткань сорных растений, а также для исследования вариантов подведения энергии к растениям, проведены экспериментальные исследования в условиях их естественного произрастания. Установлено, что для надёжного повреждения растительной ткани многолетних сорняков (молочая лозного, осота розового и полевого, молокана татарского, вьюнка полевого) и последующей за этим их гибелью, необходимо затратить бóльшую энергию, чем в случае электроимпульсной обработки однолетних сорняков (щирицы запрокинутой, дурнишника обыкновенного, мари городской).

В шестой главе «Общие технические параметры агрегата электрической прополки» приведена оценка вала отбора мощности трактора как источника механической энергии для привода генератора, обоснована структура и выполнен анализ зарядных и разрядных процессов в электрической части, а также сформулированы общие положения техники безопасности и технические условия на разработку опытного образца электропропольщика.

Принципиально агрегат состоит из трёх основных структурных блоков: силовой установки перемещения, источника электроэнергии и электродной системы. Чтобы добиться меньшей стоимости устройства и большей маневренности агрегата предпочтительнее выбрать навесной вариант.

Проанализировав полученные данные по определению энергетических параметров приводного устройства – вала отбора мощности (ВОМа) трактора, можно сделать следующие выводы:

1. При разной снимаемой нагрузке изменение частоты вращения ВОМ отличается от номинальной не более чем на 5...6 %, что характерно для работы стандартного колесного трактора на второй передаче, на других же передачах эти колебания ещё меньше. Напряжение, вырабатываемое генератором, изменяется пропорционально скорости оборотов ВОМ, поэтому при таких колебаниях необходимость регулирования напряжения отпадает.

2. Максимально возможная мощность, снимаемая с ВОМ, колеблется в зависимости от конкретной передачи и составляет от 45 кВт на второй, до 2,7 кВт – на восьмой.

3. Масса навешиваемой установки влияет на максимально возможную снимаемую с ВОМ мощность, поэтому улучшение эксплуатационных показателей агрегата, за счет применения утяжеляющих конструкций элементов, надо рассматривать очень внимательно, и без большой надобности утяжелять установку не следует.

Для обоснования параметров процесса, выбора элементов электрической части, установления зависимостей энергетических и технологических показателей от параметров реализуемой операции, определены основные характеристики высоковольтного импульсного воздействия на сорные растения.

Засоренность определяет значение мощности, подводимой к электродной системе, а, следовательно, и мощность источника электрической энергии (рис. 7, а). На рисунке 7, б представлены зависимости мощности подводимой к электродной системе от её ширины захвата.

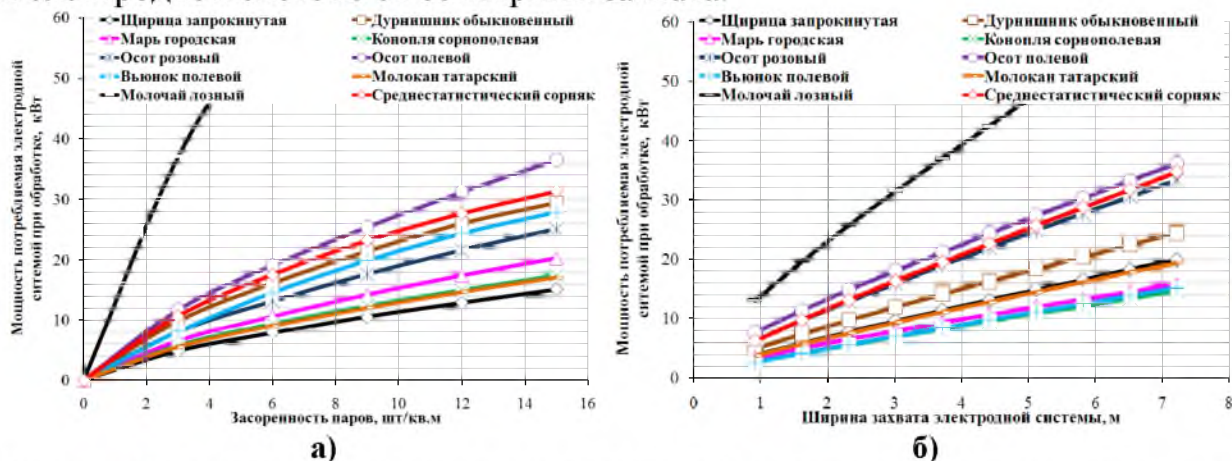


Рисунок 7. Зависимость мощности подводимой к электродной системе от: а – засоренности обрабатываемой площади, на примере паров; б – ее ширины захвата

Проанализировав полученные характеристики, можно заключить, что мощность, подводимая к электродной системе, соответствует значению 10,57 кВт при обработке почвенного массива засоренного сорняками, в количестве 3 шт/ м² при скорости перемещения агрегата 4,4 км/ч и ширине захвата 7,22 м; 17,55 кВт – при 6 шт/ м²; 23,24 кВт – при 9 шт/ м²; 27,69 кВт – при 12 шт/ м²; 31,38 кВт – при 15 шт/ м².

Мощность, подводимая к электродной системе, не может превышать значений 6,29...34,77 кВт при обработке почвенного массива при средней засоренности, скорости перемещения 4,4 км/ч и ширине захвата от 0,92 до 7,22 м.

Применение секционированной навесной электродной системы исключает возможность шунтирования сорных растений друг другом, из-за различия сопротивления их тканей, а также способствует более стабильному характеру нагрузки, что позволяет увеличить ширину захвата установки при одинаковой мощности источника питания.

На основании теоретических представлений и проведенных исследований сформулированы общие требования по технике безопасности, электромагнитной совместимости, а также технические условия на разработку навесной электроимпульсной установки на колёсный трактор.

Определены основные оптимальные технологические параметры процесса электроимпульсного уничтожения сорных растений и технические характеристики источника электрической энергии (таблица 1).

Таблица 1. Основные технологические параметры процесса электроимпульсного уничтожения сорных растений и технические характеристики источника электрической энергии агрегата

Характеристики, параметры	Единицы измерения	Численные значения при уничтожении сорных растений:									
		ширица запрокинутая	дурнишник обыкновенный	марь городская	конопля сорнополевая	осот розовый	осот полевой	вьюнок полевой	молокан татарский	молочай лозный	среднестатистический сорняк
Летальная доза энергии	Дж	69	159	94,5	106	118	160	192	84	655	181,9
Напряжение обработки = 20 кВ											
Емкость разрядного контура = 4700 нФ											
Индуктивность контура = 100...110 мкГн											
Энергия одного импульса = 1,299 Дж											
Число импульсов, прошедших через сорняк, за время контактирования		53	122	73	82	91	123	230	513	2096	685
Скважность импульсов		25,5	16,9	21,9	37,7	17,1	10,8	26,2	3,4	1,3	21,1
Мощность источника питания при ширине захвата $b=3,72$ м	кВт	4,87	9,84	6,54	5,74	16,21	11,75	8,45	11,11	37,10	13,15
Мощность источника питания при ширине захвата $b=7,22$ м	кВт	8,0	16,53	10,77	9,89	28,13	19,17	15,18	19,43	63,31	22,61
Расход электроэнергии на один гектар ($\approx 100\ 000$ сорняков)	кВт·ч	1,92	4,42	2,60	2,94	3,28	4,44	5,30	2,33	18,19	5,06

В седьмой главе «Технико-экономические показатели и энергетическая оценка электроимпульсного уничтожения сорных растений» приведены расчеты экономической и энергетической оценок использования электропропольщика.

Электроимпульсная прополка парового поля площадью 100 га эффективнее культивации и внесения гербицидов, окупаясь при такой замене соответственно за 1,13 и 4,27 года. Несмотря на то, что капиталовложения в электропропольщик больше, чем в агрегат химической обработки, уничтожение сорняков электрическими импульсами высокого напряжения является эконо-

мически эффективнее из-за снижения эксплуатационных издержек и экологической безопасности.

Оценка электроимпульсного уничтожения сорняков по совокупным энергетическим затратам свидетельствует о целесообразности замены традиционного химического или механического способа борьбы с сорными травами на предлагаемый вариант. Так, при возделывании озимой пшеницы применение электрической прополки паров позволит по сравнению с химической обработкой совокупные энергетические затраты максимально снизить на 12,9 %, а по сравнению с культивацией – на 5,1 %.

В приложениях представлены ксерокопии дипломов лауреатов различных выставок, патентные свидетельства о разработках по теме исследовательской работы, а также акты проведенных исследований, внедрения и передачи конструкторских документов на изготовление макетного образца.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выявленные основные технологические условия и параметры процесса необратимого электроимпульсного повреждения растительной ткани сорняков с целью эффективного их уничтожения, проведенное сравнение вариантов подведения электрической энергии к обрабатываемым растениям, сформулированные технические условия, позволяют обоснованно предложить вариант структуры построения агрегата для осуществления рассматриваемого способа борьбы с сорняками.

2. Выявленные исследованиями электропроводные свойства растительных тканей сорняков:

- наибольшее удельное электрическое сопротивление имеет растительная ткань корневой системы, наименьшее – стебля, а удельное электрическое сопротивление корневой шейки имеет промежуточное значение;
- сопротивление наружных (покровных) тканей сорных растений больше сопротивления их внутренних тканей;
- в процессе роста и развития сорняков удельное электрическое сопротивление их тканей возрастает;
- при электрическом повреждении сопротивление растительных тканей сорных трав уменьшается обратно пропорционально степени повреждения – являются основанием для выбора способа подведения электроэнергии к сорным растениям и назначения сроков проведения электропрополки.

3. Экспериментально доказано, что применение импульсов высокого напряжения для уничтожения сорных растений эффективнее использования для этих целей высоковольтного синусоидального напряжения, поскольку **при энергетически равных воздействиях** степень повреждения растительной ткани от импульсов в два-три раза выше.

4. Выявлено, что наибольший технологический эффект электрической обработки сорняков достигается при любом из двух вариантов подведения энергии к растениям:

– «отдельный навесной электрод – листостебельная часть одного растения – корневая система этого же растения – почва – корневая система другого растения – листостебельная часть другого растения – другой навесной электрод»;

– «навесной электрод – стебель растения – корень растения – почва – заглубленный в почву электрод».

5. Разработанная методика энергетической оценки электродных систем позволяет создать эффективные электроды для подведения энергии с минимальными потерями к пропалываемым сорным растениям.

6. Основное повреждающее действие на растительную ткань сорняков оказывает электрический ток проводимости плотностью больше $1,42 \text{ А/мм}^2$ или, что эквивалентно, электрическое поле в их тканях напряжённостью выше $0,38 \text{ кВ/мм}$. Степень повреждения этих тканей у сорных растений разных биологических видов и периодов их развития пропорциональна произведению длительности воздействия на значение плотности тока или напряжённости электрического поля в ткани, возведённой в степень $1,2 \dots 1,3$.

7. Предложенная методика расчёта основной характеристики разрядного контура установки – тока позволяет определить ток и при начальном протекании его через неповрежденную растительную ткань и при последующем – через повреждённую. Исследования в лабораторных и полевых условиях, а также анализ этой характеристики свидетельствует, что разрядный ток контура не зависит от изменения реальных значений индуктивности разрядной цепи, из-за большого активного сопротивления растения, изменение же начального напряжения контура приводит к пропорциональному изменению амплитуды тока, а варьирование значения накопительной ёмкости разрядного контура влияет на длительность апериодического импульса разрядного тока.

8. Исследованиями установлено, что для обеспечения максимальной степени повреждения растительной ткани элементов сорных трав, наиболее широко распространенных в Нижнем Поволжье, **при минимальных затратах энергии**, электрообработку необходимо проводить импульсами высокого напряжения амплитудой не менее $12,5 \text{ кВ}$, длительностью от 16 до 60 мкс и временем нарастания фронта от $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ до $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$, что достигается при величине накопительной емкости разрядного контура проектируемой установки не менее $4,0 \text{ нФ}$.

9. Для надёжного, необратимого электроимпульсного повреждения растительных тканей корнеотпрысковых сорняков (молочая лозного, осота розового и полевого, молокана татарского, вьюнка полевого) требуется затрачивать в несколько раз большее количество энергии в диапазоне $64 \dots 740 \text{ Дж}$, чем при уничтожении однолетних сорных растений (щиряцы запрокинутой, дурнишника обыкновенного, мари городской), для которых необходимо $34 \dots 212 \text{ Дж}$.

10. Выявленные технологические условия электроимпульсного уничтожения сорняков представляют собой следующее:

– электроимпульсную прополку необходимо проводить до начала созревания сорняков, поскольку сопротивление их тканей в фазе созревания существенно возрастает, **что требует повышения рабочего напряжения и увеличения расхода энергии;**

– прополку следует проводить при влажности почвы обрабатываемого участка не выше 30 % во избежание электрических токов утечки, минуя корневую систему сорняков, что снижает технологическую эффективность и увеличивает энергозатраты;

– рабочие навесные электроды должны надежно нарушать наружные ткани эпидермиса стеблей сорных растений, обеспечивая с ними хороший электрический контакт;

– для обеспечения надежной и эффективной работы установки **при наименьших затратах энергии** навесные рабочие электроды должны подвешиваться на как можно меньшей высоте над поверхностью почвы, но не должны касаться неровностей и комьев земли во избежание электрического замыкания на землю.

11. Определены основные технические условия на устройство для электроимпульсного уничтожения сорняков: для необратимого повреждения растительной ткани сорняков и обеспечения максимальной степени ее повреждения (3...10) в условиях естественного произрастания сорных трав, **при минимальных затратах энергии**, электрообработку необходимо проводить импульсами с амплитудой напряжения не меньше 20 кВ, при наличии индуктивности разрядного контура порядка 100...200 мкГн и его накопительной ёмкости не менее 4000 пФ.

12. Внедрение электроимпульсной прополки в технологию подготовки посевных площадей для выращивания зерновых культур позволит увеличить эффективность борьбы с сорняками по затратам живого труда – на 62 % по сравнению с химической обработкой и практически сравнится с культивацией; по затратам прямой энергии – на 83 % и 62 % и по затратам на изготовление технических средств для каждого способа – на 35 % и 41 %, соответственно. Электроимпульсная прополка паров **позволяет снизить полные совокупные энергетические затраты**, например, при возделывании озимой пшеницы на площади 100 га на 12,89 % по сравнению с химической прополкой и на 5,13 % по сравнению с обычной культивацией. Годовой экономический эффект при этом составляет 35601,5 р. и 206765,9 р., соответственно, и срок окупаемости 4,3 и 1,1 года. Все это обеспечивается высокими технологической эффективностью и энергетическими показателями, меньшими эксплуатационными расходами и экологической безопасностью рассматриваемой электротехнологии.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

Журналы из перечня ВАК:

1. Юдаев, И.В. Исследование процесса электроимпульсного уничтожения сорняков / И.В. Юдаев // Аграрная наука. - 2004. - №6. - С. 21...22.
2. Юдаев, И.В. Чувствительность ткани сорных растений к электроимпульсному воздействию / В.И. Баев, И.В. Юдаев // Механизация и электрификация с.х. - 2004. - №3. - С. 5...8.
3. Юдаев, И.В. Электропроводные свойства тканей горчака ползучего / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Механизация и электрификация с.х. - 2004. - №3 - С. 16...19.
4. Юдаев, И.В. Технологическое обеспечение электроимпульсной культивации / И.В. Юдаев, В.И. Баев, И.В. Баев, Т.П. Бренина, П.В. Прокофьев // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Естественные науки». - 2006. - №3. - С. 19...23.
5. Юдаев, И.В. Обоснование конструкции электроимпульсного культиватора / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Механизация и электрификация с.х. - 2006. - № 7. - С. 25...28.
6. Юдаев, И.В. Электрический импульс истребляет сорняки / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Сельский механизатор. - 2006. - № 8. - С. 12...13.
7. Юдаев, И.В. Оптимизация процесса электроимпульсного уничтожения сорных растений / И.В. Юдаев // Механизация и электрификация с.х. - 2006. - № 11. - С. 17...19.
8. Юдаев, И.В. Энергетические характеристики ВОМ при агрегатировании трактора с устройством для электроимпульсной прополки / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина, В.А. Кривошапов // Механизация и электрификация с.х. - 2008. - № 7. - С. 49...50.
9. Юдаев, И.В. Общие положения обеспечения электромагнитной совместимости оборудования электроимпульсного пропольщика / И.В. Юдаев, И.В. Баев, В.А. Кривошапов, П.В. Прокофьев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. Серия: Агроинженер. - 2008. - №1. - С. 94...96.
10. Юдаев, И.В. Электроимпульсная прополка в системе минимальной обработки почвы / И.В. Юдаев // Международный сельскохозяйственный журнал. - 2009. - №1. - С. 60...62.
11. Юдаев, И.В., Усов А.Ф. Исследование электроимпульсного биоповреждения растительных тканей / И.В. Юдаев, А.Ф. Усов // Механизация и электрификация с.х. - 2010. - № 2. - С. 8...10.
12. Юдаев, И.В. Рациональная структура построения электроимпульсного пропольщика / И.В. Юдаев // Тракторы и сельхозмашины. - 2011. - № 6. - С. 28...30.
13. Юдаев, И.В. Электроимпульсная прополка сельхозугодий в Нижнем Поволжье / И.В. Юдаев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2011. - №2 (22). - С. 224...231.
14. Юдаев, И.В. Совершенствование электродной системы электропропольщика / И.В. Юдаев // Механизация и электрификация с.х. - 2011. - № 10. - С. 11...13.

15. Юдаев, И.В. Электрическая прополка как элемент экологически чистого почвопользования в системе MINI-TILL / И.В. Юдаев, И.А. Махонин, Ю.Н. Плещачев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2011. - №3 (23). - С. 251...257.

16. Юдаев, И.В. Агрэкологическая эффективность электроимпульсной прополки сорных растений / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина, А.И. Беленков // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2011. - №5. - С. 35...43.

17. Юдаев, И.В. Обоснование высоты подвеса навесной электродной системы электропропыльщика / И.В. Юдаев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - 2011. - №25. - С. 228...230.

18. Юдаев, И.В. Обоснование технических условий на электроимпульсный пропыльщик / И.В. Юдаев, В.И. Баев // Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина. - 2011. - №2 (47). - С. 48...52.

19. Юдаев, И.В. Электротехнологические параметры и технические условия на разработку установок электроимпульсного уничтожения сорной растительности / И.В. Юдаев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2012. - №1 (25). - С. 165...170.

20. Юдаев, И.В. Энергетическая оценка рабочих электродов электропропыльщика / И.В. Юдаев, В.И. Баев, И.В. Баев, П.В. Прокофьев // Техника в сельском хозяйстве. - 2012. - №2. - С. 8...11.

Монографии:

21. Юдаев, И.В. Сорные растения как объект электрической прополки: биологические особенности и электрофизические свойства: монография / В.И. Баев, Т.П. Бренина, Д.С. Елисеев, И.В. Юдаев; ВГСХА. - Волгоград: Станица-2, 2004. - 128 с.

22. Юдаев, И.В. Технологические аспекты электроимпульсной прополки корнеотпрысковых сорняков: монография / Т.П. Бренина, И.В. Юдаев. - Волгоград: ВГСХА, 2008. - 181 с.

23. Юдаев, И.В. Электроимпульсный пропыльщик: монография / И.В. Юдаев. - Волгоград: ВолГАУ, 2012. - 224 с.

Патенты:

24. Способ уничтожения сорняков и устройство его реализующее: пат. 2308189 Рос. Федерация: МПК С2 А01М 21/00 / Юдаев И.В., Бренина Т.П., Елисеев Д.С., Баев В.И., Лапынин Ю.Г. Заявитель и патентообладатель ВГСХА. - №2005125308/12; заявл. 09.08.05; опубл. 20.10.07, Бюл. №29. - 5 с.: ил.

25. Культиватор: пат. 2387117 Рос. Федерация: МПК С1 А01В 33/02 / Юдаев И.В., Бренина Т.П., Прокофьев П.В., Азаров Е.В., Двухвацкий А.А., Лапынин Ю.Г. Заявитель и патентообладатель ВГСХА. - №2008137829/12; заявл. 22.09.08; опубл. 27.04.10, Бюл. №12. - 4 с.: ил.

26. Устройство для уничтожения сорной растительности: пат. 91808 Рос. Федерация: МПК U1 А01М 21/00 / Юдаев И.В., Кривошапов В.А. Заявитель и патентообладатель ВГСХА. - №2009142266/22; заявл. 16.11.09; опубл. 10.03.10, Бюл. №7. - 4 с.: ил.

27. Электроимпульсное устройство для уничтожения сорной растительности: пат. 115622 Рос. Федерация: МПК А01М 21/04 / Юдаев И.В., Кривошапов В.А. Заявитель и патентообладатель ВГСХА. - №2009142915/13; заявл. 19.11.09; опубл. 10.05.2012. Бюл. №13. - 4 с.: ил.

Международные публикации:

28. Юдаев, И.В. К вопросу о рациональной структуре электроимпульсного устройства для уничтожения сорной растительности / И.В. Юдаев // IV Міжнародна конференція. «Стратегія якості у промисловості і освіті» (30 травня - 6 червня 2008 р.): Матеріали. У 2-х томах. Дніпропетровськ-Варна. – Дніпропетровськ - Варна: Волант-ТУ-Варна, 2008. – Том I. – С. 632...635.

29. Udaev, I.V. The definition of electro impulses used in weed control / I.V. Udaev, T.P. Brenina // Journal of agricultural sciences. Published by University of Belgrade. Republic of Serbia. Faculty of Agriculture. - 2008. - Vol. 53. №1. - P. 37...44.

30. Юдаев, И.В. Электроимпульсная прополка как альтернатива традиционным способам борьбы с сорными растениями / И.В. Юдаев // Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Lucrări Științifice. Volumul 21. Inginerie agrară și transport auto. – 2008. – P. 63...68.

31. Udaev, I.V. About vegetative fabrics biodamage character by electropulse high-voltage influence / I.V. Udaev, A.F. Usov // Poljoprivredna tehnika. – 2009, vol.34, iss. 4. - P. 63...68.

32. Udaev, I.V. About vegetative fabrics biodamage character by through conductivity and bias currents / I.V. Udaev, A.F. Usov // Научни Трудове на Русенския Университет. 2009, том 48, серия 3.1. Електротехника, Електроника, Автоматика. - Русе: Русенский университет «Ангел Кънчев». - P. 164...168.

33. Юдаев, И.В. Основы электроимпульсной прополки: электрофизические свойства сорняков: монография / И.В. Юдаев. - Saarbrucken: LAMBERT Academic Publishing, 2012. - 268 с.

Центральные журналы, материалы конференций:

34. Юдаев, И.В. Возможности использования электрической прополки / И.В. Юдаев // Применение энергосберегающих режимов и электротехнологий в с.-х. производстве: сб. науч. тр. ВСХИ.– Волгоград, 1991. – С. 122...128.

35. Юдаев, И.В. Обоснование эскизной конструкции установки для электрического уничтожения сорняков / В.И. Баев, И.В. Юдаев // Совершенствование научного обеспечения и подготовки кадров для агропромышленного производства Волгоградской области: материалы научно-практической конференции – Волгоград, 1993. – С. 325...327.

36. Юдаев, И.В. Анализ электродных систем для электрического уничтожения сорных растений / И.В. Юдаев // Проблемы научного обеспечения экономической эффективности орошаемого земледелия в рыночных условиях: материалы Международной научно-практической конференции, посвящ. 100-летию проф. М.Н. Багрова. – Волгоград, 2001. – С. 257...258.

37. Юдаев И.В. Удельные показатели процесса электрического повреждения сорной растительности / В.И. Баев, И.В. Юдаев // 1-я Российская научно-практическая конференция Физико-технические проблемы создания новых технологий в АПК.– Ставрополь, 2001. – Том 2. – С. 265...268.

38. Юдаев, И.В. Технологическая эффективность электроимпульсной обработки сорняков / В.И. Баев, И.В. Юдаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2001. - №10. - С. 17...19.

39. Юдаев, И.В. Методика оценки состояния сорной растительности при электрической обработке / И.В. Юдаев, В.И. Баев, И.В. Баев, П.В. Прокофьев, А.В. Соколов // Электрические аппараты и электрические технологии сельского хозяйства: сборник научных трудов МГАУ. – М: МГАУ, 2002. – С. 71...73.

40. Юдаев, И.В. Сорные растения как объекты электрического воздействия /И.В. Юдаев, В.И. Баев, Т.П. Бренина, Д.С. Елисеев// Электрические аппараты и электрические технологии сельского хозяйства. Сборник научных трудов МГАУ. – М.: МГАУ, 2002. – С. 68...71.
41. Юдаев, И.В. Обоснование параметров разрядного контура агрегата электрической прополки /И.В. Юдаев, В.И. Баев, Д.С. Елисеев // Проблемы агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Победы под Сталинградом. – Волгоград: ВГСХА, 2003. - С. 35...36.
42. Юдаев, И.В. Сопротивление участков цепи протекания тока при электрическом уничтожении сорняков /И.В. Юдаев, В.И. Баев, Т.П. Бренина, Д.С. Елисеев // Физико-технические проблемы создания новых технологий в АПК. II-я Российская научно-практическая конференция: сборник научных трудов. Т.1. – Ставрополь: СГАУ, 2003. – С. 11...14.
43. Юдаев, И.В. Чувствительность сорняков к электроимпульсному воздействию / И.В. Юдаев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 3-й Международной научно-технической конференции ВИЭСХ.– М.: ВИЭСХ, 2003. – Часть 2. – С. 146...151.
44. Юдаев, И.В. Уничтожение сорных растений электрическими импульсами высокого напряжения / И.В. Юдаев // Аграрная научная Россия в новом тысячелетии: материалы научной конференции молодых учёных ЮФО сельскохозяйственных вузов. – Краснодар: КубГАУ, 2003. - С. 125...131.
45. Юдаев, И.В. Аналитическое описание тока электроимпульсного воздействия на растительную ткань сорняков /И.В. Юдаев // Научный вестник ВГСХА «Инженерные науки».– Волгоград: ВГСХА, 2003. – Вып. 4. – С. 138...141.
46. Юдаев, И.В. Зависимость удельных показателей электроимпульсного повреждения сорняков от их биометрических показателей /И.В. Юдаев // Основы достижения устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию образования ВГСХА. - Волгоград: ВГСХА, 2004. - С. 166...168.
47. Юдаев, И.В. Изменение параметров эквивалентной схемы замещения растительной ткани при электрическом повреждении / И.В. Юдаев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 4-й Международной научно-технической конференции ВИЭСХ.– М.: ВИЭСХ, 2004. – Часть 2. – С. 142...149.
48. Юдаев, И.В. Исследовательская установка для изучения процесса электроимпульсной обработки сорняков в полевых условиях / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина, А.С. Сазонов // Актуальные проблемы науки в АПК: материалы 55-й международной научно-практической конференции КГСХА. – Кострома: КГСХА, 2004. – Том III. – С. 176...177.
49. Юдаев, И.В. Удельные показатели процесса электроимпульсного уничтожения сорных растений / И.В. Юдаев // Проблемы развития энергетики в условиях производственных преобразований: научные труды по материалам международной научно-практической конференции, посвящ. 25-летию факультета «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» и кафедры «Электротехнология сельскохозяйственного производства». - Ижевск, ИжГСХА, 2004 г. - С. 194...199.

50. Юдаев, И.В. Варианты подведения электрической энергии к сорным растениям / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Актуальные проблемы развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 60-летию Победы в Великой Отечественной войне. - Волгоград: ВГСХА, 2005. - С. 277...280.

51. Юдаев, И.В. Использование электрических импульсов высокого напряжения для борьбы с горчаком ползучим (розовым) / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина, Л.П. Стрекалова // Ульяновские чтения 2005: материалы Международной научно-практической конференции, посвящ. 100-летию профессора А.Ф. Ульянова. Секция «Технический сервис и электрификация сельского хозяйства». - Саратов: Саратовский ГАУ, 2005. - Часть II. - С. 71...74.

52. Юдаев, И.В. Электроимпульсное уничтожение корнеотпрысковых сорных растений / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Актуальные проблемы науки в АПК: материалы 57-ой Международной научно-практической конференции / ФГОУ ВПО КГСХА. - Кострома: КГСХА, 2006. - Том IV. - С. 134...135.

53. Юдаев, И.В. Технологическая сущность электроимпульсного воздействия на сорные растения / И.В. Юдаев // Научно-производственное обеспечение развития комплексных мелиораций Прикаспия: Сборник материалов Международной научно-практической конференции /16-17 мая 2006 г, Прикаспийское НИИ аридного земледелия, с. Солёное займище Астраханской обл. - М.: Современные тетради, 2006. - С. 325...328.

54. Юдаев, И.В. Характер поведения частотных зависимостей сопротивления тканей горчака ползучего / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы Юбилейной XLV Международной научно-технической конференции. – Челябинск, 2006. – Часть 4. – С. 18...22.

55. Юдаев, И.В. Результаты полевых исследований электроимпульсного уничтожения корнеотпрысковых сорняков / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Современные проблемы развития АПК: материалы научно-практической конференции, 1-3 февраля 2006 года. – Волгоград: ВГСХА, 2006. – С. 169...171.

56. Юдаев, И.В. Оптимальные параметры электроимпульсного уничтожения сорных растений / И.В. Юдаев, В.И. Баев // Вестник Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии. Наука и высшее профессиональное образование. – 2006. – №2 (2). – С. 71...78.

57. Юдаев, И.В. Электрическая прополка / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Сельскохозяйственная техника –2006. – №10. – С. 9...10.

58. Юдаев, И.В. Зависимость степени повреждения сорных растений от энергии, запасённой в контуре генератора импульсных напряжений / И.В. Юдаев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2007. – №1 (5). – С. 73...78.

59. Юдаев, И.В. Электрическая прополка / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Агробизнес-Россия. - 2007. - №3. - С. 43...44.

60. Юдаев, И.В. Электрическая прополка / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина // Овощеводство и тепличное хозяйство. - 2007. - №4. - С. 43...44.

61. Юдаев, И.В. Анализ процессов в электрической схеме навесной электроимпульсной установки для прополки сорняков при её работе / И.В. Юдаев, И.В. Баев, П.В. Прокофьев, А.С. Слюсаренко, В.А. Кривошапов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2007. - №4 (8). - С. 112...119.

62. Юдаев, И.В. Влияние процесса электроимпульсной прополки на почвенную микрофлору и микроорганизмы / И.В. Юдаев, Т.П. Бренина, П.В. Прокофьев // Экологические и экономические составляющие устойчивого развития региона: материалы круглого стола. г. Волгоград, 27 марта 2008 г. – Волгоград: ГОУ ВПО «ВолГУ», 2008. – С. 181...186.

63. Юдаев, И.В. Обоснование мероприятий по технике безопасности при проектировании электроимпульсного пропольщика / И.В. Юдаев, П.В. Прокофьев // Проблемы энергообеспечения предприятий АПК и сельских территорий: сборник научных трудов Санкт-Петербургского аграрного университета. – Санкт-Петербург, 2008. – С. 100...104.

64. Юдаев, И.В. Электропроводные модели растительных тканей как основа анализа их физиологического состояния / И.В. Юдаев, А.С. Никитин // Перспективные технологии и технические средства в АПК: материалы международной научно-практической конференции 15-16 ноября 2007 г. - Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ, 2008. - С. 218...222.

65. Юдаев, И.В. Моделирование и анализ процессов в разрядном контуре и зарядных цепях электроимпульсного пропольщика / И.В. Юдаев, В.А. Кривошапов, П.В. Прокофьев // Энергетический вестник. Сборник научных трудов Санкт-Петербургского аграрного университета по материалам международной научно-практической конференции «Энергетика предприятий АПК и сельских территорий: состояние, проблемы и пути решения», посвящ. 100-летию В.Ю. Гессена. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 108...114.

66. Юдаев, И.В. Технические и технологические характеристики процесса электроимпульсной культивации / И.В. Юдаев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 7-й Международной научно-технической конференции ВИЭСХ. - Москва: ВИЭСХ, 2010. - Часть 2. - С. 172...177.

67. Юдаев, И.В. Электроимпульсный пропольщик / И.В. Юдаев, И.В. Баев, Т.П. Бренина, В.А. Кривошапов, П.В. Прокофьев // Достижения науки в Волгоградской области 2004-2009 гг. / Под ред. А.Г. Бровко. - Волгоград: Панорама, 2010. - С. 317...320.

68. Юдаев, И.В. Электропрополка сельскохозяйственных угодий как вариант экологически чистой и энергоэффективной борьбы с сорняками / И.В. Юдаев, Е.В. Азаров // Богарное и орошаемое земледелие Волгоградской области: проблемы, пути, решения: материалы научного семинара 16 февраля 2011 года. - Волгоград: ВГСХА, 2011. - С. 41...53.

69. Юдаев, И.В. Электроимпульсная прополка как энергосберегающая технология в системе сухого земледелия нижнего Поволжья / И.В. Юдаев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 8-й Международной научно-технической конференции ГНУ ВИЭСХ. - Москва: ВИЭСХ, 2012. - Часть 2. - С. 250...255.