

УДК 630.232+621.37

## МИКРОВОЛНОВАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН ХВОЙНЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ: ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2011 Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников, Н.Е. Стахова, О.Г. Морозов,  
Н.В. Дорогов, А.С. Бизякин

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева

Поступила в редакцию 19.11.2011

В статье рассматриваются вопросы обработки семян хвойных пород деревьев с использованием микроволновых технологий, основанных на биологических эффектах воздействия электромагнитной энергии СВЧ- и КВЧ-диапазонов. Цель обработки – интенсификация продуктивности лесоводства через улучшение посевных свойств семян, повышение устойчивости проростков к полеганию и болезням, а также снижение объемов применения нитратов, фосфатов, пестицидов, синтетических регуляторов роста и т.д., как отрицательных экологических факторов. Приведены результаты лабораторных и полевых исследований. Показаны направления перспективных исследований по разработке комплексных волновых технологий обработки семян с использованием энергии микроволновых и лазерных излучений.

Ключевые слова: *обработка семян, хвойные породы деревьев, микроволновая технология, двухдиапазонная установка, комплексная технология*

Работникам лесного и сельского хозяйства давно известно значение качества семян, от которого зависит величина урожая и качество получаемой продукции. К посеву готовятся семена с высокими посевными и сортовыми свойствами, в основном районированных сортов. Любая книга, посвященная семеноводству, как правило, начинается словами народной мудрости «От плохого семени не жди хорошего племени». Известно [1], что до появления ростка корешки и стебелки развиваются за счет питательных веществ самого семени: набора аминокислот, крахмала, клейковины, витаминов группы В. Чем больше этих веществ и чем

быстрее они всасываются клетками зародыша семени, тем (при оптимальном количестве влаги, кислорода, достаточной температуре) мощнее развивается корневая система, быстрее протекают все стадии произрастания и развития растений. Начиная с 70-х годов внимание специалистов стали привлекать эффекты воздействия электромагнитных полей (ЭМП) коротковолновой части миллиметрового (КВЧ) (~ 40-60 ГГц) и сантиметрового (СВЧ) (1-3 ГГц) диапазонов волн на различные биосистемы [2]. Было обнаружено, что при определенных условиях наблюдаются выраженные эффекты стимулирующего характера, в том числе улучшение посевных свойств семян различных сельскохозяйственных культур и хвойных пород деревьев [2]. Связано это с тем, что, воздействуя на семена ЭМП коротковолновой части миллиметрового диапазона (КВЧ):

1. активизируется биохимический процесс способствующий более быстрому всасыванию питательных веществ в обрабатываемых семян, особенно ярко эффект проявляется на старых и не кондиционных семенах [2];

2. повышается иммунитет семян за счет угнетения ряда паразитарных микроорганизмов развивающихся на поверхности семени и вызывающих различные заболевания [2, 4].

Важно отметить, что указанные эффекты являются результатом воздействия ЭМП весьма низкой интенсивности (менее 10 мВт/см<sup>2</sup>),

*Морозов Геннадий Александрович, доктор технических наук, директор Научно-исследовательского центра прикладной электродинамики. E-mail: gmorozov-2010@mail.ru*

*Седельников Юрий Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем. E-mail: sed@ru.kstu-kai.ru*

*Стахова Наталья Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем. E-mail: nataliya-stakhova@yandex.ru*

*Морозов Олег Геннадьевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой телевидения и мультимедийных систем. E-mail: microoil@mail.ru*

*Дорогов Николай Васильевич, доцент кафедры телевидения и мультимедийных систем. E-mail: nicway@mail.ru*

*Бизякин Алексей Сергеевич, аспирант. E-mail: alex\_compan99@mail.ru*

имеют частотную зависимость резонансного характера и характеризуются пороговыми значениями интенсивности, при которых эффект начинает проявляться скачкообразным образом [4]. При обработке семян ЭМП СВЧ диапазона также наблюдается угнетение вредных микроорганизмов на поверхности семени, но связано это с тем, что происходит нагрев семян до температуры 1-3°C, повышающий посевные качества семян и угнетающий ряд паразитарных микроорганизмов одновременно. Следует отметить, что немаловажной является досушка семян перед закладкой на зимовку, так как в период покоя дыхание семян очень слабое, но при прорастании резко усиливается и потребность в кислороде возрастает. Прорастающие семена не только поглощают кислород, но и выделяют углекислый газ, т. е. дышат, но и выделяют тепло. Сырые семена дышат энергичнее сухих, поэтому сложенные толстым слоем они быстро разогреваются и, как говорят, «сгорают», причем их зародыши погибают. Семена становятся нежизнеспособными [1]. Поэтому их убирают на хранение только сухими и хранят в сухих, хорошо проветриваемых помещениях, при этом доступ воздуха к семенам должен быть свободным и постоянным, но, как известно, семена, которые закладывают на зимовку, не всегда соответствуют требуемой влажности и существует необходимость досушки семян.

В настоящей статье приведены результаты лабораторных и полевых исследований, полученные нами при обработке семян хвойных пород деревьев на двухдиапазонной (СВЧ и КВЧ) установке, подобные исследования уже проводились авторами статьи вначале 2000 г. в миллиметровом (КВЧ) диапазоне волн и сантиметровом СВЧ диапазоне волн на однодиапазонной установке [2], отличной от рассматриваемой в данной статье. Повтор проделанных экспериментов связан с необходимостью подтверждения положительных результатов при обработке семян на двухдиапазонной установке и разработки новых перспективных направлений в данной области, а также выделение новых режимов и методов обработки семян на основе уже ранее предложенных.

**Результаты лабораторных и полевых исследований на двухдиапазонной установке.** При реализации микроволновых технологий, основанных на биологических эффектах воздействия электромагнитной энергии СВЧ- и КВЧ-диапазонов условие заданного качества обработки может быть обеспечено при различных наборах определяющих параметров: энергия, частота, параметры модуляции, поляризация, длительность и периодичность воздействия, существенно отличающихся суммарными

затратами микроволновой энергии, учитывающими различную стоимость энергии микроволн в различных частотных диапазонах. Ввиду не изученности глубинных механизмов биологических эффектов, единственным путем выбора рациональных режимов является полный перебор по множеству экспериментальных данных. Обработку семян производили воздействием на них «тепловых» или «нетепловых (информационных)» электромагнитными полями СВЧ- и КВЧ-диапазонов.

Обработка семян электромагнитными полями СВЧ диапазона. Основу физической сущности нагрева среды электромагнитными полями составляет тот факт, что подвергаемая электромагнитному воздействию среда по своим свойствам является диэлектриком с достаточно большими потерями. Наличие потерь в среде приводит к появлению в ней токов проводимости, а значит и к ее нагреву. Таким образом, при взаимодействии среды с ЭМП являются непрерывно распределенные по всему объему источники тепла (токи). Это приводит к внутреннему равномерному разогреву среды (в нашем случае семян). Для повышения посевных качеств семян достаточно их нагреть на 1-3°C. Чтобы определить время нагрева семян до заданной температуры, необходимо установить связь между начальной и конечной температурами и электрофизическими параметрами семян:

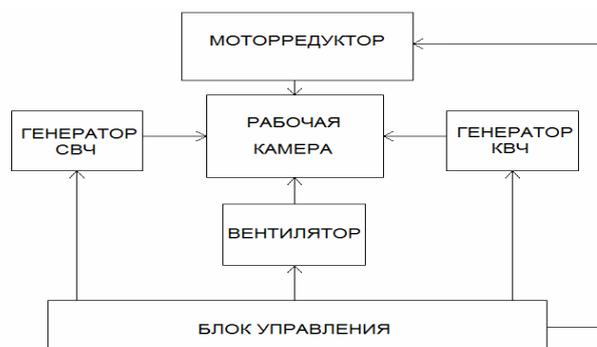
$$\Delta t = \frac{\rho c m (T_K - T_H)}{\omega \varepsilon \varepsilon_0 \operatorname{tg} \delta \cdot E^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – время нагрева, °C;  $\rho$  – плотность семян, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/кг·град;  $m$  – масса семян, кг;  $T_K$  – конечная температура, °K;  $T_H$  – начальная температура, °K;  $\omega$  – угловая частота, рад;  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость семян;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс диэлектрических потерь;  $E$  – напряженность электромагнитного поля, В/м.

Формула (1) положена в основу составления программы экспериментальных исследований на двухдиапазонной установке в диапазоне СВЧ. Таким образом, при обработке семян электромагнитными полями СВЧ диапазона положительный эффект наблюдается при нагреве семян на 1-3°C, то при работе в диапазоне СВЧ можно говорить о преимущественно «тепловом» воздействии на обрабатываемые семена [2]. Эффект воздействия такого ЭМП был проверен [2] при лабораторных исследованиях энергии прорастания и всхожести семян лесных культур.

Обработка семян электромагнитными полями КВЧ диапазона. Нетепловые (информационные поля) характеризуются тем, что биологический эффект действия электромагнитного поля не связан с непосредственным воздействием энергии на поверхность обрабатываемых семян (нагрев менее  $0,1^{\circ}\text{C}$ ). Их воздействие, так называемые «информационные сигналы», заключается в управлении биохимическими процессами, происходящими внутри семян и вызывающими угнетающие воздействие на ряд паразитарных микроорганизмов. Информационные поля в наибольшей степени проявляют свое действие в КВЧ (миллиметровом) диапазоне. Действие такого поля не зависит от его интенсивности, однако пороговое значение существует ( $1-10$  мВт). Превышение порогового значения воздействия ЭМП ведет к изменению эффективности воздействия, а именно, к уменьшению положительного эффекта [4]. Носителем информации является частота ЭМП, поэтому были проведены исследования по определению частоты обработки, позволяющей достичь наилучших посевных качеств семян. В ходе исследований подтвердилось, что биологически активная частота (резонансная) имеет свойство изменяться в процессе обработки, так более влажные семена имеют резонансную частоту отличную от семян того же сорта, но более сухих. В связи с этим возникает необходимость подбора резонансной частоты до начала обработки и непрерывный мониторинг в процессе обработки.

Обработка семян производилась по определенной программе вновь разработанной нами на базе двухдиапазонной установки (рис. 1), разработанной в Научно-исследовательском центре Прикладной электродинамики КНИТУ им. А.Н. Туполева. Структурная схема двухдиапазонной установки представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Структурная схема двухдиапазонной микроволновой установки для предпосевной обработки семян

**Результаты лабораторных исследований.** В результате лабораторных исследований было определено влияние теплового и информационного воздействий на посевные качества семян лесохозяйственных культур путем проращивания семян. Оценка и учет проросших семян при определении энергии прорастания и всхожести проводились согласно ГОСТ 12038-84 по определению всхожести семян сельскохозяйственных культур и хвойных пород деревьев. За результат принималось среднее арифметическое значение результатов определения энергии прорастания и всхожести всех проанализированных проб. Наиболее эффективные режимы обработки, используемые в исследованиях, приведены в табл. 1. При этом во всех режимах отмечено превышение исследуемых параметров в опытных группах над контрольными.

По результатам проведенного эксперимента построен график представленный на рис. 2. График показывает превышение исследуемых параметров в опытных группах над контрольными.

**Таблица 1.** Режимы, использованные при обработке семян

Тип режима	Мощность излучения	Частота излучения	Время обработки	Примечание
обработка электромагнитными полями КВЧ диапазона				
Режим 1	10 мВт	30 ГГц	30 мин	
Режим 2	10 мВт	30 ГГц	20 мин	
Режим 3	10 мВт	72 ГГц	20 мин	
обработка электромагнитными полями СВЧ диапазона				
Режим 4	$30\% P_{\max}$	$2,45 \pm 0,05$ ГГц	4 мин	$P_{\max} = 0,7$ кВт

**Результаты полевых исследований.** На базе Татарской лесной опытной станции ВНИИЛМ нами были проведены полевые испытания обработанных семян. Обработка семян производилась по определенной программе

на базе двухдиапазонной установки, разработанной в НИЦ ПРЭ [2]. В результате проведенных исследований было установлено, что обработка семян ЭМП СВЧ- и КВЧ-диапазонов повышает их энергию прорастания, всхожесть и

устойчивость к инфекционному полеганию, а также улучшает рост сосны (табл. 2).

Таким образом, основываясь на результатах лабораторных и полевых исследований нами доказано, что в результате электромагнитного СВЧ и КВЧ воздействия повышается грунтовая всхожесть семян, снижается отпад от болезней, улучшается рост сеянцев, и как результат увеличивается выход сеянцев. Следовательно, можно говорить о присутствии эффекта, благодаря которому значительно снижаются потери саженцев сосны на начальном этапе развития. На рис. 3 и 4 показаны посадки сосны проведенные семенами, обработанными электромагнитными полями СВЧ- и КВЧ-диапазонов, с протравливанием фунгицидом

ТМТД и с протравливанием фунгицидом ТМТД, но без обработки электромагнитными полями СВЧ- и КВЧ-диапазонов.

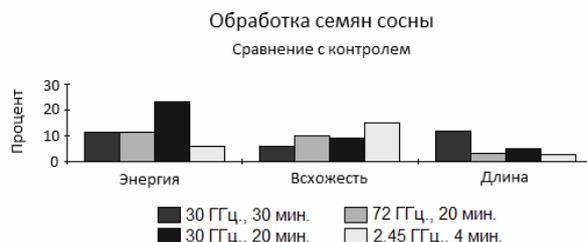


Рис. 2. Обработка семян лесных пород микроволновым полем

Таблица 2. Влияние обработки семян ЭМП на ростовые свойства и полегание посевов сосны

Вариант	Грунтовая всхожесть, %	Погибло появившихся всходов, %		Средние размеры сеянцев			Сохранность сеянцев к осени на 1м строчки, шт.
		от полегания	по другим причинам	высота сеянцев, см	диаметр шейки корня, мм	длина корневого пучка, см	
Режим 1	85,4	0,7	7,8	2,63	0,56	17,8	205
Режим 2	82,3	0,5	7,9	2,65	0,57	17,9	198
Контроль	77,9	3,0	9,8	2,30	0,47	16,9	181
Погрешность, %	3,0	4,0	-	3,6	4,6	4,9	2,1
НСР <sub>0,5</sub>	4,3	0,8	-	0,27	0,08	3,2	11,5

Примечание: Режим 1 – 30 ГГц 20 мин., Режим 2 – 72 ГГц 20 мин.



Рис. 3. Посевы сосны первого года выращивания: а) – перед высевом семена обработаны ЭМП СВЧ- и КВЧ-диапазонов с протравливанием фунгицидом ТМТД (4г на 1кг); б) – только протравливанием

**Анализ полученных результатов.** В результате проведенных лабораторных и полевых исследований посевных качеств семян сельскохозяйственных культур было установлено, что их обработка ЭМП СВЧ- и КВЧ-диапазонов приводит к существенному росту энергии прорастания и всхожести. Как видно из представленных графиков на рис. 2, наилучшие результаты были получены в различных

диапазонах, причем различные частоты вызывают различные положительные эффекты. На частоте 30 ГГц наблюдается заметное увеличение энергии прорастания семян и более мощные проростки корневой системы, а на частоте 72 ГГц наблюдается увеличение всхожести, также неплохие результаты по всхожести семян даёт режим обработки электромагнитным полем в СВЧ диапазоне. Наилучшим

вариантом является комплексная обработка семян различными частотами, для получения всех положительных эффектов, присущих этим диапазонам.

Итак, можно сделать вывод, что, воздействуя на семена сначала на одной биологически активной частоте, влияющей наиболее положительно, например, на всхожесть семян, потом на другой, влияющей наиболее положительно, например, на энергию прорастания семян можно достичь наилучшего результата. Однако такой вариант обработки приведет к повышению времени обработки и дополнительных энергозатрат. Также ввиду резонансного характера и частотной зависимости микроволнового воздействия в КВЧ диапазоне существует проблема нахождения этих резонансов и оперативной подстройки в процессе обработки, так как с изменением внешних условий наблюдается уход параметров обрабатываемой среды. Что же касается СВЧ-обработки, то лучший эффект наблюдается при достижении равномерности нагрева в рабочей камере. Это довольно сложные и нерешенные задачи. Решение этих задач основано на использовании двухчастотного метода преобразования из одночастотного излучения в симметричное двухчастотное [3].

Суть способа заключается в следующем. Одночастотное колебание модулируют по амплитуде с коэффициентом модуляции  $m=1$  колебанием вида (2), а затем коммутируют фазу полученного АМ-колебания на  $\pi$  при каждом прохождении его огибающей минимума.

$$S_2(t) = S_2 |\sin \Omega t| \quad (2)$$

Такой порядок операций в способе обусловлен независимостью конечного результата преобразования одночастотного излучения в симметричное двухчастотное и более простой технической реализацией. Двухчастотное излучение имеет следующие достоинства:

- возможность плавной перестройки резонансной частоты по заданному закону с заданной скоростью;
- возможность обеспечения спектральной чистоты и стабильности двухчастотного излучения;
- возможностью обеспечения одинаковых амплитуд обеих спектральных составляющих;
- возможностью решения с его помощью функциональной задачи, а именно автоматическая настройка на резонансную частоту.
- возможность решения задачи обработки семян на нескольких биологически активных

частотах при использовании одного генератора.

Для научного доказательства применимости двухчастотного метода преобразования одночастотного КВЧ колебания в симметричное двухчастотное нами было проделано моделирование в профессиональной среде проектирования Microwave\_Office.2008, за основу элементной базы для моделирования были взяты следующие элементы:

1. Транзисторный генератор СВЧ [5];
2. Амплитудный модулятор выполненный по известной схеме управляемого аттенуатора на р-і-п диодах [6];
3. Фазовращатель на р-і-п диодах [7].

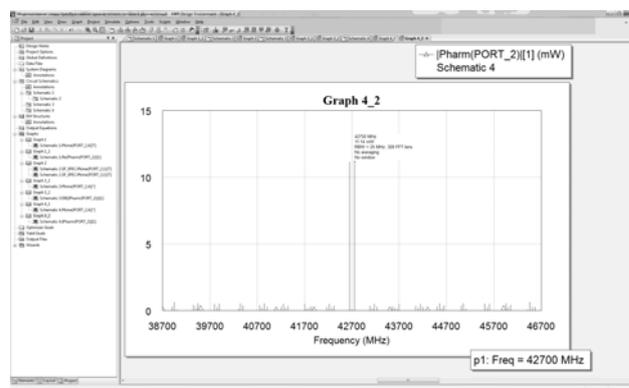


Рис. 4. Спектр сигнала на выходе схемы преобразования одночастотного сигнала в двухчастотный

Полученные положительные результаты моделирования преобразования одночастотного колебания в симметричное двухчастотное в КВЧ-диапазоне, представленные на рис. 4, являются подтверждением возможности внедрения в существующую двухдиапазонную установку двухчастотного метода.

**Направление перспективных исследований.** Перспективным направлением в области повышения посевных качеств семян хвойных пород деревьев за счет микроволнового воздействия является внедрение в существующую двухдиапазонную установку двухчастотного метода преобразования. Внедрение двухчастотного метода преобразования имеет ряд преимуществ:

1. Обработка будет производиться на индивидуально подобранной резонансной частоте;
2. Повышение эффективности обработки за счет постоянного мониторинга резонансной частоты и оперативной подстройки в режиме реального времени;
3. Поиск новых биологически активных частот за счет перестраиваемого КВЧ генератора во всем биологически активном диапазоне (30 - 300 ГГц);

4. Разработка новых методик обработки за счет двухчастотного излучения;
5. Обработка семян одновременно на двух, трех резонансных частотах за счет разнесения двух составляющих двухчастотного излучения;
6. Создание режимов одновременной стимуляции семян и угнетения паразитарных микроорганизмов.

**Выводы:** на основе полученных результатов можно утверждать, что при обработке семян одновременно на нескольких частотах подбор резонансной частоты до начала обработки, мониторинг резонансной частоты и оперативная подстройка в режиме реального времени, разработка новых методик и режимов за счет внедрения двухчастотного метода может значительно повысить урожайность по сравнению с традиционными методами обработки. Внедрение двухчастотного метода не повлечет за собой особых конструктивных изменений и повышения энергозатрат. С целью дополнительно повысить урожайность и качество семян предлагается использование двухчастотного метода обработки семян электромагнитными полями СВЧ, КВЧ, а также планируются проведение экспериментов по воздействию на семена низкоинтенсивным лазерным излучением.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Овчаров, К.Е.* Физиология формирования и прорастания семян. – М.: Колос, 1976. С. 90, 120.
2. *Морозов, Г.А.* Низкоинтенсивные микроволновые технологии. Методы и аппаратура / Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, Н.Е. Стахова и др. – М.: Радио и связь, 2003. 128 с.
3. *Морозов, О.Г.* Симметричная двухчастотная рефлектометрия в лазерных системах контроля параметров природной и искусственных сред. Дис., докт. техн. наук: защищена 14.06.2004 / Морозов Олег Геннадьевич. – Казань, 2004. 285 с.
4. *Девятков, Н.Д.* Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н.Д. Девятков, О.В. Бецкий, М.Б. Голант. – М.: Радио и связь, 1991. 160 с.
5. РСТ/RU2004/0000090. Транзисторный генератор СВЧ / М.А. Кревский, Г.А. Кузнецов и др., №WO 2004/082128 A1; заявл.11.03.2004.
6. Описание изобретения к авторскому свидетельству №296182. Управляемый аттенуатор / Е.И. Машиарский, М. С. Шмилевич, Б. Г. Перлин (СССР), № 1322588/26-9, заявл. 15.04.1969; опубл. 12.11.1971.
7. *Вамберский, М.В.* Передающие устройства СВЧ: Учеб. пособие для радиотехнич. спец. вузов / М.В. Вамберский и др.– М.: Высш. шк., 1984. 448 с.

## MICROWAVE TREATMENT THE SEEDS OF CONIFEROUS TREES: REACHED RESULTS AND DIRECTIONS OF PERSPECTIVE RESEARCHES

© 2011 G.A. Morozov, Yu.E. Sedelnikov, N.E. Stahova, O.G. Morozov,  
N.V. Dorogov, A.S. Bizyakin

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev

In a paper questions of treatment the seeds of coniferous trees with use of the microwave technologies, based on biological effects of exposure of electromagnetic energy of SHF and EHF bands are considered. The treatment purpose – intensification of forestry efficiency through improvement of sowing properties of seeds, stability improvement of sprouts to drowning and diseases, and also lowering the application volumes of nitrates, phosphates, pesticides, synthetic regulators of growth etc., as negative ecological factors. Results of laboratory and field researches are reduced. Directions of perspective researches on working out the complex wave technology of seeds treatment with use of energy of microwave and laser radiations are displayed.

Key words: *treatment of seeds, coniferous trees, microwave technology, two-band unit, complex technology*

*Gennadiy Morozov, Doctor of Technical Sciences, Director of the Scientific Research Center of Applied Electrodynamics. E-mail: gmorozov-2010@mail.ru*

*Yuriy Sedelnikov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Radio-electronic and Telecommunication Systems Department. E-mail: sed@ru.kstu-kai.ru*

*Nataliya Stahova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Radio-electronic and Telecommunication Systems Department. E-mail: nataliya-stakhova@yandex.ru*

*Oleg Morozov, Doctor of Technical Sciences, Head of the Television and Multimedia systems Department. E-mail: microoil@mail.ru*

*Nikolay Dorogov, Associate Professor at the Television and Multimedia systems Department. E-mail: nicway@mail.ru*

*Aleksey Bizyakin, Post-graduate Student. E-mail: alex\_company99@mail.ru*