

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА И НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПОЛОСЕ ЗАХВАТА

В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов

Предлагается методика исследования влияния расположения электродов электродной системы мобильной электротехнологической установки на распространение потенциала и напряженности создаваемого электрического поля в программном пакете Elcut 5.6, приводятся картины поля, а также изменения потенциала и напряженности в почве и на ее поверхности.

Ключевые слова: электротехнологическая установка, электрическое поле, электродная система, почва.

Выполняя электротехнологическую операцию при обработке растительности в фитодендрологии, необходимо учитывать особенности функционирования мобильной электротехнологической установки (ЭТУ) – вероятно-статистический характер внешних воздействий, обусловленный многочисленными и разнообразными, непрерывно изменяющимися во времени факторами, изменения электрофизических свойств почвы, растительности и условий внешней среды, нестабильность электротехнологического процесса, неровность поверхности почвы, колебания скорости и нагрузочного режима ЭТУ, износ электродной системы (ЭС) и др. Работа электрооборудования и электроники мобильных ЭТУ, характеризуется большим уровнем мощности нагрузки в ЭС, значительным сроком автономного функционирования, сложностью и разнородностью элементной базы, наличием кратковременных пиковых нагрузок, особыми условиями эксплуатации.

Электрическое повреждение растительных объектов (РО) [1, 2] реализуется мобильными ЭТУ, рабочим органом которых является ЭС. Основным источником электрического повреждения РО является электрическое поле (ЭП), создаваемое ЭС ЭТУ. Ток, протекающий в межэлектродном промежутке через РО, создаёт "отрицательный" эффект. На пути замыкания этот ток в пределах области взаимного электромагнитного влияния электродов и РО связан, как с основным, так и с паразитным электромагнитным полем (ЭМП). Работа мобильных ЭТУ сопровождается разрядами статического электричества, коммутациями токов в индуктивных цепях, переходными процессами в цепях высокого на-

пряжения, короной на электродах, искровыми пробоями. В результате этих явлений формируются перенапряжения на оборудовании, сверхтоки промышленных и высоких частот, которые вызывают опасные электромагнитные воздействия. К наиболее интенсивным источникам помех ЭТУ относятся скользящие контакты ЭС, сопровождающиеся искро- и дугообразованием, что выделяет их в основную группу помехоэмиссий.

Большое число анализируемых для нормирования электромагнитных параметров ЭТУ объясняется многообразием воздействия ЭМП на биологические объекты, а также на электротехнические и электронные блоки. Внешние паразитные ЭМП, создавая электромагнитные помехи, воздействуют на элементы конструкций, аппараты и электрооборудование ЭТУ (проблемы электромагнитной совместимости из-за кондуктивного влияния), а также на обслуживающий персонал (проблемы биоэлектромагнитной совместимости). Происходит нагрев конструкций и отдельных элементов (магнитопроводов, токопроводов, несущих конструкций и т. д.) ЭТУ. Взаимодействие ЭМП и тока вызывает появление электромагнитных сил, которые, в свою очередь, вызывают вибрацию и шум.

Расчеты параметров ЭТУ связаны с исследованием ЭМП в объеме между электродами с учетом специфики геометрии и физических свойств межэлектродного промежутка. При строгом подходе эта задача не имеет точного аналитического решения, то при ее постановке обычно принимают определенные гипотезы, концепции и вытекающие из них допущения, которые позволяют приближенно описывать распределение ЭМП в объеме

между электродами. Для описания этого ЭМП необходимо представление об этом поле и всех компонентах ЭС, а для разработки и оптимизации ЭТУ, адекватного управления электротехнологическим процессом, необходимо иметь достоверную информацию о структуре ЭМП ЭС и распределении в нём основных параметров. Свойства этих компонентов являются важнейшими их характеристиками, определяются внешними воздействующими факторами, структурой, химическим составом и связанными с ними электрофизическими процессами и определяют возможность воздействия ЭМП на них с целью изменения их свойств.

Величиной, наиболее соответствующей шаговому напряжению, является напряженность E ЭП. В теории ЭМП переменного тока частотой до 10^3 Гц аналогично полю постоянного тока, а поле в проводящей среде - электростатическому. Благодаря этим аналогиям, можно заменить поверхность контакта двух разных сред "электрод-почва" электрическими зарядами. При электрическом повреждении РО почва является неоднородной средой, т. е. ее сопротивление переменное и задача определения удельного сопротивления почвенной среды ρ_n весьма противоречивая. Исходя из этого, применение этого метода расчета поля (основанного на аналогии) может быть решено для искусственно заданных параметров и на начальном этапе можно пренебречь неоднородностью ρ_n .

С точки зрения энергосбережения при электрическом повреждении РО ЭТУ следует исключить прямой контакт электрода с почвой и обеспечить замыкание тока через поверхность раздела двух сред "наружные ткани корневой системы растений – почва". Сопротивление растения растеканию электрического тока в почву R_p будет вносить изменения в распределение потенциала ϕ из-за того, что в процессе электрического повреждения РО оно изменяется. Все указанные факторы (переменные ρ_n , R_p , площадь и координаты поверхности контакта) будут влиять на распределение поля ЭС ЭТУ. Степень влияния каждого фактора можно определить опытным путем.

Как было указано выше, данный метод основан на аналогии поля в проводящей среде и электростатического. Поэтому можно определить ϕ электростатического поля, заменив поверхность контакта "электрод – почва" электрическим зарядом. Напряженность, созданная трехфазной ЭС ЭТУ, характеризуется численной величиной, направлением

вектора в пространстве и фазой. Для определения E в любой точке плоскости нужно определить ее мнимую и действительную составляющие. Каждая из этих составляющих складывается из двух проекций на горизонтальную и вертикальную оси. Расчет заключается в последовательном определении для каждой точки четырех проекций E , созданной всеми электродами ЭТУ. Исходными данными являются электротехнологическое напряжение фазы, диаметр и координаты каждого электрода. Результаты вычисления выводятся в виде таблицы. Напряженность указывается для заданного числа точек и определяется в узлах сетки.

Известно несколько методов расчета ϕ , приемлемых для ЭТУ. Самым простым из них является метод сеток - численный метод интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных путем сведения их к уравнениям в конечных разностях (задаются проекции электродов на плоскости и значения их ϕ , наносится сетка, в узлах сетки произвольно выбираются значения ϕ . Объем дальнейшей работы зависит от того, насколько близко к действительному выбрано распределение потенциала. В каждом узле определяется величина остатка и если остаток отличается от нуля, производится изменение ϕ и вновь подсчитывается остаток. Расчет ведется до тех пор, пока все остатки не будут равны или меньше заданной величины. Приемлемость предложенного метода расчета ЭП для практического применения в оценке распределения ϕ ЭТУ обоснована в [3].

В соответствии с принципом наложения, E ЭП в той или иной точке в окрестностях ЭС будет определяться по одной из расчетных моделей [4] (в зависимости от местонахождения точки) как векторная сумма трех электрических напряженностей, обусловленных каждым из осевых зарядов в отдельности. При этом величины и направления этих E должны определяться по соотношению (4) в [4].

Экспериментальное определение ϕ включает измерения: ρ_n для оценки влияния на величину падения напряжения на растительной ткани (при изменении ρ_n изменяется и соотношение между сопротивлением почвы и R_p); распределения потенциала в стационарных условиях ЭТУ для сопоставления с результатами расчета; шагового напряжения при движении ЭТУ для оценки реальных факторов, характеризующих степень опасности для человека.

При измерении распределения ϕ [5] в стационарных условиях электроды ЭТУ со-

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА И НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПОЛОСЕ ЗАХВАТА

единены с почвой через сопротивления равные R_p . Неподвижный электрод размещается в верхнем слое почвы на расстоянии 40 м от ЭТУ, а переносной измерительный – вблизи ЭС. Для уменьшения сопротивления растеканию тока в почву в месте размещения измерительных электродов почвенная среда увлажняется. Вольтметром измеряется напряжение между контрольными точками. Для оценки погрешности, вносимой протеканием тока через вольтметр, измеряется сопротивление между электродами. С помощью фазометра определяется угол между напряжением одной из фаз и φ контрольной точки. Для ускорения экспериментальных исследований можно использовать стационарные измерительные электроды, которые перед началом измерений размещаются в контрольных точках на расстоянии 0,2–2 м от электродов ЭТУ.

При движении ЭТУ φ любой точки на поверхности почвы является функцией времени. Измерение фазы потенциала и напряжения между контрольными подвижными измерительными и удаленного (на расстоянии 40 м от ЭТУ) электродами технически сложно. Поэтому измеряются не потенциалы относительно бесконечно удаленной точки, а напряжение между парами подвижных измерительных электродов, прикрепленных к ЭТУ и перемещающихся на определенном расстоянии друг от друга. Численное значение регистрируется измерительным прибором с функцией записи, при этом постоянно контролируются фазные токи и напряжения. Для установления связи между распределением φ и режимами работы ЭТУ проведены опыты [5] при равномерной и различных вариантах неравномерной нагрузки. Так как в исследованиях планировалось получение результатов со значительным разбросом, число повторностей увеличено до 5. Для определения влияния площади контакта электрода с почвой на характер распределения φ проведены опыты с использованием проводников (моделей растений) различного диаметра.

Итак, при работе ЭТУ возникает необходимость оценки локального распределения ЭП в электротехнологической зоне с учётом сложной геометрии и нелинейных физических свойств материалов – биологических объектов, почвенной, воздушной и конструктивных сред. Одним из источников получения информации об ЭП ЭТУ в этих средах является его моделирование в программных пакетах на ЭВМ. В России наиболее распространенным и недорогим является пакет Elcut,

функциональные возможности которого позволяют проводить анализ распространения ЭП ЭС ЭТУ в почвенных и биологических средах. Наиболее вероятными факторами, способными вносить изменения в распространение ЭП ЭТУ, являются расположение (геометрия) электродов, электротехнологическое напряжение, свойства среды (влажность и вид почвы, биологических объектов и пр.), в которой распределяется ЭП, и др.

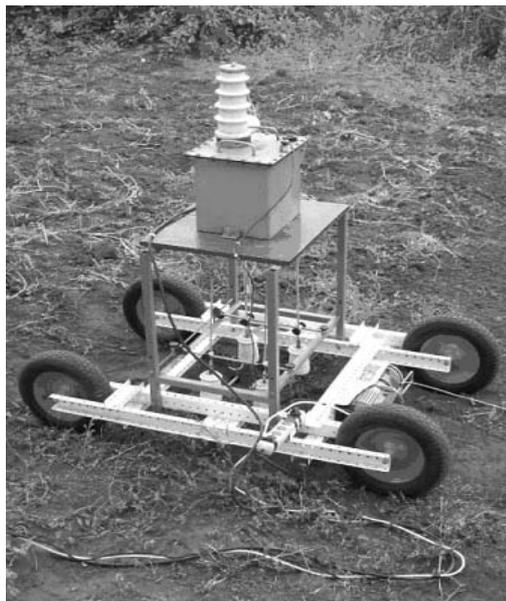


Рисунок 1 – Экспериментальный образец однофазной мобильной электротехнологической установки НГАУ-СибИМЭ

Полевые исследования ЭС однофазной ЭТУ (рисунок 1) провели в 2010 г. [6] со стержневыми электродами диаметром 10 мм, шириной (полосой захвата) 30 см, при удалении фазного от нулевого на 21 см и напряжении между ними 2,5 кВ. Численные исследования проведены с шестью вариантами расположения фазного и нулевого электродов относительно почвы: 1) фазный и нулевой электроды над почвой на высоте 5 см, 2) фазный и нулевой на поверхности почвы, 3) фазный и нулевой в почве на глубине 5 см, 4) фазный электрод над почвой на высоте 5 см, нулевой в почве на глубине 5 см, 5) фазный над почвой на высоте 5 см, нулевой на поверхности почвы, 6) фазный на поверхности почвы, нулевой в почве на глубине 5 см. В результате исследований получены картины φ и E ЭП ЭС ЭТУ (рисунок 2). Ниже приведен анализ распространения ЭП ЭС ЭТУ при условии однородности почвы и РО, поэтому в предлагаемой модели почвен-

ЛЯПИН В.Г., БОЛОТОВ Д.С.

ный состав принят с электропроводностью 0,01 См/м [7]. Изменения φ и E ЭП определялись по направлению нормали к фазному электроду на поверхности почвы и в ее верхнем слое (рисунок 3), результаты исследований представлены на рисунках 4–7 (вариант 1 – в ячейке верхней строки левого столбца, ..., 6 – нижней строки правого столбца).

Результаты численных исследований показывают, что $\varphi_{max} = 2,5$ кВ и $E_{max} = 970$

кВ/м создаются в 6-ом варианте, а при размещении ЭС на поверхности почвы уровень потенциала достигает значения 2,5 кВ, максимальная напряженность не превышает 880 кВ/м. Максимумы φ и E при расположении электродов в почве на глубине 5 см составляют, соответственно, 2,3 кВ и 8,4 кВ/м. В остальных вариантах наблюдается незначительные максимумы φ и E , соответственно, 1,7–3 мВ и 7–15 В/м.

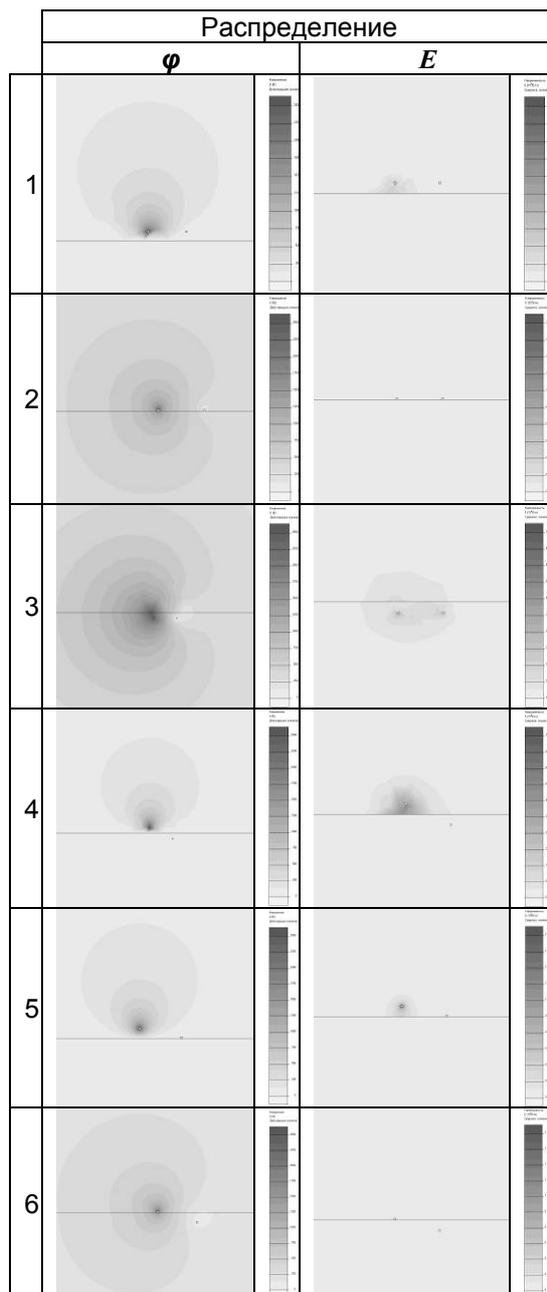


Рисунок 2 – Картины электрического поля: колонка 1 – варианты расположения электродов; 3 и 5 – цветовая шкала; горизонтальная линия – поверхность раздела воздушной и почвенной сред; левая точка – фазный электрод, правая – нулевой

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА И НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПОЛОСЕ ЗАХВАТА

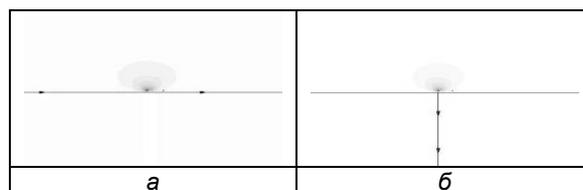


Рисунок 3 – К геометрии электродов и направлениям нормали на поверхности почвы (а) и в ее верхнем слое (б)

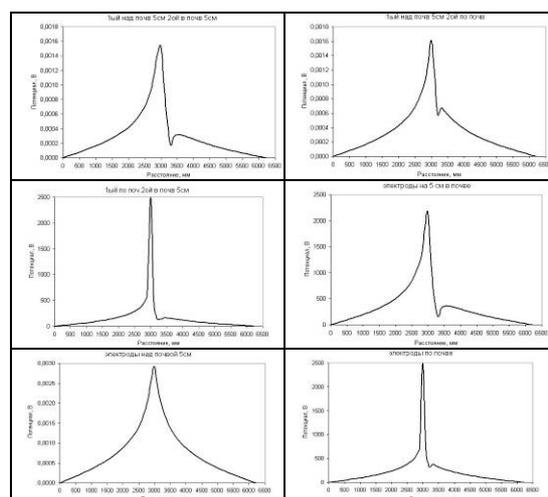


Рисунок 4 – Изменение потенциала на поверхности почвы

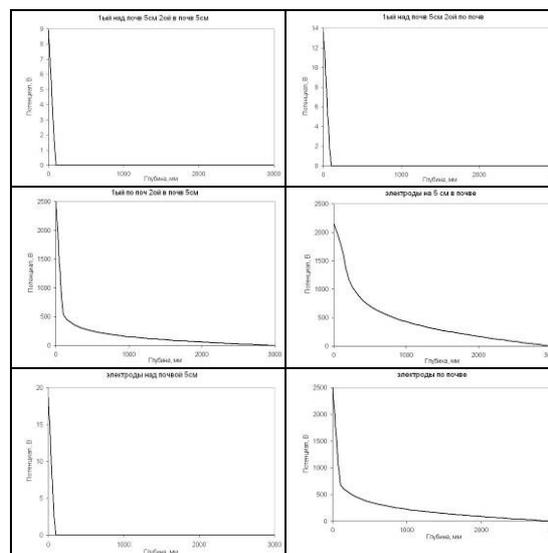


Рисунок 5 – Изменение потенциала в почве

Анализируя картины и изменения φ и E ЭП, можно сделать вывод, что основным фактором, влияющим на распределение φ и E , является расположение фазного электрод относительно поверхности почвы.

Сопоставляя зависимости φ и E в вариантах при размещении ЭС на поверхности почвы и расположении фазного электрода на поверхности, а нулевого в верхнем слое на глубине 5 см, заметны резкие изменения φ и E в 6-ом варианте. Применяя ПОЛУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №2/1 2011

результаты приведенных численных исследований для мобильных ЭТУ, приходим к выводу, что изменяя местоположение нулевого электрода относительно фазного можно регулировать распределения φ и E в полосе захвата или зоне электротехнологической обработки, т. е. управляя геометрией ЭС, соответственно, ЭП ЭТУ, можно управлять электротехнологическим процессом повреждения или стимуляции РО и оптимизировать его.

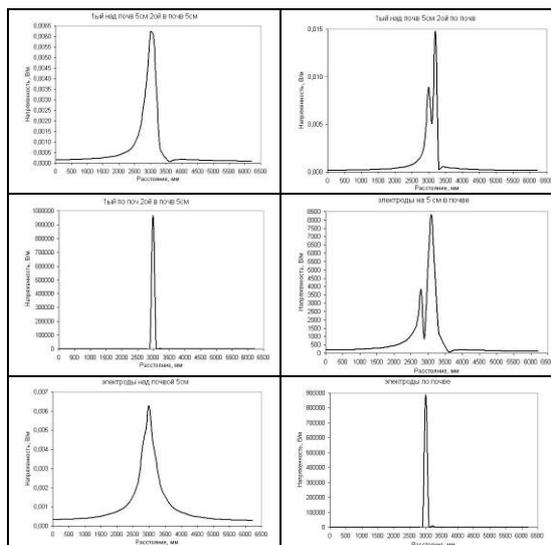


Рисунок 6 – Изменение напряженности на поверхности почвы

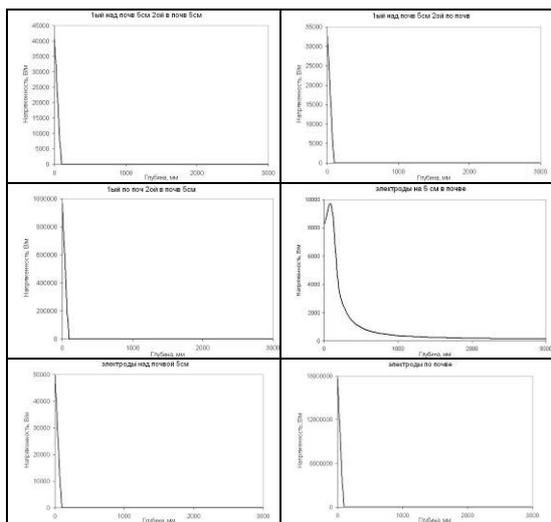


Рисунок 7 – Изменение напряженности в почве

Применение вариантов размещения ЭС на поверхности почвы и расположения фазного электрода на поверхности почвы, а нулевого в почве на глубине 5 см, целесообразно при интенсивном воздействии ЭП ЭТУ на основания корневой системы и вегетативной части РО. Снижение максимумов ϕ и E на поверхности почвы в остальных вариантах численного исследования свидетельствует о меньшей энергозатратности электротехнологической обработки ЭТУ с подобными ЭС. В таких вариантах ЭС ЭП, соответственно, и электрическое воздействие концентрируется в среде над поверхностью почвы, следовательно, и электротехнологический эффект на корневую систему и основание вегетативной

части РО будет низким. При расположении ЭС в почве на глубине 5 см ЭП, соответственно, и электрическое воздействие концентрируется в верхнем слое почвенной среды (рисунки 5 и 7), следовательно, максимальный электротехнологический эффект с наибольшими энергозатратами подобное расположение ЭС ЭТУ обеспечит при обработке РО с глубоким залеганием корневой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью / В.Г. Ляпин // Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск, 2000. – 106 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА И НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПОЛОСЕ ЗАХВАТА

2. Ляпин, В.Г. Структурно-функциональные изменения сорных растений при их повреждении электрическим током / В.Г. Ляпин, А.В. Боженков, В.Ф. Котяшкина / Под общ. ред. В.Г. Ляпина // Новосибир. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск, 2001. – 127 с.

3. Малов, Е.Р. Методика исследования электрических полей, создаваемых на поверхности почвы мобильными электрифицированными установками / Е.Р. Малов, В.Г. Ляпин // Сельскохозяйственная наука – производству. Тезисы докладов юбилейной научной конференции. – Кострома, 1989. – С. 131.

4. Ляпин, В.Г. Электрод в электротехнологиях и ЭМП протяженного проводника / В.Г. Ляпин // Современные и перспективные технологии в АПК Сибири: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 8–9 июня 2006 г.) / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т. – Новосибирск, 2006. – С. 149–153.

5. Басов, А.М. Анализ опасности электрического поражения персонала, обслуживающего электроустановки для борьбы с сорной растительностью / А.М. Басов, А.А. Мешков, В.Г. Ляпин // Совершенствование электрификации сельского хозяйства. Тр. Всесоюз. сельскохоз. ин-та заочн. обр. – М., 1985. – Вып. 198. – С. 26–33.

6. Болотов, Д.С. К исследованию электрического поля за пределами полосы захвата электродной системы электротехнологического культи-

ватора в полевых условиях / Д.С. Болотов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей VI Международной научно-практической конференции (3–4 февраля 2011 г.): в 3 кн. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2011. – Кн. 3. – С. 9–12.

7. Ляпин, В.Г. Лабораторные исследования электромагнитного поля электротехнологического культиватора / В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов // Машинно-технологическое, энергетическое и сервисное обеспечение сельхозтоваропроизводителей Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 100-летию со дня рождения акад. ВАСХНИЛ А.И. Селиванова (п. Краснообск, 9–11 июня 2008 г.) / Россельхозакадемия. Сиб. отд-ние. ГНУ СибИМЭ. – Новосибирск, 2008. – С. 333–338.

Ляпин В.Г., к.т.н., доц., зав. каф. «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», ФГОУ ВПО Новосибирский государственный аграрный университет, тел. 8(383)267-39-44, E-mail: Lei130@ngs.ru;

Болотов Д.С., уч. маст. каф. «Электрификации и автоматизации сельского хозяйства» ФГОУ ВПО Новосибирский государственный аграрный университет, аспирант лаб. энергетики и электрификации ГНУ Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, тел. 8(383)348-56-45, E-mail: Bol-Den@ngs.ru.