

С.В. Вендин

**ТЕОРИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
ПРОЦЕССОВ СВЧ ОБРАБОТКИ СЕМЯН**

Монография

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «БЕЛГОРОДСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ» ИМ. В.Я. ГОРИНА



С.В. Вендин

**ТЕОРИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ
ПРОЦЕССОВ СВЧ ОБРАБОТКИ СЕМЯН**

Монография



УДК 631.171: 621.31: 633/635

ББК 32.85

П92

Рецензенты:

профессор, доктор технических наук *А.Г. Пастухов*
(Белгородская государственная сельскохозяйственная
академия им. В.Я. Горина),
профессор, кандидат технических наук *А.А. Виноградов*
(Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова)

Вендин, С. В.

П92

Теория и математические методы анализа электродинамики процессов СВЧ обработки семян : монография / С. В. Вендин. – М. : ЦКБ «Бибком», 2015. – 137 с.

ISBN-online 978-5-905563-38-6

В монографии изложены теория и математические методы анализа электродинамики процессов обработки семян в высокочастотном электромагнитном поле.

Представлены решения электродинамической задачи распространения электромагнитной волны в многослойных полупроводящих средах, а также рабочие математические модели исследования напряженности электрического поля при СВЧ дезинсекции, дезинфекции и предпосевной стимуляции семян, примеры применения результатов теоретических исследований для расчета технологических и конструктивных параметров СВЧ оборудования.

Для научных и инженерно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов по специальности «Электротехнологии и электрооборудование в АПК».

УДК 631.171: 621.31: 633/635

ББК 32.85

ISBN-online 978-5-905563-38-6

© С.В. Вендин, 2015

© ЦКБ «Бибком», 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМЫ	8
1.1. Современные технологические приемы дезинсекции, дезинфекции и предпосевной обработки семян	8
1.2. Специфические особенности применения электромагнитных полей сверхвысокой частоты для дезинсекции, дезинфекции и предпосевной стимуляции семян	20
1.3. Физическая модель процесса обработки семян в электромагнитном поле СВЧ	25
1.4. Выводы	28
2. ТЕОРИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ СВЧ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН	29
2.1. Общая постановка задачи	29
2.2. Решение задачи взаимодействия электромагнитной волны с многослойными диэлектрическими объектами сферической формы	34
2.3. Математическая модель исследования напряженности ЭМП в семенах при дезинсекции, дезинфекции и предпосевной стимуляции	45
2.4. Численный эксперимент и анализ напряженности электрического поля в семени при СВЧ дезинсекции, дезинфекции и предпосевной стимуляции	55
2.4.1. Выводы и технологические рекомендации	68
2.5. Теоретическое решение задачи распространения электромагнитной волны в плоскостойких полупроводящих средах	70
2.6. Теоретическое решение задачи распространения электромагнитного импульса в многослойных полупроводящих средах	84
3. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ, СПОСОБОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СВЧ ОБОРУДОВАНИЯ	89
3.1. Технологические особенности процессов СВЧ обработки семян	89

3.2. Разработка вопросов практической реализации технологий СВЧ обработки семян	94
3.2.1. Разработка технологических приемов, способов и технических средств СВЧ обработки семян	94
3.2.2. Унифицированный СВЧ комплекс «Агро» для обработки семян электромагнитным полем СВЧ	107
3.3. Выводы	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	110
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	112

ВВЕДЕНИЕ

Высококачественный посевной материала и сохранность продукции в процессе хранения и переработки во многом определяют эффективность производства продукции растениеводства.

Из-за наличия естественных вредителей и болезней растений, а также состояния физиологического и послеуборочного покоя семян в сельскохозяйственном производстве необходимо проводить всевозможные технологические операции дезинсекции, дезинфекции и предпосевной стимуляции семян. По литературным данным потери зерна только из-за вредных насекомых составляют от 5 до 10 %, а потери бобовых достигают 14–16 %. Влияние болезней растений и вредных микроорганизмов приводит к потере 15–20 % продукции, а иногда и к полному уничтожению урожая. Полноценные и здоровые семена, находящиеся в состоянии физиологического покоя, могут иметь на момент посева всхожесть в 1,5–2 раза ниже потенциальной, что естественно ведет к потере урожая и сознательному завышению нормы высева семян.

Традиционные методы и технологические приемы дезинсекции, дезинфекции и предпосевной стимуляции семян, основанные на применении высокотоксичных химических препаратов, использовании гидротермической обработки и т. д., связаны с большими затратами труда и низкой технологичностью процесса обработки семян. Кроме того, прямым следствием от применения ядохимикатов является загрязнение окружающей среды и нарушение экологического равновесия в природе. Поэтому научные исследования, направленные на разработку эффективных, экологически безопасных и высокопроизводительных методов повышения посевных качеств семян актуальны и имеют важное народнохозяйственное значение.

В дополнение к существующим технологическим приемам и способам в процессах дезинсекции, дезинфекции и предпосевной стимуляции семян возможно использование электрической энергии

и электрофизических методов воздействия. Существенный вклад в развитие науки по применению электроэнергии в сельскохозяйственном производстве был сделан исследованиями М.Г. Евреинова, Г.И. Назарова, И.А. Будзко, И.Ф. Бородина, Л.Г. Прищепа, И.И. Мартыненко, А.М. Басова, Ф.Я. Изакова, И.Ф. Кудрявцева, А.М. Мусина, Г.Г. Рекуса, Д.С. Стребкова, М.С. Левина, В.А. Воробьева, В.Т. Сергованцева, В.И. Тарушкина, В.Н. Шмигеля, В.М. Гарбузова и др.

Следует выделить также исследования, связанные с использованием энергии электромагнитных полей радиочастотного (ВЧ, СВЧ) диапазона, проводимые учеными МГАУ им. Горячкина (МИИСП), Челябинского ГАУ (ЧИМЭСХ), Красноярского ГАУ, ВИЭСХ, ВНИПТИМЭСХ и др. и, в частности работы исследователей И.Ф. Бородин, Л.Г. Прищеп, Ф.Я. Изаков, Г.А. Шарков, Н.В. Цугленок, В.И. Шустов, В.И. Пахомов, С.А. Андреев, С.Г. Кузнецов, В.В. Олоничев, А.Д. Горин, Б.Н. Полевик, А.А. Бабенко и др.

Анализ научных исследований по использованию электромагнитных полей высокой и сверхвысокой частоты для повышения качества семян сельскохозяйственных культур (дезинсекция, дезинфекция, предпосевная стимуляция) показывает, что, в основном, они отражают результаты экспериментальных исследований.

В тоже время, в научной литературе на настоящее время, практически нет достаточно полного обобщения теоретических разработок, позволяющих качественно и количественно проанализировать процессы обработки семян переменными электромагнитными полями с учетом параметров ЭМП (интенсивность потока ЭМ энергии, напряженность ЭМП, частота ЭМП, модуляция, экспозиция), параметров семян (электрофизические, теплофизические) и окружающей среды. В связи с этим нет достаточной ясности в вопросах выбора наиболее эффективных значений параметров ЭМП. Различные мнения по данному вопросу носят хаотичный, а иногда и противоречивый характер, гипотезы, основанные исключительно на избирательном тепловом действии переменных электромагнитных полей, подчас не находят экспериментального подтверждения. Все это, в конечном счете, сдерживает совершенствование существующих и создание новых экологиче-

ски чистых технологий, методов и технических средств повышения качества семян сельскохозяйственных культур посредством их обработки в электромагнитных полях радиочастотного (ВЧ, СВЧ) диапазона.

Необходимость разработки технических средств для реализации технологий на основе использования энергии электромагнитных полей легли в основу для написания данной монографии.

В монографии рассмотрены исследования автора, включающие теорию и математические методы анализа электродинамических аспектов СВЧ обработки семян, решения электродинамической задачи распространения электромагнитной волны в многослойных полупроводящих средах, а также рабочие математические модели исследования напряженности электрического поля при СВЧ дезинсекции, дезинфекции и предпосевной стимуляции семян и примеры применения результатов теоретических исследований для расчета технологических и конструктивных параметров СВЧ оборудования.