

На правах рукописи

ШУШАРИН Алексей Валерьевич



**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОПОННОГО
КОРМОПРОИЗВОДСТВА ПУТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
ОБРАБОТКИ СУБСТРАТА И СЕМЯН**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии
и электрооборудование в сельском хозяйстве

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2013

Работа выполнена на кафедре «Физика» ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Басарыгина Елена Михайловна

Официальные оппоненты: **Башилов Алексей Михайлович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электротехнологии
в сельскохозяйственном производстве»
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
агроинженерный университет
имени В. П. Горячкина»

Знаев Александр Степанович,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Электротехника и автоматика»
ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная
агроинженерная академия»

Ведущая организация: ГНУ «Сибирский научно-исследовательский
институт механизации и электрификации
сельского хозяйства» Россельхозакадемии

Защита состоится «29» ноября 2013 г., в 14.00 часов на заседании
диссертационного совета Д 220.069.01 на базе ФГБОУ ВПО «Челябин-
ская государственная агроинженерная академия» по адресу: 454080,
г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 75.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Че-
лябинская государственная агроинженерная академия».

Автореферат разослан «23» октября 2013 г. и размещен на официальном
сайте ВАК при Министерстве образования и науки России <http://vak.ed.gov.ru>
и на сайте ФГБОУ ВПО ЧГАА <http://www.csa.ru>.

Ученый секретарь
диссертационного
совета



Возмилов
Александр Григорьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Гидропонное кормопроизводство, не использующее почвенные ресурсы, способствует получению экологически чистого, хорошо усвояемого корма.

К наиболее прогрессивным относится метод выращивания гидропонного зеленого корма, при котором для его обогащения используется субстрат, обладающий свойствами удобрения и кормовой добавки (в частности сапропель), а также семена овса, содержащие большое количество клетчатки.

Однако получение корма на гидропонной основе сопряжено со значительными энергозатратами, в связи с чем разработка технических средств для повышения эффективности гидропонного кормопроизводства является актуальной задачей. Целесообразным представляется использование ультразвуковой (УЗ) обработки, которая позволит активировать процессы прорастания семян и улучшить условия минерального питания, что будет способствовать повышению выхода биомассы корма. Недостаточная степень изученности данного вопроса послужила основой для постановки цели и задач исследования.

Настоящая работа посвящена вопросу использования ультразвука для предпосевной подготовки семян и субстрата в гидропонном кормопроизводстве. Исследования проводились в соответствии с разделом федеральной программы по научному обеспечению АПК Российской Федерации: шифр 01.02 – «Разработать перспективную систему технологий и машин для производства продукции растениеводства и животноводства на период до 2015 г.», а также планом НИР ЧГАА на 2010–2013 гг.

Цель исследования: повышение эффективности гидропонного кормопроизводства путем использования технических средств электротехнологии.

Задачи исследования:

1. Определить влияние режимов ультразвуковой обработки семян и субстрата на отклик растений и получить математическую модель выхода биомассы.
2. Разработать установку для обработки субстрата и семян в ультразвуковом поле.

3. Разработать технологию гидропонного выращивания зеленого корма, включающую в себя обработку субстрата и семян в ультразвуковом поле.

Объект исследования: использование ультразвука для предпосевной обработки семян и субстрата в гидропонном кормопроизводстве.

Предмет исследования: закономерности процесса ультразвуковой обработки и изменения биомассы зеленого корма при различных режимах предпосевной подготовки семян и субстрата.

В результате проведенного анализа научно-технической литературы была сформулирована рабочая **гипотеза**: обработка семян и субстрата, используемых при выращивании гидропонного зеленого корма, в ультразвуковом поле представляется целесообразной, поскольку активизирует процессы прорастания и улучшает условия минерального питания растений, что позволит семенам реализовать свои потенциальные возможности и приведет к увеличению получаемой биомассы.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту:

– в работе впервые предложено и апробировано использование ультразвука для предпосевной подготовки семян и субстрата в условиях гидропонного кормопроизводства (на примере сапропеля и семян овса). Предпосевную подготовку предложено осуществлять путем последовательной обработки субстрата и семян в ультразвуковом поле;

– предложена методика определения основных физических характеристик процесса УЗ-обработки семян и субстрата; установлена взаимосвязь продолжительности УЗ-обработки с электрофизическими и спектрально-оптическими свойствами полученной суспензии;

– получены математические модели, описывающие отклик растений на УЗ-обработку семян и субстрата; разработана методика оценки эффективности обогащения зеленого корма.

Практическая ценность работы и реализация ее результатов. На основе результатов диссертационной работы разработана и опробована установка для УЗ-обработки семян и субстрата. Полученные математические модели и установленные взаимосвязи могут использоваться при проектировании установок для предпосевной обработки семян и субстрата в ультразвуковом поле.

Результаты, полученные в диссертационной работе, позволяют дать практические рекомендации по применению ультразвука для предпосевной подготовки семян и субстрата в гидропонном кормопроизводстве. Новизна технических решений подтверждена двумя патентами РФ.

На основе проведенных исследований разработаны и приняты к внедрению: технология гидропонного выращивания зеленого корма, включающая в себя использование УЗ-обработки семян и субстрата (ОАО «Птицефабрика „Челябинская“», г. Челябинск); методика оценки эффективности обогащения зеленого корма (Министерство сельского хозяйства Челябинской области, г. Челябинск). Результаты работы используются в учебном процессе Челябинской государственной агроинженерной академии.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы обсуждались и были одобрены на ежегодных научно-технических конференциях ФГБОУ ВПО ЧГАА (2010–2013 гг.), ФГБОУ ВПО Башкирский ГАУ (2011 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 9 научных работ, в том числе 2 патента РФ и 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, библиографии из 147 наименований и 5 приложений. Содержание работы изложено на 151 странице, текст содержит 29 рисунков и 18 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность темы, определена цель и сформулированы задачи исследования, кратко изложены основные положения, выносимые на защиту, представлена общая характеристика работы.

Первая глава «Состояние вопроса и задачи исследований» посвящена анализу публикаций. Гидропонное кормопроизводство, относящееся к растениеводству защищенного грунта, сопряжено со значительными затратами энергии, в связи с чем разработка

технических средств для повышения эффективности производства гидропонной биомассы является актуальной задачей. В этом плане перспективным представляется повышение урожайности и качества корма за счет использования поедаемого субстрата (сапропеля), обладающего свойствами кормовой добавки и удобрения, а также семян с большим содержанием клетчатки (овса).

На основе анализа научно-технической и патентной литературы установлено, что использование ультразвука позволит активировать процессы прорастания семян и улучшить условия минерального питания, что будет способствовать увеличению продуктивности растений.

В работах А. М. Басова, Н. Ф. Батыгина, И. Ф. Бородина, А. С. Знаева, Ф. Я. Изакова, А. Н. Мироновой, Э. А. Каменира, Г. В. Новиковой, В. М. Попова, Л. Г. Прищепа, В. И. Тарушкина, В. Н. Шмигеля и других ученых показано, что эффективность традиционного (почвенного) растениеводства может быть повышена путем использования методов и технических средств электротехнологии для обработки посевного материала. В работах А. Н. Марченко и ряде других публикаций рассматриваются вопросы ультразвуковой обработки комплексных субстратов при выращивании гидропонного зеленого корма (ГЗК). Однако возможности использования ультразвука для предпосевной подготовки семян и субстрата в условиях гидропонного кормопроизводства изучены не полностью, поскольку не определены: основные физические характеристики процесса ультразвуковой обработки; электрофизические и спектрально-оптические свойства получаемой суспензии, влияющие на отклик растений; режимы ультразвукового воздействия, способствующие увеличению урожайности. Вышеуказанное позволило определить объект и предмет исследования.

На основе выполненного анализа была поставлена цель исследования и определены его задачи; сформулирована рабочая гипотеза исследования.

Во второй главе *«Теоретическое обоснование условий для эффективного использования ультразвука в технологии гидропонного кормопроизводства»* изложено следующее. Производство обогащенного корма из семян овса и сапропелевого субстрата затруднено: сапропель содержит макроагрегаты и неоднороден по составу; семе-

на овса покрыты большим числом оболочек и чешуй, обладающих гидрофобными свойствами (рисунок 1). Предлагаемое воздействие ультразвука повлияет на проращивание семян и минеральное питание растений, поскольку будет способствовать: активации процессов оводнения; разрушению макроагрегатов, образованных гуминовыми веществами и глинистыми фракциями, содержащимися в сапропеле; диспергированию и гомогенизации субстрата; ускорению процесса экстракции гуминовых веществ.

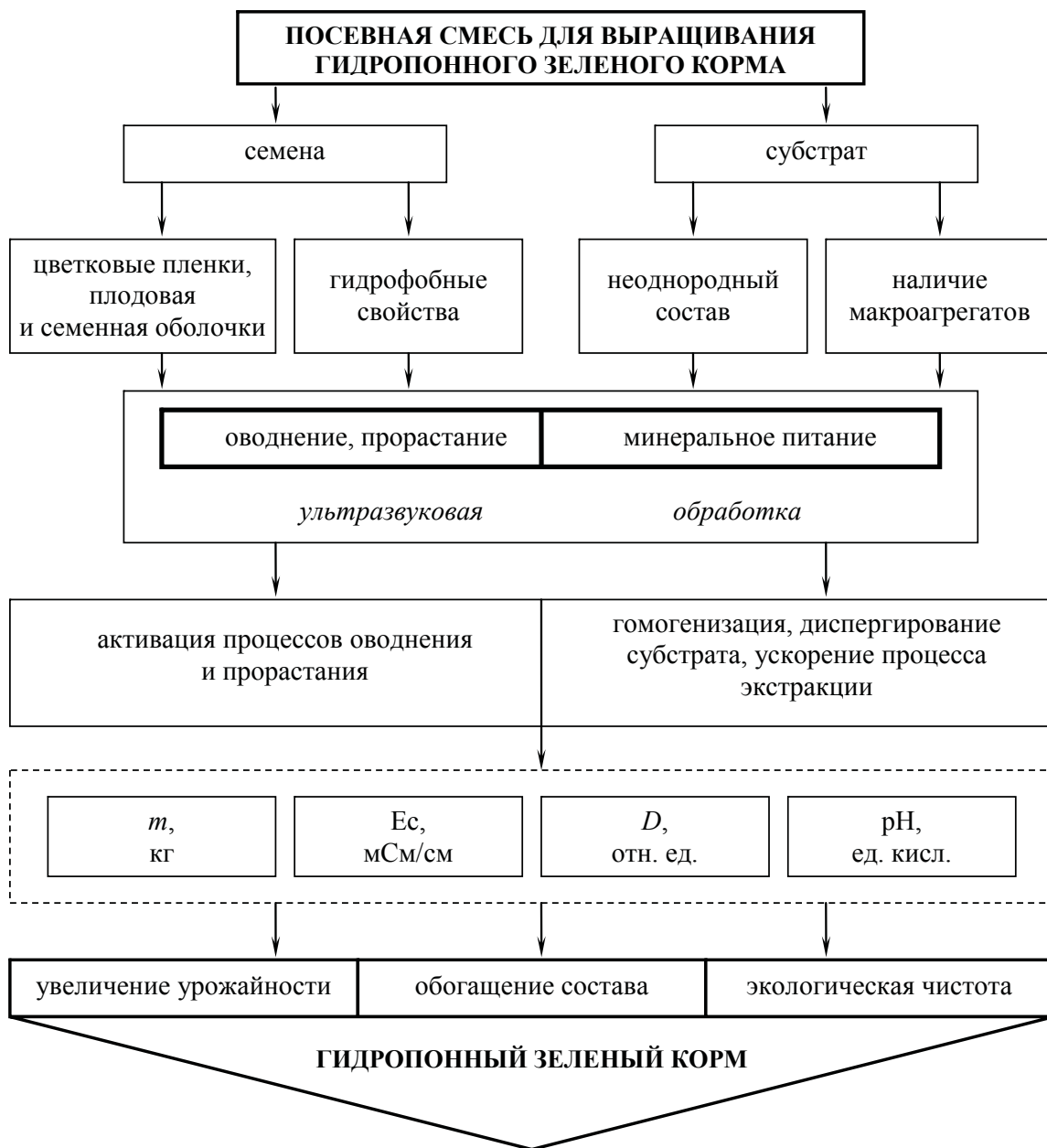


Рисунок 1 – Использование ультразвуковой обработки субстрата и семян при производстве гидропонного зеленого корма

Изменения, происходящие в корнеобитаемой среде, могут быть оценены путем определения спектральных оптических характеристик (O_s , отн. ед.), электропроводности (E_c , мСм/см), кислотности (рН, ед. кисл.). Ускорение оводнения семян можно зафиксировать, в частности, путем измерения изменений их массы (Δm , кг). Ультразвуковая обработка позволит увеличить урожайность, обогатить состав и обеспечить экологическую чистоту гидропонного зеленого корма.

От технологических параметров режима ультразвуковой обработки и свойств среды зависят основные физические характеристики звукового поля: звуковое давление p' ; колебательная скорость частиц v ; колебательное смещение частиц $s(A)$; плотность звуковой энергии w и т.д. (рисунок 2).



Рисунок 2 – Влияние технологических параметров режима УЗ-обработки на физические характеристики процесса и свойства суспензии

В свою очередь указанные физические характеристики влияют на состав C , спектрально-оптические (оптическая плотность D_λ , мутность D_m , цветность D_ψ , коэффициент цветности K_ψ) и электрофизические свойства (электропроводность E_c , кислотность рН) полу-

чаемой суспензии, которые в конечном итоге определяют продуктивность растений и качество корма.

Для определения физических характеристик процесса ультразвуковой обработки субстрата и семян предлагается соответствующая методика, в которой используется известный теоретический материал. В соответствии с предлагаемой методикой рассчитываются: звуковое давление p'_0 ; колебательная скорость v ; колебательное смещение A ; относительная деформация среды ε ; избыточная плотность ρ'_0 ; колебательное ускорение a ; длина волны λ ; модуль объемной упругости K ; акустический импеданс z ; эффективное звуковое давление $p_{\text{эф}}$; объемная плотность энергии w и т.д. Основные расчетные формулы представлены ниже.

Бегущая волна:

– скорость звука при температуре t :

$$c = c_0 + \alpha(t - t_0), \quad (1)$$

где c – скорость при температуре $t_0 = 25$ °С;

α – температурный коэффициент;

– звуковое давление (амплитудное значение):

$$p'_0 = \rho c v, \quad (2)$$

где ρ – плотность среды;

c – скорость звука;

v – колебательная скорость;

– колебательная скорость частиц (амплитудное значение):

$$v_0 = \omega A, \quad (3)$$

где ω – циклическая частота;

A – амплитуда колебательного смещения;

– колебательное смещение (амплитудное значение)

$$A = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{2I}{\rho c}}, \quad (4)$$

где I – интенсивность ультразвуковых колебаний;

– относительная деформация среды

$$\varepsilon = \frac{v}{c}; \quad (5)$$

– избыточная плотность (амплитудное значение):

$$\rho'_0 = \frac{p'_0}{c}, \quad (6)$$

где p'_0 – амплитуда звукового давления;

– колебательное ускорение (амплитудное значение):

$$a_0 = \omega^2 A; \quad (7)$$

– длина волны:

$$\lambda = \frac{c}{v}, \quad (8)$$

где v – частота колебаний;

– модуль объемной упругости:

$$K = c^2 \rho; \quad (9)$$

– акустический импеданс:

$$z = \rho c; \quad (10)$$

– эффективное звуковое давление:

$$p_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{p_0'^2}{2}} = \frac{p'_0}{\sqrt{2}}; \quad (11)$$

– объемная плотность энергии (среднее за период значение):

$$w = \frac{I}{c} = \frac{\rho v^2}{2}. \quad (12)$$

Стоячая волна:

– колебательное смещение (амплитудное значение):

$$A_{\text{ст}} = 2A; \quad (13)$$

– колебательная скорость частиц (амплитудное значение):

$$v_{0\text{ст}} = 2\omega A = 2v_0; \quad (14)$$

– колебательное ускорение (амплитудное значение):

$$a_{0\text{ст}} = 2\omega^2 A = 2a_0; \quad (15)$$

– относительная деформация (амплитудное значение):

$$\varepsilon_{0\text{ст}} = 2Ak, \quad (16)$$

где k – волновое число, $k = \omega/c$;

– длина волны:

$$\lambda_{\text{ст}} = \lambda/2; \quad (17)$$

– собственная частота колебаний:

$$v_c = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} + \frac{q^2}{d^2}} \quad (m, n, q = 1, 2, \dots), \quad (18)$$

где a, b, d – стороны прямоугольного параллелепипеда.

Данная методика использовалась при определении физических характеристик процесса ультразвуковой обработки семян и субстрата (гл. 4).

Сравнение элементов технологических схем, относящихся к начальному этапу кормопроизводства, позволило установить, что основными отличиями разработанной схемы являются: совместная обработка в ультразвуковом поле субстрата и семян; проращивание семян после ультразвуковой обработки в полученной суспензии; сокращения числа технологических операций по коррекции кислотности корнеобитаемой среды.

Энергобиологическая оценка показала, что выращивание гидропонного зеленого корма из семян овса с использованием сапротелевого субстрата является перспективным, так как позволит обогатить состав корма и снизить энергозатраты на его производство.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» указано, что программа экспериментальных исследований предусматривала решение задач, поставленных в соответствии с целью диссертационной работы, и подтверждение выдвинутой гипотезы. Программа экспериментов включала в себя исследования:

- электрофизических свойств суспензии, полученной в результате УЗ-обработки сапропелевого субстрата (активности ионов (рН), электропроводности (Ес));

- спектрально-оптических свойств суспензии, полученной в результате УЗ-обработки сапропелевого субстрата (мутности (D_m), цветности ($D_{ц}$), оптической плотности (D), коэффициента цветности ($K_{цв}$));

- процесса извлечения питательных элементов из сапропелевого субстрата под влиянием УЗ-обработки;

- влияния режимов ультразвуковой обработки субстрата и семян на отклик растений (выход и качество биомассы корма, определение оптимальных режимов ультразвуковой обработки).

Экспериментальные исследования проводились при выращивании ГЗК из семян овса сорта «Золотой дождь» с использованием сапропеля месторождения оз. Оренбург (Челябинская область). В качестве отклика растений рассматривалась биомасса корма, определявшаяся по завершению вегетационного периода, продолжительность которого составляла 8 суток. Экологическая чистота ГЗК определялась по содержанию радионуклидов, тяжелых металлов, нитратов, пестицидов; биологическая полноценность – по содержанию протеина, углеводов, витаминов и т.д. Эффективность обогащения зеленого корма оценивалась по разработанной методике (рисунок 3).

В четвертой главе «Результаты экспериментального определения оптимальных режимов ультразвуковой обработки сапропелевого субстрата и параметров устройства для ее реализации» представлено следующее. Для определения физических характеристик процесса ультразвуковой обработки субстрата и семян использовалась предложенная методика. Физические характеристики рассчитывались для бегущей и стоячей волн (поверхностные волны не рассматривались). Результаты расчетов, выполненные для сапропелевого субстрата и семян, представлены в таблице 1.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ ГЗК

Коэффициент энергетической эффективности обогащения зеленого корма

$$K_{\text{эк}} = E_{\text{ксп}} / E_0 = (I_{\text{ксп}} f_{\text{сп}}) / E_0,$$

где $E_{\text{ксп}}$ – энергосодержание биомассы корма, кДж/м²;

$I_{\text{ксп}}$ – выход биомассы корма, кг/м²;

$f_{\text{сп}}$ – коэффициент энергосодержания в единице продукции, Дж/кг;

E_0 – затраты энергии на возделывание и уборку сельскохозяйственной культуры, кДж/м²

Обобщенный коэффициент обогащения корма $K_{\text{ок}} = K_{\text{мп}} K_{\text{кр}} K_{\text{с}}$

$K_{\text{мп}}$ – коэффициент минерального питания

$$K_{\text{мп}} = \frac{(c' k_{\text{эп}} \sum N_{yi})_{\text{п}}}{(c' k_{\text{эп}} \sum N_{yi})_{\text{б}}},$$

где c' – поправочный коэффициент;

$k_{\text{эп}}$ – коэффициент, учитывающий изменение электрофизических параметров корнеобитаемой среды;

N_{yi} – удельное содержание питательных элементов в корнеобитаемой среде

$K_{\text{кр}}$ – коэффициент кормового рациона

$$K_{\text{кр}} = \frac{(c'' \sum N_{yj})_{\text{п}}}{(c'' \sum N_{yj})_{\text{б}}},$$

где c'' – поправочный коэффициент, учитывающий усвояемость питательных элементов;

N_{yj} – удельное содержание в ГЗК необходимых для сельскохозяйственных животных и птицы компонентов

$K_{\text{с}}$ – коэффициент сохранности зеленого корма

$$K_{\text{с}} = K_{\text{б}} K_{\text{пэ1}} K_{\text{пэ2}} K_{\text{х}},$$

где $K_{\text{б}}$ – коэффициент выхода биомассы;

$K_{\text{пэ1}}$ – производственно-экологический коэффициент первого рода;

$K_{\text{пэ2}}$ – производственно-экологический коэффициент второго рода;

$K_{\text{х}}$ – коэффициент хранения корма

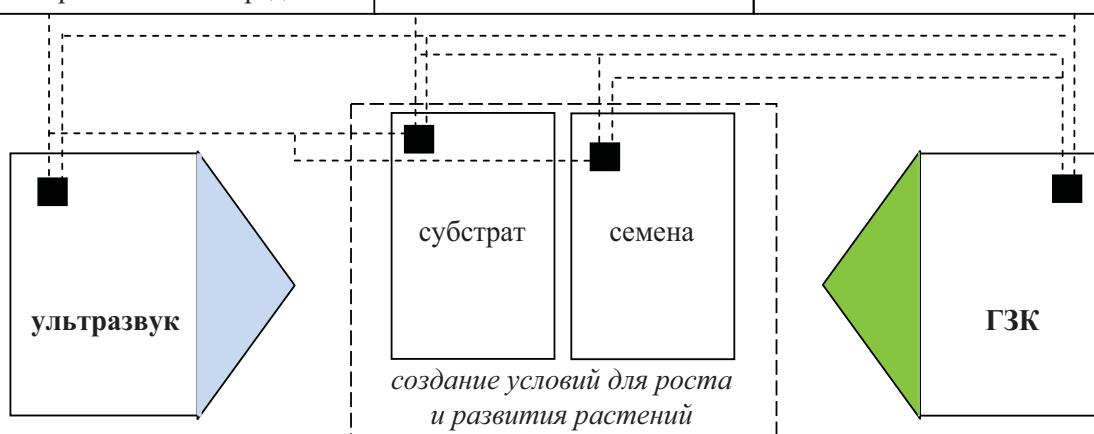


Рисунок 3 – Коэффициенты, используемые для оценки эффективности обогащения гидропонного зеленого корма

Таблица 1 – Физические характеристики процесса ультразвуковой обработки сапропелевого субстрата и семян

№ п/п	Наименование физической характеристики	Условное обозначение	Единицы измерения	Значение*	
				1	2
<i>Бегущая волна</i>					
1	Звуковое давление (амплитудное значение)	p'_0	МПа	0,26	0,27
2	Колебательная скорость (амплитудное значение)	v_0	м/с	0,18	0,19
3	Колебательное смещение (амплитудное значение)	A	мкм	1,33	1,34
4	Относительная деформация среды	ε	–	$1,21 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$
5	Избыточная плотность	ρ'_0	кг/м ³	$11,80 \cdot 10^{-2}$	$12,25 \cdot 10^{-2}$
6	Колебательное ускорение (амплитудное значение)	a_0	м/с ²	$25,39 \cdot 10^3$	$25,58 \cdot 10^3$
7	Длина волны	λ	м	$67,48 \cdot 10^{-3}$	$67,48 \cdot 10^{-3}$
8	Модуль объемной упругости	K	Н/м ²	$2,16 \cdot 10^9$	$2,14 \cdot 10^9$
9	Акустический импеданс	z	Н·с/м ⁵	$1,45 \cdot 10^6$	$1,44 \cdot 10^6$
10	Эффективное звуковое давление	$p_{эф}$	МПа	0,19	0,18
11	Объемная плотность энергии (среднее за период значение)	w	Дж/м ³	16,7	16,7

Предложенная методика и определенные с ее использованием физические характеристики процесса ультразвуковой обработки могут использоваться при сравнении и выборе эффективных методов и технических средств предпосевной подготовки семян и субстрата.

В результате экспериментальных исследований электрофизических и спектрально-оптических свойств суспензии сапропелевого субстрата установлено, что ультразвуковая обработка способствует изменению электропроводности и кислотности, а также ускорению процессов экстракции гуминовых веществ, что позволяет улучшить условия для реализации растениями своих потенциальных возможностей.

Установленные закономерности изменения электрофизических и спектрально-оптических свойств суспензии, указывающие на диспергирование сапропелевого субстрата и изменение химического состава суспензии (в том числе экстракцию гуминовых веществ), позволяют определять электропроводность, кислотность, мутность и цветность суспензии при различной продолжительности ультразвуковой обработки (рисунки 4, 5).

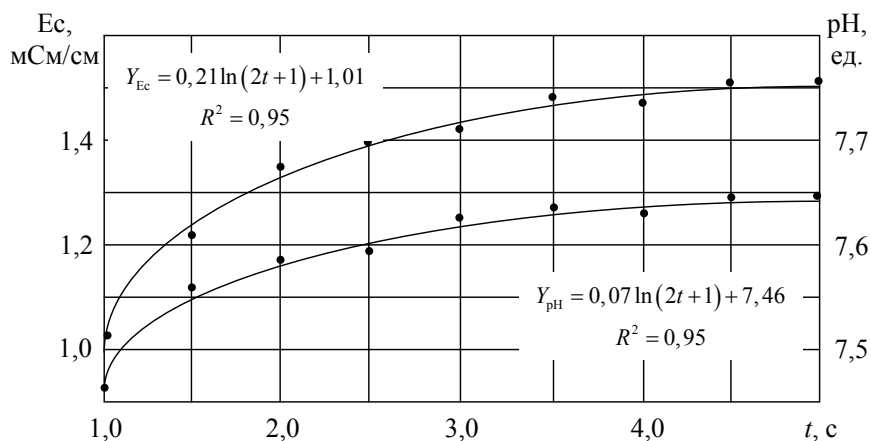


Рисунок 4 – Изменение электрофизических свойств суспензии под воздействием ультразвука

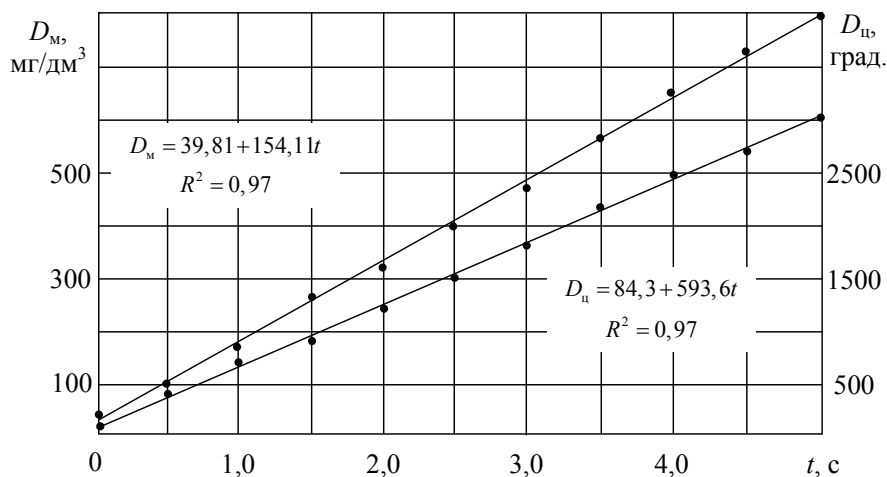


Рисунок 5 – Изменение спектрально-оптических свойств суспензии под воздействием ультразвука

Полученные зависимости оптической плотности от длины волны и значения коэффициента цветности позволяют сделать заключение о наличии и изменении концентрации растворимых органических веществ (в том числе гуминовых веществ) в суспензии сапропелевого субстрата под воздействием УЗ-волн (рисунки 6, 7).

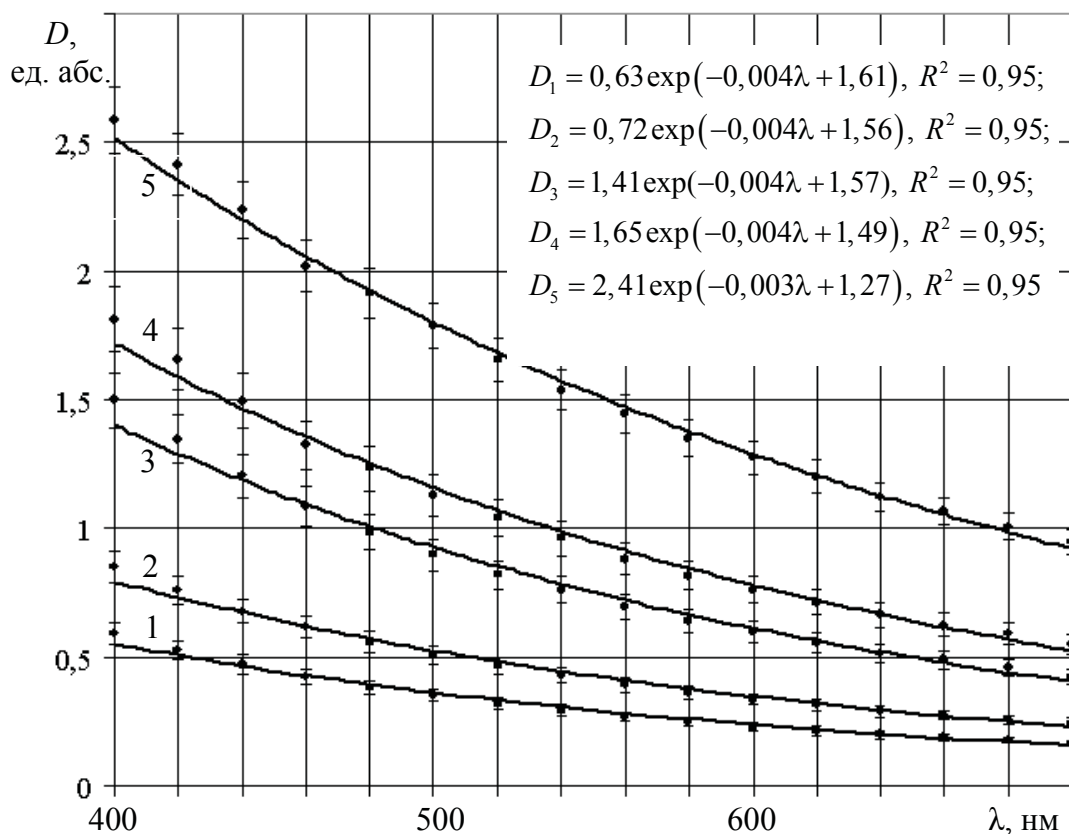


Рисунок 6 – Зависимость оптической плотности суспензии, обработанной ультразвуком в течение 1...5 минут, от длины волны

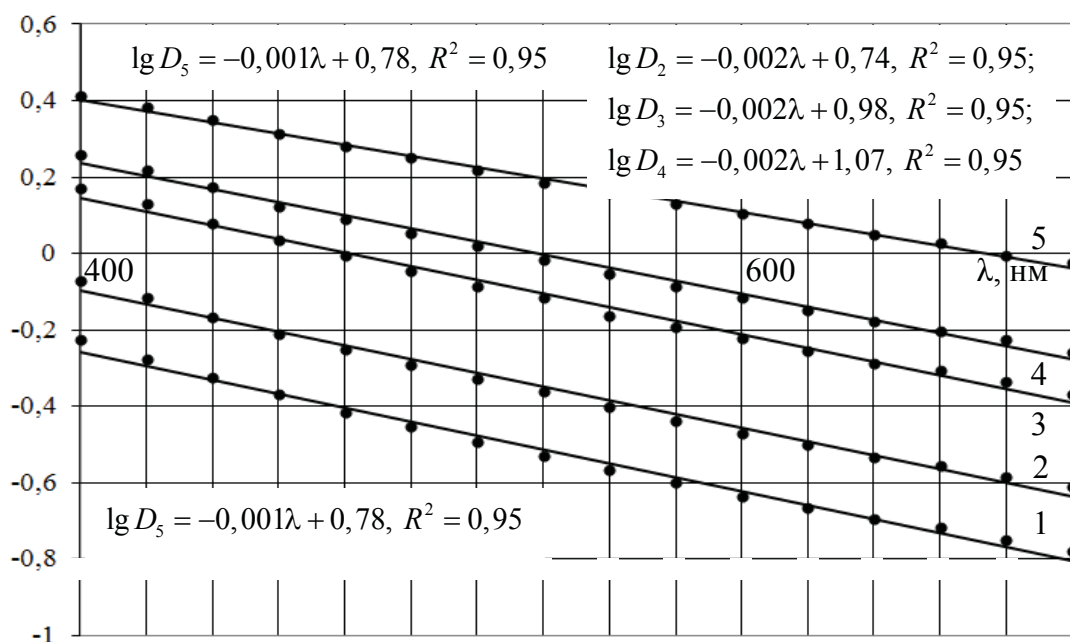


Рисунок 7 – Зависимость логарифма оптической плотности D от длины волны λ для суспензии, обработанной ультразвуком в течение 1...5 минут

Экспериментальные исследования позволили установить, что ультразвуковая обработка сапропелевого субстрата приводит к ускорению процессов, происходящих в системе «твердое вещество – жидкость», и интенсификации извлечения питательных элементов из сапропелевого субстрата, что позволяет улучшить условия для минерального питания растений.

На основании результатов многофакторных экспериментов, проведенных по методике активного планирования, получено уравнение регрессии, адекватно описывающее отклик растений на ультразвуковую обработку субстрата и семян (при изменении продолжительности УЗ-обработки субстрата в пределах 3,0...5,0 мин., семян – 0,5...1,5 мин.):

$$Y = 34,25 - 3,16x_1^2 - 2,88x_2^2, \quad (19)$$

где Y – биомасса зеленого корма;

x_1, x_2 – продолжительность ультразвуковой обработки субстрата и семян соответственно.

Анализ данного уравнения позволил определить, что для достижения максимального отклика растений необходимо принять продолжительность обработки субстрата – 4 мин., семян – 1 мин. при следующих физических характеристиках УЗ-поля: частота ультразвуковых колебания 22 кГц, интенсивность $2,5 \cdot 10^4$ Вт/м², объемная плотность энергии 16,7 Дж/м³. В этом случае наблюдается превышение контрольного уровня (ультразвуковая обработка субстрата и семян отсутствует) по выходу биомассы ГЗК на 10...15% при сохранении биологической полноценности и экологической чистоты получаемого корма.

В пятой главе «Разработка технологической схемы гидропонного кормопроизводства, включающей в себя ультразвуковую обработку семян и субстрата» показана разработанная технология (рисунок 8). Для осуществления операции по предпосевной подготовке разработана установка, в которой реализуется обработка субстрата и семян в ультразвуковом поле.

Оценка эффективности обогащения ГЗК по разработанной методике позволила установить, что в предлагаемом варианте наблюдается улучшение условий минерального питания, что приводит к повышению продуктивности растений при сохранении биологической полноценности и экологической чистоты получаемого корма.

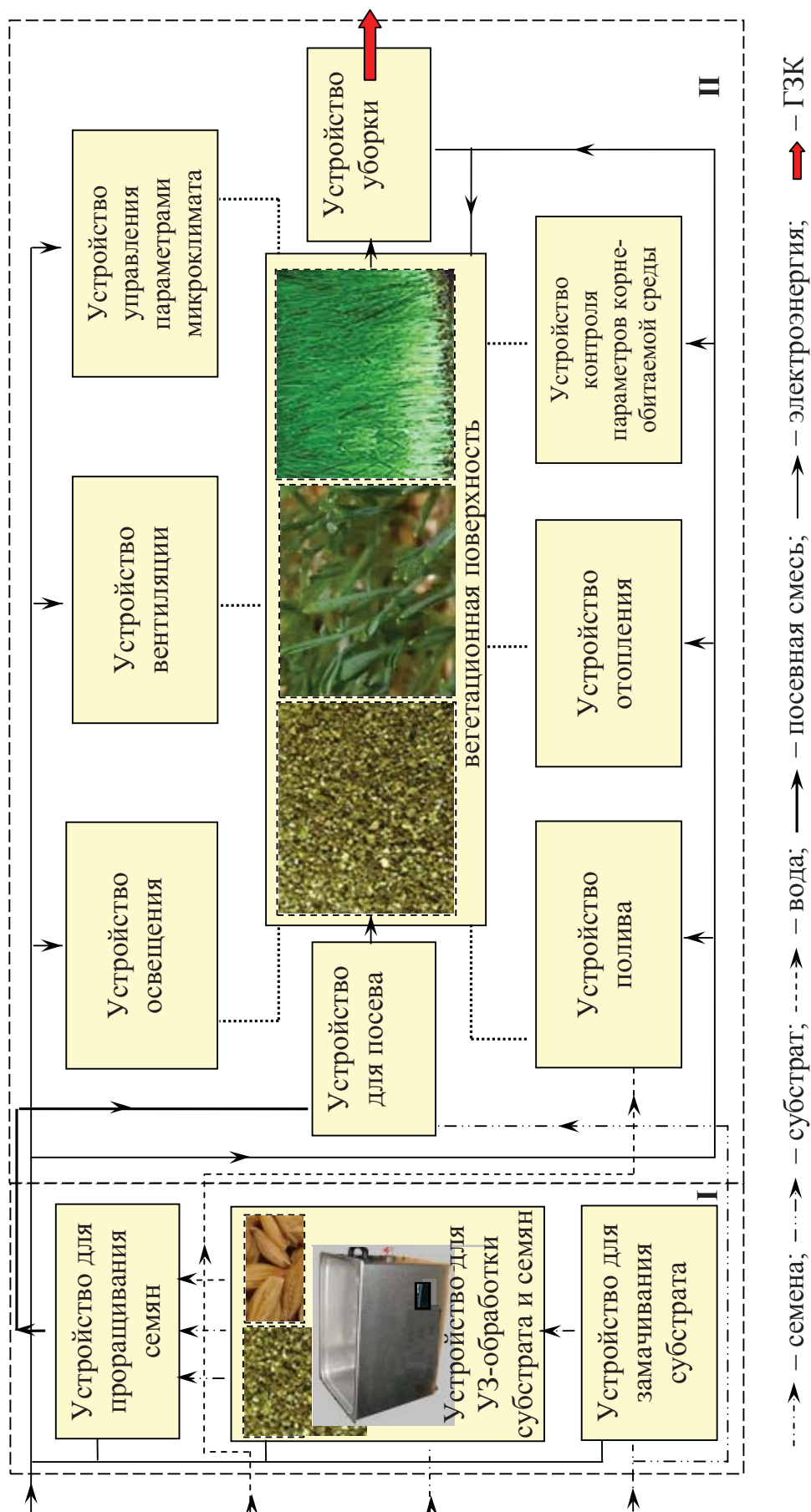


Рисунок 8 – Схема комплекса технологического оборудования для производства гидропонного зеленого корма с использованием ультразвуковой обработки субстрата и семян. I – участок предпосевной подготовки субстрата и семян; II – участок выращивания гидропонного зеленого корма

На основании производственных испытаний, проведенных в ОАО «Птицефабрика „Челябинская“», установлено, что разработанный вариант выращивания гидропонного зеленого корма характеризуется более высокой технико-экономической эффективностью по сравнению с базовым вариантом. За счет увеличения выхода биомассы в опытном варианте на 10...15% происходит уменьшение затрат энергии на получение единицы продукции на 43,5–43,8 ГДж/т и повышение энергетической эффективности на 10...12%; годовой экономический эффект в расчете на участок по производству ГЗК с объемом выращивания продукции 4,59 т составляет 180 тыс. руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Для повышения эффективности гидропонного кормопроизводства целесообразным представляется использование ультразвуковой обработки сапропелевого субстрата и семян овса, которая позволит улучшить условия минерального питания и активировать процессы прорастания. Однако технология и технические средства для ее осуществления отсутствуют по причине недостаточных исследований в данной области.

2. Предлагаемая методика, позволяющая определять основные физические характеристики процесса ультразвуковой обработки, которые влияют на свойства получаемой суспензии и отклик растений, может использоваться при сравнении и выборе эффективных методов и технических средств предпосевной подготовки семян и субстрата.

3. Установленные закономерности изменения электрофизических и спектрально-оптических свойств суспензии, указывающие на диспергирование сапропелевого субстрата и изменение химического состава суспензии (в том числе экстракцию гуминовых веществ), позволяют определять электропроводность, кислотность, мутность и цветность суспензии при различной продолжительности ультразвуковой обработки.

Полученные зависимости оптической плотности от длины волны и значения коэффициента цветности позволяют сделать заключение о наличии и изменении концентрации растворимых органических

веществ (в том числе гуминовых веществ) в суспензии сапропелевого субстрата под воздействием УЗ-волн.

4. Математическая модель, полученная по методике активного планирования эксперимента, позволила определить, что для достижения максимального отклика растений необходимо принять продолжительность обработки субстрата – 4 мин., семян – 1 мин. при следующих физических характеристиках УЗ-поля: частота ультразвуковых колебаний – 22 кГц, интенсивность – $2,5 \cdot 10^4$ Вт/м², объемная плотность энергии – 16,7 Дж/м³. В этом случае наблюдается превышение контрольного уровня (ультразвуковая обработка субстрата и семян отсутствует) по выходу биомассы ГЗК на 10...15% при сохранении биологической полноценности и экологической чистоты получаемого корма.

5. Разработанная установка позволяет осуществлять предпосевную подготовку субстрата и семян в условиях гидропонного кормопроизводства путем последовательной ультразвуковой обработки.

6. Разработанная технология гидропонного кормопроизводства включает в себя операцию по обработке субстрата и семян в ультразвуковом поле.

Разработанная методика позволяет оценивать эффективность обогащения гидропонного зеленого корма.

7. Производственные испытания показали технико-экономическую эффективность разработанной установки при выращивании гидропонного зеленого корма: в опытном варианте увеличивается выход ГЗК на 10–15%, за счет чего происходит снижение энергозатрат на получение единицы продукции на 43,5–43,8 ГДж/т и увеличение энергетической эффективности на 10–12%; годовой экономический эффект в расчете на участок по производству ГЗК с объемом выращивания продукции 4,59 т составляет 180 тыс. руб.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Басарыгина, Е. М. Энергосберегающая технология производства гидропонного корма [Текст] / Е. М. Басарыгина, А. В. Шушарин // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 9(182). – С. 8–10.

2. Басарыгина, Е. М. Оценка эффективности обогащения зеленого корма [Текст] / Е. М. Басарыгина, А. В. Шушарин // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 6. – С. 77–78.

3. Шушарин, А. В. Использование ультразвуковой обработки семян и субстрата при производстве гидропонного зеленого корма [Текст] / А. В. Шушарин // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 9. – С. 53–54.

Публикации в других изданиях

4. Басарыгина, Е. М. Использование ультразвука при производстве гидропонного зеленого корма [Текст] / Е. М. Басарыгина, А. В. Шушарин // Материалы LI науч.-техн. конф. «Достижения науки и техники – агропромышленному производству» / под ред. докт. техн. наук, проф. Н. С. Сергеева. – Челябинск : ЧГАА, 2012. – Ч. V. – С. 201–203.

5. Басарыгина, Е. М. Энергосберегающая технология производства обогащенного зеленого корма [Текст] / Е. М. Басарыгина, А. В. Шушарин // Информ. листок № 74-024-122013 / Росинформресурс. – 2012.

6. Басарыгина, Е. М. Установка для производства обогащенного зеленого корма [Текст] / Е. М. Басарыгина, А. В. Шушарин // Материалы LII науч.-техн. конф. «Достижения науки и техники – агропромышленному производству» / под ред. докт. техн. наук, проф. Н. С. Сергеева. – Челябинск : ЧГАА, 2013. – Ч. VI. – С. 9–12.

7. Басарыгина, Е. М. Ультразвук в гидропонном кормопроизводстве [Текст] / Е. М. Басарыгина, А. В. Шушарин // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 63. – С. 5–8.

8. Пат. 131280 Российская Федерация. Гидропонная установка [Текст] / Ю. Б. Четыркин, Е. М. Басарыгина, Т. А. Путилова ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ЧГАА. – № 2013107881/13 ; заявл. 21.02.2013 ; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23.

9. Пат. 128960 Российская Федерация. Установка для выращивания зеленого корма [Текст] / Ю. Б. Четыркин, Е. М. Басарыгина, Т. А. Путилова ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ЧГАА. – № 2013107858/13 ; заявл. 21.02.2013 ; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17.

Подписано в печать 17.10.2013 г. Формат 60×84/16
Гарнитура Times. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 182

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Челябинская государственная агроинженерная академия»
454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 75