

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ПОЧВЫ, СОЗДАВАЕМОГО МОБИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

ГНУ «Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства» Сибирского отделения Российской академии сельскохозяйственных наук

В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов

MODELING OF DENSITY OF A CURRENT IN THE TOP LAYER OF THE GROUND, CREATED BY MOBILE ELECTROTECHNOLOGICAL INSTALLATIONS

«Novosibirsk state agrarian university»

«Siberian institute of mechanization and electrification of an agriculture»

V.G. Lyapin, D.S. Bolotov

The technique of imitating modeling of action of an electromagnetic field of electrode system of mobile electrotechnological installation on biological object in software package Elcut 5.6 is offered. Pictures of distribution of density of the current created in model of a plant at passage of an electrode in ground on depth of 2,5 sm, on a surface of ground and above ground at height 2,5 see are resulted. Dependences of density of a current in model from spatial position of an electrode in structure «air above ground-a plant with rod root system-the top layer of ground» are received.

Keywords: mobile electrotechnological installation, electromagnetic field, density of a current, potential, electrode, biological object, method of final elements

Предлагается методика имитационного моделирования действия электромагнитного поля электродной системы мобильной электротехнологической установки на биологический объект в программном пакете Elcut 5.6. Приводятся картины распространения плотности тока, создаваемого в модели растения при прохождении электрода в почве на глубине 2,5 см, по поверхности почвы и над почвой на высоте 2,5 см. Получены зависимости плотности тока в модели от пространственного положения электрода в структуре «воздух над почвой-растение со стержневой корневой системой-верхний слой почвы».

Известно, что проблема гармонического и импульсного электромагнитного поля (ЭМП) источников, расположенных вблизи и внутри различных неоднородностей, а также связанные с ней проблемы проникновения и ослабления поля, являются одними из актуальных задач электрофизики, биофизики и электротехнологии. Интерес к этим проблемам возник давно, а сегодня стимулируется потребностями и перспективами различных практических приложений: электросвязи, геофизики, биологии, медицины, электротехнологии, электромагнитной совместимости, электромагнитного экранирования и т.д. Различные неоднородности составляют основу всех биологических сред, многочисленных искусственных и естественных образований, а воздушные, почвенные и, особенно, биологические объекты (БО) обладают повышенными нелинейностью и нестационарностью, свойством саморегулирования, имеют высокий уровень неконтролируемых возмущений, ограниченные наблюдаемость и управляемость. Для решения такого рода практических проблем важным является наличие теоретических моделей расчета ЭМП, основанных на математических методах решения соответствующих электродинамических задач. Известно, что не во всех случаях решение задачи можно записать аналитически, то есть в явном виде и это можно сделать, если неоднородность представляется телом правильной геометрической формы (плоскость, цилиндр, шар), криволинейные координаты которого совпадают с декартовой, цилиндрической или сферической системами координат.

Важной составляющей модели ЭМП является описание распределения потенциала ϕ в объеме исследуемой среды (воздушной, почвенной, биологической и др.). Остановимся на постановке задачи о распределении ϕ ЭМП, возбуждаемых источниками, расположенными вблизи и внутри различных сред. Результаты решения этой задачи представлены в работах [1-3], цель которых – создание модели и методик расчета ЭМП, пронизывающих различные неоднородности «воздух над почвой-растительность-верхний слой почвы» (ВРП), возбуждаемых источниками, расположенными вблизи и внутри этих структур. Предмет исследования – изменения ЭМП вблизи и внутри структур ВРП, возбуждаемых электродами мобильных электротехнологических установок, в частности культиваторов (ЭТК), характеризующие

процесс прохождения тока и напряжения, их затухание по мере распространения и вынос ϕ в этих зонах, действие на БО и т.д. В этих расчетах использованы упрощающие допущения, так как необходимость учета изменений распределения ϕ и, соответственно, значения плотности тока j по ряду параметров делает задачу расчета ЭМП электродов громоздкой.

При физической формулировке задачи ЭМП мобильных ЭТК возбуждается электродной системой (ЭС), классификация которых приведена в [4]. Остановимся на наиболее распространенных вариантах ЭС: электроды перемещаются над почвой, копируя поверхностный слой на высоте $0 < h < 1$ м; копируют почву, то есть $h = 0$; перемещаются в верхнем слое почвы на глубине $-0,3 \text{ м} < h < 0$. При электрокультивации [5] к электродам ЭТК подается высокое напряжение. Протекающий между электродами через почву и растения ток, индуцирует переменное ЭМП, приводящее к возникновению в верхнем слое почвы и в растительных тканях ϕ . Действие составляющих ϕ и j в тканях приводит к стимуляции, угнетению, повреждению, гибели БО. Для анализа качества электротехнологического процесса (ЭТП) необходимы параметры технологического напряжения и геометрии ЭС, электрические свойства растительности и верхнего слоя почвы, а для подавляющего большинства электротехнологических задач – поверхностный импеданс структуры почва-растительность. При декомпозиции ЭТП можно выделить две подсистемы – электрическую и биологическую, определяющие, соответственно, ЭМП и реакцию БО в процессе действия ЭМП и после его окончания. Связь между подсистемами обеспечивается: ϕ и j , определяющими реакцию БО, то есть стимуляцию, угнетение, повреждение, гибель; движением ЭС и наземных частей растений, влияющими на индуцированное ЭМП. В первом приближении последняя связь слабая и она может быть оборвана. Поэтому вместо связанной задачи ЭТП возможно определение ЭМП ЭС и реакции БО при действии известных ϕ и j .

Математическая формулировка первой задачи (модель электрической подсистемы), решение уравнений относительно ϕ , электрические свойства растительности и верхнего слоя почвы, функции ослабления и уровень ЭМП почвы, а также результаты численных расчетов и их анализ приведены в ряде наших работ. В них наиболее распространенный способ математического моделирования ЭТП – это представление его в виде электрической цепи с сосредоточенными параметрами, то есть схемы замещения. Однако в исследуемом объекте при таком аналитическом расчете некоторые параметры электрической цепи и схемы замещения не могут претендовать на точность по вышеперечисленным причинам, то есть присутствием неоднородностей, что не позволяет использовать аналитические методы для электрической задачи ЭТК. Другим источником получения информации в биологических, почвенных, воздушных и конструктивных средах является исследование ЭМП ЭС ЭТК при помощи программных пакетов для моделирования. В России наиболее распространенным и недорогим является пакет Elcut, функциональные возможности которого позволяют проводить анализ распространения ЭМП, пронизывающих неоднородности ВРП, возбуждаемых источниками, расположенными вблизи и внутри этих структур.

Повреждающим БО фактором при электрокультивации является электрический ток в растительной ткани. Появление тока в ткани может происходить при непосредственном электрическом контакте электрода ЭТК с растением, либо на растение оказывает действие ЭМП ЭС. Следовательно, действие ЭМП ЭТК на растительную среду можно оценивать по изменению электрического тока, либо j . Поэтому, имитационное моделирование действия ЭМП ЭС на растительность в программном пакете Elcut 5.6 включает:

- 1) создание плоскостной модели ЭС ЭТК и растения;
- 2) ввод электропроводности и диэлектрической проницаемости растительных тканей наземной части и корневой системы, а также окружающей их среды, то есть воздуха и почвы;
- 3) ввод значения напряжения на ЭС ЭТК и граничных условий;
- 4) определение j , создаваемого ЭМП ЭС в растительных тканях, и представление этого параметра в виде зависимости по высоте стебля и глубине корня на вертикальной оси модели растения;
- 5) ступенчатое изменение местоположения плоскостной модели ЭС ЭТК относительно модели растения, фиксируя при этом параметры j в растительных тканях в соответствии с пунктом 4 для каждой ступени;

б) формирование выводов об изменении j , создаваемого ЭТП, в растительных тканях в зависимости от геометрии ЭС.

Известно, что растительность в полевых условиях имеет неоднородный состав, поэтому на начальном этапе проводить исследования необходимо на отдельных представителях растений с применением распространённых типов электродов. В качестве БО для исследований выбран вьюнок полевой, имеющий в фазе стеблевания в плотных слоях почвы стержневую корневую систему [6], с электропроводностью ткани корневой системы 0,042 См/м, наземных частей – 0,069 См/м. Высота наземной части модели растения – 50 мм, глубина проникновения в почву стержневой корневой системы – 100 мм. Эти электрические свойства и геометрические параметры характерны для среднестатистического вида рассматриваемого БО на начальном этапе его развития. В исследовании была выбрана стержневая форма электрода.

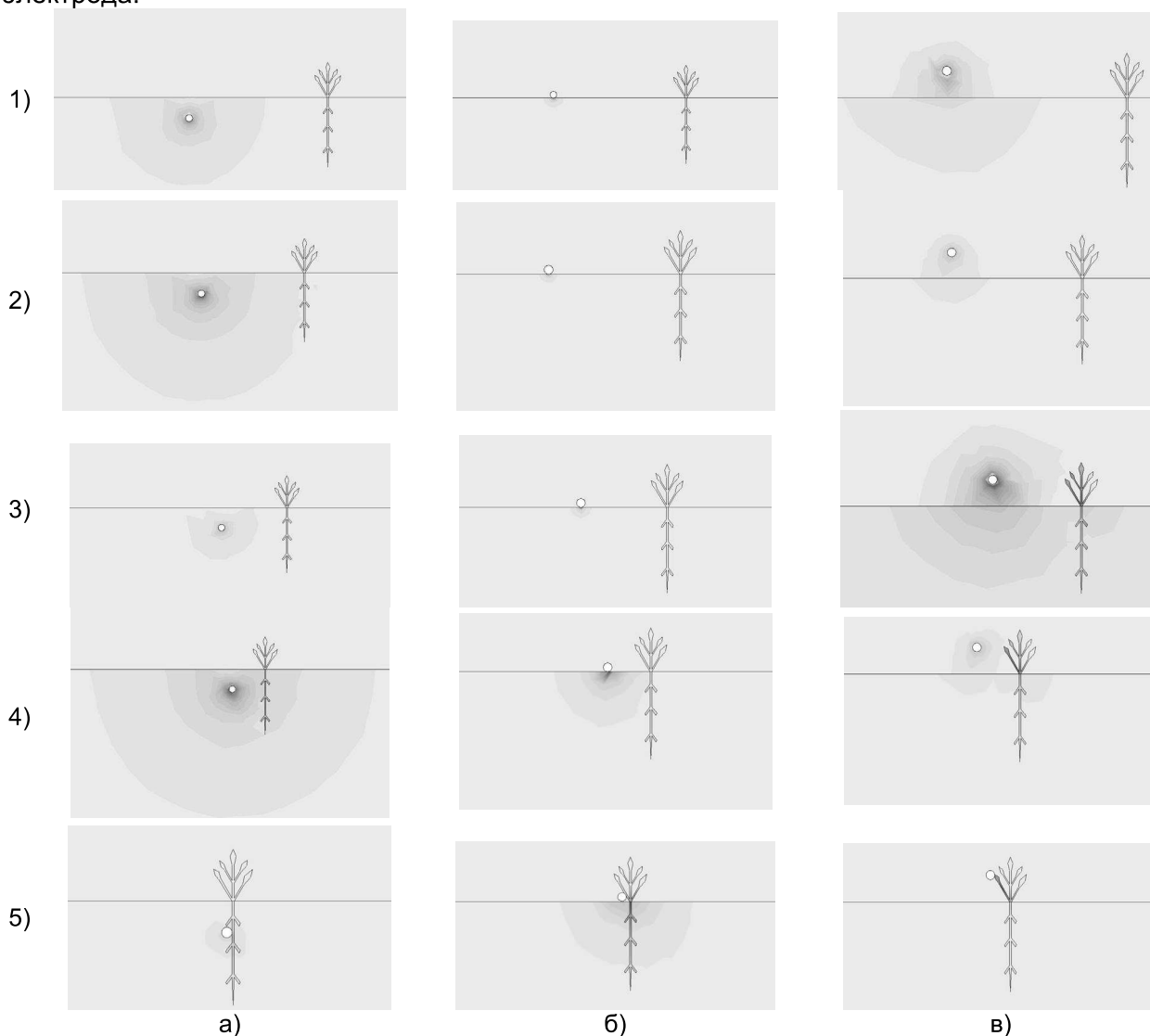


Рисунок 1 – Распределение плотности тока в средах «воздух над почвой-растительность-верхний слой почвы» от стержневого электрода с потенциалом 5 кВ перемещаемого: а)-в почве на глубине 2,5 см; б)-по поверхности почвы; в)-над почвой на высоте 2,5 см; при расстоянии от центра электрода до оси растения: 1)-200 мм; 2)-150 мм; 3)-100 мм; 4)-50 мм; 5) непосредственном контакте с растением

Действие ЭМП на стебель и корень модели растения оценивалось на высоте 0,5 мм и глубине 0,5 и 50 мм относительно основания корневой системы при перемещении электрода ЭТК: на глубине 2,5 см; по поверхности почвы; на высоте 2,5 см. В имитационной модели расстояние от центра стержневого электрода до оси растения изменялось ступенчато с шагом 50 мм в диапазоне от 200 мм и до непосредственного контакта электрода с растением. При скачкообразном изменении j в исследуемых точках шаг уменьшался в два и более раза. Потенциал на поверхности электрода составлял 5 кВ. Эта геометрия, характерная для

энергосберегающего электрического повреждения растительности [5], была выбрана с учетом разрешающей способности пакета Elcut 5.6. Для каждого варианта расположения электрода и растения проводился расчет методом конечных элементов в пакете Elcut 5.6, некоторые результаты которых представлены на рисунке 1, а полученное значение j в расчетной точке заносилось в базу данных. На рисунке 2 представлены зависимости j от пространственного положения электрода для расчетных точек на стебле и корне.

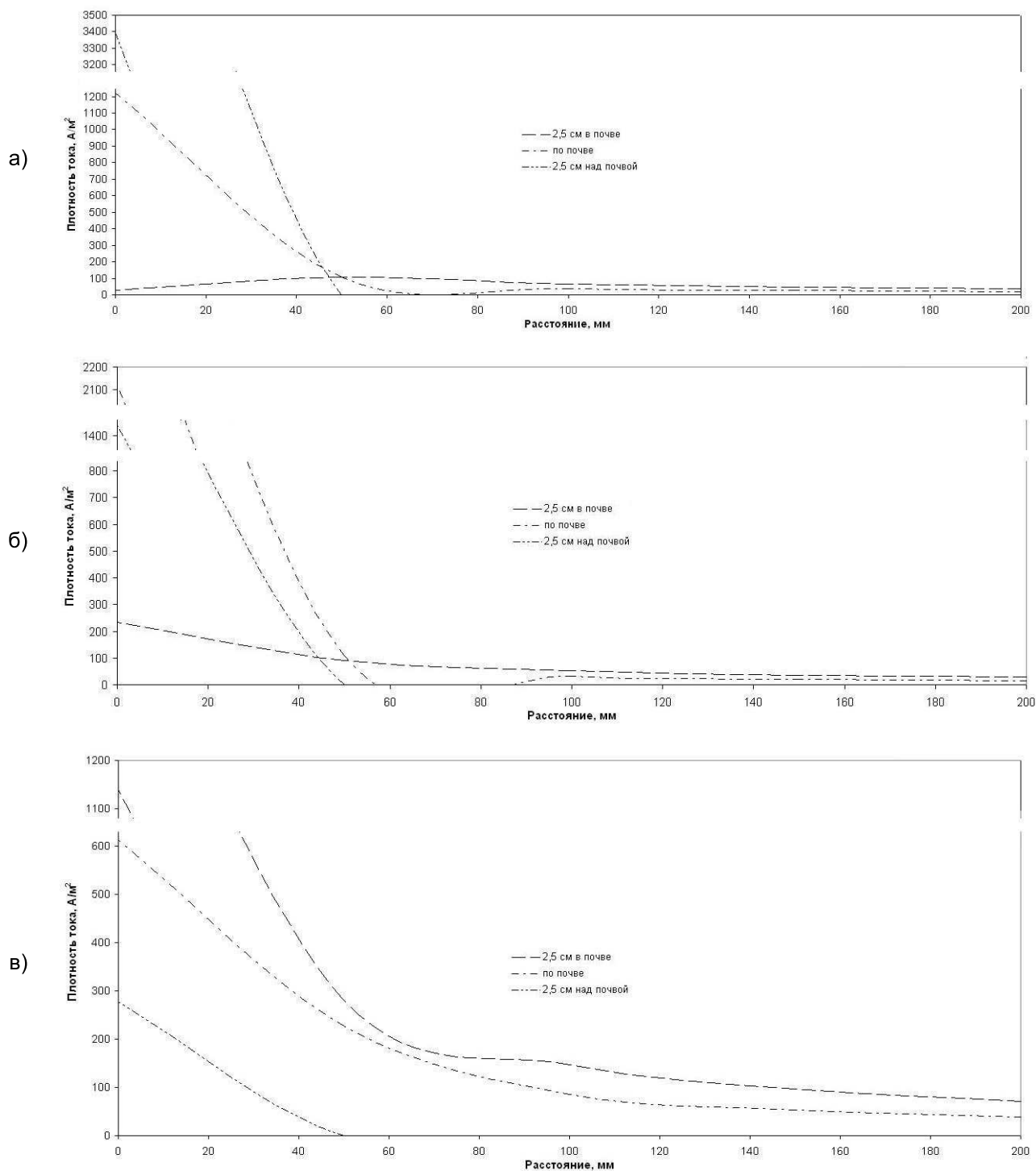


Рисунок 2 – Изменение плотности тока в ткани: а)-стебля на высоте 0,5 мм; б) и в)-корня на глубине, соответственно, 0,5 и 50 мм относительно основания корневой системы при приближении электрода от 200 мм до непосредственного контакта с растением

Максимальная $j = 3390 \text{ A/m}^2$ в расчетной точке наземной части растения наблюдается при высоте хода электрода 2,5 см (рисунок 2а). Достаточно высокую плотность тока

1220 А/м² в этой же точке создаёт электрод, копирующий поверхность почвы, а наименьшая $j = 106$ А/м² создается электродом, проходящим в почве на глубине 2,5 см.

В расчетной точке на глубине 0,5 мм относительно основания корневой системы максимальную $j = 2110$ А/м² создаёт электрод, копирующий поверхность почвы (рисунок 2б), достаточно высокую 1440 А/м²-электрод, проходящий на высоте 2,5 см, а наименьшая $j = 234$ А/м² создается электродом, проходящим в почве на глубине 2,5 см. На глубине 50 мм максимальную $j = 1140$ А/м² создаёт электрод, проходящий в почве на глубине 2,5 см (рисунок 2в), а достаточно высокую 612 А/м²-электрод, копирующий поверхность почвы. Наименьшая $j = 277$ А/м² создается электродом, проходящим на высоте 2,5 см.

В оптимальном режиме, с точки зрения электрического повреждения растений, электрод ЭТК необходимо перемещать по поверхности почвы (рисунок 1б). В энергозатратном режиме электрод, проходящий в почве на глубине 2,5 см, создает значительные j вне модели растения в почвенной среде на глубине до 20 см (рисунок 1а). Однако этот режим при высокой засоренности обрабатываемого участка растениями с развитой и глубоко расположенной в почве корневой системой окажет максимальную эффективность электрического повреждения.

На конкретном примере продемонстрировано, что моделирование ЭМП, включающее распространение плотности токов проводимости, является эффективным и чувствительным методом характеристики энергетического состояния электрического поля ЭТК в средах ВРП. С использованием надлежащей математической обработки и моделирования эта методика позволяет определять основные параметры ЭТП.

Показано также, что на основе анализа распространения ЭМП, пронизывающих неоднородности ВРП, возбуждаемых источниками, расположенными вблизи и внутри этих структур, можно определять вид функции плотности энергетических состояний, то есть действие возникающих в тканях составляющих ϕ и j , приводящих к стимуляции, угнетению, повреждению, гибели БО. Подобное моделирование можно проводить для почвенных макро- и микроорганизмов, людей и животных, оказавшихся вблизи ЭТК, то есть, попавших в ЭМП ЭС, которое будет пронизывать эти БО. В итоге решена фундаментальная для ЭТП проблема учета неоднородностей ВРП в параметрах ϕ и j , что позволяет прогнозировать любой фрагмент этих структур, корректно параметризовать БО и определять стимулирующее, угнетающее, повреждающее, губительное действие ЭМП ЭС. Следующим этапом работы является моделирование электромагнитных процессов в средах не только с произвольным распределением удельной проводимости, но и с изменяющейся магнитной проницаемостью, а также с учетом токов смещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ляпин, В.Г. Экспериментальные, аналитические и численные исследования электромагнитных полей мобильных электротехнологических машин / В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов // Вестн. КрасГАУ. -2008. -№2. -С. 265-269.

2 Ляпин, В.Г. Методика исследования электрического поля электротехнологического культиватора / В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. -2009. -№2. -С. 17-18.

3 Болотов, Д.С. Лабораторные исследования электрического поля электродной системы электротехнологического культиватора стержневого типа при разной влажности почвы / Д.С. Болотов, В.Г. Ляпин // Вестн. КрасГАУ. -2010. -№4. -С. 125-129.

4 Ляпин, В.Г. О классификации и параметрах электродных систем / В.Г. Ляпин // Вестн. ФГОУ ВПО МГАУ. -2008. -№3. -С. 35-37.

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

6 Практикум по земледелию / И.П. Васильев [и др.]. -М.: КолосС, 2005. -187 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *мобильная электротехнологическая установка, электромагнитное поле, плотность тока, потенциал, электрод, биологический объект, метод конечных элементов*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Ляпин Виктор Григорьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»
Болотов Денис Сергеевич, аспирант ГНУ «СибИМЭ» СО Россельхозакадемии*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ФГОУ ВПО «НГАУ»
630501, Новосибирская область, п. Краснообск-1, а/я 460, ГНУ «СибИМЭ» СО Россельхозакадемии*