

**ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный
университет им. Н.И.Вавилова»**

На правах рукописи

Лазарев Александр Петрович

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

Специальность 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Слюсаренко В.В.

Саратов – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	8
1.1 Современное состояние добычи нефти и загрязнения ландшафта в России и Саратовской области	8
1.2 Влияние загрязнений нефтью и нефтепродуктами на окружающую среду	16
1.3 Классификация существующих способов борьбы с нефтезагрязнением почв	21
1.4 Биологический подход к рекультивации нефтезагрязненных земель	26
1.5 Этапы проведения биологической рекультивации	31
1.6 Цель и задачи исследований	34
2 ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ГРУНТА БУЛЬДОЗЕРОМ-СМЕСИТЕЛЕМ	36
2.1 Технология и технические средства для проведения технической рекультивации нефтезагрязненных земель	36
2.2 Уравнение винтовой поверхности шнека бульдозера-смесителя	49
2.3 Уравнение движения материальной точки по винтовой поверхности	51
2.4 Определение времени перемещения материальной точки в массиве грунта	57
2.5 Мощность, необходимая для работы бульдозера-смесителя	61
2.6 Выводы	65
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	66
3.1 Программа исследования физико-механических свойств, грунта загрязненного нефтепродуктами	66
3.2 Методика лабораторные исследования рабочего процесса бульдозера-смесителя	67

3.2.1 Описание экспериментальной установки бульдозера-смесителя	68
3.2.2 Порядок проведения эксперимента	71
3.2.3 Определение качества перемешивания компонентов с грунтом, загрязненным нефтью и нефтепродуктами, бульдозером-смесителем	72
3.2.4 Методика обработки экспериментальных данных	76
3.3 Методика полевых исследований	76
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БУЛЬДОЗЕРА-СМЕСИТЕЛЯ	78
4.1 Влияние конструктивных параметров и технологических режимов работы шнека на качество перемешивания	78
4.2 Влияние технологических режимов и конструктивных параметров на энергоёмкость процесса перемешивания	89
4.3 Исследования динамики восстановления нефтезагрязненной почвы	92
4.3.1 Плотность почвы, загрязненной нефтью	92
4.3.2 Агрохимические свойства почвы	94
4.3.3 Структурное состояние почвы	95
4.4 Снижение концентрации нефти в загрязненном грунте	96
4.5 Урожайность культуры на участке после рекультивации нефтезагрязненной почвы	97
4.6 Выводы	99
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ	101
5.1 Методика расчета эколого-экономической эффективности использования новой технологии рекультивации	101
5.2 Выводы	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
<i>Список литературы</i>	109
ПРИЛОЖЕНИЯ	125

ВВЕДЕНИЕ

С ростом мировой экономики и энергетической потребности все больше увеличиваются объемы добычи нефти, что приводит к увеличению загрязнения окружающей среды, в том числе к загрязнению почвы. По данным специалистов, ежегодно при транспортировке теряется от 3 до 15 % добываемой нефти и продуктов ее переработки, при этом образуется свыше 510 млн тонн загрязненного нефтепродуктами грунта.

Распространяясь по поверхности земли, компоненты нефти вызывают отрицательные изменения всех почвенных характеристик, что приводит к нарушению сложившегося геохимического баланса в экосистеме почвы. Кроме этого, загрязнение нефтью приводит к полному или частичному изменению микробиоты, снижению продуктивности фитомассы напочвенного покрова.

Большинство аварий приходится на земли сельскохозяйственного назначения, что влечет за собой не только нарушение экологии, но и экономики страны. По этой причине поиск и разработка новых и эффективных подходов к восстановлению покрова земли, нарушенного в результате попадания нефтепродуктов, являются приоритетными для любого общества.

Из всех существующих способов рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, наиболее эффективным и положительно зарекомендовавшим себя является биологический подход. Однако его недостатками являются дороговизна реализации и длительный период восстановления плодородия.

Ежегодно разрабатываются новые способы и технологии осуществления биологического подхода к рекультивации земель с повышенной эффективностью работы микроорганизмов с целью сокращения периода восстановления нарушенного покрова земли. При этом, в большинстве технологий не уделяют должного внимания техническому этапу рекультивации. Данный этап является наиболее трудоемким, экономически и энергетически затратным. Помимо этого, на техническом этапе осуществляются технические операции, способствующие повышению работоспособности микроорганизмов, что приводит к увеличению

эффективности биологического подхода к рекультивации в целом. Одной из таких операций является перемешивание компонентов очистки с загрязненным грунтом. Качественное распределение компонентов в объеме загрязненного грунта в значительной степени повышает эффективность работы микроорганизмов.

Необходимо отметить, что на техническом этапе рекультивации более 90 % объема загрязненного грунта разрабатывается бульдозерами и экскаваторами. Они же осуществляют операции перемешивания компонентов с загрязненным грунтом. Однако исследования показали, что использование экскаватора в качестве перемешивающего устройства малоэффективно.

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

В задачи исследований входит:

- 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.

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.

Научная новизна работы состоит:

- 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 рекультивации и конструкции 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

Апробация работ. 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); учувствовал в VIII Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций (Саратов, 2013).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 10 работ, в т.ч. 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 3 патента РФ на изобретение и 1 патент РФ на полезную модель. Общий объем публикаций - 3.25 печ. л., из которых 1.25 печ. л. принадлежат лично соискателю.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованной литературы из 152 наименований и приложения. Работа изложена на 148 страницах, содержит 14 таблиц и 34 рисунков

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Современное состояние добычи нефти и загрязнения ландшафта в России и Саратовской области

Нефть является одним из важнейших полезных жидких ископаемых в мире. Это маслянистая жидкость темно-коричневого или почти черного цвета со специфическим запахом, более легкая, чем вода, и почти нерастворимая в ней. По структуре нефть представляет собой соединение углерода (79,5–87,5 %) и водорода (11,0–14,5 %). В молекулах нефти присутствует около 20 химических соединений, образующих разнообразные классы природных соединений [1, 31, 48, 128].

В некоторых странах на добыче нефти основывается экономика. Россия – не исключение. В настоящее время нефтяной комплекс России наряду с другими производственными комплексами страны является наиболее устойчивым и обеспечивает значительный вклад в формирование бюджета страны.

В недрах России разведано более 13 % запасов нефти от существующих. Большинство ресурсов расположено на суше (примерно 3/4). Основными округами по добыче нефти являются Северо-Западный, Южный, Приволжский, Уральский, Сибирский, Дальневосточный федеральные округа. Примерно 60 % ресурсов нефти приходится на долю районов Урала и Сибири, что создает потенциальные возможности экспорта как в западном, так и в восточном направлениях. Добычу нефти в стране осуществляют более 240 нефтегазодобывающих организаций, причем 11 нефтедобывающих холдингов, включая ОАО «Газпром», обеспечивают более 90 % всего объема добычи [36, 37].

В 2013 г. в России было добыто рекордное количество нефти – около 523 миллионов тонн (Рисунок 1.1).

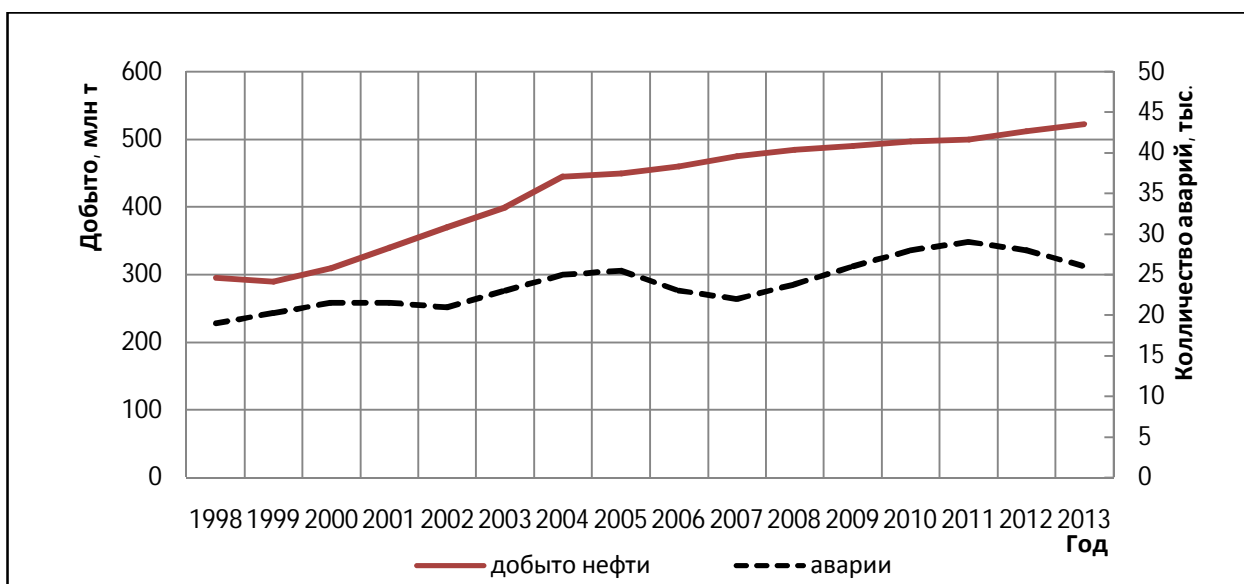


Рисунок 1.1 – Динамика добычи нефти и количество аварий в России

Саратовская область относится к Приволжскому федеральному округу и занимает территорию 101,2 тыс. км², что составляет 0,6 % от территории России. По количеству перспективных и прогнозных ресурсов область занимает первое место в Поволжье, по реальным запасам углеводородного сырья Саратовская область находится на четвертом месте, Татарстану, Самарской и Волгоградской областям. Пик годовой добычи нефти (2475 тыс. т) был достигнут в 1958 году, после 12 лет с начала разработки нефтяных месторождений. С 1959 по 1963 г. годовая добыча нефти начала заметно сокращаться (до 1418 тыс. т). В последующие 30 лет добыча стабилизировалась на уровне 1200–1400 тыс. тонн в год, а в дальнейшем произошло сокращение добычи более чем в два раза [49, 50, 51].

В 2013 году объем добычи нефти достиг 1348 тыс. т, что на 6% ниже, чем в 2012 году (Рисунок 1.2).

Рост добычи нефти идет за счет освоения новых месторождений (в 2011 году были освоены Березовские месторождения).

Объем годовой добычи нефти во многом определяется глобальной экономической конъюнктурой, формирующейся под влиянием мировых цен на нефть и состояния экономики в целом [16].

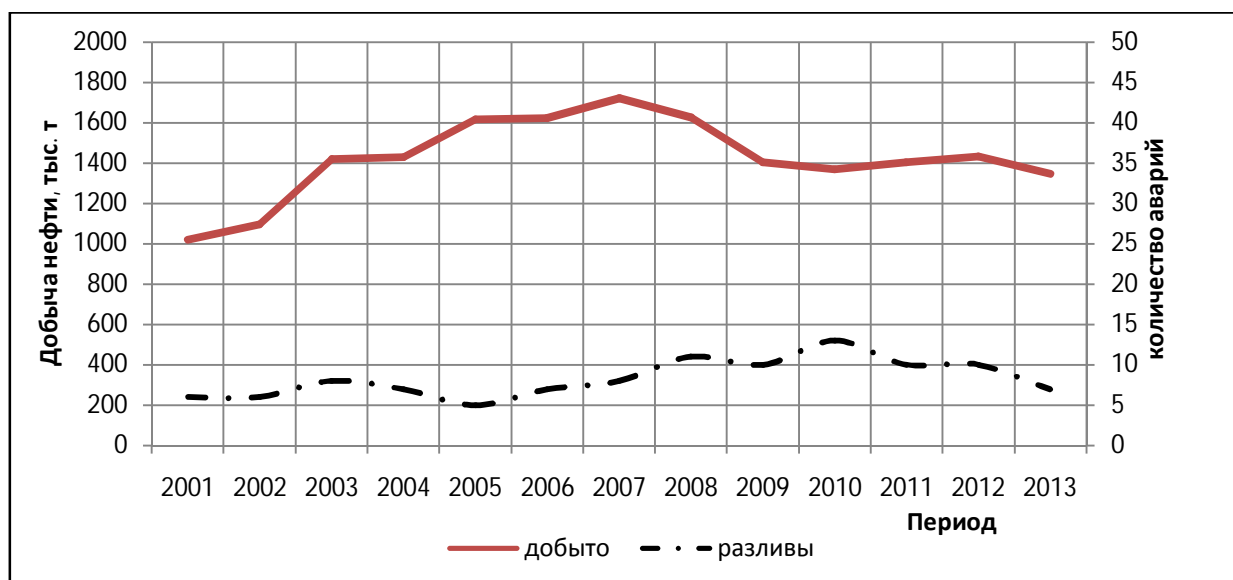


Рисунок 1.2 – Динамика добычи нефти и количество разливов на территории Саратовской области

Страны, лидирующие по добыче нефти, являются лидирующими и по загрязнению территорий нефтью и нефтепродуктами, оказывающему колоссальное воздействие на окружающую среду. Потери при высоких объемах добычи нефти исчисляются десятками миллионов тонн в год [81].

Невысокие цены на нефть при больших объемах ее добычи и потребления, а также отсутствие необходимых мер по охране окружающей среды приводили к глобальным экологическим последствиям. Нефтяное загрязнение по масштабам и токсичности представляет собой серьезную опасность для окружающей среды, вызывая отравление, гибель организмов и деградацию почвы.

Главными источниками загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами являются нефтепромыслы, нефтеперерабатывающие предприятия, нефтебазы, наземный и водный транспорт, перевозящий нефтепродукты [5, 44, 82, 99, 100, 101, 123].

В таблице 1.1 приведены источники загрязнения природной среды нефтью и нефтепродуктами.

Таблица 1.1 – Источники загрязнения природной среды нефтью и нефтепродуктами

Предприятия и сооружения	Источник загрязнения	Основные причины загрязнений	Загрязняющие вещества
Нефтепромыслы	Скважины	Стравливание во время ремонта, нарушение герметичности арматуры, аварийные выбросы	Сырая нефть, товарная нефть, минерализованные воды
	Трубопроводы	Коррозия и механические повреждения труб	NaCl, CaSO ₄ и др.
	Сборные пункты, нефтехранилища	Испарения углеводородов в атмосферу, утечки в результате нарушения герметичности емкостей	Конденсаты
	Пункты первичной подготовки нефти	То же, что на сборных пунктах и трубопроводах; сброс сточных вод	Конденсаты, сажа, канцерогенные углеводороды
	Факелы	Неполное сгорание нефтепродуктов, конденсация в воздухе стравленных углеводородов	Конденсаты, сажа, канцерогенные углеводороды, сернистые соединения
Нефтепроводы	Нефтепроводы	Механические повреждения труб, коррозия	Товарная нефть, жидкие нефтепродукты
Нефтеперерабатывающие, нефтехранилища	Очистные сооружения, канализация	Аварии, разгерметизация соединений трубопроводов, испарение нефтепродуктов в атмосферу	Сточные воды с нефтью и нефтепродуктами
Нефтеперерабатывающие, нефтехранилища	Резервуары для хранения нефтепродуктов	Выбросы в атмосферу при избыточном давлении паров, нарушение герметичности резервуаров	Легкие углеводороды, мазуты, дизельные и другие топлива
	Технологические установки	Выбросы через предохранительные клапаны	Углеводороды, сероводород

Добыча и транспортировка нефти на нефтеперерабатывающие предприятия сопровождается значительными ее потерями, что приводит к загрязнению окружающей среды [2, 41, 72].

Наиболее активно идет загрязнение нефтью на нефтепромыслах, эксплуатационных и разведочных скважинах; при авариях на скважинах и нефтепроводах; в местах переработки и реализации нефтепродуктов. В районе нефтепромыслов основными загрязняющими веществами являются сырая нефть и высокоминерализованные нефтяные и сточные воды, продукты сжигания попутных газов. Считается, что под каждым из объектов в будущем образуется зона загрязнения грунтов и грунтовых вод нефтепродуктами [26, 88].

Транспортировку нефти и нефтепродуктов осуществляют железнодорожными, автомобильными видами транспорта, по трубопроводам. Железнодорожным транспортом обеспечивается перевозка более 70% товарной нефти, светлых нефтепродуктов, мазута. При этом возникает опасность аварийных ситуаций, сопровождаемых возможными потерями нефтепродуктов.

Оставшаяся доля перевозок нефтепродуктов приходится на автомобильные виды транспорта, которые, как и при железнодорожном виде транспортировки, сопровождаются аварийными ситуациями.

Транспортировка нефти по трубопроводам считается наиболее выгодным способом транспортирования сырой и товарной нефти, а также различных жидких нефтепродуктов. Однако данный способ транспортирования является наименее управляемым источником загрязнения окружающей среды. Нефтепроводы густой сетью располагаются в районах нефтедобычи и осуществляют транспортировку к месту переработки на большие расстояния. При транспортировке нефти трубопроводы подвержены отложениям смол и парафинов, коррозии внутри труб (40 % магистральных трубопроводов имеют коррозионные повреждения, 7 % – трубопроводов работают меньше 10 лет, 25 % – 10–20 лет, 34 % – 20–30 лет, 34 % – свыше 30 лет) [43], в результате чего происходят аварии, приводящие к выбросам нефти на поверхность земли. При порыве нефтепровода в среднем выбрасываются 2–3 т нефти, выводящие из строя более 1000 м³ земли [18, 43, 101].

Ежегодно в России происходит 20 – 40 тыс. случаев прорывов трубопроводов, в том числе около 300 аварий с выбросом более 10 тыс. тонн нефти. По оценкам, при добыче и транспортировке теряется ежегодно в среднем 10 млн тонн нефти. В случае разрыва магистрального нефтепровода на землю попадает до нескольких тысяч тонн нефти даже при штатном срабатывании автоматической системы перекрытия нефтепровода (автоматические задвижки срабатывают, когда из нефтепровода вытекает около 1 % содержащегося в нем продукта). При разливах нефти на почву она проникает на глубину 20 – 30 см и возвращение нарушенной почвы в экосистему возможно только после длительной и тщательной рекультивации.

На рисунке 1.1 показана интенсивность зафиксированных аварий на нефтепроводах в России [17].

К сожалению, не все случаи разливов нефти фиксируются. Официальная статистика фиксирует только те случаи разливов, при которых выливается более 8 т нефти, а остальные считаются просто инцидентом, о котором можно не оповещать власти [56]. В результате больших потерь нефти и нефтепродуктов за год в России объем загрязненного нефтепродуктами грунта достигает 510 млн. тонн.

Согласно оценкам Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, общий объем потерь при транспортировке нефти в России ежегодно составлял от 3 до 15 %.

Основными причинами аварий на нефтепроводах с последующим попаданием нефти и нефтепродуктов в грунт являются физические воздействия на трубопроводы, приводящие к их повреждению, коррозионные процессы, несвоевременная замена и ремонт изношенного оборудования, природные факторы и т. д.

В последнее время колоссальный вред окружающей среде наносят так называемые несанкционированные врезки в магистральные трубопроводы. (Рисунок 1.3)



Рисунок 1.3 – Причины попадания нефти в окружающую среду

Наибольшее количество неконтролируемых аварий в России связано с воровством нефти при транспортировке. По данным «Транснефти», всего в период с 2003 по 2013 год на объектах компании было выявлено 4779 несанкционированных врезок в магистральные нефтепроводы, что составляет около 70 % общего количества воровства. В 2013 году таких случаев было зафиксировано 170, в 2012 году – 180, а в 2011 году – 214 (Рисунок 1.4) [56].

Самыми неблагополучными регионами по количеству несанкционированных врезок в трубопроводы являются Самарская область, республика Дагестан, а также Иркутская и Ленинградская области, на которые приходится 50 % всех несанкционированных врезок в нефтепроводы[56].

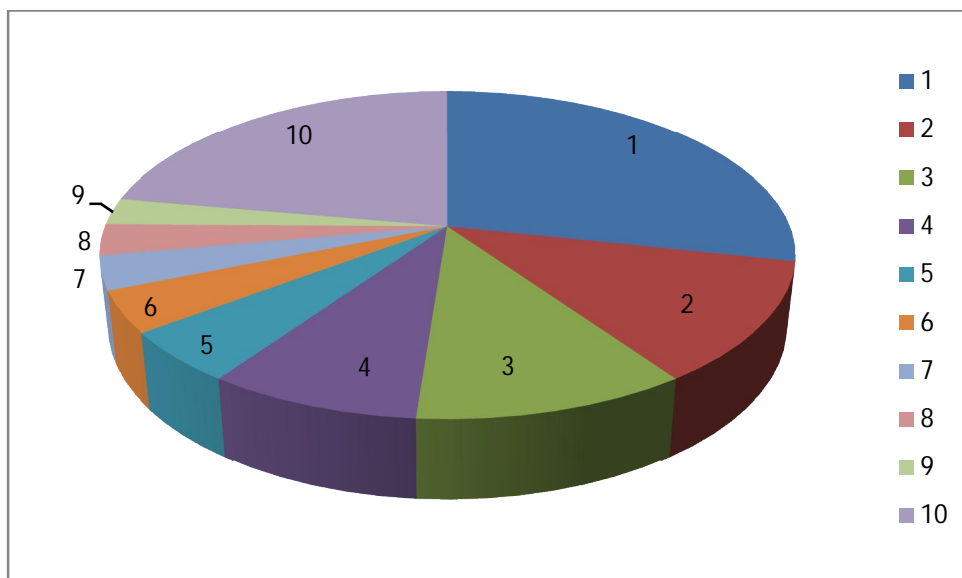


Рисунок 1.4 – Распределение количества несанкционированных врезок по регионам России за 2003 – 2012 годы:

1–Самарская область (1322); 2–Иркутская область (556); 3–Дагестан (507); 4–Краснодарский край (395); 5–Волгоградская область (235); 6–Ставропольский край (191); 7–Ростовская область (154); 8–Ульяновская область (143); 9–Саратовская область (121); 10–остальные регионы России

В Саратовской области, как и в других областях, ведется активная добыча, транспортировка и переработка нефти и нефтепродуктов. В области расположено большое количество нефтепроводов протяженностью одноконтурным исполнением 1046 км, в том числе 22 нитки подводных переходов протяженностью 22,9 км (из них 3 перехода через реку Волга). В большинстве случаев транспортировку нефти к месту переработки осуществляют автомобильными путями. Как и в других областях России, в Саратовской области происходили большие потери нефти, сопровождаемые загрязнением окружающей среды, кроме того, большинство аварий приходилось на сельскохозяйственные угодья, в результате чего снижался объем урожайности. Так, например, 3 марта 2009 года в Ровенском районе Саратовской области произошел крупный разлив нефти из-за аварии на нефтепроводе, в результате пострадало 2 тыс. м² земли. 17 июня 2013 года в Лысогорском районе Саратовской области произошла авария на нефтепроводе, в результате было загрязнено около 500 м² земли. 26 января 2007 года вследствие

несанкционированной врезки произошла утечка нефти из нефтепровода, в результате чего было загрязнено 10 м² земли.

Таким образом, в период 2003-2013 гг. в области произошло 98 зарегистрированных случаев аварий и инцидентов различного уровня (Рисунок 1.2) [49,50,51].

Развивающиеся нефтедобывающие и перерабатывающие компании ежегодно создают колоссальную угрозу для окружающей среды, в результате чего гибнут растения, животные, нарушается экосистема.

1.2 Влияние загрязнений нефтью и нефтепродуктами на окружающую среду

Происхождение нефти связано с длительным разложением органических остатков, преимущественно растительных. Впервые идея о растительном происхождении нефти была высказана М.В. Ломоносовым в его трактате «О слоях земных» [31, 43, 128, 134].

В составе нефти обнаружено большое количество различных веществ, в основном это парафиновые, нафтеновые, ароматические углеводороды. Кроме органических веществ в нефти содержатся и неорганические вещества: вода, соли, сероводород, соединения металлов и неметаллов. Соотношение компонентов, входящих в нефть, определяет ее тип, состав, физические свойства. В природе нефть разнообразна по внешнему виду, по фазовому состоянию, по химическому составу, по химическим и физическим свойствам [43, 99, 100, 101, 134].

Попадая в почвенный покров, нефть несет с собой комплекс различных химических соединений, которые нарушают баланс в экосистеме. Нарушение баланса экосистемы возникает под действием разнообразных механизмов: изменения состояния среды, нарушения ее воздушно-водного баланса; внесения токсических веществ, которые влияют на жизнедеятельность отдельных компонентов биоценоза; засоления почв пластовыми жидкостями. Деятельность нефтяных компонентов особенно сказывается на изменении и нарушении

экологической обстановки местности (нарушение водно-воздушного, питательного баланса и т. д.) [23, 25, 32, 33, 34, 46, 47, 54, 63, 64, 73, 82,].

Исследованиями Н.П.Солнцевой [123, 124], Е.М Никифоровой.[84] и др. установлены основные особенности трансформации почв при загрязнении нефтью и нефтепродуктами. Процессы деградации загрязнителей почвы осуществляются на фоне активного их взаимодействия с почвенной массой, что приводит к направленному изменению ее свойств, химического состава и др.

Распределение нефти по поверхности почвы в результате аварии происходит в зависимости от свойств почвы, состава компонентов нефти и времени с момента загрязнения. Кроме этого нефть, распределяется как по горизонтали, так и по вертикали (глубине). Распределение нефти в верхних горизонтах почвы обуславливается фронтальным просачиванием, что приводит к насыщению почвы нефтью [124].

Насыщение почвы нефтью и нефтепродуктами приводит к изменению ее структуры, свойств, химического состава [55, 63, 64, 83, 111, 123]. Первоначально это оказывает влияние на гумусовый горизонт (увеличивается количество углерода, ухудшаются питательные свойства почвы и т. д.). Нефть, обволакивая корни и листья растений, приводит к физиологическим изменениям, так как нарушается водно-воздушный баланс.

В результате образования продуктов трансформации нефти в почве изменяется состав гумуса. На первых стадиях загрязнения изменения затрагивают липидные и кислые функциональные группы гумуса, в последующие периоды за счет насыщенного присутствия углерода увеличивается содержание нерастворимого гумина. Все это влечет за собой нарушение окислительно-восстановительных условий в почвенном профиле [84, 124]. Кроме этого, под воздействием компонентов нефти происходит изменение химического строения гуминовых кислот, что выражено в повышении концентрации углерода, водорода и уменьшении кислорода, азота [129].

Влажность почвы оказывает непосредственное влияние на закрепление нефти в почве. Чем выше влажность почвы, тем ниже степень внутripочвенного закрепления нефти и выше активность ее перемещения [84, 124].

Попадание в почву нефть и нефтепродукты влечет за собой изменения структуры почвы по всему профилю – уменьшение содержания наиболее крупных и снижение мелких и средних фракций почвы, которые являются агрономически ценными. В исследованиях Л. А. Салангина рассматриваются структурные изменения почвы под воздействием нефтяного загрязнения, в результате которых количество агрегатов размером 0,25 – 1 мм снизилось в 2 раза в сравнении с фоновым участком, а количество водостойких агрегатов увеличилось в 4 раза [113].

Как уже известно, в состав нефти входят такие группы углеводородов, как алифатические (метановые), циклические насыщенные (нафтеновые), циклические ненасыщенные (ароматические). Нефти с преобладанием метановых углеводородов относятся к метановому типу. Среди метановых углеводородов имеются газообразные, жидкие и твердые. Газообразные (метан, бутан, этан и др.) растворены в жидких углеводородах и выделяются при изменении давления. Твердые высокомолекулярные углеводороды (парафины) также находятся в растворенном состоянии. Среди метановых углеводородов выделяются высокопарафинистые (парафина более 6 %), парафинистые (1,5–6 %), малопарафинистые (менее 1,5 %) [48, 99, 100].

Все вещества, входящие в состав нефти и нефтепродуктов, являются токсичными, нередко канцерогенными.

Загрязнение почвы нефтью приводит к резкому нарушению в ней микробиоценоза. Изменение состояния комплекса почвенных микроорганизмов зависит не только от начальной концентрации нефтезагрязнителя, но и от периода загрязнения [65]. При загрязнении нефтью почвенные микроорганизмы усиливают свою активность и численность. В результате загрязнения резко возрастает количество углеводородокисляющих микроорганизмов, и сложившееся сообщество микроорганизмов принимает неустойчивый характер.

Во время разложения нефти в почве общее содержание микроорганизмов приближается к фоновым значениям, но количество нефтеокисляющих бактерий в загрязненной почве значительно выше, чем в сравнении с фоном.

Загрязнение оказывает длительное отрицательное воздействие на мезофауну (почвенные микроорганизмы) [69]. Это воздействие происходит при прямом контакте с нефтью и через изменение свойств загрязненных почв. Исследования показали, что наиболее уязвимыми к нефтезагрязнению оказались беспозвоночные организмы, которые погибали при начальном периоде загрязнения [10, 11].

Действие различных фракций нефти на живые организмы различно. Легкие фракции нефти и нефтепродуктов, богатые бензином, обладают повышенной токсичностью для живых организмов. Летучие фракции проявляют эффект сразу после контакта с почвой и ее обитателями. В то же время действие этих фракций кратковременно. Они быстрее испаряются, и их воздействие на природную среду непродолжительно.

Легкие нефтепродукты, попадая на поверхность почвы, в значительной степени испаряются, разлагаются и смываются водными потоками. Легкие фракции нефтепродуктов быстро приводят к массовому уничтожению мезофауны в почве. Доказано, что через 3 дня после загрязнения большинство видов почвенных животных полностью исчезают или составляют 1 % [58].

Эффект тяжелых фракций проявляется позже. Тяжелые фракции нефти малоподвижны и могут создавать устойчивый очаг загрязнения, очищение природной среды от них протекает с трудом. Присутствие смол, асфальтенов и тяжелых металлов в тяжелой нефти влечет за собой изменения водно-физических свойства почвы, они обладают токсичным воздействием на организмы. Попадание же парафиновой нефти в почву приводит к нарушению влагообмена в почве на длительный период. Ее компоненты опасны для почвы, так как имеют низкую температуру застывания. Они прочно закупоривают поры и каналы почвы, по которым происходит обмен веществ между почвой и сопредельными средами [6, 30, 99, 143].

В результате образования на поверхности нефтяной пленки почвы теряют способность впитывать и удерживать влагу, тем самым снижается гидроскопическая влажность, влагоемкость и влагопроницаемость [98]. Кроме этого, при уменьшении влажности в верхних горизонтах почвы увеличивается влажность нижних горизонтов, что приводит к нарушению водно-воздушного режима почвы и развитию анаэробных процессов [111].

Наиболее токсичными являются ароматические углеводороды, среди которых много канцерогенов. Высокотоксичны метановые углеводороды, особенно нормальные алканы с короткой углеродной цепью, составляющие основу легких фракций нефти. Их летучесть способствует быстрому испарению этих компонентов нефти.

Значительное влияние на вязкость нефти оказывают твердые метановые углеводороды (парафины), содержание которых в нефти может достигать 15 – 20 %. Твердые парафины плохо разрушаются.

Нефть и нефтепродукты оказывают негативное влияние на растительный слой, в результате прямого воздействия образуют на поверхности семян и корней гидрофобную пленку, затрудняющую газообмен и поступление в них влаги. Попадая на поверхность растений, нефть растворяет углеводороды и эфиры с поверхности листьев растений, а так же адгезия смолистых веществ, что приводит к нарушению обмена веществ [55, 83, 143].

В исследованиях Д. В. Зайферта, Л. М. Гамеровой были установлены процентные значения фитотоксичности растений, подвергшихся загрязнению нефтью и нефтепродуктами: при 10,4 % наступает острая фитотоксичность и при 3,5 – 6,8% – хроническая [57].

Загрязнение почвы нефтью и нефтепродуктами приводит к серьезным экологическим и экономическим последствиям. Воздействие компонентов нефти на растительный слой и животных губительно. Распространяясь по поверхности, нефть вызывает отрицательные изменения всех почвенных характеристик (увеличение содержания органического углерода, снижение содержания подвижного калия, фосфора и азота, изменение макроагрегатного состояния и

т. д.). Кроме этого, загрязнение нефтью приводит к полному или частичному изменению микробиоты, снижению продуктивности фитомассы напочвенного покрова.

Ежегодно при авариях, связанных с потерей нефти и нефтепродуктов, страна несет огромные убытки как от потери урожайности, так и от затрат на восстановление земель. Большинство загрязнений при авариях происходит на землях сельскохозяйственного назначения (пашни, пастбища). Учитывая ценность этих земель, необходимо проводить мероприятия, направленные на очистку от загрязнения [47].

1.3 Классификация существующих способов борьбы с нефтезагрязнением почв

Разрабатывая новые подходы и способы ликвидации последствий загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами и восстановления ее плодородия, необходимо опираться на принцип: «не нанести экосистеме больший вред, чем тот, который уже нанесен при загрязнении» [58].

Суть данного принципа, по утверждению Н. М. Исмаилова и Ю. И. Пиковского, заключается в максимальной мобилизации внутренних ресурсов экосистемы, направленных на восстановление всех ее функций, что были в первоначальном состоянии, до загрязнения [58, 100].

Процессы естественного самоочищения и применяемые подходы в рекультивации, загрязненных нефтью земель, составляют не разрывный биогеохимический процесс очищения [66, 133].

Естественное восстановление почвы от нефтяного загрязнения представляет собой длительный процесс, зависящий от различных факторов (температуры, влажности окружающей среды). Поэтому разработка новых способов очистки и восстановления плодородного слоя является одной из важнейших задач в экологии.

В настоящее время существует ряд способов ликвидации нефтезагрязнения почвы, которые можно подразделить на группы: механические, физико-химические, термические, биологические [16, 58, 108, 127, 130, 132, 139, 142].

Проанализировав литературные источники можно привести классификацию существующих на сегодняшний день технологий восстановления загрязненных нефтью земель (Рисунок 1.5).

Наиболее распространенным методом борьбы с нефтезагрязнением почв до недавнего времени было сжигание, что являлось малоэффективным и, кроме того, вредным для окружающей среды. Проведение термического метода было возможно только в том случае, когда нефть находилась на поверхности густым слоем или собрана в накопители, так как при других условиях пропитанная нефтью почва не воспламенялась. Кроме этого, после процесса сжигания на месте оставались продукты сжигания, содержащие токсичные и канцерогенные вещества, в результате чего почва теряла способность к самовосстановлению [42].

Механический способ ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, как правило, является неотъемлемой частью любого метода борьбы с разливами нефти. Наиболее часто его применяют для предотвращения дальнейшего распространения нефти по поверхности, а так же для сбора товарной нефти путем откачки или с применением различного рода сорбентов. Эффективность данного способа при сборе разлитой товарной нефти достигается в первые часы после аварии, когда толщина слоя нефти еще достаточно высока.

Очистка загрязненного грунта процессом пиролиза или экстракцией паром – недостаточно эффективная и дорогостоящая при больших площадях загрязнения. Это обусловлено большим объемом работ при изъятии и транспортировке загрязненного грунта, что в итоге приводит к нарушению естественного ландшафта и загрязнению канцерогенными веществами, образующимися при термообработке почвы [100, 127].

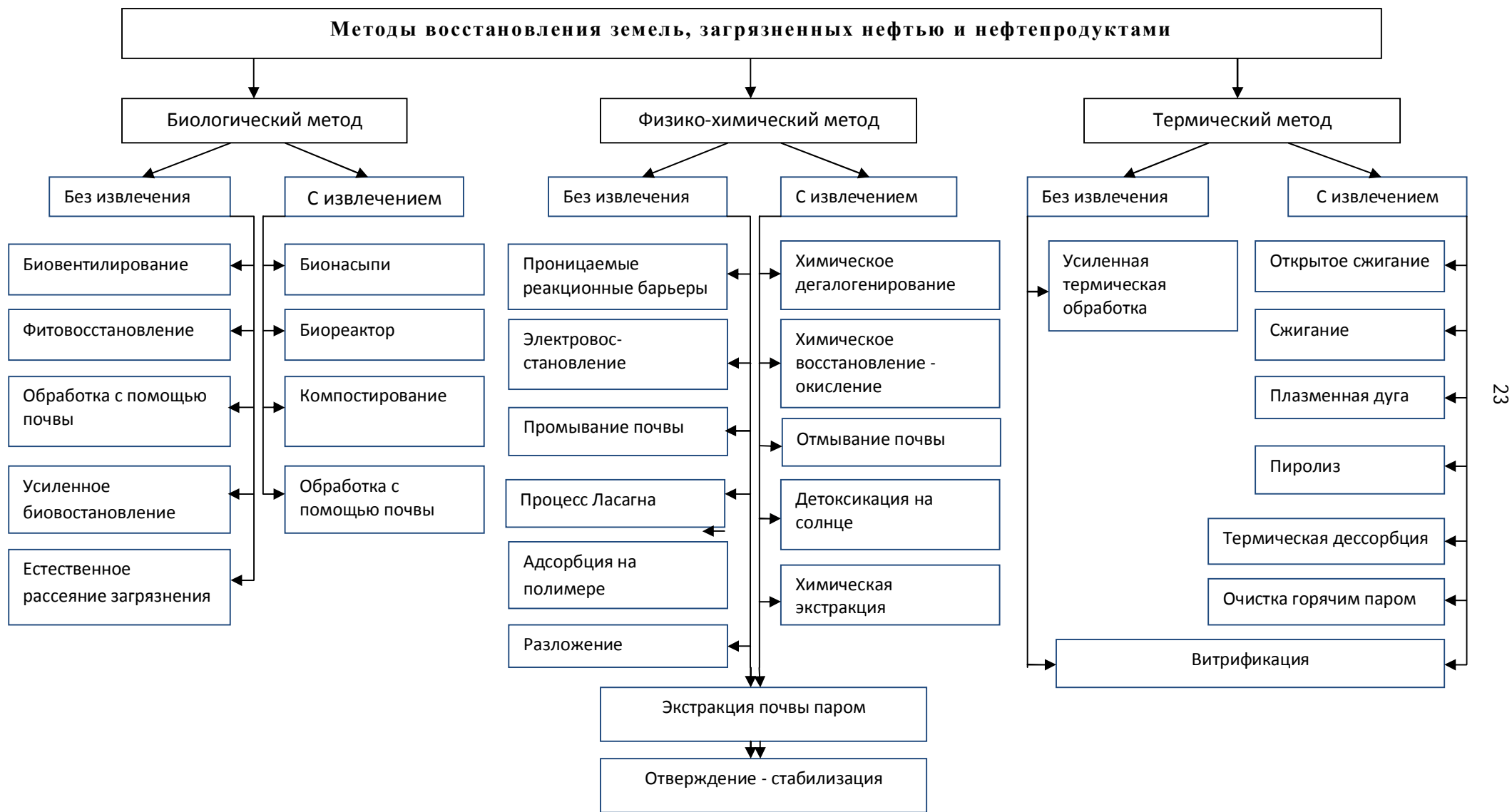


Рисунок 1.5 – Классификация методов восстановления, земель загрязненных нефтью и нефтепродуктами

Очистка нефтезагрязненных грунтов методом промывания поверхностно-активными веществами позволяет удалять до 86 % загрязнителя, и это эффективно только при небольших объемах загрязнения. Кроме того, возникает проблема сбора и утилизации применяемых веществ, что в дальнейшем приводит к загрязнению окружающей среды [127].

Физико-химические методы восстановления загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель основаны на использовании физических и химических свойств загрязненной среды (грунта), чтобы разрушить, отделить или изолировать загрязняющее вещество (нефть, нефтепродукты). В физическом процессе происходит перенос компонентов нефти из загрязненной почвы. А в химическом процессе изменяется химическая структура нефтезагрязнителя посредством инициирования химических реакций с целью получить менее токсичные или легко отделяемые от грунта частицы нефти. Извлеченные с помощью физико-химических приемов загрязнения в виде растворов могут быть в дальнейшем переработаны, сконцентрированы и обезврежены, а очищенная почва возвращена на место [68, 127].

Преимущества физико-химического метода – быстрота обработки, низкая стоимость, возможность удалять множество загрязнителей. Недостатком данного метода является то, что зачастую процесс физико-химической обработки не устраняет загрязнение, а лишь переводит его из одной фазы в другую.

Термический метод основан на использовании теплоты, чтобы увеличить летучесть, сжечь, разрушить компоненты нефти в грунте. Наиболее применяемые методы термической обработки – открытое сжигание, сжигание, плазменная дуга, пиролиз, термическая десорбция, очистка горячим паром.

В настоящее время наибольшее внимание уделяется биологическому способу рекультивации, зарекомендовавшему себя как наиболее эффективный способ восстановления покрова земли, нарушенного в результате разлива нефти и нефтепродуктов. Биологический способ рекультивации имеет 2 направления проведения восстановительных работ: биоремедиацию и фиторемедиацию.

Биоремедиация использует микроорганизмы-деструкторы, способные разлагать компоненты нефти и тем самым производить очистку (детоксикацию) загрязненного грунта.

Фиторемедиация загрязненного участка представляет возможность удалять загрязняющее вещество с помощью корней растений, не разрушая структуру почвы. Данный способ трудоемкий и требует много времени. В большинстве технологий по восстановлению плодородного слоя фиторемедиацию проводят на заключительных стадиях очистки.

На рисунке 1.6 изображена диаграмма распределения технологий без изъятия (*in situ*) загрязненного грунта, наиболее используемых за границей и в России [58, 127].



Рисунок 1.6 – Диаграмма распределения технологий без изъятия загрязненного грунта, распространенных за границей и в России

Помимо основной классификации методов восстановления нарушенных земель, существуют такие понятия, как рекультивации с извлечением (*ex situ*) загрязненного грунта и без извлечения (*in situ*). Рекультивация нефтезагрязненного участка с извлечением и последующей транспортировкой загрязненного грунта позволяет проводить более сложные и эффективные методы

обработки. Однако технологии такого типа дорогостоящи и приемлемы на небольших и легкодоступных загрязненных участках. Поэтому большинство мероприятий и исследований по восстановлению загрязненного участка проводят на месте разливов.

Из всех способов очистки последствий разливов нефти наиболее целесообразным и экологически оправданным является биологический способ очистки, направленный исключительно на восстановление функционирования плодородного слоя.

1.4 Биологический подход к рекультивации нефтезагрязненных земель

Такие способы ликвидации последствий нефтяного загрязнения, как механический, термический и физико-химический, дорогостоящи и эффективны только при определенных уровнях загрязнения и часто связаны с дополнительным внесением загрязнителя. Кроме этого представленные методы направлены на утилизацию и переработку нефтезагрязнения, но не на восстановление земли. Эффективным методом очистки и восстановления нефтезагрязненных земель, является биологический метод, использующий группы микроорганизмов с повышенной способностью к биодegradации компонентов нефти и нефтепродуктов [16, 22, 25, 62, 63, 67, 86, 103, 130, 146].

Биологический метод рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, основывается на усилении естественного разложения нефтекомпонентов за счет активизации действующих микроорганизмов вносимых извне – биоремедиация [22, 24, 63, 67, 130].

Способность к утилизации трудноразлагаемых веществ антропогенного происхождения обнаружена у многих микроорганизмов со специфическими ферментными системами, которые способствуют к катаболизму таких соединений [24, 147]. Поскольку микроорганизмы имеют сравнительно высокий потенциал разрушения таких веществ, проявляют способность к быстрой метаболической

перестройке и обмену генетическим материалом, им придается большое значение при разработке путей биологической рекультивации загрязненных земель [16, 27, 24].

Биоремедиация включает в себя два основных подхода для осуществления рекультивации загрязненного нефтью или нефтепродуктами участка [21, 22, 24, 127, 143]:

1 Биостимуляция – активизация деградирующей способности природных микроорганизмов, содержащихся непосредственно в загрязненном грунте, путем внесения биогенных элементов, различных субстратов, кислорода.

2 Биодополнение – интродукция природных микроорганизмов, предварительно модифицированных или выделенных из различных загрязненных источников.

Внесение в загрязненную почву микроорганизмов, способных осуществлять окисление алифатических, ароматических и других углеводов, приводит, как правило, к ускорению очистки почвы и позволяет обеспечить стабильность процесса биологического распада при относительно невысокой стоимости очистки [16, 27].

Диапазон микроорганизмов, используемых для деструкции углеводов нефти в почве, включает в себя бактерии родов *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*, дрожжи рода *Candida*, микромицеты *Fusarium*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Penicillium*. В большинстве случаев в основе биотехнологий используются биопрепараты, которые содержат жизнеспособные клетки как отдельных штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов: («Путидойл», «Олеворин»), так и бактериальные консорциумы, например «Дестройл». Для повышения эффективности биодегradации углеводов нефти целесообразно использовать смешанные культуры, состоящие из двух и более микроорганизмов [103].

Выбор микроорганизмов для биологической рекультивации нефтезагрязненных земель производится с учетом ряда требований (климатические условия, концентрация загрязнителя и т. п.).

При выборе штаммов применяемых микроорганизмов необходимо учитывать их воздействие на почвенную микрофлору, а именно чтобы они не были чужеродными и патогенными. Кроме этого, выбранные микроорганизмы должны быть жизнестойкими, так как постоянно будут подвергаться неблагоприятному воздействию со стороны окружающей среды.

В России наиболее распространенными и эффективными биопрепаратами для очистки поверхностей, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, являются «Дестройл», «Деворойл», «Путидойл», «Руден» и т. д. Данные препараты детоксицируют компоненты нефти и нефтепродуктов до экологически нейтральных соединений. Сохраняют способность к биодegradации углеводов в широком диапазоне рН – 4,5-8,5 и температур – от +5 до +38 °С. Сохраняют жизнеспособность в интервале температур от – 40 до +42 °С.

Как показывают многочисленные исследования, направленные на изучение влияния биопрепарата на почвенные процессы, применение микроорганизмов многократно интенсифицирует метаболизм нефтезагрязненных почв, сокращая время полного разложения нефти на безопасные для окружающей среды вещества до нескольких месяцев [67, 103, 113, 152].

С точки зрения экологии действие биопрепаратов на грунт, загрязненный нефтью и нефтепродуктами, заключается в непрерывной биологической деструкции нефтяных углеводов микроорганизмами, которые в природе имеют способность к метаболизации нефтяных углеводов и продуктов их разложения в качестве источника энергии жизнедеятельности с образованием воды и углекислого газа. На основе этого обеспечивается биологическая очистка почвы и воды от загрязнения углеводородами, кроме этого, происходит снижение токсичного воздействия продуктов разложения углеводов на окружающую среду.

Самовосстановление почвенной экосистемы, нарушенной в результате нефтезагрязнения, является стадийным процессом. Для каждой природной зоны длительность отдельных стадий процессов восстановления и очищения различна из-за природно-климатических условий состава и концентрации нефти [58, 100].

Самовосстановление экосистемы почвы, загрязненной нефтью и нефтепродуктами, – долгий и сложный процесс. С целью устранения данного недостатка разрабатывается множество технологий, ускоряющих процесс самоочищения нефтезагрязненных почв при помощи оптимизации условий для повышения эффективности работы микроорганизмов, входящих в состав естественного микробиоценоза.

Климатические условия, влияющие на активность работы микроорганизмов – температура и влажность. Температура влияет на эффективность разложения компонентов нефти и нефтепродуктов. Доказано, что оптимальная температура для работы микроорганизмов по разложению нефти и нефтепродуктов в почве равна 20 – 37 °С [108].

Влажность загрязненного участка влияет на биологическую активность микроорганизмов. Поддержание загрязненной почвы во влажном состоянии оказывает эффективное воздействие на темпы работы микроорганизмов и разложения нефти и нефтепродуктов в целом. Улучшение агрохимических свойств почвы путем полива рекультивируемого участка оказывает влияние на подвижность питательных веществ, микробиологическую деятельность и активность биологических процессов.

Обеспеченность грунтов, загрязненных нефтью, биогенными элементами (азот, фосфор, калий и т. д.) является важным фактором, определяющим интенсивность разложения нефти и нефтепродуктов.

Внесение минеральных удобрений позволяет стимулировать разложение углеводов, поэтому в большинстве приемов биоремедиации ежегодно вносится расчетный объем удобрений в сочетании с биогумусом [8].

Ценность биогумуса определяется большим количеством микроорганизмов. Высокое содержание ферментов способствует процессам регенерации почв, загрязненных тяжелыми металлами. Насыщенная микрофлора биогумуса образует благоприятную среду метаболитов (антибиотики, ферменты, витамины, аминокислоты) и имеет постоянный показатель рН = 6,5 – 7,0,

коэффициент его гумификации 15 – 25 %. Биологическая активность биогауса обеспечивается в течение 3 лет с момента внесения в почву. Внесение созревшего компоста в верхний загрязненный слой позволит уменьшить концентрацию нефтепродуктов в загрязненном грунте, улучшить его пористость и способность к поглощению влаги на большую глубину.

Внесение необходимого количества биогауса приводит к изменению микробиоценоза загрязненного нефтью участка, что влечет за собой увеличение видового разнообразия бактериальной флоры. Биогаус используется почвенной микрофлорой как источник необходимых элементов питания (N, P, K), обеспеченность которыми в загрязненной почве снижена. Органические вещества биогауса служат энергетическим материалом для почвенной микрофлоры, благодаря этому усиливается мобилизации питательных веществ, что в итоге сказывается на скорости восстановления загрязненной почвы [16, 45].

Биологическая рекультивация земель занимает длительный период. По этой причине в разных регионах страны стараются в кратчайшие сроки провести рекультивацию, путем применения кроме минеральных удобрений, различных видов сорбентов.

Сорбенты применяют не только как средство сбора товарной нефти с поверхности земли, но и для дальнейшей рекультивации. Наиболее применяемыми для этой роли являются биосорбенты – сорбенты различной природы с иммобилизованными на них клетками микроорганизмов. В настоящее время разработано большое количество биосорбентов для нефтеокисления, являющихся носителями микроорганизмов. На данных сорбентах живые клетки меньше реагируют на внешние факторы, тем самым увеличивается их ферментативная способность [4, 59, 77, 136]

Широкое распространение получил глауконит – один из видов природного сорбента («Глауконит», "Абсолют-нафта" и т.д.). Он представляет собой глинистый минерал переменного состава с высоким содержанием двух- и трехвалентного железа, магния, кальция, фосфора, калия. Все они находятся в легко извлекаемой форме сменных катионов, которые замещаются находящимися

в избытке в окружающей среде элементами. Этим свойством, а также слоистой структурой, объясняются высокие сорбционные свойства по отношению к нефтепродуктам, тяжелым металлам, радионуклидам. В тоже время для глауконита характерен низкий процент десорбции и высокая теплоемкость, пластичность.

Фиторемедиация является биологическим способом в большинстве технологий заключительным этапом рекультивации земель загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Корни растений обогащают почву органическими соединениям в виде прижизненных корневых выделений, в состав которых входят ПАВ растительного происхождения, что позволяет увеличить биодоступность углеводов для углеводородокисляющих микроорганизмов, оксидоредуктазы, принимающие участие в разложении углеводов [86, 151].

Было доказано, что процесс восстановления загрязненной земли протекает интенсивнее под растительным покровом. Выявлены наиболее устойчивые к нефтезагрязнению виды дикорастущих и культурных растений: мятник луговой, овсяница красная и луговая, костер безостый, вика, овес, донник, клевер и т. д.[19, 115].

Биологический подход к рекультивации нарушенных земель является наиболее эффективным вариантом восстановления плодородия почвы и окружающей среды в целом.

1.5 Этапы проведения биологической рекультивации

Эффективность рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель биологическими средствами рассматривалась во многих работах и исследованиях [9, 16, 19, 22, 35, 60, 64, 86, 112, 127]. Разработано множество технологий проведения биологической рекультивации с различными подходами в зависимости от территориальных, природно-климатических условий [89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97]. Кроме этого, все больше уделяется внимание комплексу мероприятий по биологическому восстановлению нарушенных земель.

Биологическое восстановление нарушенных земель производят в два этапа – это техническая и биологическая обработка загрязненного участка.

В таблице 1.2 приведены основные этапы проведения биологического подхода к очистке загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель.

Таблица 1.2 – Этапы биологического подхода к рекультивации нефтезагрязненных земель

Этапы	Мероприятия
Подготовительный	Обследование загрязненного участка, отбор проб загрязненного грунта
	Разработка проекта биологической рекультивации загрязненного участка
Технический этап	Расчет и приготовление необходимого количества компонентов для биологической очистки загрязнения
	Инженерно-технические мероприятия на загрязненном участке
	Внесение компонентов на загрязненный грунт
	Перемешивание компонентов с загрязненным грунтом
	Увлажнение загрязненного участка до нужной концентрации
	Контроль над процессом очистки
Биологический	Инженерно-технические работы
	Фитомелиорация
	Обследование очищенного участка

В основе разработки технологий по биологической рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, лежит изменение состава биологических компонентов (минеральные вещества, микроорганизмы, и т. п.) и процесса их внесения с целью сокращения периода восстановления загрязненных земель и уменьшения экономических затрат [89 – 97, 106, 127].

Перед тем как начать планировать технологию восстановления загрязненного участка, производят первичную механическую обработку, направленную на предотвращение распространения загрязнения по площади, и первичную очистку почвы различными способами. Для сбора разлившейся по поверхности нефти применяют нефтесборные устройства, сорбенты.

В настоящее время разработано большое количество сорбентов как органического происхождения, так и неорганического. К первой группе относят горючие ископаемые органического происхождения – каустобиолиты (торф, графит, уголь и т. д.), сырье растительного и животного происхождения (опилки, шелуха, кора, листва, мох и т. д.) и промышленные (пенопласт, полипропилен и т. д.). Ко второй группе относятся естественные минералы (песок, глина, глауконит и т. д.), и искусственные минералы (керамзит) и органоминералы (полипепфан, сапропель, сланцы и т. д.) [9].

После проведения первичной очистки и сбора товарной нефти с поверхности земли вступает в действие план мероприятий по биологической рекультивации. Ввиду того, что способ биологической рекультивации занимает длительный период (3 – 8 лет) и зависит от множества внешних факторов (температура, влажность, тип почвы и т. д.), влияющих на процесс восстановления, при разработке плана мероприятий необходимо после исследований места разлива спланировать проведение технологии биологического подхода к рекультивации с минимальными затратами и с максимальной работой микроорганизмов.

Обследование участка грунта, загрязненного нефтью и нефтепродуктами, направлено на определение концентрации загрязнителя, физико-механических и физико-химических свойств загрязненного грунта, что в дальнейшем учитывается в разработке плана проведения биологической рекультивации. Кроме этого, определив концентрацию загрязняющего вещества (нефти), рассчитывают необходимый объем микроорганизмов, которые в последующем наносят на загрязненный грунт. Кроме концентрации нефти, определяют концентрации азота, фосфора, калия для расчета необходимого объема минеральных удобрений.

Инженерно-технические мероприятия включают в себя разработку загрязненного нефтью и нефтепродуктами грунта путем очистки площади от пней, деревьев, изъятие загрязненного грунта на глубину загрязнения, рыхление. Помимо этого, в мероприятия входит разработка (перемещение) незагрязненного грунта за зону проведения рекультивации, для того что бы снизить вероятность распространения загрязнения во время проведения рекультивации.

Заключительным этапом биологической рекультивации нефтезагрязненного участка является проведение фиторемедиации, включающее в себя высев толерантных растений.

Ежегодно во многих организациях и университетах разрабатываются новые подходы и технологии проведения биологической рекультивации нарушенных земель с минимальными затратами и временем восстановления нарушенного покрова земли. Большое внимание уделяется биологическому этапу рекультивации как основному этапу, влияющему на продолжительность и качество рекультивации. И менее всего рассматривается технический этап. Однако обозначающим фактором является то, что все технологии требуют значительных временных и производственных затрат, включая работу машин, число которых может достигать 6 единиц на 1 гектар.

Технический этап биологического подхода к рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель является наиболее трудоемким, экономически и энергетически затратным. Кроме этого, на данном этапе производятся технические операции, способствующие повышению работоспособности микроорганизмов и увеличению эффективности биологического подхода к рекультивации в целом. Необходимо уделить наибольшее внимание данному этапу рекультивации.

1.6 Цель и задачи исследований

На основании вышеизложенного следует вывод о потерях нефти в окружающую среду и значительном ущербе для агроландшафтов и экологии в

целом. Существующие способы рекультивации малоэффективны и непроизводительны.

В связи с этим *целью работы* является 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.

2 ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ГРУНТА БУЛЬДОЗЕРОМ-СМЕСИТЕЛЕМ

Ежегодно вместе с темпом роста добычи нефти увеличивается количество загрязненных земель, и одним из наиболее эффективных подходов к восстановлению их является биологический, основанный на использовании различных групп микроорганизмов. Для осуществления биологического подхода к рекультивации разработано множество технологий, отличающихся составом применяемых компонентов, способом внесения и т. д.

Одним из основных этапов биологического подхода является технический этап, который полностью зависит от используемого парка машин.

2.1 Технология и технические средства для проведения технической рекультивации нефтезагрязненных земель

Процесс технической рекультивации загрязненных земель состоит из ряда типовых элементов цикла борьбы с загрязнением среды. Типовые этапы цикла очистки можно представить в следующем виде:

- 1 – инициация;*
- 2 – планирование (проектирование);*
- 3 – реализация (решение);*
- 4 – анализ (контроль);*
- 5 – завершение (акты).*

Все этапы продиктованы характером разлива загрязнителя и находятся в тесной связи. Как правило, 4-й и 5-й этапы регламентированы нормативной документацией. Содержание 2-го этапа основывается на характере разлива, природно-климатических условиях, географических и гидрогеологических характеристиках местности, а также близости от населенных пунктов, типа

местности и др. 3-й же этап включает самые основные моменты проведения рекультивации нефтезагрязненного участка.

Ранее рассматривалась рекультивация загрязненного грунта в двух направлениях: с вывозом загрязненного грунта *ex situ* и без вывоза *in situ*. Биологическую рекультивацию земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами проводят, как на месте разлива (биовентиляция, усиленное биовосстановление, фитовосстановление), так и с извлечением загрязненного грунта (бионасыпи, биовосстановление в жидкой фазе, компостирование, биовосстановление в твердой фазе). Извлеченный загрязненный грунт обрабатывается как на месте разлива, так и на специально подготовленных площадях (полигоне) [16]. Кроме этого, при планировании технологии с извлечением загрязненного грунта необходимо учитывать расстояние до полигона, на котором будет проходить очистка.[9, 16, 90, 94, 96, 97, 103, 121, 122, 127, 130, 132, 139]

На Рисунке 2.1 представлена схема приемов биологической рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель.

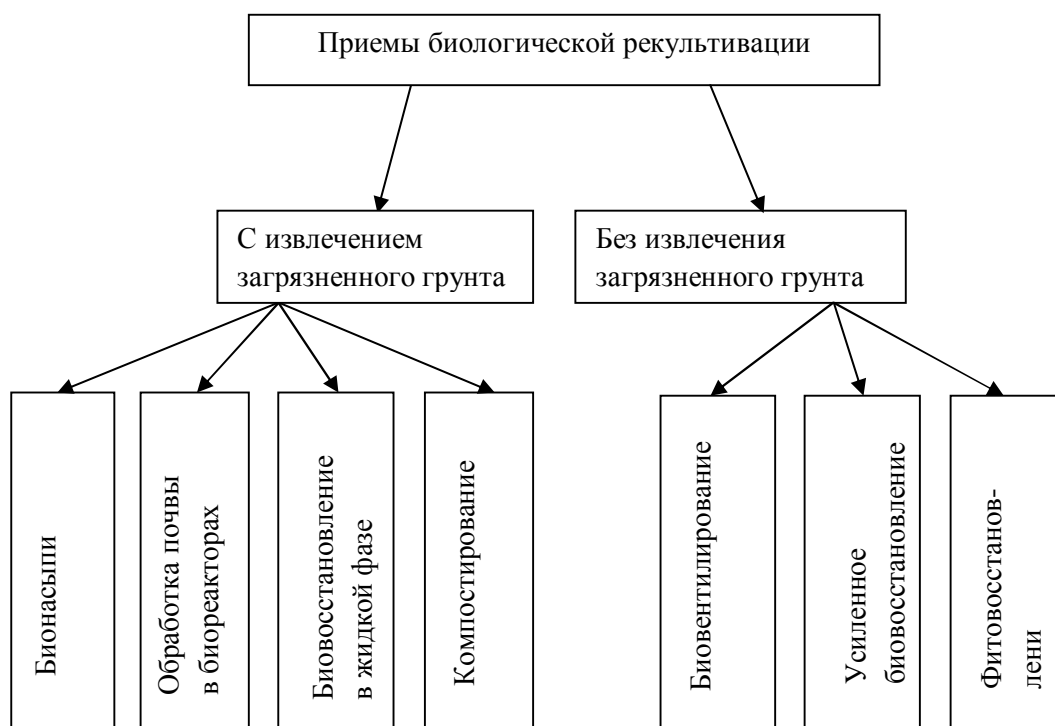


Рисунок 2.1 – Биологическая рекультивация земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами

Преимуществом технологий рекультивации без извлечения загрязненного грунта является снижение расходов на разработку и транспортировку. Однако при данном способе период восстановления плодородного слоя оказывается долгим, кроме этого, нет необходимого контроля за процессом восстановления. В большинстве случаев извлеченный грунт транспортируют на полигоны, где проводят очистку различными способами [58, 127].

Технологии рекультивации нефтезагрязненного грунта с извлечением, на месте проведения или с вывозом на полигоны наиболее эффективны тем, что можно проводить более сложные и эффективные способы очистки, которые сокращают период восстановления земельного участка.

Технологии с применением бионасыпи основываются на извлечении загрязненного грунта с помощью экскаваторов и складывании в одну кучу на отведенном и обустроенном для проведения рекультивации участке. В образовавшуюся кучу вводят кислород и питательные вещества и посредством специальной аппаратуры или с помощью существующих методов контроля отслеживают процесс рекультивации в целом и состояние работы микроорганизмов. Бионасыпь накрывают полотном для удержания температуры, влаги и для предотвращения выдувания мелких частиц (Рисунок 2.2) [16, 68, 131].

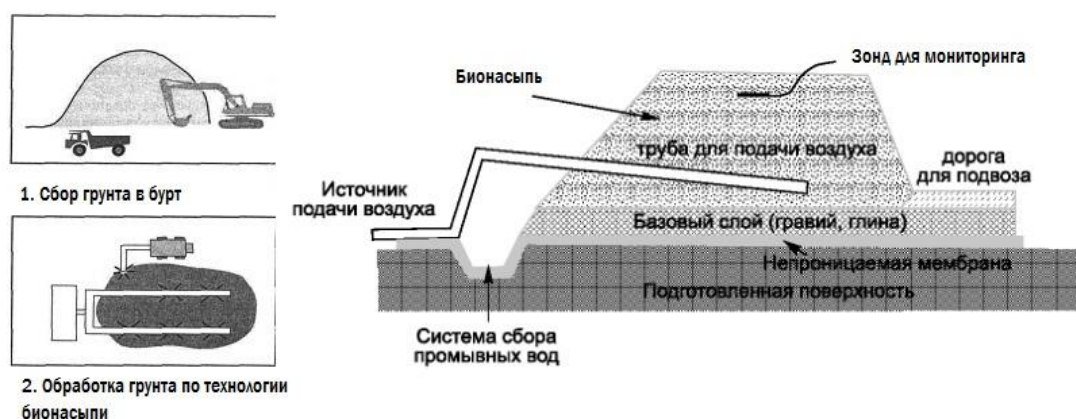


Рисунок 2.2 – Технологии восстановления загрязненного грунта с помощью бионасыпи

Технологии бионасыпи эффективны и осуществляют очистку не только нефтепродуктов но и многих других веществ. Недостатком является, то что для проведения рекультивации при больших объемах загрязнения необходимо вывозить загрязненный грунт на специальные полигоны, нередко за много километров от разлива.

Биовосстановление загрязненного участка с помощью биореакторов представляет собой контролируемый процесс очистки изъятого загрязненного грунта в специальных биореакторах. При данном типе технологий биологического подхода к восстановлению можно достичь высоких скоростей деструкции загрязнителей в результате формирования наиболее благоприятных условий для микроорганизмов. По конструкции биореакторы подразделяются на реакторы с фиксированным слоем и с суспензионным перемешанным. Наибольшее распространение получил реактор с суспензионным перемешиванием за счет большей эффективности [16, 68, 127].

Принцип технологии заключается в том, что загрязненную почву предварительно отсортировывают и промывают для концентрирования загрязнения. Полученную суспензию вводят в биореактор, где насыщают питательными веществами и микроорганизмами. После очистки полученную массу обезвоживают и возвращают в места изъятия [16].

Биовентиляция представляет собой очистку загрязненного грунта с помощью стимуляции естественного биологического разложения компонентов загрязнителя при постепенной подаче воздуха в необходимом количестве для работы имеющихся в почве микроорганизмов (Рисунок 2.3) [16, 116, 127].

Активность микроорганизмов, или биодеструкторов, ограничена недостатком кислорода в загрязненной нефтью почве из-за нарушения водно-воздушного баланса, и при подаче воздуха разложение компонентов нефти усиливается [16]. Наибольшее распространение технологии биовентиляции получили в странах Европы и США.

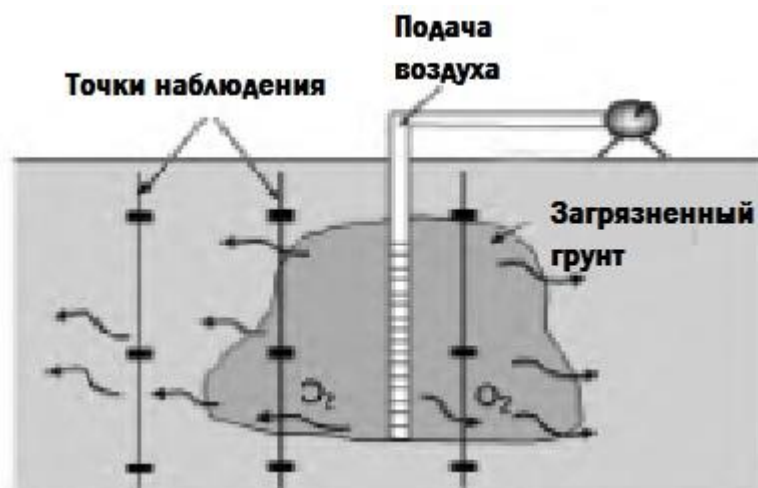


Рисунок 2.3 – Биовентиляция загрязненного нефтью и нефтепродуктами грунта

Технологии усиленного биовосстановления загрязненного нефтью грунта основываются на работе природных или выведенных в лаборатории микроорганизмов, разлагающих органические загрязнения в почве. А для усиления процесса в загрязненную почву вводят кислород и питательные вещества [16, 58]. Суть технологий состоит в поливе загрязненного участка водой, насыщенной питательными элементами. Недостатком данного типа технологий является длительный период восстановления.

Анализ существующих технологий показал, что биологический подход к рекультивации загрязненных нефтью земель не является единым способом, а включает в себя комплекс мероприятий и производится совместно с другими методами (механический, физико-химический).

Необходимо отметить, что все работы по ликвидации последствий неконтролируемых выбросов нефти и нефтесодержащих смесей связаны с использованием большого количества строительной техники. Более 90 % объема загрязненного грунта разрабатывается бульдозерами и экскаваторами (Рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Технические средства, применяемые при рекультивации нефтезагрязненных земель

При этом, обеспечивая локализацию разлива и очистку на месте, бульдозеры выполняют более 50 % от общего объема земляных работ, а с учетом перемещения и перемешивания и все 70–75 %. Следовательно, выбор бульдозера в качестве предмета и объекта исследований процесса перемещения и перемешивания загрязненного грунта является обдуманным и закономерным.

Бульдозер и экскаватор являются, основными техническими средствами выполняющими операции перемещения загрязненного грунта и перемешивания с компонентами очистки. В большинстве технологий этапы проведения рекультивации и используемые приемы во многом похожи. Нельзя отрицать того, что качественное распределение компонентов в загрязненном грунте, в значительной степени, повышает эффективность работы микроорганизмов и рекультивации земель в целом. Однако исследования показали, что использование экскаватора в качестве перемешивающего устройства малоэффективно (Рисунок 2.5). Поэтому необходимо искать альтернативные способы распределения компонентов [121].



Рисунок 2.5 – Работа экскаватора по перемешиванию загрязненного грунта

Данную задачу можно решить путем объединения процессов перемещения и перемешивания грунта с помощью одного бульдозера, оборудованного смешивающим устройством [71, 89].

Анализируя схожие операции и подходы, можно выстроить блок-схему наиболее используемых и распространенных операций биоремедиации (Рисунок 2.6).

В современных технологиях по очистке загрязненных нефтью и нефтепродуктами земель приоритет отдается технологиям, обеспечивающим гарантированное проведение рекультивационных работ с наименьшими затратами в кратчайшие сроки. На этом строится принцип предлагаемой технологии очистки загрязненных земель с разработкой конструкции машин и процессов, выполняемых этими машинами.

Предлагаемая технология детоксикации грунта, загрязненного нефтью и нефтепродуктами заключается во внесении расчетного количества компонентов, перемешивании и увлажнении полученной массы, отличительной особенностью данной технологии от применяемой является изменение состава компонентов и способа их распределения в загрязненной почве [70, 95, 96].

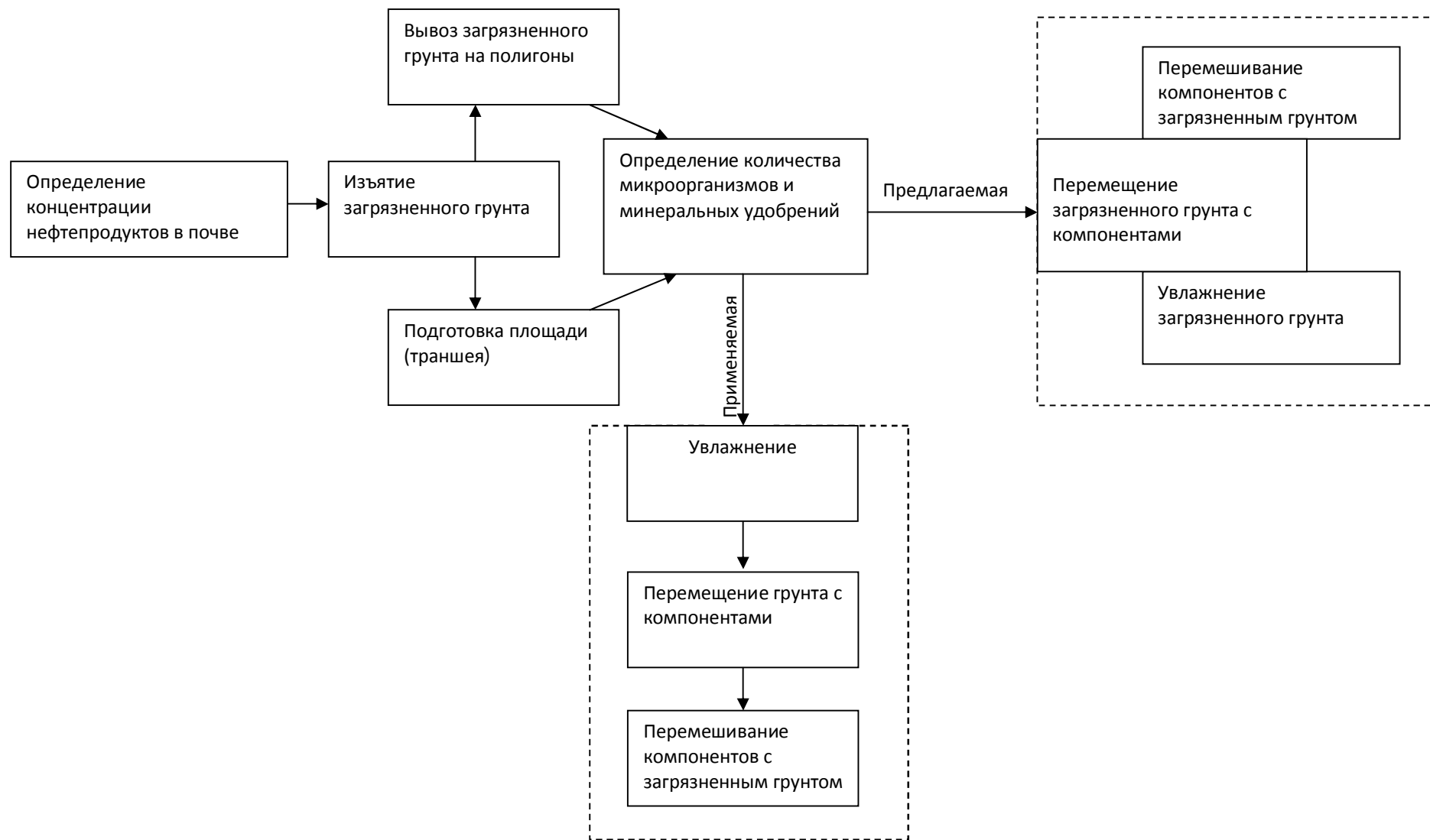


Рисунок 2.6 – Технологии рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами

Варианты представления структурных схем процесса перемешивания с одновременным перемещением загрязненного грунта в соответствии с технологией очистки загрязненных сред изображены на рисунке 2.7.

Подбор машин основывался на процессе перемещения, поэтому процесс перемешивания был вторичен (Рисунок 2,7а, 2,7б). В предлагаемой технологии процессы перемещения и перемешивания слиты воедино и поэтому выполняются одной машиной (Рисунок 2,7в).

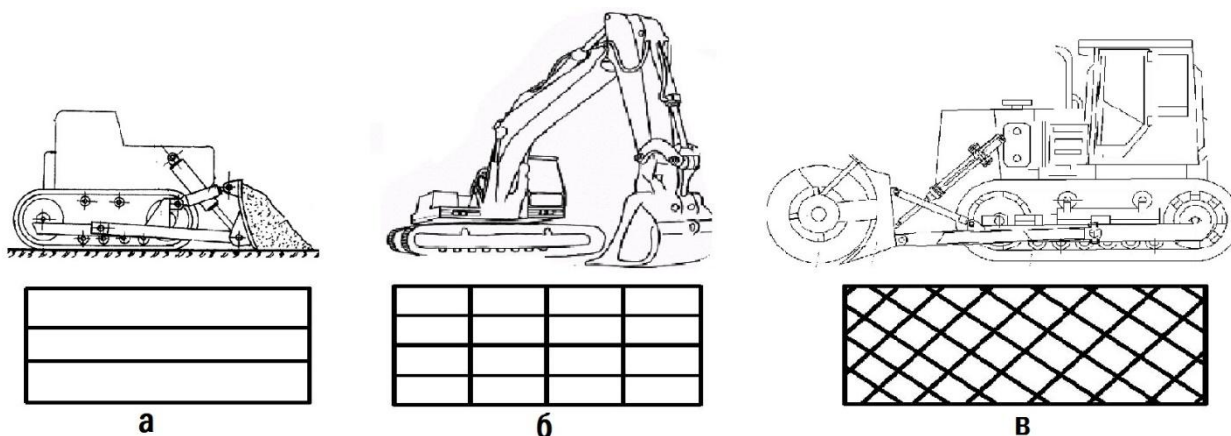


Рисунок 2.7 – Схемы качества перемешивания загрязненного грунта с компонентами очистки:

а) бульдозер – 30 %; б) экскаватор – 40 %; в) бульдозер-смеситель – 80 %

Принцип разрабатываемой технологии состоит в том, чтобы провести рекультивацию загрязненного участка в кратчайшие сроки и с высокой эффективностью. При анализе существующих подходов к проведению рекультивации, было установлено, что с изъятием загрязненного грунта появляется возможность провести более сложные операции очистки.

На рисунке 2.8 представлены этапы проведения предлагаемой технологии очистки при помощи бульдозера-смесителя с изъятием загрязненного грунта и без изъятия [96].

Взаимодействие технологических приемов, четко вписывающихся в общую цепочку выполняемых процессов согласно технологии, процессу положено в основу разработки конструкции бульдозера-смесителя.

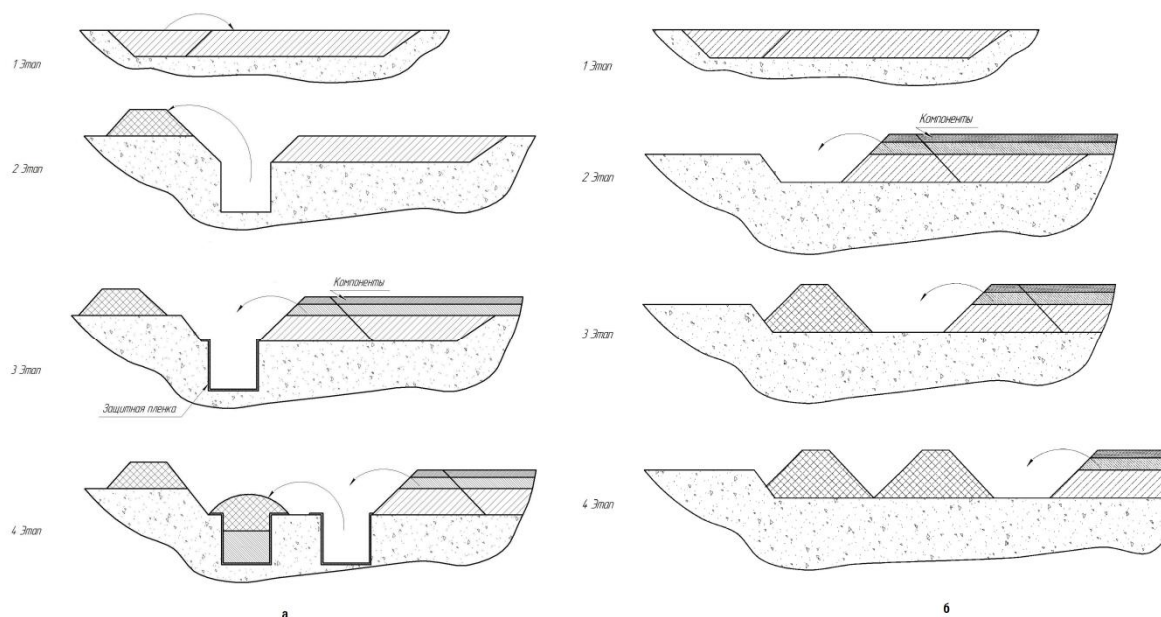


Рисунок 2.8 – Этапы проведения технической рекультивации с помощью бульдозера-смесителя

Приведенные в соответствие конструкции машины и процессов перемещения и смешивания загрязненного грунта осуществляется на базе матричной схемы.

Построение матричной схемы предполагает:

- определение основных функций механизмов в технологической цепочке;
- составление задания для каждой очереди, машины, этапа;
- знание теоретических основ процессов и параметров характеризующих процессы;
- разработку конструкции машины;
- оценку качества исполнения операций;
- производственную проверку.

Одним из направлений улучшения технической рекультивации является повышение качества распределения компонентов в объеме загрязненного грунта [110, 118]. Использование бульдозеров и экскаваторов в качестве перемешивающих технических средств малоэффективно. Бульдозер, помимо

перемешивания, выполняет большое количество других операций на разрабатываемом участке. Модернизация бульдозера как основного технического средства для перемещения и перемешивания загрязненного грунта является наиболее перспективной целью исследования.

Распространенные способы проведения технического этапа биологической рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, имеют недостатки, приводящие к росту непроизводительных затрат времени и ресурсов. Наиболее существенным недостатком в технологиях рекультивации является некачественное распределение компонентов в загрязненном грунте.

При проведении технического этапа рекультивации необходимо добиться качественного перемешивания загрязненного грунта с биологическими добавками и другими компонентами, от равномерности распределения которых зависит качество подготовленной к процессу очистки почвы, что в конечном итоге определяет сроки ввода земель в эксплуатацию. Перемешивание, осуществляемое бульдозерами, экскаваторами, энергозатратно и неэффективно, поэтому предложенный вариант бульдозера-смесителя позволяет повысить эффективность рекультивации земель.

На Рисунке 2.9 представлена предлагаемая конструкция бульдозера-смесителя для перемешивания компонентов очистки с загрязненным нефтью грунтом.

Основным элементом рабочего органа бульдозера-смесителя является шнек, который одновременно выполняет транспортирующие и перемешивающие операции.

Исследованиями шнека занимались такие ученые, как И.И. Мер [75, 76], А.Н. Павлинов [87], А.М. Григорьев [38, 39, 40], А.О. Спиваковский [125], Н.К. Штуков [144, 145] и др., в трудах которых отражены принципы работы шнека как смешивающего, транспортирующего, землеройного устройства.

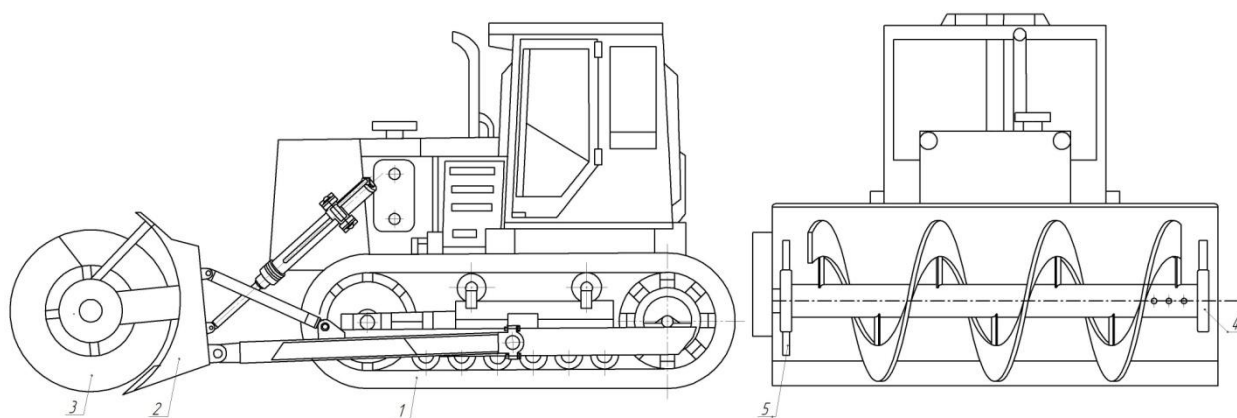


Рисунок 2.9 – Бульдозер-смеситель:

1 – базовая машина; 2 – бульдозерный отвал; 3 – смешивающее рабочее оборудование – шнек; 4 – подшипниковый узел; 5 – опорные стойки

Первоочередная задача шнека – транспортирование, поэтому шнек получил широкое распространение в устройствах дозирования и транспортирования грузов [39].

В работах В.И. Баловнева [14], Л.А. Хмары [137, 138] рассматриваются способы повышения эффективности работы землеройных машин. Одним из вариантов усовершенствования бульдозерного оборудования являлась установка шнекового интенсификатора. Исследования были направлены на изучение влияния конструктивных и технологических параметров шнекового интенсификатора на работу и производительность бульдозера.

Данные исследования легли в основу работы по созданию бульдозера-смесителя (Патент РФ на полезную модель 129528). Отличительной особенностью является то, что цель работы – не просто перемещение потока грунта, но и его одновременное перемешивание.

Рассматривая процесс перемешивания грунтового массива шнеком, очень важно знать процессы, проходящие внутри объема перемешиваемого грунта, форму и размеры призмы грунта, перемещаемой витками шнека. Для этой цели на движение частицы грунта накладываются связи в виде поверхностей той или иной формы. При рассмотрении процесса перемешивания во времени и в пространстве нами выдвинута рабочая гипотеза о зависимости качества перемешивания от времени перемешивания и пути перемещения массы грунта. При этом

неоднозначность влияния времени перемешивания и пути перемещения частиц грунта очевидна.

Рассматривая более подробно процесс перемешивания загрязненного грунта с компонентами, очень важно знать траекторию движения частиц грунта.

В процессах смешивания наиболее важным является характер движения частиц в потоках, движущихся навстречу друг другу, однако такой процесс энергетически очень затратен. Экономически и энергетически выгодным будет процесс, основанный на принципах гравитационного перемешивания. Следовательно, конструкция машины для смешивания должна обеспечивать подъем частиц и последующее падение их в исходное положение под действием сил гравитации. Однако, учитывая тот фактор, что данная конструкция должна также обеспечивать и перемещение грунта в сторону, наиболее рациональным было бы в данном случае обеспечить перемещение частиц грунта по брахистохроне, а поверхность, обеспечивающая такое перемещение, должна быть выполнена по геликоиде.

Естественным является требование того, чтобы тело под действием сил тяжести достигло направления и заданной точки в конкретный промежуток времени (движение грунта в объеме, ограниченном витками шнека, Рисунок 2.10).

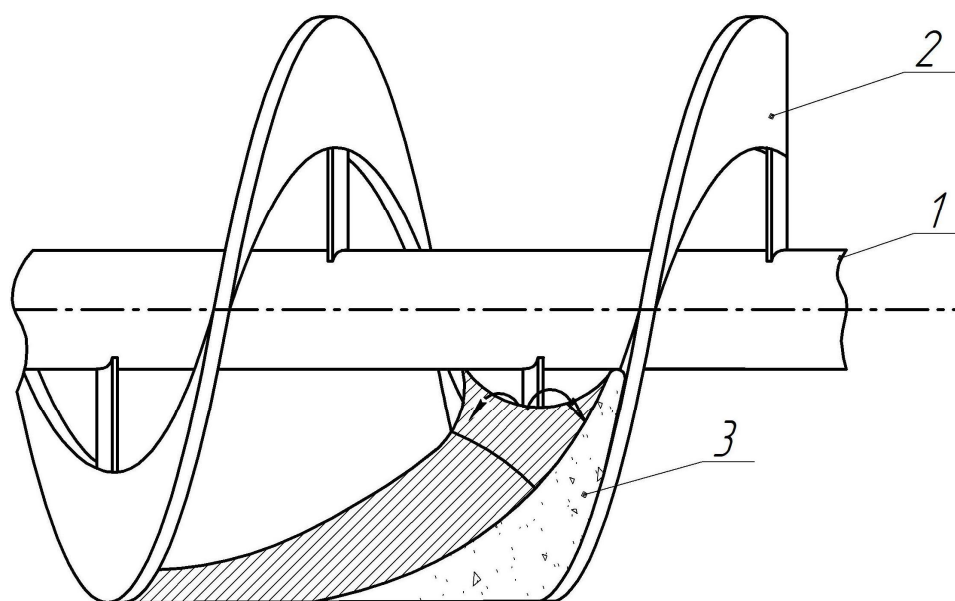


Рисунок 2.10 – Схема перемещения грунта витками шнека:
1 – вал шнека; 2 – винтовая поверхность; 3 – призма волочения

Поверхность, минимизирующая время, является единственной, 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.

Для того чтобы определить время прохождения частицы по поверхности, необходимо определить, какие силы и как воздействуют на нее. Для этого следует более подробно рассмотреть воздействие сил на частицу.

2.2 Уравнение винтовой поверхности шнека бульдозера-смесителя

Винтовая поверхность шнека, описываемая прямой, вращающейся с постоянной угловой скоростью вокруг неподвижной оси Ox , пересекает ее под постоянным углом θ и одновременно поступательно перемещается с постоянной скоростью ϑ вдоль этой оси Ox и представляет не что иное как геликоид. Нахождение движения частиц по винтовой поверхности сводится к нахождению движения материальной точки по геликоидной поверхности (Рисунок 2.11).

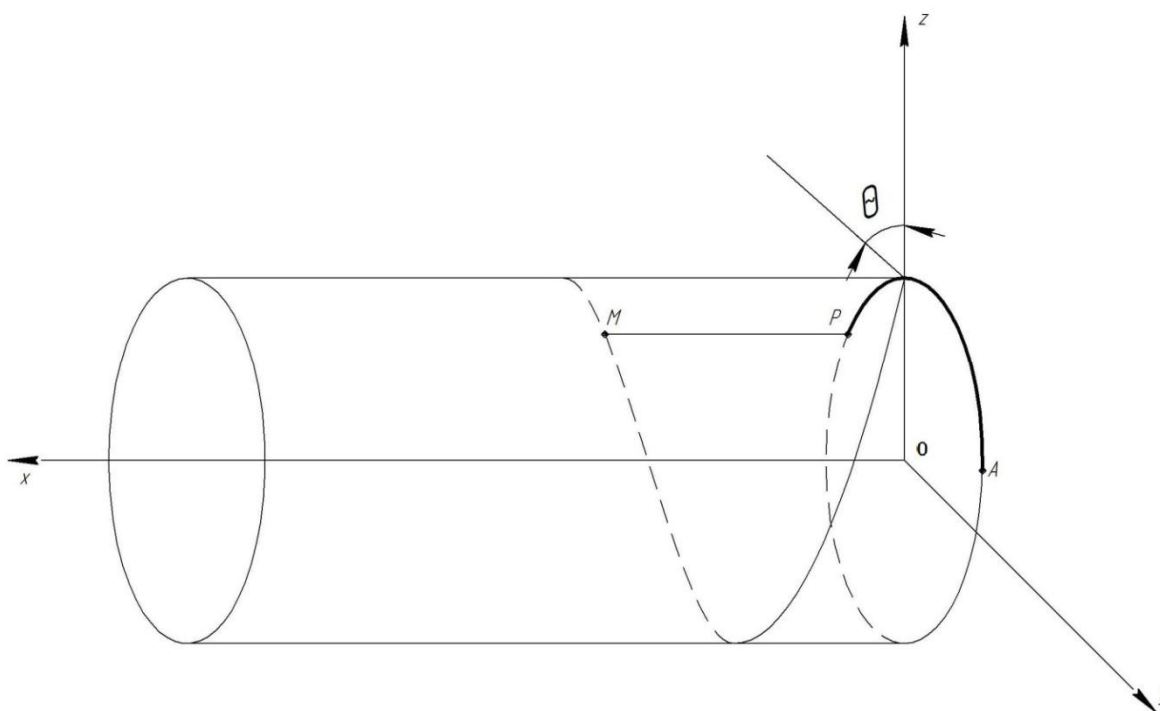


Рисунок 2.11 – Движение точки по винтовой поверхности

Выберем на поверхности геликоиды точку, во время движения описывающую дугу AP . Дуга AP определяется параметром at . $\widetilde{AP} = at$.

Для начала, чтобы определить уравнение винтовой поверхности, найдем уравнение винтовой линии:

$$x = PM = AP \cdot \operatorname{tg} \theta ,$$

$$y = a \cos t ,$$

$$z = a \sin t ,$$

где $\operatorname{tg} \theta$ – угол наклона винтовой поверхности относительно оси OZ .

Обозначив $\operatorname{tg} \theta$ буквой m , представим параметрическое уравнение винтовой линии в виде

$$x = amt , \tag{2.1}$$

$$y = a \cos t , \tag{2.2}$$

$$z = a \sin t . \tag{2.3}$$

Определяем радиус вектора, проведенного из начала координат к данной точке на геликоиде:

$$\vec{r} = \vec{i} amt + \vec{j} a \cos t + \vec{k} a \sin t ,$$

где $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – орты соответствующие осям $x; y; z$.

Из уравнений (2.2), (2.3) возведем в квадрат y и z :

$$y^2 = a^2 \cdot \cos^2 t , \tag{2.4}$$

$$z^2 = a^2 \sin^2 t . \tag{2.5}$$

Затем, сложив уравнения (2.4) и (2.5), получим

$$y^2 + z^2 = a^2 (\cos^2 t + \sin^2 t) .$$

$$y^2 + z^2 = a^2 - \text{уравнение цилиндра, на котором располагается винтовая}$$

линия, где a – радиус цилиндра.

Поделив почленно уравнение (2.3) на (2.2) получим

$$\frac{z}{y} = \operatorname{tg} t \tag{2.6}$$

Из уравнения (2.1) выведем t

$$t = \frac{x}{am}. \quad (2.7)$$

Подставив уравнение (2.7) в (2.6), получим уравнение винтовой поверхности (геликоиды)

$$\frac{z}{y} = \operatorname{tg} \frac{x}{am} = \operatorname{tgt}, \quad (2.8)$$

где a – радиус цилиндра; $m = \operatorname{tg}\theta$ – параметр геликоиды.

В полученном уравнении радиус цилиндра является радиусом шнека, что позволит в дальнейшем определить диаметр шнека, а параметр m является углом наклона винтовой поверхности относительно оси шнека. Таким образом, уравнение поверхности геликоиды будет определяться по уравнению (2.8). Как видно время перемещения частиц по поверхности с радиусом a , равным радиусу цилиндра, прямо пропорционально оси X и обратно пропорционально tg .

2.3 Уравнение движения материальной точки по винтовой поверхности

Определив уравнение винтовой поверхности (2.8), переходим к определению движения материальной точки по данной поверхности.

Допустим, геликоид совершает вращательное движение относительно оси OX с угловой скоростью ω

$$\omega = 2\pi n,$$

где n – частота обращения геликоиды.

Однако мы имеем дело с движением материальных тел и не имеем права не учитывать реально существующие сопротивления различного рода: трения, сопротивления среды, инерционных и центробежных сил и т. п.

При учете этих факторов задача сводится к перемещению точки в массиве грунта, перемещаемого шнеком.

Из условия движения винтовой поверхности (Рисунок 2.11) отобразим небольшую часть ΔS геликоиды, по которой движется материальная точка, и приложим к ней существующие силы и реакции (Рисунок 2.12).

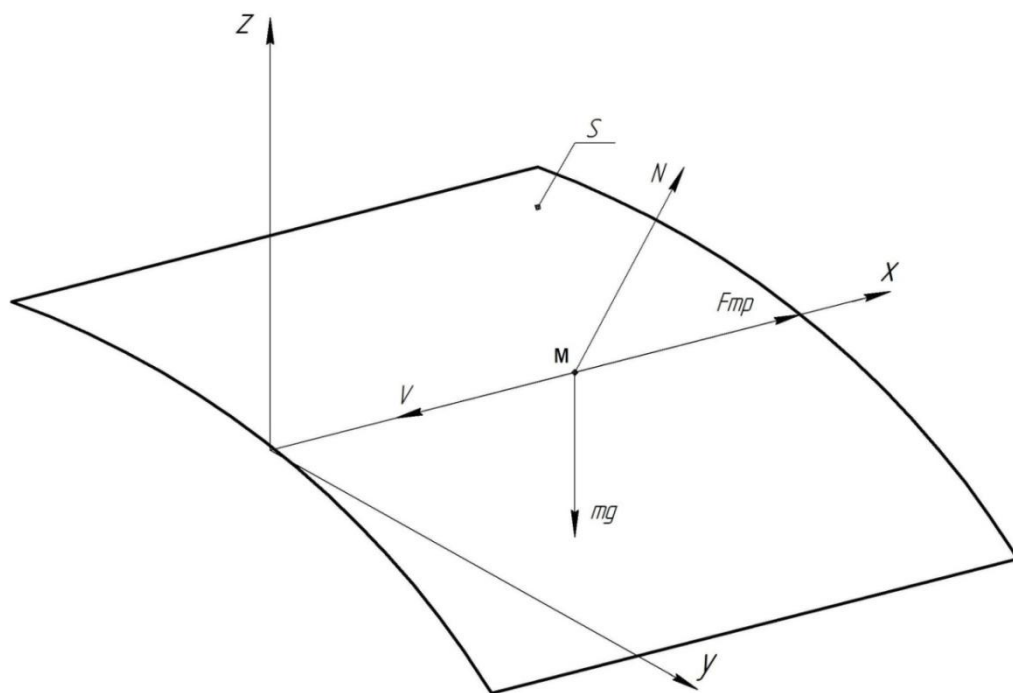


Рисунок 2.12 – Силы, действующие на материальную точку

На материальную точку при ее движении по поверхности вращающегося геликоида будут действовать силы

- $m\vec{g}$ – сила тяжести, направленная вниз:

$$m\vec{g} = -mg\vec{k};$$

- сила реакции опоры \vec{N} , направленная перпендикулярно поверхности геликоида;

- сила трения $F_{\text{тр}}$.

Уравнение нормали к поверхности геликоида имеет вид

$$z = f(x, y),$$

$$\frac{X-x}{-\frac{\partial f}{\partial x}} = \frac{Y-y}{-\frac{\partial f}{\partial y}} = \frac{Z-z}{1}, \quad (2.9)$$

где X, Y, Z – координаты материальной точки; x, y, z – координаты уравнения нормали; $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}$ – проецируемые частные производные по осям x, y, z .

Выразим из уравнения (2.8) z

$$z = y \operatorname{tg} \frac{x}{am}. \quad (2.10)$$

Определим частные производные

$$\frac{\partial f}{\partial x} = y \frac{1}{am} \frac{1}{\cos^2 \frac{x}{am}} = \frac{y}{am \cdot \cos^2 \frac{x}{am}}, \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \operatorname{tg} \frac{x}{am}. \quad (2.12)$$

Подставив частные производные (2.11), (2.12) в уравнение (2.9), получим уравнение нормали к поверхности геликоида

$$\frac{X-x}{-\frac{y}{am \cdot \cos^2 \frac{x}{am}}} = \frac{Y-y}{-\operatorname{tg} \frac{x}{am}} = \frac{Z-z}{1} \quad (2.13)$$

Таким образом координаты нормали находятся

$$\vec{n} \left(-\frac{y}{am \cdot \cos^2 \frac{x}{am}}; -\operatorname{tg} \frac{x}{am}; 1 \right),$$

$$|\vec{n}| = \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}.$$

Определим координаты реакция опоры

$$\vec{N} = |\vec{N}| \cos \alpha \cdot \vec{i} + |\vec{N}| \cos \beta \cdot \vec{j} + |\vec{N}| \cos \gamma \cdot \vec{k},$$

где $\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma$ – направляющие косинусы вектора \vec{N} .

Поскольку векторы \vec{N} и \vec{n} скалярные ($\vec{N} \cdot \vec{n} = 0$), то

$$\cos \alpha = \frac{n_x}{|\vec{n}|} = -\frac{y}{am \cdot \cos^2 \frac{x}{am} \cdot |\vec{n}|},$$

$$\cos \beta = \frac{n_y}{|\vec{n}|} = -\frac{\operatorname{tg} \frac{x}{am}}{|\vec{n}|},$$

$$\cos \gamma = \frac{1}{|\vec{n}|}.$$

где $|\vec{n}|$ – модуль вектора нормали геликоидной поверхности в точке $M(x, y, z)$

$$|\vec{n}| = \sqrt{a^2 m^2 \cdot \cos^4 \frac{x}{am} + \operatorname{tg}^2 \frac{x}{am} + 1}$$

С учетом антипараллельности векторов \vec{n} и \vec{N} ($\vec{n} \uparrow \downarrow \vec{N}$) имеем проекции силы реакции опоры на оси системы координат

$$N_x = N \frac{y}{am \cdot \cos^2 \frac{x}{am} \sqrt{a^2 m^2 \cdot \cos^4 \frac{x}{am} + \operatorname{tg}^2 \frac{x}{am} + 1}}, \quad (2.14)$$

$$N_y = N \frac{tg \frac{x}{am}}{\sqrt{a^2 m^2 \cdot \cos^4 \frac{x}{am} + tg^2 \frac{x}{am} + 1}}, \quad (2.15)$$

$$N_z = N \frac{-1}{\sqrt{a^2 m^2 \cdot \cos^4 \frac{x}{am} + tg^2 \frac{x}{am} + 1}}. \quad (2.16)$$

Сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$

$$\vec{F}_{\text{тр}} = \mu N,$$

где μ – коэффициент трения.

Сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ направлена в плоскости касательной к поверхности геликоиды в направлении, противоположном относительной скорости $\vec{\vartheta}_r$ точки.

$$\vec{\vartheta}_r = \vec{\vartheta} - \vec{\vartheta}_e,$$

где $\vec{\vartheta}$ – абсолютная скорость точки; $\vec{\vartheta}_e$ – переносная скорость точки.

$$\vec{\vartheta} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k},$$

$$\vec{\vartheta}_e = \vec{\vartheta}_0 + \vec{\omega} \times \vec{r},$$

где $\vec{\vartheta}_0$ – начальная скорость точки.

$$\begin{aligned} \vec{\omega} \times \vec{r} &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \omega_x & \omega_y & \omega_z \\ r_x & r_y & r_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \omega & 0 & 0 \\ r_x & r_y & r_z \end{vmatrix} = -\omega \begin{vmatrix} \vec{j} & \vec{k} \\ r_y & r_z \end{vmatrix} = -\omega r_z \vec{j} + \omega r_y \vec{k} = \\ &= -\omega z \vec{j} + \omega y \vec{k} \end{aligned}$$

Таким образом, относительная скорость

$$|\vec{\vartheta}_r| = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} - \vartheta_{0x}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} - \vartheta_{0y} + \omega z\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} - \vartheta_{0z} - \omega y\right)^2}. \quad (2.17)$$

$$\vec{F}_{\text{тр}} = -\mu N \frac{\frac{dx}{dt} - \vartheta_{0x}}{|\vec{\vartheta}_r|} \cdot \vec{i} - \mu N \frac{\frac{dy}{dt} - \vartheta_{0y} + \omega z}{|\vec{\vartheta}_r|} \cdot \vec{j} - \mu N \frac{\frac{dz}{dt} - \vartheta_{0z} - \omega y}{|\vec{\vartheta}_r|} \cdot \vec{k}, \quad (2.18)$$

где x, y, z связаны уравнением геликоиды

$$\frac{z}{y} = tg \frac{x}{am}.$$

Определив все действующие на точку силы (проекции нормали, реакции опоры, силу трения и скорость точки), запишем уравнение движения материальной точки во время вращения геликоиды.

Воспользуемся II законом Ньютона

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x} = (mg)_x + N_x + F_{TPx} \\ m_0 \ddot{y} = (mg)_y + N_y + F_{TPy} \\ m_0 \ddot{z} = (mg)_z + N_z + F_{TPz} \end{cases} \quad (2.19)$$

где m_0 – масса частицы.

Уравнение связи между координатами представляет собой уравнение поверхности геликоида

$$\frac{z}{y} = \operatorname{tg} \frac{x}{am} .$$

С учетом выведенных значений проекций сил получим

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x} = N \frac{y}{am \cdot \cos^2 \frac{x}{am} \cdot |\vec{n}|} - \mu N \frac{(\dot{x} - \mathcal{G}_{0x})}{|\vec{\mathcal{G}}_r|} \\ m_0 \ddot{y} = N \frac{\operatorname{tg} \frac{x}{am}}{|\vec{n}|} - \mu N \frac{\dot{y} - \mathcal{G}_{0y} + \omega z}{|\vec{\mathcal{G}}_r|} \\ m_0 \ddot{z} = -m_0 g - N - \mu N \frac{\dot{z} - \mathcal{G}_{0z} + \omega y}{|\vec{\mathcal{G}}_r|} \\ |\vec{n}| = \sqrt{a^2 m^2 \cdot \cos^4 \frac{x}{am} + \operatorname{tg}^2 \frac{x}{am} + 1} \\ |\vec{\mathcal{G}}_r| = \sqrt{(\dot{x} - \mathcal{G}_{0x})^2 + (\dot{y} - \mathcal{G}_{0y} + \omega z)^2 + (\dot{z} - \mathcal{G}_{0z} - \omega y)^2} \\ \frac{z}{y} = \operatorname{tg} \frac{x}{am} \end{cases} \quad (2.20)$$

Для удобства интегрирования системы (2.20) методом Рунге-Кутга приведем данную систему в форму Коши, т. е. выразим левые части через первые производные и дополним систему уравнениями связи:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \dot{x} = \vartheta_x \\
 \dot{y} = \vartheta_y \\
 \dot{z} = \vartheta_z \\
 \dot{\vartheta}_x = \frac{Ny}{m_0 am \cdot \cos^2 \frac{x}{am} \cdot |\vec{n}|} - \mu N \frac{\vartheta_x - \vartheta_{0x}}{m_0 |\vec{\vartheta}_r|} \\
 \dot{\vartheta}_y = N \frac{tg \frac{x}{am}}{m_0 |\vec{n}|} - \mu N \frac{\vartheta_y - \vartheta_{0y} + \omega z}{m_0 |\vec{\vartheta}_r|} \\
 \dot{\vartheta}_z = -g - \frac{N}{m_0} - \mu N \frac{\vartheta_z - \vartheta_{0z} - \omega y}{m_0 |\vec{\vartheta}_r|} \\
 |\vec{n}| = \sqrt{a^2 m^2 \cdot \cos^4 \frac{x}{am} + tg^2 \frac{x}{am} + 1} \\
 |\vec{\vartheta}_r| = \sqrt{(\vartheta_x - \vartheta_{0x})^2 + (\vartheta_y - \vartheta_{0y} + \omega z)^2 + (\vartheta_z - \vartheta_{0z} - \omega y)^2} \\
 z = y tg \frac{x}{am},
 \end{array} \right. \quad (2.21)$$

где $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ – координаты материальной точки;

$\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z$ – 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.

Полученные уравнения являются уравнениями связи.

Начальные условия

$$t = 0; \quad x = x_0; \quad y = y_0; \quad z = z_0$$

$$\vartheta_x = \vartheta_{0x}; \quad \vartheta_y = \vartheta_{0y}; \quad \vartheta_z = \vartheta_{0z}.$$

Система уравнений (2.21) является математической моделью движения материальной точки по поверхности геликоиды. Для удобства расчета данной системы воспользуемся программным продуктом (Excel, MathCad) который позволит определить проекции координат точки, проекции силы реакции опоры и относительную скорость точки в любом положении на поверхности шнека.

Полученная система уравнений движения материальной точки позволяет рассмотреть движение материальной точки (частица) по винтовой поверхности, чтобы в последующих расчетах определить оптимальные конструктивные и технологические параметры (диаметр шнека, наклон винтовой поверхности, частота оборотов шнека). Однако с помощью представленной системы затруднительно оценить качество перемешивания загрязненного грунта с компонентами для биологической рекультивации. Дальнейшие расчеты сводятся к нахождению времени движения материальной точки из одного положения в другое в массиве грунта.

2.4 Определение времени перемещения материальной точки в массиве грунта

Экономически и энергетически выгодным является процесс перемешивания компонентов с грунтом, основанный на гравитационном перемешивании. И для его осуществления необходимо, чтобы материальное тело под воздействием силы тяжести достигло заданной точки в конкретный промежуток времени. Для решения данной задачи необходимо и достаточно определить время перемещения материальной точки в массиве грунта.

Для начала необходимо найти поверхность ската материальной точки M из одного заданного положения (точка A) в другое (точка B), при наличии трения и сопротивления внешней среды (Рисунок 2.13).

В первом приближении примем, что материальная точка движется по поверхности, близкой к цилиндрической. На Рисунке 2.12 изображено вертикальное сечение цилиндрической поверхности, образующие которой – взаимно перпендикулярные плоскости, проходящие через точки A и B . Так как витки винтовой поверхности шнека расположены по спирали, то сечение цилиндра расположено в плоскости, лежащей нормально касательной к углу навивки шнека.

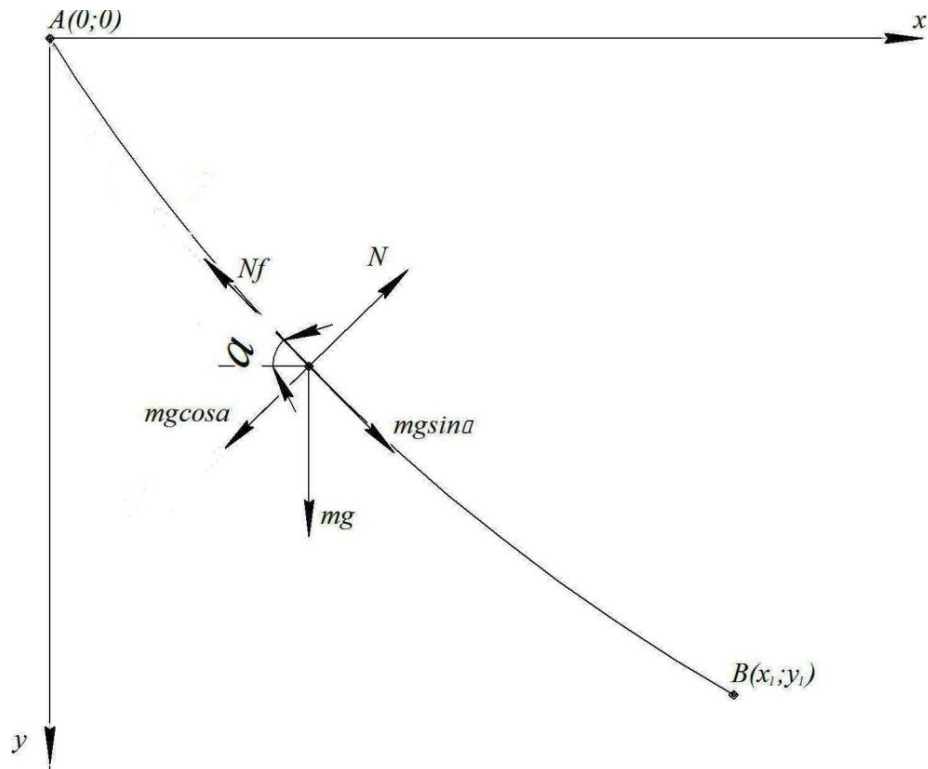


Рисунок 2.13 – Схема сил, действующих на материальную точку грунта

Так как сила тяжести является единственной активно действующей, то, естественно, она не порождает других сил, лежащих вне вертикальной плоскости. Поэтому траектория движения точки M будет заведомо плоской кривой, форму которой следует определить.

Начальное положение точки M (точка A) примем за начало координат, ось координат направлена вертикально вниз. Это положение соответствует началу движения грунта вниз из точки $A(0; 0)$ с начальной скоростью $V = V_0$, без учета скорости движения бульдозера-смесителя.

Так как мы устанавливаем характер движения точки вдоль оси шнека, то поступательной скоростью бульдозера-смесителя можно пренебречь. Иначе описать движение точки A вдоль шнека будет затруднительно.

Разложим силу тяжести на нормальную и касательную составляющие к траектории движения. Сопротивление внешней среды примем, согласно закону Ньютона для аэродинамического сопротивления, пропорциональным квадрату

скорости, однако учитывать его из-за ее ничтожной малости не имеет смысла. Тогда $k\vartheta^2 = 0$.

Сила трения, препятствующая перемещению точки по поверхности, является совокупным действием нормальной составляющей силы тяжести и центробежной силы.

Следовательно, уравнение движения точки M

$$mj = mg \sin \alpha - fN, \quad (2.22)$$

где m – масса точки M ;

j – ускорение точки M ;

α – угол между горизонталью и направлением движения;

f – коэффициент трения;

N – нормальная реакция,

$$N = mg \cos \alpha \pm \frac{m\vartheta^2}{\rho}, \quad (2.23)$$

где ρ – радиус кривизны траектории в данной точке.

Двойной знак перед $\frac{m\vartheta^2}{\rho}$ пишется потому, что заранее не известно, будет ли искомая кривизна выпуклой или вогнутой.

Подставив значение N в выражение (2.22), получим

$$mj = mg \sin \alpha - mgf \cos \alpha \pm f \frac{m\vartheta^2}{\rho}. \quad (2.24)$$

Согласно известным формулам дифференциальной геометрии

$$\rho = \frac{ds}{d\alpha}; \quad ds = \sqrt{1 + y'^2} dx; \quad \sin \alpha = \frac{dy}{ds}; \quad \cos \alpha = \frac{dx}{ds}.$$

Подставим значения в уравнение (2.24) и, умножив все значения на ds , получим

$$mj \cdot ds = mg \cdot dy - mgf \cdot dx \pm f_M \vartheta^2 \cdot d\alpha. \quad (2.25)$$

Перепишем левую часть этого уравнения в дифференциалах

$$j ds = \frac{d\vartheta \cdot ds}{dt} = \vartheta d\vartheta \quad (2.26)$$

И разделив все члены на $d\alpha$, получим

$$m\vartheta \frac{d\vartheta}{d\alpha} = mg \frac{dy}{d\alpha} - mgf \frac{dx}{d\alpha} \pm f_M \vartheta^2. \quad (2.27)$$

Напишем выражение для времени перемещения материальной точки M из положения $A(0; 0)$ в положение $B(x_1; y_1)$

$$dt = \frac{\sqrt{\left(\frac{dx}{d\alpha}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\alpha}\right)^2}}{v} d\alpha. \quad (2.28)$$

Интегрируя левую и правую части этого уравнения соответственно в пределах от 0 до T и от x_0 до x_1 , получим

$$T = \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \frac{\sqrt{\left(\frac{dx}{d\alpha}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\alpha}\right)^2}}{v} \cdot d\alpha = \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{v} \cdot d\alpha \quad (2.29)$$

С помощью уравнения (2.29) можно определить время перемещения частицы от начального положения до выхода ее за пределы вращающегося шнека. Зная время прохождения частицы от начала до конца пути можно определить конструктивные и технологические параметры шнека, необходимые для повышения качества перемешивания загрязненного грунта с компонентами.

Исходя из анализа конструкции бульдозерного отвала, были приняты и в дальнейшем оптимизированы конструктивные и технологические параметры шнека. Система уравнений движения материальной точки (2.21) и уравнение времени движения частицы (2.29) позволяют определить необходимые конструктивные и технологические параметры шнека.

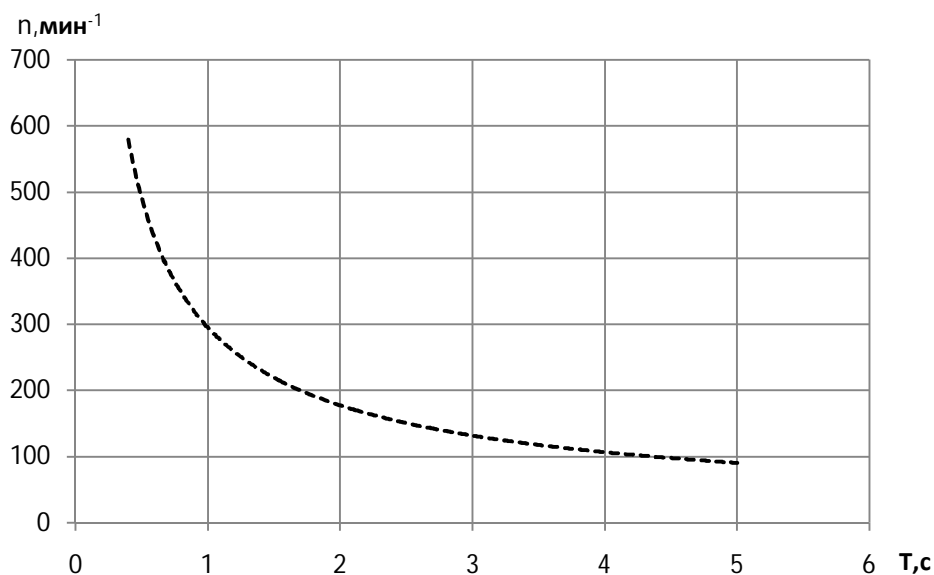


Рисунок 2.14 – Теоретическая зависимость времени движения частицы от частоты вращения шнека

На основании кривой (Рисунок 2.14) установлено теоретически, что наилучшее качество перемешанной смеси наступает уже на 1,5 – 2 секунде работы шнека. Это обусловлено выбранными конструктивными и технологическими параметрами шнека.

Полученные теоретические данные дают право утверждать, что выбранные технологические и конструктивные параметры являются основополагающими для дальнейшей оптимизации шнека, с целью получения наилучшего качества перемешивания компонентов с загрязненным нефтью и нефтепродуктами грунтом. Это позволит повысить эффективность работы микроорганизмов в загрязненном грунте и снизить энергетические затраты на проведение биологической рекультивации, а в дальнейшем снизить и время рекультивации.

2.5 Мощность, необходимая для работы бульдозера-смесителя

Рабочий процесс, включающий в себя перемещение с одновременным перемешиванием грунта, осуществляется рабочим оборудованием бульдозера-смесителя. Во время поступательного движения бульдозера-смесителя перед отвалом образуется масса грунта с компонентами, которая транспортируется и перемешивается шнеком в сторону навивки. На работу рабочего оборудования оказывают влияние различные силы, на преодоление которых необходима соответствующая мощность. Уравнение мощности работы бульдозера и шнека хорошо изложена в трудах И.И. Мера [75, 76], А.Н. Павлинова [87], Л.А. Хмары [137, 138].

Мощность, необходимую для работы рабочего оборудования бульдозера-смесителя, находим из уравнения баланса мощностей:

$$N_{\text{общ}} = N_{\text{под}} + N_{\text{Т}} + N_{\text{перем}}, \quad (2.30)$$

где $N_{\text{под}}$ - мощность, необходимая для подъема грунта, кВт;

$N_{\text{Т}}$ – мощность, необходимая для транспортирования грунта, кВт ;

$N_{\text{перем}}$ – мощность, затрачиваемая на перемещение бульдозера-смесителя, кВт;

Мощность, затрачиваемая на подъем грунта рабочим органом, определяется:

$$N_{\text{под}} = \Pi_{\text{поток гр.}} g \gamma_p H \quad (2.31)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

γ_p – объемная масса разрыхленного грунта, кг/м^3 ;

H – высота подъема грунта, м;

$\Pi_{\text{поток гр.}}$ – поток грунта, проходящий через шнек, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$\Pi_{\text{поток гр.}} = \sum_{i=1}^{i=n_{\text{вит}}} n \cdot \Pi_{1\text{поток гр.}}, \quad (2.32)$$

где n – частота вращения шнека, мин^{-1} ;

$n_{\text{вит}}$ – количество витков;

$$n_{\text{вит}} = L_{\text{шн}}/s,$$

где $L_{\text{шн}}$ – длина шнека, м;

s – шаг между витками шнека.

$\Pi_{1\text{поток гр.}}$ – поток грунта приходящийся на один виток шнека, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$\Pi_{1\text{поток гр.}} = h_k s \vartheta_k K_p, \quad (2.33)$$

где h_k – глубина капания грунта, м;

ϑ_k – скорость копания грунта, м/с ;

K_p – коэффициент разрыхления грунта;

s – шаг навивки шнека, м.

Мощность N_T , кВт, затрачиваемая на транспортирование грунта, определяется,:

$$N_T = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) k_{\text{пер}}, \quad (2.34)$$

где N_1 – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения грунта по грунту, кВт;

N_2 – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения грунта по стали, кВт;

N_3 – мощность, затрачиваемая на разгон грунта в окружном направлении, кВт;

N_4 – мощность, затрачиваемая на разгон грунта в осевом направлении, кВт;

$k_{\text{пер}}$ – коэффициент пересыпания (перемешивания) грунта между витками,

$$k_{\text{пер}} = \frac{V_{\text{тр}}}{V_{\text{рез}}}, V_{\text{тр}} - \text{объем перемещенного грунта, } V_{\text{рез}} - \text{объем срезаемого грунта.}$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения грунта по грунту, определяется по формуле:

$$N_1 = 2\Pi_{\text{поток гр.}} g\gamma_p s \cdot \tan \alpha, \quad (2.35)$$

где γ_p – объемная масса разрыхленного грунта, кг/м³;

$\tan \alpha$ – угол контакта шнека с грунтом.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения грунта по стали:

$$N_2 = 2 \cdot \Pi_{\text{поток гр}} \frac{60}{n} \gamma_p \omega_0^3 R_{\text{ш}}^2 \text{tg} \delta, \quad (2.36)$$

где ω_0 – угловая скорость, с⁻¹;

$R_{\text{ш}}$ – радиус шнека, м.

Мощность, затрачиваемая на разгон грунта в окружном направлении:

$$N_3 = \Pi_{\text{поток гр.}} \gamma_p \omega_0^2 R_{\text{ш}}^2, \quad (2.37)$$

Мощность, затрачиваемая на разгон грунта в осевом направлении:

$$N_4 = \frac{1}{3600} \Pi_{\text{поток гр.}} \gamma_p s^2 n^2, \quad (2.38)$$

Мощность, необходимая для перемещения:

$$N_{\text{пер}} = \frac{Fv_{\text{к}}}{10^3 \eta_{\text{х}}}, \quad (2.39)$$

где F – суммарное тяговое сопротивление, Н;

$v_{\text{к}}$ – скорость движения трактора, м/с;

$\eta_{\text{х}}$ – к.п.д. механизмов ходовой части трактора (0,7-0,8)

Суммарное тяговое сопротивление бульдозера-смесителя без учета сил инерции при разгоне, кН:

$$F = F_{\text{т}} + F_{\text{ро}}, \quad (2.40)$$

где $F_{\text{т}}$ – сопротивление передвижению базовой машины, кН;

$F_{\text{ро}}$ – сопротивление движению шнека по направлению движения машины, кН.

Сопротивление передвижению базовой машины, кН:

$$F_T = (G_6 + G_{po} + G_{гр} + \sum R_k)(f_M \pm i), \quad (2.41)$$

где G_6 – вес базовой машины, кН;

G_M – вес рабочего оборудования, кН;

$G_{гр}$ – вес грунта, находящегося в шнеке, кН $G_{гр}=0$ так как шнек находится в горизонтальном положении;

$\sum R_k$ – перпендикулярная к направлению движения составляющая касательного усилия резания и транспортирования шнеком, кН.

$$\sum R_k = \frac{60N_{под} \alpha_k \left(1 - \frac{x+2}{6} \frac{x+3}{x+5} \alpha_k^2\right) (x+2)}{(x+3) \left(1 - \frac{x+1}{6} \frac{x+2}{x+4} \alpha_k^2\right) \pi d_{ш} n}, \quad (2.42)$$

где, α_k – угол контакта шнека с грунтом, $\alpha_k = \arccos \left(1 - \frac{2\delta_c}{d_{ш}}\right)$;

δ_c – толщина грунта забираемого шнеком;

x – коэффициент зависящий от типа грунт а;

$d_{ш}$ – диаметр шнека, м.

Сопротивление движению шнека по направлению движения машины, кН:

$$F_{po} = \frac{60N_{под} (\sin \alpha_k)^{x+2}}{\alpha_k^{x+2} \left(1 - \frac{x+1}{6} \frac{x+2}{x+4} \alpha_k^2\right) \pi d_{ш} n}, \quad (2.43)$$

Получив все необходимые уравнения для расчета мощности, затрачиваемой при подъеме и транспортировании грунта с перемещением бульдозера-смесителя, выведем общее уравнение мощности бульдозера-смесителя:

$$N_{общ} = \Pi_{поток.гр} \gamma_p g H + \Pi_{поток.гр} \gamma_p k_{перем} \left(2gs \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{120}{n} \omega_0^3 R_{шн}^2 \cdot \operatorname{tg} \delta + \omega_0^2 R_{шн}^2 + \frac{1}{3600} s^2 n^2\right) + \frac{(F_T + F_{po}) g_k}{10^3 \eta_x} \quad (2.44)$$

Анализ показывает, что тракторы 4-6 класса, используемые в процессе рекультивации способны выполнять операции перемещения и перемешивания грунта с максимальной производительностью. Кроме этого выявлено, что установка на рабочее оборудование бульдозера (отвал) винтошнекового рабочего органа приводит к возможности перемещения грунта не только в прямом

направлении, но и вдоль отвала. Расчеты показали, что установка на бульдозерный отвал шнекового интенсификатора приводит к увеличению затрачиваемой мощности, но тем не менее на это операции, выполняемые бульдозером-смесителем, снижают затраты на техническом этапе рекультивации.

2.6 Выводы

При большой площади загрязнения нефтью наиболее целесообразно проводить рекультивации на месте разлива, а для повышения эффективности и сокращения периода рекультивации производить изъятие загрязненного объема грунта с последующей укладкой в траншею или бурт, одновременно перемешивая с компонентами очистки (Патент 2475314).

На основании теоретических исследований работы бульдозера-смесителя в рамках разработанной технологии (Патент РФ 2475314) были получены следующие результаты:

– разработано техническое средство (бульдозер-смеситель) для перемещения грунта загрязненного нефтью и нефтепродуктами, с одновременным перемешиванием его с компонентами очистки (Патент РФ №129528);

– разработана математическая модель движения материальной точки по поверхности винтовой линии, см. формулы (2.21) и (2.29), которая позволяет определить конструктивные и технологические параметры шнека;

– получено аналитическое выражение для определения мощности бульдозера-смесителя (2.44).

Произведенные теоретические исследования рабочего оборудования и необходимой мощности бульдозера-смесителя легли в основу дальнейшей оптимизации конструкции с целью улучшения качества перемешивания загрязненного нефтью грунта и компонентов на техническом этапе рекультивации.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходя из поставленной в работе цели и вытекающих из нее задач, сформулированных в 1 главе, а также теоретических исследований, рассмотренных во 2 главе, программа экспериментальных исследований предусматривает:

1 Исследование физико-механических свойств грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

2 Определение оптимальных режимных и конструкционных параметров бульдозера-смесителя и их влияния на мощность и энергоемкость процесса перемещения грунта, загрязненного нефтью и нефтепродуктами, с одновременным перемешиванием его с компонентами очистки.

3 Определение качества перемешивания нефтезагрязненного грунта с компонентами бульдозером-смесителем.

4 Исследование качества очистки загрязненного участка при помощи созданной технологии.

3.1 Программа исследования физико-механических свойств грунта загрязненного нефтепродуктами

Эффективность работы бульдозера-смесителя в целом, а именно его производительность и энергоемкость, необходимо оценивать с учетом физико-механических свойств грунтов, загрязненных нефтепродуктами, так как они оказывают значительное влияние на работу рабочего органа и его основные показатели. Поэтому программой для проведения экспериментальных исследований предусматривалось:

– определение концентрации нефтесодержащего вещества в грунте и глубина его проникновения;

– определение удельного веса, влажности, липкости, влагоемкости нефтезагрязненного грунта.

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

Глубина проникновения нефти в грунт определялась путем измерения линейкой при изъятии проб, шаг измерений по ширине составлял 0,2 м.

Изучение объемной массы, плотности твердой фазы почвы, липкости проводилось с учетом требований соответствующих методик и ГОСТов [20, 60, 61, 140].

Плотность загрязненного грунта определялась методом режущих колец Н.А. Качинского [61].

Липкость загрязненного грунта нефтью и нефтепродуктами определялась прибором Охотина по стандартной методике [15, 85].

Определение щелочногидрализованного азота производилось по Корнфильду, доступного фосфора – по Мачигину в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205–91.

3.2 Методика лабораторных исследований рабочего процесса бульдозера-смесителя

Целью лабораторных исследований являлось определение оптимальных режимных и конструктивных параметров, соответствующих минимальным энергозатратам бульдозера-смесителя (полезная модель РФ 129628) при работе с загрязненным нефтепродуктами грунтом.

В связи с поставленной задачей следовало рассчитать и изготовить при помощи теории подобия [13] экспериментальную установку; провести серию поисковых опытов; разработать план эксперимента; провести многофакторный эксперимент; установить оптимальные конструктивные и режимные параметры

бульдозера-смесителя для качественного перемешивания компонентов с загрязненным нефтью грунтом.

3.2.1 Описание экспериментальной установки бульдозера-смесителя

В соответствии с программой экспериментальных исследований необходимо было изучить влияние диаметра шнека, шага шнека, высоты подъема винтовой поверхности, частоты вращения на работу бульдозера-смесителя. Для проведения опытов была изготовлена модель экспериментальной установки (Рисунок 3.1), в масштабе М 1:10. Она состоит из рамы 1, бульдозерного отвала 2, на котором с помощью стоек 3 и подшипниковых опор 4 располагается шнек 5. Приводом для вращения шнека служит электродвигатель 6 постоянного тока, передающий вращение посредством цепной передачи 7 на шнек.

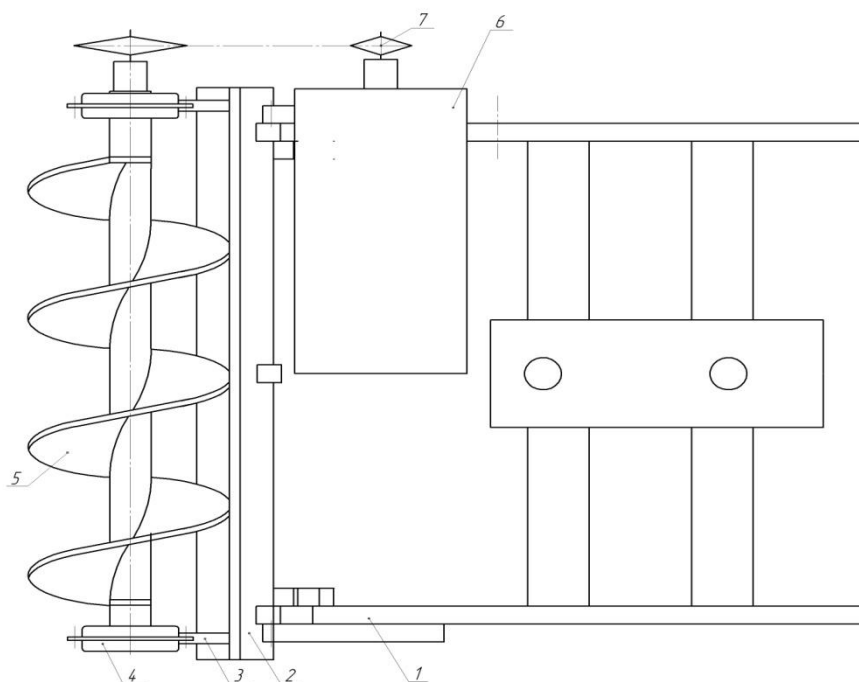


Рисунок 3.1 – Модель рабочего органа бульдозера-смесителя:
1 – рама; 2 – бульдозерный отвал; 3 – стойка; 4 – подшипниковая опора; 5 – шнек; 6 – электродвигатель; 7 – цепная передача.

Лабораторные исследования проводились в грунтовом канале [117]. Это металлический резервуар, с загрязненным грунтом, перемещающийся на катках

по направляющим вперед и назад с различной скоростью, задаваемой гидроприводом. Над каналом расположен портал, к верхней балке которого посредством плиты присоединен тензометрический мост. Плита имеет возможность перемещаться в горизонтальной плоскости с помощью передачи «винт – гайка», поворачиваться в вертикальной плоскости относительно оси балки и фиксироваться в любом положении клеммовыми соединениями. Тензометрический мост, (Рисунок 3.2), позволяет производить регистрацию действующих вертикальных, горизонтальных и осевых сил с помощью тензометрических резисторных датчиков. Регистрационный датчик представляет собой тонкую проволоку или фольгу из материала с высоким коэффициентом тензочувствительности, которая наклеивается на упругий элемент. Упругие деформации элемента приводят к пропорциональному изменению электросопротивления тензодатчика [80].

Управление грунтовым каналом производится с помощью расположенного на портале пульта.

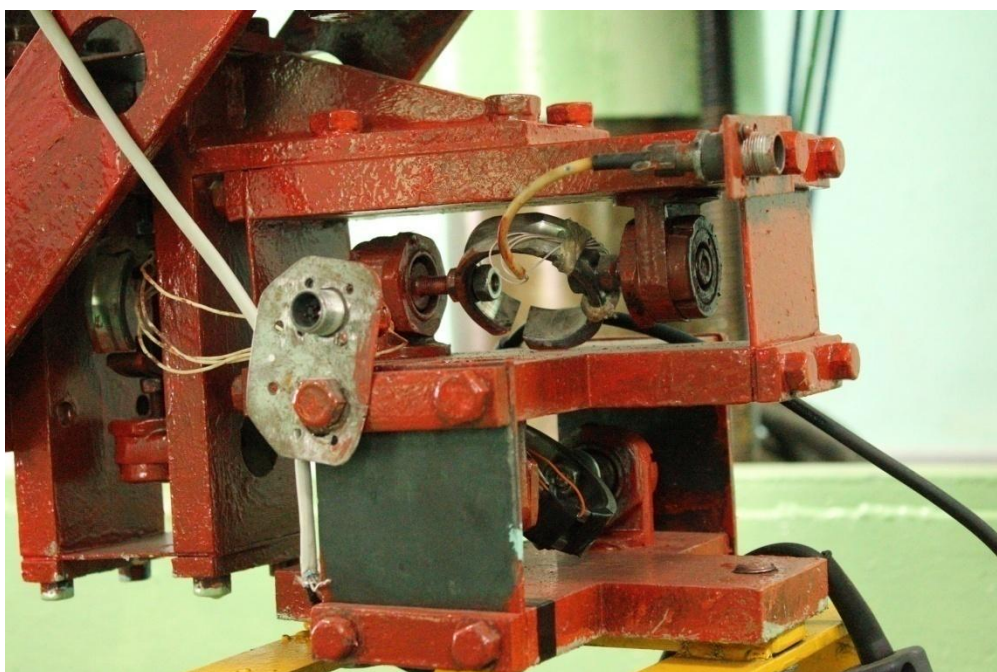


Рисунок 3.2 – Тензометрический мост грунтового канала

Модель бульдозера-смесителя располагалась на стендовом лотке (Рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Общий вид лабораторной установки.

1 – модель бульдозера-смесителя; 2 – тензометрический мост;

3 – грунтовый канал

Во время эксперимента изучались конструктивные и режимные параметры бульдозера-смесителя: шаг шнека, частота вращения, высота подъема винтовой поверхности. Для проведения многофакторного эксперимента были использованы 3 варианта шнека с разными конструктивными параметрами, которые в ходе экспериментов изменялись [3].

Режимные параметры задавались изменением частоты вращения шнека с пульта управления. Поступательная скорость лотка оставалась постоянной.

Лабораторная установка позволяла моделировать физические процессы работы настоящего бульдозера-смесителя.

При проведении лабораторных исследований с помощью тензодатчиков (Рисунок 3.2), располагаемых на тензомосту, фиксировались нагрузки, возникающие при работе бульдозера-смесителя. Использовались тензодатчики

КФ5П1-10-203-12, которые подавали сигнал на МІС-018 (Рисунок.3.4) и фиксировались им.



Рисунок 3.4 – Регистрация и обработка данных о нагрузках, возникающих при работе бульдозера-смесителя

3.2.2 Порядок проведения эксперимента

Экспериментальные исследования проводились в следующей последовательности:

1. Определение необходимых режимных и конструктивных параметров (диаметра шнека, частоты вращения шнека,).
2. Корректировка параметров определения работоспособности бульдозера-смесителя.
3. Моделирование участка нефтезагрязненного грунта и компонентов для биологической очистки.
4. Настройка регистрирующей аппаратуры.

5. Проведение работы бульдозера-смесителя по смешиванию нефтезагрязненного грунта и компонентов.

6. Обработка полученных данных.

3.2.3 Определение качества перемешивания компонентов с грунтом, загрязненным нефтью и нефтепродуктами, бульдозером-смесителем

Целью исследований является выявление качества распределения компонента в массе загрязненного грунта.

В соответствии с формулировкой цели за параметр оптимизации принята – частота вращения шнека.

Выбранный параметр является количественным, задается числом и является однозначным.

Данный параметр воздействует на систему в целом, а именно влияет на качественное распределение компонентов в области работы устройства, и имеет физический смысл для цели исследований.

Существенными факторами, оказывающими влияние на работу бульдозера-смесителя, а именно на качество распределения компонентов, являются: диаметр шнека, частота вращения шнека, ширина отвала, длина шнека, шаг навивки, высота подъема винтовой поверхности, глубина резания, поступательная скорость бульдозера-смесителя.

Диаметр шнека, ширина отвала, длина шнека, глубина резания являются конструктивными особенностями, которые воздействуют на качество перемешивания незначительно. Основными факторами, на которые необходимо обратить внимание, являются: X_1 – частота вращения шнека, n ; X_2 – шаг навивки, $t_{ш}$; X_3 – высота навивки, $h_{навив}$.

Выбранные факторы существенные, управляемые, операционные, совместимые [3, 109, 135]

На основании предварительных расчетов и проведенных ранее экспериментов были установлены:

– область определения частоты вращения шнека в интервале 200–400 об/мин;

– область определения шага шнека в интервале 60–80 мм;

– область определения высоты винтовой линии 45–65 мм.

Были заданы уровни факторов и интервалы варьирования (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровни	Факторы		
	X_1 , об/мин	X_2 , мм	X_3 , мм
Основной уровень	300	70	55
Интервал варьирования	100	10	10
Верхний уровень	400	80	65
Нижний уровень	200	60	45

Для исключения влияния систематических ошибок, возникающих при воздействии внешних условий, последовательность проведения опытов выбиралась по таблице случайных чисел (Таблица 3.2) [3].

Таблица 3.2 – Система смешивания оценок

N пп	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	$X_2 X_3$	$X_1X_2 X_3$	Y
1	+1	1	1	+1	+1	1	1	+1	Y_1
2	+1	+1	1	1	1	1	+1	+1	Y_2
3	+1	1	+1	1	1	+1	1	+1	Y_3
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y_4
5	+1	1	1	1	+1	+1	+1	1	Y_5
6	+1	+1	1	+1	1	+1	1	1	Y_6
7	+1	1	+1	+1	1	1	+1	1	Y_7
8	+1	+1	+1	1	+1	1	1	1	Y_8

Для исключения грубых ошибок при наблюдениях и оценке дисперсии воспроизводимости необходимо проводить параллельные опыты. На основании информации, полученной ранее при проведении предварительных опытов, число параллельных опытов было выбрано равным 3 [3].

Для исключения влияния систематических ошибок, возникающих при воздействии внешних условий, последовательность проведения опытов выбиралась по таблице случайных чисел [3, 109].

Испытания на качество распределения компонентов в загрязненном грунте проводились на подготовленном участке лотка. Из компонентов наиболее подходящим по геометрическим параметрам и внешнему виду был сорбент. В масштабе 1:10 в качестве искомого компонента использовался имитирующий материал.

Объем имитирующего материала выбирался в соответствии с предложенной технологией детоксикации нефтезагрязненного грунта, – 20 % от общего объема изымаемого грунта. Заранее были подготовлены пластины с разметкой по 0,05 м. Посредством данных пластин моделировалась зона выемки (амбар), куда в дальнейшем засыпали грунт с компонентом. Объем засыпаемого грунта составлял $0,009 \text{ м}^3$, а объем компонента – $0,0018 \text{ м}^3$.

После прохода бульдозера-смесителя из ячейки изымалась проба (Рисунок 3.5) для подсчета количества имитирующего материала в каждом квадрате и рассчитывался критерий качества смеси.

Критерий качества перемешивания грунта, загрязненного нефтью и нефтепродуктами, и компонентов биологической рекультивации определялся по существующим методикам [74].

В процессе работы бульдозера-смесителя происходит взаимное перемещение частиц компонентов, находившихся до перемешивания в неоднородном состоянии. В идеале должна получаться такая смесь, когда в любой ее точке к каждой частице грунта должна примыкать частица компонента, в заданном соотношении.



Рисунок 3.5 – Модели амбара

Однако такую смесь трудно получить из за большого числа факторов, воздействующих на процесс перемешивания. К таким факторам относятся конструктивные особенности бульдозера-смесителя, метод смешивания (неоднородное распределение до перемешивания) и физико-механические свойства нефтезагрязненного грунта и компонентов.

В работах Ю.И. Макарова [74] для определения качества смешивания (смесь 2-х компонентная) один компонент выделяют как ключевой, далее рассматривается его распределение в общей массе.

Среднее квадратичное отклонение по данным опытов рассчитывалось по формуле:

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} , \quad (3.1)$$

где c_i – содержание ключевого компонента (имитирующего материала) в одной из проб;

\bar{c} – среднее арифметическое содержание ключевого компонента во всех пробах;

n – общее число отобранных проб.

Данное выражение (3.1) определения качества смеси является ключевым аргументом эффективного перемешивания с помощью бульдозера-смесителя.

3.2.4 Методика обработки экспериментальных данных

Для оценки достоверности экспериментальных данных использовался метод математической статистики [3, 109, 135]. Полученные в результате исследований данные обрабатывались путем вычисления:

– средней величиной распределения:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.2)$$

где X_i – сумма всех отдельных результатов;

n – количество параллельных измерений;

– дисперсии распределения:

$$D = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}, \quad (3.3)$$

где X_i – результат отдельного опыта;

– среднеквадратичным отклонением:

$$D_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}}; \quad (3.4)$$

– коэффициентом вариации:

$$V = \frac{D_x}{\bar{X}}. \quad (3.5)$$

Минимальное количество наблюдений в опытах принимаем равным трем.

3.3 Методика полевых исследований

Исследования качества очистки загрязненного участка с помощью созданной технологии (Патент на изобретение 2475314) включали в себя:

– определение концентрации загрязняющего вещества в почве;

– определение всхожести растений на рекультивируемом участке.

Закладка опытов и проведение исследований осуществлялись в соответствии с методиками, описанными в трудах Б.А. Доспехова [52, 53], Н.З. Станкова [126], С.В. Астапова [12], А.С. Пискунова [102].

Схема опыта включала 3 варианта:

- 1 – фоновый вариант с незагрязненным грунтом (контроль);
- 2 – вариант с загрязненным грунтом
- 3 –рекультивируемый участок с посевом на нем различных культур.

Полученные данные обрабатывались математическим методом статического анализа при помощи персонального компьютера по Б.А. Доспехову [52].

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БУЛЬДОЗЕРА-СМЕСИТЕЛЯ

4.1 Влияние конструктивных параметров и технологических режимов работы шнека на качество перемешивания

Результаты исследования представлены в виде матрицы планирования и результатов опытов, расчетов ошибки параллельных опытов и дисперсии параметра оптимизации (Таблицы 4.1 и 4.2). Полученные данные обрабатывались на ЭВМ с использованием программных продуктов Excel, Statistica, Mathcad.

Таблица 4.1 – Матрица планирования и результаты опытов

Номер опыта в матрице	Случ. порядок проведения опыта	X ₁		X ₂		X ₃		у
		код	об/мин	код	мм	код	мм	
1	13	-	200		60	+	65	46,6
	4							47,2
	3							48,0
2	23	+	400		60		45	20,5
	15							20,4
	18							20,6
3	8		200	+	80		45	45,1
	16							48,9
	24							44
4	19	+	400	+	80	+	65	30,7
	9							29,1
	5							28,8
5	7		200		60		45	50,5
	21							52,7
	10							49,1
6	2	+	400		60	+	65	36,2
	12							38,1
	14							37,4
7	22		200	+	80	+	65	54,1
	1							54,7
	20							55
8	17	+	400	+	80		45	24,6
	6							27,1
	11							26,3

Таблица 4.2 – Расчет дисперсий параметра оптимизации и определение ошибки параллельных опытов

Номер опыта в матрице	Случ. порядок проведения опыта	Неоднородность, Y	\bar{Y}	$y \cdot \bar{Y}$	$(y - \bar{Y})^2$	$\Sigma(y - \bar{Y})^2$	$S^2 = \frac{\Sigma(y - \bar{Y})^2}{n-1}$	$S = \sqrt{S^2}$	$\frac{y - \bar{Y}}{S} \geq t_{cp}$
1	13	46,6	47,27	0,67	0,44	0,99	0,49	0,70	0,95
	4	47,2		0,07	0,00				0,09
	3	48		0,73	0,54				1,04
2	23	20,5	20,50	0,00	0,00	0,02	0,01	0,10	0,00
	15	20,4		0,10	0,01				1,00
	18	20,6		0,10	0,01				1,00
3	8	45,1	46,00	0,90	0,81	13,22	6,61	2,57	1,28
	16	48,9		2,90	8,41				4,13
	24	44		2,00	4,00				2,85
4	19	30,7	29,53	1,17	1,36	2,09	1,04	1,02	11,67
	9	29,1		0,43	0,19				4,33
	5	28,8		0,73	0,54				7,33
5	7	50,5	50,77	0,27	0,07	6,59	3,29	1,81	0,38
	21	52,7		1,93	3,74				2,75
	10	49,1		1,67	2,78				2,37
6	2	36,2	37,23	1,03	1,07	1,85	0,92	0,96	10,33
	12	38,1		0,87	0,75				8,67
	14	37,4		0,17	0,03				1,67
7	22	54,1	54,60	0,50	0,25	0,42	0,21	0,46	0,71
	1	54,7		0,10	0,01				0,14
	20	55		0,40	0,16				0,57
8	17	24,6	26,00	1,40	1,96	3,26	1,63	1,28	14,00
	6	27,1		1,10	1,21				11,00
	11	26,3		0,30	0,09				3,00

Сумма дисперсии равна

$$\Sigma S^2 = 14,21.$$

Для определения возможности проведения регрессионного анализа посчитаем однородности дисперсии параллельных опытов по критерию Кохрена:

$$G_p = \frac{S_{max}^2}{\Sigma_{i=1}^n S^2} = \frac{6,61}{14,21} = 0,47, \quad (4.1)$$

где S_{\max}^2 – наибольшая дисперсия;

$\sum_{i=1}^n S^2$ – сумма дисперсии опытов.

Расчетное значение критерия сравниваем с табличным для степеней свободы:

$$- \text{числителя } f_1 = n - 1 = 3 - 1 = 2,$$

где n – число параллельных опытов;

$$- \text{знаменателя } f_2 = N = 8,$$

где N – число опытов.

В соответствии с выбранным уровнем значимости $\alpha = 0,05$

$$G_{\text{табл}} = 0,515 > G_p = 0,47. \quad (4.2)$$

Следовательно, гипотеза об однородности дисперсий параллельных опытов принимается.

Далее находим дисперсию воспроизводимости:

$$s^2 = \frac{1}{n} S_{\max}^2 = \frac{6,61}{8} = 0,82. \quad (4.3)$$

$$\text{Ошибка эксперимента } S = \sqrt{0,82} = 0,91.$$

Расчетные коэффициенты уравнения

$$b_0 = \frac{47,27 + 20,50 + 46,00 + 29,53 + 50,77 + 37,23 + 54,60 + 26,00}{8} = 38,99;$$

$$b_1 = \frac{-47,27 + 20,50 - 46,00 + 29,53 - 50,77 + 37,23 - 54,60 + 26,00}{8} = -10,67;$$

$$b_2 = \frac{-47,27 - 20,50 + 46,00 + 29,53 - 50,77 - 37,23 + 54,60 + 26,00}{8} = 0,05;$$

$$b_3 = \frac{47,27 - 20,50 - 46,00 + 29,53 - 50,77 + 37,23 + 54,60 - 26,00}{8} = 3,17;$$

$$b_{1,2} = \frac{47,27 - 20,50 - 46,00 + 29,53 + 50,77 - 37,23 - 54,60 + 26,00}{8} = -0,60;$$

$$b_{1,3} = \frac{-47,27 - 20,50 + 46,00 + 29,53 + 50,77 + 37,23 - 54,60 - 26,00}{8} = 1,90;$$

$$b_{2,3} = \frac{-47,27 + 20,50 - 46,00 + 29,53 + 50,77 - 37,23 + 54,60 - 26,00}{8} = -0,14;$$

$$b_{1,2,3} = \frac{47,27 + 20,50 + 46,00 + 29,53 - 50,77 - 37,23 - 54,60 - 26,00}{8} = -3,16.$$

После расчета всех коэффициентов уравнение имеет вид:

$$Y = 38,99 - 10,67X_1 + 0,05X_2 + 3,17X_3 - 0,6X_{1,2} + 1,90X_{1,3} - 0,14X_{2,3} - 3,16X_{1,2,3}. \quad (4.4)$$

Далее производим расчет адекватности модели с учетом таблицы смешивания оценок (Таблица 3.2):

$$Y_1 = 38,99(+I) - 10,67(-I) + 0,05(-I) + 3,17(+I) - 0,6(+I) + 1,90(-I) - 0,14(-I) - 3,16(+I) = 47,26;$$

$$Y_2 = 38,99(+I) - 10,67(+I) + 0,05(-I) + 3,17(-I) - 0,6(-I) + 1,90(-I) - 0,14(+I) - 3,16(+I) = 20,50;$$

$$Y_3 = 38,99(+I) - 10,67(-I) + 0,05(+I) + 3,17(-I) - 0,6(-I) + 1,90(+I) - 0,14(-I) - 3,16(+I) = 46;$$

$$Y_4 = 38,99(+I) - 10,67(+I) + 0,05(+I) + 3,17(+I) - 0,6(+I) + 1,90(+I) - 0,14(+I) - 3,16(+I) = 29,53;$$

$$Y_5 = 38,99(+I) - 10,67(-I) + 0,05(-I) + 3,17(-I) - 0,6(+I) + 1,90(+I) - 0,14(+I) - 3,16(-I) = 50,77;$$

$$Y_6 = 38,99(+I) - 10,67(+I) + 0,05(-I) + 3,17(+I) - 0,6(-I) + 1,90(+I) - 0,14(-I) - 3,16(-I) = 37,23;$$

$$Y_7 = 38,99(+I) - 10,67(-I) + 0,05(+I) + 3,17(+I) - 0,6(-I) + 1,90(-I) - 0,14(+I) - 3,16(-I) = 54,6;$$

$$Y_8 = 38,99(+I) - 10,67(+I) + 0,05(+I) + 3,17(-I) - 0,6(+I) + 1,90(-I) - 0,14(-I) - 3,16(-I) = 26.$$

Произведем расчет дисперсии адекватности (Таблица 4.3)

Таблица 4.3 – Расчет дисперсии адекватности

№ опыта	\bar{Y}	\hat{Y}	$(\bar{Y} - \hat{Y})$	$(\bar{Y} - \hat{Y})^2$
1	47,27	47,26	0,007	0,00004
2	20,50	20,50	0	0
3	46,00	46,0	0	0
4	29,53	29,53	0,003	0,00001
5	50,77	50,77	-0,003	0,00001
6	37,23	37,23	0,003	0,00001
7	54,60	54,6	0	0
8	26,00	26	0	0
			$\sum(\bar{Y} - \hat{Y})^2$	0,00008

Гипотезу адекватности уравнения регрессии проверили по критерию Фишера:

$$F_{аа} = \frac{S_{аа}}{S^2\{y\}} = \frac{0,00008}{0,83} = 0,00009.$$

Расчетное значение критерия сравниваем с табличным для степеней свободы:

$$\text{— числителя } f_1 = r-1 = 3-1 = 2,$$

где r — число параллельных опытов;

$$\text{— знаменателя } f_2 = N = 8,$$

где N - число опытов.

В соответствии с выбранным уровнем значимости $\alpha = 0,05$

$$F_{табл}=0,515 > F_p=0,00009 \quad (4.5)$$

Проверку статической значимости коэффициентов проводили с помощью критерия Стьюдента:

Для многофакторного эксперимента ошибки всех коэффициентов равны между собой и определялись по формуле:

$$S_{bi} = \frac{s}{\sqrt{N \cdot r}} = \frac{0,91}{\sqrt{8 \cdot 3}} = 0,19.$$

Для определения доверительного интервала выбираем значение:

$$t_{табл}=2,12$$

Доверительный интервал:

$$b_i = t_{кр} S_{bi} = 2,12 \cdot 0,19 = 0,403.$$

Критическое значение $t_{кр}$ выбирается [109] по таблице квантилей распределения Стьюдента для числа степеней свободы $f_1 = N(r-1)=8(3-1)=16$ при уровне значимости $\alpha=0,05$.

Все коэффициенты статически значимы.

При получении адекватной модели процесса со всеми значимыми коэффициентами, согласно блок-схеме принятия решения [3], можно закончить исследования.

Заменяя кодовые значения факторов в уравнении регрессии (4.4) на натуральные, получим уравнение в натуральной форме (Приложение А):

$$Y = 66,58 - 0,169n + 0,262t - 0,155h - 0,0006nt + 0,0019nh - 0,0014th \quad (4.6)$$

Графическая интерпретация полученного уравнения в виде поверхностей разного отклика позволила построить факторную область оптимальных конструктивных и технологических параметров рабочего органа бульдозера-смесителя, влияющих на качество распределения компонентов для биологической рекультивации в загрязненном нефтью и нефтепродуктами грунте.

Физический смысл полученных графиков показал следующее:

– нижняя поверхность, ограничивающая факторную область, определяется по конструктивным параметрам шнека, а именно по шагу винтовой поверхности t и высоте стойки винтовой поверхности h .

– Верхняя поверхность, ограничивающая факторную область, определяет технологическому режиму работы шнека – частота вращения, n^{-1} .

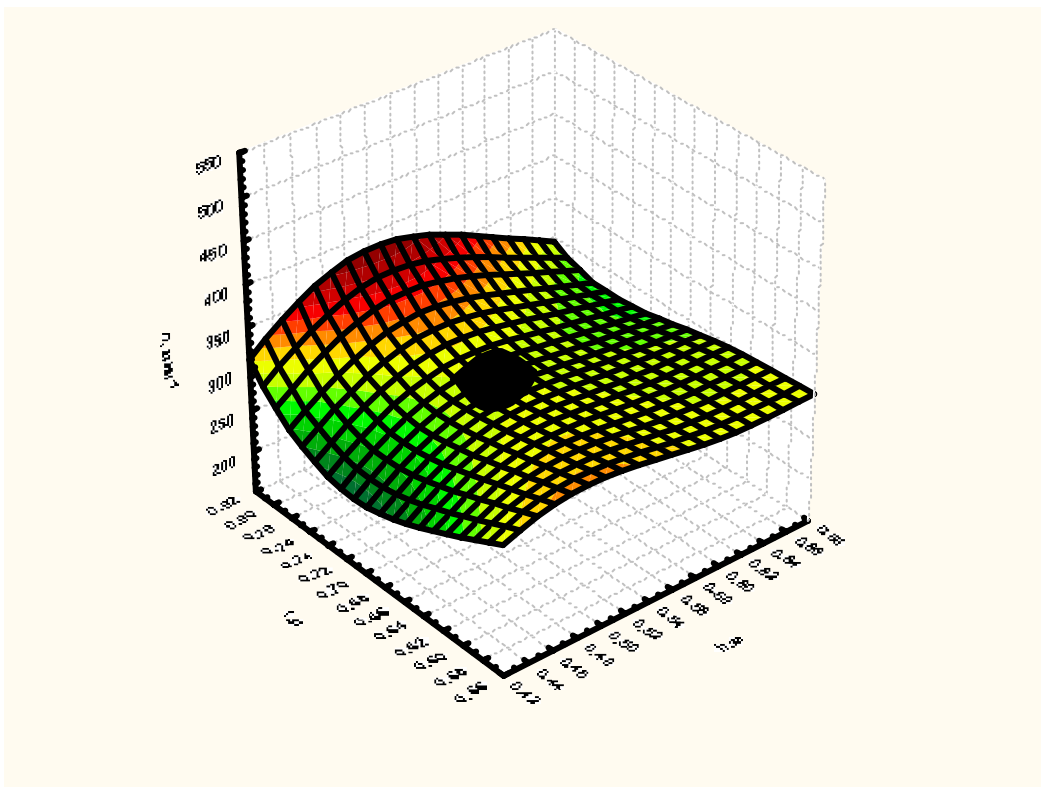


Рисунок 4.1 – Графическая интерпретация функции влияния технологических и конструктивных параметров шнека на качество получаемой смеси

Любая точка, выбранная в факторной области, позволяет назначить режим работы и конструктивные параметры шнека.

1. Зависимость влияния оборотов шнека n , мин¹, и шага винтовой поверхности t , м, на качество получаемой смеси X , %, показана на Рисунке 4.2.

Построенная поверхность представлена различными цветами, которые характеризуют качество смешивания компонентов X %, при разнообразных сочетаниях параметров n , мин¹ и t , м.

Нижняя область, представленная в виде трехмерной криволинейной поверхности, окрашенной в черный цвет, которая соответствует величине оптимального качества перемешивания 75–85 %.

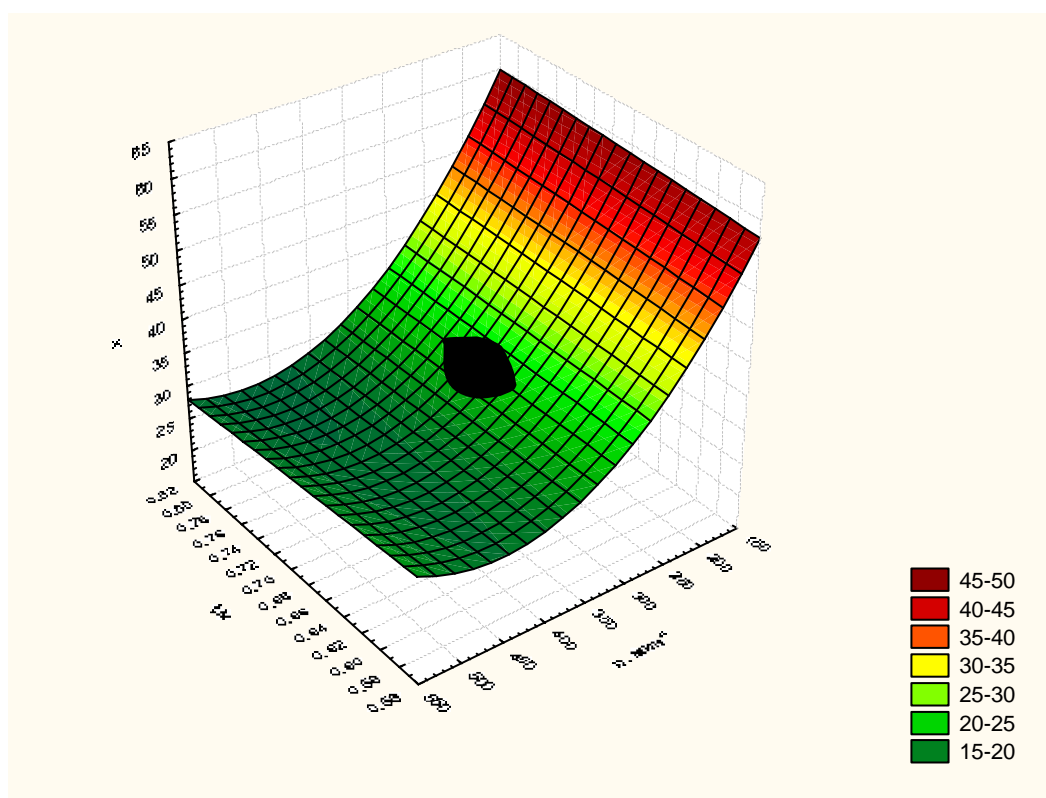


Рисунок 4.2 – Влияние параметров n , мин¹ и t , м, на качество получаемой смеси x

Данный предел является оптимальным и необходимым условием качественной очистки грунта, загрязненного нефтепродуктами. Следовательно, границы данной области являются границами рабочих параметров шнека n , мин¹ и t , м, которые находятся в пределах оптимального качества перемешивания

компонентов с загрязненным грунтом 75–85 %, что является гарантией качественной рекультивации загрязненного участка.

2. Зависимость влияния оборотов шнека n , мин^{-1} , и подъема винтовой поверхности h , м, на качество получаемой смеси X %, показана на Рисунке 4.3.

Построенная поверхность представлена различными цветами, которые характеризуют качество смешивания компонентов с загрязненным грунтом X , %, при разнообразных сочетаниях параметров n , мин^{-1} и h , м.

Анализ поверхности равного отклика показывает, что наилучшими параметрами являются параметры, находящиеся в пределах нижней области, представленной в виде трехмерной криволинейной поверхности окрашенной в черный цвет, которая соответствует оптимальному качеству перемешивания 75–85 %.

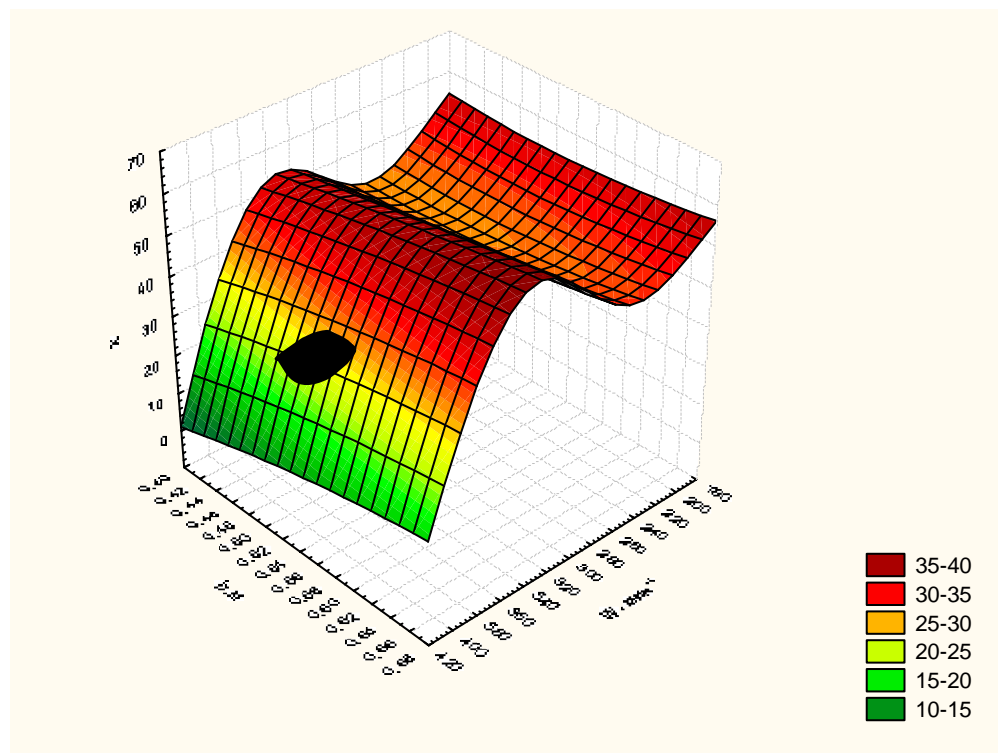


Рисунок 4.3 – Влияние параметров $n, \text{мин}^{-1}$ и h , м на качество получаемой смеси x

Данный предел является оптимальным и необходимым условием качественной очистки загрязненного грунта нефтепродуктами. Следовательно, границы данной области являются границами рабочих параметров шнека $n, \text{мин}^{-1}$ и h , м, которые находятся в пределах оптимального качества перемешивания

компонентов с загрязненным грунтом 75 – 85%, что является гарантией для качественной рекультивации загрязненного участка.

3. Зависимость влияния, шага винтовой поверхности t , м, и подъема винтовой поверхности h , м, на качество получаемой смеси X %, показана на Рисунке 4.4.

Построенная поверхность представлена различными цветами, которые характеризуют качество смешивания компонентов с загрязненным грунтом X %, при разнообразных сочетаниях параметров t , м и h , м.

Анализ поверхности разного отклика показывает, что наилучшими параметрами являются параметры, находящиеся в пределах нижней области, представленной в виде трехмерной криволинейной поверхности окрашенной в черный цвет, которая соответствует оптимальному качеству перемешивания 75–85 %.

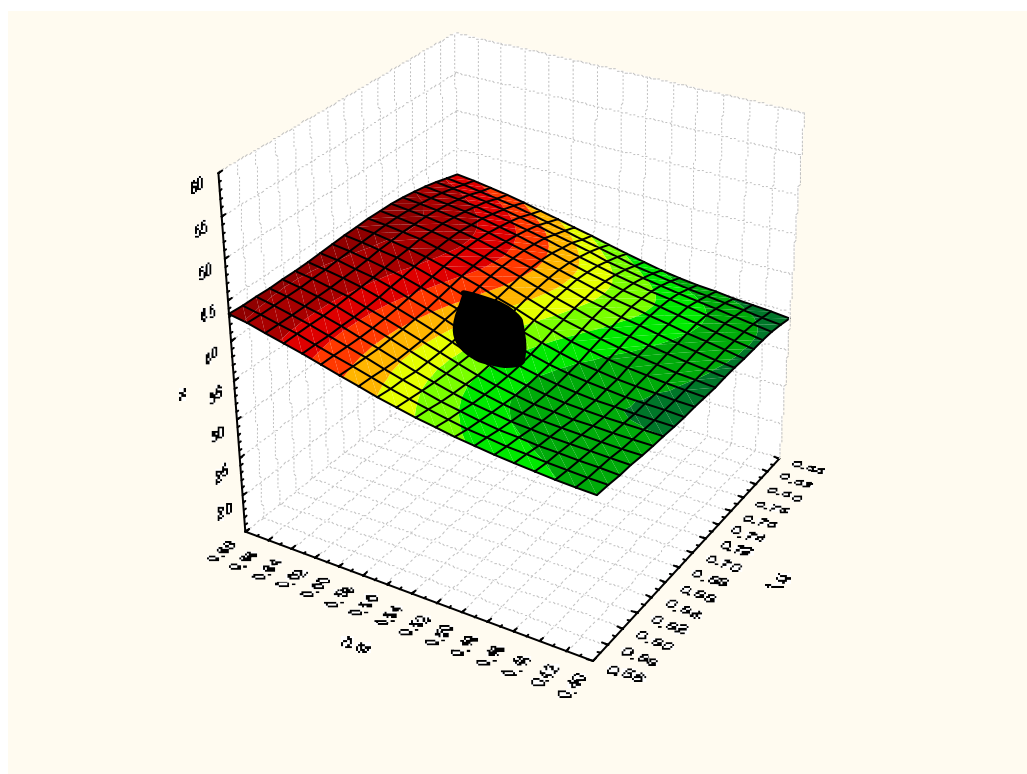


Рисунок 4.4 – Влияние параметров t , м и h , м, на качество получаемой смеси x

Данный предел является оптимальным и необходимым условием качественной очистки загрязненного грунта нефтепродуктами. Следовательно,

границы данной области являются границами рабочих параметров шнека t , m и h м которые находятся в пределах оптимального качества перемешивания компонентов с загрязненным грунтом 75–85 %, что является гарантией качественной рекультивации загрязненного участка.

В ходе анализа было установлено, что обороты шнека необходимо выбирать в пределах от 100–400 мин¹, так как при оборотах 100 мин¹ производительность шнека будет меньше производительности бульдозера, что является неприемлемым. А увеличение оборотов шнека свыше 400 мин¹ приведет к излишнему диспергированию грунта, что также экономически нецелесообразно при осуществлении операции.

Графическая интерпретация влияния параметров шнека на качество получаемой смеси X , мм (Рисунки 4.2, 4.3, 4.4) позволила определить оптимальные параметры шнека бульдозера-смесителя.

Для сокращения периода биологической рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами грунтов принято оптимальное качество получаемой смеси (неоднородность 20-30%) при следующих конструктивных и технологических параметрах рабочего оборудования бульдозера-смесителя (шнека) равным:

- Частота вращения шнека n , мин¹ в пределах 250-350 мин¹;
- Шаг винтовой поверхности шнека t , м в пределах 0,65-0,75 м;
- Подъем винтовой поверхности (стойка) h м, в пределах 0,5-0,6 м.

Оптимизация конструкции рабочего оборудования бульдозера-смесителя (Рисунок 4.5), по полученным данным, непосредственно повлияла на технологию проведения рекультивации загрязненного участка. Равномерность распределения компонентов в загрязненном объеме грунта снизила период проведения рекультивации за счет активнордействующих микроорганизмов во всем объеме, а не в случайном порядке.



Рисунок 4.5 – Общий вид бульдозера-смесителя

Движение компонентов (частиц) по винтовой поверхности шнека занимает определенный промежуток времени, и чем дольше частица находится в объеме, перемешиваемом шнеком, тем качественнее получается смесь, транспортируемая в траншею. В результате проведенных исследований была подтверждена теоретическая гипотеза времени прохождения частицы по винтовой поверхности шнека (Рисунок 4.6).

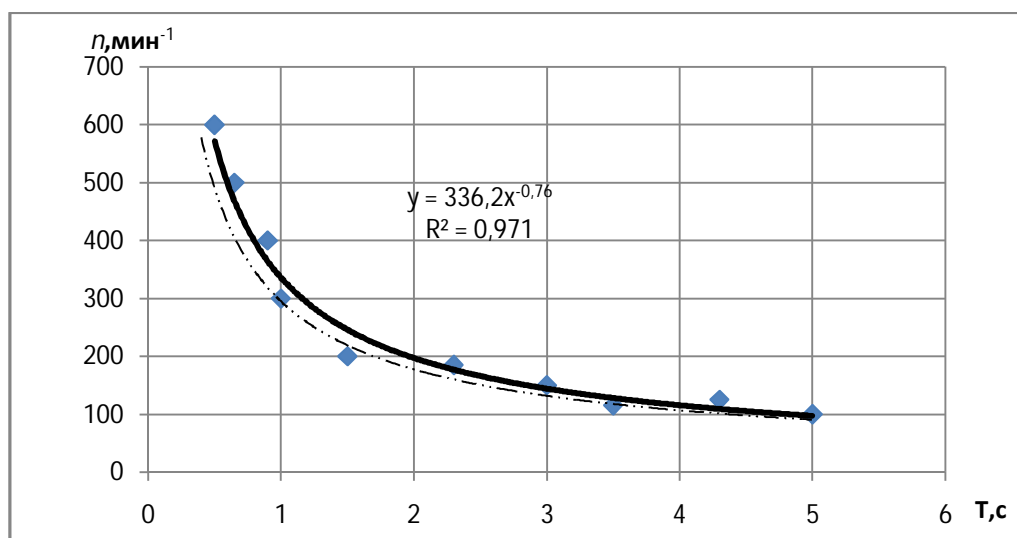


Рисунок 4.6 – Зависимость времени движения частицы от частоты вращения шнека:

————— - экспериментальная; ----- - теоретическая

При анализе рисунка 4.6 установлено, что изменение качества получаемой смеси, которое определялось показателем неоднородности смеси V_c , имеет криволинейный характер с ярко выраженной кривизной до 2,0 секунд передвижения и перемешивания загрязненного нефтью и нефтепродуктами грунта с компонентами для биологической рекультивации. Удовлетворительное качество смеси (85 % однородность) наступает уже после 1,2 секунды перемешивания с одновременным перемещением смеси. Фактически это время определяет расстояние начала отвала грунта от траншеи, в которую он укладывается.

4.2 Влияние технологических режимов и конструктивных параметров на энергоемкость процесса перемешивания

Установка на бульдозерный отвал шнековый рабочий орган, приводит не только к улучшению качества распределения компонентов в объеме загрязненного грунта, но и к изменению энергоемкости рабочего процесса бульдозера.

В результате исследований установлено, что при низкой частоте вращения шнека, интенсивность движения частиц в массе грунта незначительна, что снижает качество смеси. Кроме этого снижение частоты вращения шнека ниже 100 мин^{-1} приводит к снижению производительности бульдозера-смесителя. Увеличение частоты вращения шнека приводит к улучшению качества перемешивания и как следствие к увеличению энергоемкости процесса (Рисунок 4.7)

Анализ показывает, что увеличение частоты вращения шнека выше 300 мин^{-1} , приводит к росту энергоемкости рабочего процесса бульдозера смесителя до 25%. Следовательно, выбранная частота вращения в интервале $250\text{-}350 \text{ мин}^{-1}$ является более предпочтительной как с точки зрения качества перемешивания, так и энергоемкости процесса.

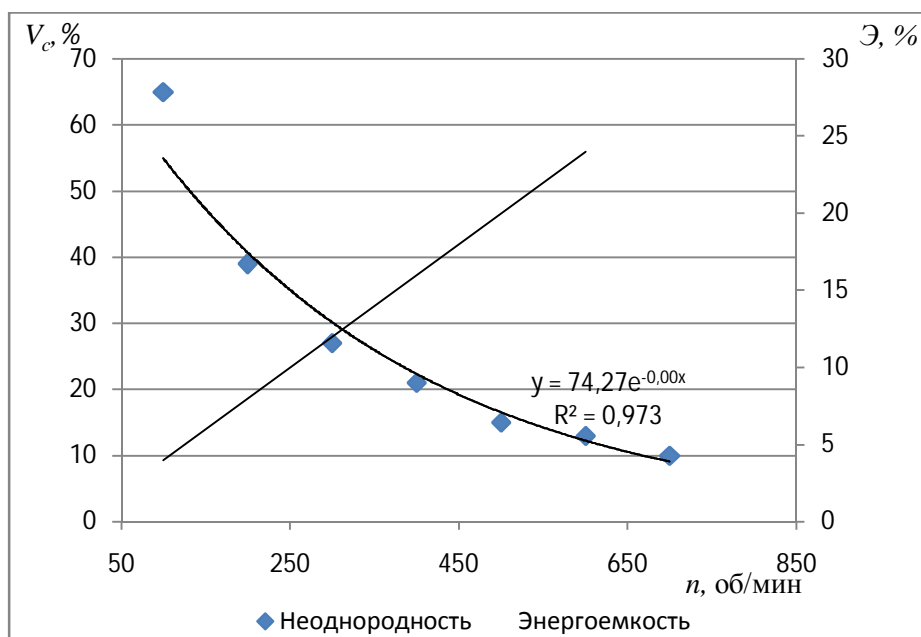


Рисунок 4.7 – Зависимость коэффициента неоднородности смеси от частоты вращения шнека

Изменение конструктивных параметров шнека так же влияет на качество перемешивания и энергоёмкость рабочего процесса. Установлено, что при уменьшении шага винтовой поверхности шнека происходит увеличение качества перемешивания за счет активного диспергирования движущейся массы, и увеличение энергоёмкости процесса (Рисунок 4.8).

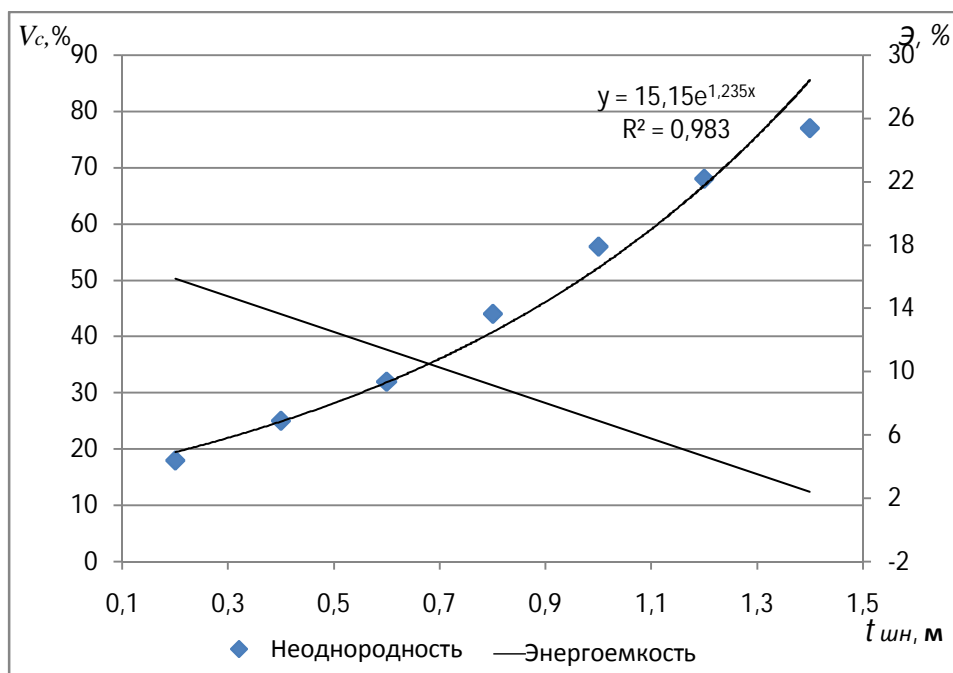


Рисунок – 4.8 Зависимость коэффициента неоднородности смеси от шага шнека

Анализ зависимости показал, что наиболее эффективным является шаг винтовой поверхности равный от 0,65 до 0,75 м при котором энергоёмкость процесса составила 8-13 %. Увеличение шага нецелесообразно так как приводит к снижению качества перемешивания.

Подъем винтовой поверхности шнека, как и шаг шнека оказывают значительное влияние на качество перемешивания и энергоёмкость процесса (Рисунок 4.9).

Увеличение высоты подъема (стойки) винтовой поверхности приводит к повышению диспергирования движущейся массы, тем самым сказывается на качестве и энергоёмкости перемешивания (Рисунок 4.8).

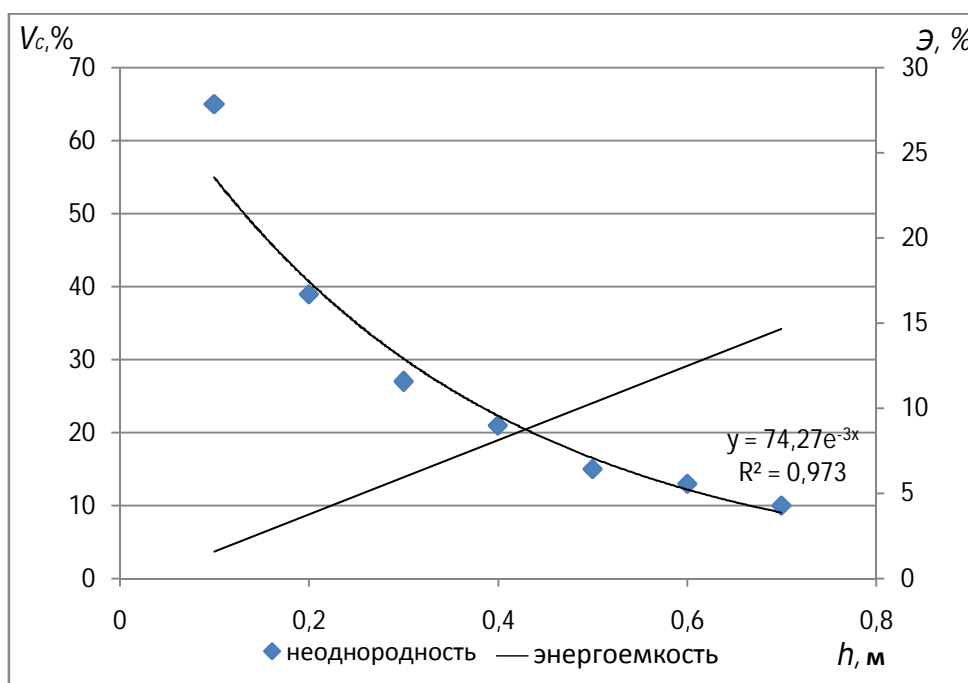


Рисунок – 4.9 Зависимость коэффициента неоднородности смеси от высоты подъема винтовой линии.

Анализ показал, что выбор высоты стойки в пределах от 0,45-0,65 м является оптимальным для качественного перемешивания загрязненного грунта с компонентами.

Анализ полученных зависимостей свидетельствует о том, что выбранные технологические режимы и конструктивные параметры бульдозера-смесителя находятся в пределах пересечений кривой неоднородности смеси и энергоёмкости

процесса перемешивания. Что подтверждает правильность назначения режимов и конструктивных параметров шнека с позиции энергоемкости процесса перемешивания и качества смесеобразования.

4.3 Исследования динамики восстановления нефтезагрязненной почвы

Концентрация нефти в грунте стремительно на 40–50 % снижается в первый период после загрязнения, когда протекают абиотические процессы изменения нефти в почве, в результате распространения загрязнения по площади и частичного испарения легких фракций. В последующие периоды снижение концентрации нефти в почве происходит медленнее.

4.3.1 Плотность почвы, загрязненной нефтью

Плотность почвы влияет на всхожесть, дальнейший рост и развитие растений и в конечном счете определяет урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. При загрязнении нефтью и нефтепродуктами плотность почвы повышается в зависимости от степени загрязнения, причиной тому являются свойства нефти (цементация, гудронизация и т. д.).

За период исследований (среднее значение по годам) на опытном участке с загрязнением почвы нефтью 120 г/кг плотность почвы изменялась до глубины 0,3 м и различия плотности между слоями загрязненного и фонового участка составили 28; 24; 14 % (Приложение Б).

В результате проведенных исследований установлено, что за три года при рекультивации по предлагаемой технологии плотность почвы рекультивируемого участка на глубине 0–10 см снижается ($1,13 \text{ г/см}^3$), в сравнении с загрязненным участком и приближается к значениям плотности фона ($1,09 \text{ г/см}^3$), это обусловлено высокой степенью распределения компонентов в загрязненном грунте и как следствие более активной работы микроорганизмов.

Таким образом разница средних значений по годам фонового и рекультивируемого участка по слоям составили 2, 11, 7 % (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Значение плотности нефтезагрязненной почвы, г/см³

Варианты	Год	Слои почвы, см		
		0-10	10-20	20-30
Не загрязненный участок (фон)	2011	0,99	1,05	1,08
	2012	1,14	1,06	1,12
	2013	1,15	1,04	1,10
Среднее значение за три года		1,09	1,05	1,10
Рекультивируемый участок по предлагаемой технологии	2011	1,12	1,15	1,17
	2012	1,15	1,17	1,19
	2013	1,14	1,16	1,15
Среднее значение за три года		1,13	1,16	1,17

В большинстве технологий биологической рекультивации предусмотрено неоднократное рыхление загрязненного участка в период рекультивации, с целью повышения работоспособности микроорганизмов за счет нормализации водно-воздушного баланса почвы и предотвращения цементации. Как известно, при нефтяном загрязнении увеличивается дисперсность почвы и уменьшается структурность и степень агрегатности, что значительно снижает коэффициент фильтрации воды [7].

В предлагаемой технологии рекультивации нефтезагрязненных земель эта проблема решается за счет использования глауконита и качественного перемешивания компонентов с загрязненным грунтом. Насыщенность и равномерность распределения глауконита и органических удобрений снижают связывающие свойства нефти и тем самым создают оптимальную среду обитания и эффективной работы микроорганизмов.

4.3.2 Агрехимические свойства почвы

Нефть, попадая в почву, оказывает негативное влияние на микрофлору плодородного слоя. Первый удар при разливе нефти и нефтепродуктов на себя принимает гумусовый горизонт. Гумус считается главным показателем плодородия почвы, в нем накапливаются все питательные элементы для роста и развития растений (фосфор, калий и др.) При попадании нефти в гумусовый горизонт резко увеличивается содержание углерода, что приводит к ухудшению питательных свойств почвы, тем самым нарушается водно-воздушный баланс. Увеличение общего количества органического углерода приводит к изменению качественного состава гумуса, а именно уменьшается относительное содержание гуминовых и фульвокислот, увеличивается содержание негидролизуемого остатка [45, 47].

С увеличением концентрации нефтепродуктов в почве показатель гумуса резко ухудшается (Таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Влияние нефти и нефтепродуктов на содержание гумуса в почве

Варианты	период	рН	Содержание гумуса, %	Содержание питательных веществ, мг /100 г почвы		
				Гидро - лизуемый азот	P ₂ O ₅	K ₂ 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

Исследования загрязненного участка показали, что нефть в почве снижает процентное содержание гумуса, это приводит к нарушению баланса углерода и азота в почве. Снижение концентрации подвижного фосфора под воздействием нефтяного загрязнения происходит в результате высокого соотношения углерода и азота, так как организмы, атакующие углеводород, будут иммобилизовывать

неорганический фосфор в почве, что приводит к уменьшению количества экстрагируемого фосфора [45]

На рекультивируемом участке количество питательных веществ увеличивалось за счет присутствия биологических компонентов и работы микроорганизмов.

После рекультивации нефтезагрязненного участка наблюдалось улучшение питательных свойств почвы, это выражалось в состоянии гумуса которое приближалось к значениям фона. В среднем за годы исследований было установлено, что гумусовый слой после рекультивации меньше в сравнении с фоном лишь на 0,32 %, что свидетельствует о восстановлении нарушенной экосистемы. Насыщенность почвы органическими удобрениями оказывала благоприятное воздействие на работу микроорганизмов.

4.3.3 Структурное состояние почвы

Попадая на почву, нефть ухудшает ее структурное состояние. Под влиянием компонентов нефтепродуктов происходит склеивание частиц грунта (структурных отдельностей), увеличивается количество крупных структурных агрегатов, тем самым снижается количество агрономически ценных агрегатов.

Структура почвы является тем связующим компонентом, который препятствует быстрому распространению загрязнения в глубь почвы или, наоборот пропускает, в зависимости от типа грунта. Чем крупнее частицы почвы, тем легче нефтепродукты проникают в глубь почвы. Кроме этого от структуры почвы зависит и степень аэрации, а следовательно, интенсивность испарения и окисления нефтепродуктов.[21]

За период исследований на опытном участке было установлено снижение количества малых структурных частиц вплоть до их исчезновения и увеличение крупных структурных частиц.

В среднем за 3 года исследований под влиянием нефтепродуктов с начальной концентрацией 120 г/кг было зафиксировано уменьшение ценных

структурных частиц на 19,7 % и увеличение количества крупных фракций на 41,8 %. Пылевидные фракции практически исчезли .

При изучении последствий рекультивации нефтезагрязненного участка были получены данные состояния структурности почвы (Таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Влияние нефтезагрязнения на структуру почвы в слое 0-30 см

Варианты	период	Размеры структурных агрегатов, мм			Коэффициент структурности
		>10	10–0,25	<0,25	
Фоновый участок	2011	20,3	72,2	7,5	1,73
	2012	22,9	69,9	7,2	1,61
	2013	21,8	71,3	6,9	1,68
Среднее значение		21,7	71,3	7,2	
Рекультивируемый участок	2011	20,7	72,4	6,9	3,15
	2012	23,0	69,6	7,4	3,21
	2013	21,2	71,3	7,5	3,18
Среднее значение		21,6	71,1	7,3	

По этой причине в периоды проведения биологической рекультивации загрязненных земель зачастую проводят культивацию, рыхление почвы с целью улучшения подачи кислорода и влаги для эффективной работы микроорганизмов.

После рекультивации нефтезагрязненного участка наблюдается улучшение структурного характера почвы, он приближается к фоновым значениям и отличается на 3-5%. Таким образом, согласно по структурному анализу, биологическая рекультивация нефтезагрязненного участка не только снижает количество глыбистых фракций, но и способствует формированию агрономически ценных частиц.

4.4 Снижение концентрации нефти в загрязненной почве

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 технологий. (Рисунок 4.10).

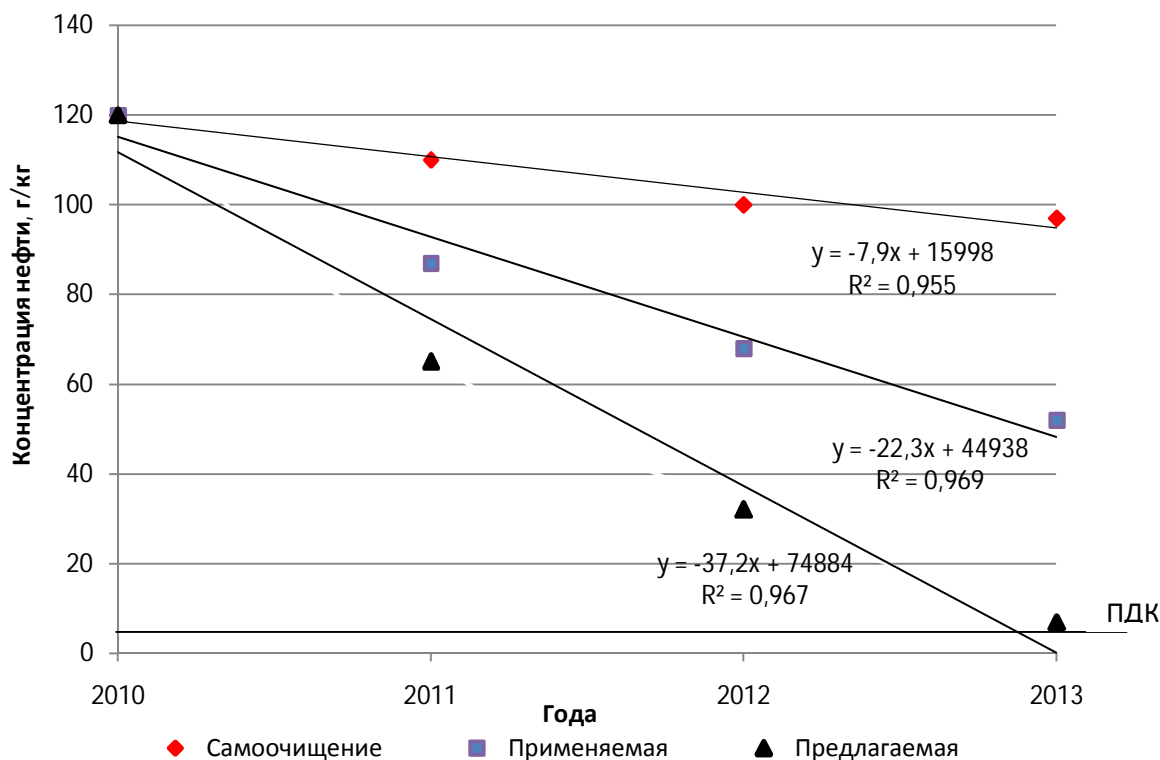


Рисунок 4.10 – Динамика снижения концентрации нефтезагрязнения в почве

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.

4.5 Урожайность культуры на участке после рекультивации нефтезагрязненной почвы

После технического этапа рекультивации вступает в действие биологический этап, основанный на высаживании толерантных растений. Как

было уже сказано, фиторемедиация оказывает благоприятное воздействие на восстановление нарушенных земель, а в сочетании с работой микроорганизмов (биоремедиация) эффект восстановления усиливается и тем самым снижается период всей рекультивации нарушенных земель .

Таким образом, наряду со снижением концентрации нефти в загрязненной почве наблюдалось повышение всхожести семян растений.

Рекультивация нефтезагрязненного участка постепенно возвращала плодородие почвы, что сказывалось на способности растений формировать урожай как зеленой массы. За период рекультивации на опытных участках производили посев растений, устойчивых к загрязнителю (клевер, кострец). Из многолетних трав наиболее хорошо зарекомендовавший себя кострец [19]. (Таблица 4.7)

Таблица 4.7 – Урожайность культур 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		

Данные проведенных экспериментов показали, что при рекультивации нефтезагрязненного участка наиболее целесообразно сеять устойчивые к концентрации нефти многолетние травы. Увеличение гумуса, после рекультивации, положительно сказалось на плодородии и повлияло на

урожайность растений (Рисунок 4.11). Урожайность на рекультивируемом участке была ниже урожайности фонового на 65 %, в следующем году 35 %.



a

б

Рисунок 4.11 – Всходы после рекультивации

a – фоновый участок; *б* – участок после восстановления
после рекультивации

На участке, рекультивируемом по предложенной технологии, в первые и последующие годы рекультивации не наблюдалось выхода нефти (темного пятна) на поверхность почвы и всходы семян были равномерными. Это явилось следствием равномерного распределения компонентов очистки с загрязненным грунтом и самими применяемыми компонентами.

4.6 Выводы

1. Исследования выбора оптимальных конструктивных и технологических параметров бульдозера-смесителя для качественного перемешивания биологических компонентов и загрязненного нефтью грунта показали, что при изменении высоты винтовой поверхности, шага и частоты вращения шнека изменяется качество укладываемой смеси. Для поддержания равномерности перемешивания в 75 – 85 % были подобраны параметры шнека: частота вращения шнека n , мин^{-1} в пределах 250-350 мин^{-1} ; шаг винтовой поверхности шнека t , м в пределах 0,65-0,75 м; подъем винтовой поверхности (стойка) h м, в пределах 0,45-0,65 м.

2. Исследования динамики восстановления загрязненного грунта показали, что нефть оказывает негативное влияние на структуру почвы ее химический состав и на экологию в целом. В течение 3 лет после рекультивации нефтезагрязненного участка:

– плотность на глубине 0-10см улучшалась и в среднем значении составила $1,13 \text{ г/см}^3$, что на уровне фоновых значений;

– гумусовое состояние почвы рекультивируемого участка восстановилось до близкого к фоновому значению и составляет в среднем за три года 4,51 %;

– улучшение структурного состояния почвы на рекультивируемом участке проявилось в снижении количества глыбистых структур и восстановлении ценных агрегатов (71,1), что так же находится на уровне фона.

5 ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Ежегодно количество земель сельскохозяйственного назначения уменьшается в связи с загрязнением промышленными отходами, при авариях на нефтепроводах, при добыче нефти и ее транспортировке. Данная проблема в настоящее время приобретает все большие масштабы.

Принимая во внимание большую ценность площади сельскохозяйственного назначения как основного средства производства, необходимо восстанавливать плодородие поврежденных участков путем проведения технической и биологической рекультивации.

Технологии рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, высокочатратные, но, несмотря на это, восстановление плодородия земли имеет большое экологическое и экономическое значение.

В настоящее время действующими методиками и подходами для определения эффективности рекультивации являются: методы определения ущерба от загрязнения нефтью и нефтепродуктами земель [28, 29, 79, 104, 105] и последующие процедуры оценки эколого-экономической значимости территорий, которые проводятся в соответствии с положениями постановлений Правительства Российской Федерации [106, 107]. В существующих методиках внимание уделяется эколого-экономическому ущербу, с учетом специфики эколого-ресурсных компонентов окружающей среды каждого субъекта РФ, с целью определения эффективности выбранного метода рекультивации.

5.1 Методика расчета эколого-экономической эффективности использования новой технологии рекультивации

Критерием эффективности рекультивации загрязненного участка по предлагаемой технологии является эколого-экономическая эффективность затрат на рекультивацию.

Ущерб, причиненный окружающей среде в результате попадания нефти и нефтепродуктов на землю, обуславливается хозяйственной ценностью земли, что в дальнейшем позволяет определить экономическую и экологическую значимости территории.

Оценка предотвращенного в результате рекультивации ущерба производится по формуле [28]

$$V_{np}^n = H_c S K_{\varepsilon} K_n, \quad (5.1)$$

где: H_c – норматив стоимости освоения новых земель (тыс. руб/га), выбирается в зависимости от региона, $H_c = 33 \div 264$ (среднее значение 174);

S – площадь рекультивируемого участка, га;

K_{ε} – коэффициент экологической ситуации и экономической значимости территории, для Поволжья $K_{\varepsilon} = 1,9$; K_n – коэффициент для особо охраняемых территорий $K_n = 1$.

Общий народнохозяйственный результат от рекультивации нарушенного нефтью земельного участка:

$$P_{он} = D + K_{\varepsilon} V_{np}^n, \quad (5.2)$$

где D – прирост чистой продукции в результате рекультивации участка, руб./га;

K_{ε} – коэффициент экологической ситуации и экономической значимости территории.

Далее для расчета экономической эффективности необходимо определить затраты на проведение технического и биологического этапов рекультивации нарушенных земель.

Затраты на рекультивацию нефтезагрязненных земель Z_p включают в себя затраты на технический этап работы и затраты на биологический этап работы [79]. Расчет затрат на рекультивацию производится непосредственно по технологической схеме проведения (Патент на изобретение 2475314).

$$Z_p = Z_{тр} + Z_{бр}, \quad (5.3)$$

где $Z_{тр}$ – затраты на проведение технической рекультивации нефтезагрязненных земель, тыс. руб.;

$Z_{бр}$ - затраты на биологическую рекультивацию нефтезагрязненных земель, тыс. руб.

Затраты на проведение технической рекультивации определяется по формуле:

$$Z_{тр} = Z_{пр} + Z_{сг} + Z_{фр}, \quad (5.4)$$

где $Z_{пр}$ – затраты на проведение подготовительных работ и дополнительные работы, тыс. руб.;

$Z_{сг}$ – затраты на сбор основных концентраций нефти и нефтепродуктов, тыс. руб.;

$Z_{фр}$ - затраты на рыхление, фрезерование, тыс. руб.

Затраты на сбор основных концентраций нефтепродуктов определяют по формуле:

$$Z_{сг} = Z_{сг.уд} \cdot F_з \cdot h, \quad (5.5)$$

где $Z_{сг.уд}$ – удельные затраты на выполнение земельных работ, тыс. руб.;

$F_з$ – площадь загрязненного участка, м²;

h – глубина проникновения нефтезагрязнителя на данном участке, м.

$$Z_{фр} = Z_{ф.уд} \cdot F_з, \quad (5.6)$$

где $Z_{ф.уд}$ – удельные затраты на рыхление участка, тыс. руб /м².

Затраты на проведение биологической рекультивации включает в себя затраты на механическую обработку и затраты на внесение компонентов:

$$Z_{бр} = Z_{бм} + Z_{бз} + Z_{бп} + Z_{бу} + Z_{бс} \quad (5.7)$$

где $Z_{бм}$ – затраты на механическую обработку почвы в соответствии с технологической схемой рекультивации, тыс.руб.

$$Z_{бм} = Z_{бм.уд} \cdot F_{бз} \quad (5.8)$$

где $Z_{бм.уд}$ – удельные затраты на механической обработке почвы, тыс.руб./га;

$F_{бз}$ – обрабатываемая площадь, га;

$Z_{бз}$ – затраты на проведение земляных работ по предварительной подготовке поверхности почвы, тыс.руб.:

$$Z_{\text{бз}} = Z_{\text{бз,уд}} \cdot V_{\text{бз}}, \quad (5.9)$$

где $Z_{\text{бз,уд}}$ – удельные затраты проведения земляных работ по предварительной подготовке поверхности почвы, тыс. руб./м³;

$V_{\text{бз}}$ – объем разрабатываемого грунта, м³;

$Z_{\text{бп}}$ – затраты на внесение в почву биопрепаратов, тыс.руб.:

$$Z_{\text{бп}} = C_{\text{б}} Q_{\text{б}} F_{\text{бз}} \quad (5.10)$$

$Z_{\text{бу}}$ – затраты на внесение в почву удобрений, тыс.руб.:

$$Z_{\text{бу}} = C_{\text{у}} Q_{\text{у}} F_{\text{бз}} \quad (5.11)$$

где $C_{\text{б}}$, $C_{\text{у}}$ – стоимость внесения биопрепаратов и удобрений, тыс. руб./т;

$Q_{\text{б}}$, $Q_{\text{у}}$ – количество внесения биопрепаратов и удобрений в соответствии с технологической схемой биологической рекультивации.

Затраты на посев семян $Z_{\text{бс}}$:

$$Z_{\text{бс}} = C_{\text{с}} Q_{\text{с}} F_{\text{бз}} \quad (5.12)$$

где $C_{\text{с}}$ – стоимость посадки семян растений, тыс. руб./т;

$Q_{\text{с}}$ – норма расхода семян в соответствии с технологической схемой биологической рекультивации, т/га.

Затраты на рекультивацию земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами во многом зависят от климатических условий и от уровня загрязнения. Самые высокие затраты на рекультивацию приходятся на первые 1–2 года, в последующие периоды дополнительные затраты невысоки. (Рисунок 5.1)

Анализируя затраты на рекультивацию, можно сказать, что по предлагаемой технологии в первый период рекультивации 407864 руб. высоки нежели по существующей. Однако за счет качественного распределения компонентов в загрязненном объеме грунта и уникальности подобранных компонентов в последующие годы затраты были ниже чем у существующей технологии. Кроме этого по данной технологии рекультивации растительный слой восстанавливался за 3–4года, а по предлагаемой технологии на это уйдет 5 лет.

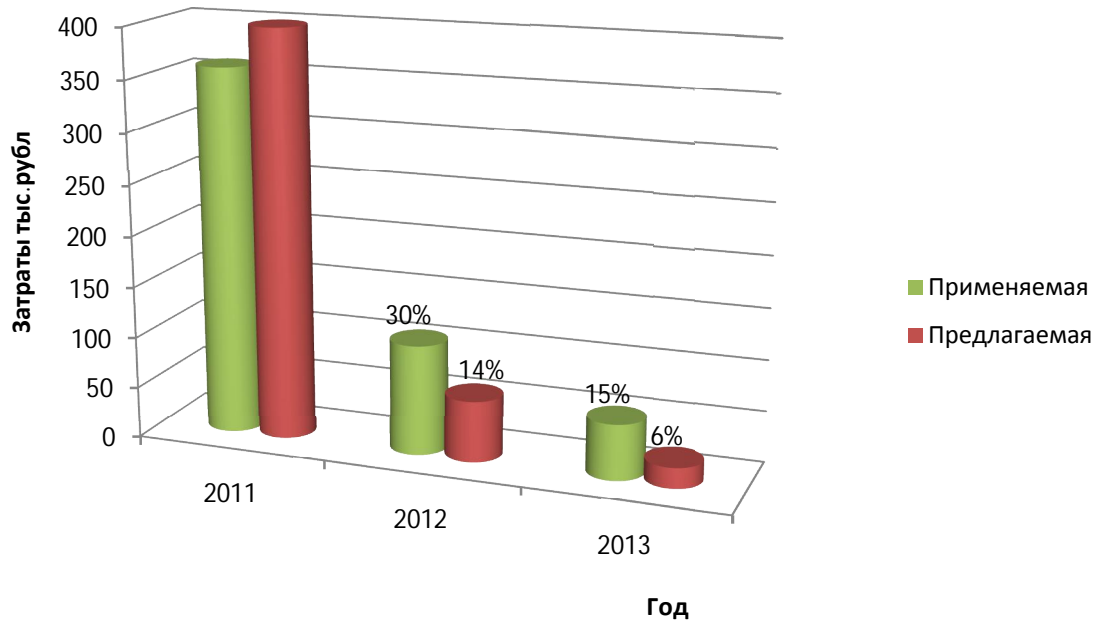


Рисунок 5.1 – Затраты на проведение рекультивации нефтезагрязненного участка по существующей и предлагаемой технологиям

Экономический показатель обычно характеризует состояние изменения в хозяйственной деятельности. Экологический показатель характеризует изменение природной среды в целом. Эколого-экономический же показатель оценивает изменения в хозяйственной деятельности в результате антропогенного воздействия или производственной деятельности человека [140].

Показатель экономической эффективности рекультивации нефтезагрязненного участка земли – это отношение полного годового эффекта проведенных природоохранных мероприятий (предотвращенный ущерб) к вызвавшим их затратам [141, 148]:

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{E} = \frac{D + Y_{np}^n}{Z_p} \quad (5.13)$$

Расчет эффективности применяемой технологии произведен в табличной форме. (Таблица 5.1)

Таблица 5.1 – Сводный расчет эффективности использования предлагаемой технологии

Показатели	Единица измерения	Применяемая технология	Предлагаемая технология
затраты на бульдозер-смеситель	руб.		63,3
Затраты на рекультивацию 1 га земли за три года	руб.	584025	500719
Эколого-экономическая эффективность вложения 1 рубля на рекультивацию		1,69	1,78
Продолжительность рекультивации	лет	5	3
Экономическая эффективность от предлагаемой технологии	тыс. руб		95723

Анализ эколого-экономической эффективности рекультивации нефтезагрязненных земель по предлагаемой технологии показал, за 3 года рекультивации загрязненного участка эколого-экономический эффект составил 1,78. Т.е. при рекультивации одного гектара загрязненного нефтью и нефтепродуктами грунта на рубль затрат эколого-экономическая эффективность составляет 1,78.

5.2 Выводы

Установлено, за проведенные периоды рекультивации общая сумма затрат составила 500719 руб. на один гектар. Эколого-экономическая эффективность вложения одного рубля на рекультивацию по предлагаемой технологии 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 мин¹) 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/см³, 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.

Список литературы

1. Абросимов, А. А. Экология переработки углеводородных систем / А. А. Абросимов. – М. : Химия, 2002. – 608 с.
2. Абузова, Ф. Ф. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении / Ф. Ф. Абузова, И. С. Бронштейн, В. Ф. Новоселов. – М. : Недра, 1981. – 248 с.
3. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 279 с. 51
4. Адсорбционно-активные материалы для промышленной экологии / А. П. Зосин [и др.] – Апатиты : Изд. КНЦ РАН, - 1991. – 115 с.
5. Аксютин, Г. М. Виды и характер аварий и повреждений нефтепродуктопроводов / Г. М. Аксютин, А. Г. Гумеров, В. В. Постников // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 1968. – № 2.
6. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. М. : Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 142 с.
7. Аммосова, Я. М. Нефтезагрязненные почвы / Я. М. Аммосова, С. Я. Трофимов, Н. И. Суханова // Агрехимический вестник. – 1999. – № 5. – С. 37–38.
8. Андресон, Р. К. Изучение факторов, влияющих на биоразложение нефти в почве / Р. К. Андресон, Л. А. Пропадушая // Коррозия и защита в нефтегазодобывающей промышленности. – 1979. – №3. – С. 30–32.
9. Аренс, В. Ж. Нефтяные загрязнения : как решить проблему / В. Ж. Аренс, О. М. Гридин, А. Л. Яншин // Экология и промышленность России. –1999, сентябрь. – С. 33–36.
10. Артемьева, Т. И. Влияние загрязнения почвы нефтью и нефтепромысловыми сточными водами на комплексы почвенных животных / Т. И. Артемьева, А. К. Жеребцов, Т. Н. Борисович // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука, 1988. –С. 82–99.

11. Артемьева, Т. И. Комплексы почвенных животных и вопросы рекультивации техногенных территорий / Т. И. Артемьева. – М. : Наука, 1989. — 111 с.
12. Астапов, С. В. Мелиоративное почвоведение : практикум / С. В. Астапов. – М. : Сельхозгиз, 1958. – 369 с.
13. Афанасьев, А. А. Физические основы измерений / А. А. Афанасьев, А. А. Погонин, А. Г. Схиртладзе. – М. : Академия, 2010. – 240 с.
14. Баловнев, В. И. Повышение производительности для машин землеройных работ / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – Киев : Будивэльнык, 1988 – 152 с.
15. Безрук, В. М. Геология и грунтоведение / В. М. Безрук. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра. 1984. – 224С.
16. Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений / О. Н. Логинов [и др.]. – Уфа : Реактив, 2000. – 100 с.
17. Блоков, И. П. Краткий обзор о порывах нефтепроводов и объемах разливов нефти в России [Электронный ресурс] / И. П. Блоков. – 2011. – Режим доступа http://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/Arctic-oil/Oil_spills.pdf
18. Бунчук, В. А. Транспорт и хранение нефти, нефтепродуктов и газа / В. А. Бунчук – М. : Недра, 1977, – 366 с.
19. Бурлак, И. В. Эффективность рекультивации нефтезагрязненных земель в Среднем Поволжье : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 / Бурлак Иван Владимирович. – Саратов, 2008. – 25 с.
20. Вадюнина, А. Ф. Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина – М. : Агропромиздат. 1961. – 346 с.
21. Вальков, В. Ф. Экология почв : учебное пособие для студентов вузов: в 3 ч. / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов н/Д. : УПЛ РГУ, 2004. – Ч. 3 : Загрязнение почв. – 54 с.
22. Вельков, В. В. Биоремедиация; принципы, проблемы, подходы / В. В. Вельков // Биотехнология. – 1995. – № 3-4. – С. 20 – 27.

23. Влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на биологическое состояние чернозема обыкновенного / С. И. Колесников [и др.] // Почвоведение. – 2006. – № 5. – С. 616 – 620.
24. Водянова, М. А. Анализ существующих микробиологических препаратов, используемых для биodeградации нефти в почве / М. А. Водянова, Е. И. Хабарова, Л. Г. Донерьян // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 7. – С. 253 – 258.
25. Войно, Л. И. Биodeградация нефтезагрязнений почв и акваторий / Л. И. Войно // Фундаментальные исследования. — 2006. – №5. – С. 68 – 70.
26. Воробьев, Ю. Л. Предупреждение и ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, Б. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М. : Ин-октаво, 2005. – 368 с.
27. Ворошилова, А. А. Окисляющие нефть бактерии – показатели интенсивности биологического окисления нефти в природных условиях / А. А. Ворошилова, Е. В. Дианова // Микробиология. – 1952. – Т. 21. – Вып. 4. – С. 408 – 415.
28. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. – М. : 1999. – 65 с.
29. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. – М., 1986. – 56 с.
30. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. – М., 1984. – 43 с.
31. Гаврилов, В. П. Происхождение нефти / В. П. Гаврилов. М. : – Наука, 1986.-176 с.
32. Глазковская, М. А. Принципы классификации почв по опасности их загрязнения тяжелыми металлами / М. А. Глазковская // Биологические науки. – 1989. – № 9. – С. 82 – 96.

33. Глазовская, М. А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям / М. А. Глазовская // Почвоведение. – 1999. – № 1. – С. 114 – 124.
34. Глобальный характер угрозы современной деградации почвенного покрова / Г. В. Добровольский и др. // Структурная роль почвы и почвенной биоты в биосфере : сб. ст. – М. : Наука, 2003. – С. 270 – 289.
35. Голованов, А. И. Рекультивация нарушенных земель / А. И. Голованов, Ф. М. Зимин, В. И. Сметанин. – М. : Колос, 2009. – 325 с.
36. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году. – 316 с.
37. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году. – 455 с.
38. Григорьев, А. М. Винтовые конвейеры / А. М. Григорьев – М. : Машиностроение, 1972. – 184 с.
39. Григорьев, А. М. К вопросу определения осевой скорости материальной точки в вертикальном шнеке / А. М. Григорьев, П. А. Преображенский // Изв. вузов. Горная индустрия. 1963. – №8. – С. 69 – 73.
40. Григорьев, А. М. О производительности рабочего аппарата дренажно-винтовой машины / А. М. Григорьев // Торфяная промышленность. – 1948. – № 1. – С. 18 – 20.
41. Гриценко, А. И. Экология. Нефть и газ / А. И. Гриценко, Г. С. Акопов, В. М. Максимов. – М. : Наука, 1997. – 598 с.
42. Груздкова, Р. А. Распределение нефтяного загрязнения в почвах / Р. А. Груздкова, В. А. Сурин // Загрязнение почв и сопредельных сред. – М. : Гидрометеиздат, 1988.
43. Давыдова, С. Л. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде / С. Л. Давыдова, В. И. Тагасов. – М. : Изд-во РУДН, 2004. – 164 с.
44. Давыдова, С. Л. Нефть как топливный ресурс и загрязнитель окружающей среды / С. Л. Давыдова, В. И. Тагасов. — М. : Изд-во РУДН, 2004.

45. Демиденко, А. Я. Изучение питательного режима почв, загрязненных нефтью / А. Я. Демиденко В. М. Демурджан, Л. Д. Шеянова // *Агрохимия*. – 1983. – № 9. – С. 100 – 103.
46. Добровольский, Г. В. Охрана почв / Г. В. Добровольский, Л. А. Гришина. М. : Изд-во МГУ, 1985. – 224 с.
47. Добровольский, Г. В. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв) / Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитин. – М. : Наука, 1990. – 261 с.
48. Добрянский, А. Ф. Анализ нефтяных продуктов / А. Ф. Добрянский. – М. : ГРГТЛ, 1936. – 454 с.
49. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2012 году. – Саратов, 2013 – 218 с.
50. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2010 году. – Саратов, 2011 – 280 стр.
51. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2011 году. – Саратов, 2012 – 236 с.
52. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Колос, 1979. – 416 с.
53. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
54. Ежов, М. Ю. Влияние отработанных буровых растворов на загрязнение почв / М. Ю. Ежов, В. И. Тернелиц, В. Ю. Шеметов. – М. : ВНИИКРнефть, 1986. – Деп. в ВНИИТЭИагропром 1987, № 175.
55. Елин, Е. С. Биогеохимическая трансформация нефти — загрязнителя и болотного биогеоценоза при их взаимодействии / Е. С. Елин // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. – Тюмень : Изд-во ИПОС СО РАН, 2002. – №3. – С. 153 – 156.

56. Забело, Е. Нефть в России стали воровать в промышленных масштабах [Электронный ресурс] \ Е. Забело. – 2013. Режим доступа: <http://top.rbc.ru/economics/28/01/2013/842358.shtml>.

57. Зейферт, Д. В. Характер зависимости между концентрацией нефти в почве и ее токсичностью / Д. В. Зейферт, Л. М. Гамерова // Экологический вестник России. – 2012. – № 12. – С. 16 – 19.

58. Исмаилов, Н. И. Современное состояние методов рекультивации нефтезагрязненных земель / Н. И. Исмаилов, Ю. И. Пиковский // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М. : Наука, 1988. – С. 222 – 236.

59. Использование биосорбента “С-ВЕРАД” для биodeградации нефтезагрязнений при ремедиации нарушенных земель / А. П. Зосин [и др.] // VI междунар. конференция «Экология и развитие северо-запада России» : материалы конф. – СПб., 2001. – С. 88 – 91.

60. Кауричев, И. С. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев. – М. : Колос, 1973. 279 с.

61. Качинский, Н. А. Физика почв. – Ч. 1 / Н. А. Качинский. – М. : Высш. шк., 1965. – 323 с.

62. Киреева, Н. А. Роль микроорганизмов в самоочищении нефтезагрязненных почв / Н. А. Киреева, Ф. Х. Хазиев, Г. Г. Кузяхметов // Микроорганизмы как компонент биогеоценоза. Алма-Ата, 1982.

63. Киреева, Н. А. Биологическая активность нефтезагрязненных почв / Н. А. Киреева, В. В. Водопьянов, А. М. Мифтахова. – Уфа : Гилем, 2001. – 376 с.

64. Киреева, Н. А. Биоиндикация почв в регионах с развитой нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленностью / Н. А. Киреева, Г. Ф. Ямалетдинова // Нефтепереработка и нефтехимия : проблемы и перспективы : Материалы секции Д. III Конгресса нефтегазопромышленников России. – Уфа, 2001. – С. 209 – 211.

65. Киреева, Н. А. Моделирование биodeградации нефти в почве микроорганизмами / Н. А. Киреева, В. В. Водопьянова // II Международная

научная конференция «Современные проблемы загрязнения почв». : сборник материалов. – Т. 2. – М. : Изд-во МГУ, 2007. – С. 78 – 79.

66. Киреева, Н.А. Диагностические критерии самоочищения почв от нефти / Н.А. Киреева, Е.И. Новоселова, Г.Ф. Ямалетдинова // Экология и промышленность России. – 2001. - №12. – С. 34-35.

67. Коронелли, Т. В. Микробиологическая деградация углеводов и ее экологические последствия / Т. В. Коронелли // Биол. науки. – 1982. – № 3. – С. 5 – 13.

68. Кузнецов, А. Е. Прикладная экобиотехнология: Учебное пособие: в 2 т. – Т.1 / А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова, С. В. Лушников //– М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2012. – 629 с.

69. Кузяхметов, Г. Г. Последствие нефтяного загрязнения на комплекс почвенных микроорганизмов / Г. Г. Кузяхметов, Н. А. Киреева // Основные направления биотехнологии в решении народохозяйственных задач : Сб. статей. – Уфа, 1991. – С. 34 – 38.

70. Лазарев, А. П. Детоксикация грунта загрязненного нефтью нефтепродуктами / А. П. Лазарев, В. В.Слюсаренко // Основы рационального природопользования. Материалы IV Междунар. науч. практ. конф., посвящ. 100-летию Саратовского государственного аграрного университета имени Н. И. Вавилова. – Саратов, 2013., 191 – С. –194.

71. Лазарев, А. П. Повышение эффективности рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, с помощью бульдозера-смесителя / А. П. Лазарев // Техногенная и природная безопасность : Материалы II Всерос. науч. практ. конф. – Саратов, 2013. – С. 140–143.

72. Леднев, А. В. Диагностика и классификация почв, нарушенных в результате нефтедобычи / А. В. Леднев, Н. А. Леднев // Вестник Россельхозакадемии – 2008 – № 3. – С. 39–40.

73. Лозановская, И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / И. Н. Лозановская, Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова. – М. : Высш. шк., 1998. – 287 с.

74. Макаров, Ю. И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
75. Мер, И. И. Курсовое и дипломное проектирование по мелиоративным машинам / И. И. Мер, В. Е. Веденяпин, В. В Комиссаров. – М.: Колос, 1978. –175 с.
76. Мер, И. И. Мелиоративные машины / И. И. Мер. – М. : Колос, 1964. – 367 с.
77. Месяц, С. П. Биотехнология утилизации нефтепродуктов в буртах / С. П. Месяц, О. В. Аверина // Антропогенная трансформация природной среды : материалы Междунар. конф. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2010. –Т.3. – С. 361–365.
78. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах. Утв. Минтопэнерго РФ 01.11.95. Согласовано с департаментом Гос. экол. контроля Минприроды РФ.
79. Методика оценки эколого-экономических последствий загрязнения земель нефтью и нефтепродуктами [Электронный ресурс] / В. К Загвоздкин [и др.] // Проблема анализа риска. – 2005. Режим доступа: http://www.dex.ru/riskjournal/2005/2005_2_1/6-28.pdf
80. Методы и средства натуральной тензометрии : Справочник. /Сост. : М. Л. Дайчик, Н. И. Пригоровский, Г. Х. Хуршудов. – М. : Машиностроение, 1989. – 240с
81. Миркин, Б. М. Экология России / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова. М. : Устойчивый мир, 2001. – 272 с.
82. Мутузова Г. В. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия / Г. В. Мутузова, Е. А. Карпова. – М. : Изд-во МГУ, 2013. – 304 с.
83. Назаров, А. В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения [Электронный ресурс] / А.В. Назаров // Вестник Пермского университета. Биология. – 2007. – № 5. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-neftyanogo-zagryazneniya-pochvy-na-rasteniya>

84. Никифорова, Е. М. Геохимическая трансформация пахотных дерново-подзолистых почв под воздействием нефти / Е. М. Никифорова, Н. П. Солнцева, Н. В. Кабанова // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. – М. : Наука, 1987. – С. 241–253.

85. Никольский, Н. И. Физические свойства почвы : Методические указания к полевым и лабораторным практическим занятиям по физике почв. М.: Колос, 1956. – 378 с.

86. Новоселова, Е. И. Экологически безопасный метод ускорения трансформации нефти в почвах / Е. И. Новоселова, Н. А. Киреева // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов : новые методы и технологии исследований. Том IV. Экологическая безопасность. Инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития. – Казань : Отечество, 2009. – С. 189–191.

87. Павлинов, А. П. Расчет мощности на резание грунта шнековыми рабочими органами / А. П. Павлинов // Известия вузов Машиностроение. 1966. № 2. – С.16.

88. Панов, Г. Е., Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности / Г. Е. Панов, Л. Ф. Петрошин, Г. Н. Лысяный. М. : Недра, 1986. – 243 с.

89. Пат. 129528 Российская Федерация, МПК E02A3/76. Бульдозер-смеситель / Слюсаренко В. В., Лазарев А. П., Дружинин А. В., Сержантов В. Г. – №2013100726/03; заяв. 09.01.2013; опубл. 27.06.2013

90. Пат. 1530116 СССР, МКИ А 01 В 79/02. Способ рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтесодержащими продуктами /Литвиненко В. И., Трушин В. Г. № 4391107; заявл 10.03.88; опубл. 23.12.89.

91. Пат. 2019527 Российская Федерация, МПК C02F3/34. Способ очистки почв от нефтяных загрязнений / Ильинский В. В., Комарова Т. И., Аракелян Э. И., Корнелли Т.В. № 93017484/26; заявл. 30.04.1993; опубл. 15.09.1994

92. Пат. 2296016 Российская Федерация, МПК В09С1/08. Способ детоксикации загрязненного грунта / Андронов С. А., Быков В. И., Сержантов В. Г. №2005126354/15; заявл. 19.08.2005; опубл. 27.03.2007

93. Пат. 2401294 Российская Федерация, МПК С09К17/00. Способ детоксикации шламовых осадков нефтехимических производств / Горелов В. В., Басов В. Н. Иларионов С. А и др. № 2008116923/12; заявл. 28.04.2008; опубл. 10.10.2010

94. Пат. 2403103 Российская Федерация, МПК В09С1/10. Способ детоксикации грунта загрязненного нефтепродуктами / Сержантов В. Г., Сержантов В. В., Сержантов Д. В. № 2009100398/21;з 11.01.2009; опубл. 10.11.2010.

95. Пат. 2475314 Российская Федерация, МПК В09С1/10. Способ детоксикации грунта, загрязненного нефтепродуктами / Слюсаренко В. В., Дружинин А. В., Лазарев А. П., Сержантов В. Г. №2011132228/13; заявл. 29.07.2011; опубл. 20.02.2013.

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

97. Пат. 2497609 Российская Федерация, МПК В09С1/08. Способ детоксикации грунта, загрязненного нефтью и нефтепродуктами / Сватовская Л. Б., Шершенева М. В., Савельева М. Ю. №2012121380/13; заявл. 23.05.2012; опубл.10.11.2013

98. Пермитина, В. Н. Трансформация почвенного покрова нефтегазовых месторождений Восточного Прикаспия / В. Н. Пермитина, Л. А. Димеева // Биологическая рекультивация нарушенных земель : Материалы Междунар. совещания. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 616 с.

99. Петров, А. А. Углеводороды нефти / А.А. Петров.- М.: Наука, 1984.-263 с.

100. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде / Ю. И. Пиковский. – М. : Изда-во МГУ, 1993. – 208 с.

101. Пиковский, Ю. И. Геохимическая трансформация дерново-подзолистых почв под влиянием потока нефти / Ю. И. Пиковский, Н. П. Солнцева // Техногенный поток веществ в ландшафтах и состояние экосистем. – М. : Наука, 1981. – С. 13–21.

102. Пискунов, А. С. Методы агрохимических исследований / А. С. Пискунов. – М. : Колос, 2004. – 312 с.

103. Полевой эксперимент по очистке почв от нефтяного загрязнения с использованием углеводородокисляющих микроорганизмов / Д. Г. Сидоров [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 1997. – Т. 33, № 5. – С.497–502.

104. Постановление Правительства Российской Федерации "О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, в том числе через централизованные системы водоотведения, размещение отходов производства и потребления" от 12.06.2003 №344.

105. Постановление Правительства Российской Федерации "Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия" от 28.02.1992 № 632.

106. Постановление Правительства Российской Федерации "Об утверждении Правил возмещения собственникам земельных участков, землепользователям, землевладельцам и арендаторам земельных участков убытков, причиненных изъятием или временным занятием земельных участков, ограничением прав собственников земельных участков, землепользователей, землевладельцев и арендаторов земельных участков либо ухудшением качества земель в результате деятельности других лиц" от 07.05.2003 № 262.

107. Постановление Правительства Российской Федерации "Об утверждении Положения о порядке возмещения убытков собственникам земли,

землевладельцам, землепользователям, арендаторам и потерь сельскохозяйственного производства" от 28.01.1993 № 77.

108. Процессы биодegradации в нефтезагрязненных почвах / А. В. Колесниченко, [и др.] – М. : Промэкобезопасность, 2004. – 194 с.

109. Пустыльник, Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М. : Наука, 1968. – 288 с.

110. Пути совершенствования рекультивации загрязненных нефтью земель / Слюсаренко В.В., [д.р] // Научная жизнь. – 2013. – №5. – С. 38–42.

111. Рагозина, Е. А. Некоторые теоретические аспекты восстановления нефтезагрязненных почвенных экосистем. [Электронный ресурс] / Е. А. Рагозина, В. К. Шиманский // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2007. Т. 2. Режим доступа: <http://www.ngtp.ru/rub/7/012.pdf>

112. Разработка и реализация технологии экологической ремедиации нефтезагрязненных земель / В. Ф. Желтобрюхов [и др.]. // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Естественные науки. 2013. – №2. – С. 39 – 44.

113. Рахимова, Э.Р. Очистка почвы от нефтяного загрязнения с использованием денитрифицирующих углеводородокисляющих микроорганизмов / Э. Р. Рахимова, А. Л. Осипова, С. К. Зарипова // Прикладная биохимия и микробиология. 2004. – Т. 40. – № 6. – С. 649–653.

114. Салангинас, Л. А. Изменение агрохимических и агрофизических характеристик почвы под влиянием нефтяного загрязнения / Л. А. Салангинас // Биологическая рекультивация нарушенных земель : материалы Междунар. совещания. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – С. 410–415с.

115. Салангинас, Л. А. Оценка эффективности применения сидеральных культур в биорекультивации загрязненных нефтью земель в условиях Урала и Западной Сибири / Л. А. Салангинас, А. Н. Сатубалдин, А. В. Белогурова // Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы междунар. совещания — Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – С. 427–434.

116. Салим, К. М. Использование гуминовых препаратов для детоксикации и биодegradации нефтяного загрязнения : автореф. дис. ... канд. тех. наук: 03.00.16 / Салим Кайд Мохамед. – М., 2004. – 30 с.

117. Слюсаренко, В. В. Методические указания для выполнения лабораторных работ по теории резания грунтов / В. В. Слюсаренко, А. В. Русинов, Д. А. Соловьев. – Саратов: Саратовский гос. агр. ун-т им. Н. И. Вавилова, 2002. – 48 с.

118. Слюсаренко, В. В. Новое в рекультивации нефтезагрязненных земель / В. В. Слюсаренко, А. П. Лазарев // Научное обозрение. – 2014. – № 4. – С. 8–10.

119. Слюсаренко, В. В. Повышение эффективности детоксикации загрязненного грунта / В. В. Слюсаренко, А. П. Лазарев // Научное обозрение. – 2013. – № 8. – С. 19–23.

120. Слюсаренко, В. В. Теоретические обоснования режимов работы бульдозера-смесителя / В. В. Слюсаренко, А. П. Лазарев // Научная жизнь. – 2014–№ 4. – С. 10–13.

121. Слюсаренко, В. В. Технология восстановления земель при загрязнении нефтепродуктами / В. В. Слюсаренко, А. П. Лазарев // Научная жизнь – 2013–№ 4. – С. 50–54.

122. Соколов, Л. И. Эколого-экономическая эффективность предприятий : Учебное пособие [Электронный ресурс] / Л. И. Соколов, А. Г. Козлова. – Вологда.: ВоГТУ, 2001. – 60 с. – Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2003_10/art75.pdf

123. Солнцева, Н. П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н. П. Солнцева. – М. : МГУ, 1998. – 376 с.

124. Солнцева, Н. П. Особенности загрязнения почв при нефтедобыче / Н. П. Солнцева, Ю. И. Пиковский // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 380 с.

125. Спиваковский, А. О. Транспортирующие машины / А. О. Спиваковский, В. Н. Дьячков // Учебное пособие для машиностроительных вузов. 3-е изд. – М. : Машиностроение, 1983. – 487 с.

126. Станков, Н. З. Корневая система полевых культур / Н. З. Станков. – М.: Колос, 1964. – 290
127. Ступин, Д. Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления / Д. Ю. Ступин. – СПб. : Лань, 2009. – 432 с.
128. Судо, М. М. Нефть и горючие газы в современном мире / М.М. Судо. – М. : Недра, 1984. – 184 с.
129. Сухова, И. В. Современное состояние органического вещества верховых торфяников Западной Сибири в условиях нефтяного загрязнения / И. В. Сухова, Л. К. Садовникова, С. Я. Трофимов // Сохраним планету Земля: сб. докл. Междунар. экологического форума. – СПб. : Центральный музей почвоведения им. В. В. Докучаева, 2004. – С. 188–191.
130. Технологии восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами : Справочник. – М. : РЭФИА, НИА-Природа, 2003. – 258 с.
131. Технология очистки различных сред и поверхностей, загрязненных углеводородами. ВРД 39-1.13-056-2002
132. Фердман, В. М. Комплексная технология утилизации промышленных нефтешламмов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Фердман В. М. 1. – Уфа, 2002. – 23 с.
133. Физико-химические характеристики окружающей среды при техногенных катастрофах / Г. П. Лапина и др. // Химическая и биологическая безопасность. 2007. – № 1. – С. 24–32.
134. Флоровская В. Н. Углеродистые вещества в природных процессах / В. Н. Флоровская. – М. : ГЕОС, 2003 – 228 с.
135. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс. М. : Мир, 1967. – 406 с.
136. Хлесткин, Р. Н. Ликвидация разливов нефти при помощи синтетических органических сорбентов / Р. Н. Хлесткин, Н. А. Самойлов, А. В. Шеметов // Нефтяное хозяйство. – 1999. – № 2. – С. 46.
137. Хмара Л. А. Тенденции совершенствования специализированного землеройного оборудования к тракторам и экскаваторам // Интенсификация

рабочих процессов строительных и дорожных машин : Сб. науч. тр. – Днепропетровск : ПГАСиА, 2002. – № 15 – С. 4–27.

138. Хмара, Л. А. Отвал бульдозера с винтошнековым интенсификатором / Л. А. Хмара, Р. Н. Кроль // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 9. – С. 30–33.

139. Холоденко, В. П. Разработка биотехнологических методов ликвидации нефтяных загрязнений окружающей среды / В. П. Холоденко, В. А. Чугунов, С. К. Жиглецова, // Российский химический журнал. – 2001. – Т. XLV, № 5–6. – С. 135–141.

140. Чаповский, Е. Г., Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. / Е. Г. Чаповский. – М. : Недра. 1975. – 304 с.

141. Чогут, Г. И. Определение эколого-экономической эффективности использования сельскохозяйственных земель [Электронный ресурс] / Г. И. Чогут // Серия: Экономика и управление. Вестник ВГУ. – 2005. – № 2. – Режим доступа <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/econ/2005/02/chogut.pdf>

142. Чурсин, В. Ф. Аварийные разливы нефти: средства локализации и методы ликвидации / В. Ф. Чурсин, С. В. Горбунов, Т. В. Федотова // Каталог Пожарная безопасность. 2004. – С. 254–258.

143. Шамраев, А. В. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды / А. В. Шамраев, Т. С. Шорина // Вестн. Оренб. гос. ун-та. 2009. № 6. С. 642–645

144. Штуков, Н. К. Влияние конструктивных и режимных параметров на осевую скорость транспортируемого материала в вертикальных шнеках / Н. К. Штуков, А. М. Григорьев, М. К. Бардаченко // Изв. Вузов. Горный журнал. – 1968. – № 1. – С. 47–60.

145. Штуков, Н. К. Картина распределения осевых скоростей материальной точки (частицы) в пределах окружности в транспортирующих шнеках / Н. К. Штуков, А. М. Григорьев. // Изв. вузов. Горный журнал. – 1967, – №12. С. 20-37.

146. Шумилова, И. Б. Возможные пути борьбы с последствиями разливов нефтепродуктов / И. Б. Шумилова, Н. Г. Максимович, С. М. Блинов, Л. Н. Кузнецов // Геология, разработка, бурение и эксплуатация нефтяных месторождений Пермского Прикамья.: сб. науч. тр. Вып. 2. – Пермь, 1999. – С. 240–249.

147. Ягафарова, Г. Г. Биоремедиация нефтезагрязненной почвы / Г. Г. Ягафарова, Е. В. Ильина, В. Б. Баракшина // Нефтепереработка и нефтехимия проблемы и перспективы : Материалы секции Д. III Конгресса нефтегазопромышленников России. – Уфа, 2001. – С. 207–208.

148. Beastail S. Microbial aspects of the breakdown of crude oil in the environment / S. Beastail, D.E. Hughes // J. Appl. Chem. And Biotechnol. 1972. - V. 22. - № 7. - P. 877-878.

149. Blair, J. Effect of naftaline on microbial activity and nitrogen pools in soil litter microsoms / J. Blair, D.A. Crossby, S. Rider // Soil. Biol. And Biochem. - 1989.-V. 21. -№4.-P. 507-510.

150. Blankenship, D. W. Plant growth inhibition by the water extract of a crude oil / D. W. Blankenship, R. A. Larson // Water, Air and Soil Pollut. 1978. -Vol. 10.-№4.-P. 471-472.

151. Dominguez-Rosado, E. Phytoremediation of Soil Contaminated with Used Motor Oil: Enhanced Microbial Activities from Laboratory and Growth Chamber Studies / E. Dominguez-Rosado, J. Pichtel, M. Coughlin // Environmental Engineering Science. – 2004. – Vol. 21, № 2. – P. 157-168.

152. Evdokimova, G.A., Complexes of potentially pathogenic microscopic fungi in anthropogenic polluted soils / G.A. Evdokimova, M.V. Korneykova, E.V. Lebedeva. // Environmental science and health. Part A. – 2013. – Vol. 48. – P.746-752.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Приложение А

Принятие решения после построения модели процесса

Для того что бы привести уравнение регрессии к виду с натуральными значениями факторов используем формулу кодирования, путем подставления в уравнение регрессии вместо кодовых натуральные значения факторов.

$$x_1 = \frac{n-300}{100}, \text{ МИН}^{-1}$$

$$x_2 = \frac{t-70}{10}, \text{ ММ}$$

$$x_3 = \frac{h-55}{10}, \text{ ММ}$$

$$b_1x_1 = -10,67 \left(\frac{n-300}{100} \right) = -0,107n + 32,01$$

$$b_2x_2 = 0,05 \left(\frac{t-70}{10} \right) = 0,005t - 0,35$$

$$b_3x_3 = 3,17 \left(\frac{h-55}{10} \right) = 0,317h - 17,43$$

$$b_{1,2}x_1x_2 = -0,6 \left(\frac{n-300}{100} \right) \left(\frac{t-70}{10} \right) = -0,0006nt + 0,042n + 0,18t - 12,6$$

$$b_{1,3}x_1x_3 = 1,90 \left(\frac{n-300}{100} \right) \left(\frac{h-55}{10} \right) = 0,0019nh - 0,104n - 0,57h + 31,35$$

$$b_{2,3}x_2x_3 = -0,14 \left(\frac{t-70}{10} \right) \left(\frac{h-55}{10} \right) = -0,0014th + 0,077t + 0,098h - 5,39$$

Подставим в уравнение (4.4)

$$Y = 38,99 - 0,107n + 32,01 + 0,005t - 0,35 + 0,317h - 17,43 - 0,0006nt + 0,042n + 0,18t - 12,6 + 0,0019nh - 0,104n - 0,57h + 31,35 - 0,0014th + 0,077t + 0,098h - 5,39$$

Уравнение в натуральной форме:

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

Проверка:

Подставим значения из №8 опыта матрицы

$$Y = 66,58 - 0,169 \cdot 400 + 0,262 \cdot 80 - 0,155 \cdot 45 - 0,0006 \cdot 400 \cdot 80 + 0,0019 \cdot 400 \cdot 45 - 0,0014 \cdot 80 \cdot 45 = 23,4$$

Отклонение составило: $25 - 23,4 = 1,6$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Приложение Б

Таблица 1 – Значение плотности нефтезагрязненной почвы, г/см³

Варианты	Год	Слои почвы, см		
		0-10	10-20	20-30
Не загрязненный участок (фон)	2011	0,99	1,05	1,08
	2012	1,14	1,06	1,12
	2013	1,15	1,04	1,10
Среднее значение		1,09	1,05	1,10
Загрязненный участок	2011	1,25	1,29	1,25
	2012	1,34	1,32	1,27
	2013	1,29	1,30	1,27
Среднее значение		1,29	1,30	1,26

Таблица 2 – Влияние нефтезагрязнения на структуру почвы в слое 0-30 см

Варианты	период	Размеры структурных агрегатов, мм			Коэффициент структурности
		>10	10-0,25	<0,25	
Не загрязненный (фон)	2011	20,3	72,2	7,5	1.73
	2012	22,9	69,9	7,2	1.61
	2013	21,8	71,3	6,9	1.68
Загрязненный участок	2011	63,7	35,2	1,1	0,53
	2012	69,2	30,1	0,6	0,61
	2013	75,1	24,8	0.1	0,69

П Р И Л О Ж Е Н И Е В
ПАТЕНТЫ И АКТЫ
ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2475314

СПОСОБ ДЕТОКСИКАЦИИ ГРУНТА, ЗАГРЯЗНЕННОГО
НЕФТЕПРОДУКТАМИПатентообладатель(ли): *Слюсаренко Владимир Васильевич (RU)*Автор(ы): *Слюсаренко Владимир Васильевич (RU), Дружинин Александр Викторович (RU), Спевак Николай Владимирович (RU), Сержантов Виктор Геннадиевич (RU), Лазарев Александр Петрович (RU)*

Заявка № 2011132228

Приоритет изобретения 29 июля 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 февраля 2013 г.

Срок действия патента истекает 29 июля 2031 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**2475314** (13) **C1**(51) МПК
B09C1/10 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: по данным на 27.08.2014 - действует
Пошлина: учтена за 4 год с 30.07.2014 по 29.07.2015

(21), (22) Заявка: **2011132228/13**, **29.07.2011**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.07.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **29.07.2011**(45) Опубликовано: [20.02.2013](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2403103 C2**, **10.11.2010**. **UA 80075 C2**,
10.08.2007. **RU 2288044 C1**, **27.11.2006**. **JP 2005146275**
A, **09.06.2005**. **CN 101104177 A**, **16.01.2008**.

Адрес для переписки:

410049, г.Саратов, ул. Барнаульская, 32, кв.25, О.Н.
Анфиногеновой

(72) Автор(ы):

Слюсаренко Владимир Васильевич (RU),
Дружинин Александр Викторович (RU),
Спевак Николай Владимирович (RU),
Сержантов Виктор Геннадиевич (RU),
Лазарев Александр Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Слюсаренко Владимир Васильевич (RU)

(54) СПОСОБ ДЕТОКСИКАЦИИ ГРУНТА, ЗАГРЯЗНЕННОГО НЕФТЕПРОДУКТАМИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству. Предложенный способ включает внесение в грунт природного сорбента с биопрепаратом до достижения заданной концентрации загрязняющего вещества в грунте, причем в качестве сорбента используют глауконит, а в качестве биопрепарата - поликультуру. Перед внесением в грунт сорбента с биопрепаратом производят замеры концентрации загрязняющего вещества и определяют массу сорбента. После измерения концентрации загрязняющего вещества в грунте, на границе проникновения загрязнения в грунт, в нижней части загрязненного слоя, помещают экранирующую прослойку из биогауса. Увлажнение загрязненного грунта производят после распределения массы сорбента с биопрепаратом по поверхности загрязненного грунта с одновременным перемешиванием. Причем концентрацию загрязняющего вещества определяют послойно, а количество слоев загрязненной почвы с концентрацией загрязнения слоя не менее чем вдвое различной друг от друга делают не менее двух. Способ позволяет производить эффективную очистку грунта, загрязненного нефтепродуктами. 2 пр.

Изобретение относится к очистке окружающей среды, в частности грунтов, загрязненных различными органическими загрязнителями (например, нефтепродуктами), и может использоваться для детоксикации различных типов грунтов с различной концентрацией загрязнений.

Известен способ обработки почвы, включающий внесение навоза с последующей вспашкой, заключающийся в том, что один раз в 7-10 лет в нижней части пахотного слоя создают экранирующую прослойку толщиной до 10 см из бентонитовых или бентонитоподобных глин, причем внесение навоза осуществляется в поверхностный слой почвы совместно с глауконитом (см. авторское свидетельство СССР на изобретение № 1794342, МПК А01В 79/02, опубл. 15.02.1993 г.). В данном способе для очистки загрязненных почв от вредных химических веществ рекомендуется вносить глауконит в количестве 0,5 т/га. Использование глауконита совместно с навозом способствует задержке разложения последнего и обогащению почвы азотом. Сам навоз, в свою очередь, ускоряет разложение глауконита, который адсорбирует из окружающей среды вредные вещества, главным образом гербициды, пестициды и радиоактивные изотопы некоторых элементов, а также тяжелые металлы. Навоз при этом вносится в больших количествах, что экономически не выгодно и вредно сказывается на растениях, где его переизбыток угнетающе действует на растения. Различная степень загрязнения участков почвы не дает рационального распределения навоза и глауконита, это приводит к необоснованному их расходу.

Известен также консорциум штаммов микроорганизмов-деструкторов: *Alcaligenes denitrificans*, *Bacillus species*, *Pseudomonas putida*, *Aeromonas species*, предназначенный для очистки почв, почвогрунтов, вод от нефти, нефтепродуктов и остаточной замазученности (см. патент РФ на изобретение № 2115629, МПК С02А 03/04, В09С 01/10, С12Н 1/26, С12R 01:01, С12R 01:05, С12R 01:07, С12R 01:40, опубл. 20.07.1998 г.). Предложенный консорциум штаммов микроорганизмов-деструкторов обладает низкой способностью разложения, а при высокой концентрации загрязняющих нефтепродуктов период их разложения на воду и двуокись углерода будет длительным, а в случае понижения температуры они могут значительно замедлить работоспособность или погибнуть.

Известен способ сорбционного извлечения тория из грунта, природных и технологических вод, заключающийся в том, что извлечение тория ведут с помощью пористого композиционного материала, содержащего вермикулит, активированный уголь, глауконит, декстрин при равном соотношении компонентов (см. патент РФ на изобретение № 2166216, МПК G21F 09/12, опубл. 27.04.2001 г.).

Известен способ сорбционного извлечения тория из грунта и природных и технологических вод, заключающийся в том, что извлечение тория ведут с помощью пористого композиционного материала, включающего вермикулит, активированный уголь, глауконит, декотрин, кроме того, содержит порошок перлитовый фильтровальный при равном соотношении компонентов (см. патент РФ на изобретение № 2212068, МПК G21F 09/12, опубл. 10.09.2003 г.).

Общими недостатками данных способов является отсутствие необходимого количества сорбента для приведения концентрации загрязняющих веществ до уровня требуемой установленной нормативами ПДК, что позволяет экономически целесообразно расходовать используемый сорбент по назначению.

Известен также консорциум штаммов микроорганизмов-деструкторов: *Alcaligenes denitrificans*, *Bacillus Species*, *Pseudomonas*, *Aeromonas species*, предназначенный для очистки почв, почвогрунтов, вод от нефти, нефтепродуктов и остаточной замазученности. Окислительная особенность консорциума (природных ассоциаций нефтеокисляющих микроорганизмов) составляет 1981 мг CO₂ за 30 сут. Консорциум штаммов микроорганизмов способен расти на обедненной питательной среде, с высокой скоростью окислять нефть и нефтепродукты, что позволяет использовать его при биологической очистке почв, почвогрунтов и вод, загрязненных нефтью, нефтепродуктами и остаточной замазученностью (см. патент РФ на изобретение № 2115629, МПК С02А 03/34, В09С 01/10, С12Н 01/20, С12Н 01/26, С12R 01:01, С12R 01:05, С12R 01:07, С12R 01:40 опубл. 20.07.1998 г.)

Известный консорциум штаммов микроорганизмов-деструкторов имеет довольно низкую производительность при разложении нефтепродуктов на воду и двуокись углерода, кроме того, при возможном понижении температуры окружающей среды они могут замедлить работоспособность или даже погибнуть.

Известен способ детоксикации загрязненного грунта путем внесения в него природного сорбента для достижения заданной концентрации загрязняющего вещества в грунте, при этом в качестве сорбента используют глауконитсодержащее вещество (см. патент РФ на изобретение № 2296016, МПК В09С 01/08, G21F 09/28 опубл. 27.03.2005 г.).

Перед внесением сорбента в грунт предварительно определяют тип загрязняющего вещества и его концентрацию K₀ в пробе загрязненного грунта, затем производят замеры концентраций K₁, K₂, K₃ и K₄ загрязняющего вещества при смешении проб загрязненного грунта с сорбентом соответственно в пропорциях грунт:сорбент - 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, после чего определяют m_c массу сорбента, необходимого для смешения с грунтом, загрязненным определенным ранее загрязняющим веществом с концентрацией K₀, и достижения в грунте заданной концентрации загрязняющего вещества K₃, исходя из следующего соотношения:

$$m_c = m_{пр} \cdot K_0 / [K_2(K_0/K_1 + K_1/K_2 + K_2/K_3 + K_3/K_4) / 4],$$

где $m_{гр}$ - масса грунта, загрязненного определенным ранее загрязняющим веществом с концентрацией K_0 , проводят увлажнение загрязненного грунта, затем распределяют рассчитанную массу сорбента по поверхности загрязненного грунта с одновременным перемешиванием сорбента с загрязненным грунтом. Увлажнение загрязненного грунта производят до достижения им влажности не менее 80%. Перед внесением в грунт сорбента путем исследования проб поверхности загрязненного грунта на содержание загрязняющего вещества определяют участки с различными концентрациями загрязняющего вещества, превышающими заданную концентрацию. Перед обработкой загрязненного грунта проводят измельчение сорбента с последующим выделением рабочей фракции размером частиц 0,01-0,1 мм. Обработку загрязненного грунта сорбентом ведут при положительной температуре окружающей среды. Недостатком известного способа является то, что при детоксикации 1 т загрязненного грунта с концентрацией загрязняющих веществ 100000 мг/кг требуется 1788 кг сорбента. Это приводит к значительным расходам сорбента, а также к дополнительным расходам на его транспортировку, что делает процесс детоксикации грунта малозффективным.

Наиболее близким техническим решением является способ детоксикации грунта загрязненного нефтепродуктами, путем внесения природного сорбента для достижения заданной концентрации загрязняющего вещества в грунте, причем перед внесением в грунт сорбента производят замеры концентраций загрязняющего вещества при смешивании проб загрязненного грунта с сорбентом, после чего определяют массу сорбента, необходимого для смешивания с грунтом, проводят увлажнение загрязненного грунта, затем распределяют рассчитанную массу сорбента по поверхности загрязненного грунта, при этом в качестве сорбента используют глауконит, отличающийся тем, что в сорбент дополнительно вводят биопрепарат, в качестве которого используют при температуре свыше 15°C культуры углеводородокисляющих бактерий (см. патент РФ на изобретение № 2403103, МПК В09С 1/10, В09С 1/08, опубл. 10.11.2010 г.).

Недостатками известного способа детоксикации грунта, загрязненного нефтепродуктами, является то, что перед внесением сорбента поверхность загрязненного участка грунта увлажняется, что в дальнейшем ухудшает процесс перемешивания загрязненного грунта с биоактивированным сорбентом, что значительно снижает равномерность распределения сорбента в почве и отрицательно влияет на процесс разложения загрязняющих нефтепродуктов. Кроме того, использование биоактивированного сорбента-глауконита, культуры углеводородокисляющих микроорганизмов и ассоциации почвенных нефтеокисляющих микроорганизмов при температуре грунта выше 5°C и мицелиальных грибов ниже 15°C не позволит их использовать за пределами указанных температур. Кроме того, определение необходимой массы смеси сорбента с биопрепаратом из соотношения

$$m_c = m_{гр} \cdot K_1 / K_{зад},$$

позволяет определить массу грунта лишь приблизительно, что не дает с достаточной точностью определить потребную массу сорбента.

Технической задачей изобретения является создание более простого и эффективного способа детоксикации грунта, загрязненного нефтепродуктами, обеспечивающего снижение времени детоксикации, расхода сорбента, в результате которого достигается заданная остаточная концентрация загрязняющих веществ, позволяющая экономить материальные и сырьевые ресурсы.

Предлагаемый способ детоксикации грунта, загрязненного нефтепродуктами, решается в способе детоксикации грунта, загрязненного нефтепродуктами, включающем внесение в него природного сорбента с биопрепаратом до достижения заданной концентрации загрязняющего вещества в грунте, причем в качестве сорбента используют глауконит, а в качестве биопрепарата - поликультуру, перед внесением в грунт сорбента с биопрепаратом производят замеры концентрации загрязняющего вещества, определяют массу сорбента, отличающемся тем, что после измерения концентрации загрязняющегося вещества в грунте, на границе проникновения загрязнения в грунт в нижней части загрязненного слоя помещают экранирующую прослойку из биогумуса, увлажнение загрязненного грунта производят после распределения массы сорбента с биопрепаратом, эффективными микроорганизмами и ферментированным компостом по поверхности загрязненного грунта с одновременным перемешиванием, причем концентрацию загрязняющего вещества определяют послойно, а количество слоев загрязненной почвы с концентрацией загрязнения слоя не менее чем вдвое различной друг от друга делают не менее двух, при этом необходимый объем смеси сорбента, биопрепарата, эффективных микроорганизмов и ферментированного компоста определяется

$$V_c = V_{гр} \cdot \frac{K_1}{K_{зад}},$$

где $V_{гр}$ - объем грунта, м³;

K_1 - среднеарифметическое значение остаточной концентрация (мг/м³) нефтепродуктов в пробах смеси;

$K_{зад}$ - заданная концентрация (мг/м³) достижения остаточного загрязнения грунта нефтепродуктами.

Благодаря тому, что биогумус образуется в результате естественного пищеварительного процесса дождевого червя, в нем содержится значительное количество биологически активных веществ, обладает высокой влагоемкостью, влагостойкостью, способен удерживать до 70% воды. Ценность биогумуса определяется большим количеством микроорганизмов. Высокое содержание ферментов способствует процессам регенерации почв, загрязненных

химическими веществами. Богатая микрофлора биогумуса образует насыщенную среду метаболитов, к ним относятся: антибиотики, ферменты, витамины, аминокислоты, имеет постоянный показатель рН=6,5-7,0, коэффициент его гумификации 15-25%. Биологическая активность биогумуса обеспечивается в течение 3-х лет с момента внесения в почву.

Внесение созревшего компоста в верхний загрязненный слой позволит уменьшить концентрацию загрязненного грунта нефтепродуктами, улучшить его пористость и способность к поглощению влаги на большую глубину. Эффективные микроорганизмы (ЭМ-препарат), созданный по специальной технологии - концентрат 80-ти видов микроорганизмов, противоположенных по способу обмена веществ и способу существования, классифицируется на группы: бактерии фотосинтеза, молочнокислые, дрожжевые и клеточные. Эффективные микробы обеззараживают такие яды, как диоксид углерода, аммоний, метан, сероводород, питаясь этими веществами. Этим достигается эффект очищения загрязнений органического происхождения. Молочнокислые бактерии, входящие в состав концентрата ЭМ, производят физиологические активные вещества и молочную кислоту, которая улучшает процесс разложения целлюлозы. Молочная кислота облегчает всасывание воды и других физиологически активных веществ, исключая подсыхание грунта. При низких температурах грунта микроорганизмы своей активной деятельностью поддерживают температуру на 2-5°С выше и обладают удивительной способностью приспосабливаться к среде, в которой они обитают. Закаленные низкой температурой, приспособленные к конкретной среде, они проявляют большую активность, чем другие микроорганизмы. Эффективные микроорганизмы восстанавливают гумус, рыхлят почву, накапливают азот, калий, фосфор и полезные микроэлементы. Улучшая тем самым структуру глауконита, за счет которого происходит сорбция нефтепродуктов, увеличивая биорегенерацию глауконита, который может более эффективно сорбировать нефтепродукты. Такой механизм многократной регенерации позволяет очищать нефтезагрязнения в быстрые сроки. Сам компост, в свою очередь, ускоряет разложение глауконита, который адсорбирует из загрязненного грунта вредные вещества и тяжелые металлы.

Технологический процесс детоксикации грунта, загрязненного нефтепродуктами, осуществляется следующим образом.

Вначале замеряют концентрацию загрязняющего вещества в грунте, вывезенном на площадку депонированного хранения загрязненного грунта, затем создается экранирующая прослойка из биогумуса, далее на экранирующую прослойку укладывается масса, полученная следующим образом: на поверхность площадки укладывается слой смеси компоста, сорбента, биопрепаратов и ЭМ-препарата толщиной 8-10 см, затем на его поверхность укладывают слой грунта, загрязненного нефтепродуктами, толщиной не более толщины слоя смеси, но и не менее его половины толщины, затем слой смеси толщиной 8-10 см, затем слой загрязненного грунта и так далее, при этом верхним слоем должен быть слой смеси сорбента, компоста, биопрепаратов и ЭМ-препарата, а общее количество слоев не должно быть меньше трех, затем слои перемешиваются смесителем непрерывного действия. Затем производится увлажнение загрязненного грунта. Необходимый и достаточный расход смеси на 1 м³ определяется из соотношения

$$V_c = V_{гр} \cdot k_1 / K_{зад}$$

где $V_{гр}$ - объем грунта, м³;

k_1 - среднеарифметическое значение остаточной концентрации (мг/м³) нефтепродуктов в смеси грунта, компоста, биопрепарата и сорбента, ЭМ-препарата;

$K_{зад}$ - заданная концентрация (мг/м³) достижения остаточного загрязнения грунта нефтепродуктами.

Для определения k_1 значения остаточной концентрации измеряется не менее чем из трех слоев по истечению 5-7 суток после смешения грунта, компоста, биопрепарата и сорбента, ЭМ-препарата.

При этом объем грунта в слоях остается неизменным, объем компоста, биопрепарата и ЭМ-препарата в последующем слое не меньше чем в предыдущем, а объем сорбента в каждом слое отличается друг от друга не менее чем на 10%.

Если грунт загрязнен на глубину более чем определенную по формуле

$$h_{загр} = \frac{2 \cdot h_{укл}}{K_{разр}}$$

$$h_{загр} = \frac{2 \cdot (10 \dots 8 \text{ см})}{K_{разр}}$$

пример

$K_{разр} = 1,04 \dots 1,3$ - коэффициент разрыхления загрязненного грунта,

и концентрация загрязнений по слоям различается, тогда необходимо снять верхний слой на глубину, не превышающую толщину укладываемого слоя с учетом разрыхления грунта, но не более 10 см.

Биодеструкция связанных углеводородов осуществляется естественным путем за счет жизнедеятельности содержащегося в сорбенте биопрепарата, включающего культуры углеводородоокисляющих микроорганизмов и

ассоциацию почвенных нефтеокисляющих бактерий, мицелиальные грибы, при этом сорбент становится естественным органическим удобрением. При температуре грунта выше +15°C используются культуры углеводородоокисляющих микроорганизмов и ассоциация почвенных нефтеокисляющих бактерий подобранных биопрепаратов, в зависимости от состава нефтепродуктов, загрязняющих грунт. При температуре грунта от +15°C и ниже используются мицелиальные грибы, например *Penicillium*, *Trichoderma*, *Sclerotinia* - мицелиальные грибы, разрушающие нефтепродукты, которые прекращают работу при отрицательных температурах и возобновляют свою работу при установлении стабильных положительных температур грунта выше 0°C.

Биоактивированный сорбент ускоряет биохимическую деструкцию нефтепродуктов и обеспечивает как очистку почвы, донных отложений, так и объекта в целом.

Эффективность биоактивированного сорбента намного выше, чем простого глауконита, за счет повышения качества очистки загрязненных грунтов нефтепродуктами.

Биоактивированный сорбент состоит из глауконита и дополнительно содержащегося в нем биопрепарата. Биопрепарат является поликультурой, имеющей в своем составе один или несколько видов микроорганизмов. Так как каждый вид микроорганизмов проявляет наибольшую активность для отдельных фракций нефти, то при использовании достигается наибольшая эффективность потому, что обрабатываются несколько фракций нефтепродуктов сразу с равномерной скоростью.

Культуры углеводородоокисляющих микроорганизмов и ассоциация почвенных нефтеокисляющих бактерий могут работать только при положительных температурах не ниже +15°C, при понижении температуры ниже +15°C их производительность резко снижается и они погибают. Мицелиальные грибы могут работать при низких температурах (ниже +15°C), а при температурах ниже +5°C грибные споры не погибают, а впадают в спячку до весны. Благодаря высокой устойчивости мицелиальных грибов к экстремальным факторам, исходная активность восстанавливается после зимнего периода через 2-3 недели при положительной температуре, они продолжают разрушать нефтепродукты дальше, без постороннего вмешательства, т.е. грибы «страхуют» микроорганизмы и бактерии, и когда заканчивается питательная среда (т.е. нефтепродукты), споры грибов впадают в спячку. Если в этом месте опять будет разлив нефтепродуктов, то сорбент, биодеструктурированный биопрепаратом, снизит концентрацию нефтепродуктов, и споры грибов опять начнут работать, то есть будет пролонгированное действие сорбента и спор грибов.

Используемые биопрепараты могут подбираться в соответствии с условиями для решения различных задач использования и обладать различными характеристиками по:

- маловосприимчивости к резким колебаниям температуры;
- активности при значительном химическом загрязнении среды;
- адаптированности к средам с повышенной соленостью;
- работать непосредственно в толще нефти и/или нефтепродуктов.

Эффективность использования биопрепаратов: биопрепараты должны быть способными очищать воду, содержащую более 25% нефти и почву с загрязненностью выше 250 кг/м. В воде эффективность обработки должна достигать 95%, в почве 99%.

Совместное использование консорциума штаммов микроорганизмов-деструкторов и глауконита позволит создать для консорциума штаммов микроорганизмов-деструкторов благоприятную (комфортную) среду обитания как вокруг глауконита, так и внутри, так как наличие калия, влаги, кислорода и сорбированных нефтепродуктов в глауконите будет являться необходимой подкормкой для интенсификации развития штаммов микроорганизмов, которые, в свою очередь, будут интенсивнее работать, значительно уменьшая время разложения нефтепродуктов. Механизм многократной биорегенерации позволяет очищать нефтезагрязнения в короткие сроки и до нуля. Отмершие после обработки объекта штаммы микроорганизмов переходят в гумус обработанной почвы, а глауконит при этом становится естественным удобрением.

Предложенный способ детоксикации загрязненного грунта иллюстрируется следующими примерами.

Пример 1. Детоксикация грунта, загрязненного нефтепродуктами. Была определена площадь загрязненного участка, равная 150 м², глубина проникновения нефтепродуктов, определенная бурением, составила 0,2 м.

Объем грунта, загрязненного нефтепродуктами, составил 30 м³ каждом слое (плотность грунта определяется отдельно).

При температуре почвы +20°C применялся биопрепарат, включающий культуры углеводородоокисляющих микроорганизмов и ассоциации почвенных нефтеокисляющих бактерий.

Были проведены замеры остаточных концентраций нефтепродуктов и рассчитано среднеарифметическое значение остаточной концентрации (мг/м³) нефтепродуктов в грунте К₁, измеренной через 5 суток после увлажнения загрязненного грунта со смесью биопрепарата, сорбента, компоста и ЭМ-препарата. При этом были получены следующие результаты измерений трех соотношений:

1) $8,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ грунта: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ биопрепарата: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ ЭМ-препарата: $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ сорбента: $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ биогумуса = $15 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$;

2) $8,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ грунта: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ биопрепарата: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ ЭМ-препарата: $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ сорбента: $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ биогумуса = $11 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$;

3) $8,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ грунта: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ биопрепарата: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ ЭМ-препарата: $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ сорбента: $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ биогумуса = $6 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$.

Среднеарифметическое значение остаточной концентрации (мг/м^3) нефтепродуктов в грунте $K_1 = (15 \cdot 10^{-2} + 11 \cdot 10^{-2} + 6 \cdot 10^{-2}) / 3 = 11 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$.

Заданная концентрация (мг/м^3) достижения остаточного загрязнения грунта нефтепродуктами $K_{\text{зад}} = 0,83 \text{ мг/м}^3$.

Используя предложенное соотношение $V_c = V_{\text{гр}} K_1 / K_{\text{зад}}$ было получено следующее $V_c = 30 \cdot 11 \cdot 10^{-2} / 0,83 = 3,9 \text{ м}^3$.

Таким образом, на 30 м^3 грунта, загрязненного нефтепродуктами, необходимо $3,9 \text{ м}^3$ смеси глауконита, компоста, ЭМ-препарата и биопрепарата.

Была приготовлена смесь необходимой массы из глауконита, биопрепарата, компоста, ЭМ-препарата. При этом масса биопрепарата составила $3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ и определялась следующим образом: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ биопрепарата, используемого при получении значения K_1 , в соотношении масса грунта к массе биопрепарата составляла $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$; $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$.

Затем было проведено увлажнение загрязненного грунта и распределение рассчитанной массы сорбента с биопрепаратом, компостом, ЭМ-препаратом по поверхности загрязненного грунта с одновременным перемешиванием с загрязненным грунтом.

По истечении 12 суток после внесения в грунт смеси глауконита, биопрепарата, компоста, ЭМ-препарата измерение остаточной концентрации очищенного грунта показало ее значение $81 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$.

Пример 2. Детоксикация грунта, загрязненного нефтепродуктами.

Была определена площадь загрязненного участка, равная 150 м^2 , глубина проникновения нефтепродуктов $0,2 \text{ м}$. Объем грунта, загрязненного нефтепродуктами, составил 30 м^3 .

При температуре почвы $+12^\circ\text{C}$ применялся биопрепарат, включающий мицелиальные грибы, т.е. *Penicillium*, *Trichoderma*, *Candida* (мицелиальные грибы, разрушающие нефтепродукты).

Были проведены замеры остаточных концентраций нефтепродуктов и рассчитано среднеарифметическое значение остаточной концентрации (мг/м^3) нефтепродуктов в грунте K_1 , измеренной через 5 суток после увлажнения загрязненного грунта со смесью биопрепарата, сорбента компоста, ЭМ-препарата. Были получены следующие результаты измерений трех соотношений:

1) $8,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ грунта: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ биопрепарата: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ ЭМ-препарата: $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ сорбента: $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ биогумуса = $20 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$;

2) $8,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ грунта: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ биопрепарата: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ ЭМ-препарата: $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ сорбента: $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ биогумуса = $15 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$;

3) $8,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ грунта: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ биопрепарата: $8,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ ЭМ-препарата: $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ сорбента: $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ биогумуса = $11 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$.

Среднеарифметическое значение остаточной концентрации (мг/м^3) нефтепродуктов в грунте $K = (20 \cdot 10^{-2} + 15 \cdot 10^{-2} + 11 \cdot 10^{-2}) / 3 = 15 \cdot 10^{-2} \text{ мг/м}^3$.

Заданная концентрация (мг/м^3) достижения остаточного загрязнения грунта нефтепродуктами $K_{\text{зад}} = 0,83 \text{ мг/м}^3$.

Используя предложенное соотношение $V_c = V_{\text{гр}} K_1 / K_{\text{зад}}$, было получено следующее $V_c = 30 \cdot 15 \cdot 10^{-2} / 0,83 = 5,4 \text{ м}^3$.

Таким образом, на 30 м^3 грунта, загрязненного нефтепродуктами, необходимо смеси $5,4 \text{ м}^3$ сорбента, $2,67 \text{ м}^3$ биогумуса, $3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ биопрепарата, $3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ ЭМ-препарата.

Была изготовлена смесь необходимой массы из глауконита и биопрепарата. При этом масса биопрепарата также составляла $3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

Затем было проведено увлажнение загрязненного грунта и распределение рассчитанной массы сорбента с биопрепаратом по поверхности загрязненного грунта с одновременным перемешиванием с загрязненным грунтом.

По истечении 12 суток после внесения в грунт смеси глауконита, биопрепарата, компоста, ЭМ-препарата, измерение остаточной концентрации очищенного грунта показало ее значение - $0,83 \text{ мг/м}^3$.

Из примеров 1 и 2 видно, что по сравнению с известным способом детоксикации загрязненного грунта, принятым в качестве прототипа, время детоксикации уменьшается, сорбента и биопрепарата расходуется намного меньше, что в значительной степени удешевляет их транспортировку до места применения и снижает себестоимость способа детоксикации в целом.

Область применения предложенного способа детоксикации загрязненного грунта: предприятия нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности; хранилища нефти и нефтепродуктов; депарафинизация нефтяных скважин; очистка буровых шламов; очистка балластных вод, нефтяных цистерн и танкеров; очистка территорий аэропортов, депо, моечных и заправочных станций; очистка вод от углеводородных загрязнений.

Предложенный способ позволяет производить очистку различных типов нефтепродуктов: мазута, дизельного топлива, бензина, керосина.

Формула изобретения

Способ детоксикации грунта, загрязненного нефтепродуктами, включающий внесение в него природного сорбента с биопрепаратом до достижения заданной концентрации загрязняющего вещества в грунте, причем в качестве сорбента используют глауконит, а в качестве биопрепарата - поликультуру, перед внесением в грунт сорбента с биопрепаратом производят замеры концентрации загрязняющего вещества, определяют массу сорбента, отличающийся тем, что после измерения концентрации загрязняющего вещества в грунте на границе проникновения загрязнения в грунт в нижней части загрязненного слоя помещают экранирующую прослойку из биогумуса, увлажнение загрязненного грунта производят после распределения массы сорбента с биопрепаратом эффективными микроорганизмами и ферментированным компостом по поверхности загрязненного грунта с одновременным перемешиванием, причем концентрацию загрязняющего вещества определяют послойно, а количество слоев загрязненной почвы с концентрацией загрязнения слоя, не менее чем вдвое различной друг от друга делают не менее двух, при этом необходимый объем смеси сорбента, биопрепарата, эффективных микроорганизмов и ферментированного компоста определяется:

$$V_c = V_{гр} \cdot \frac{K_1}{K_{зад}}$$

где $V_{гр}$ - объем грунта, м^3 ;

K_1 - среднеарифметическое значение остаточной концентрации нефтепродуктов в пробах смеси, мг/м^3 ;

$K_{зад}$ - заданная концентрация достижения остаточного загрязнения грунта нефтепродуктами, мг/м^3 .

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 129528

БУЛЬДОЗЕР-СМЕСИТЕЛЬ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013100726

Приоритет полезной модели 09 января 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 июня 2013 г.

Срок действия патента истекает 09 января 2023 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU⁽¹¹⁾129528⁽¹³⁾ U1(51) МПК
E02F3/76 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

Статус: по данным на 27.08.2013 - действует
Пошлина:

(21), (22) Заявка: 2013100726/03, 09.01.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.01.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.01.2013

(45) Опубликовано: [27.06.2013](#)

Адрес для переписки:

410012, г.Саратов, Театральная пл., 1, ФГБОУ ВПО
"Саратовский государственный аграрный
университет имени Н.И. Вавилова", патентный
отдел

(72) Автор(ы):

Слюсаренко Владимир Васильевич (RU),
Лазарев Александр Петрович (RU),
Дружинин Александр Викторович (RU),
Сержантов Виктор Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Саратовский государственный аграрный
университет имени Н.И. Вавилова" (RU)

(54) БУЛЬДОЗЕР-СМЕСИТЕЛЬ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к строительной технике, а именно к устройствам для равномерного распределения компонентов в грунте загрязненном нефтью и нефтепродуктами при проведении биологической рекультивации загрязненных грунтов.

Задача решается в бульдозере-смесителе, включающем базовую машину, отвал, толкающие брусья, режущий орган, выполненный в виде шнека, вал которого крепится в подшипниковых узлах-опорах стоек отвала, отличающимся тем, что шнек выполнен в виде установленной на валу с помощью спиц спирали с односторонней навивкой, направленной в сторону транспортирования грунта, причем вал выполнен полым с радиальными отверстиями в конце транспортирования, в которых установлены распылители.

Полезная модель относится к строительной технике, а именно к устройствам для равномерного распределения компонентов в грунте загрязненном нефтью и нефтепродуктами при проведении биологической рекультивации загрязненных грунтов.

Известен бульдозер, содержащий базовую машину, отвал, выполненный из нижней и верхних частей, толкающие брусья и гидроцилиндры, пространственную раму и режущий инструмент, выполненный в виде роторов-метателей [см. патент Украины, № 18562, E02F 3/76, 1997 г.].

Недостатком бульдозера является то, что он не выполняет функции смесительного устройства из-за большой скорости ротора-метателя.

Наиболее близким техническим решением является бульдозер, включающий базовую машину, отвал, толкающие брусья, силовые гидроцилиндры и режущий орган, отличающийся тем, что режущий орган выполнен в виде шнека, имеющего правую и левую навивки режущей ленты, на валу которого в средней его части смонтирована режущая фреза, при этом вал шнека крепится в подшипниковых узлах-опорах стоек отвала [см. патент РФ на изобретение № 2410496, МПК E02F 3/76, опублик. 23.03.2009 г.].

Недостатком устройства является неудовлетворительное перемешивание компонентов с загрязненным нефтью и нефтепродуктами грунтом, отсутствие возможности одновременного увлажнения.

Технической задачей предлагаемой полезной модели является повышение качества перемешивания компонентов с грунтом, загрязненным нефтью и нефтепродуктами, с одновременным увлажнением.

Задача решается в бульдозере-смесителе, включающем базовую машину, отвал, толкающие брусья, режущий орган выполненный в виде шнека, вал которого крепится в подшипниковых узлах опорных стоек отвала, отличающимся тем, что шнек выполнен в виде установленной на валу с помощью спиц спирали с односторонней навивкой, направленной в сторону транспортирования грунта, причем вал выполнен полым с радиальными отверстиями в конце транспортирования, в которых установлены распылители.

Отличием от прототипа является установленный на валу с помощью спиц шнек, выполненный в виде спирали, направленной в сторону транспортирования, причем вал выполнен полым, на конце транспортирования имеются радиальные отверстия, в которые вмонтированы распылители.

На фиг.1 изображен общий вид отвала бульдозера-смесителя, на фиг.2 - вид сбоку отвала бульдозера-смесителя.

Бульдозер-смеситель содержит базовую машину, соединенную посредством толкающих брусьев с отвалом 1. Отвал 1 снабжен рабочим органом, в виде шнека 2, выполненным в виде спирали установленной на валу 3 с помощью спиц 4. Вал шнека 2 смонтирован в подшипниковых узлах-опорах 5 стоек 6 отвала бульдозера, помимо этого на валу 3 имеются отверстия в которые вмонтированы распылители 7 для подачи воды. Привод шнека 2 осуществляется через силовой редуктор гидромоторами (на чертеже не показано).

Бульдозер-смеситель работает следующим образом.

Отвал 1 бульдозера-смесителя опускают на поверхность земли и включают гидропривод, который приводит во вращение закрепленный в подшипниковых узлах-опорах 5 стоек 6 отвала, вал 3 со шнеком 2, выполненным в виде спирали, установленной на валу с помощью спиц 4. Во время работы масса грунта загрязненного нефтепродуктами и компоненты разложенные заранее на грунте перемешиваются с одновременным перемещением и увлажнением в сторону транспортирования шнеком 2. В конце транспортирования грунта шнеком 2 производится увлажнение распылителями 7, расположенными на валу 3. Вода в распылители 7 подается через гибкие трубопроводы под давлением.

При использовании данного устройства улучшается качество перемешивания компонентов с грунтом загрязненным нефтью и нефтепродуктами с одновременным увлажнением, что способствует повышению эффективности биологической рекультивации нефтезагрязненных грунтов.

Формула полезной модели

Бульдозер-смеситель, включающий базовую машину, отвал, толкающие брусья, режущий орган, выполненный в виде шнека, вал которого крепится в подшипниковых узлах-опорах стоек отвала, отличающийся тем, что шнек выполнен в виде установленной на валу с помощью спиц спирали с односторонней навивкой, направленной в сторону транспортирования грунта, причем вал выполнен полым с радиальными отверстиями в конце транспортирования, в которых

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2496589

**СПОСОБ КОМПЛЕКСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ,
ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ**

Патентообладатель(ли): **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)**

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012133121

Приоритет изобретения **01 августа 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **27 октября 2013 г.**

Срок действия патента истекает **01 августа 2032 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 496 589** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
B09C 1/10 (2006.01)
A01B 79/02 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012133121/13, 01.08.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.08.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.08.2012

(45) Опубликовано: 27.10.2013 Бюл. № 30

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2182049 C2, 10.05.2002. RU 2318619
C1, 10.03.2008. UA 39724 A, 15.06.2001. FR
2916437 A1, 28.11.2008.

Адрес для переписки:

410012, г.Саратов, Театральная пл., 1,
ФГБОУ ВПО "Саратовский
государственный аграрный университет
имени Н.И.Вавилова", патентный отдел

(72) Автор(ы):

Слюсаренко Владимир Васильевич (RU),
Сержантов Виктор Геннадьевич (RU),
Лазарев Александр Петрович (RU),
Дружинин Александр Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Саратовский государственный аграрный
университет имени Н.И. Вавилова" (RU)

(54) СПОСОБ КОМПЛЕКСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области рекультивации почв и грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Способ включает сбор разлитой нефти, механическую обработку загрязненного участка, бактериальную обработку и внесение минеральных удобрений. При этом механическую обработку проводят путем перемещения загрязненного грунта в одну сторону на расстояние не менее ширины траншеи. Осуществляют разработку траншеи, изолируют дно и стенки образованной

траншеи для предотвращения распространения загрязнения. Укладывают на загрязненный грунт компоненты для бактериальной обработки. Нефтезагрязненный грунт с компонентами для бактериальной обработки перемещают с одновременным перемешиванием в траншею с увлажнением, проводят планировку и рекультивацию участка. Способ позволяет сократить время восстановления загрязненного участка почвы и повысить эффективность рекультивации. 2 ил.

RU 2 4 9 6 5 8 9 C 1

RU 2 4 9 6 5 8 9 C 1

Изобретение относится к способам охраны окружающей среды, а именно к способам восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в случае повреждений и отказов трубопроводов, а также на площадках депонированного хранения загрязненного грунта.

5 Известна технология рекультивации нефтезагрязненных почв, включающая локализацию ареала загрязнения, сбор разлитой нефти из траншей и выемок, обработку нефтезагрязненной почвы бактериальными препаратами и нанесение на загрязненный участок торфа ("Технологический регламент на рекультивацию
10 нефтезагрязненных почв на промыслах Западной Сибири". Тюмень, СибНИИ НП, 1993, с.7-12).

Этот способ имеет существенный недостаток. Такой способ рекультивации состоит из ряда последовательно выполняемых видов работ, которые производятся в определенной очередности. Каждый последующий вид работ выполняется только
15 после того, как произведены работы предыдущего вида. В итоге на восстановление нарушенного в результате хозяйственной деятельности земельного участка затрачивается много времени. Другими словами, реализация такого способа характеризуется продолжительностью во времени и растягивается на значительный
20 период.

Известен способ восстановления загрязненного земельного участка, включающий работы по сбору нефти и механической обработке земельного участка (патент РФ на изобретение №2142533, МПК E02B 15/04, B09C 1/00, опубл. 10.12.1999).

Однако способ имеет существенный недостаток, заключающийся в следующем.
25 Процессы деградации нефтезагрязненных земель происходят медленно, поскольку условиями, благоприятствующими разложению нефти, являются только климатические. Процесс самоочищения почвы необходимо инициировать для ускорения ее восстановления. Кроме этого, в первую очередь разлагаются легкие
30 фракции нефти, а тяжелые фракции остаются в грунте и в последующем затраты на рекультивацию возрастают из-за необходимости принятия дополнительных мер для разложения тяжелых фракций.

В настоящее время существуют механические, физико-химические и химические способы очистки почвы от нефтепродуктов. Однако наиболее полное восстановление
35 нарушенных нефтеразливами биоценозов может быть достигнуто только с применением технологий, основанных на использовании биологических способов, поскольку интенсивность и характер разложения нефтяных углеводородов в почве в конечном итоге определяется функциональной активностью углеводородоксилирующих
40 микроорганизмов, способных усваивать нефть в качестве единственного источника углерода.

Наиболее близким аналогом к предлагаемому изобретению является способ рекультивации нефтезагрязненных земель, включающий одновременные работы по сбору нефти и механической обработке земельного участка (патент РФ на
45 изобретение №2182049, МПК B09C 1/00, B09C 1/01, опубл. 10.05.2002).

Однако способ имеет существенный недостаток, заключающийся в следующем. После разработки загрязненного участка почвы возможно проникновением
нефтепродуктов глубже в грунт, поэтому требуется дополнительное
50 время для проведения обработки загрязненного участка.

Технической задачей данного изобретения является сокращение времени восстановления загрязненного участка почвы за счет разработки высокоэффективного способа очистки земель от нефти и нефтепродуктов.

Поставленная задача решается в способе комплексной рекультивации почв, включающем сбор разлитой нефти, механическую обработку загрязненного участка, бактериальную обработку и внесение минеральных удобрений, и отличающемся тем, что механическую обработку производят путем перемещения загрязненного грунта в одну сторону на расстояние не менее ширины траншеи, разработки траншеи, изоляции дна и стенок образованной траншеи для предотвращения распространения загрязнения, укладки на загрязненный грунт компонентов для бактериальной обработки, перемещения с одновременным перемешиванием нефтезагрязненного грунта с компонентами для бактериальной обработки в траншею с увлажнением, планировки и рекультивации участка.

На фиг.1 изображен процесс разработки нефтезагрязненного участка;
на фиг.2 - общий вид участка после проведения мероприятий.

При разливе нефти и нефтепродуктов, включая чрезвычайные происшествия, на почве детоксикацию (биологическую обработку) с последующей рекультивацией почвы осуществляют следующим образом: производят сбор качественной нефти с последующей ее транспортировкой к месту переработки. Сбор нефти осуществляют с помощью впитывающих природных сорбентов, драг, специального оборудования. Затем производят механическую обработку путем перемещения загрязненного грунта в одну сторону бульдозерами на расстояние не менее ширины траншеи. Заранее производят снятие плодородного слоя почвы в местах сгуживания нефтезагрязненного грунта.

Далее производят разработку траншеи с параметрами, превосходящими объем загрязненной почвы вместе с компонентами детоксикации (бактериальной обработки), с помощью одноковшового экскаватора (ЭО) или экскаватора траншейного цепного (ЭТЦ), на глубину, рассчитанную заранее. Затем в образованной траншее проводят мероприятия, связанные с предотвращением проникновения нефти глубже, для этого делают изоляцию дна и стенок траншеи из специальной пленки (полиэтилен), в зависимости от высоты подъема уровня грунтовых вод.

Производят укладку нефтезагрязненного грунта с компонентами для детоксикации (бактериальной обработки) вдоль подготовленной траншеи. В компоненты биологической очистки входят сорбент, биопрепарат, эффективные микроорганизмы и биогумус. Затем укладку нефтезагрязненного грунта с компонентами в траншею производят по средством перемещения с одновременным перемешиванием до требуемой однородности. После укладки производят увлажнение.

Далее процесс повторяется.

После разработки всей площади разлива нефтепродукта легким автогрейдером осуществляют планировку с последующей рекультивацией (укладку растительного слоя, в качестве растительного слоя используют многолетние травы: клевер луговой и красный, овсяницу луговую, мятник луговой) по всей площади плодородного слоя.

Предложенный способ позволяет производить очистку различных типов нефтепродуктов (мазута, дизельного топлива, бензина, керосина), сократить затраты на транспортировку нефтезагрязненного грунта, повысить эффективность рекультивации, сократить время на восстановление плодородного слоя.

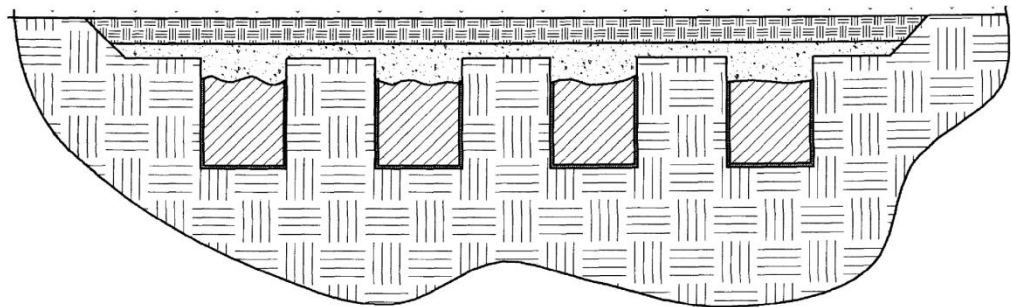
50

Формула изобретения

Способ комплексной рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, включающий сбор разлитой нефти, механическую обработку

загрязненного участка, бактериальную обработку и внесение минеральных удобрений, отличающийся тем, что механическую обработку производят путем перемещения загрязненного грунта в одну сторону на расстояние не менее ширины траншеи, разработки траншеи, изоляции дна и стенок образованной траншеи для предотвращения распространения загрязнения, укладки на загрязненный грунт компонентов для бактериальной обработки, перемещения с одновременным перемешиванием нефтезагрязненного грунта с компонентами для бактериальной обработки в траншею с увлажнением, планировки и рекультивации участка.

RU 2 496 589 C1



Фиг.2



АКТ

внедрения технологии рекультивации

Мы нижеподписавшиеся представители ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» Слюсаренко В.В., Лазарев А.П. и представители КХ «Лавина» Ларюков В.Н., Сомов А.Н., представитель ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Саратовской области» Сидорова О.П. составили настоящий акт о том, что по технологии СГАУ при использовании бульдозера-смесителя проведена рекультивация загрязненного участка площадью 0,3га, в результате чего были достигнуты положительные результаты снижения концентрации нефти.

Установлено:

1. Загрязнитель – нефть
2. Площадь загрязнения 0,3 га (участок шириной от 0,6до 4,8 м длиной 104 м, угол 6⁰).
3. Для рекультивации использовалась технология и техническое средство представленное СГАУ.

Технология соответствует патенту РФ № 2475314 и включает в себя: замер концентрации загрязняющего вещества, извлечение загрязненного грунта, подготовку траншеи, укладку с одновременным перемешиванием загрязненного грунта с компонентами очистки, с последующим увлажнением.

4. Результаты снижения концентрации нефтепродукта в загрязненной почве

Период	Концентрация нефтезагрязняющего вещества, г/кг
2011	53,5
2012	35,1
2013	7,6

В результате проведенной рекультивации агрохимическое и структурное состояние почвы нормализовалось и приближено к фоновым показателям.

Акт подписан:

Слюсаренко В.В.

Сомов А.Н.

Лазарев А.П.

Представитель ФБУЗ
«Центр гигиены и
эпидемиологии в
Саратовской области»

Сидорова О.П.

СПРАВКА

На основании договора № 11 от 6.03.2011 питерским РСФС ОАО «Саратовгражданстрой» принят заказ на изготовление опытного образца рабочего органа бульдозера смесителя со следующими параметрами: диаметр шнека 1 м, шаг шнека 0,7 м, длина шнека 2,3м, высота подъема винтовой линии 0,5м. Данное рабочее оборудование изготовлено по представленным чертежам из материала – заказчика. В итоге общая сумма заказа составила 25,6 тыс. рублей.

Заказ отпущен представителю ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» Лазареву А.П. 20 апреля 2011 г.

Директор филиала
"САРАТОВГРАЖДАНСТРОЙ"
Потемкин А.С.



«20» апреля 2011

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ООО «Промсервис»

Федосеев В.М.

«04» июня 2014 г.


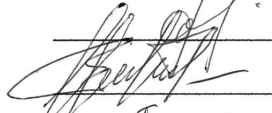
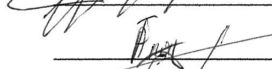



АКТ внедрения НИОКР

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» Слюсаренко В.В., Лазарева А.П. и представителей предприятия ООО «Промсервис» – директора Федосеева В.М. и инженера-эколога Тареева Н.Н. составили настоящий акт в том, что используемая технология рекультивации и бульдозер-смеситель на базе трактора Т – 170 с конструктивными параметрами рабочего органа (диаметр шнека 1 м, шаг шнека 0,7м, подъем винтовой поверхности 0,55 м) и технологическими режимами (число оборотов шнека 300 мин⁻¹) повышают эффективность очистки нефтезагрязненных земель на 60 %, при этом технический этап рекультивации снижается с 69 % до 54% от общего объема работ по рекультивации за счет: снижения числа технических операций; более качественного распределения компонентов рекультивации в объеме загрязненного грунта. Качество получаемой смеси составляет 75 – 85 %.

Затраты на рекультивацию одного гектара земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, снизились с 584025 до 500719 руб. по предлагаемой технологии. Эколого-экономическая эффективность вложения одного рубля на рекультивацию составила 1,78.

Акт подписан:


 _____ Слюсаренко В.В.

 _____ Федосеев В.М.

 _____ Лазарев А.П.

 _____ Тареев Н.Н.