

*На правах рукописи*

**Лазарев Александр Петрович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ  
НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
БУЛЬДОЗЕРА-СМЕСИТЕЛЯ**

Специальность 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Саратов – 2014

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова».

Научный руководитель –

**Слюсаренко Владимир Васильевич**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

**Щедрин Вячеслав Николаевич**  
доктор технических наук, профессор,  
академик РАН, директор ФГБНУ  
«Российский НИИ проблем мелиорации»

**Заборская Анна Юрьевна**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Экологическая и промышленная  
биотехнология», ФГБОУ ВПО «Московский  
государственный машиностроительный  
университет»

Ведущая организация –

ГНУ «Поволжский НИИ эколого-  
мелиоративных технологий» (ГНУ  
ПНИИЭМТ)

Защита диссертации состоится 12 декабря 2014 г в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.06 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325. им. А.В. Дружкина

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» и на сайте: [www.sgau.ru](http://www.sgau.ru).

Отзыв на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл. 1., e-mail: [dissovet01@sgau.ru](mailto:dissovet01@sgau.ru)

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Маштаков Дмитрий Анатольевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В результате развития нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих отраслей производства повышается риск аварийных разливов нефти, что в дальнейшем негативно сказывается на окружающей среде. Нефть и нефтепродукты являются основными и наиболее опасными загрязнителями окружающей среды. На сегодняшний день многие территории нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих отраслей по состоянию окружающей среды приближаются к районам экологического бедствия. Ежегодно в России теряется в среднем 6 – 10 млн т. нефти (3 – 15%) от общего объема добычи, в результате образуется свыше 510 млн т. загрязненного нефтепродуктами грунта. Большинство аварий приходится на земли сельскохозяйственного назначения, тем самым нанося колоссальный ущерб экологии и экономике страны.

Влияние нефти и нефтепродуктов на почву проявляется в изменении ее физических, физико-химических и химических свойств, что приводит к снижению интенсивности биологических процессов агробиоценоза.

Существующие технологии биологического подхода рекультивации нефтезагрязненных земель не в полной мере удовлетворяют экологическим и экономическим требованиям восстановления плодородия в связи с узконаправленной спецификой применения. При этом большое внимание уделяется разработке биологического этапа рекультивации и недостаточное – техническому этапу и техническим средствам, что приводит к дополнительным временным и материальным затратам на рекультивацию.

Одним из немало важных факторов технического этапа рекультивации являются процессы внесения и равномерного распределения компонентов биологической очистки в объеме загрязненного грунта. Качественное распределение компонентов повышает эффективность работы микроорганизмов и рекультивацию загрязненного участка в целом. Необходимо отметить, что на осуществление операций внесения и перемешивания, в большинстве технологий, применяют более 2 – 3 единиц техники.

Поэтому, первоочередными задачами совершенствования технологий очистки загрязненных земель является, разработка технологий с равномерным распределением компонентов очистки для минимизации влияния машин на качество процесса рекультивации. В связи с этим совершенствование технологии технического этапа биологического подхода рекультивации является актуальной задачей.

Важнейшим направлением в решении данной задачи является совершенствование новых технологических приемов смесеобразования обеспечивающих высокое качество распределения компонентов в загрязненной почве.

**Степень разработанности темы.** Биологический способ рекультивации земель загрязненных нефтью и нефтепродуктами наиболее эффективен как в экономическом, так и в экологическом плане в сравнение с другими способами, так как направлен на восстановление функционирования плодородного слоя.

Процесс воздействия микроорганизмов на углеводороды хорошо описан в работах Ю.Г. Пиковского, Н.П. Солнцевой, Н.М. Исмаилова и др. В трудах этих ученых нашли отражения вопросов воздействия нефти на окружающую среду и пути восстановления плодородия. Однако исследования, посвященные воздействиям микроорганизмов на углеводороды, не достаточно учитывают влияние конструктивных особенностей применяемых машин на качество перемешивания загрязненных почв с компонентами для очистки. Кроме этого, необходимо отметить, что в настоящее время развитие методов очистки основаны на использовании машин, не обеспечивающих достаточного качества очистки и требующих больших капитальных вложений.

Таким образом, требуется разработка новых наиболее эффективных технологий и технических средств технического этапа рекультивации нефтезагрязненных земель на основе достигнутых результатов очистки загрязненных почв. Наиболее целесообразно, на наш взгляд, развивать технологии очистки в комплексе с совершенствованием машин для перемешивания загрязненных почв с компонентами для очистки используя методы теории подобия.

**Цель работы** – повышение эффективности технической рекультивации нефтезагрязненных земель путем совершенствования процесса перемешивания загрязненного грунта с применением бульдозера-смесителя.

**Задачи исследования:**

1) дать анализ и оценку эффективности существующих технологий рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами;

2) теоретически обосновать технологический процесс перемешивания, обеспечивающий высокое качество рассредоточенности компонентов биологической очистки в объеме загрязненного грунта и разработать концептуальную модель бульдозера-смесителя, позволяющую оптимизировать его технологические режимы и конструктивные параметры;

3) установить закономерности влияния конструктивно-технологических параметров бульдозера-смесителя на качество перемешивания загрязненной почвы с компонентами очистки;

4) провести исследования процесса рекультивации земель с применением бульдозера-смесителя;

5) определить экономическую эффективность применения данной технологии.

**Научная новизна** работы состоит в том что:

- на основе теоретических исследований разработана математическая модель движения частиц грунта по поверхности, положенная в основу разработки технологии и совершенствования технических средств рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами;

- исследован характер винтовой поверхности шнека бульдозера-смесителя определяющий его конструктивно-технологические параметры;

- теоретически описано и экспериментально подтверждено влияние времени перемешивания на качество получаемой смеси.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в научном обосновании закономерностей движения частиц по винтовой поверхности. Установлено, что винтовая поверхность шнека бульдозера-смесителя представляет собой геликоиду, а движение частиц по винтовой поверхности сводится к нахождению движения по брахистохроне.

Доказано, что шнековому рабочему органу, являющемуся составной частью бульдозера-смесителя, присущи признаки шнека для транспортирования сыпучих сред.

Научно обосновано, что качество смеси является следствием конструктивных параметров и технологических режимов работы рабочего органа бульдозера-смесителя, что и определило направление поиска оптимальных решений на основе многофакторных экспериментальных исследований.

Определены закономерности динамики качества смеси в зависимости от конструктивно-технологических параметров бульдозера-смесителя.

Получена эмпирическая зависимость между конструктивными и технологическими параметрами рабочего оборудования бульдозера-смесителя и качеством получаемой смеси.

Практическая значимость заключается в том, что проведенные исследования завершены разработкой конкретных технологий и конструкцией бульдозера-смесителя, обеспечивающих значительное повышение эффективности очистки земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

Практическая значимость подтверждена результатами внедрения на участках загрязненных нефтью и нефтепродуктами на полях КХ «Лавина» Саратовской области и ООО «Промсервис» г. Отрадный Самарской области

**Методология и методы исследования.** Теоретические исследования выполнены с использованием методов математического моделирования, системного анализа, методов теории подобия, известных законов динамики. Экспериментальные методы включали лабораторные и полевые исследования влияния качества перемешивания компонентов с нефтезагрязненным грунтом на период детоксикации и проводились с применением современных стандартных методик и соответствующего оборудования, используемых в мелиоративной отрасли, касающихся рекультивации земель. Обработка экспериментальных данных осуществлялась методами математической статистики.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- технология рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами;
- движение частицы загрязненного грунта по винтовой поверхности шнека бульдозера-смесителя;
- конструктивные и технологические параметры бульдозера-смесителя, полученные в результате использования методов теории подобия на лабораторной модели для качественного перемешивания загрязненной почвы с компонентами очистки;

- закономерности изменения качества перемешивания загрязненной почвы с компонентами очистки в зависимости от конструктивных и технологических параметров бульдозера-смесителя;

**Степень достоверности и апробация работы.** Достоверность полученных результатов подтверждается большим объемом экспериментального материала, корректностью разработанных математических моделей, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, использованием известных положений фундаментальных наук, сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, применением отраслевых и государственных стандартов, широкой апробацией результатов исследований, а так же патентами на изобретение и полезную модель.

Основные результаты диссертационной работы обсуждены и одобрены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского и аспирантского состава ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (Саратов, 2011–2013); на конкурсе научно-инновационных работ молодых ученых, посвященных 100-летию университета, Саратовский ГАУ (Саратов, 2013); участвовал в VIII Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций (Саратов, 2013).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 11 работ, в т.ч. 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; патент РФ на полезную модель, 3 патента РФ на изобретение. Общий объем публикаций – 3,25 печ. л., из которых 1,25 печ. л. принадлежат лично соискателю.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, ее практическая значимость, приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований»** проведен анализ состояния загрязненных земель, существующих способов борьбы с нефтезагрязнением земель, определены их основные достоинства и недостатки

С высоким темпом добычи нефти возрастает риск ее потери, что приводит к глобальным последствиям. Одним из наиболее перспективных способов очистки нефтезагрязненных земель является биологический подход восстановления.

Большой вклад в исследования, влияния микроорганизмов на нефтесодержащие вещества и способы биологической рекультивации земель, внесли такие ученые, как Ю. И. Пиковский, М. А. Глазовская, Н. М. Исмаилов, Ф. Х. Хазиев, И. Г. Калачников, О. Г. Миронов, Б. А. Бачурин, Т. А. Одинцова, В. И. Сметанин, В. А. Бурлака, Н. С. Минигазимов, Adlard E. R., Hubbard E. H., Edwards N. T и др. В трудах данных ученых отражены основные моменты влияния микроорганизмов, растений на углеводороды в почве. Предложены способы повышения эффективности восстановления нарушенных земель.

На основании анализа существующих технологий биологического подхода рекультиваций установлено, что наиболее важным этапом биологического подхода рекультивации является технический этап, в основы которого входят

такие операции как подготовка территории, изъятие грунта или рыхление, внесение и перемешивание загрязненного грунта с биологическими компонентами.

**Во втором разделе «Технология очистки и теоретические исследования перемешивания загрязненного грунта бульдозером-смесителем»** на основании существующих технологий предложена технология рекультивации нефтезагрязненных земель с учетом использования бульдозера-смесителя, определен характер винтовой поверхности шнека, разработана математическая модель движения частицы загрязненного грунта по винтовой поверхности шнека.

В современных технологиях проведения биологического подхода рекультивации большое внимание уделяется выбору микроорганизмов и минеральным компонентам, а не процессам внесения и распределения их в загрязненном грунте, что на наш взгляд не совсем корректно. Не менее важным при техническом этапе рекультивации является выбор машин осуществляющих операции внесения и распределения биологических компонентов в объеме загрязненного грунта.

Предлагаемая технология заключается во внесении расчетного количества компонентов, перемешивании и увлажнении полученной массы, отличительной особенностью данной технологии от используемой является изменение состава компонентов и способа их распределения в загрязненной почве. Для интенсификации технологии, процессы перемещения и перемешивания загрязненной почвы с компонентами и последующим увлажнением объединены в единый технологический цикл (Патент РФ 2475314, патент РФ 2496589).

Качественное распределение компонентов в грунте позволит улучшить работу микроорганизмов во всем объеме загрязненного грунта, тем самым снизит сроки восстановления загрязненных земель. Кроме этого, неравномерность распределения компонентов существенно влияет не только на период рекультивации, но и экономические и энергетические затраты.

Для улучшения качества смесеобразования разработано техническое средство, бульдозер-смеситель, позволяющий производить перемещение с одновременным перемешиванием компонентов с загрязненным грунтом (Патент РФ 129528).

В процессе исследований работы бульдозера-смесителя было установлено, что качество перемешивания является функцией конструктивных и технологических параметров рабочего органа. Рассматривая процесс перемешивания во времени и пространстве, нами выдвинута рабочая гипотеза о зависимости качества перемешивания от времени и характере движения частиц грунта в массиве.

В процессах смешивания определяющим фактором является характер движения частиц. Экономически и энергетически целесообразным перемешиванием грунта будет процесс, основанный на принципах гравитационного перемешивания и транспортирования. Поверхность минимизирующая время, является единственно верной, и нахождение ее формы сводится к решению соответствующей задачи вариационного типа. Эта задача в

простейшем виде, сводится к нахождению уравнения движения материальной точки по поверхности шнека за определенное время.

Вначале необходимо определить уравнение движения частиц по винтовой поверхности шнека.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x} = \vartheta_x \\ \dot{y} = \vartheta_y \\ \dot{z} = \vartheta_z \\ \dot{\vartheta}_x = \frac{Ny}{m_0 a m \cdot \cos^2 \frac{x}{a m} \cdot |\vec{n}|} - \mu N \frac{\vartheta_x - \vartheta_{0x}}{m_0 |\vec{\vartheta}_r|} \\ \dot{\vartheta}_y = N \frac{tg \frac{x}{a m}}{m_0 |\vec{n}|} - \mu N \frac{\vartheta_y - \vartheta_{0y} + \omega z}{m_0 |\vec{\vartheta}_r|} \\ \dot{\vartheta}_z = -g - \frac{N}{m_0} - \mu N \frac{\vartheta_z - \vartheta_{0z} - \omega y}{m_0 |\vec{\vartheta}_r|} \\ |\vec{n}| = \sqrt{a^2 m^2 \cdot \cos^4 \frac{x}{a m} + tg^2 \frac{x}{a m} + 1} \\ |\vec{\vartheta}_r| = \sqrt{(\vartheta_x - \vartheta_{0x})^2 + (\vartheta_y - \vartheta_{0y} + \omega z)^2 + (\vartheta_z - \vartheta_{0z} - \omega y)^2} \\ z = y tg \frac{x}{a m}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$  – координаты материальной точки;  $\dot{\vartheta}_x, \dot{\vartheta}_y, \dot{\vartheta}_z$  – скорость движения материальной точки в пространстве относительно  $x, y, z$ ;  $|\vec{n}|$  – модуль вектора нормали геликоиды;  $|\vec{\vartheta}_r|$  – модуль вектора относительной скорости движения материальной точки;  $z$  – уравнение поверхности геликоиды.

Система уравнений (1) представлена в форме Коши, включает в себя уравнение поверхности, координаты точки, координаты вектора скорости. Данная система уравнений позволяет определить в любой момент времени значения для дальнейшего расчета, при этом достаточно указать начальные условия расположения частицы и конструктивные параметры шнека (угол наклона винтовой поверхности параметр  $m$ , радиус шнека –  $a$ ).

Определив необходимые параметры движущейся по поверхности шнека частицы, дальнейшие расчеты сводятся к определению времени нахождения этой частицы в массиве движущегося грунта.

Движение частицы представляет собой движение по поверхности ската (Рисунок 1).



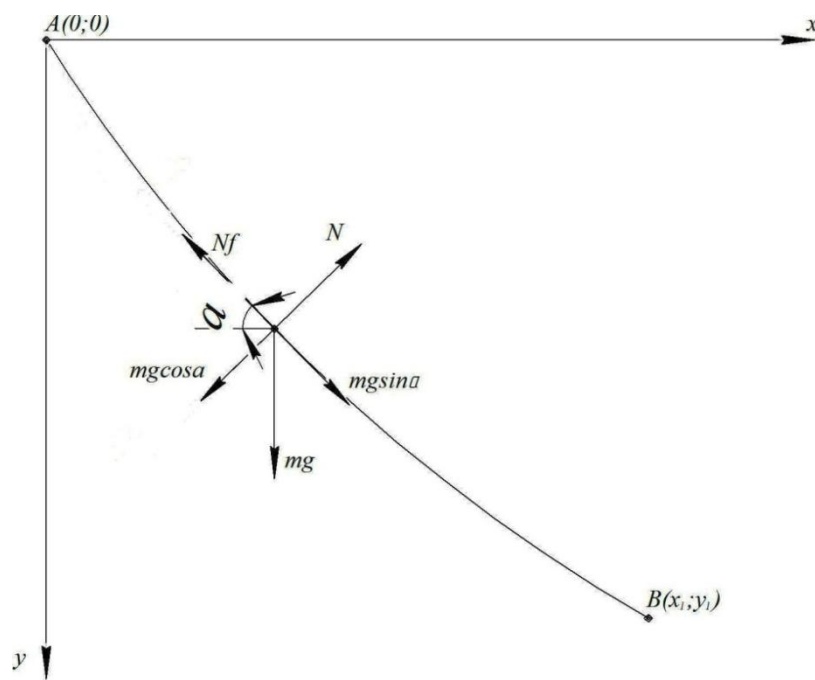


Рисунок 1 – Схема движения частицы по винтовой линии  
 $mg$  – сила тяжести;  $\alpha$  – угол между горизонталью и направлением движения частицы;  
 $Nf$  – сила трения;  $N$  – сила реакции опоры

Основываясь на задачах вариационного исчисления, а именно движении частицы по траектории наибыстрейшего ската, определяем время движения частицы в потоке грунта:

$$T = \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \frac{\sqrt{\left(\frac{dx}{d\alpha}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\alpha}\right)^2}}{g} \cdot d\alpha = \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{g} \cdot d\alpha \quad (2)$$

Полученное выражение имеет члены содержащие производные по параметру  $\alpha$ , который характеризует угол между горизонталью и направлением движения частицы. Скорость  $g$  находится из системы уравнений движения частицы (1).

В результате численного эксперимента установлено, что такое движение массы загрязненного грунта может обеспечить шнековый рабочий орган, а качество получаемой смеси определяется конструктивными и технологическими параметрами шнека.

Исследования и расчеты показывают, что зависимость характера движения частицы от частоты вращения шнека качество получаемой смеси имеет криволинейный характер с ярко выраженной кривизной до 2,0 секунд (Рисунок. 2) течения процесса передвижения и перемешивания загрязненной почвы с компонентами. Удовлетворительное качество перемешивания наступает после 1,2 с работы бульдозера-смесителя.

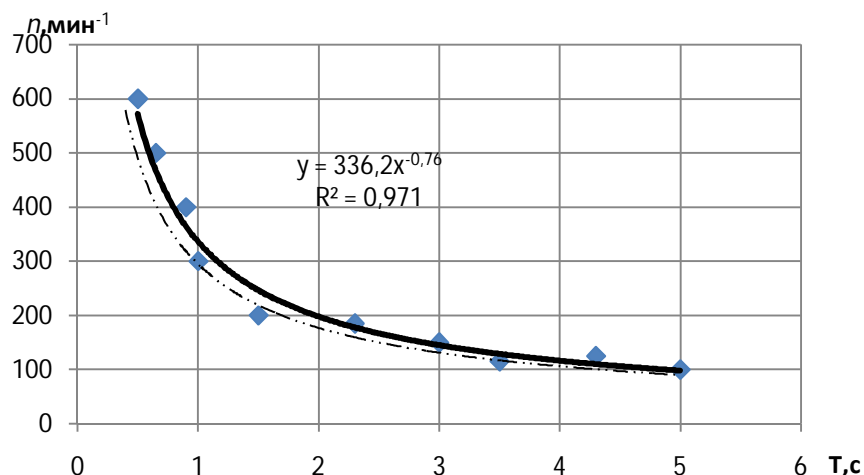


Рисунок 2 – Зависимость времени движения частицы от частоты вращения шнека:  
 ————— экспериментальная; ----- - теоретическая.

Это дает право утверждать, что выбранные технологические (частота вращения шнека) и конструктивные (шаг шнека и высота подъема винтовой поверхности относительно вала шнека) параметры являются основополагающими для дальнейшей оптимизации конструкции бульдозера смесителя.

**В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований»** изложены общая методика и программа проведения экспериментальных исследований бульдозера-смесителя.

Для оценки смешивания компонентов с нефтезагрязненной землей определяли физико-механические свойства загрязненного грунта; оптимальные режимные и конструктивные параметры бульдозера-смесителя; качество получаемой смеси, грануметрический состав, плотность, плодородие почвы и урожайность.

Концентрация нефтезагрязняющего вещества в почве определялась по стандартной методике МУК 4.1.1956-05 «Определение концентрации нефти в почве методом инфракрасной спектрофотометрии».

Изучение объемной массы, влажности, липкости, проводилось с учетом требований соответствующих методик и ГОСТов, ТЧ.

Плотность почвы определяли методом режущих цилиндров до глубины загрязнения.

Для определения макроагрегатного состава почвы до и после рекультивации и на контроле применяли цилиндр объемом 1000 см<sup>3</sup>. Взятую пробу грунта после высушивания разделяли на фракции через сита с установленным размером ячеек по методике, предложенной Доспеховым.

Обработку данных проводили методами математической статистики. Оценку эколого-экономической эффективности проводили в соответствии с приведенными методиками оценки ущерба от разлива нефти.

**В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований бульдозера-смесителя»** представлены результаты влияния конструктивных параметров и технологических режимов работы бульдозера-смесителя на качество распределения компонентов в почве, загрязненной нефтью и

нефтепродуктами.

Целью проведения лабораторных исследований являлось – подтверждение работоспособности, и уточнение конструктивных параметров разработанной конструкции бульдозера-смесителя для наилучшего перемешивания компонентов смеси (Рисунок 3).

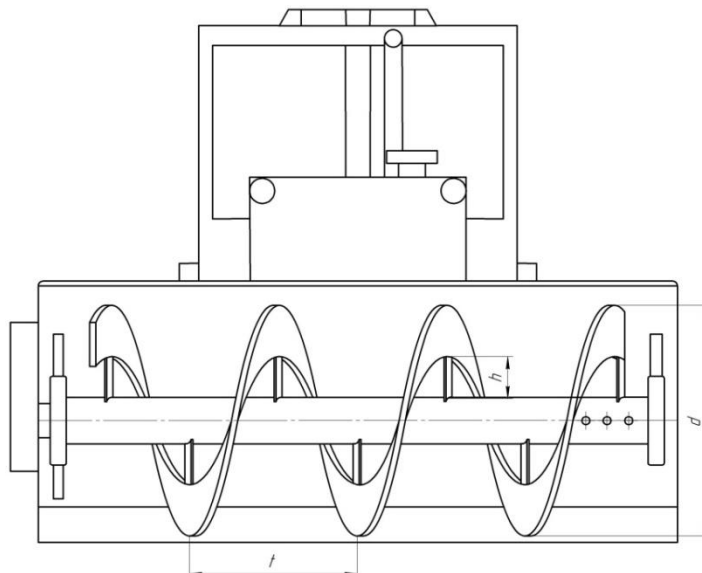


Рисунок – 3 Бульдозер-смеситель

$d$  – диаметр шнека;  $t$  – шаг винтовой поверхности;  $h$  – высота подъема винтовой поверхности

В результате проведенных исследований была построена факторная область, на основании которой были определены оптимальные параметры рабочего оборудования бульдозера-смесителя (Рисунок 4), которые соответственно равны: обороты шнека  $n$ , в пределах 250-350 мин<sup>-1</sup>; шага винтовой поверхности  $t$ , в интервале 0,65 – 0,75 м; подъема винтовой поверхности  $h$ , в интервале 0,4 – 0,5 м.

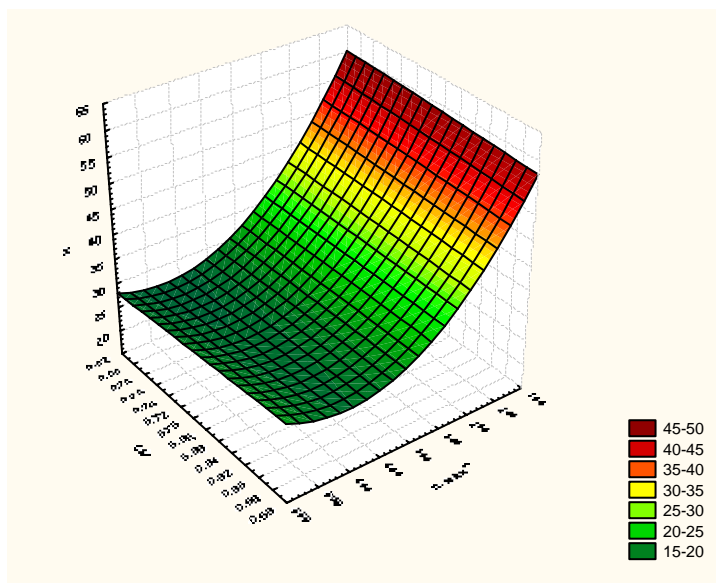


Рисунок 4 – Влияние частоты вращения и шага винтовой поверхности шнека на качество получаемой смеси

Уравнение регрессии в натуральной форме:

$$Y = 66,58 - 0,169n + 0,262t - 0,155h - 0,0006nt + 0,0019nh - 0,0014th \quad (3)$$

Проведенные полевые исследования по предлагаемой технологии показали наилучшие результаты по восстановлению плодородия почвы.

*Изменение концентрации нефти и агрохимических свойств почвы после рекультивации.*

Концентрация нефтекомпонентов в почве после активной работы микроорганизмов значительно снизилась. При этом, концентрация нефтепродуктов при самоочищении почвы в сравнении с очисткой в первый год, более чем на 50% хуже предлагаемой и на 28 % – ранее применяемой технологией. (Рисунок 5).

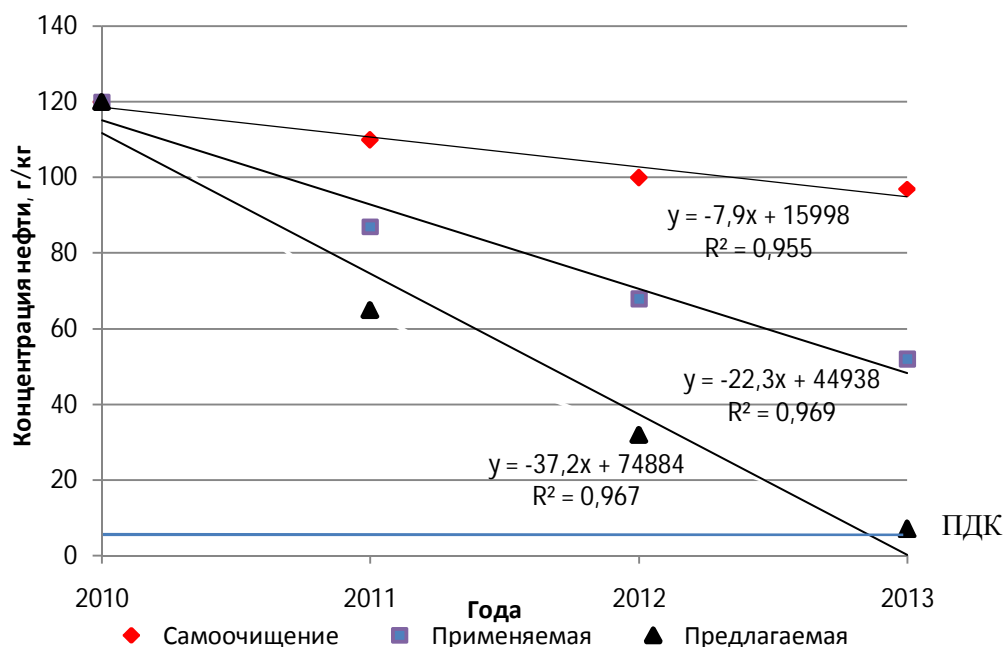


Рисунок 5 – Динамика снижения концентрации нефтезагрязнения в почве

За период исследований рекультивируемого участка по существующей и предлагаемой технологиям выявлено, что использование качественного перемешивания и оптимально подобранных компонентов уже за первый год рекультивации снижает концентрацию на 60 %, когда как по существующей – снижение концентрации достигло 39 %. В среднем за три года рекультивации эффективность предлагаемой технологии в 2 раза выше существующей.

Исследования показали, что нефть в почве незначительно снижает процентное содержание гумуса, однако приводит к нарушению водно-воздушного режима в почве. При загрязнении почв нефтью процентное содержание гумуса и количество питательных веществ (азот, фосфор) резко сократилось. После рекультивации агрохимические свойства почвы нормализуются и находятся в пределах показателей фона. При этом отмечено, что процентное содержание гумуса в почве меньше лишь на 0,32 %, что свидетельствует о восстановлении

плодородия почвы (Таблица 1).

Таблица 1 - Влияние нефти и нефтепродуктов на агрохимические свойства почвы

Варианты	период	рН	Содержание гумуса, %	Содержание питательных веществ, мг /100 г почвы		
				Гидро - лизуемый азот	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Не загрязненный участок (фон)	2011	7,5	4,53	3,83	6,95	31,33
	2012	7,55	4,52	3,79	6,93	30,9
	2013	7,6	4,53	3,82	6,87	31,32
Среднее значение		7,55	4,53	3,81	6,92	31,18
Рекультивируемый участок	2011					
	2012	6,8	4,50	4,65	7,92	46,9
	2013	7,1	4,50	4,90	7,87	47,8
Среднее значение		6,6	4,51	4,77	7,89	47,3

Аналогичные результаты восстановления загрязненной поверхности получались при исследовании плотности и структурного состояния почвы.

При исследовании плотности почвы наблюдалось значительное улучшения состояния после рекультивации. Плотность почвы рекультивируемого участка на глубине 0 – 10 см в среднем значение составило 1,13 г/см<sup>3</sup>, что на уровне фоновых значений.

В результате исследований структурного состояния почвы на рекультивируемом участке было установлено, что количество глыбистых частиц почвы уменьшилось на 45 %, а количественное содержание структурно ценных агрегатов составило 71,1, что так же находится на уровне фоновых значений.

*Урожайность на рекультивируемом участке.* По предлагаемой технологии рекультивации после всех основных этапов производилась фиторемедиация, а именно высев толерантных растений (кострец) (Таблица 2).

Таблица 2 – Урожайность костреца после рекультивации нефтезагрязненного участка

Опыт	Урожайность зеленой массы, т/га	Отклонение от фонового участка	
		т/га	%
2011			
Фоновый участок	15,4	10	65
Рекультивируемый участок	5,4		
2012			
Фоновый участок	19,5	6,8	34,8
Рекультивируемый участок	12,7		
2013			
Фоновый участок	17,8	3,5	19,6
Рекультивируемый участок	14,3		

Исследования показали, что с каждым годом рекультивации состояние почвы постепенно восстанавливалось, тем самым давала возможность растениям формировать урожай. Таким образом, за первый год исследований урожайность зеленой массы костреца составила 5,4 т/га, что ниже фонового значения на 65%. В среднем за три года исследований урожайность рекультивируемого участка была ниже фонового участка на 38,5%.

Улучшение структурности почвы и состояния питательных веществ, гумуса, после рекультивации, положительно сказалось на плодородии почвы, что доказывает эффективность выбранной технологии.

**В пятом разделе «Эколого-экономическая эффективность рекультивации земель загрязненных нефтью и нефтепродуктами»** установлено, за проведенные периоды рекультивации общая сумма затрат составила 500719 руб. на один гектар. Показатель эколого-экономической эффективности вложения одного рубля на рекультивацию составил 1.78. Анализ применяемой и предлагаемой технологии рекультивации земель загрязненных нефтью и нефтепродуктами показал, что затраты на применяемую технологию выше предлагаемой на 14,3%

### **Заключение**

1. Добыча нефти в России ежегодно растет на 1-1,3 %, что приводит к ежегодному росту потерь нефти и нефтепродуктов в окружающую среду до 30 тыс. разливов. Анализ существующих технологий показал, что наиболее распространенным является биологическая очистка. На основании проведенного анализа биологической рекультивации земель загрязненных нефтью и нефтепродуктами, разработана технология и бульдозер-смеситель, позволяющие снизить сроки и затраты на рекультивацию за счет более качественного распределения биологических компонентов в объеме загрязненного грунта.

2. В результате теоретических исследований разработана технология очистки (Патент РФ 2475314) получена математическая модель движения материальной точки (частицы) по винтовой поверхности шнека бульдозера-смесителя (Патент РФ 129528), установлена зависимость времени движения частицы от частоты вращения шнека.

3. В процессе испытаний бульдозера-смесителя для достижения качественного распределения компонентов в загрязненном грунте (75 – 85 % однородности) получены оптимальные режимы работы шнека (обороты шнека 300 мин<sup>1</sup>) и конструктивные параметры (шаг навивки 0,70 м и высота подъема винтовой поверхности 0,5 м).

4. Рекультивация нефтезагрязненного грунта по предлагаемой технологии позволяет сократить вдвое продолжительность восстановления нарушенной структуры и гумусового состояния почвы. За 3 года исследований процентное содержание гумуса в почве на рекультивируемом участке ниже, чем на фоновом участке, на 0,32 %, кроме этого плотность почвы на глубине 0–10см составила 1,13 г/см<sup>3</sup>, что выше плотности фона на 0,36 %. Улучшение структурного

состояния почвы, выраженное в увеличении агрономически ценных частиц в сравнении с загрязненным участком и ниже фонового участка на 0,3 %. Снижение концентрации нефти в почве за счет качественного перемешивания и оптимально подобранных компонентов уже за первый год рекультивации составило 60 %.

5. Показатель эколого-экономической эффективности вложения одного рубля на рекультивацию по предлагаемой технологии с использованием бульдозера-смесителя составил 1,78, а общая экономическая эффективность в сравнении с применяемым способом составила 95723 руб.

### **Рекомендации производству**

1) Проводить рекультивацию земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, путем извлечения загрязненной почвы, ее перемешивания с компонентами очистки, укладки в траншею и увлажнения.

2) Для повышения качества перемешивания загрязненной почвы с компонентами очистки применять бульдозер-смеситель с параметрами: шаг навивки 0,7 м; высота подъема винтовой поверхности 0,5 м; обороты шнека 300 мин<sup>-1</sup>.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Совершенствование и создание машин и технологий, повышающих эффективность очистки почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, на основе азирования очищаемых земель.

Основное содержание диссертации опубликовано  
в следующих работах

*В рецензированный научных изданиях*

1. **Лазарев, А.П.** Повышение эффективности детоксикации загрязненного грунта [Статья] / В.В. Слюсаренко, А.П. Лазарев // Научное обозрение. – 2013. – № 8. – С. 19–23.

2. **Лазарев, А.П.** Новое в рекультивации нефтезагрязненных земель [Статья] / В.В. Слюсаренко, А.П. Лазарев // Научное обозрение. – 2014. – № 3. – С 8-10

3. **Лазарев, А.П.** Теоретическое обоснование режимов работы бульдозера-смесителя [Статья] / В.В. Слюсаренко, А.П. Лазарев // Научное обозрение. – 2014. – № 4. – С.10-13.

### *Патенты*

4. **Пат. №2475314** Российская Федерация МПК В09С1/10. Способ детоксикации грунта, загрязненного нефтепродуктами [Текст] / Слюсаренко В.В., Дружинин А.В., Спевак Н.В., Сержантов В.Г., Лазарев А.П. №2011132228/13, заявл. 29.07.2011; опубл. 20.02.2013

5. **Пат. №2496589** Российская Федерация МПК В09С1/10. Способ комплексной рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами [Текст] / Слюсаренко В.В., Дружинин А.В., Сержантов В.Г., Лазарев А.П. №2012133121/13, заявл. 01.08.2012; опубл. 27.10.2013

**6. Пат №129528** Российская Федерация МПК E02F3/76. Бульдозер-смеситель [текст] / Слюсаренко В.В., Лазарев А.П., Дружинин А.В., Сержантов В.Г.; № 2013100726/03, заявл. 09.01.2013; опубл. 27.06.2013

**7. Пат № 2528198** Российская Федерация МПК B09C1/10. Способ детоксикации грунта, загрязненного нефтью и нефтепродуктами [текст] / Слюсаренко В.В., Лазарев А.П. Дружинин А.В., № 2013119668, заявл. 26.04.2013; опубл.10.09.2014

*В материалах конференций и семинаров*

**8. Лазарев, А.П.** Повышение эффективности рекультивации земель загрязненных нефтью и нефтепродуктами с помощью бульдозера смесителя [Статья] / Лазарев А.П. // Техногенная и природная безопасность: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов 2013. – С. 140-143

**9. Лазарев, А.П.** Детоксикация грунта загрязненного нефтью нефтепродуктами [Статья]./ Лазарев А.П., Слюсаренко В.В. // Материалы IV международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Саратовского Государственного Аграрного Университета имени Н.И. Вавилова. Саратов 2013., 191-194 с.

**10. Лазарев, А.П.** Технология восстановления земель при загрязнении нефтепродуктами [Статья] / Слюсаренко В.В., Лазарев А.П. // Научная жизнь. 2013. №4., С. 50-54.

**11. Лазарев, А.П.** Пути совершенствования рекультивации загрязненных нефтью земель [Статья] / Слюсаренко В.В., Лазарев А.П., Ефимов А.Ю., Марынова Т.А. // Научная жизнь. 2013. №5., С. 38-42.