

На правах рукописи



Зубова Римма Анатольевна

**ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ
СЕМЯН С ТВЕРДОЙ ОБОЛОЧКОЙ УЛЬТРАЗВУКОМ
И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Научный руководитель

Бастрон Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Попов Виталий Матвеевич, доктор технических наук, доцент (ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»), заведующий кафедрой энергообеспечения и автоматизации технологических процессов

Очиров Вадим Дансарунович, кандидат технических наук, доцент (ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»), заведующий кафедрой энергообеспечения и теплотехники

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт»

Защита диссертации состоится 14 декабря 2017 г. в 14⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 при ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46; тел/факс 8 (3852) 36-71-29; официальный сайт: <http://www.altstu.ru>; e-mail: erb_401@mail.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета Д 212.004.02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» и на официальном сайте университета <https://www.altstu.ru/media/f/Dissertaciya-Zubovoj-R.-A..pdf>.

Автореферат разослан 15 октября 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.004.02



Куликова Лидия Васильевна

Актуальность темы исследования

Для успешного развития животноводства необходимо создание прочной кормовой базы, основу которой составляют растительные корма, доля которых в общем кормовом балансе – более 90 %. Основной источник этой группы кормов – полевое кормопроизводство, оно дает более 70 % общего объема кормов. Многолетние бобовые травы имеют большое значение в полевом кормопроизводстве для получения ценных высокопитательных кормов, богатых белками и витаминами.

Получение полноценного урожая во многом зависит от качества посевного материала, поэтому обработка семян перед посевом является одной из важных предпосылок рентабельного производства сельскохозяйственных культур.

Один из эффективных способов решения данной задачи – повышение качества посевного материала с помощью воздействия на семена физическими факторами. Для этого используются разнообразные способы предпосевной обработки семян: обогрев, воздействие электрических, магнитных и других полей. Использование электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) относится к энергосберегающим и экологически чистым технологиям, которые позволяют одновременно осуществлять тепловое и электрическое действие на семенной материал. СВЧ-нагрев характеризуется избирательностью, тепловой безынерционностью, высокой точностью регулирования процесса нагрева, воспроизводимостью, высоким КПД преобразования СВЧ-энергии в тепловую. Такая обработка семян позволяет провести обеззараживание и стимуляцию ростовых процессов.

СВЧ-обработка основана на разделении свойств сухих семян и воды. Увлажнение семян способствует усилению уровней селективного поглощения влаги собственными семенами и присутствующими внутри их паразитирующими микроорганизмами, которые обладают большей влагопоглощательной способностью, чем внутриклеточные структуры семян. При обработке таких семян ЭМП СВЧ происходит избирательный нагрев увлажненных микроорганизмов, так как из-за высокой скорости нагрева температура любого биообъекта, независимо от его величины, растет пропорционально проценту его влажности. У твердосемянных культур вода не попадает внутрь семени и поэтому не происходит избирательный нагрев.

Семена с твердой оболочкой, такие как у многолетних бобовых трав, целесообразно сначала скарифицировать, т. е. нарушить целостность оболочки для облегчения попадания влаги внутрь семени. Создать трещины в кожуре семени нужно так, чтобы не повредить жизнеспособность семенного материала, обеспечить условия для ускоренного поступления воды внутрь семени и поточную обработку. Этого удобнее достичь при помощи обработки семян ультразвуком. Воздействие происходит за счет ударной волны при захлопывании кавитационных каверн в жидкости. Гидродинамические потоки и микропотоки вокруг неровностей на границе *твердое тело – жидкость* помогают убрать слой кутикулы на поверхности семени, что способствует попаданию влаги в семенной материал.

Наиболее эффективным в решении поставленной задачи для многолетних бобовых трав с твердой семенной оболочкой является сочетание обработки семян в ультразвуковом поле для достижения эффекта скарификации и в ЭМП СВЧ для стимуляции повышения всхожести и обеззараживания семян от патогенной микрофлоры.

Степень разработанности

В нашей стране и за рубежом исследования в этой области проводились такими учеными, как А.М. Басов, И.Ф. Бородин, А.С. Гинзбург, М.Г. Евреинов, Ф.Я. Изаков, С.П. Лебедев, Л.Г. Прищеп, В.И. Тарушкин, А.М. Худоногов, Г.И. Цугленок, Н.В. Цугленок, и их научными школами, а также другими учеными.

Научные исследования по выращиванию козлятника восточного и скарификации семян перед посевом с целью нарушения семенной оболочки и повышения всхожести и урожайности проводили и проводят: ПГСХА, ОмГАУ, ВолгГТУ, ГГАУ, БГСХА (Республика Беларусь).

Научные исследования по предпосевной обработке семян в ультразвуковом поле проводили в 30-50-е годы XX века и по настоящее время в Академии наук СССР, ВИР, ХНУТСХ (Украина), АлтГТУ.

Однако мало работ по комплексной обработке семян с твердой оболочкой ультразвуком и ЭМП СВЧ. Недостаточно изучена возможность поточной обработки семян ультразвуком. Недостаёт технологических установок, позволяющих обрабатывать семена последовательно ультразвуком и ЭМП СВЧ.

Целью диссертационной работы является повышение посевных качеств семян козлятника путем обоснования эффективных режимов предпосевной обработки ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи исследований**:

1. Провести анализ современного состояния существующих технологий улучшения посевных качеств семян многолетних бобовых трав.
2. Определить влияние режимов обработки семян козлятника ультразвуком на всхожесть, энергию прорастания, влажность, температуру и зараженность.
3. Определить влияние режимов обработки семян козлятника ЭМП СВЧ на всхожесть, энергию прорастания, влажность, температуру и зараженность.
4. Определить влияние режимов обработки семян козлятника ультразвуком и ЭМП СВЧ на всхожесть, энергию прорастания, влажность, температуру и зараженность.
5. Разработать электротехнологическую установку для предпосевной обработки семян с твердой оболочкой ультразвуком и ЭМП СВЧ и оценить экономическую эффективность ее внедрения.

Научная новизна исследований:

- получены уравнения регрессии, отражающие влияние режимов обработки семян козлятника ультразвуком, ЭМП СВЧ, ультразвуком и ЭМП СВЧ на всхожесть, энергию прорастания, влажность и зараженность семенного материала;
- обоснованы эффективные режимы обработки семян козлятника ультразвуком и ЭМП СВЧ, обеспечивающие их скарификацию, повышение всхожести, энергии прорастания, обеззараживание.

Теоретическая значимость работы

Получены новые экспериментальные данные, подтверждающие зависимость всхожести, энергии прорастания, влажности и зараженности семян козлятника от удельной мощности и экспозиции при обработке ультразвуком, ЭМП СВЧ, ультразвуком и ЭМП СВЧ, на основе которых сформированы эффективные режимы предпосевной обработки семян с твердой оболочкой на примере семян козлятника. Разработанные метод и методика предпосевной обработки семян могут быть использованы для других твердосемянных культур.

Практическая значимость работы:

- полученные эффективные режимы обработки положены в основу разработанной электротехнологической установки для предпосевной обработки семян ультразвуком и ЭМП СВЧ (патент на изобретение № 2479184). Электротехнологическая установка испытана в производственных условиях при подготовке семян козлятника к посеву в ГСХУ «Учебно-опытное хозяйство «Миндерлинское»;

- полученные эффективные режимы и методика исследований используются в учебном процессе кафедры «Электроснабжение сельского хозяйства» ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» при изучении дисциплины «Принципы инженерного творчества» по направлению 35.03.06 «Агроинженерия».

Работа выполнялась в соответствии с планом НИР Красноярского государственного аграрного университета и была включена в межведомственный координационный план СО РАСХН на период 2006–2010 гг. по заданию 09.02 «Разработать новые наукоемкие электротехнологии и оборудование для эффективного энергетического обеспечения технологий производства сельскохозяйственной продукции и социально-бытовой сферы села».

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач использовались: метод активного планирования эксперимента, метод лабораторного и полевого исследования, регрессионный и дисперсионный анализ обработки экспериментальных результатов.

На защиту выносятся:

- статистические модели, связывающие входные факторы и выходные параметры для исследования режимов обработки семян козлятника ультразвуком, ЭМП СВЧ, ультразвуком и ЭМП СВЧ;

- эффективные режимы предпосевной обработки семян козлятника ультразвуком, ЭМП СВЧ, ультразвуком и ЭМП СВЧ;

- принципы реализации электротехнологической установки для предпосевной обработки семян ультразвуком и ЭМП СВЧ.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность научных результатов подтверждается применением научно обоснованных методов, корректным использованием математического аппарата.

Материалы диссертации обсуждались и одобрены:

- на VII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы энергетики АПК» (г. Саратов, 2016);

- XIV Международной научно-практической конференции «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития», КрасГАУ (г. Красноярск, 2016);

- IV Международной научно-практической конференции «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии», Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского (г. Иркутск, 2015);

- XIII Международной конференции «Современные концепции научных исследований» (г. Москва, 2015);

- Международной научно-практической конференции «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития», КрасГАУ (г. Красноярск, 2015);

- научно-методологическом семинаре Института энергетики и управления энергетическими ресурсами АПК КрасГАУ (г. Красноярск, 2014);

- конференции «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития», КрасГАУ (г. Красноярск, 2012);

- региональной научно-практической конференции «Аграрная наука на рубеже веков», КрасГАУ (г. Красноярск, 2007);

- Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука на рубеже веков», КрасГАУ (г. Красноярск, 2005);

- 4-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», ГНУ ВИЭСХ (г. Москва, 2004).

Публикации. Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 14 печатных работах, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК: опубликовано 5 статей, получено 3 патента на изобретение, 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений, содержит 41 рисунок, 11 таблиц. Общий объем работы – 141 страница. Библиографический список из 206 источников. Пять приложений представлены на 17 страницах.

Содержание работы

Во введении изложены актуальность проблемы, цель, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе «Современное состояние проблемы предпосевной обработки и обеззараживания семян при возделывании кормовых культур» рассмотрено место многолетних бобовых трав в кормовом балансе на примере козлятника восточного.

Рассмотрены особенности и технология возделывания козлятника восточного, комплекс болезней бобовых культур. Проведен литературный и патентный обзор по существующим методам предпосевной обработки семян многолетних бобовых трав. Рассмотрены химический, физический способы, обработка семян в полях различного диапазона.

Описано строение семени козлятника восточного, анатомическое строение семенной кожуры, ее компонентный состав.

Рассмотрены способы скарификации семян с твердой оболочкой, обоснована комплексная обработка семян ультразвуком и ЭМП СВЧ.

Вторая глава «Методика определения эффективных режимов предпосевной обработки семян козлятника» посвящена описанию методики исследований воздействия ультразвука и ЭМП СВЧ при проведении опытов на семенах с твердой оболочкой на примере козлятника восточного.

Исследования проводились по методике активного планирования, позволяющей при минимальном количестве опытов получить максимум информации. Исследования проводились по плану Коно K_{02} .

Для определения корреляционных зависимостей между выходными параметрами и исследуемыми факторами по результатам лабораторных исследований составляется уравнение регрессии

$$Y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + B_{12}x_1x_2. \quad (1)$$

Адекватность полученного уравнения регрессии оценивается критерием Фишера

$$F_{ad} = \frac{S_{ad}^2}{\frac{1}{N} \sum_{u=1}^N s_u^2} \leq F_2(f_2, f_1), \quad (2)$$

где S_{ad}^2 – дисперсия для проверки адекватности уравнения;

S_u^2 – построчные дисперсии;

N – число наблюдений;

$F_2(f_2, f_1)$ – значение критерия Фишера при уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы (f_2, f_1) .

Структурная схема обработки семян ультразвуком, ЭМП СВЧ, ультразвуком и ЭМП СВЧ в лабораторных условиях приведена на рисунке 1.

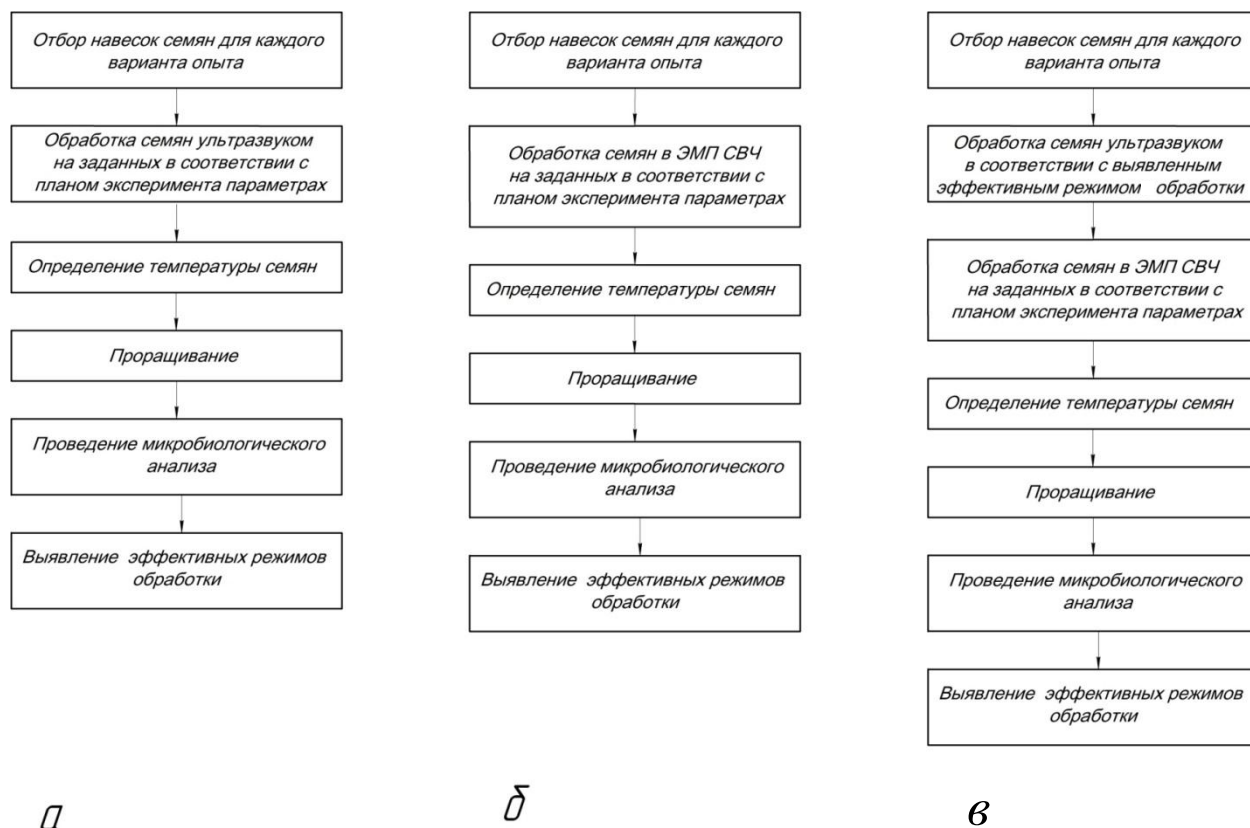


Рисунок 1 – Структурная схема обработки семян:
а – ультразвуком; *б* – ЭМП СВЧ; *в* – ультразвуком и ЭМП СВЧ

Для исследования воздействия ультразвука и ЭМП СВЧ выбрали культуру – козлятник дальневосточный, сорт Горноалтайский 87.

Семена проращивались в чашках Петри на фильтровальной бумаге, смоченной дистиллированной водой при комнатной температуре в термостате. Каждый вариант опыта обрабатывался в четырех повторностях. В каждую чашку Петри помещали 25 семян на равном расстоянии друг от друга. Согласно ГОСТу, энергию прорастания определяли на третьи сутки, всхожесть – на четырнадцатые.

При обработке семян ультразвуком $x_1(\tau)$ изменяется на трех уровнях: верхний (+1) равен 900 с, нижний (-1) – 500 с, нулевой (0) – 700 с; $x_2(P)$ изменяется на трех уровнях: верхний (+1) равен 720 Вт/дм³, нижний (-1) – 144 Вт/дм³, нулевой (0) – 432 Вт/дм³. Семена, замоченные на такое же время в воде, рассматривались как контрольный вариант.

При обработке семян ЭМП СВЧ $x_1(\tau)$ изменяется на трех уровнях: верхний (+1) равен 80 с, нижний (-1) – 20 с, нулевой (0) – 50 с; $x_2(P)$ изменяется на трех

уровнях: верхний (+1) равен 1545 Вт/дм³, нижний (-1) – 665 Вт/дм³, нулевой (0) – 1105 Вт/дм³.

После проведения опытов строится математическая модель, позволяющая определить эффективные режимы обработки семян козлятника восточного.

Третья глава «Анализ влияния режимов предпосевной обработки семян козлятника ультразвуком, ЭМП СВЧ, ультразвуком и ЭМП СВЧ» посвящена анализу полученных экспериментальных данных с целью определения режимов, которые способны наряду с увеличением биологической активности семян снизить зараженность до принятых в зоне порогов вредоносности.

Дисперсионный и регрессионный анализы позволили получить уравнения регрессии, описывающие процесс обработки семян ультразвуком:

$$y_1 = 33,667 + 7,292x_1 - 2,167x_2 - 1,625x_1^2 - 0,25x_2^2 - 0,563x_1x_2; \quad (3)$$

$$y_2 = 77,333 + 1,333x_1 + 1,833x_2 - 3x_1^2 + 1,5x_2^2; \quad (4)$$

$$y_3 = 77,777 + 0,833x_1 + 2,333x_2 - 3,167x_1^2 + 1,333x_2^2; \quad (5)$$

$$y_4 = 16,027 + 2,5x_1 + 0,958x_2 - 3,167x_1^2 - 1,291x_2^2 + 0,438x_1x_2; \quad (6)$$

$$y_5 = 6,889 - 1,333x_1^2 - 2,333x_2^2; \quad (7)$$

$$y_6 = 30,778 + 0,333x_1 - 2x_2; \quad (8)$$

$$y_7 = 11,444 + 1,333x_2 - 1,667x_1^2, \quad (9)$$

где x_1 – экспозиция обработки, с;
 x_2 – удельная мощность, Вт/дм³;
 y_1 – температура семян после обработки, °С;
 y_2 – лабораторная всхожесть семян, %;
 y_3 – лабораторная энергия прорастания, %;
 y_4 – влажность семян, %;
 y_5 – зараженность семян козлятника грибами р. *Fusarium*, %;
 y_6 – зараженность семян козлятника грибами р. *Alternaria*, %;
 y_7 – зараженность семян козлятника бактериозом, %.

Результаты исследований влияния режимов СВЧ-обработки приведены на рисунках 2–8.

Гипотеза не отвергается, уравнения регрессии признаются адекватными, потому что: $F_{ad1} = 0,534 < 2,57$; $F_{ad2} = 0,489 < 2,78$; $F_{ad3} = 0,423 < 2,78$; $F_{ad4} = 0,361 < 2,57$; $F_{ad5} = 0,609 < 2,49$; $F_{ad6} = 0,317 < 2,49$; $F_{ad7} = 0,977 < 2,49$

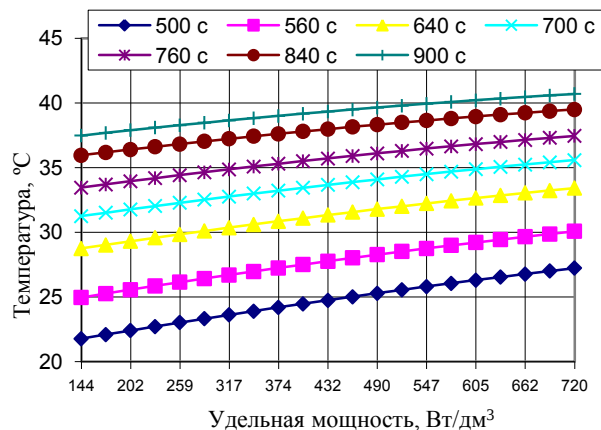


Рисунок 2 – Зависимость температуры семян козлятника от удельной мощности обработки ультразвуком P

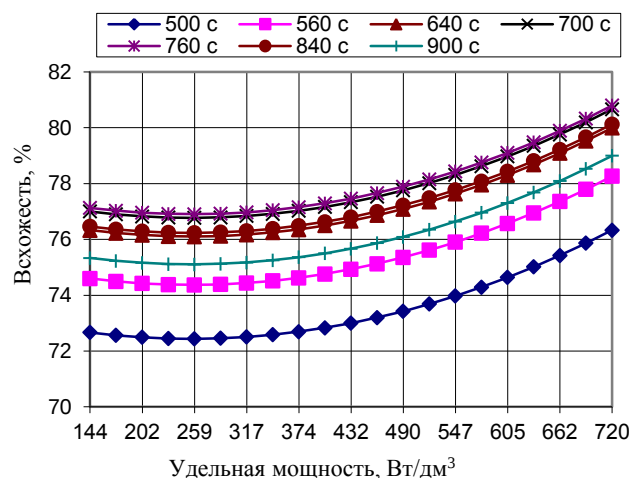


Рисунок 3 – Зависимость всхожести семян козлятника от удельной мощности обработки ультразвуком P

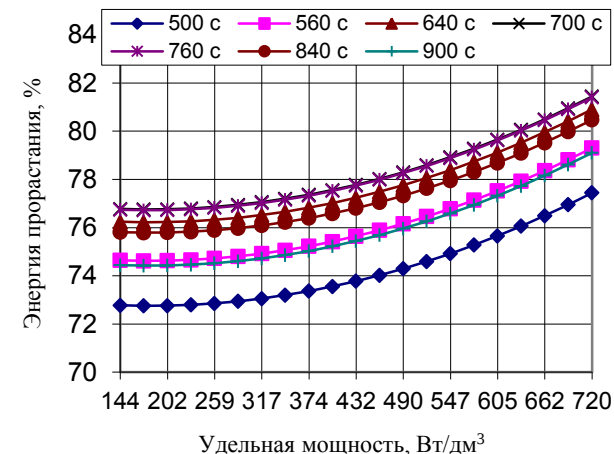


Рисунок 4 – Зависимость энергии прорастания семян козлятника от удельной мощности обработки ультразвуком P

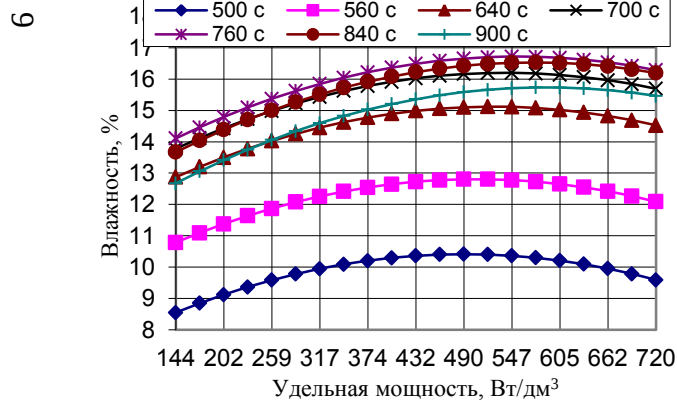


Рисунок 5 – Зависимость влажности семян козлятника от удельной мощности обработки ультразвуком P

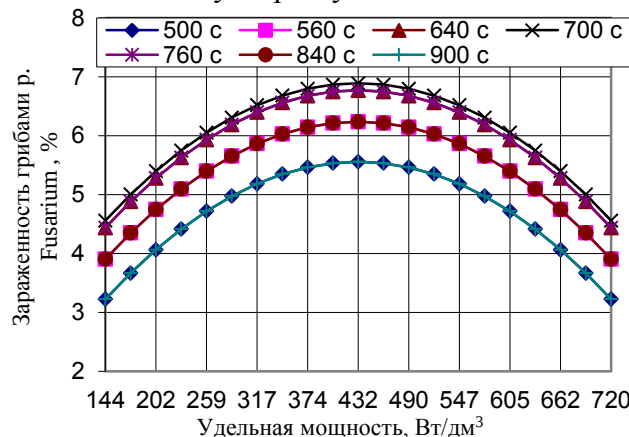


Рисунок 6 – Зависимость зараженности семян козлятника грибами рода *Fusarium* от удельной мощности обработки ультразвуком P

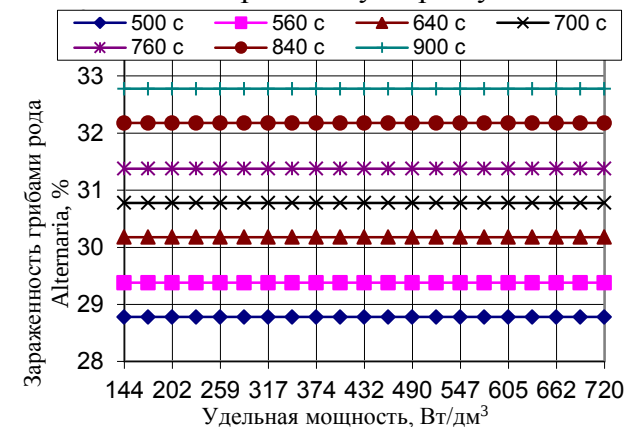


Рисунок 7 – Зависимость зараженности семян козлятника грибами рода *Alternaria* от удельной мощности обработки ультразвуком P

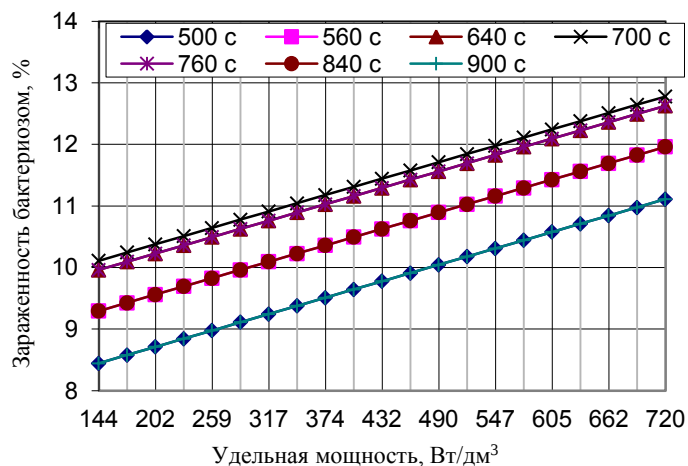


Рисунок 8 – Зависимость зараженности семян козлятника бактериозом от удельной мощности обработки ультразвуком P

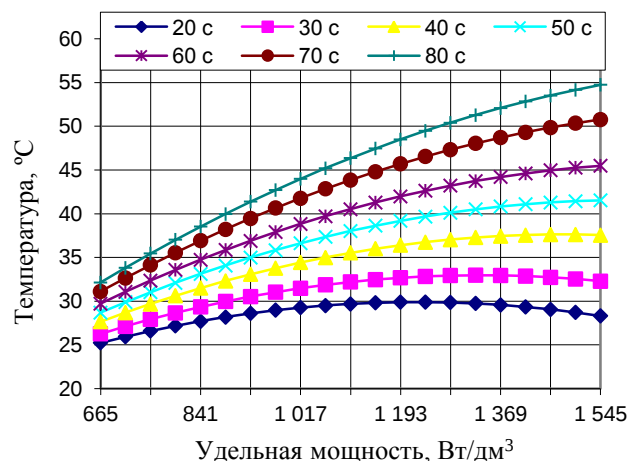


Рисунок 9 – Температура семян козлятника в зависимости от удельной мощности P обработки ЭМП СВЧ

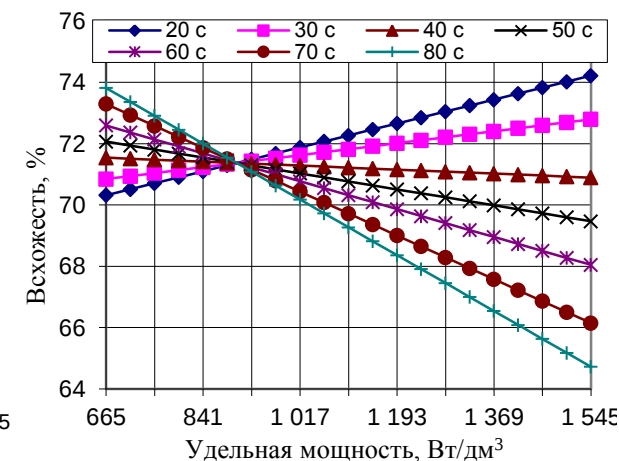


Рисунок 10 – Лабораторная всхожесть семян козлятника в зависимости от удельной мощности P обработки ЭМП СВЧ

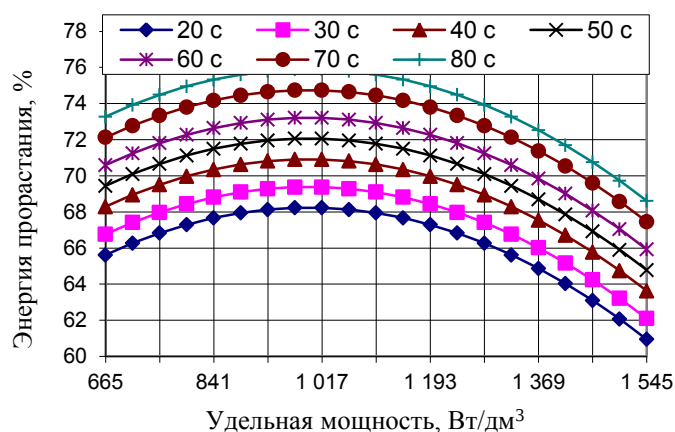


Рисунок 11 – Лабораторная энергия прорастания семян козлятника в зависимости от удельной мощности P обработки ЭМП СВЧ

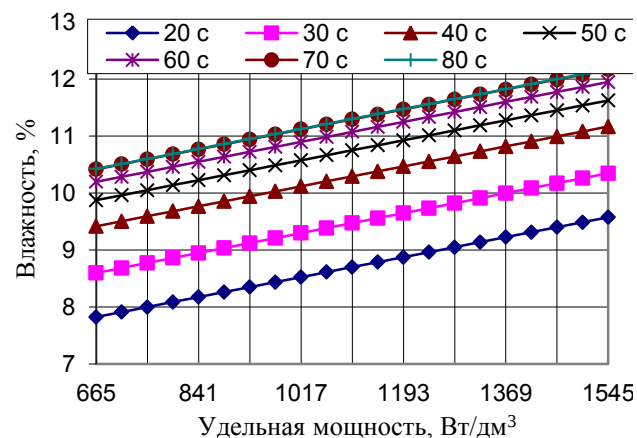


Рисунок 12 – Лабораторная влажность семян козлятника в зависимости от удельной мощности P обработки ЭМП СВЧ

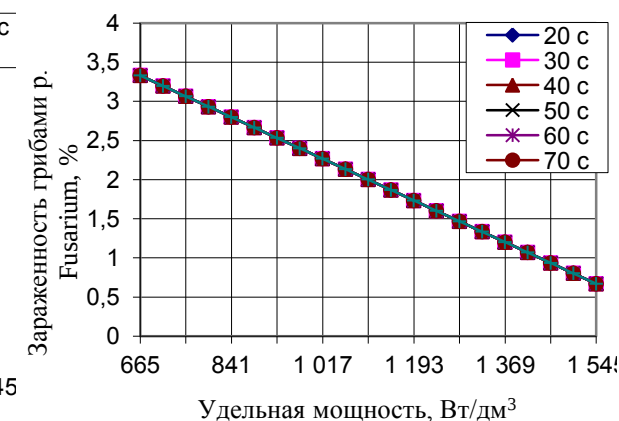


Рисунок 13 – Зараженность семян козлятника видами р. Fusarium в зависимости от удельной мощности P обработки ЭМП СВЧ

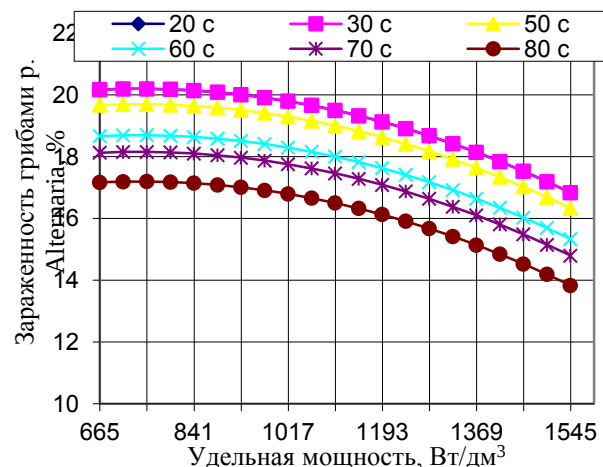


Рисунок 14 – Зараженность семян козлятника видами р. *Alternaria* в зависимости от удельной мощности P обработки ЭМП СВЧ

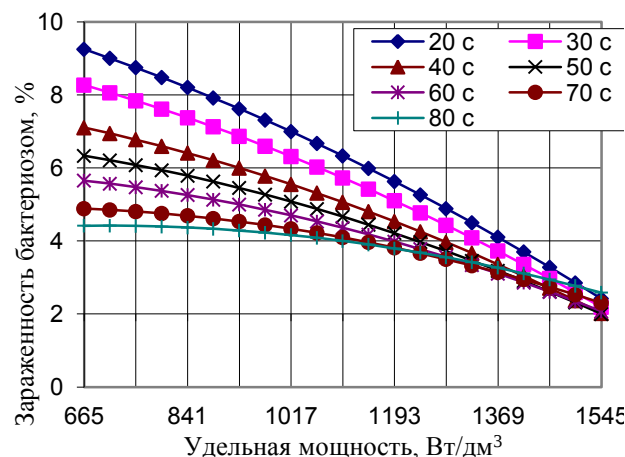


Рисунок 15 – Зараженность семян козлятника бактериозом в зависимости от удельной мощности P обработки ЭМП СВЧ

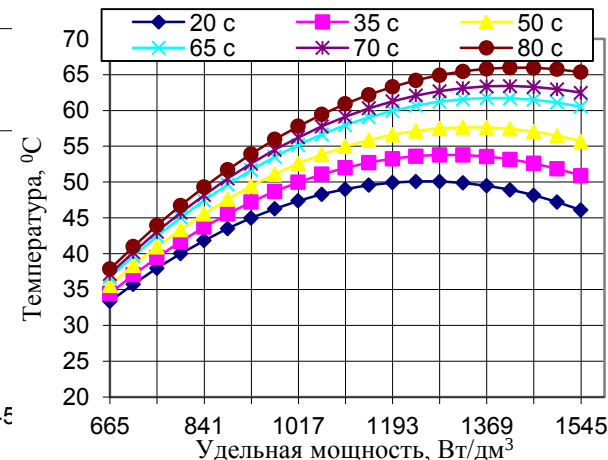


Рисунок 16 – Зависимость температуры семян козлятника от удельной мощности P обработки ультразвуком и ЭМП СВЧ

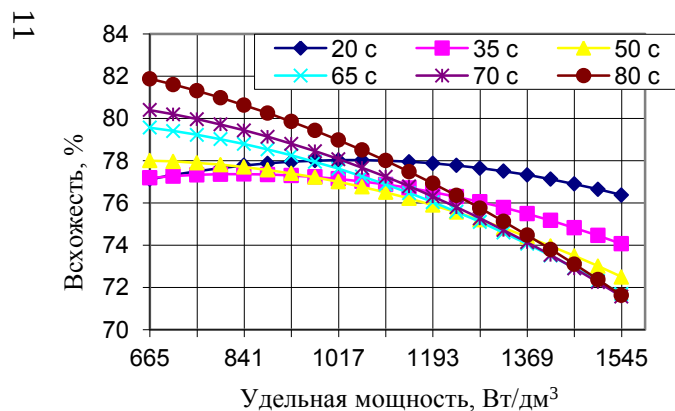


Рисунок 17 – Лабораторная всхожесть семян козлятника в зависимости от удельной мощности P обработки ультразвуком и ЭМП СВЧ

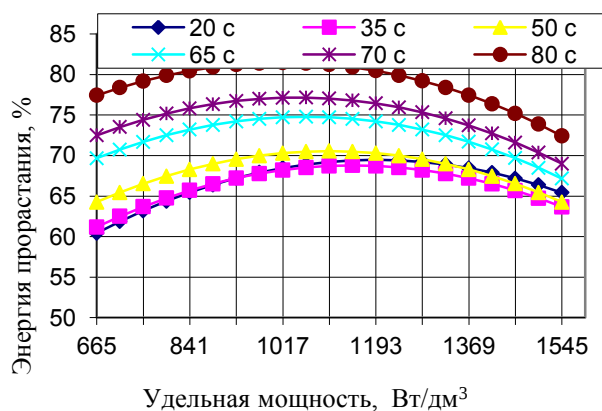


Рисунок 18 – Энергия прорастания семян козлятника в зависимости от удельной мощности P обработки ультразвуком и ЭМП СВЧ

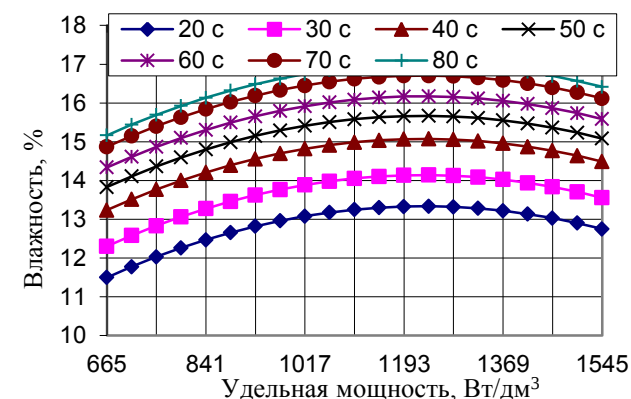


Рисунок 19 – Влажность семян козлятника в зависимости от удельной мощности P обработки ультразвуком и ЭМП СВЧ

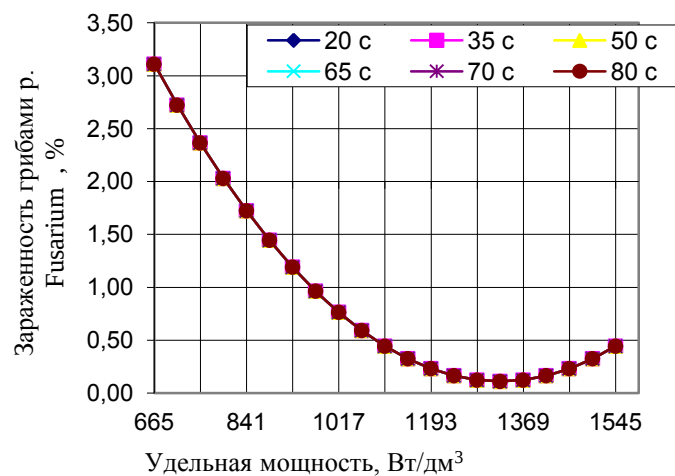


Рисунок 20 – Зараженность семян козлятника грибами р. *Fusarium* в зависимости от удельной мощности P обработки ультразвуком и ЭМП СВЧ

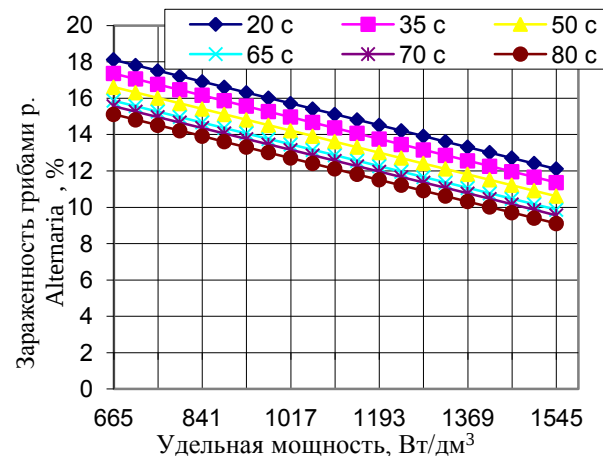


Рисунок 21 – Зараженность семян козлятника грибами р. *Alternaria* в зависимости от удельной мощности P обработки ультразвуком и в ЭМП СВЧ

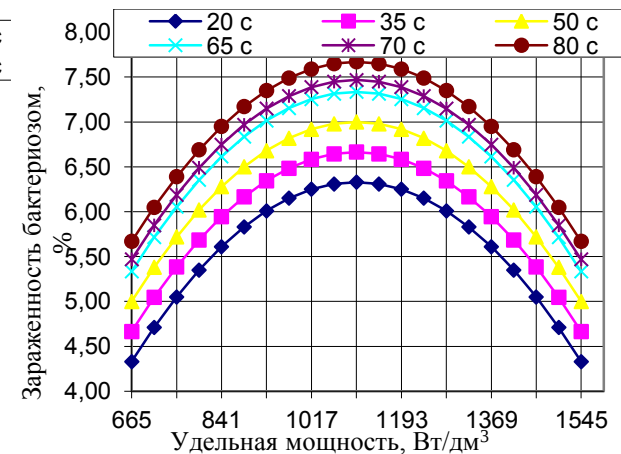


Рисунок 22 – Зараженность семян козлятника бактериозом в зависимости от удельной мощности P обработки ультразвуком и в ЭМП СВЧ

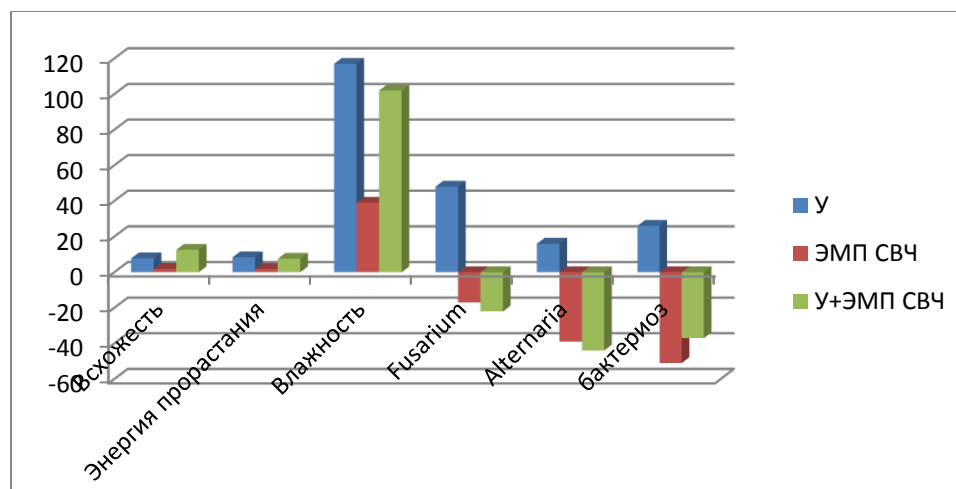


Рисунок 23 – Сводные данные по обработке семян козлятника ультразвуком, ЭМП СВЧ, ультразвуком и ЭМП СВЧ

Всхожесть, энергия прорастания, влажность семян козлятника в результате обработки ультразвуком имеют максимальные значения при времени обработки 760 с: чем больше подводимая мощность, тем больше процент увеличения параметра над контролем. При дальнейшем увеличении времени обработки всхожесть и энергия прорастания падают, но все же остаются выше контрольной.

Максимальная зараженность семян грибами рода *Fusarium* приходится на время обработки 700 с, наиболее высокое значение параметра при подводимой мощности 432 Вт/дм³, наиболее низкое при мощности 144 и 720 Вт/дм³. При дальнейшем увеличении времени обработки зараженность семян падает, но остается выше контрольной.

Зараженность семян грибами рода *Alternaria* возрастает на протяжении всего времени обработки независимо от мощности и превышает зараженность контрольного варианта.

Максимальная зараженность семян бактериозом приходится на время обработки 700 с: чем больше подводимая мощность, тем больше значение параметра. При дальнейшем увеличении времени обработки зараженность семян падает, но остается выше контрольной.

Всхожесть, энергия прорастания и влажность максимальны при времени обработки 760 с, зараженность семян грибами рода *Fusarium* и бактериозом – 700 с, зараженность грибами рода *Alternaria* возрастает с увеличением времени обработки.

В результате анализа проведенного опыта остановимся на режиме обработки семян ультразвуком со следующими значениями исследуемых факторов: $\tau=760$ с, $P=720$ Вт/дм³, в этом случае всхожесть, энергия прорастания и влажность будут максимальны. Для данного режима: температура семян 37,48 °С, всхожесть будет выше контроля на 7,81 %, энергия прорастания на 8,88 %, влажность семян на 115 %. Зараженность семян козлятника при этом возрастает: грибами рода *Fusarium* – 50 %, грибами рода *Alternaria* – 15,48 %, бактериозом – 27 %.

Дисперсионный и регрессионный анализы позволили получить уравнения регрессии, описывающие процесс обработки семян ЭМП СВЧ:

$$y_8 = 38,027 + 8,33x_3 + 6,417x_4 - 2,917x_4^2 + 4,875x_3x_4; \quad (10)$$

$$y_9 = 70,778 - 1,5x_3 - 1,3x_4 - 3,25x_3x_4; \quad (11)$$

$$y_{10} = 71,778 + 3,833x_3 - 2,333x_4 - 4,667x_4^2; \quad (12)$$

$$y_{11} = 10,75 + 1,33x_3 + 0,875x_4 - 0,75x_3^2; \quad (13)$$

$$y_{12} = 2 - 1,333x_4; \quad (14)$$

$$y_{13} = 19 - 1,667x_3 - 2x_4 - x_3^2 - x_4^2; \quad (15)$$

$$y_{14} = 4,667 - 1,167x_3 - 2,167x_4 + 1,25x_3x_4, \quad (16)$$

где x_3 – экспозиция обработки, с;
 x_4 – удельная мощность, Вт/дм³;
 y_8 – температура семян после обработки, °С;
 y_9 – лабораторная всхожесть семян, %;
 y_{10} – лабораторная энергия прорастания, %;
 y_{11} – влажность семян, %;
 y_{12} – зараженность семян козлятника грибами р. *Fusarium*, %;

y_{13} – зараженность семян козлятника грибами р. *Alternaria*, %;

y_{14} – зараженность семян козлятника бактериозом, %.

Результаты исследований влияния режимов СВЧ-обработки приведены на рисунках 9–15.

Гипотеза не отвергается, уравнения регрессии признаются адекватными, если:
 $F_{ad1} = 0,961 < 2,78$; $F_{ad2} = 1,273 < 2,59$; $F_{ad3} = 2,47 < 2,59$; $F_{ad4} = 2,398 < 2,59$;
 $F_{ad5} = 0,121 < 2,39$; $F_{ad6} = 0,648 < 2,59$; $F_{ad7} = 0,125 < 2,59$.

Согласно графику лабораторной всхожести, есть два эффективных режима обработки:

1) $P=1545$ Вт/дм³, $\tau=20$ с; 2) $P=665$ Вт/дм³, $\tau=80$ с.

Первый режим: температура семян достигает 28,32 °С, увеличение лабораторной всхожести относительно контроля находится в пределах 2,2 %, влажности – 27,7 %, снижение энергии прорастания – на 15,34 %, зараженности на 83,25 % – по грибам рода *Fusarium*; на 39,89 % – по грибам рода *Alternaria*; на 71,3 % – по бактериозу.

Второй режим: температура семян достигает 32,15 °С, увеличение лабораторной всхожести относительно контроля находится в пределах 1,82 %, энергии прорастания – 1,77 %, влажности – 39 %; снижение зараженности на 19,5 % – по грибам рода *Fusarium*; 38,67 % – по грибам рода *Alternaria*; на 50,88 % – по бактериозу.

Дисперсионный и регрессионный анализы позволили получить уравнения регрессии, описывающие процесс обработки семян энергией ультразвукового и СВЧ-полей:

$$y_{15} = 54,945 + 5,945x_3 + 10,054x_4 + 9,312x_4^2 + 7,625x_3x_4; \quad (17)$$

$$y_{16} = 76,5 - 2,75x_4 + 1,5x_3^2 - 1,25x_4^2 - 2,375x_3x_4; \quad (18)$$

$$y_{17} = 70,556 + 6x_3 + 4,667x_3^2 - 6,3x_4^2 - 2,5x_3x_4; \quad (19)$$

$$y_{18} = 15,583 + 1,833x_3 + 0,625x_4 - 0,5x_3^2 - 1,125x_4^2; \quad (20)$$

$$y_{19} = 0,444 - 1,333x_4 + 1,333x_4^2; \quad (21)$$

$$y_{20} = 13,611 - 1,5x_3 - 3x_4; \quad (22)$$

$$y_{21} = 7 + 0,67x_3 - 2x_4^2; \quad (23)$$

где x_3 – экспозиция обработки, с;
 x_4 – удельная мощность, Вт/дм³;
 y_{15} – температура семян после обработки, °С;
 y_{16} – лабораторная всхожесть семян, %;
 y_{17} – лабораторная энергия прорастания, %;
 y_{18} – влажность семян, %;
 y_{19} – зараженность семян козлятника грибами р. *Fusarium*, %;
 y_{20} – зараженность семян козлятника грибами р. *Alternaria*, %;
 y_{21} – зараженность семян козлятника бактериозом, %.

Результаты исследований влияния режимов СВЧ-обработки приведены на рисунках 16–22.

Гипотеза не отвергается, уравнения регрессии признаются адекватными, потому что: $F_{ad15} = 0,426 < 2,78$; $F_{ad16} = 2,31 < 2,78$; $F_{ad17} = 0,896 < 2,78$;

$F_{ad18} = 2,367 < 2,78$; $F_{ad19} = 1,035 < 2,49$; $F_{ad20} = 0,137 < 2,49$; $F_{ad21} = 0,51 < 2,49$.

Согласно рисунку 16, существуют два эффективных режима, обеспечивающих максимальную всхожесть: 1) $P = 665 \text{ Вт/дм}^3$, $\tau = 80 \text{ с}$ – всхожесть при этом 81,88 %; 2) $P = 1325 \text{ Вт/дм}^3$, $\tau = 20 \text{ с}$ – всхожесть 78 %.

Энергия прорастания при $P = 665 \text{ Вт/дм}^3$, $\tau = 80$ составляет 77,43 %; при $P = 1325 \text{ Вт/дм}^3$, $\tau = 20 \text{ с}$ – 68,98 %. Энергия прорастания контрольного варианта 73 %.

Влажность семян козлятника увеличивается с увеличением мощности: чем выше значение времени обработки, тем выше значение параметра.

Зараженность семян грибами р. *Fusarium* уменьшается от мощности 665 Вт/дм³ до мощности 1325 Вт/дм³, затем до мощности 1545 Вт/дм³ зараженность увеличивается при любом значении экспозиции.

Зараженность семян грибами р. *Alternaria* уменьшается с увеличением мощности: чем больше значение времени обработки, тем ниже значение параметра.

Зараженность семян козлятника бактериозом увеличивается от мощности 665 Вт/дм³ до мощности 1105 Вт/дм³, затем при увеличении мощности зараженность снижается. Чем выше значение времени обработки, тем выше значение параметра.

Зараженность семян козлятника грибами р. *Fusarium*, грибами р. *Alternaria*, бактериозом в любом случае ниже контрольного варианта.

По результатам анализа можно выделить следующий эффективный режим обработки: ультразвук – удельная мощность 720 Вт/дм³, экспозиция 760 с; ЭМП СВЧ – удельная мощность – 665 Вт/дм³, экспозиция – 80 секунд. В результате обработки семян в этом случае всхожесть и энергия прорастания будут максимальными, влажность выше контрольного варианта, зараженность семян ниже контрольного варианта.

При данном эффективном режиме температура семян составляет 37,87 °С, увеличение лабораторной всхожести относительно контроля составляет 12,16 %, энергии прорастания – 7,54 %, влажности – 26,4 %; снижение зараженности на 22 % – по грибам рода *Fusarium*; на 44 % – по грибам р. *Alternaria*; на 37 % – по бактериозу.

Данные по обработке семян козлятника ультразвуком, ЭМП СВЧ, ультразвуком и ЭМП СВЧ сведены и представлены на рисунке 23.

При обработке ультразвуком достигается увеличение всхожести, энергии прорастания и влажности семян, но наблюдается увеличение зараженности. При обработке семенного материала ЭМП СВЧ удастся добиться снижения зараженности. При совместной обработке семян ультразвуком и ЭМП СВЧ одновременно увеличивается всхожесть и снижается зараженность.

Четвертая глава «Принципы реализации электротехнологической линии по предпосевной обработке семян с твердой оболочкой и ее технико-экономическая оценка». Для обеспечения обработки семян в пределах полученного эффективного режима разработана технологическая линия (пат. РФ на изобретение № 2479184) (рис. 24).

Электротехнологическая установка состоит из бункера-дозатора нории 1, нории 2, бункера сепаратора 3 и сепаратора 4, который состоит из заслонки 5, регулирующей подачу семян на сепаратор, ультразвукового вибратора 6, через который семена подаются на вибростенд 7, где семена разделяются по размеру: мелкие семена попадают в бункер 8, крупные – в бункер 9, а остальные семена через калиброванную

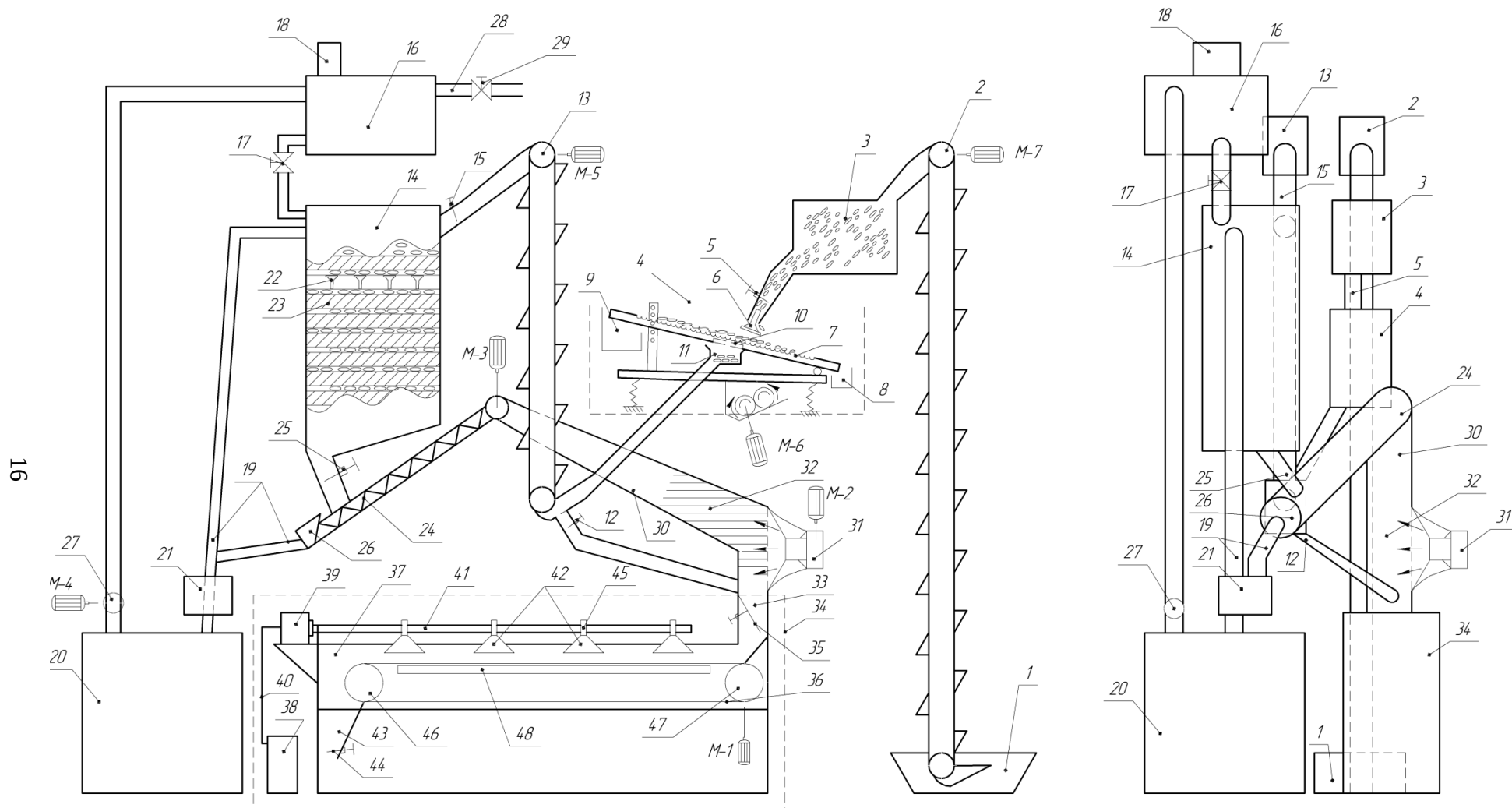


Рисунок 24 – Технологическая линия обработки семян ультразвуковым полем и СВЧ-энергией

решетку 10 попадают в бункер для калиброванных семян 11. Бункер для калиброванных семян 11 соединен с норией 13, поднимающей семена в рабочую ультразвуковую (УЗ) камеру 14 через заслонку 15. Ультразвуковая камера 14 соединена с верхним расширительным баком 16 через электромагнитную заслонку 17. Верхний расширительный бак 16 соединен с бункером с активными веществами 18 и с нижним расширительным баком через заслонку 15. Ультразвуковая камера 14 соединена с верхним расширительным баком 16 через электромагнитную заслонку 17. Верхний расширительный бак 16 соединен с бункером с активными веществами 18 и с нижним расширительным баком 20. Ультразвуковая камера 14 содержит ультразвуковые излучатели 22 и направляющие 23 и соединена патрубком 19 с нижним расширительным баком 20 через фильтр 21 и шнековым транспортером с перфорированным желобом 24 через заслонку 25. Нижний расширительный бак 20 снабжен насосом 27 для перекачивания жидкости в верхний расширительный бак 16. Предусмотрено пополнение воды в верхнем расширительном баке 16 через патрубок 28 и электромагнитную заслонку 29 из внешней системы. Шнековый транспортер с перфорированными стенками 24 снабжен приемной камерой воды 26 и соединен с желобом 30 и накопительным каналом 33, соединенным с рамой 34. В накопительном канале 33 и желобе 30 влажные семена подсушиваются электрокалорифером 31 с зоной работы 33. Через заслонку 35 семена поступают на ленточный транспортер 36 СВЧ-камеры 37.

На раме 34 установлен корпус СВЧ-камеры 37, в верхней части которой крепятся рупоры 42, соединенные между собой прямоугольным СВЧ волноводом 41, в конце которого установлено согласующее устройство 45, предназначенное для согласования нагрузки с выходной мощностью СВЧ-генератора. Волновод 41 присоединен к силовому блоку 39, который посредством питающего кабеля 40 связан со шкафом управления СВЧ-генератора 38. Внутри корпуса СВЧ-камеры 37 установлены ведущий 46 и ведомый 47 валы, на которых установлен ленточный транспортер 36, для исключения провеса которого служит опорная направляющая 48. В нижней части корпуса СВЧ-камеры 37 размещен бункер-накопитель 43 с шиберной заслонкой 44.

В результате обработки семян козлятника ультразвуком и ЭМП СВЧ, согласно выявленному эффективному режиму, всхожесть в полевых условиях больше на 9,9 %, чем у контрольного варианта, что согласуется с лабораторными исследованиями.

Предпосевная обработка семян козлятника ультразвуком и ЭМП СВЧ позволяет получить дополнительный доход в 3150 руб/га при расходе электрической энергии 21 кВт·ч/т, а срок окупаемости – в течение одного посевного сезона при минимальной площади посева 106 га.

Выводы

1. Семена с твердой оболочкой, такие как у многолетних бобовых трав, целесообразно сначала скарифицировать, т.е. нарушить целостность оболочки для облегчения попадания влаги внутрь семени. Создать трещины в кожуре семени нужно так, чтобы не повредить жизнеспособность семенного материала, обеспечить условия для ускоренного поступления воды внутрь семени и поточную обработку. Этого удобнее достичь при помощи обработки семян ультразвуком.

2. Проведенный анализ современных методов подготовки семян многолетних бобовых трав к посеву показывает, что среди множества существующих способов обеззараживания наиболее перспективным является использование ЭМП СВЧ.

3. Для предпосевной обработки семян с твердой оболочкой целесообразно использовать воздействие ультразвуком – для скарификации и электромагнитным СВЧ-полем – для обеззараживания семян и активации ростовых процессов.

4. Для предпосевной обработки семян с твердой оболочкой целесообразно использовать следующие факторы влияния на обработку семян: τ – экспозиция обработки, с; P – удельная мощность, Вт/дм³. Входные параметры варьируются на трех уровнях: минимальном (-1); среднем (0); максимальном (+1).

5. Обработка семян ультразвуком позволяет добиться увеличения всхожести, энергии прорастания и влажности путем скарификации, но способствует увеличению их зараженности. Обработка в ЭМП СВЧ позволяет снизить зараженность и дополнительно увеличить всхожесть, энергию прорастания и влажность. Поэтому для семян с твердой оболочкой целесообразна комплексная обработка. В частности, для семян козлятника восточного рекомендуются следующие параметры ультразвуковой и СВЧ-обработки:

1) в ультразвуковое поле: $f=35$ кГц; $\tau=760$ с; $P=720$ Вт/дм³;

2) в ЭМП СВЧ: $\tau=80$ с; $P=665$ Вт/дм³.

При таком режиме обработки температура семян составляет 37,8 °С, увеличение лабораторной всхожести относительно контроля – 12,16 %, энергии прорастания – 7,54 %, влажности – 102,2 %; снижение зараженности на 22 % – по грибам рода *Fusarium*; на 44 % – по грибам р. *Alternaria*; на 37 % – по бактериозу.

6. Разработанная технологическая установка позволяет обрабатывать семена с твердой оболочкой последовательно в ультразвуковом поле, нарушая целостность этой оболочки, и в ЭМП СВЧ, обеззараживая семена и стимулируя ростовые процессы. Предусмотрена возможность обработки семян только в ЭМП СВЧ, что позволяет обрабатывать семена всех типов.

7. В результате обработки семян козлятника ультразвуковым полем и СВЧ-полем всхожесть в полевых условиях больше на 9,9 %, чем в контрольном варианте.

8. Предпосевная обработка семян козлятника ультразвуком и ЭМП СВЧ позволяет получить дополнительный доход в 3150 руб/га при расходе электрической энергии 21 кВт·ч/т, а срок окупаемости – в течение одного посевного сезона при минимальной площади посева 106 га.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ

1. Зубова, Р.А. Обработка семян СВЧ-энергией / Р.А. Зубова, А.В. Бастрон, А.А. Василенко, А.В. Заплетина, М.В. Горелов // Сельский механизатор. – 2017. – № 4. – С. 16–17, 35.

2. Зубова, Р.А. Установка для предпосевной обработки семян кормовых культур с твердой оболочкой энергией СВЧ-поля и ультразвуком / Р.А. Зубова, Н.В. Кулаков, Т.Н. Бастрон, В.А. Кожухов // Вестник ИрГСХА. – 2015. – № 68. – С. 94–99.

3. Зубова, Р.А. Исследование режимов предпосевной обработки семян козлятника энергией СВЧ-поля и ультразвуком / Г.И. Цугленок, Т.Н. Бастрон, А.А. Василенко, Р.А. Зубова // Вестник ИрГСХА. – 2014. – № 65. – С. 117–124.

4. Зубова, Р.А. Электротехнологическая установка для предпосевной обработки семян с твердой оболочкой / Г.И. Цугленок, Р.А. Зубова, И.О. Богульский // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 5. – С. 347–350.

5. Зубова, Р.А. Исследование режимов предпосевной обработки семян эспарцета и козлятника / Г.И. Цугленок, Р.А. Зубова // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 4. – С. 233–243.

Другие научные публикации

6. Зубова, Р.А. Расчет параметров схемы замещения семян с твердой оболочкой в СВЧ-поле / Р.А. Зубова, В.А. Кожухов, А.В. Себин // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2016. – С. 80–85.

7. Зубова, Р.А. Разработка методики комплексной предпосевной обработки семян с твердой оболочкой / Р.А. Зубова, В.А. Кожухов // Актуальные проблемы энергетики АПК: мат-лы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: ООО «ЦеСАин», 2016. – С. 106–108.

8. Зубова, Р.А. Кавитационная модель разрушения поверхности семян / Р.А. Зубова, А.В. Себин, А.В. Бастрон, В.А. Кожухов // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: мат-лы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне (1941–1945 гг.) и 100-летию со дня рождения А.А. Ежовского (27–29 мая 2015 г.). – Иркутск, 2015. – Ч. 2. – С. 24–29.

9. Зубова, Р.А. Теоретическое обоснование энергетических взаимодействий в ультразвуковом поле при обработке семян с твердой оболочкой / Р.А. Зубова, В.А. Кожухов, А.В. Себин // Современные концепции научных исследований: мат-лы XIII Междунар. конф. Евразийского союза ученых. – М., 2015. – № 4. – Ч. 2. – С. 98–103.

10. Зубова, Р.А. Электротехнологическая установка для предпосевной обработки семян / Г.И. Цугленок, Р.А. Зубова // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. – Ч. II. Наука: опыт, проблема, перспективы развития. – Красноярск, 2012. – С. 127–130.

11. Зубова, Р.А. Устройство для ультразвукового фокусированного воздействия на биологические объекты / Г.И. Цугленок, С.Н. Шахматов, А.В. Бастрон, Р.А. Зубова, А.В. Мещеряков // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2007. – Ч. 2. – С. 186–188.

12. Зубова, Р.А. Электротехнологическая установка для предпосевной обработки семян твердосеменных культур / Г.И. Цугленок, С.Н. Шахматов, Р.А. Зубова // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2007. – Ч. 2. – С. 190–192.

13. Зубова, Р.А. Определение рациональных режимов предпосевной обработки семян козлятника с использованием электронных таблиц EXCEL / Г.И. Цугленок, Р.А. Зубова // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2005. – С. 280–283.

14. Зубова, Р.А. Методы предпосевной обработки семян многолетних бобовых трав / Г.И. Цугленок, А.П. Халанская, Р.А. Зубова // Энергетика и энергосбережение: прил. к «Вестнику КрасГАУ»: сб. ст. – Красноярск, 2004. – Вып. 2. – С. 9–13.

Патенты РФ

15. Пат. 2488262 Российская Федерация, МПК A01C 1/00. Электротехнологическая установка / Цугленок Г.И., Зубова Р.А., Сергиенко А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» (RU). – № 2011142711/13; заявл. 21.10.2011; опубл. 27.07.2013.

16. Пат. 2479184 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Электротехнологическая установка / Цугленок Г.И., Зубова Р.А., Егоров А.П.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» (RU). – № 2011137776/13; заявл. 13.09.2011; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11. – 8 с.

17. Пат. 2312479 Российская Федерация, С2 МПК А01С 1/00. Электротехнологическая установка / Шахматов С.Н., Цугленок Г.И., Зубова Р.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» (RU). – № 2006102475/13; заявл. 27.01.2006; опубл. 20.12.2007, Бюл. № 35. – 6 с.

18. Полезная модель 61133 U1, Российская Федерация, МПК А61Н 23/00, А61В 17/32. Устройство для ультразвукового фокусированного воздействия на биологические объекты / Цугленок Г.И., Шахматов С.Н., Бастрон А.В., Зубова Р.А., Мещеряков А.В., Зубов А.Ф.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». – № 2006138641/12; заявл. 01.11.2006; опубл. 27.02.2007, Бюл. № 6.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 9.10.2017. Формат 60×90/16. Бумага тип. № 1.

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 242

Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117