

На правах рукописи



МИХАЙЛИН АНДРЕЙ АНДРЕЕВИЧ

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ГЛУБОКОЙ ОБРАБОТКИ
СКЛОНОВЫХ И РАВНИННЫХ ЗЕМЕЛЬ ЮГА РОССИИ**

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Краснодар – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования – «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Научный консультант **Максимов Валерий Павлович,**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова» профессор кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы»

Официальные оппоненты:

Максимов Иван Иванович,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и комплексы»

Старцев Сергей Викторович,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», профессор кафедры «Техническое обеспечение в АПК»

Соболевский Иван Витальевич,
доктор технических наук, доцент, ГБОУ ВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», начальник проектного офиса

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова»

Защита состоится « 14 » октября 2026 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.03 при ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета энергетики, ауд. № 110.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» <https://kubsau.ru/>.

Автореферат разослан « » 2026 г., и размещен на официальном сайте ВАК РФ <https://vak.gisnauka.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» <https://kubsau.ru/>.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.019.03,
канд. техн. наук, доцент



Е.Е. Самурганов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В сложившихся хозяйственных взаимоотношениях, характерных также и для агропромышленного комплекса России, наиболее значимым для получения высокого урожая являются соответствующие почвообрабатывающие технологические процессы и технические средства это обеспечивающие. Экономическая целесообразность обработки имеющихся площадей под полевое растениеводство на склоновых и равнинных землях юга России определяется структурой земель. По состоянию на 2024 г., в Ростовской области площадь обрабатываемых склоновых и равнинных земель составляет около 5,8 млн. га, в Волгоградской области в пределах 5,7 млн. га, а в Краснодарском крае примерно 3,7 млн. га, что отражено данными земельного кадастра. При этом обрабатываемые агроландшафты испытывают на себе многие факторы деградации, такие как переуплотнение, дефляция, поверхностный смыв. В Волгоградской и Ростовской областях обрабатываемые земли находятся в большей степени в эрозионно опасной зоне с риском потенциального опустынивания, находясь под длительным воздействием техногенной нагрузки. Согласно докладу о климатических рисках на территории Российской Федерации в южной зоне Европейской части России (ЕЧР) снижается дебет воды в осадках, с одновременным нарастанием «резкости» их выпадения в виде отдельных ливней или снегопадов. Ситуацию усугубляет отсутствие необходимых технологий и орудий, соответствующих в должной мере требованиям по остановке деградационных процессов, по причине неадекватности существующих современным условиям ресурсосбережения, универсальности, адаптивности. Сложившаяся ситуация выводит проблему создания соответствующих технологий мелиорации и высокоэффективных орудий для их реализации в разряд главнейших.

Научно значимой проблемой является повсеместно распространяющаяся деградация обрабатываемых агроландшафтов в условиях изменяющегося климата на юге России по влагодефицитному типу, при отсутствии соответствующих ресурсосберегающих технологических процессов и технических средств, обеспечивающих эффективную аккумуляцию влаги в почве.

Степень разработанности проблемы. По созданию новых и усовершенствованию существующих почвообрабатывающих машин, изучению процесса взаимодействия рабочих органов орудий, проблем эрозии и мелиоративной обработки почв, и исследованиям по устойчивости склонов и откосов посвящены работы ведущих профильных институтов: ВИМ, ВИСХОМ, ФАНЦА, ВНИИГиМ, "АНЦ "ДОНСКОЙ", РосНИИПМ, КубГАУ, НИМИ Донской ГАУ, Волгоградский ГАУ, КБГАУ. Большое значение имеют труды учёных: Бараева А.И., Горячкина В.П., Панова И.М., Рыкова В.Б., Ветихина В.И., Жука А.Ф., Маммаева З.М., Орсика Л.С., Труфанова В.В., Тарасенко Б.Ф., Новикова А.Е., Лобачевского Я.П., Максимова В.П., Камбулова С.И., Васильева С.А., Соболевского И.В., Апажева К.А., Шекихачева Ю.А., Полякова Ю.П., Полуэктова Е.В., Ивонина В.М., Щедрина В.Н., Сухомлиновой Н.Б., Балакай Г.Т., Старцева С.В., Борисенко И.Б., Крей Г., Фрейлих О., Чугаева Р.Р., Вяземского О.В., Ломидзе Б.М., Цветкова В.К., Цытовича Н.А., Шахунянца Г.М. и многих других учёных.

Однако практически отсутствуют способы и универсальные технические средства мелиоративной обработки почвы, позволяющие аккумулировать внутрипочвенную влагу на обрабатываемых почвах. При этом существующие методы теоретического исследования устойчивости склонов и откосов не рассматривают устойчивость

поверхностного обработанного слоя склона в условиях предельного его увлажнения с аккумуляцией внутрипочвенной влаги.

Сформулирована **гипотеза**. Повышение аккумуляции внутрипочвенной влаги на обрабатываемых агроландшафтах в условиях изменяющегося климата, а также предотвращение негативного влияния процессов деградации почв возможно путём применения нового ресурсосберегающего технологического процесса и соответствующих технических средств для глубокой обработки.

Цель работы – обоснование ресурсосберегающего технологического процесса и технических средств для повышения степени аккумуляции внутрипочвенной влаги, а также сохранения плодородия склоновых, равнинных обрабатываемых почв путём научного обоснования базовой архитектуры комплекса орудий, обеспечивающих агрономически ценную почвенную структуру.

Предмет исследований. Закономерности функционирования глубокорыхлителей, явления влагопереноса, зависимость характеристик поверхностной устойчивости и водного режима на склоне от способа почвообработки.

Объект исследований. Модели устойчивости и водного режима, технологические процессы и технические средства на базе глубокого рыхления склоновых и равнинных агроландшафтов.

Задачи исследований.

1. На основе объектно-ориентированного анализа и концептуального конструирования разработать информационную модель и структуру ресурсосберегающей системы обработки почв с соответствующими техническими средствами, учитывающую следующее: адаптивность к особенностям мезо- и макрорельефа; повышение интенсивности выпадения осадков при нарастающей тенденции на юге России снижения их общего дебета.
2. Разработать ресурсосберегающий технологический процесс глубокой обработки склоновых земель, способствующий интенсивному впитыванию воды на разном рельефе и ее аккумуляции на склоне.
3. Создать математическую модель устойчивости влагонасыщенного обработанного пласта почвы на склоне, учитывающую созданные в результате применения на базе глубокого рыхления нового способа внутрипочвенные стенки, снижающие внутрипочвенный сток воды.
4. Разработать математическую модель влагопереноса для выявления степени задержания внутрипочвенной влаги на обработанном склоне с образованными внутрипочвенными стенками.
5. Установить закономерности процесса разрушения переуплотнённых горизонтов почвы на склоновых, равнинных участках и усовершенствовать элементы систем деформаторов глубокорыхлителей.
6. Обосновать и разработать комплекс орудий глубокого рыхления для ресурсосберегающей обработки почвы склоновых и равнинных агроландшафтов, в условиях изменяющегося климата юга России.
7. Изготовить и провести испытания инновационного комплекса глубокорыхлителей в полевых условиях и на машиноиспытательной станции (МИС) при обработке склоновых и равнинных земель с сопоставлением с теоретическими результатами.
8. Разработать прототип перспективного адаптивного почвообрабатывающего орудия с изменяющимися геометрическими характеристиками его системы деформаторов.

9. Провести технико-экономическую оценку эффективности применения инновационного комплекса орудий глубокого рыхления для обработки склоновых и равнинных земель в производственных условиях.

Научная новизна.

1. Структура и информационная модель системы ресурсосберегающей обработки склоновых и равнинных земель как интегрированная среда взаимодействующих функциональных, базовых и развивающихся структур, состоящую из усовершенствованных тернарной объектно-целевой диаграммы классов и диаграммы прецедентов.
2. Система ресурсосберегающей обработки склоновых, равнинных земель и технологический процесс глубокой обработки склоновых земель, предусматривающий аккумуляцию внутрипочвенной влаги на склоне.
3. Математическая модель оценки устойчивости влагонасыщенного пласта почвы на склоне, обработанного новым ресурсосберегающим способом глубокого рыхления на глубину 0,60 м.
4. Математическая модель внутрипочвенного влагопереноса, отличающаяся тем, что в ней исследуется верхний слой почвы глубиной 0,60 м обработанный новым способом.
5. Закономерности деформации разрыхляемых пластов почвы от воздействия нижней части стойки глубокорыхлителя с глубиной обработки до 0,60 м, позволяющие определить рациональные геометрические характеристики элементов системы деформаторов орудия.
6. Способ экспериментальной оценки качества формирования области разрыхления, возникающей в результате процесса разуплотнения почвы стойками глубокорыхлителей любых форм их систем деформаторов при глубине обработки от 0,40 м и более.
7. Концепт перспективного адаптивного орудия для глубокого рыхления с использованием флаттер-эффекта в горизонтальных элементах системы деформаторов глубокорыхлителя.

Теоретическая значимость.

1. Создана информационная модель системы обработки склоновых и равнинных земель как интегрированная среда взаимодействующих функциональных, базовых и развивающихся структур, отличающаяся от существующих тем, что диаграмма целевых классов дополнена существенными для анализа дифференцирующими глобальную цель дополнительными внешними и внутренними целеполагающими факторами.
2. Обоснован технологический процесс глубокой обработки склоновых земель, который позволил разработать уточнённую модель внутрипочвенного водного режима на склоне и получены режимы взаимодействия систем деформаторов стоек глубокорыхлителей с почвой.
3. Согласно сформулированной информационной модели системы обработки склоновых и равнинных земель разработана уточнённая диаграмма прецедентов, отличающаяся тем, что был введён дополнительно «актор» существенно влияющий на состав, структуру и поведение системы. В результате синтезирован инвариант базовой структуры универсального комплекса глубокорыхлителей, реализующего глобальную цель – повышение плодородия склоновых и равнинных земель. Предлагаемое решение позволяет создать не только базовую структуру системы ресурсосберегающей обработки склоновых и равнинных земель, реализующую основные требования *землепользователя*, но и максимально возможный вариант архитектуры, учитывающий все дополнительные требования акторов, которые повышают эффективность системы.

4. Математическая модель оценки устойчивости влагонасыщенного пласта почвы на склоне, обработанного новым способом на глубину 0,60 м, отличающаяся тем, что модель учитывает неоднородную структуру обработанного слоя склоновых почв новым способом и отражает реальную картину послойного увлажнения обработанного горизонта с учётом его неоднородной структуры. Полученная модель позволяет исследовать равновесные состояния обработанных новым способом склонов любого профиля (описываемых гладкой кривой) с любым составом почвы и с любой степенью увлажнения. При этом данная модель может быть использована для предварительной оценки устойчивости антропогенно нагруженных склонов урбанизированных ландшафтов, находящихся в сплошной жилой застройке.

5. Математическая модель внутрипочвенного влагопереноса, отличающаяся возможностью определять параметры динамики влагопереноса в изменённой структуре пласта почвы на склоне: коэффициенты диффузивности, влагопроводности и капиллярно-сорбционного потенциала.

6. Выявленные процессы взаимодействия нижней части стойки глубокорыхлителя любого типа с разрыхляемым пластом почвы на глубину более 0,40 м, необходимы для разработки и создания рациональных форм рабочих органов орудий. Установлено, что при воздействии системы деформаторов орудий, имеющих в нижней части поверхность атаки в виде наклонного клина (наральника) в обрабатываемом слое почвы развитие соответствующих деформаций ниже критической глубины, качественно меняется. В этом случае происходит перемещение скалываемых комков почвы с частичным вращением вверх по наральнику и в разные стороны от его оси симметрии, где они блокируются переуплотненной почвой не затронутой деформацией. Такой механизм разуплотнения предполагает разработку качественно других систем деформаторов и профилей стоек рыхлителей, что реализовано в экспериментальном образце комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М.

7. Полученный инвариант базовой структуры реализован в конструкции концепта перспективного адаптивного орудия для глубокого рыхления. Отличается от существующих орудий тем, что стало возможным изменение расположений элементов конструкции рамы орудия и его системы деформаторов, происходящих в режиме реального времени и в зависимости от значений ключевого фактора – «тяговое сопротивление». Это способствует адаптироваться конструкции концепта к возможным изменениям в среде непосредственно при обработке почвы путём автоматизированной подстройки рамы и системы деформаторов стоек орудия. Данная конструкция адаптивного орудия позволяет заменить практически весь спектр существующих видов глубокорыхлителей. При этом перенастройка адаптивного орудия происходит в автоматическом режиме, что полностью исключает ручной труд.

Практическая значимость.

1. На основе созданной информационной модели проектирования, разработан ресурсосберегающий технологический процесс обработки склоновых земель, позволяющий аккумулировать внутрипочвенную влагу на склоне в условиях меняющегося по влагодифицитному типу климата юга России, создать и применять новые технические средства для глубокой обработки склоновых и равнинных земель, что гарантированно увеличивает плодородие обработанных почв.

2. Применение разработанной модели оценки динамики влагопереноса на обработанных склонах ресурсосберегающим способом позволяет прогнозировать объём аккумуля-

лирования внутрипочвенной влаги на склонах и корректировать технологии обработки склонов посредством совершенствования конструкций разрабатываемых глубоких-рыхлителей.

3. Разработан способ оценки качества формирования области разрыхления, возникающей в результате процесса разуплотнения почвы стойками глубоких-рыхлителей любых форм их систем деформаторов при глубине обработки 0,40 м и более. Он визуализирует процесс развития деформаций от начала пенетрации системы деформаторов до их полной диссипации в обрабатываемом горизонте почвы. Это позволяет количественно и качественно оценивать процесс разуплотнения подпахотной подушки.

4. На основе синтезированного инварианта базовой структуры универсального глубоких-рыхлителя, путём имитационного моделирования, проведена локальная оптимизация основных рациональных форм профилей инновационных горизонтальных элементов систем деформаторов с использованием эффекта флаттера. Это позволило получить конструктивные параметры новых горизонтальных элементов системы деформаторов, отличающихся тем, что они имеют ломаный профиль, в установленных трёх базовых формах, обеспечивающих большую ширину области разрыхления во фронтальной проекции и ресурсосберегающий процесс рыхления переуплотнённых обрабатываемых склоновых и равнинных земель. При сопоставимых энергозатратах на почвообработку новый комплекс глубоких-рыхлителей показал, что площадь области разрыхления больше, примерно, на 45 %, при этом качество крошения увеличилось на 3,3 % по сравнению с существующими перспективными глубоких-рыхлителями.

5. На основе синтезированного инварианта базовой структуры универсального глубоких-рыхлителя разработана техническая документация комплекса орудий глубокого рыхления на базе чизеля ГНЧ-0,6М (патент RU 2694571 C2) который изготовлен в металле и прошёл успешную апробацию на полях ФГБУ Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция (МИС) (МСХ РФ) г. Зерноград, Ростовской области.

Методология и методы исследований. При решении выявленной проблемы использовалась методология применения объектно-ориентированного анализа на базе системного подхода с использованием универсального языка моделирования UML. Для решения поставленных задач были применены законы теоретической механики, гидродинамики и земледельческой механики. Проведённые численные эксперименты осуществлялись с использованием программных пакетов для ПЭВМ "Maple 7", "FlexPDE", "Structure CAD" (SCAD). Используя методику полевого опыта Б.А. Доспехова и СТО АИСТ 4,6 были проведены лабораторно-полевые и производственные испытания.

Основные результаты и положения, выносимые на защиту:

- структура и информационная модель системы ресурсосберегающей обработки склоновых и равнинных земель;
- система ресурсосберегающей обработки склоновых земель, предусматривающая повышение аккумуляции внутрипочвенной влаги на склоне;
- алгоритм построения инновационных проектов, адаптивных ресурсосберегающих систем, учитывающих особенности мезо- и макрорельефа местности и изменение климатических условий на юге России;
- математическая модель предельного состояния устойчивости влагонасыщенного горизонта на склоне, обработанного новым способом;

- математическая модель динамики внутрипочвенного влагопереноса на склоне, обработанном новым способом;
- результаты анализа геометрических параметров горизонтальных и вертикальных элементов систем деформаторов глубокорыхлителей чизельного типа;
- способ оценки качества образования области разрыхления, возникающей от рыхления почвы глубокорыхлителями при глубине обработки 0,40 м и более;
- закономерности процесса разрушения переуплотнённых верхних горизонтов почвы, толщиной 0,60 м инновационным универсальным чизельным глубокорыхлителем;
- результаты натурных исследований и испытаний на машиноиспытательной станции инновационного универсального чизельного глубокорыхлителя и их сопоставление с теоретическими данными;
- результаты анализа инновационных элементов системы деформаторов перспективных адаптивных глубокорыхлителей с ресурсосберегающим воздействием на обрабатываемый пласт почвы;
- созданное перспективное орудие для адаптивного глубокого рыхления земли без оборота пласта, повышающее эффективность разрыхления уплотнённых земель за счет подстройки рамы и системы деформаторов стоек орудия к возможным изменениям в среде непосредственно при обработке почвы в зависимости от значений ключевого фактора – «тяговое сопротивление».

Степень достоверности результатов исследования подтверждается достаточным объёмом экспериментальных данных, полученных в результате лабораторно-полевых и натурных исследований проведенных в опытно-производственных условиях, имеющие многократную повторность; современными методами математической обработки результатов исследований с использованием программных продуктов "Maple 5", "FlexPDE", "Structure CAD", а также адекватностью полученных математических моделей; высокой степенью сходимости теоретических и экспериментальных результатов.

В данной научной работе **личный вклад автора** заключается в анализе и обобщении материалов по теме исследований; в выявлении проблемы, формулировании целей и постановке задач; в разработке программы и выборе методов проведения научно-исследовательских работ; в планировании и осуществлении теоретических и экспериментальных исследований; в обработке полученных результатов и их проверке в производственных условиях; в подготовке выводов и предложений производству; во внедрении апробированных результатов исследований на сельскохозяйственных предприятиях юга России. Автором освоены и успешно использованы численные методы и моделирование на ЭВМ для изучения закономерностей формирования и отличительных особенностей напряжённо-деформированного состояния инновационных элементов системы деформаторов, позволяющих ресурсосберегающе воздействовать на обрабатываемый пласт почвы. Также эти методы применялись для оценки устойчивости обработанного влагонасыщенного пласта почвы на склоне и влагоаккумуляционные его свойства.

Созданы оригинальный способ обработки склоновых земель, позволяющий впитывать увеличенные объёмы осадков и удерживать влагу на склоне, а также инновационный глубокорыхлитель чизельного типа, обеспечивающий проведение нового способа обработки почв на склоне и ресурсосберегающую обработку равнинных земель с повышенной степенью фильтрации обработанного слоя. Разработан прототип перспективного адаптивного глубокорыхлителя. Доля авторского вклада составляет 88,61 %.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы обсуждены и одобрены на: международной конференции "Наукоемкие технологии в мелиорации (Костяковские чтения)", посвящённой 118-летию со дня рождения А.Н. Костякова, (Москва 2005 г.); международной научно-практической конференции, отделение мелиорации, водного хозяйства Россельхозакадемии (Новочеркасск 2006 г.); научно-практической конференции "Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства Южного Федерального округа" (Шумаковские чтения совместно с заседанием секции РАСХН), (Новочеркасск 2007 г., 2011 г.); научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 75-летию НИМИ, Министерство сельского хозяйства РФ (Новочеркасск 2008 г.); научно-практической конференции, посвященной 120-летию со дня рождения академика Б.А. Шумакова, Министерство сельского хозяйства РФ, Отделение мелиорации, водного и лесного хозяйства Россельхозакадемии (Новочеркасск 2009 г.); международной научно-практической конференции "Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение для инновационного развития агропромышленного комплекса" (Зерноград 2010 г.); региональной научно-практической конференции – II съезд инженеров Дона, Правительство Ростовской области; Ростовский Государственный университет путей сообщения. (Ростов-на-Дону 2011 г.); 6-й международной научно-практической конференции "Инновационные технологии и технические средства для полеводства юга России" (Зерноград 2011 г.); международной конференции «Современные проблемы водного хозяйства, инженерно-коммуникационных систем и экология» (Баку 2014 г.); международной конференции "Авиамеханика и транспорт" / AVENT (Иркутск 2018 г.); международной конференции "Мировые технологические тенденции в агробизнесе" / WTTA (Омск 2021 г.); международной научно-практической интернет-конференции "Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата" (Новочеркасск 2025 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 17 работ – в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ для публикаций результатов диссертационных работ; 2 работы – в научных изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science; 13 работ – в научно-тематических сборниках, материалах международных, всероссийских, региональных научно-практических конференций и семинаров, получено 4 патента на изобретения.

Структура и объем работы. Работа изложена на 395 страницах машинописного текста, состоит из введения, восьми глав, общих выводов, списка использованной литературы из 243 наименований, в том числе, 14 – зарубежных авторов, содержит 28 таблиц, 204 рисунка и 11 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определена цель исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Современное состояние ресурсосберегающих мероприятий для обрабатываемых земель юга России» приведено текущее состояние почв и ландшафтов при современных их обработках. Показаны актуальные агротехнические почвозащитные мероприятия. Выполнен анализ известных машин и орудий, применяемых для глубокого рыхления почвы в России и за рубежом, а также существующих методик расчета устойчивости склонов и откосов.

Исходя из вышеизложенного важной актуальной практической и *научно значимой проблемой* является повсеместно распространяющаяся деградация обрабатываемых земель.

мых агроландшафтов в условиях изменяющегося климата на юге России по влагодефицитному типу, при отсутствии соответствующих ресурсосберегающих технологических процессов и технических средств, обеспечивающих аккумуляцию влаги в почве.

Анализ научных работ и практических достижений позволил выявить существующие негативные тенденции в состоянии и плодородном потенциале склоновых и равнинных обрабатываемых агроландшафтов юга России и технологических процессов их обработки, включая недостатки конструкций почвообрабатывающих орудий и оценочных теоретических моделей. Также позволил наметить предварительные направления совершенствования и сформулировать задачи исследования.

Во второй главе «Разработка информационной модели ресурсосберегающей системы обработки почв с соответствующими техническими средствами и технологическим процессом глубокой обработки склоновых земель» получена информационная модель системы мелиорирования склоновых и равнинных земель, разработана методология концептуального и целевого анализа и синтеза базовой структуры системы ресурсосберегающей обработки склоновых и равнинных земель (СРОСПЗ).

В основу методологий системно-целевого анализа положены ряд закономерностей целеобразования: закономерности возникновения и формулирования целей, закономерности формирования структур целей. Первая из них определяет зависимости представления о цели и формулировки цели от стадии познания объекта (процесса) и от времени, а также от внешних и внутренних факторов. Вторая – подчеркивает возможность (и необходимость) сведения задачи формулирования глобальной цели к задаче ее структуризации, а также, проявления в структуре целей закономерности целостности. Процедура поиска технических решений определяется как:

$$X_0 \stackrel{def}{=} ((x)(\forall P)[(a, p) \in \phi \wedge (p, x) \in \psi \wedge p \in P_0 \wedge a \in A_0]), \quad (1)$$

где $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – множество целей; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – множество признаков; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ – множество решений; ϕ – бинарное отношение между элементами множеств A и P ; ψ – бинарное отношение между элементами множеств P и X . При этом $\phi \subset (A \times P)$; $\psi \subset (P \times X)$; $A_0 \subset A$.

Предложенная методика структуризации целей системы включает семь уровней иерархии целей от формирования глобальной цели до делегирования полномочий. При анализе системы СРОСПЗ необходимо и достаточно использовать 3-уровневую структуру целей: *глобальная цель, среда формирования, декомпозиция от целей до цель-функции* и последующего синтеза объектов базовой структуры системы, что представлено на объектно-целевой диаграмме классов СРОСПЗ (рисунок 1).

Отличительной особенностью принятой методологии, основанной на спецификации языка *UML*, является то, что на последующих уровнях иерархии признак ветвления в дереве целей (*ДЦ*) предлагается оперировать не термином *подцель*, а термином *функция*, и считать, что "дерево целей" перерастает в "дерево функций". Таким образом дерево целей (*ДЦ*), как исходная структура системы *St*, посредством синтаксической интерпретации сводится к диаграмме целевых классов (*ДЦК*), описывающей структуру *St* в объектной нотации и являющейся существенным эквивалентом системы (2):

$$J_z: \{St(ДЦ) \xrightarrow{\text{синт.}} St(ДЦК)\}. \quad (2)$$

На рисунке 1 представлена графическая иллюстрация *ДЦК*, где целевые классы уровня среды целеобразования (*СГС*, *ССм*, *СУЭА*, *СЭ*, *УОС*, *МИРТ*, *СУОВ*) декомпозируют глобальную цель и наследуют ее атрибуты. Таким образом на уровне интервала времени целеобразования получаем целевые классы-наследники, а именно, *ЭБ*, *ПКС*,

РУ, НЦ, ОЗР, ТА, УРО, СВПС. На рисунке 1 показана разработанная визуализация технологических процессов в виде объектно-целевой диаграммы классов (ОЦДК) системы СРОСПЗ.

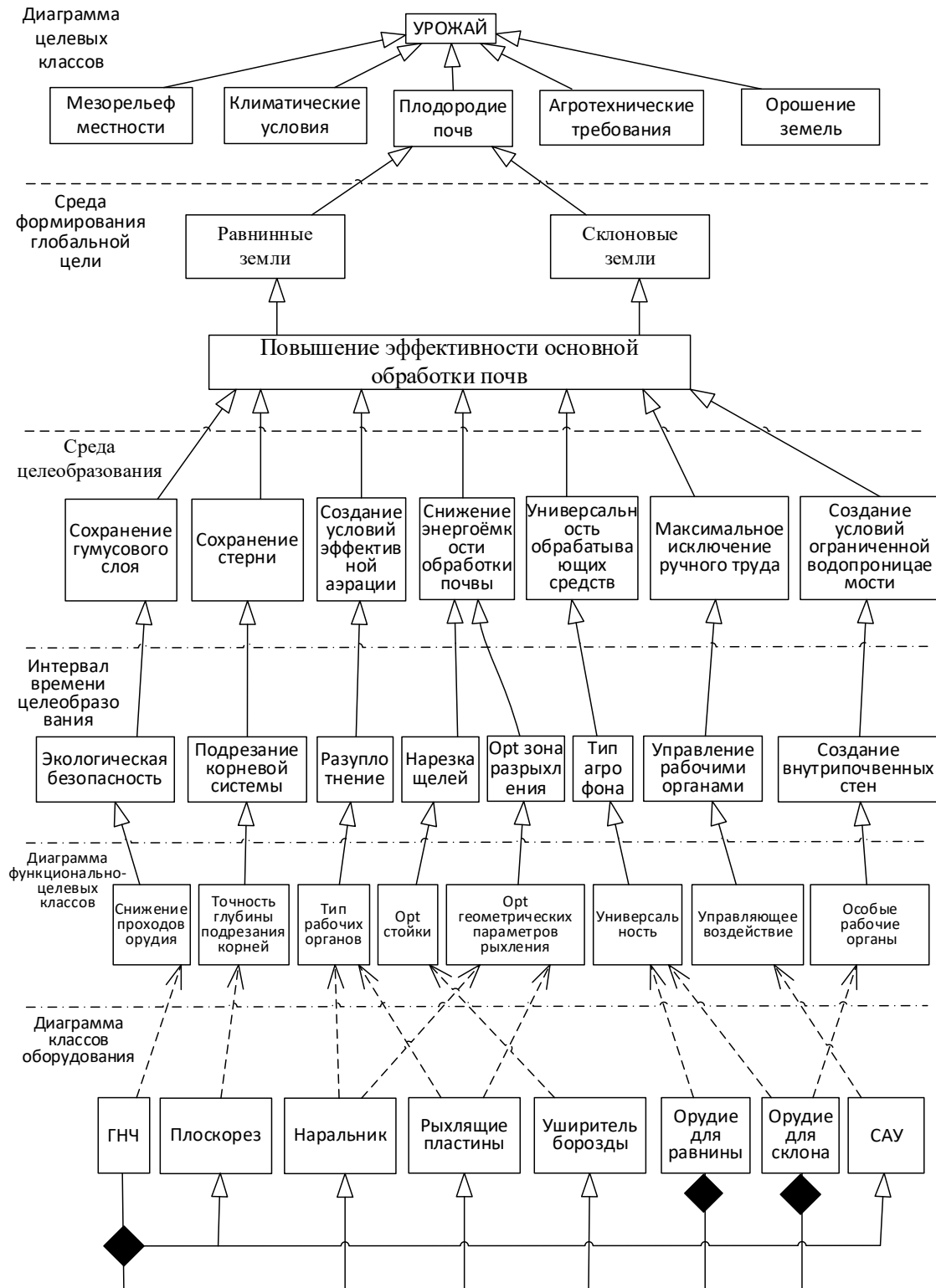


Рисунок 1 – Объектно-целевая диаграмма классов СРОСПЗ

Декомпозиция целей на уровне состава и взаимосвязей элементов отражается диаграммой классов ее оборудования. Разнообразие технологических операций СРОСПЗ требует применения и, соответственно, размещения на комплексе орудий для глу-

бокого рыхления на базе чизеля ГНЧ-0,6М основного (*Наральник, Рыхлящие пластины*) и дополнительного оборудования (*Плоскорез, Уширитель борозды*), различных специализированных элементов (*ОРО*) и устройств системы автоматического управления (*САУ*). Представленные классы оборудования реализуют технологические операции, необходимые для достижения глобальной цели через выявленные подцели, перечисленные на нижнем уровне *ДЦК*. *СРОСПЗ* взаимодействует с одной стороны с землепользователем, а с другой с обрабатываемой почвой. Землепользователь может использовать систему в своих различных целях, укладывающихся в рамки принятой глобальной цели. Эти цели зависят от многих факторов, в том числе, технического, экономического, экологического или биологического характера. К последнему относится состояние почвы на момент принятия решений. Основную роль в моделировании поведения системы, подсистемы или класса играют диаграммы прецедентов.

Диаграмма прецедентов (*ДП*) (рисунок 2) или вариантов использования (*use case diagram*) показывает совокупность *прецедентов* и *акторов*, а также отношения между ними типа зависимости, обобщения и ассоциации. Причем, в диаграмме прецедентов внимание акцентируется именно на поведенческом аспекте *сущности* (в отличие от *ДК* где определяется структурная составляющая), что позволяет не только уточнять существующие требования к системе, но и формулировать новые.

Прецедентом (*use case*) называется описание множества последовательных действий (включая варианты), выполняемых системой для того, чтобы *актор* мог получить определенный результат. Обычно *актор* представляет роль, которую в данной системе играет человек, аппаратное устройство или другая система. Для визуализации необходимых и/или возможных технологических процессов реализации инновационной *СРОСПЗ* в диаграмму прецедентов помимо применяемых акторов: землепользователь, эколог, экономист дополнительно введён *актор* – механик-оператор, определяющий конкретные способы обработки почвы.

Показанная графическая модель на рисунке 2 представляет собой визуализацию технологических процессов – «*Диаграмму прецедентов*» (*ДП*), состоящую из: профессиональных наблюдателей (*акторов*), *прецедентов* и *отношений*. В диаграмму *актор* помещается как пиктограмма фигурки человека с названием функциональной роли. *Акторы* взаимодействуют с *СРОСПЗ* для реализации собственных целей исходя из своих функциональных ролей, полагая, что поведение системы соответствует прогнозируемым векторам.

Прецедент – это эллипс с описанием внутри, а связи (*отношения*) представлены линиями. В представленной диаграмме *прецедент* описывает действия системы, при этом, как непосредственно они выполняются не уточняется. Таким образом, *прецедент* определяет операции, которые необходимы для реализации требований, находящихся вне системы *акторов*, взаимодействующих с *СРОСПЗ* не только в целом, но и посредством отношений с её основными абстракциями, формируя функциональные требования к ней. Корректировка целей, их изменение, а также морфология некоторых требований влечёт изменение *СРОСПЗ*. *СРОСПЗ* построена посредством структур, полученных на базе *ОЦДК* и *ДП*, которые учитывают требования, необходимые для реализации принятой глобальной цели – «Урожай». Цель исследования состоит в том, чтобы отразить влияние на поведение системы вводимых *акторами* сценариев, которые могут включать не только локальные события, влияющие на часть объектов, но и события, влияющие на весь объем происходящих событий.

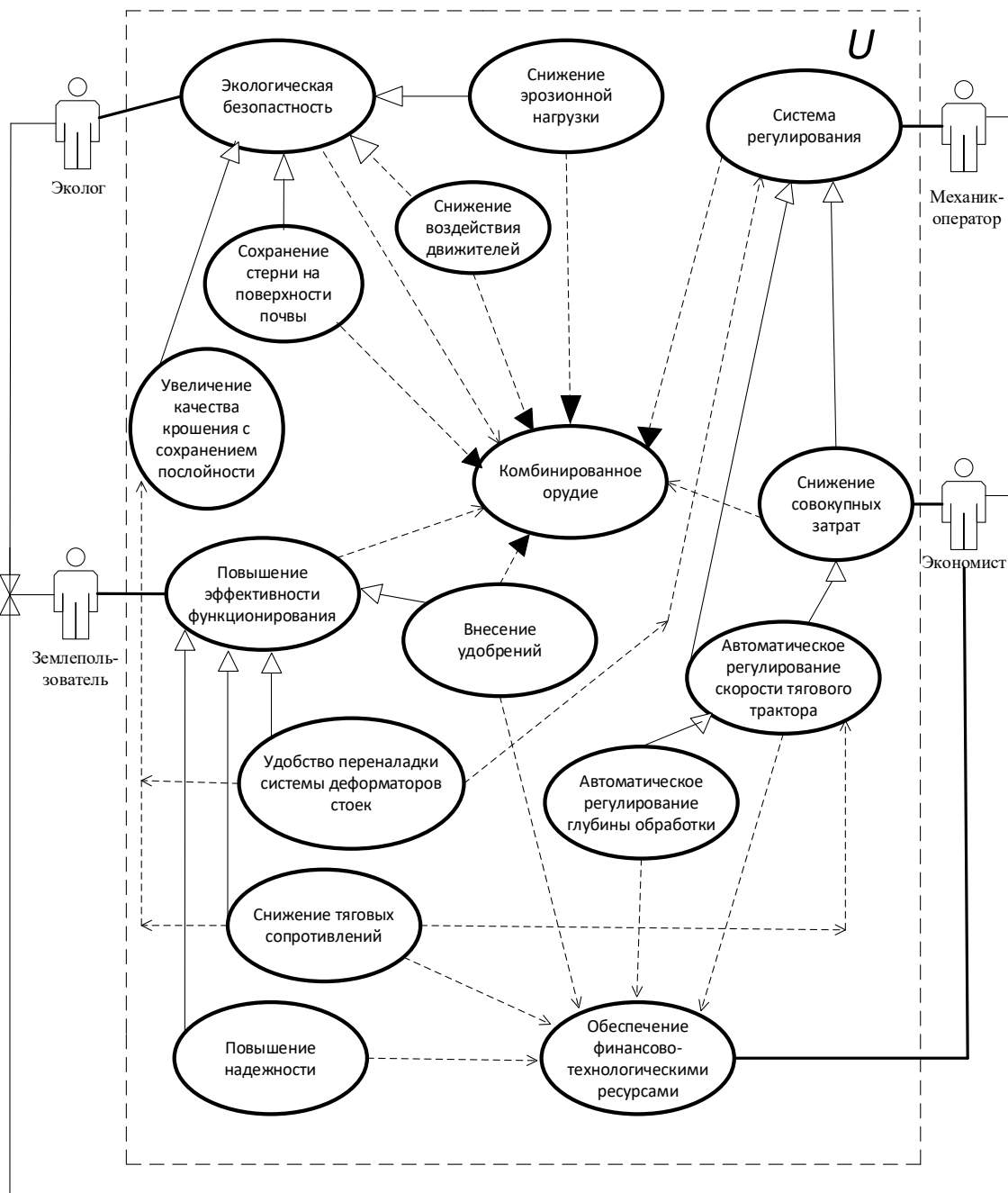


Рисунок 2 – Диаграмма прецедентов при комплексировании СРОСРЗ

Анализируя объектно-целевую диаграмму классов *СРОСРЗ*, выявлено, что для создания аккумуляции внутрипочвенной влаги на склоне необходимо создание препятствий для внутрипочвенного стока в виде устроенных поперёк наклонного участка внутрипочвенных стенок. На уровне интервала времени целеобразования вводится целевой класс-наследник – «создание внутрипочвенной стенки» (*СВПС*), который через прецедент «наследование» в диаграмме функционально целевых классов имеет связь «зависимость» с позицией «особые рабочие органы».

При проведении анализа и синтеза системы необходимо проводить большое количество итераций, включая в том числе, процедуры отладки «реализующей программы» (рисунок 3), до тех пор, пока выполнение необходимых условий $[Y_i]$ позволит осуществить переход между процедурами.

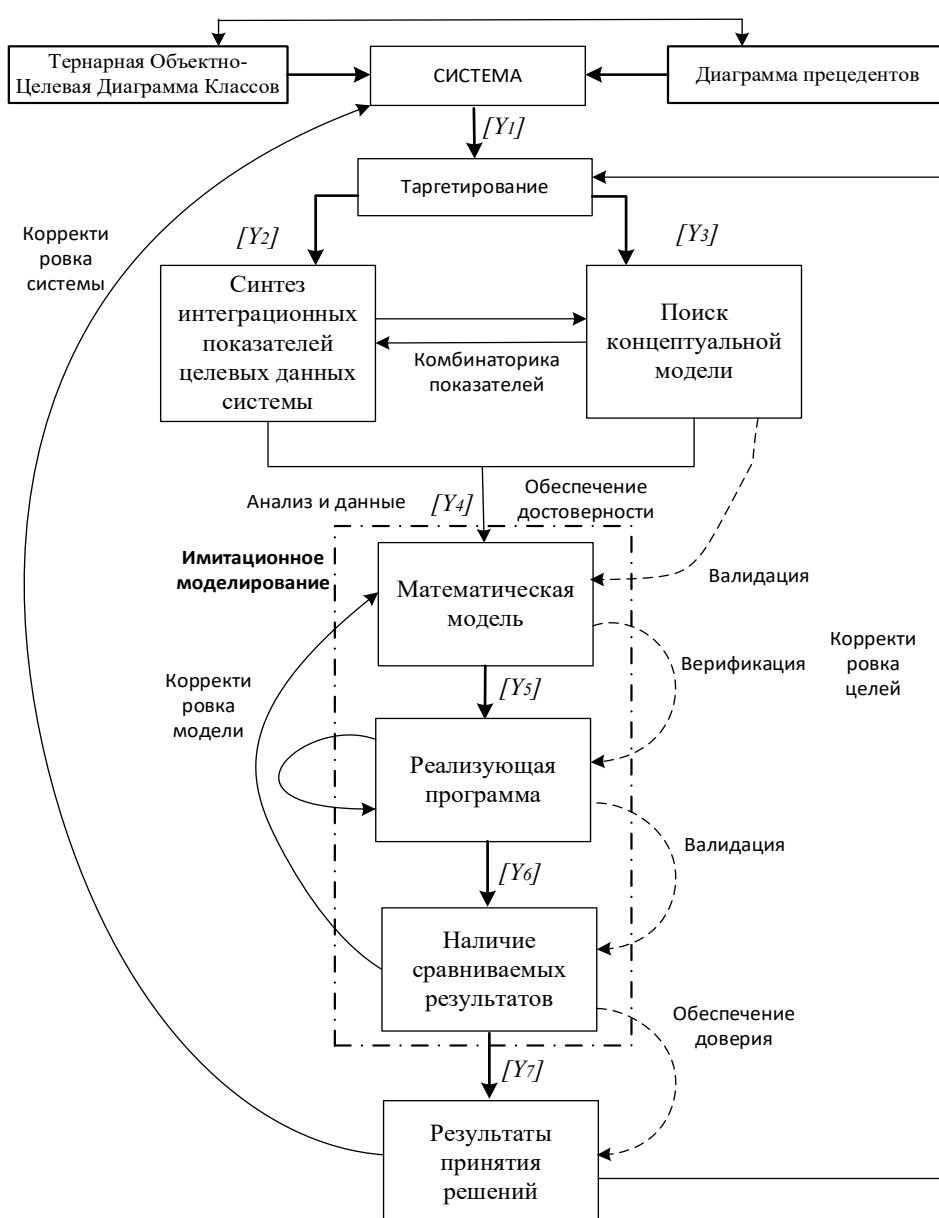


Рисунок 3 – Архитектура анализа и синтеза СРОСРЗ

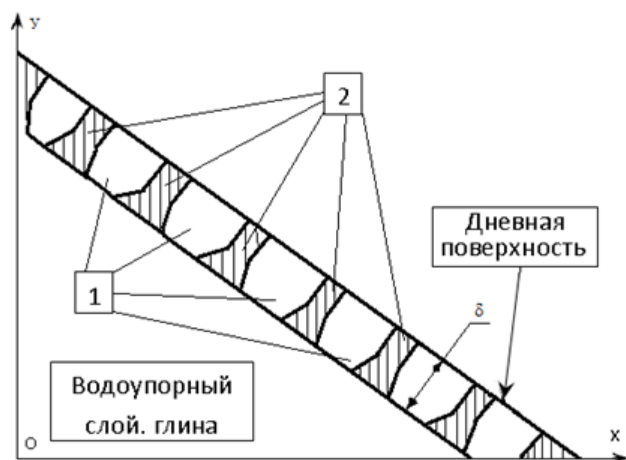


Рисунок 4 – Схема обработанного склона новым способом

В диаграмме классов оборудования, через «зависимость» «орудие для склона» – возникает необходимость реализации создания технологии обработки почвы склонов на базе глубокого рыхления, с устройством необработанных промежутков между разрыхленными областями. На рисунке 4 показан склон, обработанный новым способом на глубину $\delta = 0,60$ м. На нём обозначены 1 – разрыхленные области; 2 – внутрипочвенные стенки из переуплотнённой почвы, препятствующие стеканию подвижной влаги на склоне. По оси x – длина склона по горизонтали, по оси y – высота склона.

Для внутрипочвенного влагоудержания обработка почвы должна вестись поперёк склона. Исходя из этого создан способ обработки склоновых почв, направленный на разрыхление переуплотнённых слоёв с одновременной способностью повышенной влагопроницаемости и влагоёмкости обработанного горизонта, а также удержанием внутрипочвенной влаги на склоне (патент на изобретение № 2255450).

В третьей главе «Создание математической модели устойчивости обработанного новым ресурсосберегающим процессом влагонасыщенного пласта почвы»

на склоне» приведена модель для оценки устойчивости склона во влагонасыщенном состоянии, обработанного инновационной мелиоративной обработкой, направленной на аккумуляцию внутрипочвенной влаги на склоне и повышению скважности обрабатываемой почвы.

Допустим, в первом приближении, что области разрыхления, образующиеся от стойки глубокорыхлителя чизельного типа, имеют вид перевёрнутых трапеций, а внутрипочвенные стенки из переуплотненной почвы (целяки) будут в виде треугольников. Толщина рассматриваемого слоя на склоне – 0,60 м. Предложенные фигуры, составляющие разработанный слой почвы на склоне, располагаются в чередующейся последовательности. Общая расчётная схема обработанного пласта почвы на склоне, с учитываемыми возможными внешними силовыми факторами, воздействующими на рассматриваемые фигуры, представлены на рисунке 5.

При постановке задачи были определены следующие базовые элементы: область разрыхления от стойки глубокорыхлителя чизельного типа представлена в виде перевёрнутой трапеции; уплотненная внутрипочвенная стенка – в виде треугольника.

Поверхность нижележащего подпорного слоя земли, по которому возможен сдвиг напряженно-деформированного слоя почвы (влагонасыщенного и обработанного глубокорыхлителем чизельного типа) также допустим параболическим и геометрически гладким; сдвиг слоев почвы происходит по параболической кривой, ее уравнение задаётся следующим образом:

$$y = f(x) = -\frac{h}{l^2}x^2 + h,$$

где h и l – высота и длина склона соответственно; разрыхлённые и уплотнённые участки обработанного слоя почвы будем считать однородными, изотропными и линейными; поверхность склона геометрически гладкая; допустим нахождение на склоне энергонагруженной сельскохозяйственной техники, тогда: Q – вес трактора, грузового автомобиля, и т.п.; X_Q , Y_Q – координаты положения транспортного средства.

Исходя из этого, полагаем, что: $\Delta = const$ средняя линия трапеции; $\delta = const$ толщина обрабатываемого слоя почвы; в каждом элементе будем пренебрегать кривизной основания и стенок, полагая, что размеры элемента достаточно малы по сравнению со всем склоном; плотность земляного покрова в трапеции – $\gamma_j = const$, в треугольнике – $\gamma_i = const$; обрабатываемый склон считаем параболическим.

В модели рассматривается обрабатываемый склон в целом, не выделяя характерных участков. Представив разрыхленные участки на склоне как совокупность материальных тел, допускаем, что на каждый j -й элемент (трапеция) действуют следующие внешние силы:

1) $G_j = const = \Delta \delta \gamma_j$ – сила тяжести;

2) $N_j = G_j \cos \alpha_j$ – сила реакции опоры, где $\cos \alpha_j = \sqrt{\frac{1}{1+[f'(x_j)]^2}}$;

3) $F_j = f_j G_j \cos \alpha_j$ – сила сцепления, где f_j – коэффициент сцепления грунта (супесь, суглинок), принимает минимальное значение в сухом и в увлажнённом состоянии.

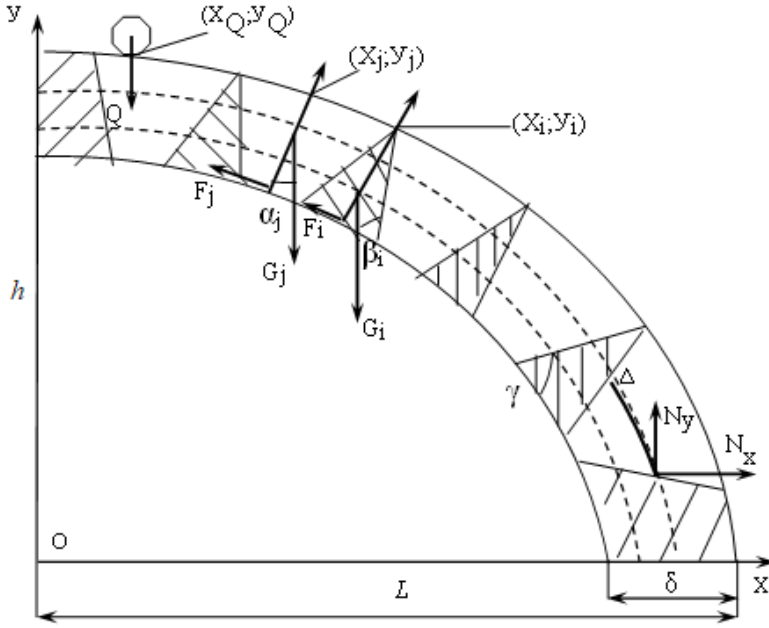


Рисунок 5 – Общая расчётная схема обработанного слоя почвы на склоне

На каждый i -й элемент (треугольник) действуют следующие внешние силы: $G_i = \Delta^2 \gamma_i \text{ctg} \gamma$ – сила тяжести; $N_i = G_i \cos \alpha_i$ – сила реакции опоры, где $\cos \alpha_i = \sqrt{\frac{1}{1+[f/(x_i)]^2}}$; $F_i = f_i G_i \cos \alpha_i$ – сила сцепления, где f_i – коэффициент сцепления грунта (супесь, суглинок), принимаем минимальное значение в сухом и в увлажнённом состоянии, то есть для каждого элемента задаём плотность и коэффициент сцепления – тем самым учитываем неоднородность обработанного пласта почвы на склоне.

Максимальный угол наклона обработанного участка к горизонту составляет не более 22° . Граничные условия – длина склона $l = 500$ м; высота склона по общей вертикали $h = 50$ м. Обработанный склон с устроенными внутрипочвенными стенками рассматривается в целом и как механическая система, состоящая из абсолютно твёрдых тел, то расчёт устойчивости по предельному состоянию удобно провести, используя условия равновесия произвольной плоской системы сил для схемы, показанной на рисунке 5. Так как известно значение силы сцепления в критическом случае, то для данной задачи по устойчивости влагонасыщенного обработанного пласта почвы на склоне уравнения предельного равновесия примут вид неравенств:

$$\sum_k F_{kx} \leq 0; \sum_{j=1}^n G_j (\sin \alpha_j - f \cos \alpha_j) \cos \alpha_j + \sum_{i=1}^n G_i (\sin \alpha_i - f \cos \alpha_i) \cos \alpha_i + N_x \leq 0; \quad (1)$$

$$\sum_k F_{ky} \geq 0; \sum_{j=1}^n G_j (\sin \alpha_j - f \cos \alpha_j) \sin \alpha_j + \sum_{i=1}^n G_i (\sin \alpha_i - f \cos \alpha_i) \sin \alpha_i + N_x - Q \geq 0; \quad (2)$$

$$\sum_k M_O(\vec{F}_k) \geq 0; \sum_{j=1}^n G_j \sin \alpha_j \cos \alpha_j y_j^* + \sum_{i=1}^n G_i f_i \cos^2 \alpha_j y_j^{**} - \sum_{j=1}^n G_j \sin^2 \alpha_j x_j^{**} - \sum_{i=1}^{n-1} G_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i y_i^* + \sum_{i=1}^{n-1} G_i f_i \cos^2 \alpha_i y_i^{**} - \sum_{i=1}^{n-1} G_i \sin^2 \alpha_i x_i^* + \sum_{i=1}^{n-1} G_i f_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i x_i^{**} - Q x_Q + N_y x_N - N_x y_N \geq 0, \quad (3)$$

где: $n = \frac{\int_0^l \sqrt{1+f/(x)^2} dx - S_{\text{НЕОБР}} + \Delta - \delta \text{ctg} \gamma}{2\Delta - \delta \text{ctg} \gamma}$; $S_{\text{необр}}$ – протяжённость необработанного слоя;

$f(x)$ – уравнение параболы, проходящей через среднюю линию трапеции; $x_j^* = x_j - h_1 \cos \alpha_j$, $x_i^* = x_i - h_1 \cos \alpha_i$, $y_j^* = y_j - h_1 \sin \alpha_j$, $y_i^* = y_i - h_2 \sin \alpha_i$, $x_j^{**} = x_j - \delta \cos \alpha_j$, $x_i^{**} = x_i - \delta \cos \alpha_i$, $y_j^{**} = y_j - \delta \sin \alpha_j$, $y_i^{**} = y_i - \delta \sin \alpha_i$, $h_1 = \delta - \frac{1}{2}(b-a) \text{tg} \gamma$, $h_2 = \frac{2}{3} \delta$, γ – угол при основании треугольника. Если грунт удерживается в состоянии равновесия, то $N_x = N_y = 0$. Таким образом, мы получили условия равновесия влагонасыщенного слоя почвы на склоне, обработанного глубоким рыхлением до 0,6

м, с одновременным устройством внутрипочвенных стенок поперек склона, имеющего параболическую поверхность. Для решения полученных неравенств (1), (2), (3) используем численный метод вычислений. Для этого использовался пакет компьютерных программ "Maple 7". В результате решения составленных неравенств (1), (2), (3) доказано, что обработанный исследуемым способом верхний горизонт в данной постановке задачи устойчив с большим запасом устойчивости.

На основании полученных результатов исследований области разрыхления, образующейся от применения стойки комплекса орудий для глубокого рыхления на базе чизеля ГНЧ-0,6М (глава 4) был получен уточнённый профиль обработанного склона. Уточнённая схема разрыхлённых и переуплотнённых участков на склоне с воздействующими на них силовыми факторами представлена на рисунке 6. Как видно из схематичного вида разуплотнённого горизонта почвы на склоне, внутрипочвенная стенка, на самом деле образуется в виде трапеции с прямоугольной частью сверху. Следовательно, это вызывает изменения формы профиля и в разуплотнённой части.

Вид, а также примерные размеры внутрипочвенной стенки и разрыхленного участка, образующиеся при разрыхлении почвы на склоне стойкой комплекса орудий для глубокого рыхления на базе чизеля ГНЧ-0,6М, приведены в рисунке 7. При исследовании влагонасыщенного склона, с устроенными внутрипочвенными стенками на устойчивость необходимо учесть, что увлажнение обработанного слоя по высоте происходит неравномерно. Возникает необходимость выполнять анализ устойчивости обработанного склона почвы новой мелиоративной обработкой по характерным слоям. Обычно, вначале происходит смачивание слоя почвы на 25 – 30 – 35 см. Следовательно, он имеет профиль в виде чередующихся, больших (разрыхленных участков) и малых (переуплотнённых промежутков) прямоугольников. Второй слой будет начинаться с глубины 30 – 35 см до 60 см, как чередующиеся из переуплотнённой почвы трапеции с разрыхленными участками. Анализ полученных данных позволяет утверждать, что переувлажнённые верхний и нижний слои почвы склона, обработанного новой мелиоративной основной обработкой на базе глубокого рыхления устойчивы. Достигнутые результаты проведённого численного эксперимента хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными при проведении натурных исследований, представленных в главе 6. Это говорит о применимости поставленной математической модели к исследованию равновесного состояния для склонов любого профиля (описываемого гладкой кривой) с любым составом почвы и с любой степенью атмосферного увлажнения.

Отличительные особенности разработанной новой адекватной модели устойчивости склона, обработанного новой мелиоративной основной обработкой на базе глубокого рыхления следующие:

1) применяется поверхность скольжения в виде гладкой непрерывной линии с учётом сил трения (поверхность скольжения произвольного профиля в общем случае неизвестна заранее), в отличие от рассмотренных близких методов, в которых используется поверхность скольжения с точками перехода, что значительно усложняет расчёты, не повышая их точность;

2) в новой модели устойчивости рассматривается двухфазная среда с различными физико-механическими свойствами;

3) прилагаемые усилия в рассматриваемых участках не приводятся к равнодействующей;

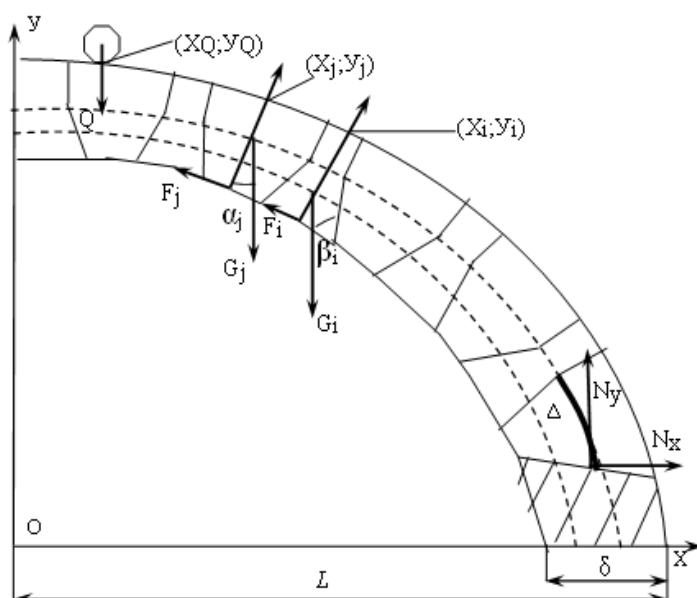


Рисунок 6 – Уточнённая расчётная схема обработанного слоя почвы на склоне

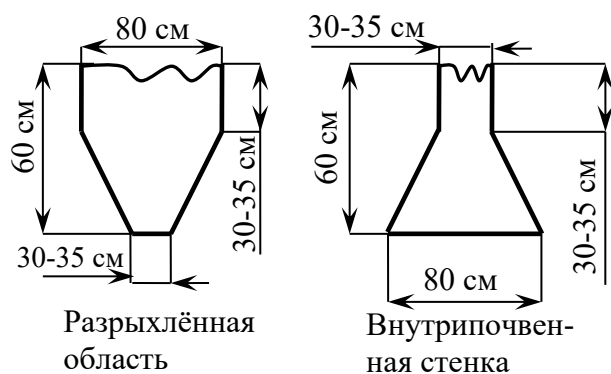


Рисунок 7 – Схема разрыхлённой области и внутрипочвенной стенки

В четвёртой главе «Разработка математической модели внутрипочвенного влагопереноса на обработанном склоне с образованными внутрипочвенными стенками» представлены категории (формы) и состояния почвенной воды, математическая постановка модели динамики влагопереноса в обрабатываемом слое почвы на склоне с обоснованием выбора программного комплекса *FlexPDE*. Расчёты сценариев увлажнения, отражающие реологические свойства естественного промокания обработанного склона новым способом. Рассматривается процесс промачивания почвы при поступлении воды на её поверхность посредством дождевания. Движение влаги в обработанной зоне происходит по законам фильтрации при неполном насыщении почвенного горизонта. В исследуемом процессе увлажнения обработанного верхнего горизонта почвы, предполагаем, что скелет почвы не деформируем, давление почвенного воздуха равно атмосферному, почвенная влага несжимаема, влагоперенос происходит под действием капиллярных и гравитационных сил, явлением гистерезиса можно пренебречь. Считаем процесс передвижения воды изотермическим и учитываем изменение капиллярно-сорбционных сил. Используем декартову систему координат. Получено уравнение влагопереноса:

4) в представленной модели используется только один глобальный критерий прочности – коэффициент сцепления грунта, что позволяет наиболее точно проводить анализ (Ю.Н. Работнов); 5) используемые в нашей модели блоки обрабатываемого слоя почвы, имеют разную геометрическую конфигурацию и неодинаковые механические свойства.

При граничных условиях: длина склона $l = 500$ м; высота склона по общей вертикали $h = 50$ м, уклон поля будет примерно $5,7^\circ$. В результате вычислений получаем, что сумма проекций всех сил на ось X будет величина отрицательная.

Сумма проекций всех сил на ось y величина положительная. Сумма моментов всех сил относительно начала координат – точки O (рисунок 5) – величина положительная. По полученным значениям сделан вывод о том, что исследуемый верхний горизонт склонового возделываемого агроландшафта до $5,7^\circ$, обработанный инновационным способом в данной постановке задачи устойчив.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_1 \frac{\partial \psi}{\partial x} + K_1 \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_2 \frac{\partial \psi}{\partial y} + K_2 \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_3 \frac{\partial \psi}{\partial z} + K_3 \frac{\partial z}{\partial z} \right)$$

где K_i , $i = 1, 2, 3$ – коэффициенты пропорциональности.

Величины K_i и $\frac{\partial \psi}{\partial \theta}$, $i = 1, 2, 3$ отражают свойства почвы и зависят от ее влажности.

Нелинейное уравнение диффузии влаги в почве:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_1 \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_2 \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_3 \frac{\partial \theta}{\partial z} \pm K \right),$$

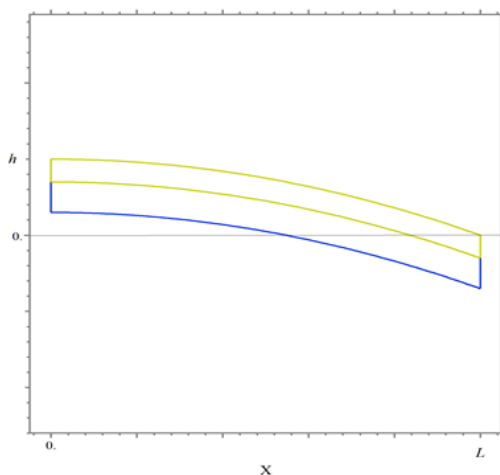
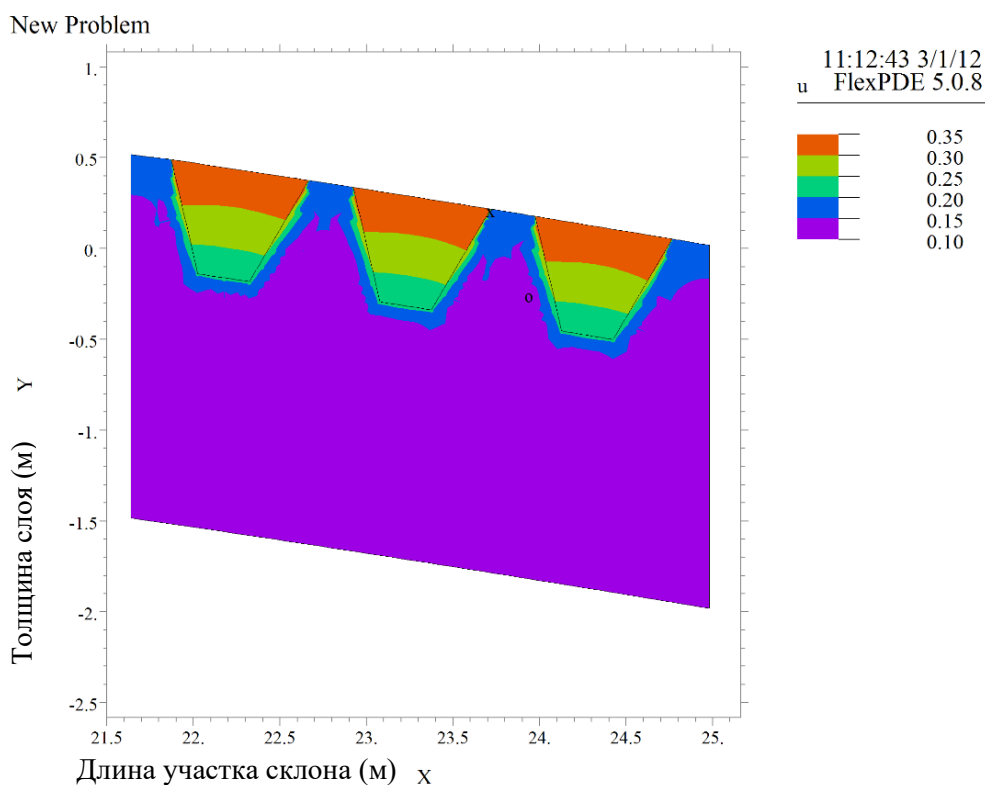


Рисунок 8 – Расчетная область

где $K = K_3$; знак (+) относится к нисходящему движению, а знак (-) – к восходящему движению влаги в почве; $K = K(\theta)$ коэффициент влагопроводности; $D_i(\theta)$, $i=1,2,3$ – коэффициент диффузии почвы (или диффузивность) в направлениях x , y , z соответственно. Схема области, созданная во FlexPDE, изображена на рисунке 8. По абсциссе отражена длина склона L , а по ординате высота h . Расчетную область считаем двумерной. Расчетная область состоит из двух подобластей. Переуплотненных участков основного массива почвы и разрыхленных, трапецидальных расположенных в верхней шестидесятисантиметровой части склона.

Процесс промокания обработанного пласта почвы занимает определенное время. Исходя из этого целесообразно разбить его на несколько этапов: 0,135 суток; 0,385 суток; 1 сутки; 2 суток (рисунки 9, 10, 11, 12) и рассчитать в программном комплексе FlexPDE. Рассматриваются осадки интенсивностью $I = 60$ мм/сут.



3: Cycle=4864 Time= 0.0135 dt= 2.3425e-6 p2 Nodes=1288 Cells=597 RMS Err= 8.5e-5
Integral= 1.090596

Рисунок 9 – Линии уровня влагосодержания при 0,135 суток

На рисунках 10 видно, что внутрипочвенная влага на момент времени 0,385 суток содержится почти на 43 % больше в разуплотнённых областях склона, чем во внутрипочвенной стенке. Следовательно, это позволяет фиксировать удержание влаги на

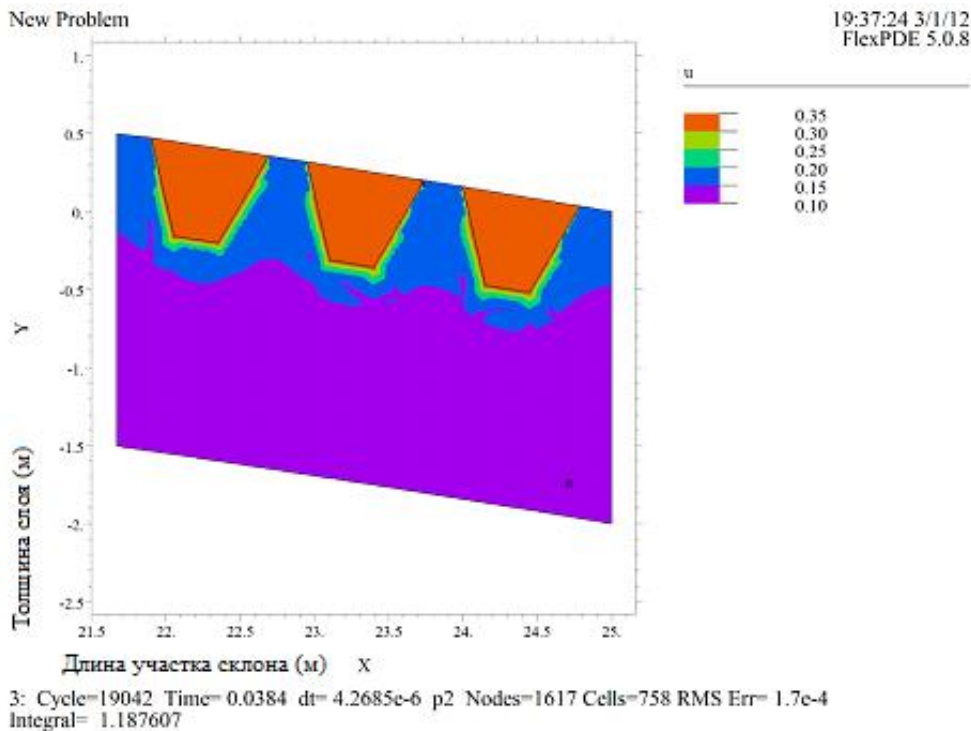


Рисунок 10 – Линии уровня влагосодержания при 0,385 суток

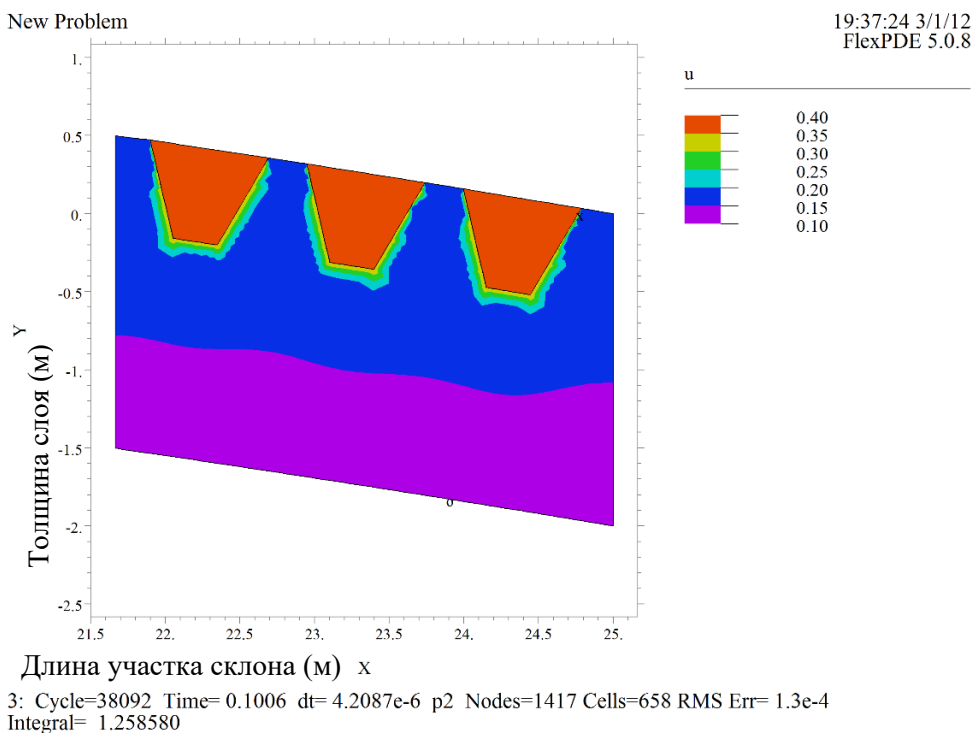
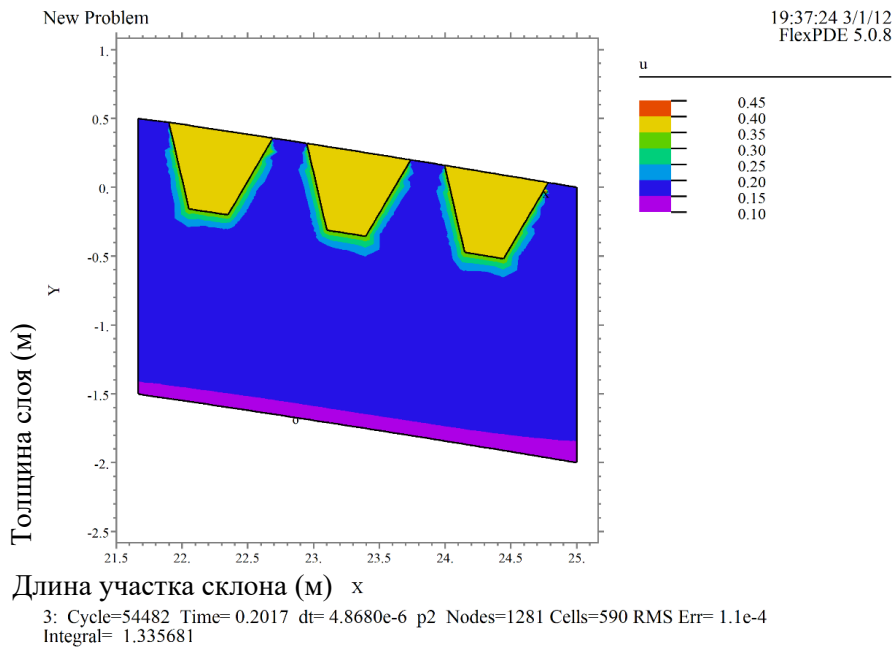


Рисунок 11 – Линии уровня влагосодержания при 1,0 сутки

склоне в разрыхленных промежуточных, при этом она минимально диффузирует в окружающие не разрыхленные слои почвы. Анализ линий уровня влагосодержания, векторного поля течения влаги в почве, влагонасыщения в обработанном горизонте (рисунки 11, 12) показал, что наполненность разрыхленной области на выделенном участке склона имеет равномерный повсеместный характер, что свидетельствует о необходимом влагонакоплении.

Таким образом гипотеза, что внутрипочвенная стенка является преградой для движения внутрипочвенной влаги на склоне, имеет



верификационное подтверждение. Накопленная внутрипочвенная влага в разрыхленных областях выделенного участка склона гарантированно удерживается в них.

Рисунок 12 – Линии уровня влагосодержания при 2,0 суток

В пятой главе «Совершенствование конфигурации элементов системы деформаторов комплекса орудий глубокого рыхления» обоснована форма профиля стойки используемого глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М и архитектура его инновационной системы деформаторов. Исследован процесс взаимодействия разрыхляемого пласта почвы с нижней частью глубокорыхлителя на глубину более 45 см.

Форма стойки в поперечной проекции должна быть ломаной. Это необходимо для повышения качества крошения разуплотняемого пласта. Почва на глубине 30 – 60 см зачастую имеет очень высокую плотность $1,9 - 2,2 \text{ г/см}^3$, поэтому такая консолидированность почвенных комочков обеспечивает возможность большим кускам земли, отломанным от разуплотняемого пласта, попросту скользить по гладкому профилю стоек, практически не разрушаясь. Следовательно, происходит не разрушение отдельных больших кусков и выворот на дневную поверхность этих больших глыб из сверхпереуплотнённой почвы, которые находились в нижних горизонтах разуплотняемого слоя. Использование стойки с ломаным профилем позволяет увеличить разрушающее воздействие на сверхплотные отдельные глыбы – они будут упираться в углы стойки, что будет приводить к возникновению в комьях дополнительных разрушающих деформаций, при этом углы развала с фронтальной стороны стойки не должны создавать излишнего налипания на стойку. Также фронтальная часть стойки должна быть заострена.

Классическая плоская форма клина (наральник) будет производить стружку в виде «отделения пласта сколом» (рисунок 13). При этом сколотая часть пласта скользя по передней плоскости долота должна «выскальзывать» (выдавливаться) в сторону своей ближайшей свободной (дневной) поверхности поля – линия AA_2 . Но контур AA_2 при глубоком рыхлении не является внешней дневной поверхностью, поскольку при рыхлении на глубину более 45 сантиметров деформационные кривые OA_1 , O_1A_2 диссипируют в толще разуплотняемого слоя почвы на глубине h, h' . Следовательно, наблюдается иная картина деформационного развития разрыхляемого слоя. Это сопровождается процессом вдавливания образованных почвенных клиньев подклинивающихся и

поворачивающихся элементов стружки OAA_1 ($O_1A_1A_2$) в лежащий выше линии AA_2 слой почвы, толщиной h , h' .

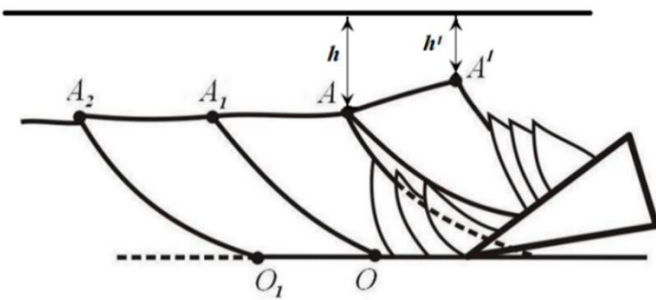


Рисунок 13 – Вид модели деформации пласта связной почвы под действием клина на глубине 50 см

Такое взаимодействие наральника с почвой на глубине более 45 сантиметров требует значительно большей энергии, что ведёт соответственно и к увеличению тяговых сопротивлений (рисунок 13). Отметим, что глубина залегания h_i точек поворота элементов стружки A_1 , A , A' зависит в том числе и от механического состава разуплотняемой почвы.

Граненная поверхность наральника помимо снижения тяговых сопротивлений позволяет одновременно повысить эффективность рыхления переуплотненной почвы. Это позволяет получить увеличение в среднем, в 2 – 3 раза количества деформационных трещин. Возникновение деформационных трещин в разрыхляемом слое, возникающих от воздействия классического плоского и экспериментального многогранного наральника схематично показано на рисунке 14, что нашло отражение в патенте на изобретение № 2742657.

Для улучшения качества крошения обрабатываемого пласта почвы необходимо установить в систему деформаторов стойки глубокорыхлителя дополнительные рыхлящие элементы. Этими элементами являются наклонные почвоподъёмники. В результате проведенного исследования различных напряжённо-деформированных состояний наклонных почвоподъёмников конечных размеров, прямого профиля, постоянного сечения, симметрично расположенных на стойке с защемленными медиальными краями, одинаковой жёсткости следует, что наиболее приемлемая толщина предлагаемых почвоподъёмников будет 7 мм. В результате исследований получаем, что почвоподъёмники имеют форму трапеции, наклонная сторона которых является внутренней и прилежит к стойке. Длина основания по передней части двух почвоподъёмников вместе с толщиной стойки составляет 40 см.

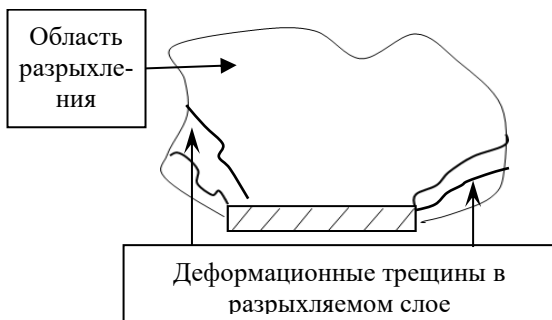


Рисунок 14а – Вид области разрыхления плоского наральника (долота)



Рисунок 14б – Вид области разрыхления от инновационного наральника

Рисунок 14 – Схема образования деформационных трещин

Ширина почвоподъёмника по наружной стороне составляет $2/3$ его длины, а ширина по внутренней стороне составляет половину его длины. Схема почвоподъёмника представлена на рисунке 15. Данная форма почвоподъёмников подтверждена патентом на изобретение № 2694571. Концепция использования глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М предполагает его универсальное применение за счёт изменения его структуры путём

комплексования набора элементов, соответствующих поставленным задачам исследований. То есть он предусмотрен для рыхления обрабатываемых склоновых земель

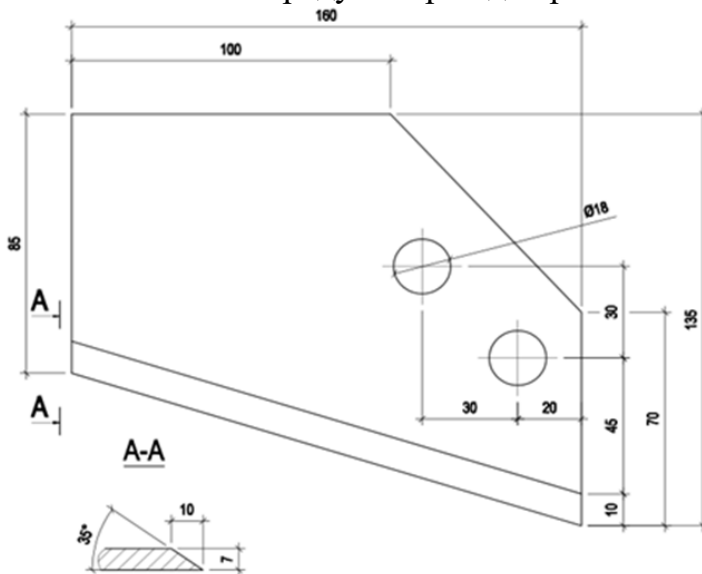


Рисунок 15 – Схема почвоподъёмника (левый) и шага их установки на орудии, а также изменяемыми соответствующими архитектурами системы деформаторов самих стоек.

Исходя из проведенного целевого анализа создания способа и технических средств для мелиоративной обработки склоновых и равнинных земель, повышающих их влагонакопление и возможных конфигураций системы деформаторов ГНЧ-0,6М имеем три базовые варианта компоновки орудия. В каждом его базовом варианте предусматривается использование инновационного наральника, относящегося к вертикальным элементам системы деформаторов стоек орудия. Одним из ключевых изменений является размещение на стойках горизонтальных элементов системы деформаторов – почвоподъёмников.

Первая базовая компоновка орудия – «Глубокорыхлитель сверхпереуплотнённых равнинных земель» (ГСРЗ). Глубокорыхлитель в режиме «Обработка равнин» имеет следующую архитектуру его системы деформаторов. Стойки расположены в шахматном порядке: две спереди и три сзади. Расположение горизонтальных элементов системы деформаторов – почвоподъёмников – на расстоянии 15 см от носка наральника по общей вертикали. Такое расположение почвоподъёмников у ГСРЗ даёт возможность "вскрывать" сверхпереуплотнение равнинных участков, когда плотность почвы достигает от 2 – 2,2 г/см³ и более. Это позволит восстановить водно-воздушный баланс верхнего слоя почвы глубиной до 60 см и нормализует показатели его по плотности, что особенно актуально для находящихся в деградационном тренде обрабатываемых земель юга России.

Вторая базовая компоновка орудия – «Глубокорыхлитель равнинных земель» (ГРЗ) предполагает рыхление переуплотнённых почв до 2 г/см³ на глубину до 60 см. Глубокорыхлитель ГНЧ-0,6М также находится в режиме «Обработка равнин» – стойки расположены в шахматном порядке: две спереди и три сзади. Но горизонтальные элементы системы деформаторов – почвоподъёмники, помимо текущего их расположения – на расстоянии 15 см от носка наральника по общей вертикали они дополнительно установлены и на носке наральника. ГРЗ предполагает рыхление переуплотнённых

новым мелиоративным способом, направленным на разуплотнение верхних переуплотнённых слоёв почвы на глубину 60 см при обеспечении гарантированной повышенной влагопроницаемости, влагоёмкости обработанного горизонтального поля и удержания (сохранения) внутрипочвенной влаги на обработанном склоне. Вместе с тем ГНЧ-0,6М используется для основной мелиоративной обработки глубоким рыхлением до 60 см переуплотнённых равнинных агроландшафтов. Это дости-

гается изменением количества стоек

почв до 2 г/см^3 на глубину до 60 см. Стойки расположены в шахматном порядке: две спереди и три сзади.

Третья базовая компоновка ГНЧ-0,6М – «Глубокорыхлитель склоновых земель» (ГСЗ). Глубокорыхлитель находится в режиме «Обработка склонов» и имеет следующую архитектуру его системы деформаторов. Стойки расположены в один ряд – три сзади. Расположение горизонтальных элементов системы деформаторов – почвоподъёмников – закреплены на носке наральных стоек. Это позволяет обрабатывать возделываемые склоновые земли новым агромелиоративным способом, с плотностью почвы до $2,2 \text{ г/см}^3$. Такое расположение почвоподъёмников у ГСРЗ даёт возможность разуплотнить и как следствие резко увеличить впитываемость, аккумуляцию внутрипочвенной влаги обработанного 0,6 м горизонта земли на склоне, что качественно улучшит её физико-механические свойства.

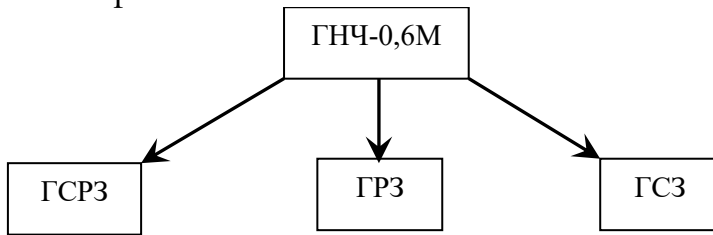


Рисунок 16 – Схема структуры компоновки комплекса глубокорыхлителей

Исходя из этого структура компоновки инновационного комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М включает в себя три орудия для глубокого рыхления склоновых и равнинных земель (рисунок 16).

В шестой главе «*Результаты лабораторно-полевых исследований эксплуатационно-технических характеристик экспериментальных чизельных глубокорыхлителей*» приведены: методика оценки области разрыхления, возникающей от пенетрации стойки орудия для рыхлителей с глубиной обработки от 0,40 м и более; анализ области разрыхления от стойки инновационного комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М; валидация эксплуатационных характеристик инновационного глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в ФГБУ Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция (МИС) г. Зерноград Ростовской области; натурные испытания глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М на полях Зерноградского района Ростовской области.

Экспериментом предусматривалось внедрение орудия в вертикальную стенку траншеи с предварительно нанесенной на её масштабной разметной сеткой, на расстояние 2,0 – 2,5 м при фиксации процесса взаимодействия съемкой на видеокамеру и фотоаппарат. Для этого экскаватором отрывалась траншея длиной не менее 15 м, глубиной $h_{тр} = 1,1 \text{ м}$, шириной в верхней части $a = 2,0 \text{ м}$, а в нижней – $b = 0,8 \text{ м}$. Исследовались 3 различные конфигурации системы деформаторов экспериментальных орудий на базе ГНЧ-0,6М. Повторность каждого опыта – 3-х кратная.

Опыт № 1. На стойке закреплена пара почвоподъёмников, на расстоянии 15 см от носка наральника по общей вертикали. Установлено, что область разрыхления, полученная от пенетрации стойки ГНЧ-0,6М с системой деформаторов, показанная на рисунке 17а имеет вид, представленный на рисунке 17б. Форма области разрыхления приближенно имеет вид перевернутой усечённой пирамиды общей площадью в пределах $0,30 - 0,35 \text{ м}^2$, с зауженной нижней половиной.

Опыт № 2. Схема расположения почвоподъёмников – как в опыте № 1, но с добавлением второй пары почвоподъёмников, которые закреплялись на носке наральника

(рисунок 18а). Контур полученной области разрыхления (рисунок 18б) имеет ковшеобразную форму.

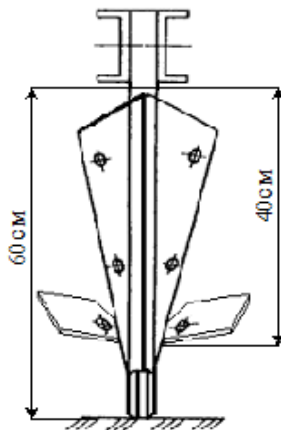


Рисунок 17а Схема расположения системы деформаторов ГНЧ-0,6М – опыт № 1

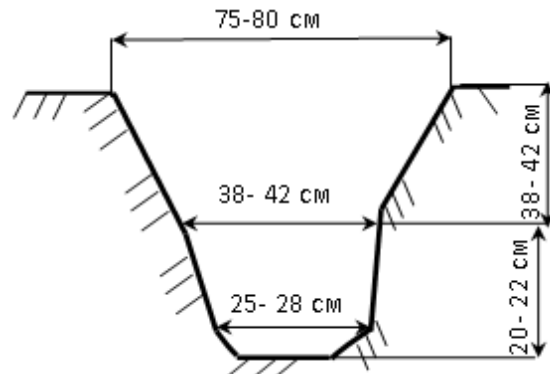


Рисунок 17б

Схема контура области разрыхления, образующейся, от данной конфигурации системы деформаторов ГНЧ-0,6М

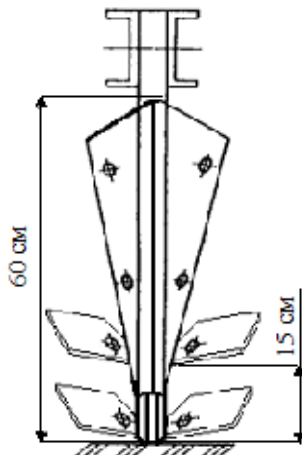


Рисунок 18а

Схема расположения системы деформаторов ГНЧ-0,6М – опыт № 2

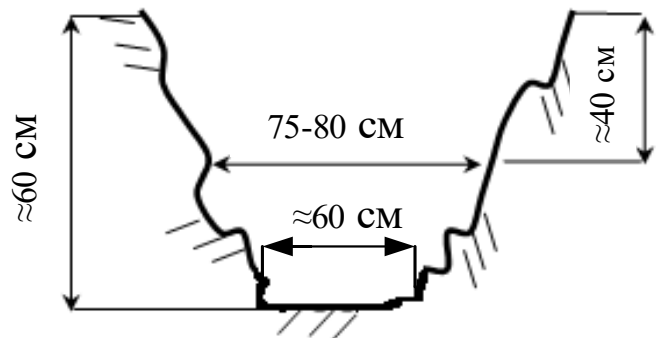


Рисунок 18б

Схема контура области разрыхления, образующейся, от данной конфигурации системы деформаторов ГНЧ-0,6М

Установленные нижние почвоподъемники дополнительно расширяют область разрыхления в нижней части, причем её края имеют сильно рваный профиль. Общая площадь разрыхления в этом случае лежит в пределах $0,34 - 0,40 \text{ м}^2$. Полученный контур области разрыхления наиболее подходит для интенсивного разуплотнения земель на равнинных участках, количество стоек, закреплённых на раме равно 5 шт. Данная конфигурация системы деформаторов наиболее энергетически затратная, что компенсируется улучшенным качеством крошения обрабатываемого пласта и, как следствие, получаемым высоким урожаем возделываемых культур.

В опыте № 3 исследовалась третья конфигурация системы деформаторов стойки ГНЧ-0,6М. Пара почвоподъемников закрепляется только на носке наральника (рисунок 19а). В результате получена область разрыхления, форма которой наибольшим образом подходит для обработки склонов новым мелиоративным способом. Контур её показан на рисунке 19б. Общая площадь разрыхления в этом случае лежит в пределах $0,36 - 0,40 \text{ м}^2$. Такой диапазон является наиболее подходящим для наилучшей аккумуляции внутрипочвенной влаги и устойчивости обработанного влагонасыщенного склона новым способом в данной почвенной разности в указанных условиях (глава 3).

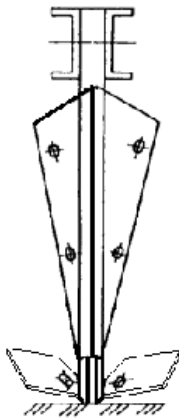


Рисунок 19а

Схема расположения системы деформаторов ГНЧ-0,6М – опыт № 3

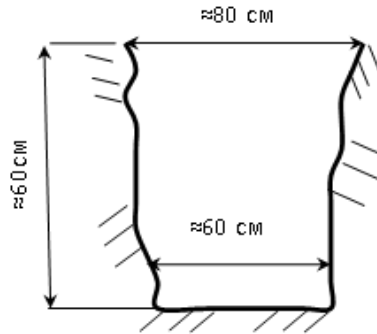


Рисунок 19б

Схема контура области разрыхления, образующейся, от данной конфигурации системы деформаторов ГНЧ-0,6М

Анализ полученных данных, приведенных на рисунках 17а, 17б, 18а, 18б и 19а, 19б показал, что создание необходимой оптимальной области разрыхления получается в опыте № 3, в котором почвоподъемники находятся на носке наральника в крайней нижней точке рабочего органа глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М. Такая форма и размер области разрыхления наиболее полно удовлетворяет необходимым условиям по аккумуляции внутрипочвенной влаги на склоне, требованиям устойчивости и развитию корневой системы растений. Следовательно, расположение на раме орудия трёх стоек (две передних демонтируются) с расположением почвоподъемников на носке наральника – это подготовленное орудие для глубокого рыхления почвы новым мелиоративным способом в режиме «Обработка склонов».

Архитектуры системы деформаторов стойки ГНЧ-0,6М используемые в опытах № 1 и № 2, как показали результаты исследований, наилучшим образом подходят для обработки равнинных участков. Таким образом, расположение стоек на раме орудия – две спереди и три сзади, в шахматном порядке с закреплением почвоподъемников на высоте 15 см от носка наральника по общей вертикали или тоже плюс дополнительная пара на носке наральника – это подготовленное орудие ГНЧ-0,6М для режима «Обработка равнинных участков». Проведёнными приёмочными испытаниями в ФГБУ Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция (МИС) г. Зерноград Ростовской области в целом подтвердились заявленные эксплуатационно-технические характеристики ГНЧ-0,6М. Планом испытаний предусматривалось: первичная техническая экспертиза глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М; исследования агротехнических показателей при лабораторно-полевых испытаниях; валидация энергетических показателей чизеля ГНЧ-0,6М; анализ эксплуатационно-технологических показателей; исследования показателей безопасности и эргономичности конструкции ГНЧ-0,6М; проверка конструкции глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М по критериям надёжности.

По результатам исследований составлен «Протокол приёмочных испытаний глубокорыхлителя навесного чизельного ГНЧ-0,6М».

По первому пункту отмечены следующие недостатки: отсутствие транспортной таблички, лакокрасочного покрытия, надписей по технике безопасности и мест для смазки, строповки и зачаливания. Однако эти недостатки не влияют на технические характеристики орудия.

По второму пункту. Агротехническая оценка проводилась по ГОСТ 33736-2016. Влажность обрабатываемого слоя почвы отвечала требованиям ТЗ и СТО АИСТ 4,6 (до

30 %) и находилась в пределах 14,3 – 17,9 % при твёрдости почвы 0,28 – 3,85 МПа (до 4,0 МПа). Длина растительных и пожнивных остатков составляла 8,08 см, что соответствует требованиям СТО АИСТ 4,6 (до 25 см). Было установлено, что значения показателей, указанных в техническом задании, отличаются от данных испытаний не критично. По показателям качества выполняемого технологического процесса: рабочая ширина захвата – 2,7 м, коэффициент вариации 2,11 %; глубина обработки – до 60 см, коэффициент вариации 4,9 %; крошение почвы – размер фракций от 0 до 50 мм составляет 88 % от объёма разрыхленной части, а фракции, размером более 100 мм – 5,4 %.

По третьему пункту. Энергетическая оценка экспериментального глубокорыхлителя навесного чизельного типа ГНЧ-0,6М проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52777-2007. Глубокорыхлитель испытывался в агрегате с трактором К-744. При основной безотвальной обработке почвы по дискованной стерне озимой пшеницы были получены следующие энергетические показатели – таблица 1.

Таблица 1 – Энергетические показатели экспериментального ГНЧ-0,6М

Показатель	Значение
Режим работы:	
– скорость движения, км/ч	6,4
– ширина захвата, м	2,7
– глубина обработки, м	0,56 – 0,60
– производительность за час основного времени, га/ч	1,7
Часовой расход топлива, кг/ч	54,4
Мощность, потребляемая машиной, кВт	106,3
Удельные энергозатраты машины, МДж/га	228,7
Тяговое сопротивление машины, Н	59700

В процессе обработки почвы на заданную глубину забивание и залипание рабочих органов глубокорыхлителя не наблюдалось. По четвёртому пункту. Эксплуатационно-технологическая оценка показала высокую технологическую оценку работы ГНЧ-0,6М, это подтверждает высокий коэффициент надёжности технологического процесса равный 1,0 при требовании СТО АИСТ 4,6 – 0,99.

Проведенные испытания в ФГБУ Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция (МИС) г. Зерноград Ростовской области позволили установить, что экспериментальный глубокорыхлитель чизельного типа ГНЧ-0,6М рекомендуется к применению в сельскохозяйственном производстве после устранения недостатков.

Эксперимент глубокого рыхления. Использовалась третья базовая компоновка ГНЧ-0,6М – «Глубокорыхлитель склоновых земель» (ГСЗ) в режиме «Обработка склонов». С целью проверки качества образования внутripочвенных стенок и крошения почвы в разрыхленных областях, для внутripочвенного влагонакопления и влагоудержания на обрабатываемых склонах был проведён натурный эксперимент. Для этого процесса использовался новый способ мелиоративной обработки склоновых земель на базе глубокого рыхления до 0,6 м – патент на изобретение № 2255450. Опыты были проведены 25 октября 2019 г. Местом проведения было 1-ое опытное поле института СКНИИМЭСХ (АНЦ "Донской") г. Зерноград Ростовской области. На момент проведения испытаний относительная влажность почвы в слое 0 – 15 см составляла около 23 %, а на глубине ниже 15 см была не более 30 %.

Для обработки склонов использовался глубокорыхлитель ГНЧ-0,6М – патент на изобретение № 2694571, с перенастроенной системой деформаторов в режим «Обра-

ботка склонов». Вместо конфигурации с верхним расположением почвоподъёмников (рисунок 17а) использовался наральник, показанный на рисунке 19а – конфигурация стоек с нижним расположением почвоподъёмников. Количество стоек на раме рыхлителя – 3 шт., задний ряд остаётся, две передние стойки снимаются, как показано на рисунке 20 (вид сзади). В результате проведенного исследования третьей базовой компоновки ГНЧ-0,6М – ГСЗ с системой деформаторов – режим «Обработка склонов» установлено: размеры полученного поперечного профиля дневной поверхности обработанного участка с глубиной развалных борозд 8 – 15 см (рисунок 21).



Рисунок 20 – Общий вид ГНЧ-0,6М в режиме «Обработка склонов»

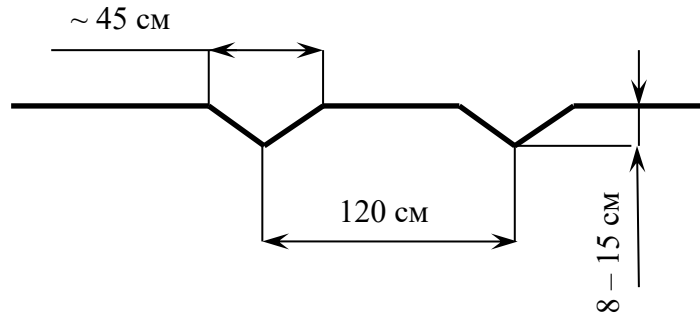


Рисунок 21 – Схема поперечного профиля дневной поверхности обработанного участка в режиме «Обработка склонов»

На рисунке 22 показан результат воздействия глубокорыхлителя чизельного ГНЧ-0,6М на почву с настроенной системой деформаторов в режиме «Обработка склонов» – с нижним закреплением почвоподъёмников (рисунок 19а). Сектор 1 показывает разрыхленные участки на глубину до 60 см, а сектор 2 обозначает переуплотнённые промежутки – «целяк». Размер развала составляет около 45 см, шириной верхней 0 – 30 см части внутрипочвенных стенок в размере 45 – 47 см удовлетворяет ТУ при проведении обработки почвы новым способом. При этом механическая целостность внутрипочвенной стенки обеспечена.

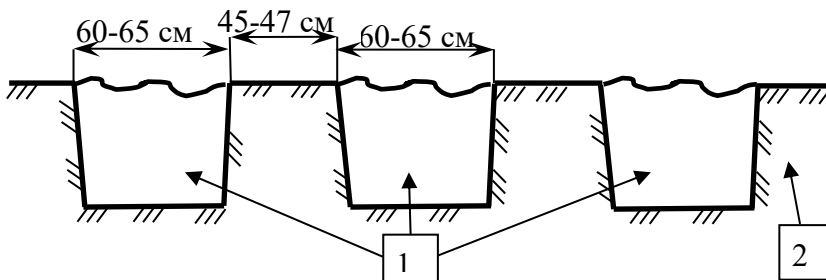


Рисунок 22 – Схема поперечной проекции обработанного слоя почвы в режиме «Обработка склонов»

Исследования по оценке влияния на урожайность выращиваемых культур от применения нового способа мелиоративной обработки склонов и глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М на склоновых землях в производственных условиях был проведён в период 2016–

2018 гг. на полях ФГБУ ВО Донской УНПК «Учхоз Зерновое» Донского государственного аграрного университета, в Зерноградском районе Ростовской области. Основной почвенной разностью являются карбонатные чернозёмы, в которых содержание гумуса 3,2 – 3,3 %. Среднегодовое количество осадков 560 – 600 мм. Средняя температура воздуха 9,6° С. Влажность воздуха, в среднем, 56 %. Обрабатываемое поле имеет уклон – около 5°. Площадь опытного участка составила 16 га, контроль – 70 га. Глубокая безотвальная обработка проводилась в октябре 2016 г. инновационным ГНЧ-0,6М в режиме рыхления почвы «Обработка склонов». На рисунке 23 представлены два сравниваемых вида обработки, слева опытный участок – глубокое рыхление на глубину 55 – 60 см новым способом, справа участок контроля – вспашка + дискование.



Рисунок 23 – Вид опытного и контрольного участков, ноябрь 2016 г.

Натурный эксперимент проводился при основной глубокой обработке почвы на глубину 0,55 – 0,60 м на фоне возделывания ярового ячменя. Результаты исследований по биологической урожайности в 2017 году на контроле и опыте приведены в таблице 2 и таблице 3. Взятие проб было произведено 03.06.2017 г. Проведенные натурные исследования показали, что глубокое безотвальное рыхление экспериментальным глубокорыхлителем чизельного типа ГНЧ-0,6М увеличило биологическую урожайность выращиваемых

посевных культур в 2017 году. На примере ярового ячменя, урожайность увеличивается до 22,10 % и повышается масса соломы на 24,18 % по сравнению с контролем. В 2018 г. на этом же поле проводились замеры биологической урожайности озимой пшеницы.

Таблица 2 – Яровой ячмень (контроль) 2017г.

Показатели	1 (0,25 м ²)	2 (0,25 м ²)	3 (0,25 м ²)	4 (0,25 м ²)	Сумма (1 м ²)
Кол-во растений с корнем, шт.	55	63	50	70	238
Масса соломенной части с колосом, г	290	335	279	390	1294
Кол-во продуктивных колосьев, шт.	135	214	181	172	702
Масса чистого зерна с колосьев, г	112,96	119,03	108,94	130,65	471,58
Масса одного колоса, г	0,51	0,60	0,48	0,64	Средн. 0,58
Масса 1000 зерен, г	46,24	42,33	46,32	43,39	178,28
Кол-во зерен в одной повторности, шт.	2443	2812	2352	3011	11059
Кол-во зерен в колосе, шт.	16	14	17	14	Средн. 15
Масса соломы, г	210,42	224,51	171,95	253,31	860,19
Биологическая урожайность, ц/га					47,16

Таблица 3 – Яровой ячмень (опыт) 2017г.

Показатели	1 (0,25 м ²)	2 (0,25 м ²)	3 (0,25 м ²)	4 (0,25 м ²)	Сумма (1 м ²)
Кол-во растений с корнем, шт.	57	70	63	75	265
Масса соломенной части с колосом, г	316	430	410	418	1574
Кол-во продуктивных колосьев, шт.	161	216	175	208	760
Масса чистого зерна с колосьев, г	127,83	146,24	135,68	166,11	575,86
Масса одного колоса, г	0,74	0,70	0,73	0,71	Средн. 0,72
Масса 1000 зерен, г	49,11	47,73	45,56	53,88	196,28
Кол-во зерен в одной повторности, шт.	2603	3064	2978	3083	11728
Кол-во зерен в колосе, шт.	15	17	16	16	Средн. 16
Масса соломы, г	227,64	283,80	254,12	302,59	1068,15
Биологическая урожайность, ц/га					57,58

Исследовалось влияние последствий глубокой обработки экспериментальным чизелем ГНЧ-0,6М на урожайность посевных культур. На рисунке 24 представлены колосья ячменя: слева – собранные с контрольного участка, справа – с опытного. Результаты исследований по биологической урожайности в 2018 году показаны на контроле в таблице 4 и опыте в таблице 5. Взятие проб проводилось 04.06.2018г.



Рисунок 24 – Вид колосьев ячменя на контроле и опыте (06.06.2017 г.)

Анализ результатов проведенных исследований последствий глубокого рыхления на глубину 60 см экспериментальным чизелем ГНЧ-0,6М показал, что на опытном участке получена биологическая урожайность 51,98 ц/га, что на 13,20 % больше чем на контроле (45,13 ц/га). При этом прибавка урожайности озимой пшеницы в последующем году на опытном участке снизилась с 22,10 % до 13,20 %.

Таблица 4 – Озимая пшеница (контроль) 2018г.

Показатели	1 (0,25 м ²)	2 (0,25 м ²)	3 (0,25 м ²)	4 (0,25 м ²)	Сумма (1 м ²)
Кол-во растений с корнем, шт.	35	67	53	57	212
Масса соломенной части с колосом, г	289	420	335	339	1383
Кол-во продуктивных колосьев, шт.	135	214	181	172	702
Масса чистого зерна с колосьев, г	93,77	130,55	124,92	102,05	451,29
Масса одного колоса, г	0,73	0,60	0,68	0,63	Средн. 0,68
Масса 1000 зерен, г	46,24	42,33	46,32	43,39	Средн.44,57
Количество зерен в одной повторности, шт.	2028	3084	2697	2352	10280
Кол-во зерен в колосе, шт.	15	14	15	14	Средн. 15
Масса соломы, г	189,40	254,51	212,12	226,95	904,91
Соотношение солома/зерно	2,02	1,95	1,70	2,21	Средн. 1,97
Биологическая урожайность, ц/га					45,13

Таблица 6.8 – Озимая пшеница (опыт) 2018г.

Показатели	1 (0,25 м ²)	2 (0,25 м ²)	3 (0,25 м ²)	4 (0,25 м ²)	Сумма (1 м ²)
Кол-во растений с корнем, шт.	58	68	50	71	247
Масса соломенной части с колосом, г	330	355	420	279	1384
Кол-во продуктивных колосьев, шт.	161	216	183	169	729
Масса чистого зерна с колосьев, г	124,89	147,15	112,58	135,19	519,81
Масса одного колоса, г	0,74	0,69	0,78	0,61	Средн. 0,68
Масса 1000 зерен, г	49,11	47,73	45,56	43,88	Средн.46,57
Количество зерен в одной повторности, шт.	2543	3083	2471	3081	11178
Кол-во зерен в колосе, шт.	16	15	17	16	Средн.16
Масса соломы, г	212,42	272,80	277,31	230,59	993,12
Соотношение солома/зерно	1,7	1,85	2,46	1,71	Средн. 1,93
Биологическая урожайность, ц/га					51,98

В главе 7 «Прогнозирование ресурсосберегающих конструкций почвообрабатывающих агрегатов для глубокого рыхления» представлено прогнозирование концептуально возможных конструкций энергоэффективных почвообрабатывающих агрегатов и их систем деформаторов. Одним из путей оптимизации затрат на обработку почвы является увеличение ширины захвата почвообрабатывающих орудий. Обеспечивая требуемых ширины захвата и качества рыхления, существующие устройства сложны, зачастую имеют низкую надёжность и неприемлемо энергонагружены. Увеличение ширины захвата из-за существующих конструктивных ограничений по крите-

рию надёжности и области разрыхления от стоек и их систем деформаторов приводит к увеличению количества стоек, что существенно повышает массу орудия и возрастание тяговых сопротивлений. Это ограничивает возможности глубокого рыхления почвы на глубину от 50 см и более, что в итоге ведёт к снижению экономической эффективности обработки почвы в целом. При увеличении ширины захвата навесного глубокорыхлителя чизельного типа за счет увеличения расстояния между стойками при сохранении их количества, возникает необходимость удлинять горизонтальные элементы систем деформаторов, что ведёт к потере их прочностных характеристик при сохранении текущих конструкционных параметров. Это предполагает необходимость интеграции в конструкции деформаторов элементов, повышающих их прочность. Таким элементом может служить ребро жёсткости, которое при этом резко изменит поперечный профиль деформатора. В свою очередь ломаная форма будет способствовать увеличению деформирующих трещин при прохождении его в толще обрабатываемого пласта почвы, следовательно, более качественно производить крошение.

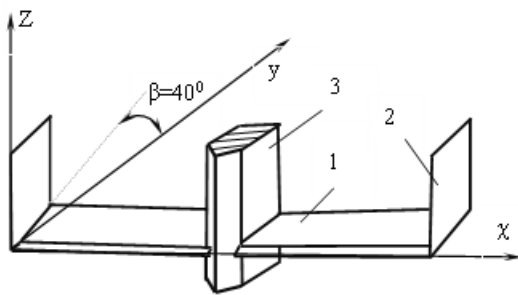
Учитывая вышеизложенное, а также удлинение почвоподъёмников с изменением их прямого горизонтального профиля, при динамичном воздействии неоднородной среды по всему профилю, ведёт к возникновению у них самовозбуждающихся незатухающих изгибающих и крутящих автоколебаний. Следовательно, возникает динамическая неустойчивость упругой конструкции в потоке среды – разрыхляемого пласта почвы. Такое состояние будет вызвано одновременным воздействием положительной обратной связи между отклонением ломаного почвоподъёмника, вынуждающими колебаниями стойки глубокорыхлителя и реактивной силой, создаваемой потоком неоднородной почвы.



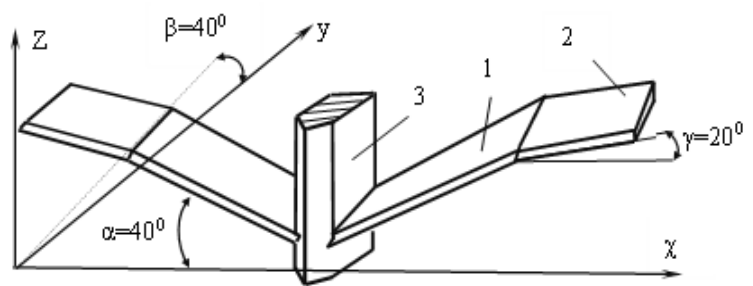
Взаимодействие этих сил приводит к эмерджентности, выражающейся в виде нестабильного состояния почвоподъёмников – эффекту флаттера (рисунок 25). При обеспечении необходимых прочностных характеристик материала почвоподъёмников их дрожание будет способствовать увеличению качества разрыхления почвы, дополнительно воздействуя на подрезаемый пласт.

Рисунок 25 – Схема взаимодействия системы сил, действующих на инновационные ломаные почвоподъёмники

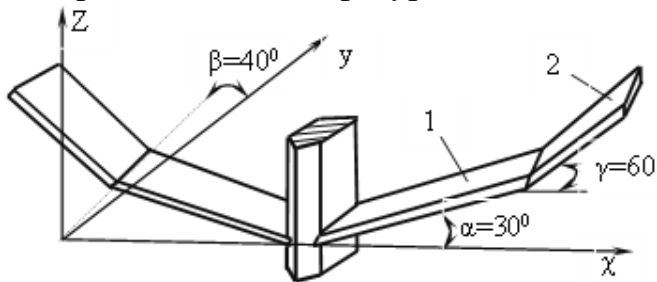
Это ведёт к повышению энергоэффективности рыхления глубокорыхлителем чизельного типа ГНЧ-0,6У, оборудованного инновационными ломаными почвоподъёмниками, обеспечивающими возникновение эффекта флаттера. Исходя из этого они должны иметь механические характеристики, достаточные для рыхления почвы, не разрушаясь, испытывая при этом «флаттер» (патент на изобретение № 2742657 РФ). Установлены и исследованы на прочность основные возможные формы ломаных почвоподъёмников – три базовые конфигурации (рисунок 26).



Первая базовая конфигурация



Вторая базовая конфигурация



Третья базовая конфигурация

Рисунок 26 – Схемы основных форм ломаных почвоподъемников

В результате проведенного численного исследования на прочность трёх базовых конфигураций ломаных грунтоподъемников различной толщины, выполненные из стали С245 (Ст3сп) установлено, что для обеспечения оптимальной формы области разрыхления следует использовать ломаные почвоподъемники с первой исследованной базовой формой исключая флаттер-эффект.

Третья базовая форма ломаных почвоподъемников показала соответствие необходимой прочности и надёжности во всех вариантах толщины пластин. Вторая базовая форма ломаных почвоподъемников обнаружила удовлетворительные характеристики, обеспечивающие необходимые прочностные свойства конструкции и её гибкость без угрозы возникновения остаточных деформаций. Следовательно, эта базовая конфигурация является универсальной. Для применения на стойке глубокорыхлителя как в режиме «рыхление равнинных участков» так и в режиме «рыхление склонов» с использованием эффекта флаттера.

В главе 8 «Определение экономической эффективности применения технологического процесса и соответствующих орудий для глубокого рыхления» проведена оценка эффективности разработок методом наложения на модельное хозяйство. Вариантные расчеты основаны на алгоритмно-программном комплексе, разработанного в СКНИИМЭСХ. Где критерием эффективности является минимум интегральных затрат по растениеводству за полевой сезон работ. В интегральные затраты входит сумма эксплуатационных затрат и затраты на закрепление механизаторов в хозяйстве (социальные объекты, строительство). Расчет основных составляющих эксплуатационных затрат проводился в соответствии с положениями «Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники» Минсельхоза РФ.

В качестве расчётной базы использовались данные по: структуре посевных площадей; урожайности сельскохозяйственных культур; севооборотам; почвенно-климатическим условиям южной зоны Ростовской области. Расчеты проведены на модельном хозяйстве «Учхоз Зерновое», имеющем 10-польный полевой севооборот площадью 10113 га. Механизированные полевые работы в базовом варианте осуществлялись серийными тракторными агрегатами. В новом варианте изменены технологии основной обработки почвы под озимую пшеницу на 125 га и под яровой ячмень на площади 250 га. Была произведена замена плужной вспашки на глубокое чизелевание разрабо-

танным комплексом орудий на базе ГНЧ-0,6М. Показатели экономической эффективности предлагаемых вариантов определялись в сравнении с характеристиками использования модельных машинотракторных парков, полученных в вариантных оптимизационных расчетах.

Для оценки экономической эффективности проектов, связанных с привлечением дополнительных капиталовложений, использован показатель чистого дисконтированного дохода (NPV), характеризующий разницу потребных инвестиций и дисконтированной (приведенной к моменту капиталовложений) суммы дополнительных денежных поступлений от реализации инвестиционного проекта. Дополнительный объем зерна от повышения урожайности (согласно проведенных опытов) составил 346,7 тонн. Учитывая цену реализации 18000 руб./т размер прибыли за год составил 6240,6 тыс. руб. При ставке дисконтирования в 8,5 % годовых и сроке поступления доходов 5 лет, размер чистого дисконтированного дохода увеличивается в 2,4 раза. Дисконтированный срок окупаемости проекта 0,85 года за счет повышения урожайности культур от применения разработанного комплекса орудий на базе ГНЧ-0,6М в количестве одного комплекта. Применение разработанного комплекса орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в южной подзоне Ростовской области на площади 375 га позволит получить чистый дисконтированный эффект в пересчете на 1 га составит 10,5 тыс. руб. за 1 год его применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана информационная модель и структура ресурсосберегающей системы обработки почв на основе объектно-ориентированного анализа в виде бинарной структуры, которая содержит гибридную тернарную объектно-целевую диаграмму классов и диаграмму прецедентов. Эта модель учитывает ограничения, налагаемые на систему: ресурсные, финансово-экономические, технологические и экологические. На основе синтеза элементов статичной базовой структуры комплекса глубокорыхлителей разработан обобщенный концепт анализа последовательных процедур с возможностью технологической и технической адаптации. Это позволяет создать и придать направленность вектора развития фиксированной структуры комплексу орудий для ресурсосберегающей обработки почв на базе глубокого рыхления до 60 см.

2. Обоснована система ресурсосберегающей обработки склоновых и равнинных земель на базе глубокого рыхления. Это позволило разработать ресурсосберегающий технологический процесс обработки склоновых земель, способствующий интенсивному впитыванию воды на разном рельефе и ее аккумуляции на склоне. Такой технологический процесс необходим в современных условиях нарастающей тенденции снижения общего дебета осадков на юге России и направлен на достижение глобальной цели – увеличение плодородия деградированных склоновых и равнинных земель.

3. Разработана математическая модель устойчивости влагонасыщенного обработанного пласта почвы на склоне ресурсосберегающим новым способом. Анализ устойчивости предельно влагонасыщенного, до 33 – 34 % от наименьшей влагоёмкости слоя почвы на склоне крутизной до 5,7°, содержащий чередующиеся внутрипочвенные стенки и области разрыхления позволил установить, что при использовании данного нового способа с любой формой области разрыхления в обработанном горизонте толщиной до 0,60 м, не происходит нарушения его устойчивого положения равновесия. При этом модель учитывает послойное увлажнение склона и находящиеся на нём различные энергонагруженные транспортно-технологические средства, что позволяет

адекватно оценивать устойчивость и создаваемые структурные изменения для аккумуляции внутрипочвенной влаги в верхнем 0,60 м обработанном горизонте почвы на склоне.

4. Разработана математическая модель внутрипочвенного влагопереноса, определяющая его параметры (коэффициенты диффузивности, влагопроводности и капиллярно-сорбционного потенциала) на обработанном склоне новым ресурсосберегающим способом, с устройством внутрипочвенных стенок, на базе глубокого рыхления до 0,6 м. Создана программа для решения краевой задачи динамики внутрипочвенного влагопереноса на обработанном склоне новым способом, с глубиной рыхления до 0,6 м рассчитываемая пакетом программ FlexPDE. В результате решения которой были получены данные по диффузивности и коэффициента влагопереноса была подтверждена гипотеза, что внутрипочвенная стенка является преградой для движения внутрипочвенной влаги на склоне. Горизонтальная составляющая скорости фильтрационного течения, при всех показанных условиях крайне мала – 10^{-6} м/с. Разрыхленные области склона на протяжении 2 суток удерживают внутрипочвенную влагу в размере 0,40 – 0,45 м³/м³, что на 50 % больше, чем её содержание во внутрипочвенных стенках. Полученные результаты анализа численного эксперимента хорошо согласуются с данными из лабораторно-полевого опыта.

5. Установлены закономерности процесса разрушения переуплотнённых горизонтов почвы с нижней частью стойки глубокорыхлителя любого типа на глубину от 0,40 м и более. Выявлено, что поперечная проекция наральника, выполняющего функцию долота, имеет форму трапеции с четырьмя наклонными гранями, из которых передние две грани образуют тупой угол от 120° до 170° создаёт увеличение в среднем, в 2–3 раза количество деформационных трещин, что формирует наиболее качественную зону деформаций разрыхляемого слоя почвы.

6. В соответствии с Системой Ресурсосберегающей Обработки Склоновых и Равнинных Земель и с условиями эксплуатации определены ресурсосберегающие технические средства основные три варианта глубокорыхлителей, отвечающих конкретным условиям рельефа и состояния обрабатываемой почвы на базе глубокорыхлителя чизельного типа. Разработана техническая документация и изготовлен в металле комплекс орудий для обработки склоновых и равнинных земель на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М для основной ресурсосберегающей обработки агроландшафтов при изменяющихся климатических условиях юга России. Уточнены локальные параметры горизонтальных и вертикальных элементов системы деформаторов стоек комплекса орудий. Вертикальные элементы – наральники, имеют трапециевидный профиль. Горизонтальные элементы – почвоподъёмники изготовлены в виде изометрических наклонных пластин с постоянным профилем, жёстко закреплённые к стойке орудия, размер которых по длине 160 мм, по ширине 135 мм, при толщине 7 мм, выполненных из стали С245. Эти параметры верифицированы проведённым анализом их напряжённо – деформированного состояния с помощью программного комплекса Structure CAD (SCAD). Испытаниями, проведёнными на Черноградской МИС подтверждено повышение содержания комков земли фракции 0 – 5 мм на 8 %, по сравнению с другими экспериментальными рыхлителями.

7. Проведённые натурные испытания инновационного глубокорыхлителя навесного чизельного ГНЧ-0,6М на полях машиноиспытательной станции (МИС) при мелиоративной обработке склоновых и равнинных земель в Черноградском районе Ростовской

области выявили, что при тенденции изменения климата на юге России по влагодефицитному типу базовый вариант комплекса глубокорыхлителей в режиме «Глубокорыхлитель сверхпереуплотнённых равнинных земель» показал лучшие, в среднем на 17 – 25 %, характеристики рыхления по сравнению с другими экспериментальными глубокорыхлителями. Экспериментально установлено, что в базовой компоновке «Глубокорыхлитель склоновых земель» устойчивая целостность внутрипочвенной стенки, создаваемой новой ресурсосберегающей обработкой склонов, обеспечивается если ширина внутрипочвенных стенок в верхней 0 – 30 см части лежит в пределах 45 – 47 см. Это позволило при обработке поля с уклоном в пределах 5^0 , при часовом расходе топлива 54,4 кг/час получить прибавку урожайности в первый год 22,1 %, в последующем году она составила 13,2 % на примере возделывания ярового ячменя и озимой пшеницы соответственно. Это полностью соответствует полученным критериям устойчивости в математической модели для обработанного склона. Сравнение результатов натурного исследования по скважности почвы на склоне обработанным новым способом и теоретических данных по влагосодержанию на момент времени 0,135 суток показало достаточную сходимость результатов, с процентом относительной ошибки до 16,7 %.

8. Полученный инвариант базовой структуры реализован в конструкции концепта перспективного адаптивного орудия для глубокого рыхления. Отличается тем, что позволяет в автоматическом режиме изменять геометрические характеристики рамы орудия и соответствующей системы деформаторов по критерию заданного качества рыхления. Это позволяет стабилизировать нагрузки на рабочие органы и привод тяговой машины при обработке равнинных и склоновых агроландшафтов на глубину до 0,6 м. Обоснованы параметры перспективных горизонтальных элементов системы деформаторов, имеющих ломаный профиль и использующих флаттер – эффект. Установлены три соответствующие базовые формы профиля и проведены исследования их напряжённо-деформированного состояния. Определено, что для обработки равнинных участков новые горизонтальные элементы с ломаным профилем по третьей базовой форме, выполненные из стали марки С245, при толщине 5 мм и отклонениями латерального ребра до 4 мм обеспечены необходимые прочностные характеристики.

9. Расчёт экономической эффективности от применения одного комплекта разработанного ресурсосберегающего комплекса орудий для глубокого рыхления склоновых и равнинных земель в южной подзоне Ростовской области при ставке дисконтирования в 8,5 % годовых (в данных 2022 г.) показал:

- срок окупаемости проекта 0,85 года;
- чистый дисконтированный эффект 10,5 тыс. руб./га за 1 год его применения.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Комплекс орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М может использоваться в трёх базовых вариантах: «Глубокорыхлитель склоновых земель» (ГСЗ), «Глубокорыхлитель сверхпереуплотнённых равнинных земель» (ГСРЗ) и «Глубокорыхлитель равнинных земель» (ГРЗ).

При использовании комплекса орудий на базе глубокорыхлителя на склонах используется базовая конфигурация ГСЗ. Для этого необходимо изменить систему деформаторов путём демонтажа двух передних стоек с рамы орудия. На остальных трёх задних стойках производится замена наральных на наральники с жёстко закреплёнными на

их носках почвоподъёмниками. Рыхление производится поперёк склона без перекрытия обработанной полосы склона.

Для рыхления равнинных земель комплексом орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М необходимо учитывать плотность почвы на участке. Для сверх переуплотнённых земель, плотностью более $2,2 \text{ г/см}^3$, используется базовая конфигурация ГСРЗ. Устанавливается на раму орудия пять стоек – две спереди и три сзади. Почвоподъёмники закрепляют на расстоянии 15 см по общей вертикали от носка наральника.

При рыхлении равнинных земель комплексом орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М плотностью от $1,1 \text{ г/см}^3$ до $2,2 \text{ г/см}^3$, используется базовая конфигурация ГСЗ. Для этого устанавливается на раму орудия пять стоек – две спереди и три сзади. Почвоподъёмники закрепляют на расстоянии 15 см по общей вертикали от носка наральника, одновременно устанавливаются наральники с закреплёнными на их носках почвоподъёмниками.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Полученные наработки в данной диссертации позволяют в перспективе разрабатывать несколько актуальных направлений.

1. Оценка устойчивости склонов, находящихся под сплошной застройкой в плотно урбанизированных территориях юга России, под воздействием изменяющихся климатических условий.
2. Исследование устойчивости склоновых агроландшафтов, обработанных новым мелиоративным способом на основе Системы Ресурсосберегающей Обработки Склоновых и Равнинных Земель, расположенных в сейсмоопасной зоне.
3. Возникает необходимость исследований по применению инновационного комплекса орудий на базе глубокого рыхления на орошаемых и богарных агроландшафтах при использовании на них высокоинтенсивных севооборотов, в изменяющихся климатических условиях юга России.
4. Разработка почвообрабатывающих орудий пассивного и активного типа, с использованием эффекта флаттера в элементах их систем деформаторов с использованием Системы Ресурсосберегающей Обработки Склоновых и Равнинных Земель.
5. Создание строительных виброрыхлителей грунта с эффектом флаттера в дополнительных элементах их систем деформаторов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Михайлин, А. А. Построение модели движения внутрипочвенной влаги в склоновых обрабатываемых землях / А. А. Михайлин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2025. – № 1. – С. 196–207. – DOI 10.30766/2072-9081.2025.26.1.196-207. – EDN GNHNRR.
2. Максимов, В. П. Создание универсального орудия для мелиоративной обработки равнин и склонов на основе концептуального конструирования / В. П. Максимов, А. А. Михайлин // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 3. – С. 110–117. – DOI 10.28983/asj.y2024i3pp110-117. – EDN CIEJUJ.
3. Максимов, В. П. Анализ функциональных требований к системе мелиоративной обработки склоновых и равнинных земель / В. П. Максимов, А. А. Михайлин // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 7. – С. 117–124. – DOI 10.28983/asj.y2024i7pp117-124. – EDN MGISPQ.

4. Михайлин, А. А. Влияние климатических изменений на юге России на скважность и влагоемкость глубоко разрыхленных почв / А. А. Михайлин, М. А. Бандурин // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 11. – С. 171–180. – DOI 10.28983/asj.y2023i11pp171-180. – EDN LLEMFV.
5. Михайлин, А. А. Обоснование конструкции глубокорыхлителя чизельного типа с осциллятором / А. А. Михайлин, В. П. Максимов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2(66). – С. 131–136. – DOI 10.31563/1684-7628-2023-66-2-131-136. – EDN NXSTTW.
6. Михайлин, А. А. Натурные испытания инновационного глубокорыхлителя в режиме "обработка склонов" / А. А. Михайлин // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 1. – С. 5–16. – DOI 10.24412/2227-9407-2021-1116-5-16. – EDN ZWGGQN.
7. Михайлин, А. А. Обоснование рациональной формы наральника стоек глубокорыхлителей / А. А. Михайлин, В. П. Максимов // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 8(123). – С. 21–32. – DOI 10.24412/2227-9407-2021-8-21-32. – EDN USMGER.
8. Михайлин, А. А. Оценка эффективности обработки богарных склоновых земель в южных районах Ростовской области инновационным глубокорыхлителем ГНЧ-0,6М / А. А. Михайлин, В. П. Максимов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2019. – № 4(52). – С. 123–129. – DOI 10.31563/1684-7628-2019-52-4-123-129. – EDN USNHPH.
9. Михайлин, А. А. Сравнительный анализ математических моделей устойчивости глубокоразрыхленных влагонасыщенных склонов / А. А. Михайлин, С. В. Филонов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2-1(35). – С. 47. – EDN UGRUUB.
10. Михайлин, А. А. К вопросу об определении параметров области разрыхления / А. А. Михайлин, М. А. Бандурин, С. В. Филонов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4-2(39). – С. 13. – EDN VXLJLJ.
11. Михайлин, А. А. Анализ устойчивости глубоко разрыхленных склонов / А. А. Михайлин, С. В. Филонов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2(29). – С. 122. – EDN SZBKEL.
12. Михайлин, А. А. Разработка новой ресурсосберегающей технологии обработки склоновых земель / А. А. Михайлин // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 1(24). – С. 31. – EDN PYZMWB.
13. Михайлин, А. А. Влияние технических характеристик орудия на показатели качества глубокого разрыхления орошаемых земель / А. А. Михайлин, В. П. Максимов, И. В. Клименко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 3(11). – С. 134–147. – EDN QYOKFP.
14. Михайлин, А. А. Глубокое рыхление мелиорируемых земель как способ повышения продуктивности сельскохозяйственных культур / А. А. Михайлин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 4(8). – С. 20–31. – EDN PLVZWP.
15. Михайлин А.А. Устойчивость склонов в земледелии / А. А. Михайлин, В. В. Нефёдов, А.Ю. Кириенко // Известия Горского государственного аграрного университета. 2010. Т. 47. № 2. С. 111-115.
16. Михайлин, А. А. Постановка математической модели устойчивости обработанного пласта почвы на склоне / А. А. Михайлин // Природообустройство. – 2009. – № 2. – С. 92–94. – EDN KWV MKJ.

17. Михайлин А.А. О глубоком рыхлении орошаемых земель глубокорыхлителем чизельного типа / А.А. Михайлин // Природообустройство. 2008. № 4. С. 74–77.

Публикации в научно-тематических сборниках

18. Михайлин, А. А. Расчёт на прочность элементов системы деформаторов глубокорыхлителей в виде ломаных пластин / А. А. Михайлин, В. П. Максимов // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата : Материалы Международной научно-практической интернет-конференции, Новочеркасск, 21–23 апреля 2025 года. – Новочеркасск: Лик, 2025. – С. 325–331. – EDN MDOYOS.
19. Михайлин, А. А. Постановка расчёта на прочность ломаной пластинки как элемента системы деформаторов глубокорыхлителя объёмного типа / А. А. Михайлин // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 3 (46). – С. 43. – EDN ZWZENZ.
20. Михайлин, А. А. Комплексное исследование усовершенствованного глубокорыхлителя ГНЧ-0,6 / А. А. Михайлин, В. А. Волосухин // Современные проблемы водного хозяйства, инженерно-коммуникационных систем и экология : Материалы международной конференции, Баку, 14–15 апреля 2014 года. – Баку: АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, 2014. – С. 72–76. – EDN FQXRME.
21. Михайлин, А. А. Оценка устойчивости мелиорируемых влагонасыщенных склонов / А. А. Михайлин // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и перспективы развития мелиорации и водного хозяйства : Шумаковские чтения совместно с заседанием секции РАСХН, Новочеркасск, 29–30 сентября 2011 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; ФГБОУ ВПО "Новочеркасская государственная академия"; ФГБНУ "Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации". – Новочеркасск: Лик, 2011. – С. 93–100.
22. Михайлин, А. А. Определение зон деформации экспериментального глубокорыхлителя чизельного типа / А. А. Михайлин // Инновационные технологии и технические средства для полеводства юга России : сборник научных трудов 6-й Международной научно-практической конференции, Зерноград, 06–07 апреля 2011 года / Российская акад. с.-х. наук, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хоз-ва Россельхозакадемии (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакад.); Ответственный редактор Пахомов В.И.. – Зерноград, 2011. – С. 103–108.
23. Максимов, В. П. Экспериментальные исследования глубокорыхлителя с улучшенным качеством технологического процесса / В. П. Максимов, А. А. Михайлин, И. В. Клименко // II съезд инженеров Дона : сб. ст. / Правительство Ростовской области ; Ростовский Государственный университет путей сообщения ; Ростовский государственный университет путей сообщения, 2011. – С. 274–278. – EDN SFVMWL.
24. Михайлин, А. А. Механическое состояние склоновых земель при глубоком рыхлении с образованием внутрипочвенных стенок / А. А. Михайлин, В. В. Нефедов, А. Ю. Кириенко // Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение для инновационного развития агропромышленного комплекса : Сборник научных трудов 5-й Международной научно-практической конференции, Зерноград, 27–28 мая 2010 года. – Зерноград: Государственное научное учреждение Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук, 2010. – С. 63–68. – EDN MLYHFW.

25. Максимов, В. П. Экспериментальное определение деформации при обработке почвы глубокорыхлителем / В. П. Максимов, А. А. Михайлин, И. В. Клименко // Мелиорация и водное хозяйство : Материалы научно практической конференции, Новочеркасск, 23–24 сентября 2009 года / Минсельхоз РФ, Отделение мелиорации, водного и лесного хозяйства Россельхозакадемии, ФГОУ ВПО "Новочеркасская государственная мелиоративная академия", ФГНУ "Российский научно исследовательский институт проблем мелиорации". Том 1. – Новочеркасск: Лик, 2009. – С. 141–145. – EDN SSYRBL.
26. Михайлин, А. А. Новое в обработке склоновых земель / А. А. Михайлин // Мелиорация и водное хозяйство : Материалы научно практической конференции "Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства Южного Федерального округа", Новочеркасск, 09–10 ноября 2006 года / Министерство сельского хозяйства РФ, Россельхозакадемия, ФГОУ ВПО "НГМА", ФГНУ "Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации". Том Выпуск 5, Том 1. – Новочеркасск: Оникс+, 2007. – С. 150–152. – EDN THTGXP.
27. Михайлин, А. А. Влияние глубокого рыхления орошаемых земель на уничтожение сорной растительности / А. А. Михайлин // Экологические проблемы природопользования в мелиоративном земледелии : Материалы Международной научно-практической конференции, Новочеркасск, 02–03 февраля 2006 года / Министерство сельского хозяйства РФ; Россельхозакадемия; ФГОУ ВПО "НГМА"; Международная академия экологии и природопользования. Том 1. – Новочеркасск: ТЕМП, 2006. – С. 234–236. – EDN XRZBET.
28. Михайлин, А. А. Техничко-экономические показатели глубокого рыхления орошаемых земель ГНЧ-0,6 / А. А. Михайлин // Экологические проблемы природопользования в мелиоративном земледелии : Материалы Международной научно-практической конференции, Новочеркасск, 02–03 февраля 2006 года / Министерство сельского хозяйства РФ; Россельхозакадемия; ФГОУ ВПО "НГМА"; Международная академия экологии и природопользования. Том 1. – Новочеркасск: ТЕМП, 2006. – С. 248–251. – EDN XRZIAL.
29. Михайлин, А. А. Влияние глубокого до 0,6 м рыхления на почвенные влагозапасы / А. А. Михайлин // Экологические проблемы природопользования в мелиоративном земледелии : Материалы международной научно-практической конференции, Новочеркасск, 02–03 февраля 2006 года / Россельхозакадемия; ФГБОУ ВПО "Новочеркасская государственная мелиоративная академия"; Международная академия экологии и природопользования. Том 2. – Новочеркасск: Темп, 2006. – С. 10–14. – EDN RALAUC.
30. Михайлин, А. А. Экономические показатели глубокого рыхления орошаемых земель глубокорыхлителем ГНЧ-0,6 / А. А. Михайлин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 24. – С. 87–92. – EDN JWXSOX.
31. Михайлин, А. А. Применение глубокого рыхления глубокорыхлителем ГНЧ-0,6 в зоне орошения / А. А. Михайлин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 24. – С. 93–98. – EDN JWXSPH.
32. Михайлин, А. А. Энергетические характеристики орудий для глубокого разуплотнения орошаемых земель / А. А. Михайлин // Наукоемкие технологии в ме-

лиорации. (Костяковские чтения) : Материалы Международной конференции. Москва, 30 марта 2005 года / Российская академия сельскохозяйственных наук; Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. – Москва, 2005. – С. 523–526. – EDN YMQSEF.

Патенты на способ и изобретения

33. Пат. 2255450 Российская Федерация, МПК 7А 01В 13/16 А. Способ обработки склоновых почв / Михайлин А. А.; заявитель и патентообладатель Михайлин А. А. – № 2255450; заявл. 29 марта 2002 г.; опубл. 10 июля 2005 г., Бюл. № 19.
34. Патент № 2694571 С2 Российская Федерация, МПК А01В 13/14, А01В 13/16. Универсальный глубокорыхлитель навесной чизельный : № 2017140567 : заявл. 21.11.2017 : опубл. 16.07.2019 / А. А. Михайлин. – EDN RQWFHZ.
35. Патент № 2742657 С1 Российская Федерация, МПК А01В 13/08. Безотвальный чизель-разрыхлитель навесной : № 2019130102 : заявл. 24.09.2019 : опубл. 09.02.2021 / А. А. Михайлин, В. П. Максимов, С. В. Филонов, А. Е. Ушаков. – EDN MRXKJK;
36. Патент № 2799608 С1 Российская Федерация, МПК А01В 13/14. Адаптивный глубокорыхлитель для обработки уплотнённых равнинных и склоновых земель : № 2022106993 : заявл. 16.03.2022 : опубл. 07.07.2023 / А. А. Михайлин, В. П. Максимов. – EDN YFXZYO

Публикации в зарубежных изданиях

37. Bandurin, M. A. Strength analysis of kinked curve plate used as element of system of deformers in soil cultivators / M. A. Bandurin, A. A. Mykhailin, V. V. Nefedov // Advances in Engineering Research. – Vol. 158 : International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018), Irkutsk, 21–26 may 2018 years. – Irkutsk: Atlantis Press, 2018. – P. 267–270. – EDN XAPRQA.
38. Mikhaylin, A. Strength analysis of a cutting kinked curve plate with clamped free edges of a chisel type deep tiller / A. Mikhaylin, M. A. Bandurin, I. R. Akhmet'yanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Vol. 954, International Conference on World Technological Trends in Agribusiness (WTTA 2021), 29th–30th March 2021, Omsk City, Western Siberia, Russian Federation. – Omsk City, 2022. – P. 012048. – DOI 10.1088/1755-1315/954/1/012048. – EDN VRKCZG.

Подписано в печать _____ г. Объем 4,0 п.л.
 Формат 60х84 1/16 Заказ № _____ Тираж 100 экз.