

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ЮРГПУ(НПИ)  
ИМЕНИ М.И. ПЛАТОВА"

На правах рукописи



МИХАЙЛИН АНДРЕЙ АНДРЕЕВИЧ

**Ресурсосберегающие технологические процессы и  
технические средства для глубокой обработки склоновых  
и равнинных земель Юга России**

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

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
доктор технических наук, профессор  
Максимов Валерий Павлович

Краснодар – 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ЮГА РОССИИ	19
1.1 Современное состояние почв на обрабатываемых агроландшафтах	19
1.2 Актуальные агротехнические почвозащитные мероприятия равнинных и склоновых земель .....	33
1.3 Технические средства для глубокой обработки земель в России и за рубежом .....	42
1.4 Оценка актуальных моделей устойчивости земель склонов и откосов .....	51
1.5 Выводы, цель работы, задачи исследований .....	74
2 РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВ С СООТВЕТСТВУЮЩИМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ГЛУБОКОЙ ОБРАБОТКИ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ .....	78
2.1 Формулирование требований для разработки информационной модели ресурсосберегающей системы обработки почв, технологических процессов сохранения и повышения плодородия склоновых земель и обоснования метода выбора их базовой структуры .....	78
2.2 Разработка информационной модели ресурсосберегающей системы обработки почв на основе объектно-ориентированного подхода и целевого анализа .....	83
2.3 Разработка общих принципов концептуального конструирования соответствующих технических средств для обработки склоновых и	

равнинных земель, учитывающих адаптивность к особенностям мезо- и макрорельефа; повышение интенсивности выпадения осадков .....	89
2.4 Разработка ресурсосберегающего технологического процесса обработки склоновых земель .....	98
2.5 Выводы .....	102
3 СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ОБРАБОТАННОГО НОВЫМ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИМ ПРОЦЕССОМ ВЛАГОНАСЫЩЕННОГО ПЛАСТА ПОЧВЫ НА СКЛОНЕ .....	104
3.1 Постановка и допущения для создания математической модели оценки устойчивости верхнего обработанного влагонасыщенного слоя почвы на склоне .....	107
3.2 Оценка устойчивости обработанного влагонасыщенного склона ...	112
3.3 Уточнённая оценка устойчивости обработанного склона глубокорыхлителем чизельного типа .....	117
3.4 Выводы .....	124
4 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВЛАГОПЕРЕНОСА НА ОБРАБОТАННОМ СКЛОНЕ С ОБРАЗОВАННЫМИ ВНУТРИПОЧВЕННЫМИ СТЕНКАМИ .....	127
4.1 Обзор процессов переноса влаги в почве .....	127
4.2 Разработка математической модели движения внутрипочвенной влаги в обработанном слое на склоне .....	133
4.3 Описание программы оценки динамики влагопереноса .....	146
4.4 Результаты вычислительных экспериментов .....	151
4.5 Выводы .....	166

5	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДЕФОРМАТОРОВ КОМПЛЕКСА ОРУДИЙ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ .....	168
5.1	Обоснование формы профиля стойки глубокорыхлителя .....	168
5.2	Обоснование параметров вертикального элемента системы деформаторов стойки глубокорыхлителя .....	170
5.3	Обоснование и исследование уточнённой формы и размеров горизонтальных элементов системы деформаторов стойки глубокорыхлителя .....	177
5.4	Обоснование структуры компоновки комплекса орудий глубокого рыхления .....	188
5.5	Выводы .....	193
6	РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЧИЗЕЛЬНЫХ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЕЙ .....	195
6.1	Место и условия проведения натуральных исследований.....	195
6.2	Исследование области разрыхления от глубокорыхлителей различных типов .....	197
6.3	Валидация эксплуатационных характеристик технических средств для глубокого рыхления по результатам приёмочных испытаний .....	216
6.4	Оценка влияния на качество разуплотнения технологического процесса и технических средств для глубокого рыхления при обработке склонов согласно принятой методологии .....	221
6.5	Натурное исследование влияния нового ресурсосберегающего способа обработки склоновых земель на скорость впитывания воды .....	226
6.6	Исследование воздействия разработанных ресурсосберегающих технологического процесса и технических средств глубокого рыхления для обработки склонов на урожайность сельскохозяйственных культур ...	238

6.7 Выводы .....	243
7 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ .....	245
7.1 Обоснование целей расчёта инновационных элементов системы деформаторов энергоэффективного глубокорыхлителя .....	245
7.2 Численное исследование на прочность ломаных почвоподъёмников различной конфигурации .....	250
7.3 Разработка концептуальной адаптивной конструкции глубокорыхлителя .....	271
7.4 Выводы .....	277
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ОРУДИЙ ДЛЯ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ .....	279
8.1 Условия и установка критериев расчёта для оценки экономической эффективности .....	279
8.2 Данные для базового расчёта экономической эффективности .....	282
8.3 Данные для расчёта экономической эффективности инновационного комплекса орудий .....	290
8.4 Результаты расчёта экономической эффективности применения инновационного комплекса орудий .....	298
8.5 Выводы .....	305
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	306
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ .....	311
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ .....	312
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	313
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	347

## ВВЕДЕНИЕ

### *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., Ветохина 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 0,6 м.

4. Математическая модель внутрипочвенного влагопереноса, отличающаяся тем, что в ней исследуется верхний слой почвы глубиной 0,6 м обработанный новым способом.

5. Закономерности деформации разрыхляемых пластов почвы от воздействия нижней части стойки глубокорыхлителя с глубиной обработки до 0,6 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 0,4 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 внутрисочвенного водного режима на склоне и получены режимы взаимодействия систем деформаторов стоек глубоких рыхлителей 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 глубоких рыхлителей, 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 внутрпочвенного 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 влагодефицитному 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 аккумулирования внутрипочвенной влаги на склонах и корректировать технологии обработки склонов посредством совершенствования конструкций разрабатываемых глубокорыхлителей.

3. Разработан способ оценки качества формирования области разрыхления, возникающей в результате процесса разуплотнения почвы стойками глубокорыхлителей 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 глубокорыхлителя, 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 глубокорыхлителей показал, что площадь области разрыхления больше, примерно, на 45%, при этом качество крошения увеличилось на 3,3 % по сравнению с существующими перспективными глубокорыхлителями.

5. На основе синтезированного инварианта базовой структуры универсального глубокорыхлителя разработана техническая документация комплекса орудий глубокого рыхления на базе чизеля ГНЧ-0,6М (патент RU 2694571 С2) 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 глубокихлителей 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 повторяемость; 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 "Научные 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" / WTТА (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.

# 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ЮГА РОССИИ

## 1.1 Современное состояние почв на обрабатываемых агроландшафтах

Обрабатываемые склоновые и равнинные земли юга России, особенно Ростовской области находятся в деградационном тренде, что наглядно представлено на рисунках 1.1 и 1.2 [14, 74].

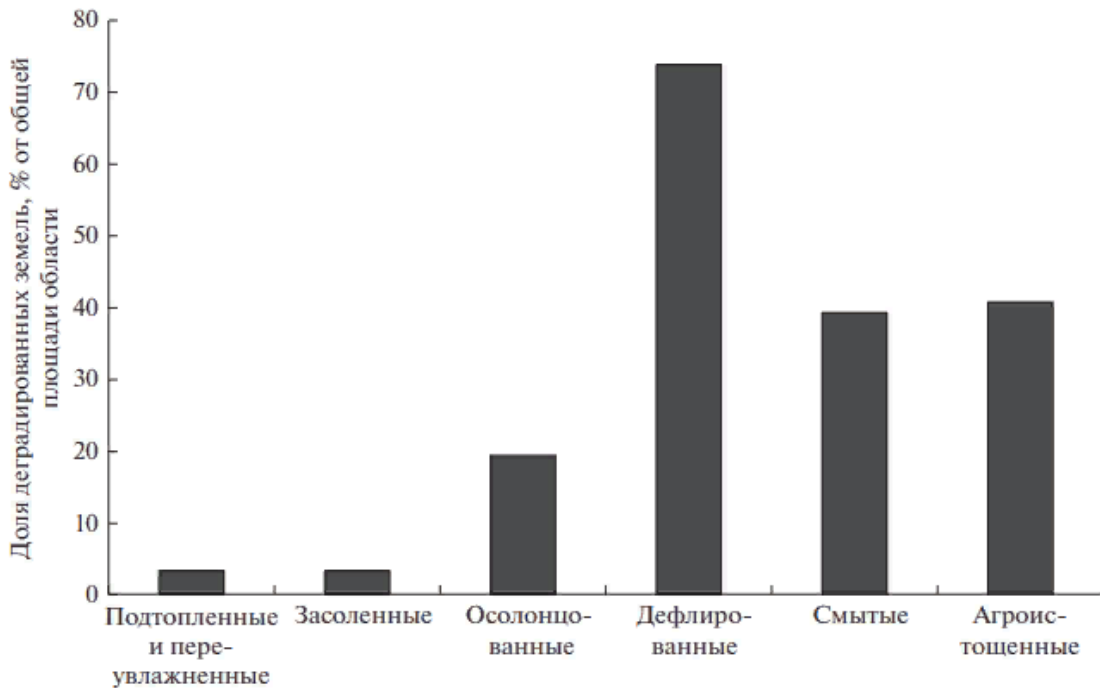


Рисунок 1.1 – Диаграмма процентного соотношения деградированных земель в Ростовской области по состоянию на 2023 г.

Установившемуся негативному состоянию обрабатываемых склоновых и равнинных агроландшафтов способствует их переуплотнение – антропогенное воздействие, которое за последние 30 лет увеличилось более, чем на 20 % [41, 220], воздействие которого усугубляется развивающимися субаридными климатическими условиями – снижение дебета осадков, дефляция [55, 162, 186], снижение содержания гумуса [196, 211] и т.д. Например в 2020 г. в Южном

Федеральном округе выпало осадков на треть меньше, а в Северо-Кавказском федеральном округе – 92 % от нормы [43, 55].

На сегодняшний день, поданным ВНИИГИМ, НИМИ им. А.К. Картунова ДонГАУ и ФГБНУ "РосНИИПМ" в Российской Федерации насчитывается около 10 млн. га сельхозугодий с переуплотненными почвами, которые нуждаются в безотлагательном применении требуемых агромелиоративных мероприятий, направленных на их разрыхление [105, 154, 155, 157]. Согласно исследованиям проф. В.Е. Закруткина (ЮФУ, 2024) подвержены опустыниванию около 17,5 % земель Ростовской области (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Схематическая карта степени деградации земель в Ростовской области

На рисунке 1.3 показаны регионы Европейской части Российской Федерации – ЮФО, Предкавказье, Поволжье подверженные опустыниванию [14, 41, 43, 52].

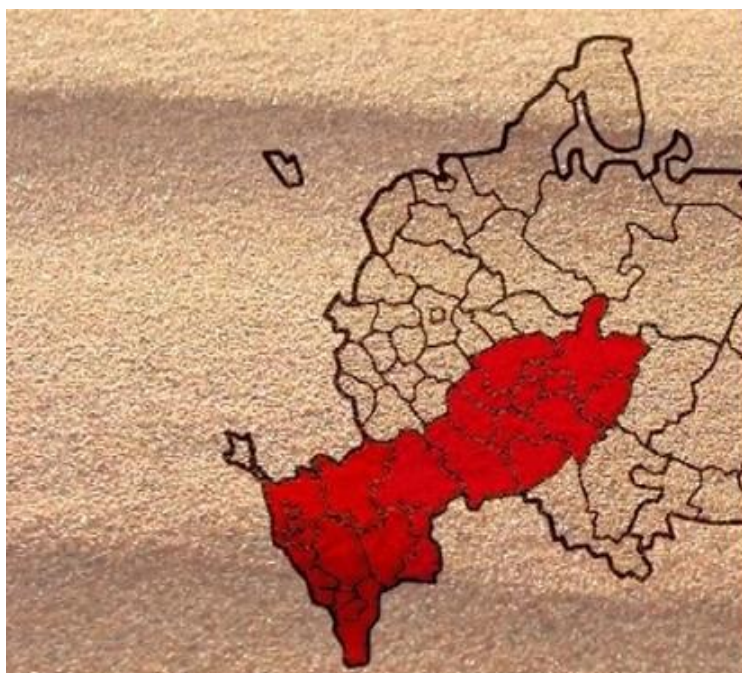


Рисунок 1.3 – Схематическая карта зоны опустынивания в Европейской части России

Согласно результатам исследований Самарского НИИСХ по причине отрицательного антропогенного воздействия на обрабатываемые земли запасы гумуса в них за последние несколько лет снизились на треть [64]. Уплотнения почв как тяжёлого, так и более легкого механического состава с каждым годом увеличивается в нашей стране, в среднем, на 100000 га.

Возникающее уплотнение обрабатываемых земель возникает в результате техногенного воздействия, из-за многократных проходов по полям движителей энергонагруженной сельскохозяйственной и автомобильной техники. Обычно по полю техника совершает до 10 – 12 проходов за сезон. А.Г. Бондарев и П.У. Бахтин [13, 22, 23] пришли к выводу о том, что в результате такого воздействия на почву, в ней возникает переуплотненный слой на глубине 25 см, толщиной 35 – 40 см. Этот слой является преградой для впитывания воды и проникновения воздуха, т.е. в 0 – 1,0 м слое земли снижается фильтрационная способность и воздухопроницаемость в 5 – 15 раз. В таком переуплотнённом почвенном горизонте в значительной мере замедляются все

почвообразовательные процессы. Установлено, что при воздействии на почву одного и того же вида и характера техногенной нагрузки, то ее естественное разуплотнение происходит значительно медленнее [13, 22, 23].

Вследствие постоянного ежегодного воздействия тяжёлой сельскохозяйственной и автомобильной техники на возделываемы земли, в них возникает негативное явление, заключающееся в накоплении в 0 – 80 см слое почвы остаточных деформаций уплотнения, то есть не только в верхнем пахотном 0 – 25 см слое, но и в подпахотных горизонтах почвы. Следовательно, в земле создаётся подпахотный слой с твёрдой структурой, который является преградой для впитывания воды в нижележащие горизонты при выпадении осадков или при поливах орошаемых участков [105]. В верхнем переувлажнённом 0 – 25 см слое почвы возникают условия, которые способствуют быстрому испарению влаги при засухах в вегетационный период возделывания сельскохозяйственных культур. Одновременно с этим резко замедляется или полностью прекращается капиллярный приток внутрипочвенной влаги из нижележащих слоев земли в направлении к дневной поверхности. Приведенные негативные факторы создают некомфортные условия произрастания возделываемых культур как на равнинных, так и на склоновых землях, происходит замедление развитие корневой системы культурных растений и снижается их урожайность и в целом падает плодородие почв [63, 77].

Негативное воздействие переуплотнения обрабатываемых почв на равнинах и склонах от использования на ней сельскохозяйственной техники должно признаваться как важнейший фактор деградации возделываемых земель, ухудшения их физико-механических свойств и плодородия [31, 32, 33].

В процессе эволюционного развития механизмов и транспортно-технологических средств, используемых для возделывания сельскохозяйственных культур, создались разнообразные сельскохозяйственные машины и орудия, отличительной особенностью которых стало увеличение их

энергонагруженности – собственного веса. Уплотняющее воздействие на обрабатываемую почву движителей такой сельскохозяйственной техники обретает наиважнейшее значение.

Для возделывания различных сельскохозяйственных культур с использованием высокоинтенсивных технологий, необходимы многократных проходов по полям специализированных технологических машин и агрегатов сельскохозяйственного назначения, транспортных технических средств, которые воздействуют на почву, уплотняя её [105]. За сезон на обрабатываемое поле происходит 2 – 4-х кратное воздействие движителей техники, а некоторые участки, такие как поворотные полосы испытывают увеличенное 8 – 16-ти кратное влияние [111, 113]. Также при строительстве осушительных или оросительных систем, используемая при этом техника производит уплотняющее воздействие на почву. Учитывая реологическое возрастание энерговооружённости сельскохозяйственных механизмов и транспортно-технологических машин, нагрузка на почву в нашей стране и зарубежом, где наблюдается высокопроизводительное механизированное земледелие, с учетом интенсификации сельскохозяйственного производства, начиная с 60-х годов 20-го века до настоящего времени плотность пахотных земель увеличилась в среднем в 2 – 4 раза. Из-за такого технологического воздействия на почву, она не успевает естественным образом восстановить своё плодородие [23, 105, 157, 227, 237, 238].

Общемировая тенденция показывает, что за последние 60 лет техника, используемая в полях, потяжелела до 35 – 40 тонн [230, 232]. Анализ полученных данных исследователей в США и западной Европе показал, что за последние 40 лет обрабатываемые агроландшафты удельно стали плотнее на 20 % из-за проходов современных тяжелых транспортно-технологических средств [229, 242]. Следовательно, деградационный тренд пахотных земель от переуплотнения

транспортными средствами в нашей стране и зарубежом достигает угрожающих масштабов для продовольственной безопасности [42, 157, 238, 241].

Переуплотнение почв является основным триггером для деградации агроландшафтов – водной и ветровой эрозии, имеющий антропогенную этиологию. В засушливой зоне юга России возникает странное и противоречивое явление – образование «мочаки» или «мочары» – образование переувлажненных участков на полях, одной из причин которого также является антропогенное уплотнение пахотных земель. Это происходит от застаивания воды выпадающих осадков в мезо- и микропонижениях дневной поверхности почвы, что в значительной мере является результатом уменьшения водопроницаемости почв, их переуплотнения [106, 107, 113].

На юге России обрабатываемые склоновые и равнинные земли имеют общий признак в их строении – многослойность. В верхнем пахотном слое, глубиной до 20 см водопроницаемость во много раз выше, чем подпахотного. В нижележащем слое почвы коэффициент фильтрации составляет всего 0,002 – 0,05 м<sup>3</sup>/га в сутки [105]. После снеготаяния и после интенсивных дождей 0 – 20 см слой обрабатываемых агроландшафтов, на которых применялась вспашка, быстро насыщается водой и низкая водопроницаемость плотных подпахотных горизонтов способствует образованию верховодки. Исходя из этого избыточное увлажнение верхнего 0 – 20 см слоя южных чернозёмов приводит к нарушению порядка полевых работ, сокращению продолжительности вегетационного периода возделываемых культур, ухудшению условий использования сельскохозяйственной техники, снижению урожаев, и в некоторых случаях даже к утрате посевов [105, 152, 156, 157].

Изменение свойств почвы зависит от исходного ее состояния: плотности и влажности во время прохода техники, ее единичной массы, конструкции ходовой системы, контактного давления на почву, кратности воздействия. Глубины деформации почв варьируют, в связи с этим от 20 – 30 до 50 – 60 см [97, 105, 157,

171, 223, 224, 239]. В некоторых случаях происходит и более глубокое (до 1 м) воздействие движителей техники на почву. Установлено, также, что при многократном воздействии на почву происходит «накопление» уплотнения, как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах. Уплотнение почв происходит не только в вертикальном, но и в горизонтальном от центра следа движителя направлении, на 35 – 70 см, А.И. Пупонин [99], П.У. Бахтин [13, 14, 22, 23, 30, 171].

Последствие уплотнения почв при обычной системе обработок и внесения удобрений сохраняется в течение 2-3 лет. Связано это в первую очередь с необратимыми изменениями структурного состояния почв. При воздействии техники на сухую почву идет распыление структуры, ее истирание. Такая распыленная почва при увлажнении сплывается, а при последующем иссушении формирует крупные глыбы. При воздействии техники на влажную почву наблюдается ее перемятие с образованием при подсушивании также глыбистой структуры. Исследования ряда учёных [13, 23, 35, 36, 97] показали, что на серых лесных почвах содержание агрегатов >10 мм на уплотненных техникой вариантах опыта было в 2 – 3 раза выше, чем на контроле. При этом отмечается усиление водопрочности почвенной макроструктуры. Объясняется это тем, что пористость почвенных агрегатов при уплотнении уменьшается на 4 – 9 % [105].

Регулярное воздействие транспортной и технологической техники на обрабатываемые земли разрушает структуру почвы, увеличивает её плотность и уменьшает пористость. В первую очередь уменьшается межагрегатная влаго- и воздухопроводящая пористость, а также – внутриагрегатная, что находит отражение на водоудерживающей способности деградирующих почв [105].

В суглинистой почве, имеющей плотность до 1,3 – 1,4 г/см<sup>3</sup> ведёт к уменьшению в 1,5 – 2 раза содержащихся в ней водо- и воздухопроводящих пор. При плотности более 1,5 г/см<sup>3</sup>, такой вид пор практически исчезает [61, 76, 105, 107, 155]. Динамика увеличения уплотнения почв обрабатываемых склоновых и

равнинных агроландшафтов находится в пределах от 3 – 4 до 35 – 40 %. В среднем прирост таких земель составляет 15 – 20 % [152, 153, 154]. Уплотнение почв ведет к ухудшению питательного режима возделываемых земель. Происходит снижение усвоения фосфорных удобрений выращиваемыми растениями.

В связи с вышеперечисленным возникает явление повышенных тяговых сопротивлений при обработке почвы. Так, при вспашке тяжелосуглинистого карбонатного чернозема плугом на глубину 20 см по следу гусеничных тракторов, по сравнению с неуплотненной почвой, тяговое сопротивление возрастает на 16 – 25 %, по следу колесных тракторов (3-го и 5-го тяговых классов) – на 44 – 65 %, по следу комбайнов, грузовых автомобилей и транспортных агрегатов – на 61 – 90 % [105]. Исходя из этого при обработке уплотненных почв будет возникать дополнительный расход топлива, составляющий более 1 млн.т/год, А.Г. Бондарев [22, 23], П.У. Бахтин [13] и др.

В результате ухудшения всего спектра агрофизических и агрохимических свойств почв, её водного, воздушного и пищевого режимов происходящего из-за негативного влияния уплотнения от проходов сельскохозяйственной техники ведет к снижению всхожести культурных растений, повышению засоренности и в конечном итоге к падению урожая. Исходя из этого на юге России происходит значительное до 20 % и более снижение урожая зерновых и кормовых культур [22, 23, 69, 92, 105, 157, 171], а также зарубежом [223, 224, 229, 239, 241].

Результаты полевых опытов, на примере сплошного покрытия поверхности поля следами техники показали, что при однократном уплотнении поверхности поля относительно легкими машинами, такими как тракторы марок МТЗ, ЮМЗ, и др., происходит снижение урожая озимых и яровых зерновых, а также кормовых культур до 8 %. При таком же однократном уплотнении поля более тяжелой техникой – тракторами 3-го тягового класса потеря урожайности составила 14 % [105]. При воздействии тракторами 5-го тягового класса динамика снижения урожайности увеличилась в 2 раза – до 16 %. При 2 – 3-х

кратном уплотнении почв названными марками тракторов снижение урожая выращиваемых культур соответственно составляло 14, 23 и 26 %, А.А Коршиков [75, 76], В.Б. Рыков [179, 180] и др. [13, 23, 171].

Переуплотнение пахотных земель, как уже отмечалось, ведет резкому снижению скорости впитывания воды метровым слоем почвы. Вследствие этого большие поливные нормы на орошаемых участках или обильные осадки не проникают должным образом в почву и образуют на поверхности лужи и поверхностный сток [107, 113, 120]. Это ведет к возникновению водной эрозии. Так, водной эрозией подвержено 31 % [38, 127]. Ежегодно в мировой океан смывается до 60 млрд. т. почвенного материала, в недалеком же прошлом смыв был значительно меньше.

В условиях ЮФО высокие летние температуры сильно иссушают переувлажненный 0 – 20 см слой пашни [102, 105]. Почва постепенно обесструктурируется и возникает ветровая эрозия [68, 113]. Дефляция является одной из основных повреждений почвы, ей подвержено 34 % суши [38, 127]. Неправильное использование земель ведет к усилению эрозии и других видов деградации почвы. Разрушение почвы в результате эрозии, проявляющейся в различных формах (смыв и размыв почвы, образование ручьев, оврагов, пыльные бури и т. д.), охватывает огромные площади в мире.

В настоящее время распаханно и используется около 1,5 млрд. га земли. Распаханность суши достигает 10 – 11 %, по отдельным странам и континентам она колеблется от 1 – 4 до 30 – 70 %; в странах Европы составляет 31 %. Общее сельскохозяйственное использование, исключая пастбища и сенокосы, составляет около 30 % суши. В результате эрозии в разных странах разрушено около 430 млн. га земель [3, 210, 225, 229, 233, 238, 239]. Эрозия почв наносит большой ущерб сельскохозяйственному производству. По данным FAO – продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединённых Наций, ущерб, причиняемый почве эрозией, по серьезности относится к первой

категории (всего категорий три) [227, 238]. При сохранении темпов потери почвы на планете на таком уровне, какими они были до настоящего времени, в ближайшие 10 – 15 лет можно потерять до 1 млрд. га земель, а в прошлом уже утрачено около 2 млрд. га. На современном этапе ведения сельскохозяйственного производства защита почв от эрозии, и охрана окружающей среды от загрязнения является одной из важнейших проблем в мировом земледелии [209, 226, 228, 230, 222, 242].

На юге России каждый год водная эрозия наносит ущерб сельскому хозяйству в пределах 1,4 млрд. рублей [4, 205]. Это прежде всего низкий урожай, снимаемый с эродированных обрабатываемых равнинных и склоновых агроландшафтов. Во-вторых – утрата верхнего плодородного слоя почвы, коренное изменение микрорельефа, возникновение ложбинообразования. В данном регионе нашей страны, из всего количества обрабатываемых сельскохозяйственных земель, более 9 млн. га пашни подвержены всем видам эрозии или потенциально эрозионно опасны. Только от водной эрозии смыты здесь 1 млн. 434,7 тыс. га и 4 млн. 238,3 тыс. га потенциально опасны к эрозии вследствие больших уклонов [205]. В Ростовской области ежегодный ущерб, причиняемый только водной эрозией, составляет 41 млн. рублей и вместе с почвой при этом уносится 54,2 тыс. тонн азота, 27,1 тыс. тонн фосфора и 542 тыс. тонн калия. Исходя из этих причин и последствий, что особенно важно, площади эродированных земель, по мнению специалистов, из года в год растут. Принимая во внимание тот факт, что в почвенно-климатических условиях Ростовской области затрачивается примерно 30 – 33 кг азота, а также около 10 кг фосфора и до 26 кг калия удельно для выращивания 1 тонны зерна, то можно посчитать возможное количество недополученного урожая зерна, без дополнительных расходов на удобрения [74, 185].

На орошаемых агроландшафтах, величина смыва поверхностного плодородного слоя и эрозии почв по интенсивности в несколько раз превосходит

эрозию от атмосферных осадков, в большинстве случаев происходит из-за некорректной инженерной деятельности хозяйствующих субъектов. Достаточно отметить, что рядом авторов установлен смыв при поливах от 50 до 150 и более т/га верхнего плодородного слоя. Чтобы накопить в естественных условиях такое количество почвы, которое смывается только за один полив, природе потребуется сто лет [81, 82, 156, 157].

На сегодняшний день на юге нашей страны большинство удобных и доступных для орошения земель, освоены и эксплуатируются. Исходя из этого, под воздействием изменения климата юга России [24, 43, 55, 164], возникающая проблема увеличения, в дальнейшем, поливных участков будет происходить преимущественно за счёт ввода агроландшафтов с волнистым мезо- и макрорельефом, а также склоновых земель с довольно большими уклонами, предгорных и горных участков. Исходя из этого можно предположить в грядущей недалёкой перспективе потенциальный рост водной эрозии обрабатываемых агроландшафтов в подобных условиях при различных режимах орошения. Некоторые специалисты, практики и даже ученые считают одним из радикальных способов борьбы с ирригационной эрозией – переход к поливу дождеванием [81, 82, 163, 164]. Отметим, что это не совсем правильное и скорее ошибочное решение. На сегодняшний день практически вся серийно выпускаемая поливная техника по параметру интенсивность дождя диссонирует со способностью почвы полноценно впитывать подаваемые поливные нормы, этот факт позволяет судить о наличии поверхностного стока при дождевании. Не впитавшаяся вода концентрируется в отдельные потоки и создаётся ими смыв верхней плодородной части почвы [163, 164].

При выпадении дождя на поверхность почвы в начальный период, когда идет интенсивное впитывание, происходит активное разрушение частиц почвы верхнего слоя. Далее, по мере уменьшения скорости впитывания, начинает формироваться поверхностный сток. С увеличением мощности потока и

скорости впитывания, растёт силовое воздействие на частицы и, когда оно становится больше сопротивляемости почвенного покрова размыву, начинается эрозия. Также, в тех случаях, когда скорость выпадения осадков превышает скорость впитывания, начинает образовываться поверхностный сток [160, 163, 164].

По длине склона возрастает мощность потока и соответственно его скорость. Обычно дожди характеризуются коэффициентом стока, и, как известно, наибольшим коэффициентом стока обладают ливни, т.е. ливни в эрозионном отношении наиболее опасны [14, 41, 74, 159, 160]. Известно, что на стоковых площадках при почти равном слое осадков интенсивный ливень (2,03 мм/мин) вызвал в 20 раз больший смыв почвы, чем менее интенсивный ливень (0,31 мм/мин) [21, 159, 164, 185].

Значительную роль в развитии эрозионных процессов играют условия рельефа. В зависимости от крутизны, длины, экспозиции и формы склонов создается различная опасность проявления водной эрозии. Установлено, что эрозия возрастает по мере увеличения уклона. При уменьшении уклона с 30 до 2° эрозия почвы уменьшается примерно в 1,3 раза. Доказано, что рост эрозии по мере увеличения длины склона: нарастание длины склона с 450 до 700 м увеличило смыв почвы при очень сильном ливне, с 327 до 433 м<sup>3</sup>/га. Во многих случаях удвоение длины склонов увеличивало смыв почвы в 1,1 – 2,3 раза. Формирование и развитие склонового стока находится в прямой зависимости от свойств почвы, в частности от их водопроницаемости и противозерозионной устойчивости [11, 14, 74, 163, 164].

Анализ эрозионных процессов показал, что количество смытых почв на склонах южных и западных экспозиций на 30 % больше, чем на северных и восточных, кроме того, юго-западные и северо-восточные склоны отличаются не только количеством смытых почв, но и их качественной структурой. Например, при уклонах крутизной 4 – 5° средне- и сильносмытые почвы на

юго-западных экспозициях составляют 73 %, на северных и восточных – не более 30 % [63, 163].

Известно, что решающую роль на впитывающую способность почв оказывают их механические свойства. Так глинистые плотные почвы обладают малой инфильтрационной способностью, а песчаные – большей [82, 107].

Большое влияние на инфильтрацию оказывают структурность почвы. Чем более структурна почва, тем выше ее водопроницаемость. Если почва обесструктурена, то при выпадении осадков на ее поверхность, верхний слой быстро теряет водопроницаемость, закрывая доступ влаги и нижележащие горизонты. Влияние механического состава на эрозию снижается по мере повышения структурности почвы. Доказано влияние, оказываемое на водопроницаемость почв состоянием почвенного покрова. Так, сток на залежи составлял 30 – 32 мм, а на участке, где на 2/3 площади была произведена вспашка – 5,5 мм [2, 41, 157, 160, 211].

Наивысший эрозионный показатель для почв Ростовской области, колеблющийся в пределах 46,4 – 54,3 имеет чернозем обыкновенный; самый низкий – от 13,8 до 16,6 имеют светло-каштановые почвы. Между ними, по убывающей расположены предкавказский чернозем, европриазовский и южный, темно-каштановые и каштановые почвы [131]. Содержание совершенно неустойчивых к водной эрозии агрегатов составляет в черноземах обыкновенных 2, а каштановых 82 %, агрегатов с очень низкой водопрочностью – 35 и 14 % соответственно [41, 45, 157].

На водопоглощение почвы существенное влияние оказывает плотность верхнего слоя. Установлено, что после рыхления, инфильтрация черноземов увеличивалась в 1,5 – 3 раза. Доказано, что с увеличением плотности от 0,99 до 1,40 г/см<sup>3</sup> отмечалось значительное возрастание стока [45, 157].

Еще больше влияние на водопроницаемость почв оказывает глубина рыхления, т.е. увеличение слоя рыхления с 16 до 32 см влечёт повышение

просачивания воды на 50 % [14, 63, 157]. Многие авторы связывают устойчивость обрабатываемых агроландшафтов с прочностью структурных агрегатов, на которые большое влияние оказывает состав поглощающего комплекса почвы.

Длительная распашка (без применения соответствующих агротехнических мероприятий) резко снижает водопрочность структуры пахотных горизонтов, как черноземов, так и серых почв, и сглаживает разницу в устойчивости агрегатов пахотного горизонта по отношению к размывающему действию искусственного дождя [45, 157].

Южный регион России, в значительной степени испытывает воздействие негативных факторов полузасушливого и засушливого климата. В нём имеется разнообразие агроландшафтов с хорошей почвенной разностью, которые преимущественно являются различного вида чернозёмами с суглинистым механическим составом [41, 186, 220]. К тому же в настоящее время орошаемые земли имеют площадь около 1,7 млн. га. Исходя из приведенных данных по площади орошаемых почв юга России, укажем, что эти земли в большей мере находятся на местности с широковолнистым и не спланированным рельефом. Следовательно, многие поля здесь имеют уклоны от 0,007 до 0,01 – 0,02, а в некоторых случаях и до 0,03 – 0,05 [205]. В данной ситуации имеющийся такой большой уклон будет резко отрицательно влиять на плодородие почв, если проводить некорректные поливы, например большими струями, не соблюдая противоэрозионные меры [14, 187]. Отсюда будет возникать одна из разновидностей водной деградации почвы, наблюдаемая на орошаемых землях – ирригационная эрозия. В результате ведения орошения при таких условиях рельефа возникает острая необходимость создания системы ресурсосберегающей обработки склоновых и равнинных земель (СРОСПЗ), имеющую почвоохранную направленность, для производства и организации с.-х. работ при выращивании различных сельскохозяйственных культур на эрозионно опасных полях.

Актуальность представленной проблемы деградации обрабатываемых склоновых и равнинных земель полностью соответствует положениям, приведенным в Федеральном Законе от 29.12.2006 N 264-ФЗ (ред. от 31.07.2025 N 349-ФЗ) "О развитии сельского хозяйства" и Указе Президента РФ от 21.01.2020 N 20 (ред. от 10.03.2025) "Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации", в частности, разделов "продовольственная независимость Российской Федерации" и "Восстановление и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения, предотвращение сокращения площадей земель сельскохозяйственного назначения, рациональное использование таких земель, защита и сохранение сельскохозяйственных угодий от водной и ветровой эрозии и опустынивания", а также Указа Президента РФ от 07.07.2011 N 899 (ред. от 16.12.2015) "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации" в частности, раздела "Рациональное природопользование" как приоритетного направления развития науки, технологий и техники.

## **1.2 Актуальные агротехнические почвозащитные мероприятия склоновых и равнинных земель**

Основное назначение противоэрозионных агротехнических мер – задержание части воды на склонах, равномерное увлажнение почвы в сокращение смыва. Наукой предложен ряд приемов для защиты почв от эрозии. Однако степень изученности их различна. Наиболее полно раскрыто влияние на сток воды, смыв почвы и водопоглощение, направления и различные виды вспашек (гребнистая, ступенчатая, комбинированная и т. д.) и глубины обработки почвы, лункование, прерывистое бороздование, щелевание,

кротование, мульчирование. Другие приемы плоскорезная и безотвальная обработки (глубокое рыхление) изучены значительно меньше.

Гидрологический эффект любого почвозащитного приема зависит главным образом от влияния его на интенсивность и продолжительность инфильтрации воды в почву в период ливневых дождей или снеготаяния. При прочих равных условиях сток воды будет меньше при таких способах обработки, которые создают большую шероховатость поверхности почвы и высокую ее порозность. Уплотнение же, выравнивание поверхности, уничтожение растительных остатков неизбежно увеличивают сток воды и смыв почвы.

Почвозащитные мероприятия на зяби. Экспериментальные материалы различных исследователей, характеризующие влияние направления вспашки на сток талых вод, приведены в таблице 9. В связи с тем, что смыв почвы в значительной степени зависит от объема стекающей воды, для анализа отбирали случаи, когда сток воды на контроле превышал 10 мм. Смыв в абсолютном большинстве случаев при пахоте поперек склонов снижался в 2 – 3 раза по сравнению с продольной обработкой. Средневзвешенное сокращение стока за 27 учетных годов на вспашке поперек склона составило по всем пунктам 8 мм.

В отдельные годы отмечено очень высокое сокращение стока на склонах, вспаханных поперек. Например, в опытах Института географии АН СССР в Поволжье на темно-каштановых почвах снижение составило 29 мм. а в Курской области па черноземах 21 мм. Наряду с высокой эффективностью практически во всех природных зонах и на основных типах почв отмечены случаи, когда сток воды на участках, вспаханных поперек склона, снижался немного, что связано со сроками обработки почвы и ее выравненностью [45, 211].

Для повышения гидрологической роли пахоты поперек с клона целесообразно увеличивать глубину обработки почвы с 20 – 22 см до 27 – 30 см и более, особенно под пропашные культуры. В отличие от глубокой вспашки вспашка с почвоуглублением (без выворачивания на поверхность подпахотных слоев) отличается мощностью рыхлого слоя и отсутствием плужной подошвы. При глубокой вспашке общая пористость слоя почвы 20 – 30 см в течение вегетационного периода повышается на 3 – 4 % по сравнению с пахотой па 20 – 22 см. В современных условиях такой вид обработки недостаточно эффективен.

Известна технология обработки почвы лункователем. Такое орудие может работать в агрегате с плугом, с культиватором, луцильником или самостоятельно по уже вспаханной зяби. Образуется густая сеть лунок (34 тыс. лунок/га) глубиной 10 – 12 см с узкими перемычками (2 – 3 см) в верхней части. Лунки легко заравниваются весной в процессе весеннего боронования и предпосевной культивации.

Исследования в Ростовской области показали, что на склонах с лункованной поверхностью ноля, по сравнению с обычной вспашкой поперек склона смыв уменьшился в 4 раза, а сток талых вод более чем в 2 раза [69, 74, 185].

Относительно хорошо зарекомендовало бороздование зяби. В среднем за 6 лет применение этого агроприёма сокращало сток воды почти на 15 мм, а смыв почвы – на 4,7 т/га; прибавка урожая зерновых культур достигает 3,3 ц/га [45, 78, 212].

Хороший эффект в борьбе с поверхностным стоком и водной эрозией дает также щелевание зяби, а в южной части степной зоны – плоскорезная обработка почвы. Так, исследования в Ставропольском крае показали, что в годы с устойчивым снежным покровом при плоскорезной обработке на склонах накапливается снега в 2,4 раза больше, чем на отвальной зяби, и повышаются запасы влаги в метровом слое на 15 – 20 мм. По данным лаборатории защиты

почв Ставропольского НИИСХ, плоскорезная обработка по сравнению с отвальной снижает смыв почвы на полях с озимыми на 20 – 50 %, а на зяби на 20 – 35 %. При неустойчивом и незначительном снежном покрове в Ростовской области плоскорезная обработка предотвращает сток талой воды и смыв в тех же размерах, что и отвальная не выровненная зябь при условии, что обе обработки выполнены поперек склона, и в один срок. Таким образом, в районах, где плоскорезная обработка не снижает урожай яровых культур, ее можно применить как средство защиты почв от водной эрозии на склонах [45, 164].

Для повышения противоэрозионной роли плоскорезной обработки почвы на склонах Северо-Кавказский филиал ВИМ (Краснодарский край) предлагает в октябре проводить рыхление почвы плоскорезами на глубину 25 – 27 см с одновременным щелеванием на глубину 15 – 50 см. Эта работа выполняется усовершенствованным глубокорыхлителем КПГ-250, за стойками которого устанавливаются ножи – щелерезы со съемными долотами. Щель нарезается на 20 – 25 см ниже прохода рабочего органа глубоко рыхлителя [69, 45, 181].

Почвозащитные приемы на парах. В засушливых условиях юга в системе севооборотов значительные площади пашни отводятся под чистые пары, а на остальной ливнеопасной территории – под занятые пары. Площади под чистым паром практически в течение всего вегетационного периода лишены растительного покрова, и поэтому эрозионные процессы на них наиболее интенсивны. Для накопления и сохранения влаги на парах обычно проводят культивацию и прикатывание, что способствует выравниванию поверхности и уплотнению почвы. Для задержания же стекающей воды требуется создавать микронеровности – лунки, борозды, валики, щели или размещать буферные полосы из густопокровных культур и трав. Таким образом, на склоновых чистых парах в летний период возникает антагонизм между

приемами, направленными на задержание стока осадков, и приемами, способствующими сохранению в почве влаги в засушливое время [45, 211].

Для обеспечения одновременного задержания поверхностного стока и сокращения потерь воды на испарение в Ростовской области изучали ряд приемов ухода за чистыми парами: культивацию с одновременным бороздованием.

Также высокий почвозащитный эффект на парах отмечается и при создании на них буферных полос из густопокровных культур или трав.

Наибольший эффект в борьбе с водной эрозией дает замена отвальной вспашки зяби обработкой без оборота пласта с сохранением на поверхности обрабатываемого поля мульчирующего слоя из стерни, растительных и пожнивных остатков. При такой обработке запасы воды в снеге на 8 – 23 мм больше по сравнению с поперечной обработкой с оборотом пласта; содержание влаги в почве весной было выше на 15 – 43 мм, летом на 8 – 17 мм. В связи с лучшим поглощением снеговой воды при безотвальной обработке смыв почвы был или значительно меньше, или полностью отсутствовал [45, 159, 195, 232].

Приемы борьбы с эрозией почв при орошении дождеванием. Агротехнические способы обработки почв в целях борьбы с эрозией проводились на различных землях и с разным успехом. То один прием покажет себя лучше, то другой, однако всегда отмечалось, что эти приемы (как на богаре, так и на орошении) обладают значительным противоэрозионным эффектом [45, 163, 164, 195].

Оструктурирование верхнего 0,3 см слоя почвы полимером К-9 при прочих равных условиях (уклона поля, интенсивности дождя) доказало явное превосходство по сравнению с контролем. Сопrotивляемость почвы эрозии – при норме полива 500 м<sup>3</sup>/га, была значительно больше контроля (смыв почвы на контроле – 11 т/га, смыв почвы обработанной структором составил всего 1 т/га).

Щелевание, особенно щелевание и одновременное созданием борозд, бороздоделателями – щелерезами. Одним из наиболее эффективных способов задержания жидкого и твёрдого стока при поливах дождеванием на значительных уклонах площадей (0,02 – 0,03) и при больших поливных нормах (более 500 – 700 м<sup>3</sup>/га) является нарезка, поперечных полю, щелей или борозд–щелей. При уклонах до 0,02 нарезаются щели, а уклонах 0,03 и более – борозды–щели. Поперечная нарезка осуществляется щелерезами, конструкции РосНИИПМ серий КБЩ и БЩН-3У [157].

Нарезка борозд–щелей как противоэрозионная обработка полей проводится один раз в сезон в междурядьях пропашных культур в период появления 3 – 5 листьев. Она позволяет увеличить водопоглощение в пределах поля, повысить структурность и водопрочность почв, снижает жидкий и твёрдый сток при уклонах до 0,012 и поливных нормах до 400 – 500 м<sup>3</sup>/га практически до минимально допустимых. При уклонах полей  $\geq 0,03$  и поливных нормах  $\geq 500$  – 700 м<sup>3</sup>/га жидкий и твёрдый сток снижается в 8 – 10 раз. Экономическая целесообразность данного приёма проявляется при прибавке урожая от 7,0 % и выше [45, 156].

Глубокое рыхление, как способ в борьбе с водной эрозией впервые был испытан на поле колхоза Ленина, расположенного в зоне умеренных ограничений Цимлянского водохранилища, Ростовская область в 70-х годах 20-го века. Глубокое рыхление – это безотвальная обработка почвы на глубину от 40 см и более. Такой вид обработки склоновых и равнинных агроландшафтов применяется как на богарных, так и на орошаемых полях [105, 107, 108, 109].

Положительные результаты обработки глубоким рыхлением:

– благоприятные условия для развития корневой системы возделываемых культур на глубину, вследствие чего улучшается питание растений [106, 107, 111];

- сохраняется гумусовый горизонт и послойная слёжность почвы, что является одним из факторов предотвращения эрозии почвы;
  - возникает отвод избыточной влаги из верхнего 0 – 20 см пахотного горизонта [19, 21];
  - уничтожается искусственное и естественное уплотнение почвы [109, 110, 111].
- Получаемые положительные результаты обработки глубоким рыхлением приводят к росту урожаев выращиваемых культур, Г.Н. Дьяченко [60], И.М. Панов [139, 141] и др.

Глубокое рыхление в качестве мелиоративного приема для деградируемых обрабатываемых земель стало широко применяться в 50-х годах. Значительный опыт в этой области накоплен зарубежом в США и западной Европе [223, 224, 225, 233, 239]. Например, в США различными видами безотвальных орудий и мелиоративных рыхлителей в 1972 г. обрабатывалось 12 млн. га, в 1982 г. – более 40 млн. га таких земель. К 2024 г. прогнозируется применение безотвального рыхления на 90...95 % всех существующих площадей [113, 229, 237, 241].

Использование глубокого рыхления даже без применения удобрений увеличивает урожайность зерновых озимых культур на орошаемых участках в центральной орошаемой зоне Ростовской области более чем на 50 % [105, 106, 107, 108, 113]. Вместе с тем, если глубокое рыхление сопровождается внесением на кислых почвах необходимых количеств извести, а также органических и минеральных удобрений, то оно становится коренным агротехническим мероприятием, открывающим возможность резкого повышения потенциального плодородия почв с маломощным (12 – 20 см) гумусовым горизонтом и низкой влагоемкостью [75, 76, 105, 109].

Как показывают исследования, проведенные А.И. Бараевым [11, 12], А.Г. Бондаревым [22, 23] и др., после проведения глубокого рыхления подпочва из плотной и мелкопористой становится рыхлой. Плотность ее уменьшается на 4 – 35 % (в среднем на 11 %) и составляет в среднем 1,3 – 1,4 г/см<sup>3</sup>. Удельная

плотность почвы снижается на 4 – 10 %, одновременно на 20 – 40 % уменьшается ее твердость; пористость подпахотного слоя почв увеличивается на 23 – 25 %, в то же время возрастает и полная влагоемкость почвы (ПВ); предельная полевая влагоемкость (ППВ) увеличивается на 3 – 8 %; влажность завядания несколько уменьшается, что способствует увеличению объема доступной для растений влаги, А.И. Пупонин [167], И.Б. Борисенко [24, 25] и другие.

С увеличением пористости улучшается аэрация почвы: содержание воздуха в почве увеличивается на 6 – 16 % [105, 113, 211, 231]. В результате на всех почвах (кроме тяжелых глин) порозность в зоне аэрации приближается к оптимальному для сельскохозяйственных культур значению – 10 – 15 % от объема. Кроме того, под влиянием рыхления увеличивается содержание мезо- и макропор, количество же мелких пор снижается. В результате – в почвенном воздухообмене участвует на 10 – 20 % пор больше, чем до рыхления. Одновременно увеличивается водоотдача почвы на 30 – 160 % в подпахотных горизонтах [105, 106, 107, 108, 109, 209].

Разуплотнение и повышение пористости почвы обеспечивают улучшение ее фильтрационных свойств: коэффициент фильтрации увеличивается в сотни раз под следом движителя и в 5 – 40 раз в грунте между следами движителя [105, 131, 163]. За счет изменения водно-физических свойств улучшается водно-воздушный и тепловой режимы почвы, повышается активность полезной микрофлоры, повышаются влагозапасы в почве летом, увеличивается площадь питания растений. Водный режим переувлажненной почвы трансформируется, приближаясь к оптимальному [21, 49, 102, 105, 109, 111].

Дополнительная водовместимость разрыхленного слоя увеличивается в среднем на 17 – 50 мм, этот слой воды аккумулируется в бывшем подпочвенном слое и служит значительным ресурсом для растений в период засухи. Испарение с поверхности почвы при этом уменьшается на 15 – 25 мм [105, 121, 130, 131, 133, 134].

По полученным экспериментальным данным срок действия глубокого рыхления на тяжелых почвах составляет 3 – 4 года [105, 106, 107, 113, 121].

Применяя для только орудия для глубокого рыхления почвы на глубину до 60 см и более позволит:

- 1) оказывать содействие по предотвращению эрозии, водной или воздушной этиологии орошаемых и богарных земель;
- 2) частично заменить вспашку на глубину 20 – 25 см как основной обработки почвы равнинных и склоновых агроландшафтов;
- 3) разрыхлять переуплотнённые подпахотные почвы равнин и склонов;
- 4) улучшать аэрацию и скважность почвы, способствовать наиболее эффективному формированию корневой системы возделываемых сельскохозяйственных культур;
- 5) способствовать более рациональному использованию водных ресурсов [105, 106, 107, 108, 111, 113, 121, 140].

Приведенный обзор источников позволяет сделать вывод о том, что применение глубокого рыхления почвы в качестве основной ее обработки позволяет существенным образом повысить ее влагоемкость по всему профилю ее обработки, повысить доступность корням возделываемых растений влаги и питательных веществ, и как следствие, приводит к росту урожайности, А.И. Бараев [11, 12], Ю.П. Поляков [144, 145], Е.В. Полуэктов [147, 148, 151] и др.

Но, существующие глубокорыхлители, при обработке почвы имеют неприемлемо высокие энергозатраты и при рыхлении склоновых агроландшафтов не способствуют аккумуляции в них внутрипочвенной влаги.

Приведём инновационные подходы к задержанию влаги на склоне.

1. Использование гидрогелей. Применение на склонах, поперёк уклона, полимерных материалов, способных впитывать и задерживать большое количество воды. Их можно применять на склонах в качестве добавки к почве.

Гидрогели поглощают избыточную влагу и затем медленно высвобождают ее к растениям при необходимости.

2. Гидроинfiltrация. Данный метод включает использование специальных гидроинfiltrационных приспособлений, которые устраиваются в почву. Они обеспечивают создание пузырькового потока воды, который задерживает влагу в почве и предотвращает ее скатывание вниз по склону.

3. Биоинженерия склонов. Использование комплексных мер, которые объединяют экоинженерные методы с использованием живых организмов, чтобы укрепить и оздоровить склон. Это может включать посадку специфических растений и создание специальных грунтовых структур, которые способствуют задержанию влаги.

4. Гидродинамические преграды на дневной поверхности склона. Этот метод предлагает использовать гидравлические препятствия, такие как борозды или барьеры, расположенные поперек склона. Такие преграды тормозят движение воды вниз по склону, позволяя импрегнировать почву и задерживать влагу.

Представленные инновационные подходы к задержанию влаги на склоне очень затратны финансово и имеют высокую степень ручного труда – мало технологичны. Также в некоторых случаях требуется внедрение во внутрь почвы склонов.

### **1.3 Технические средства для глубокой обработки земель в России и за рубежом**

Высокоинтенсивное и прогрессивное сельскохозяйственное производство, а именно возделывание выращиваемых культур основано на оптимизации всех элементов технологических процессов и, в первую очередь, парка почвообрабатывающих агрегатов и орудий [69, 235].

Отечественным сельскохозяйственным машиностроением широко представлены различные виды и модификации технических средств для разрыхления переуплотнённого горизонта при обработке почвы без оборота пласта [19, 20, 24, 25, 89, 105, 149, 168, 169]. Современные почвообрабатывающие орудия для обработки почвы без оборота пласта, направленные на снижение эрозионной нагрузки, разделяются по глубине рыхления на несколько основных групп:

- поверхностная обработка почвы на 10 – 15 см – культивация или лушение;
- рыхление на глубину от 20 до 45 см – чизелевание, плоскорезная обработка;
- глубокое рыхление от 45 до 60 см и глубже.

Из представленных групп только орудия, производящие рыхление на глубину от 45 до 60 см и глубже наиболее эффективно способствуют разуплотнению переуплотнённых подпахотных горизонтов, повышая аэрацию и скважность почвы, предотвращая поверхностную эрозию, являясь при этом одним из видов основной обработки пахотных равнинных и склоновых земель. Следовательно в обзор данного исследования входят серийные сельскохозяйственные глубокорыхлители различных конструкций в России и зарубежом.

Рассмотрим почвообрабатывающее орудие, выпускавшееся отечественной промышленностью с 70-х годов 20 века (рисунок 1.4).

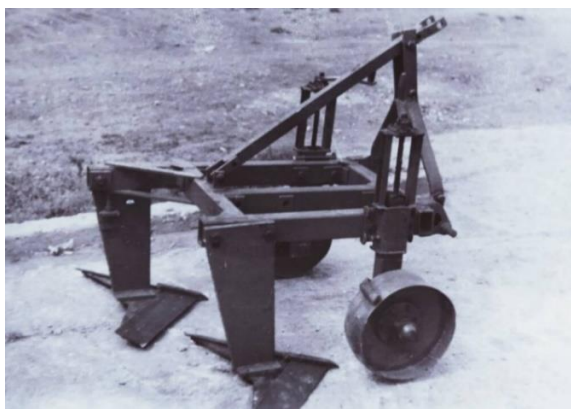


Рисунок 1.4 – Культиватор-плоскорез-глубокорыхлитель КПГ-250

Оно дало начало созданию семейства орудий для рыхления почвы без оборота пласта. Им является культиватор – плоскорез – глубокорыхлитель КПГ-250 (рисунок 1.4) [25, 66, 76]. Данное орудие до сих пор выпускается предприятиями нашей страны в различных модификациях.

Представленный на рисунке 1.5 глубокорыхлитель РГ-0,8 – это орудие объемного типа, очень редкий представитель глубокорыхлителей сельскохозяйственного назначения (разработка ВНИИГиМ), способный рыхлить почву на глубину до 80 см [105].

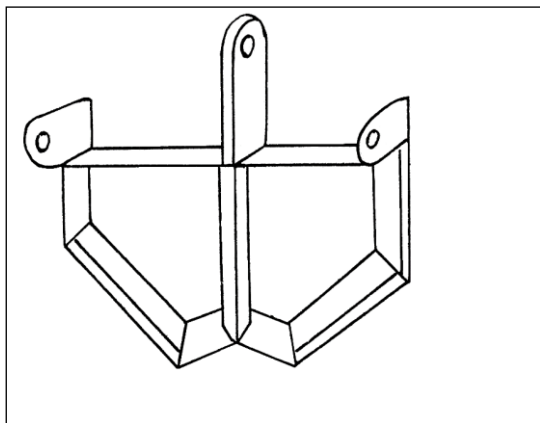


Рисунок 1.5 – Глубокорыхлитель РГ-0,8

Семейство орудий КПГ и РГ-0,8 имеют навесной тип агрегатирования [9, 105]. Одним из наиболее массовых глубокорыхлителей чизельного типа, применяющихся с 80-х годов 20-го века и сейчас является плуг чизельный ПЧК-4,5 (рисунок 1.6).

Наибольшая глубина обработки почвы у всего семейства чизелей ПЧ достигает 45 см. [24, 25, 235]. Или, например, упрощённый вариант – ПЧ-4.5 Svarog, к которому устанавливается борона, показанный на рисунке 1.7 [78, 105].

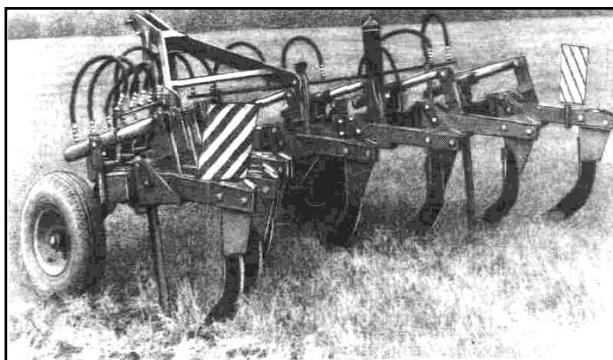


Рисунок 1.6 – Плуг чизельный ПЧК-4,5.



Рисунок 1.7 – Чизельный плуг Svarog ПЧ-4.5

На рисунке 1.8 показан один из представителей семейства АПК комбинированный почвообрабатывающий агрегат АПК-6. Орудия этого семейства предназначены для ресурсосберегающей обработки почвы агрегируясь щелерезами для обработки склонов, с установленными чизельными лапами – для глубокой зяблевой обработки равнинных плотных почв на глубину до 30 см [49]. Представленное семейство орудий АПК – это попытка

внедрения адаптивной ресурсосберегающей технологии обработки склоновых и равнинных земель. Но, использование щелевания при обработке склонов малоэффективно для аккумуляции внутрипочвенной влаги на склонах в условиях изменяющегося климата [24, 43, 52, 55]. Большинство отечественных орудий, в большинстве случаев, это серийно выпускаемые глубокорыхлители, которые имеют с трактором навесной тип агрегатирования. Редкий представитель отечественного сельхозмашиностроения – глубокорыхлители серии КАМА – модификации его могут рыхлить почвы на глубину до 60 см и более (рисунок 1.9).



Рисунок 1.8 – Вид почвообрабатывающего агрегата АПК-6



Рисунок 1.9 – Внешний вид глубокорыхлителя серии КАМА

Модель этого семейства – «КАМА ПТГР 50.14-700», принципиальная которого схема представлена на рисунке 1.10. Редкий современный представитель прицепного тяжелого глубокорыхлителя чизельного типа, имеющим складную раму. По заявлению производителя ООО "Техника–Агро" агрегат может производить рыхление почвы глубиной до 65 см. Представленные современные серийные почвообрабатывающие агрегаты имеют металлоёмкую архитектуру силовой части.

Исходя из выше изложенного большой собственный вес и высокие показатели тягового сопротивления при глубокой обработке почвы на глубину 40 см и глубже. При чизелевании остаётся достаточно большое количество крупных

комьев земли размером 15x10 см и более, возникает вынос из нижележащих слоёв почвы больших кусков.

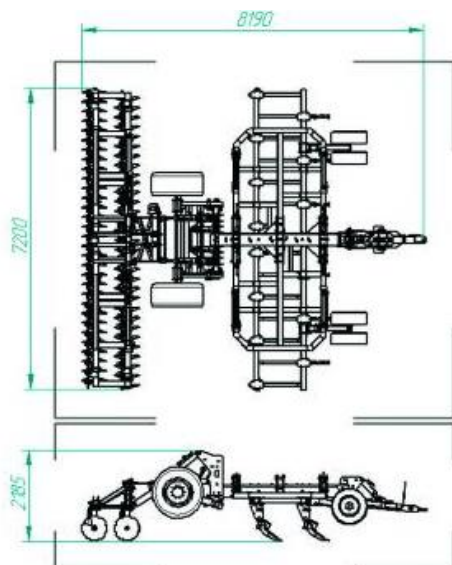


Рисунок 1.10 – Схема глубокорыхлителя КАМА ПТГР 50.14-700

Причина этого несовершенство архитектуры системы деформаторов стоек орудия. Производители вынуждены этот недостаток компенсировать работой дополнительно устанавливаемых борон (дисковых, игольчатых и т.п.).

Отсутствуют ресурсосберегающие орудия для качественной обработки склоновых земель, направленной на удержание внутрипочвенной влаги на эрозионно опасных переуплотнённых обрабатываемых склонах агроландшафтов в текущих сложных климатических условиях юга России с перманентным дефицитом влаги [43, 55, 158, 160].

Рассмотрим используемые орудия за рубежом.

На сегодняшний день за рубежом создалась такая тенденция, что сельхозпроизводители вынуждены использовать прицепные почвообрабатывающие машины, использующие в основе чизельные плуги, к которым агрегируются культиваторы, бороны и т.д. Они заменяют основную обработку почвы – вспашку и обрабатывают почву на глубину от 10 до 30 см, используя такие комбинированные агрегаты уменьшается количество проходов по полю, производя дополнительную обработку почвы. При этом чизельные плуги обрабатывают плодородный слой грунта без оборота пласта, сохраняя в некоторой мере пожнивные остатки на дневной поверхности. Это способствует

предотвращению эрозии почвы, следовательно создаются предпосылки для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и экологичности их возделывания [61, 105, 225, 226, 230, 241].

Покажем характерные, наиболее распространенные в недавнем прошлом конструкции агрегатов для глубокой обработки почвы без оборота пласта. Глубокорыхлитель, представленный на рисунке 1.11 выпущен во Франции. В конструкции глубокорыхлителя Deltagard рама имеет V-образную форму, также чизельные стойки имеют эллипсовидный профиль. Максимальная глубина рыхления агрегата составляет 50 см [7].

Приведём также другой вид глубокорыхлителей, имеющих конструкцию прямой рамы, например таких как "John Deere 990", рисунок 1.12 [7, 62].



Рисунок 1.11 – Навесной рыхлитель Deltagard (Франция)

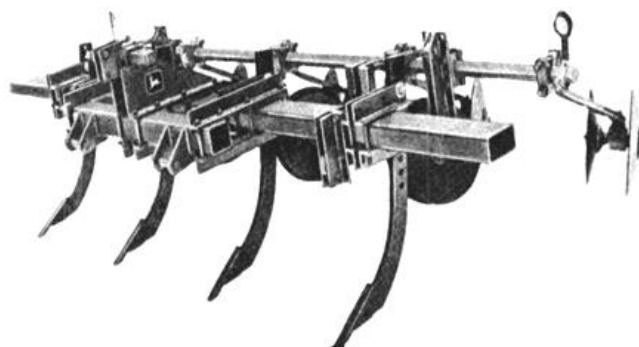


Рисунок 1.12 – Пряморамный рыхлитель "Джон Дир" (США)

В данной модели рыхлителя имеется возможность изменять межосевое расстояние между стойками (от 50 до 200 см) и в соответствии с этим появляется возможность варьирования ширины захвата рыхлителя. Такая конструктивная особенность пряморамного рыхлителя фирмы «Джон Дир» позволяет использовать его в различных почвенных условиях. При этом, конструкция рыхлителя имеет возможность установить дрены или отвалы для прокладки борозд различного профиля. Отличительная особенность данного орудия состоит в том, что на торцах рама выполнена с запасом по длине и не имеет ограничителей, из-за чего возможно устанавливать различные приспособления для дополнительного наращивания ее длины или крепления другого

вспомогательного оборудования [105]. Представленные иностранные орудия являются навесными и сейчас редко используются зарубежом.

Наиболее часто встречающиеся орудия для глубокой обработки почвы – прицепные. Большинство орудий новейших моделей, представленные на зарубежных рынках, например, как на рисунках 1.13, 1.14, 1.15 имеют комбинированную либо модульную структуру – рыхление + борона (колтеры), уплотнительные катки и т.п.



Рисунок 1.13 – Глубокорыхлитель фирмы «Gaspardo Artiglio»  
<https://souzbelagro.ru/glubokoryhlytel-gaspardo-artiglio1>



Рисунок 1.14 - Глубокорыхлитель VT1500 фирмы "Great Plains"  
<https://www.greatplainsag.com/ru/products/709/глубокорыхлитель>



Рисунок 1.15 – Глубокорыхлитель 2730 Combination Ripper фирмы "John Deere"  
<https://www.deere.com/en/>

Анализ приведенных источников, с показанными видами рыхлителей отечественных и зарубежных марок, равно как и других, не освещенных обзором, показал, что современные глубокорыхлители имеют ряд глобальных недостатков:

- 1) избыточная собственная масса орудий;
- 2) большинство не рыхлят почву на глубину 50 – 60 см и более;
- 3) остаётся малый процент сохранения стерни на дневной поверхности;
- 4) наральник сконструирован в виде плоского долота; он стойках глубокорыхлителей установлен так, что его широкая сторона располагается в сторону подрезаемого грунта;
- 5) происходит неприемлемый эпизодический выворот больших комьев («чемоданов») из нижележащих слоёв почвы на дневную поверхность, из-за чего производитель вынужден дооборудовать почвообрабатывающий агрегат культиваторами, боронами, колтерами и т.д.;
- 6) возникают критические значения тягового сопротивления при совершении глубокого рыхления почвы;
- 7) техническая и технологическая сложность конструкции современных рыхлителей, а следовательно высокая стоимость создания орудия и его обслуживания;
- 8) невозможность возделывания склоновых земель с эффектом накопления и удержания внутрипочвенной влаги на обрабатываемом склоне (кроме щелерезов).

Однако, в силу малой площади обработанной поверхности почвы от одной стойки орудия, щелерезы не могут полностью заменить основную эрозионно опасную обработку склоновых земель – вспашку. Но, при нарезке щелей поперек склона происходит небольшое задержание внутрипочвенной влаги на склоне. Ввиду того, что размер разрыхленной полосы мал с размером неразрыхленного участка, то и влагоудерживание происходит посредственно.

Рыхлители, используемые в строительных работах, для обработки почвы в сельском хозяйстве практически не используют, так как ресурс таких орудий мал для обработки почвы на больших площадях. Также качество разрыхления не удовлетворяет предъявляемым требованиям в сельском хозяйстве – вынос

нижележащих слоёв почвы на дневную поверхность [105], при рыхлении происходит недостаточное крошение обрабатываемого пласта – остаётся неприемлемо большое количество комьев земли размерами 10 x 15 см и более.

Исходя из представленного обзора технических средств можно сказать, что на сегодняшний день нет универсальной технологии противоэрозионной основной обработки склоновых и равнинных земель. По данным доклада о климатических рисках «Климатического центра Росгидромета» за 2017 г. [55], а также второго оценочного доклада «Росгидромета» об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [43] в последующие 50 – 60 лет ожидается увеличение негативных климатических факторов на юге России. Наиболее сильно «страдают» обрабатываемые почвы склоновых земель. На эти агроландшафты деструктивные факторы деградации особенно явно проявляются – склон иссушен, основание, как правило, заболачивается, часто происходит сползание верхнего плодородного слоя почвы к подошве склона. Всё это ведёт к присовокупленным потерям урожайности до 12 – 20 % [2, 64, 105, 156, 159, 205].

При возделывании склоновых земель возникают дополнительные требования к способам хозяйственной деятельности на них. Возникает необходимость в создании и применении новых способов, технологических приёмов и специальных конструктивных решений. Для уборочной и посевной техники эти требования достаточно успешно удовлетворяются [38, 209].

В части обработки склоновых земель необходимо использовать новый мелиоративный способ [3], основанный на глубоком рыхлении почв, резко увеличивающий фильтрационную способность обрабатываемого склона и аккумулирующий внутрипочвенную влагу на нём. При этом почвообрабатывающее орудие должно быть универсально, то есть обрабатывать как склоны, так и равнинные участки, чтобы существенно не повышать себестоимость обработки почв для хозяйствующих субъектов. Но существующие почвообрабатывающие орудия не в состоянии реализовать данные требования.

Исходя из этого, возникает актуальная проблема рационального поиска и решения выявленных требований к Системе Ресурсосберегающей Обработки Склоновых и Равнинных Земель (СРОСРЗ) на основе методологии концептуального конструирования.

#### 1.4 Оценка актуальных моделей устойчивости земель склонов и откосов

Нормативные значения угла внутреннего трения ( $\varphi$ ) для песчаных грунтов находятся в интервале  $\varphi = 26^\circ \dots 43^\circ$ , глинистых грунтов –  $\varphi = 7 \dots 30^\circ$ .

Чтобы уменьшить ущерб от стихийных бедствий проводятся мероприятия по укреплению (стабилизация оползней) оползневых откосов. В течение нескольких тысячелетий строители пользовались правилом: угол наклона сыпучего откоса ( $\alpha$ ) должен быть меньше либо равен его углу внутреннего трения ( $\varphi$ ). Для обеспечения устойчивости откоса использовалось выражение [206, 207, 208]:

$$K_{\text{уст}} = \frac{\text{tg}\alpha}{\text{tg}\varphi} \geq 1,0. \quad (1.1)$$

Механика сыпучей среды возникла в XVIII в. в связи с практическими задачами прогнозирования процессов в массивах грунтов, взаимодействующих с сооружениями [16, 80, 188, 205, 206, 207].

Метод Ш. Кулона. Ш. Кулон (1736 – 1806 гг.) внес значительный вклад в механику грунтов. В своей работе Ш. Кулон опирался на главу о подпорных стенках Б. Белидора «Инженерная наука» (1729 г.). Б. Белидор пользовался гипотезой плоской поверхности скольжения и принимал наибольшее давление, равное половине веса призмы, т.е.  $\beta_1 = 45^\circ$  и  $E_{\text{дmax}} = \gamma_1 h_1^2 / 4$ . Ш. Кулон обосновал,

какому углу  $\beta_1$  соответствует максимальное давление на подпорную стенку, так для вертикальной подпорной стены:

$$E_D = \frac{\gamma_1 h_1^2}{2} \cdot \frac{1 - \mu_{\text{тр}} \cdot \text{tg} \beta_1}{1 - \mu_{\text{тр}} \cdot \text{ctg} \beta_1}, \quad (1.2)$$

где  $\mu_{\text{тр}} = \text{tg} \varphi_{\text{тр}}$  – коэффициент трения.

Взяв производную  $E_D$  по  $\beta_1$  и приравняв ее к нулю ( $\frac{dE_D}{d\beta_1} = 0$ ), он получил [203]:

$$E_{\text{max}} = \frac{\gamma_1 h_1^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_{\text{тр}}}{2} \right). \quad (1.3)$$

Ш. Кулон доказал, что угол плоскости обрушения с горизонталью равен не  $45^\circ$  (как брал с запасом Белидор), а больше и равен  $\beta_1 = 45^\circ + \varphi_{\text{тр}}/2$ , а, следовательно, давление меньше, чем предложено Белидором ( $E_{\text{max}} = 0,25\gamma_1 h_1^2$ ).

Ш. Кулон принял ряд допущений:

1. Сыпучее тело рассматривается как однородная сплошная среда, способная воспринимать только сжимающие и сдвигающие усилия.

2. Предполагается, что под давлением сыпучего тела стена начинает отодвигаться и ищется то предельное давление, которое отвечает началу процесса отодвигания стенки.

3. Обрушение сыпучего тела происходит по клину (призме обрушения), ограниченному плоскостью обрушения, проходящей через основание стенки, и поверхностью подпорной стенки (рисунок 1.16) [80, 136, 137, 138, 203].

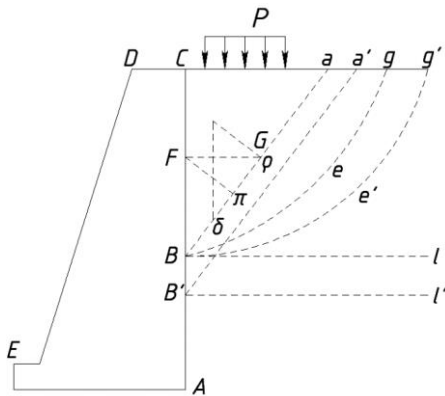


Рисунок 1.16 – Расчетная схема, которую дал Ш. Кулон

Проведенные Кулоном опыты показывали, что поверхность обрушения имеет криволинейную поверхность скольжения. Принятие при расчетах плоской поверхности обрушения позволяло определить активное давление в запас устойчивости.

4. Касательные ( $\tau$ ) и нормальные ( $\sigma$ ) напряжения связаны условием:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{отк}} + c_{\text{сцеп}}, \quad (1.4)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{отк}}$  – коэффициент трения;  $\varphi_{\text{отк}}$  – угол естественного откоса;  $c_{\text{сцеп}}$  – сцепление.

5. Рассматривается плоская задача, т.е. подпорная стена имеет неограниченную длину.

Работа Ш. Кулона позволила обосновывать положение, что устойчивым может быть, угол наклона к поверхности ( $\alpha$ ) которого больше угла внутреннего трения ( $\varphi$ ) грунта [80, 136, 137, 138].

Метод Г. Крея. Работа была опубликован в 1927 г. Труды профессора Г. Крея являются развитием идей Феллениуса (1926 г.). Для более быстрых вычислений им так же была предложена табличная форма расчета коэффициента запаса устойчивости. Поверхность скольжения принималась круглоцилиндрической с однородно сложенным грунтом проходящей через основание откоса. Способ Г. Крея заключается в следующем: кривая скольжения разбивается на  $n$  равных частей шириной  $b_{\text{уч}} = R_{\text{ск}}/n$  (рисунок 1.17), из которых средняя расположена под выбранным центром радиуса кривой скольжения. Нумерация частей осуществляется от середины, считая среднюю часть за нулевую, горизонтальное расстояние от центра каждой части до центра нулевой части будет равно [80, 136, 137, 138]:

$$B_{\text{горизонт}} = m_i \frac{R}{n}, \quad (1.5)$$

где  $m_i$  – номер соответствующей части или  $B_{\text{горизонт}} = R \sin \alpha$  (рисунок 1.17).

В данном случае угол  $\alpha_R$  – это угол между линией, соединяющей центр каждого участка с центром вращения и вертикально проходящей через этот центр вращения. На каждую полосу действует собственный вес  $g = \gamma_i H b_{\text{уч}}$ . Для участков грунтов сложенных неоднородно производится переход к приведенному весу:

$$g = \gamma_{0\text{пр}} h_{\text{пр}} b_{\text{уч}}, \quad (1.6)$$

где  $\gamma_{0\text{пр}}$  – приведенный удельный вес;  $h_{\text{пр}}$  – приведенная высота.

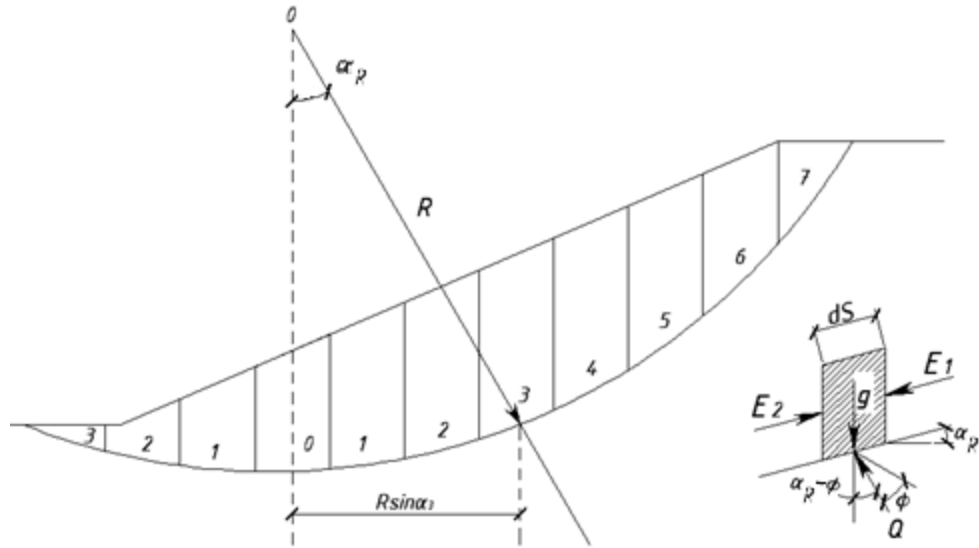


Рисунок 1.17 – Расчетная схема по методу проф. Г. Крея

Выбирая  $\gamma_{0\text{пр}} = 1$ , вес каждого отсека будет равен  $h_{\text{пр}} \cdot b_{\text{уч}}$ , при этом  $h_{\text{пр}} = \gamma_i H$ .

Если имеются секции с неполной шириной или разным объемным весом, тогда:

$$h_n = \frac{\sum g_n}{b_{\text{уч}}}, \quad (1.7)$$

где  $h_n$  – приведенная высота рассматриваемого отсека;  $\sum g_n$  – его вес;  $b_{\text{уч}}$  – принятая ширина отсеков [206, 207, 208].

Момент вертикальных сил вычисляется по формуле:

$$M_g = \gamma_{0\text{пр}} b_{\text{уч}} R_{\text{ск}} \left( \sum \frac{m}{n} h_{\text{справа}} - \sum \frac{m}{n} h_{\text{слева}} \right). \quad (1.8)$$

Этому моменту противодействует момент касательных сил:

$$M_r = \gamma_{0\text{пр}} b_{\text{уч}} R_{\text{ск}} \sum \xi, \quad (1.9)$$

где:  $\xi = \frac{h_n}{\cos \alpha (\text{ctg} \varphi_{\text{вн.т}} + \sin \alpha_R)}$ ;  $\varphi_{\text{вн.т}}$  – угол внутреннего трения грунта.

Затем определяется коэффициент запаса устойчивости:

– при учете одного трения:

$$K_{\text{уст}} = \frac{\sum h_n \cos \alpha_R \text{tg} \varphi_{\text{вн.т}}}{\sum h_n \sin \alpha_R}, \quad (1.10)$$

– при учете как трения, так и сцепления:

$$K_{уст} = \frac{\sum h_n \cos \alpha_R \operatorname{tg} \varphi_{\text{вн.т}} + \frac{CL_{ск}}{\gamma_{\text{прив}}^{буч}}}{\sum h_n \sin \alpha_R}. \quad (1.11)$$

К недостаткам метода Г. Крея относится то, что при расчете устойчивости откосов не учитывается сцепление грунта ( $c = 0$ ) [80, 207, 208].

Метод К. Терцаги был опубликован в 1929 г. в развитие методов В. Феллениуса и Г. Крея. Важным преимуществом метода является трение грунта и его сцепления. Производится учет давления воды на откос, как при водопроницаемом, так и водонепроницаемом откосе. Недостатком является графическое определение радиуса и его центра, вследствие чего усложняется поиск минимального коэффициента запаса устойчивости. Задание центра радиуса поверхности скольжения выполняется так же, как и у профессора Г. Крея. Условие равновесия рассчитывается по формуле [206, 207, 208]:

$$R_{ск} \sum T_n = (L_{ск} C + \operatorname{tg} \varphi_{\text{тр}} \sum N_n) R_{ск}, \quad (1.12)$$

где  $T_n$  – тангенциальная составляющая веса отдельного элемента;  $N_n$  – радиальная составляющая веса отдельного элемента;  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{тр}}$  – коэффициент трения;  $C$  – коэффициент сцепления;  $L_{ск}$  – длина кривой скольжения;  $R_{ск}$  – радиус.

Определяя коэффициент запаса  $K_{уст}$ , будем следующее равенство:

$$K_{уст} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_{\text{тр}} \sum N_n + L_{ск} C}{\sum T_n}. \quad (1.13)$$

Варьируя координаты центра радиуса, производим расчет для различных плоскостей скольжения, определяем при заданном значении  $\varphi_{\text{тр}}$  максимальное значение  $C$  или минимальный коэффициент запаса устойчивости  $K_{уст}$ , характерных для наиболее опасного положения кривой скольжения [206, 207, 208].

Метод Чугаева – Вяземского. Расчетная схема приведена на рисунке 1.18. Как видно, сегмент скольжения разбивается на ряд вертикальных расчетных отсеков, ширина которых может приниматься любой или равной одной десятой радиуса дуги скольжения [136, 138, 173, 174, 206, 207, 208].

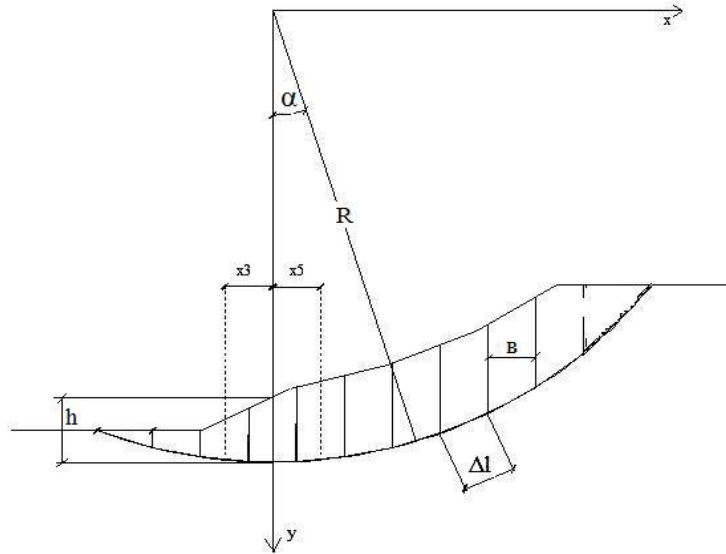


Рисунок 1.18 – Расчетная схема по методу Чугаева-Вяземского

Раскладывая собственные веса отсеков на нормальное и тангенциальное направления, определяем значения суммарных сдвигающих и сопротивляющихся сил. При этом тангенциальная составляющая определяется по выражению  $\sum g_i \cdot \sin \alpha_i$ , а нормальная составляющая –  $g_i \cdot \cos \alpha_i$ .

Для элементарной касательной силы сопротивления сдвигу пишется выражение [136, 138, 173, 174]:

$$T_0 = [gtg\rho + b_{yч}c] \frac{1}{\cos \alpha_R (1 + tg \alpha_R tg \rho)}. \quad (1.14)$$

Таким образом,

$$K = \frac{tg \rho \sum g_i \cos \alpha_{Ri} + c \sum (\Delta l)}{\sum g_i \sin \alpha_{Ri}} = \frac{tg \rho \sum g_i \cos \alpha_{Ri} + cb \sum \frac{1}{\cos \alpha_{Ri}}}{\sum g_i \sin \alpha_{Ri}}. \quad (1.15)$$

В последствии, как было показано О.В. Вяземским и Г.Н. Ягодиным, исходя из схемы действия сил, принятой Г. Креем, дана следующая запись коэффициента запаса устойчивости [136, 138, 173, 174]:

$$K = \frac{\operatorname{tg} \rho \sum \beta_1 g_i + cb \sum \beta_1}{\sum g_i \sin \alpha_{Ri}}, \quad (1.16)$$

где коэффициент  $\beta_1$  представляется в виде:

$$\beta_1 = \frac{1}{\cos \alpha_{Ri} (1 \mp \operatorname{tg} \rho \operatorname{tg} \alpha_{Ri})}. \quad (1.17)$$

Если коэффициент  $\beta$  равен единице, то

$$K = \frac{\operatorname{tg} \rho \sum g_i + cb_{yчi}}{\sum g_i \sin \alpha_{Ri}} = r \frac{\operatorname{tg} \rho \sum g_i + cb_{yчi}}{\sum g x_{гориз}} \quad (1.18)$$

Вес одного элементарного столбика для плоской задачи вычисляется по выражению [136, 138, 173, 174]:

$$g_i = Z_i b_{ex} \gamma_{сух}. \quad (1.19)$$

Выполнив некоторые преобразования (в случае обрушения откоса в «сухом» грунте), получим:

$$K = \left[ r_{ск} \frac{\sum_1^i z_i}{\sum_1^i (z_{высi} x_{гориз})} \right] \operatorname{tg} \rho + \left[ \frac{r}{\gamma_{сух} \sum_1^i (z_{высi} x_{гориз})} \right] c = A_k \operatorname{tg} \rho + B_k c, \quad (1.20)$$

где  $r_{ск} = 59$  м – радиус поверхности скольжения;

$i = 11$  – общее число элементарных вертикальных полос одинаковой ширины  $b_{yч}$ , на которые при расчете разбивается призма обрушения;

$z_{высi}$  – средняя высота элементарной вертикальной полосы;

$x$  – горизонтальное расстояние между вертикальной осью данной элементарной полосы и осью  $y$ , проходящей через центр поверхности скольжения [136, 138, 173, 174].

Для элементарных полос, расположенных левее оси  $y$  (рисунок 1.15), значения  $x$  отрицательные, а правее оси  $y$  значения  $x$  положительные [96, 206].

Метод О. Фрейлиха. Профессор О. Фрейлих, рассматривая круглоцилиндрическую поверхность скольжения, принимает сползающий массив как одно целое жесткое тело. Рассматривается эпюра напряжений на поверхности скольжения для определения условий равновесия и построения многоугольника. Равнодействующая  $R_p$  всех напряжений трения по  $AB$  стоит на

расстоянии  $r_\rho$  от центра  $O$ , величина которого неизвестна и зависит от распределения напряжения по дуге  $AB$ . Перпендикулярно  $R_\rho$  действует равнодействующая нормальных сил  $N$ . Дополнительно на расстоянии  $r_c$  от центра вращения, существуют силы сцепления  $R_c$ , причем  $r_c = r \frac{\alpha}{\sin \alpha}$ . На расстоянии  $a$  от точки  $O$ , дается равнодействующая всех  $R$ . Таким образом, для равновесия массива грунта необходимо, чтобы силы  $R_c$ ,  $R_\rho$ ,  $N$  и  $R$  образовывали замкнутый многоугольник сил (рисунок 1.19). Если многоугольник сил замкнут, то значит, удовлетворяются два условия статики, а именно  $\sum X = 0$  и  $\sum Y = 0$  [136, 138, 173, 174].

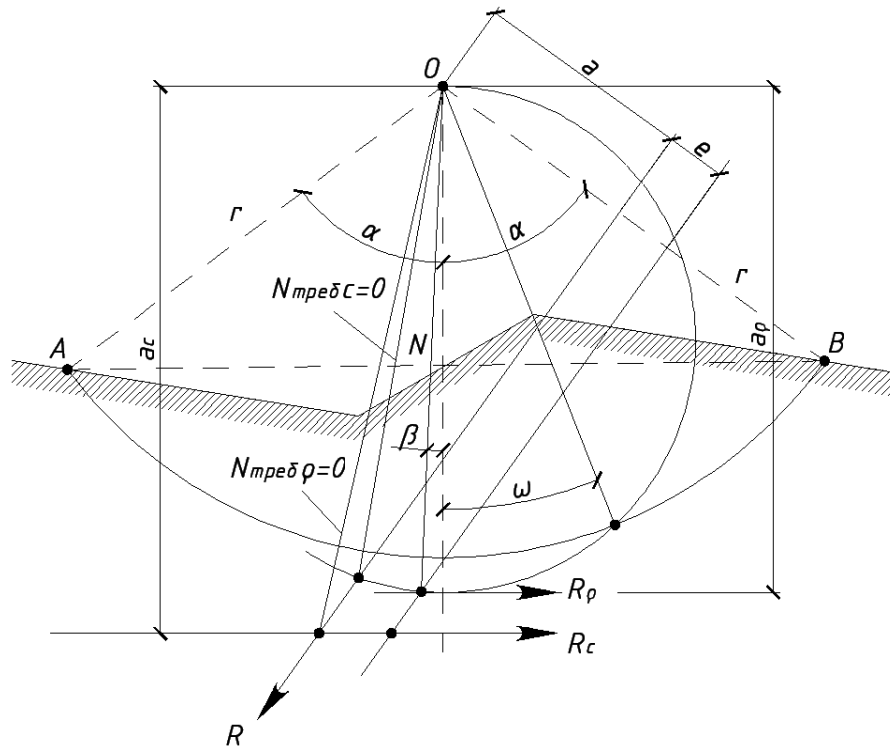


Рисунок 1.19 – Расчетная схема по методу О. Фрейлиха

Третьего условие удовлетворяется при пересечении всех сил в одной точке, т.е. равнодействующая  $R$  должна быть перенесена параллельно самой себе на расстояние  $e$ . Выражение для коэффициента устойчивости имеет следующий вид [80, 136, 137, 138]:

$$K_{уст} = \frac{R_c r_c + R_\rho r_\rho}{Ra}. \quad (1.21)$$

Из третьего условия можно написать, что

$$R_c r_c + R_\rho r_\rho = R(a + e). \quad (1.22)$$

Коэффициент устойчивости равен [135, 137, 172, 173]:

$$K_{уст} = 1 + \frac{e}{a}. \quad (1.23)$$

Метод Ю.И. Соловьева. В данном методе рассматривается некоторый слой, называемый поверхностью скольжения. Он располагается между призмой обрушения и подстилающим грунтом, как поверхность контакта. В расчётной схеме устанавливаются односторонние силы связи, действующие на призму обрушения, а также внешние касательные силы сцепления между частицами грунта и силы трения (рисунок 1.20) [174, 206, 207, 208].

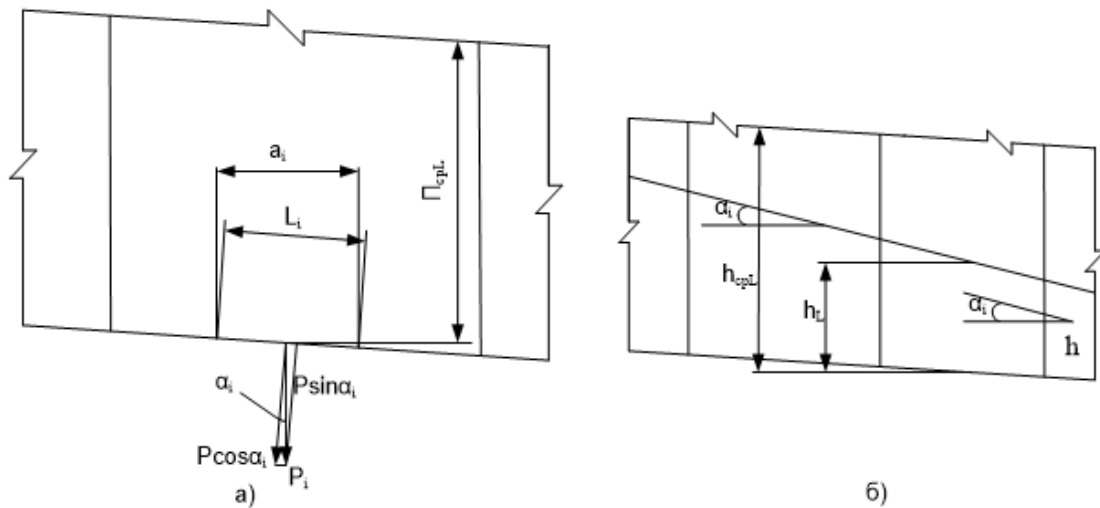


Рисунок 1.20 – Расчётная схема к методу Ю.И. Соловьева:

*a* - основная схема; *б* - учет фильтрационного давления

Сумма работ всех приложенных в расчётной схеме сил должна быть равна нулю, что является в данной модели условием равновесия. Следовательно работа сдвигающих сил будет:

$$A_{сдв} = \int S dQ = \int (u_o / \cos \alpha) \times P_i \sin \alpha dx; \quad A_{сдв} = u_o \int P_i \tan \alpha dx. \quad (1.24)$$

Тогда работа удерживающих сил имеет вид:

$$A_{уд} = -\int S dR_u = -\int (u_o / \cos \alpha) (P_i \cos \alpha \tan \varphi dx + c(dx / \cos \alpha)); \quad (1.25)$$

$$A_{уд} = -u_o \int (P_i \tan \varphi_{int} + c / \cos 2 \alpha) dx. \quad (1.26)$$

Коэффициент запаса устойчивости [173, 205, 206, 207]:

$$K_y = - A_{уд}/A_{сдв} = \frac{\int (Ptg\varphi_{int} + \frac{c}{\cos^2\alpha}) dx}{\int Ptg\alpha dx}. \quad (1.27)$$

При использовании метода численного интегрирования с разбивкой на конечное число элементов призмы обрушения, то выражения для работ примут вид [174, 206, 207, 208]:

– для удерживающих сил  $A_{уди} = (u_o/\cos\alpha_i)(P_i\cos\alpha_i\text{tg}\varphi_{int} + c_i l_i) = u_o(P_i\text{tg}\varphi_{int} + c_i l_i/\cos\alpha_i)$ ,

– для сдвигающих сил  $A_{сдвi} = (u_o/\cos\alpha_i)(P_i\sin\alpha_i + Q_{ci}) = u_o(P_i\text{tg}\alpha_i + Q_{ci}/\cos\alpha_i)$ .

Коэффициент устойчивости при этом равен [173, 205, 206, 207]:

$$K = \frac{\sum A_{уди}}{\sum A_{сдвi}} = \frac{u_o \sum (P_i \text{tg}\varphi_{int} + \frac{c_i l_i}{\cos\alpha_i})}{u_o \sum (P_i \text{tg}\alpha_i + \frac{Q_{ci}}{\cos\alpha_i})}, \quad (1.28)$$

и при отсутствии грунтовых вод выразится формулой:

$$K = \frac{\sum (P_i \text{tg}\varphi_{int} + \frac{c_i l_i}{\cos\alpha_i})}{\sum (P_i \text{tg}\alpha_i + \frac{Q_{ci}}{\cos\alpha_i})}, \quad (1.29)$$

а при затоплении склона грунтовыми водами:

$$K_y = \frac{\sum (P_{вi} \text{tg}\varphi_{вi} + \frac{c_{вi} l_i}{\cos\alpha_i})}{\sum (P_{вi} \text{tg}\alpha_i + \frac{Q_{ci}}{\cos\alpha_i})}. \quad (1.30)$$

Данная модель устойчивости позволяет учитывать гидродинамическое давление с отличительным наклоном фильтрационной силы от наклона поверхности скольжения. С учетом этого для каждого отсека грунта на склоне выражения сдвигающих и удерживающих работ будут иметь вид [136, 138, 174, 206, 207, 208]:

$$\begin{aligned} A_{уди} &= (u_o/\cos\alpha_i)[P_{ei}\cos\alpha_i\text{tg}\varphi_{вi} + \gamma_o h_i a_i i_i \sin(\beta_{\phi i} - \alpha_i)\text{tg}\varphi_{вi} + c_{ei} l_i] = \\ &= u_o[(P_{ei} + \gamma_o h_i a_i i_i \frac{\sin(\beta_{\phi i} - \alpha_i)}{\cos\alpha_i})\text{tg}\varphi_{вi} + \frac{c_{вi} l_i}{\cos\alpha_i}], \end{aligned} \quad (1.31)$$

а для сдвигающих имеет вид:

$$A_{сдвi} = (u_o/\cos\alpha_i)[P_{ei}\sin\alpha_i + \gamma_o h_i a_i i_i \cos(\beta_{\phi i} - \alpha_i) + Q_{ci}] =$$

$$u_o[P_{ei} + \gamma_\omega h_i a_i i_i \sin \beta_{\phi_i}] \operatorname{tg} \alpha_i + u_o(\gamma_\omega h_i a_i i_i \cos \beta_{\phi_i} + Q_{ci}) \cos \alpha_i. \quad (1.32)$$

Исходя из этого коэффициент затопления грунтовыми водами будет представлен как [136, 138, 174]:

$$K_y = \frac{\sum \left( \left[ P_{vi} + \gamma_\omega h_i a_i i_i \frac{\sin(\beta_{\phi_i} - \alpha_i)}{\cos \alpha_i} \right] \operatorname{tg} \varphi_{vi} + \frac{c_{vi} l_i}{\cos \alpha_i} \right)}{\sum \left( (P_{vi} + \gamma_\omega h_i a_i i_i \sin \beta_{\phi_i}) \operatorname{tg} \alpha_i + \gamma_\omega h_i a_i i_i \cos \beta_{\phi_i} + \frac{Q_{ci}}{\cos \alpha_i} \right)}. \quad (1.33)$$

Метод Б.М. Ломизе. Профессор Б.М. Ломизе использовал в своих вычислениях круглоцилиндрическую поверхность скольжения. На каждый элемент действуют следующие силы [136, 138, 174, 206, 207, 208]:

- сила веса  $G_i$  с учетом временной нагрузки на гребне откоса и взвешивания в воде, если откос на некоторую высоту находится под водой;
- сила сопротивления сыпучего тела, разложенная на нормальную составляющую  $N_i = G_i \cos \theta_i$ , и касательную составляющую  $T_i$ , равную сумме сил трения и сцепления по поверхности скольжения:

$$T_i = N_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i s_i = \operatorname{tg} \varphi_i G_i \cos \theta_i + c_i s_i \quad (1.34)$$

где  $s_i$  – длина дуги поверхности скольжения в пределах данного элемента;

$\varphi_i$  и  $c_i$  – соответственно угол внутреннего трения и величина сцепления сыпучего тела в пределах данного элемента.

Условие предельного равновесия откоса выражается уравнением:

$$\sum M_0 = 0; \text{ или } \sum G_i x_i - R \sum T_i. \quad (1.35)$$

Принимая  $R \cos \theta_i = z_i$ , получаем:

$$\sum G_i x_i - \sum G_i \operatorname{tg} \varphi_i z_i = R \sum T_i. \quad (1.36)$$

Коэффициент устойчивости откоса равен отношению момента удерживающих сил к моменту сдвигающих сил:

$$K_{уст} = \frac{\sum G_i \operatorname{tg} \varphi_i z_i + R \sum c_i s_i}{\sum G_i x_i}. \quad (1.37)$$

При  $c = \text{const}$  и  $\varphi = \text{const}$  выражение имеет вид:

$$K_{уст} = \frac{\operatorname{tg} \varphi \sum G_i z_i + R c s}{\sum G_i x_i}. \quad (1.38)$$

Для упрощения вычислений была предложена графическая форма вычислений для прямолинейных откосов, сложенных однородными грунтами (рисунок 1.21). Данной формой решались следующие задачи [58, 80, 96, 206]:

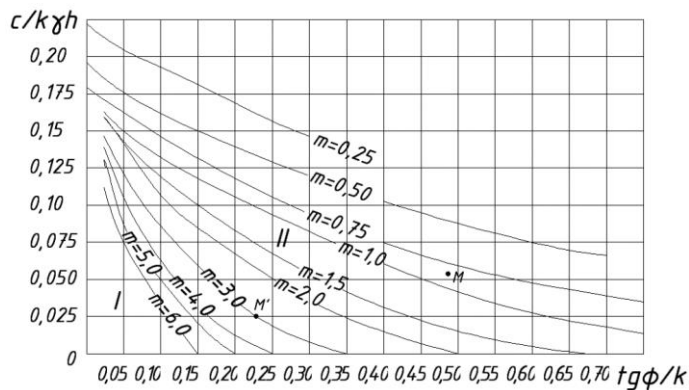


Рисунок 1.21 – График вычислений для прямолинейных откосов

1) определение допустимой высоты откоса  $h_k$ , если известны  $\gamma_k$ ,  $\varphi$ ,  $c$ ,  $K_{уст}$  и крутизна откоса  $m_{отк} = \operatorname{tg} \beta_k$ ;

2) определение требуемой крутизны откоса  $m$ , если известны  $h_k$ ,  $\gamma_k$ ,  $\varphi$ ,  $c$  и  $K_{уст}$ ;

3) определение коэффициента устойчивости  $K_{уст}$ , если известны  $\gamma$ ,  $\varphi$ ,  $c$ ,  $h$  и  $m$ .

Таким образом, одного этого графика достаточно для решения всех основных задач. Если расчетные данные находятся в области I графика, то поверхность скольжения выклинивается в основании за пределами откоса. Если же расчетные данные оказываются в области II, то поверхность скольжения проходит через точку пересечения откоса с основанием. При расчётном значении угла внутреннего трения  $\varphi_p \geq 14^\circ$  поверхность скольжения всегда проходит через точку пересечения откоса с основанием. Захват основания откоса может иметь место только при очень малых значениях угла внутреннего трения [58, 80, 96, 206].

Метод Н. Янбу. Особенностью метода Н. Янбу является удовлетворение условия как равновесия сил, так и моментов. Если  $n$  – число отсеков, то число неизвестных равно  $3n$ ; как и число уравнений. Решение уравнений можно получить с помощью уравнений статики. Исходя из равновесия вертикальных сил, имеем [136, 138, 174, 206, 207, 208]:

$$N \cos \theta = W + \Delta S - T_B \sin \theta \text{ или } N = (W + \Delta S) \sec \theta - T \operatorname{tg} \theta. \quad (1.39)$$

Из условия равновесия горизонтальных сил выразим:

$$\Delta E = N \sin \theta - T_B \cos \theta. \quad (1.40)$$

Подставляя уравнение (1.39) в уравнение (1.40), получим:

$$\Delta E = (W + \Delta S) \operatorname{tg} \theta - T_B \operatorname{sec} \theta. \quad (1.41)$$

На основе равновесия моментов относительно средней точки на подошве отсека, рисунок 1.22, получаем:

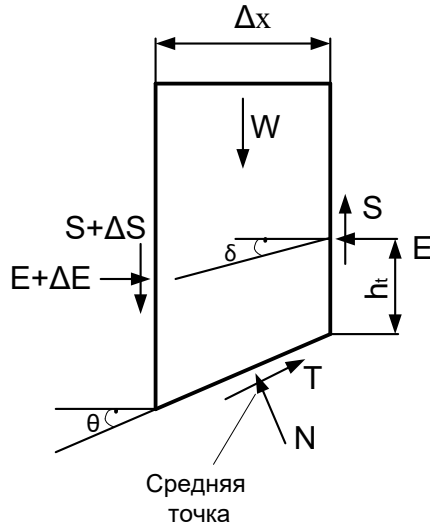


Рисунок 1.22 – Расчётная схема отсека с приложенным и к нему силами, в соответствии с методом Н. Янбу

$$S \Delta x = -E \Delta x \operatorname{tg} \delta + h_t \Delta E,$$

или

$$S = -E \operatorname{tg} \delta + h_t \Delta E / \Delta x. \quad (1.42)$$

Условие равновесия для горизонтальных сил имеет вид [138, 174, 206, 207, 208]:

$$\sum \Delta E = 0$$

(1.43)

Путем подстановки уравнения (1.39) в уравнение (1.43) получим:

$$\sum (W + \Delta S) \operatorname{tg} \theta - \sum T_B \operatorname{sec} \theta = 0. \quad (1.44)$$

При этом:

$$T_B = \frac{c \Delta x \operatorname{sec} \theta + N \operatorname{tg} \varphi}{F_{\text{зап}}}. \quad (1.45)$$

Преобразовав уравнение (1.44), получим:

$$F_{\text{зап}} = \frac{\sum (c \Delta x \operatorname{sec} \theta + N \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{sec} \theta}{\sum (W + \Delta S) \operatorname{tg} \theta}. \quad (1.46)$$

Подставляя уравнение (1.39) в уравнение (1.46), находим:

$$F_{\text{зап}} = \frac{\sum (c \Delta x \operatorname{sec} \theta + [(W + \Delta S) \operatorname{sec} \theta - T \operatorname{tg} \theta] \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{sec} \theta}{\sum (W + \Delta S) \operatorname{tg} \theta}. \quad (1.47)$$

Процедура решения заключается в следующем [138, 174, 206, 207, 208].

1. Принимается  $\Delta S = 0$  и решается уравнение относительно коэффициента запаса  $F_{\text{зап}}$  методом последовательных приближений. Коэффициент запаса считается как первое приближение и для каждого отсека с помощью уравнений

(1.39) и (1.45) вычисляется величина  $T_B$ . Подставляя  $T_B$  в уравнение (1.47), определяют новое значение коэффициента запаса. Этот процесс повторяется до тех пор, пока принятый и полученный коэффициенты запаса не окажутся практически равными.

2. Подставляются конечные величины  $T_B$  уравнение (1.41) с целью определения  $\Delta E$ . Установив  $\Delta E$ , суммированием можно выразить значение  $E$  для каждой стороны отсеков. Задается приемлемое положение линии давления  $E$  и для каждой из сторон отсеков находятся  $S$  и  $h_i$ . С помощью уравнения (1.42) определяется  $S$  и путем вычитания находятся значения  $\Delta S$ .

3. Используя полученные величины  $\Delta S$ , повторяют этап 1 и для данных  $\Delta S$  находят новый коэффициент запаса.

4. Повторяются этапы 2 и 3 до тех пор, пока не будет достигнута принятая сходимости результатов относительно коэффициента запаса [56, 58, 80, 96, 205].

Метод Г.М. Шахунянца. В основу метода проф. Г.М. Шахунянца легли работы Г. Галилея (1631 г.) о принципе предельного равновесия, Н. Бюлле (1691 г.) о плоской поверхности скольжения, Ш. Кулона (1773 г.) условие прочности грунта. Расчётная схема для определения устойчивости склона приведена на рисунке 1.23 [56, 58, 80, 96, 206, 207, 208].

Исходные данные к расчётной схеме:  $h$  – высота откоса по вертикали;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта;  $\gamma_{ГР}$  – удельный вес грунта;  $\alpha$  – угол наклона поверхности откоса к горизонту;  $q$  – распределенная нагрузка;  $l$  – длина склона.

Вес призмы обрушения вычисляется по выражению [56, 58, 80, 96, 206, 207, 208]:

$$G = \frac{1}{2} \gamma_{ГР} h l \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin \alpha}, \quad (1.48)$$

где  $\gamma_{ГР}$  – удельный вес грунта.

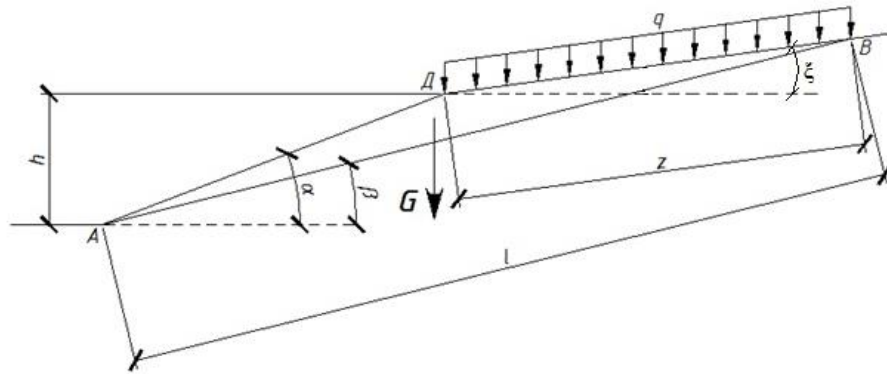


Рисунок 1.23 – Расчетная схема оползневого склона

Из рисунка 1.23 следует, что величина участка воздействия  $z$  некоторой внешней нагрузки  $q$ :

$$z = l \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha - \xi)} \text{ и } G_0 = G + qz. \quad (1.49)$$

Нормальная реакция  $N_{ск}$  к плоскости АВ (рисунок 1.23), составляющая силы  $G_0$  равна  $N_{ск} = G_0 \cdot \cos\beta$ . Сдвигающая сила будет иметь вид [56, 58, 80, 96, 206, 207, 208]:

$$T_{сдв} = G_0 \cdot \sin\beta. \quad (1.50)$$

Сила сопротивления сдвигу равна [56, 58, 80, 96, 206, 207, 208]:

$$T_{уд} = tg\varphi \cdot N_{ск} + c \cdot l. \quad (1.51)$$

Коэффициент устойчивости будет равен:

$$K_{уст} = \frac{T_{уд}}{T_{сдв}} = \frac{tg\varphi}{tg\beta} + c \cdot \frac{l}{G_0 \cdot \sin\beta}, \text{ или } K_{уст} = \frac{tg\varphi}{tg\beta} + \frac{2c \cdot \sin\alpha}{\gamma \cdot H \cdot \sin(\alpha - \beta) \cdot \sin\beta}, \quad (1.52)$$

где  $H = h + \frac{2q \cdot \sin\alpha}{\gamma \cdot \sin(\alpha - \xi)}$ .

Задаваясь различными  $\beta$ , находим  $K_{min}$ . Существует два условия при определении минимального коэффициента устойчивости –  $\frac{dK_{min}}{d\beta} = 0$  и

$\frac{d^2K_{min}}{d\beta^2} \geq 0$ . Преобразовав выражения получено следующее [80, 96, 206, 207, 208,

213, 214]:

$$\sin\beta_0 = \pm \sqrt{\frac{a_0}{2} \pm \sqrt{\frac{a_0^2}{4} - b_0}}, \quad (1.53)$$

$$\text{где: } a_0 = \frac{2(a+1)(a+2) \cdot \sin^2\alpha}{a^2+4(a+1) \cdot \sin^2\alpha}, b_0 = \frac{(a+1)^2 \sin^4\alpha}{a^2+4(a+1) \sin^4\alpha}, a = \frac{\gamma \cdot \text{tg}\varphi \cdot H}{2c}, H = h + 2 \frac{q \sin\alpha}{\gamma \sin(\alpha-\xi)}.$$

Из четырех корней выражения (1.53) следует отбросить два отрицательных. Рассматривая два положительных значения углов  $\beta_0$  выбираем то значение, которое отвечает условию:  $\frac{d^2 K_{min}}{d\beta^2} \geq 0$ .

Значение  $\beta_0$ , соответствующее  $K_{уст}^{min}$ , лежит в интервале  $\frac{\alpha}{2} \leq \beta_0 \leq \alpha$  [136, 138, 174, 207, 208, 213, 214].

Необходимо отметить, что профессор Г.М. Шахунянц установил, что разница результатов расчета, исходя из предположения, что поверхность смещения представляет собой плоскость или круглоцилиндрическую поверхность, в однородных грунтах при прямолинейных откосах обычно получается в пределах допустимой ошибки порядка 3 – 5 % [56, 58, 80, 96, 206, 207, 208, 213, 214].

Метод В.В. Соколовского. Член-корр. АН СССР, профессор В.В. Соколовский на основе численного метода характеристик получил решение системы уравнений для идеально пластического тела в условиях плоской задачи.

Методом В.В. Соколовского решаются следующие задачи [208, 213, 214]:

1. Определение максимального давления на горизонтальную поверхность массива грунта, при котором откос заданного очертания остается в равновесии.
2. Определение формы равноустойчивого откоса предельной крутизны.

Плоского напряженное состояние представляется в виде дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \gamma \sin\alpha, \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \gamma \cos\alpha, \end{cases} \quad (1.54)$$

где:  $x$  и  $z$  – горизонтальная и вертикальная координационные плоскости;  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xz}$  – составляющие нормальных и касательных напряжений;  $\gamma$  – удельный вес грунтовой среды;  $\alpha$  – угол наклона откоса к горизонту.

При использовании модели прочности грунта по теории Мора – Кулона получается замкнутая система трех уравнений:

$$(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_x + \sigma_z + 2c \cdot \operatorname{ctg}\varphi)^2 \sin^2\alpha. \quad (1.55)$$

Решение задачи о нахождении очертания поверхности равноустойчивого откоса при заданном равномерно распределённом давлении на его поверхности возможно лишь при нормальном давлении [79, 129, 165, 183, 199]:  $q \geq \frac{2c \cdot \cos\varphi}{1 - \sin\varphi}$ .

Максимально возможная высота вертикального откоса определяется по формуле:

$$h_{\text{кр}} = \frac{2c \cdot \cos\varphi}{\gamma \cdot (1 - \sin\varphi)}. \quad (1.56)$$

Недостатки метода проф. В.В. Соколовского: метод предназначен только для однородного откоса; при решении задачи по определению максимального давления на горизонтальную поверхность массива грунта рассматривается бесконечный откос; не учитывается влияние подстилающего грунтового основания на распределение напряжений в приоткосной зоне; метод не позволяет проводить расчет устойчивости откосов в случаях, когда поверхности разрушения частично или полностью совпадают с контактом слоев или трещинами [80, 136, 174, 192, 194, 207, 208].

Метод В.К. Цветкова. В.К. Цветков в 1979 г. опубликовал монографию «Расчет устойчивости откосов и склонов», где предлагаемый им метод представлен в графической форме. Автором приняты следующие обозначения:  $\gamma$  – удельный вес грунта;  $\alpha$  – угол откоса;  $\rho$  – угол внутреннего трения;  $c$  – удельное сцепление;  $a_d$  – коэффициент бокового распора (усредненные значения коэффициента бокового давления для песчаных грунтов 0,25 – 0,37, для глинистых грунтов – 0,11 – 0,82) [56, 58, 80, 96, 206, 207, 208, 213, 214].

В соответствии с расчетной схемой (рисунок 1.24) напряжения в приоткосной области определяются по выражениям:

$$\begin{cases} \sigma_x = a_d \cdot \gamma \cdot y + \gamma \cdot \xi \cdot tg^2 \beta (x - y \cdot tg \beta); \\ \sigma_y = \gamma \cdot y + \gamma \cdot \xi (x - y \cdot tg \beta); \\ \tau_{xy} = \gamma \cdot \xi \cdot tg \beta (x - y \cdot tg \beta); \end{cases} \quad (1.57)$$

где  $tg \beta = a_d \cdot tg \alpha$ ,  $\xi = \frac{1 \cdot a_d \cdot tg^2 \alpha}{3tg^2 \beta tg \alpha + 3tg \beta + tg^3 \beta tg^2 \alpha + ctg \alpha}$ ,  $H_0 = \frac{2c}{\gamma} ctg \left( 45^\circ - \frac{\rho}{2} \right)$ .

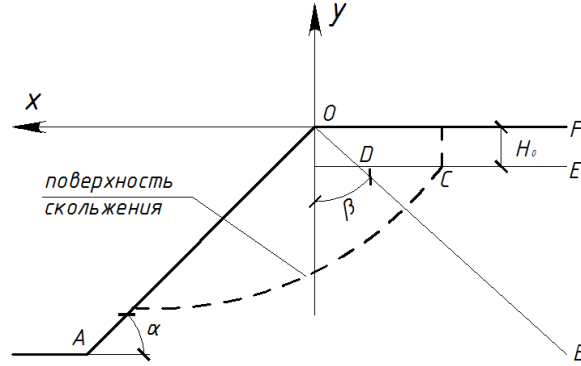


Рисунок 1.24 – Расчетная схема к методу В.К. Цветкова

Выбирая наиболее опасную поверхность скольжения, рассчитываем коэффициент запаса устойчивости, как отношение суммы удерживающих сил к сумме сдвигающих сил:

$$K_{уст} = \frac{\int_0^l \tau_{y\rho}(s,t) ds}{\int_0^l \tau_{c\rho}(s) ds}, \quad K_{уст} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + (\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha - 2\tau_{xy} \sin 2\alpha + \lambda_k}{(\sigma_y - \sigma_x) \sin 2\alpha - 2\tau_{xy} \cos 2\alpha}, \quad (1.58)$$

где  $\lambda_k = \frac{2c}{\gamma h} ctg \rho$ .

Для идеально сыпучего тела ( $c=0$ ) имеем:

$$\begin{cases} \tau_{сд} = P \cdot \sin \beta, \\ \tau_{уд} = P \cdot \cos \beta \cdot tg \rho, \end{cases} \quad (1.59)$$

где  $P_{отк}$  – вес откоса.

Отсюда коэффициент запаса устойчивости откоса примет вид:

$$K_{уст} = \frac{\tau_{сд}}{\tau_{уд}} = \frac{P \cdot \cos \beta \cdot tg \rho}{P \cdot \sin \beta} = ctg \beta \cdot tg \rho. \quad (1.60)$$

Отсюда следует: если  $\beta = 0$  (горизонтальная поверхность), то  $K_{уст} \rightarrow \infty$ ; если  $\beta = 90^\circ$  (вертикальный откос), то  $K_{уст} = 0$ ; если  $\beta = \rho$ ,  $K_{уст} = 1,0$ .

Для случая идеально связного грунта ( $\rho = 0$ ) имеем:

$$K_{уст} = \frac{2c}{\gamma h} (\sigma_x + \sigma_y)^{-1}. \quad (1.61)$$

Сам профессор В.К. Цветков предлагает вычислять коэффициент запаса устойчивости откоса по выражению:

$$K_{уст} = \frac{c}{\gamma h} n_k, \quad (1.62)$$

где  $n_k = f\left(\beta, \frac{b}{h}\right)$  – коэффициент, зависящий от угла откоса  $\beta$  и отношения ширины выработки ( $b$ ) к ее глубине ( $h$ ). При увеличении  $\frac{b}{h}$  от 0 до 8 коэффициент  $n$  снизится от 8,0 до 6,6, т.е. на 21,2 %. При  $\frac{b}{h} > 8$ :

$$K_{уст} = \frac{c}{\gamma h} \cdot 6,6. \quad (1.63)$$

Полагая в выражении (1.63)  $K_{уст} = 1$ , получаем:  $h_{пред} = \frac{c}{\gamma} \cdot 6,6$ .

В свою очередь профессор К. Терцаги предлагал вычислять высоту откоса по формуле:  $h_{пред} = \frac{c}{\gamma} \cdot 5,14$ .

Следовательно, по методу В.К. Цветкову получаем верхнюю границу откоса. Для случаев  $c \neq 0$  и  $\rho \neq 0$  проф. В.К. Цветков разработаны графики для пяти значений угла откоса ( $\beta = 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ), четырех значений  $\lambda_k = \frac{2c}{\gamma h} ctg\rho$  ( $\lambda_k = 0,2; 0,6; 1,0; 1,5$ ), четырех значений отношений ширины подошвы к глубине откоса  $\frac{b}{h}$  (0; 1,2; 4,0; 8,0) при коэффициенте бокового давления грунта в состоянии покоя  $\mu = \frac{\nu}{1-\nu} = 0,75$  ( $\nu$  – коэффициент Пуассона; при  $\nu = 0,5$ ,  $\mu = 1,0$ ; при  $\nu = 0,42$ ,  $\mu = 0,724$ ; при  $\nu = 0,429$ ,  $\mu = 0,75$ ). Многочисленные измерения бокового давления покоя показали, что для песков  $\mu = 0,25 \dots 0,37$ , а для глинистых грунтов, в зависимости от консистенции,  $\mu = 0,11 \dots 0,82$ .

Основные недостатки инженерного способа расчета устойчивости откосов В.К. Цветкова:

1) откос является однородным, состоящим из одного инженерно-геологического элемента; 2) графики построены только для одного значения бокового давления грунта ( $\zeta = 0,75$ ); 3) так как промежуточные параметры определяются по графикам, значение коэффициента устойчивости откоса определяется достаточно приближенно (рисунок 1.25). Коэффициент бокового давления (по учебнику Н.А. Цытовича «Механика грунтов. Краткий курс») равен: для песков  $\xi = 0,35 - 0,41$ ; для суглинков  $\xi = 0,50 - 0,70$ ; для глин  $\xi = 0,70 - 0,74$ .

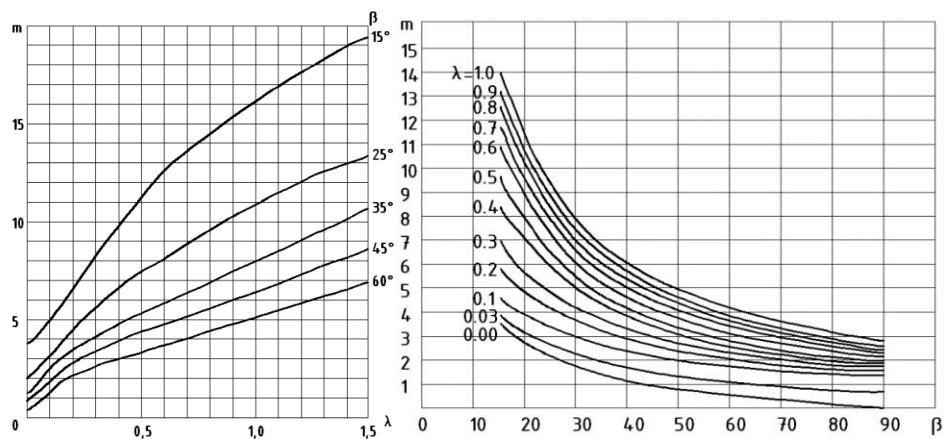


Рисунок 1.25 – Графики проф. В.К. Цветкова для определения коэффициента  $m$

Анализируя представленные основные модели устойчивости склонов и откосов, сделаем вывод о том, что они не рассматривают отдельно устойчивость относительно тонких верхних слоев грунта на изначально устойчивых склонах и откосах.

Для создания модели устойчивости верхнего обрабатываемого слоя почвы склоновых земель необходимо учитывать в нём резкие изменения физико-механических характеристик из-за увеличенной влагоёмкости. Глубина рассматриваемого верхнего слоя будет составлять 0,60 – 0,70 м по всей длине склона. При этом необходимо учитывать аккумуляцию внутрпочвенной влаги на возделываемом склоне при использовании инновационных способов обработки почвы. Следовательно, необходимо брать во внимание только

изначально устойчивые возделываемые склоны, что не является предметом исследования выше приведённых методов [50, 51, 80, 206]. Исходя из представленных моделей анализа устойчивости склонов и откосов, для анализа устойчивости верхнего влагонасыщенного слоя почвы глубиной до 0,60 м на склоне, обработанного новым мелиоративным способом, направленным на аккумуляцию внутрипочвенной влаги наиболее близкими, являются следующие методы.

1. Метод Ш. Кулона. Учет трения грунта о стенку с использованием зависимостей, вытекающих из теории Кулона, дает при  $\varphi = 15^{\circ} - 20^{\circ}$  существенную погрешность в сторону увеличения по сравнению с имеющимся строгим решением [202, 207].
2. Метод расчёта по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. В расчете рассматривается отдельный отсек, для чего оползающий клин  $ABC$  разбивается на  $n$  вертикальных отсеков (рисунок 1.26).

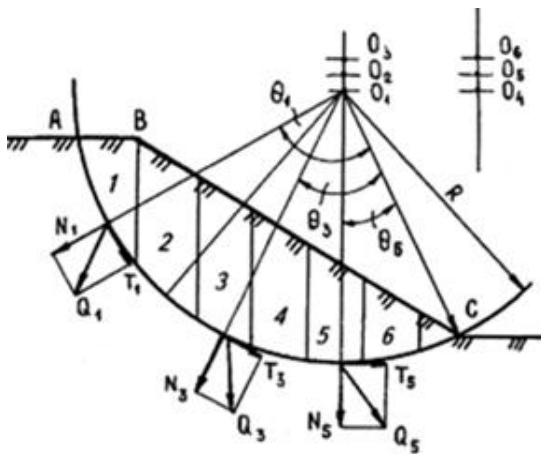


Рисунок 1.26 – Расчётная схема откоса с вертикальными отсеками

Делается предположение, что нормальные и касательные напряжения, действующие по поверхности скольжения, в пределах каждого из отсеков оползающего клина определяются весом данного отсека  $Q_i$ . Устойчивость откоса можно оценить отношением моментов удерживающих и сдвигающих сил [127, 206, 207, 208].

3. Аналитическая модель устойчивости Г.М. Шахунянца (метод прислоненных отсеков) (рисунок 1.27). Поэтому методу предлагается использовать для определения коэффициента устойчивости массива грунта, сползающего по фиксированной поверхности скольжения, формулу, полученную для круглоцилиндрической поверхности:

$$k = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + \sum c_i s_i}{\sum P_i \cos \alpha_i + \sum Q_{ci}} \quad (1.64)$$

В этих методах рассматриваются похожие условия. Исследуется узкая полоса склона шириной 1 м, условия ее работы сохраняются для всего склона. В этих методах поверхность скольжения считается известной заранее. При расчетах устойчивости склона или оползневого давления призма скольжения делится вертикальными линиями на ряд отсеков.

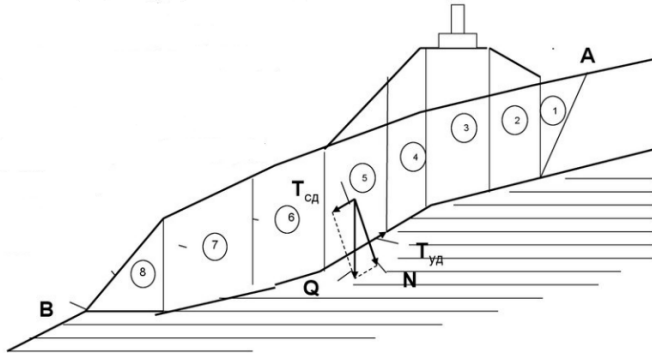


Рисунок 1.27 – Расчётная схема для общего случая определения устойчивости по Г.М. Шахунянцу

Обычно отсеки принимаются такими, чтобы без потери точности можно было в их пределах принимать поверхность за плоскость, а очертание склона, действие внешних сил и т.п. практически однородными.

Рассматриваются условия равновесия некоторого выделенного отсека на рисунке 1.28 [127]. Все внешние активные силы (вес грунта в отсеке, внешняя нагрузка и т.д.), действующие на некоторый выделенный отсек, приводятся к равнодействующей  $P_i$ . Она раскладывается в точке ее приложения на составляющие. Составляющие: нормальная  $PN_i$  и касательная  $PQ_i$  к плоскости возможного сдвига отсека (рисунок 1.28). Значения нормальной и касательной составляющих равнодействующей  $P_i$  будут иметь вид [213, 214]:  $PN_i = P_i \cos \alpha_i$ ;  $PQ_i = P_i \sin \alpha_i$ .

Так как почва рандомизировано неоднородна по мехсоставу, то определять коэффициент устойчивости всего массива грунта, сползающего по фиксированной поверхности скольжения – этим коэффициентом некорректно. Рассматриваемый слой – 1 м разбивается на некоторые одинаковые по механическим свойствам и форме отсеки [127].

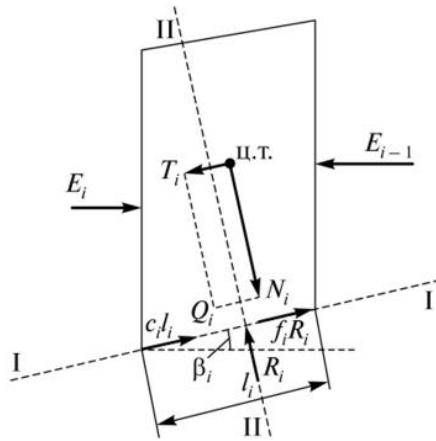


Рисунок 1.28 – Расчётная схема выделенного элементарного отсека с действующими силами

Такое построение в нашей задаче не отражает реальную рассматриваемую среду. При исследовании выделенного прямоугольника приложенные силы приводят к результирующей, что отрицательно сказывается на точности модели устойчивого состояния слоя [127].

Приведенные наиболее близкие модели устойчивости склонов и откосов не вполне эффективно оценивают устойчивость обработанных предельно влагонасыщенных склонов. Особенно, если применять инновационный способ обработки склоновых земель, направленный для аккумуляции внутрипочвенной влаги на склоне и резкого увеличения скорости впитывания воды.

Анализ приведенных методов исследования устойчивости склонов и откосов позволил заключить, что данные методы имеют ряд недостатков. Приведенные модели устойчивости различных склонов является не вполне адекватными для применения в наших условиях, так как они созданы для применения в сфере строительства при использовании СНиП и СП [136, 174, 188, 189, 192, 194, 213, 214]. На сегодняшний день используемые в научных работах модели устойчивости, основанные на теории Кулона-Мора, не рассматривают склоновые участки сельскохозяйственного назначения и не отражают в полной мере картину механического взаимодействия влагонасыщенных слоёв в верхнем 0-0,6 м возделанном новой мелиоративной обработкой горизонте склона, который предусматривает чередование участков почвы относительно малой глубины с различными свойствами [30, 73, 127, 188, 217].

## 1.5 Выводы, цель работы, задачи исследований

1. Сложившаяся ситуация с деградацией обрабатываемых агроландшафтов на юге России вызывает необходимость создания новых элементов технологических процессов и универсальных технических средств, обеспечивающих борьбу с переуплотнением, эрозией и другими негативными факторами на склоновых и равнинных землях. Исходя из этого создание низкостоймых новых почвозащитных адаптивных ресурсосберегающих технологических процессов, основанных на глубоком рыхлении инновационными техническими средствами, позволит предотвратить смыв и дефляцию и в конечном итоге повысит урожайность склоновых и равнинных земель.

2. Очевидно, что применение указанных существующих противэрозионных способов и технических средств возможно при применении их в основном со специальными, чаще всего не почвообрабатывающими орудиями, что приводит к высоким затратам на ручной труд и значительно увеличивает себестоимость этих мероприятий.

3. Существующие архитектуры систем деформаторов пассивных прицепных и навесных почвообрабатывающих орудий, в частности для глубокого рыхления в основном предназначенные для обработки даже на глубину до 45 см, имеют высокие энергозатраты на рыхление. Однако в зонах недостаточного увлажнения склоновых и равнинных земель требуется специальная безотвальная обработка почвы на глубину до 60 см. Это будет способствовать увеличению скважности обработанного пласта и аккумуляции внутрипочвенной влаги как на склонах, так и на равнинных участках, что актуально в изменяющемся климате по влагодефицитному типу на юге России.

4. Отсутствуют ресурсосберегающие адаптивные орудия на базе глубокого рыхления для качественной обработки как склоновых, так и равнинных земель,

направленные на создание процесса аккумуляции внутрипочвенной влаги на склоне, а также, для защиты почв от дефляции, смыва и, как итог – повышение урожаев возделываемых культур

5. Разработанные модели устойчивости откосов и склонов относятся к области строительства и их применение для анализа устойчивости обрабатываемых склонов является некорректным вследствие того, что они основаны на теории Кулона – Мора. Они не в полной мере отображают происходящие процессы на склоне, изначально устойчивом, но с резко меняющимися физико-механическими свойствами верхнего слоя почвы, глубиной 0,6 – 0,7 м.

Исходя из вышеизложенного анализа состояния склоновых и равнинных переуплотнённых обрабатываемых земель в условиях изменения климатических условий юга России, была выявлена **научно значимая проблема** – 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 аккумуляцию влаги в почве.

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

Поставлена **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.

Установлены следующие *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.

## **2 РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВ С СООТВЕТСТВУЮЩИМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ГЛУБОКОЙ ОБРАБОТКИ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ**

### **2.1 Формулирование требований для разработки информационной модели ресурсосберегающей системы обработки почв, технологических процессов сохранения и повышения плодородия склоновых земель и обоснования метода выбора их базовой структуры**

Согласно проведенным исследованиям, большая часть общих причин дефектов продукции, доходящих до 50 – 70 % от общего числа [199], связаны с ошибками в проектно-конструкторских решениях. Причина этих дефектов является следствием недостаточного использования современных технологий проектирования, когда предпочтение отдается традиционным эвристическим методам. Это относится, прежде всего, к наиважнейшему, начальному этапу проектирования (по ЕСКД – стадии технического предложения) главной задачей которого является выбор (синтез) оптимальной базовой (концептуальной) структуры технического объекта. Современные технологии базируются на анализе и синтезе базовой структуры машины с последующей её локальной оптимизацией. В этом случае предметом исследования будут разработанные соответствующие модели – состава, структуры, функционирования, динамики, управления, автоматизации или ряд иных соответствующих выбранным целями. Для рассматриваемой системы качественное решение такой задачи возможно на базе методологии, основанной на системном подходе, объектно-ориентированном анализе (ООА) и формализованном описании процедур

создания системы в границах нотации универсального языка моделирования UML [88, 92, 93, 183].

Стратегия исследований на этом этапе должна быть направлена на определение в рамках заданных ограничений такой структуры системы в виде совокупности состава элементов, топологии и межэлементных взаимодействий, которая наилучшим образом реализует заданную цель. Следовательно, цель является главным системообразующим фактором и, соответственно, источником системных исследований [41, 183, 189].

Разрабатываемая методология предполагает на начальном этапе выполнить переход от содержательного описания критериальных факторов к ее формализации, то есть начинать с разработки концептуальной модели [183, 189], например выполнить переход от структуры целей или функциональных требований к модели структуры. Следует обратить внимание, что здесь главным является определение базовых категорий (концептов), что позволяет однозначно выделить в окружающей среде структуру системы и исследовать её реализуемость на соответствие с поставленными целями [88, 182].

О.И. Ларичев разработал теорию принятия решений для сложных систем различной природы [78], привел различные модели слабоструктурированных систем и методы их исследования, где окончательный выбор является прерогативой «Лица Принимающего Решение» (ЛПР). ЛПР устанавливает градиент направления, стратегию и тактику действий используя при этом различные методы, например, теорию полезности С. Фишберна [204], основанной на понятии "функция полезности". "Функция полезности" создаёт суммарные характеристики, учитывающие доход, издержки и риски. Указанные характеристики соответствуют всему амортизационному этапу создаваемого объекта.

В исследуемых предметно-ориентированных объектах (систем) заложена возможность вариативности, что позволяет без потери его базового функционала

приспособить создаваемые объекты для решения проблемы построения Системы Ресурсосберегающей Обработки Склоновых и Равнинных Земель (СРОСРЗ). Они классифицируются как сложные структурированные системы, методология исследования которых основана на системном подходе, включающим элементы разделения глобального на частные детали, распределения функций на уровни соподчинения, частного улучшения и комплексного проектирования [41, 182, 183, 189]. Атрибутами разрабатываемой структурной модели в этом случае будут являться отличительные признаки конструктивных или функциональных элементов, составляющие исследуемый объект, состав которых может варьироваться, что позволяет получать различные варианты (альтернативы) его структуры. Принято эти параметры называть морфологическими переменными [5, 151, 199]. Представление структурных моделей возможно различными способами, например, в виде таблиц, матриц или графов. Наиболее часто используется метод морфологического анализа и синтеза, базовые принципы которого приводятся в работах Амирова Ю.Д. [5], Джонсона Дж.К. [52], Чуса А.В., Данченко В.А. [210], Половинкина А.И. [151], Мюллера И. [137], Диксона Д. [61], а также древовидные графы типа И-ИЛИ дерева, развиваемая Жуком К.Д. [165], Половинкиным А.И. [151], Тарасиком В.П. [199], и многими другими.

Относительно вопроса анализа проблемы мелиорирования обрабатываемых склоновых и равнинных земель базовые принципы его решения сформулированы в работах Синеокова Г.Н., Панова И.М. [187], Максимова В.П. [91], Беспмятной Н. М. [17], Борисенко И.Б. [24], Ветохина В.И. [38] и других авторов. Результаты исследований приведенных авторов в части синтеза объекта «средства воздействия-почва», основываются на методе последовательных приближений по поиску оптимальный функционал его структуры. Из всего спектра характеристик указанного объекта наиболее важными являются физико-механические характеристики. Для критерия "оптимальности" в [17] применяется функция "желательности", которая строится на основе расчетных

суммарных показателей, характеризующих технологический процесс в целом. В этом случае достигается наиболее точное решение, но для этого требуется наличие количественных оценок.

Методы решения таких задач предполагают построение комбинаторной конфигурации. Описание процесса создания распределения функций на уровни соподчинения, в виде дискретного множества объекта «средства воздействия-почва» представлено уравнением 2.1 [30]:

$$X_0 \stackrel{def}{=} ((x)(\forall P)[(a, p) \in \phi \wedge (p, x) \in \psi \wedge p \in P_0 \wedge a \in A_0]), \quad (2.1)$$

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;  $\phi$  – бинарное отношение между элементами множеств  $A$  и  $P$ ;  $\psi$  – бинарное отношение между элементами множеств  $P$  и  $X$ ; при этом  $\phi \subset (A \times P)$ ;  $\psi \subset (P \times X)$ ;  $A_0 \subset A$  [88].

В работе [88] рассмотрена возможность применения метода морфологического анализа и синтеза для почвообрабатывающих орудий. Однако анализ существующих соответствий между заданными фактор-требованиями и способами их реализации показал проблему логического несоответствия выявленного морфополя после бинарного перебора логических последовательностей способов реализации. Возникшая проблема не позволила значительно ограничить множество генеральных альтернатив структуры исследуемой системы, что ведёт к трудностям построения конфигурации исследуемой системы [88]. Автор считает, что такие методы мало приемлемы в области анализа и синтеза системы мелиорирования почв. Для анализа рассматриваемой сложной системы СРОСРЗ, характеризуемой не только множественностью и разнокачественностью образующих элементов, но и воздействием внешней среды, разработаны требования, которые, на наш взгляд, обеспечивают максимально возможную эффективность её функционирования.

В создаваемой системе эти требования предлагается представить в виде 5 критически значимых основополагающих групп: способы обработки

агроландшафтов, в том числе склоновых и равнинных, богарных и орошаемых; финансовая составляющая технологических процессов; физико-механические процессы мелиорирования; возможности управления процессами функционирования системы; учёт экологических факторов на критическом уровне, а именно: поверхностный сток воды, переуплотнение почвы, аккумуляция внутрипочвенной влаги на склоне.

Для анализа СРОСРЗ используем объектно-ориентированный анализ (ООА) как одну из современных технологий исследования сложных систем. В качестве инструмента (нотации) построения таких систем применяется наиболее популярный, интенсивно развивающийся унифицированный язык моделирования (UML – Unified Modeling Language). Изначально метод разрабатывался под задачи программирования [27, 28, 65, 88, 99, 173], но интеграция его существенных принципов и фундаментальная логико-математическая интерпретации понятий и семантики элементов моделей, а также нотации их визуального представления значительно расширила область его практического применения. В настоящее время этот метод является не только наиболее удобным для анализа, но и динамично развивающимся в различных областях, включая в том числе область сельскохозяйственного производства [24, 26, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 184] и в иных отраслях, например, [15, 27, 28, 99, 173, 191, 215]. Применение ООА позволяет кратчайшим методом получить наиболее приемлемое решение, учитывающее все вышеприведенные критически значимые группы, что даёт [15, 86, 87, 88, 184, 215, 216]: установить совокупность функциональных требований к СРОСРЗ; представить в виде семиотического решения в ее текущем или целевом состоянии; определить структуру СРОСРЗ; исследовать поведение СРОСРЗ с учётом её возможного развития; синтезировать инвариант СРОСРЗ, позволяющий создать формальное описание решений на её основе [88].

## **2.2 Разработка информационной модели ресурсосберегающей системы обработки почв на основе объектно-ориентированного подхода и целевого анализа**

"Система Мелиоративной Обработки Склоновых и Равнинных Земель" (СРОСРЗ) имеет ряд признаков, которые позволяют сформулировать задачи и получить решения на основе системного подхода на базе объектно-ориентированного анализа [15, 41, 184, 216]:

- система имеет древовидную структуру, элементы которой выбираются по произвольному алгоритму;
- в иерархии связей внутрисистемные связи преобладают над внешними;
- цель определяет небольшая совокупность элементов, локализирующих востребованную функцию;
- реальная система получается, как развитие инварианта базовой системы.

В данном контексте системный анализ можно определить как технологию исследования целенаправленных систем [15, 41, 88, 184, 191]. Следовательно, основой системных исследований являются цели. Таким образом, поставленные цели, по сути, становятся главным системообразующим фактором, для достижения которых строится конкретная система [86, 87, 88, 184, 191]. Так, при исследовании СРОСРЗ на выбор целей, определяющих состав и топологию этой системы, оказывают значительное влияние в том числе и характеристики обрабатываемой территории, такие как: профиль поля, неоднородность почвы по механическому составу, глубина залегания плодородного горизонта, влажность почвы и ряд других показателей, а также применяемые способы обработки почвы [2, 4, 12, 14, 21, 23, 25, 34, 38, 42, 65]. Отметим, что в отличие от структурных методологий, отражающих функциональные свойства системы, применение современной ООА-методологии способствуют повышению устойчивости СРОСРЗ к возможным изменениям, что позволяет без существенного изменения

жизнеспособности системы дополнять её новыми объектами и исключать устаревшие [15, 28, 41, 88, 184].

В качестве нотации описания СРОСРЗ используется универсальный язык моделирования (UML). Данный графический язык используется на стадии технического предложения и позволяет визуализировать структуру системы (топологию и взаимосвязи), описать её элементы и наметить пути конструирования разрабатываемых систем и процессов. UML стандартизирован, широко используется в различных областях, динамично развивается, гарантируя при этом семантическую непротиворечивость исследуемой системы. В UML используется для описания процедур три типа моделирующих блоков: *сущность*, *отношение* и *диаграмма* [27, 28, 88, 99, 173]. *Сущности* определяют предмет модели и являются её основами. *Отношения* показывают наличие взаимной связи между *сущностями*. *Диаграммы* формируют комплект сущностей, отображающих различные варианты состояний системы.

В предлагаемом исследовании модель СРОСРЗ представлена в виде диаграмм. В общем виде система как совокупность UML-диаграмм состоит из статических и динамических диаграмм, дающих полную интерпретацию исходной системы [88]. Взаимосвязи классов в UML-моделировании демонстрируются в виде наиболее значимых отношений [27, 88, 91, 92, 93]: *зависимости* – изображаются пунктирной линией со стрелкой на конце; *наследования* – сплошная с незаполненной треугольной стрелкой на конце; *ассоциации* – сплошная линия; *агрегации* – сплошная линия с ромбовидной стрелкой на конце. Показанные отношения являются бинарными, что отличает их от унарных типа атрибуты, операции и обязательства.

В основе принятого к исследованию метода системно-целевого анализа положены закономерности как возникновения и формулирования целей, так и формирования структур целей. Первая часть определяет формулировку целей на начальной стадии познания объекта (процесса) включая внешние и внутренние

факторы, а также время целеполагания. Вторая – показывает возможность перехода от этапа формулирования к структуризации глобальной цели, сохраняя при этом логическую их целостность [41, 88, 184].

Соответствующий анализ, проведенный в работах [41, 88, 184] показал, что исследуемую СРОСПЗ можно представить в виде «конечного множества функциональных элементов и отношений между ними, выделенных из среды в соответствии с известной целью в рамках определенного временного интервала» [65, 88, 91, 184]:

$$S \underset{def}{\equiv} \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle. \quad (2.2)$$

В приведенной формуле 2.2 её составляющие это:  $S$  – система;  $A$  (при  $A = \{a_i\}$ ) – множество вводимых элементов СРОСПЗ;  $R$  (при  $R = \{r_i\}$ ) – множество связей между элементами системы;  $Z$  – структура целей системы;  $SR$  – среда целеобразования;  $\Delta T$  – интервал времени целеобразования [88, 91].

Принимаем для конкретных условий при анализе системы СРОСПЗ необходимо и достаточно использовать трехуровневую структуру целей [41, 65, 86, 88, 184]. Создается система, для которой Глобальная цель определяет конечную архитектуру почвообрабатывающего глубокорыхлителя. Среда формирования глобальной цели определена на основе анализа директивных документов и включает: *Урожай*, как интегральный показатель экономических и социальных функций почвы и накладываемые на него ограничения – *Климатические условия*, *Плодородие почвы*, *Агротехнические требования*, *Мезорельеф местности*, *Орошение земель* [88, 91, 92, 93].

Глобальная цель «*Повышение эффективности основной обработки почв*» [88, 91, 92, 93] определена в соответствии с требованиями и накладываемыми ограничениями на внешнюю среду. На этом уровне будет: «*Сохранение гумусового слоя*» (СГС); «*Сохранение стерни*» (ССт); «*Создание условий эффективной аэрации*» (СУЭА); «*Снижение энергоемкости обработки почвы*» (СЭ); «*Универсальность обрабатывающих средств*» (СУЭА); «*Максимальное*

исключение ручного труда» (МИРТ); "Создание условий ограниченной (управляемой) водопроницаемости" (СУОВ) [88, 91, 92, 93]. Следующий уровень иерархии в дереве целей определяется в соответствии с различными представлениями жизненного цикла (интервал времени целеобразования), в том числе, подцель СГС может быть декомпозирована на: "Экологическая безопасность" (ЭБ); ССт на "Подрезание корневой системы" (ПКС); СУЭА на "Разуплотнение" (РУ); СЭ на "Нарезка щелей" (НЩ) и "Оптимальная зона разрыхления" (ЭГР); УОС на "Тип агрофона" (ТА); МИРТ на "Управление рабочими органами"; СУОВ на "Создание внутрипочвенной стенки" (СВПС). На следующем уровне декомпозиции дерева целей (ДЦ) отличительный признак должен быть связан с возможной его реализуемостью и при этом гарантировать достижение подцелей предыдущего уровня. Поэтому в дальнейшем на указанных уровнях иерархии целесообразно оперировать не термином подцель, а термином функция и считать, что "дерево целей" как бы перерастает в "дерево функций" [41, 88, 184].

Построим диаграмму целевых классов (ДЦК) в нотации языка UML, в которой дерево целей является начальной структурой СРОСРЗ. Используя принципы синтаксической интерпретации, сводим её к диаграмме классов (ДЦК), которая описывает структуру системы в объектной нотации и по сути, является с точки зрения целедостижимости полным эквивалентом системы [65, 88, 91, 92, 93]:

$$J_Z : \{ St( ДЦ ) \xrightarrow{\text{синт.}} St( ДЦК ) \}. \quad (2.3)$$

Таким образом понятие целевой класс относится только для такого класса, в соответствие которому на ДЦ может быть назначена цель-подцель. Структура целевых классов устанавливается непосредственно из ДЦ, откуда следует её взаимно однозначное тождество в виде ДЦК [41, 86, 183]. На рисунке 2.1 приведена "диаграмма целевых классов" (ДЦК). Она является определяющей в

объединённой тернарной Объектно-Целевой Диаграмма Классов (ОЦДК) системы СРОСРЗ. В ОЦДК в результате декомпозиции глобальной цели через отношения наследования образуют её целевые классы (*СГС*, *ССт*, *СУЭА*, *СЭ*, *УОС*, *МИРТ*, *СУОВ*) на уровне "среды целеобразования". В результате следующий уровень – «интервал времени целеобразования» определяет "целевые классы-наследники" (*ЭБ*, *ПКС*, *РУ*, *НЩ*, *ОЗР*, *ТА*, *УРО*, *СВПС*). Полученная архитектура позволяет проследить логическое разделение целей [88, 91, 92, 93]. Цели и целевые классы системы обработки склоновых и равнинных земель представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Цели и целевые классы разработанной СРОСРЗ

Класс	Цель
<i>ПЭООП</i>	Повышение эффективности основной обработки почв $ПЭООП = f(СГС, СУЭА, СУОВ) \rightarrow max$
<i>СГС</i>	Сохранение гумусового слоя $СГС = f(ЭБ, ССт, ПКС) \rightarrow max$ , где: <i>ЭБ</i> – экологическая безопасность; <i>ПКС</i> – подрезание корневой системы.
<i>СУЭА</i>	Создание условий эффективной аэрации $СУЭА = f(РУ) \rightarrow opt$ , где <i>РУ</i> – разуплотнение.
<i>СЭ</i>	Снижение энергоёмкости обработки $СЭ = f(НЩ, ОЗР) \rightarrow min$ , где <i>НЩ</i> – нарезка щелей; <i>ОЗР</i> – оптимальная зона разрыхления.
<i>МИРТ</i>	Максимальное исключение ручного труда $ВУ = f(УРО) \rightarrow max$ , где <i>УРО</i> – управление рабочими органами.
<i>СУОВ</i>	Создание условий ограниченной водопроницаемости $СУОВ = f(ОРО) \rightarrow opt$ , где <i>ОРО</i> – особый тип рабочих органов.

Существующие ограничения, связанные с реализацией отношений наследования между целевыми классами трех уровней ДЦК могут быть решены путём введения дополнительных отношений, зависящих от разных целевых функций от одного и того же технологического параметра [88]. На следующем уровне декомпозиции СРОСРЗ формируется состав диаграммы классов ее оборудования (ДКО) [88, 184].

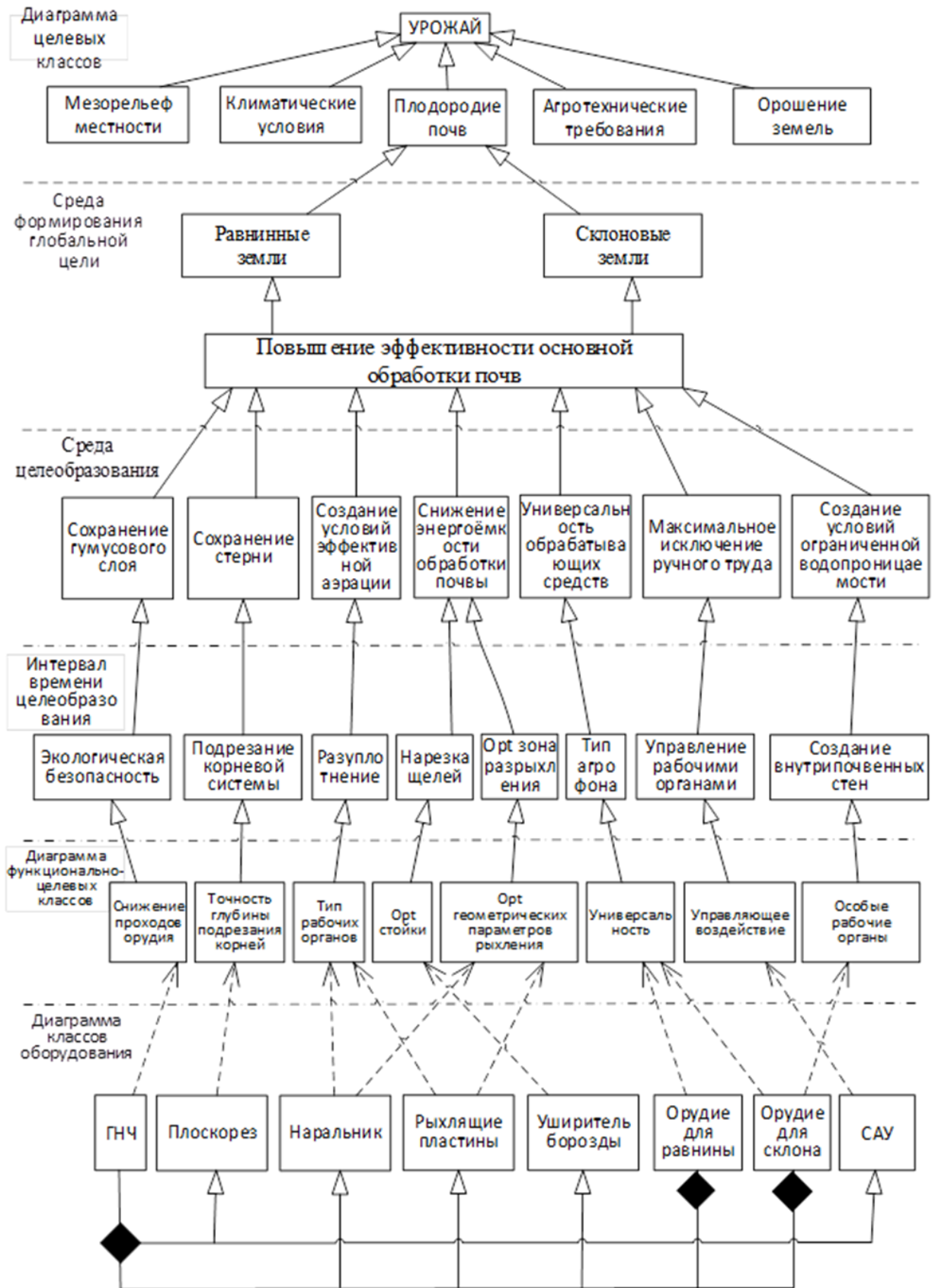


Рисунок 2.1 – Тернарная объектно-целевая диаграмма классов СПОСРЗ

Состав системы отражает совокупность возможных вариаций систем деформаторов основного и дополнительного оборудования, располагающихся на ГНЧ: *Наральник, Рыхлящие пластины, Плоскорез, Уширитель борозды*. Возможно дополнение СРОСРЗ другими специализированными элементами (*ОРО*) и устройством системы автоматического управления (*САУ*).

Целостная структура СРОСРЗ в рассматриваемом случае представлена в виде диаграммы *классов оборудования* (ДКО). Она содержит следующие классы: *Плоскорез, Наральник, Рыхлящие пластины, Уширитель борозды, Орудия для равнины, Орудия для склона, САУ*, агрегированных в почвообрабатывающий агрегат на базе класса *ГНЧ* (рис. 2.1). Таким образом, все необходимые технологические операции для достижения подцелей, выявленных на нижнем уровне ДЦК, могут быть реализованы представленными классами оборудования.

### **2.3 Разработка общих принципов концептуального конструирования соответствующих технических средств для обработки склоновых и равнинных земель, учитывающих адаптивность к особенностям мезо- и макрорельефа, повышение интенсивности выпадения осадков**

Процедура системного анализа, выполняемая в рамках общих принципов концептуального исследования системы, позволяет получить основные модели базового инварианта архитектуры технологических процессов и технических средств обработки склоновых и равнинных земель [15, 28, 41, 88, 91, 92, 93, 184].

Язык UML не поддерживает совместное рассмотрение в части логических переходов от *целевых* классов к классу *объектов* [99]. Поэтому принимаем при исследовании СРОСРЗ, предложенный авторами [88, 183] переход от одного качества к другому посредством введения дополнительной диаграммы

*функционально-целевых* классов. Решение проблемы возможно при соблюдении следующих положений [15, 17, 41, 215].

Целевой класс (ЦК) составляющими элементами которого являются целевые функции, задаёт смысловое содержание системы. В результате посредством взаимодействующих отношений наследования осуществляется взаимное воздействие с соответствующими родственными абстрактными классами и их подклассами. Это может быть *функционально-целевой* класс (ФЦК), определяющий функционально-целевую сущность в виде требуемой функции. Данная функция через отношения зависимости связана с классами диаграммы оборудования (ДКО), описывающей иерархическую структуру оборудования системы [28, 88, 184]. Таким образом в комбинированной диаграмме, логически объединяющей диаграммы трёх классов прослеживается, во-первых, достижимость преследуемых целей конкретным видом оборудования и, во-вторых, определяются механизмы этого перехода. Такой подход может быть использован для формализации процедур при дальнейшем развитии диаграммы.

Рассмотрим результаты практической реализации разрабатываемого метода целевого анализа СРОСРЗ, показанные на рисунке 2.1 в виде комбинированной объектно-целевой диаграммы. Следующая процедура анализа архитектуры СРОСРЗ заключается в конкретизации типов объектов (оборудования), которые по своему функционалу могут обеспечить выполнение декларируемых целей. Таким образом дополнительная переходная функционально-целевая диаграмма (ДФЦК) выступает в роли инструмента интеграции диаграмм и позволяет отслеживать направления движения *цель* → *класс оборудования*. Так в рассматриваемом случае ДФЦК, включает следующие функционально-целевые классы (ФЦК): *снижение проходов орудия (СПО)*, *точность глубины подрезания корней (ТГПК)*, *тип рабочих органов (ТРО)*, *оптимизация параметров стойки (ОнС)*, *оптимизация геометрических*

*параметров рыхления (ОнГПР), универсальность орудия (УО), управляющие воздействия (УпВ), особые рабочие органы (ОРО).*

Указанные выше ФЦК наследуют подцели целевых классов ЭБ, ПКС, РУ, НЩ, ОнЗР, ТА, УРО, СВПС и одновременно определяют функции требуемого класса оборудования: ГНЧ→СПО; Плоскорез→ТГПК; Наральник→ТРО и ОнГПР; Рыхлящие пластины→ТРО и ОнГПР; Уширитель борозды→ОнС; Орудие для равнины→УО, Орудие для склона→УО и ОРО, САУ→УпВ.

В итоге интеграция диаграмм ДЦК, ДКО и ДФЦК позволила в результате применения дополнительно введённой переходной функционально-целевой диаграммы, что позволяет создать комплексную модель СРОСРЗ в виде комбинированной ОЦДК. Выявленная при этом семантическая взаимосвязь позволила формализовать отношения между глобальной целью, задаваемой конкретными задачами, и элементами технологического оборудования.

Разработанная на первоначальном этапе структура СРОСРЗ является, по сути, базовым инвариантом, реализующий только требования землепользователя. Однако её структура и, соответственно, функциональные возможности зависят не только от землепользователя, но и от ряда требований, выдвигаемых другими лицами (акторами), задействованными в жизненном цикле системы и направленными на повышение её эффективности. Эти дополнительные требования позволяют реализовать подцели, полученные в результате декомпозиции, принятой к анализу глобальной цели.

Динамика развития системы в нотации языка UML демонстрируется через дополнительные диаграммы, добавляя к статическим диаграмму вариантов использования (*прецедентов (use case)*), которая относится к динамическим и является одной из самых важных при исследовании всей системы в целом [27, 28, 88, 215].

Диаграмма вариантов использования оперирует определённым набором элементов (множеством) последовательных действий, определяемых *актором*

(*actor*). *Актор* в данной системе человек (состав лиц), или другая система [27, 28, 88], определяющий окончательные требования к разрабатываемой системе в общем виде, включает заказчика (пользователя) и команду разработчиков проекта. При анализе СРОСРЗ в качестве пользователя выступают землепользователь и механик-оператор, а команда разработчиков представлена экологом и экономистом. Очевидно, что состав команды разработчиков может меняться в зависимости от сложности проекта.

Диаграмма прецедентов (*ДП*) или вариантов использования (*use case diagram*) демонстрирует взаимодействие *прецедентов* и *акторов* посредством отношений между ними [27, 28] (рисунок 2.2). Поскольку в ДП основной акцент делается на поведенческом аспекте прецедента как *сущности*, то такой подход дает возможность не только переформулировать существующие, но и формулировать новые требования к системе [88]. СРОСРЗ как многофункциональная сложная развивающаяся система может реализовывать поставленную цель по различным вариантам ее использования (сценариев). Таким образом, сценарий (*scenario*) является экземпляром прецедента, полный список которых определяет окончательные требования к системе [164, 175, 191].

На диаграмме *актор* представлен в виде пиктограммы человека, а объекты и технологические процессы, определяющие функционирование системы, показаны как *прецеденты* и *отношения* между ними [88, 91, 92, 93].

*Акторы* реализуют собственные цели через взаимодействие с системой, считая при этом, что поведение её будет полностью соответствовать прогнозируемым векторам в соответствии с поставленными *акторами* целями. На диаграмме ДП *Прецедент* отображается эллипсом с описанием внутри череды событий, включая их возможные варианты (сценарии), которые при выполнении системой приводят к желаемому *актором* результату. При этом он описывает только действия системы, не раскрывая способ его выполнения. *Отношения* показаны линиями различных видов [27, 88, 91, 92, 93, 99, 173].

Требования *акторов* к СРОСРЗ, дополняющие базовый инвариант, вызывают необходимость проведения корректировки или введения новых целей, что в свою очередь, изменяет архитектуру системы, показывая, как вводимые *акторами* прецеденты формируют сценария её функционирования [88, 91, 92, 93]. Следовательно, *сценарии* специфицируют *прецеденты*. Поскольку в ДП описываются все возможные варианты реализации целей, заданных *акторами* через *прецеденты*, то очевидно, что диаграмма прецедентов объединяет все требования и специфицирует поведение системы. Нотация языка ДП для описания СРОСРЗ дополнена новыми типами связей (*отношений*):

- сплошные линии, соответствуют *ассоциативным* связям, таким как *актор – прецедент*;
- пунктирные линии со стрелкой на конце – показывают переход базового *прецедента* к расширяющему его *прецеденту*, т.е. отношения *расширения*;
- пунктирные линии с заполненной стрелкой на конус – отражают отношения *включения*, например, использующий прецедент - используемый *прецедент*;
- сплошные линии с незаполненной конусной стрелкой на конце – отражают переходы (наследования) типа *прецедент – прецедент*, *актор – актор*, в виде *обобщений* [27, 28, 88, 91, 92, 93, 99, 173].

*Диаграмма прецедентов* инновационной системы СРОСРЗ включает *акторов*, оказывающих определяющее влияние на эффективность функционирования системы, таких как: *землепользователь*, *эколог*, *экономист* и *механик-оператор*. После выполнения таргетирования приступают к построению диаграммы прецедентов.

Так, требования актора *экономист* заключающиеся к получению максимальной прибыли (ПР), учитывая совокупные затраты (СЗ), наиболее существенными в нашем случае будут:

- ЗТ – затраты на топливо;

– ЗТЦ – затраты на технологические операции (ТО) при обработке почвы, обеспечивающие требуемое качество производства работ на различных обрабатываемых агроландшафтах; а также для склоновых земель: позиционирование стоек, основную обработку с нарезкой внутрипочвенных стенок, установку глубины чизелевания [88, 91, 92, 93].

Основным потребителем системы является *актор Землепользователь*, от требований которого зависит максимально возможная эффективность мелиорирования обрабатываемых земель.

На диаграмме прецедентов СРОСРЗ (рисунок 2.2) *актором Землепользователь* создаётся *прецедент* «Повышение эффективности функционирования» (ПЭФ). Качественная реализация этого прецедента напрямую зависит от согласованного выполнения требований *акторов* СРОСРЗ: *экономиста, эколога и механика-оператора*. При изменении внешних требований количество *акторов* в диаграмме может быть изменено [88, 91, 92, 93].

Рассмотрим функционал других *акторов* из представленной диаграммы прецедентов (рисунок 2.2). Поскольку для реального осуществления всех представленных прецедентов необходимо достаточное количество денежных средств и технико-технологическое обеспечение, следовательно *прецедент* «Обеспечение финансово-технологическими ресурсами» (ОФТР) отражает данное состояние хозяйствующего субъекта.

*Актер Эколог* ставит требования, которые отражены прецедентом «Экологическая безопасность» (ЭБ). Эти требования направлены на снижение эрозионной нагрузки на обрабатываемые склоновые и равнинные агроландшафты.

*Механик-оператор* выполняет адаптацию мелиоративных работ на склоновых и равнинных землях к внешним условиям. Реализация его требований предполагает настройку соответствующего оборудования к производству работ.

Эти требования показаны через прецедент «Система регулирования» (СР). В данной диаграмме (рисунок 2.2) прослеживается взаимосвязь между прецедентом СР и прецедентом ССЗ [88, 91, 92, 93].

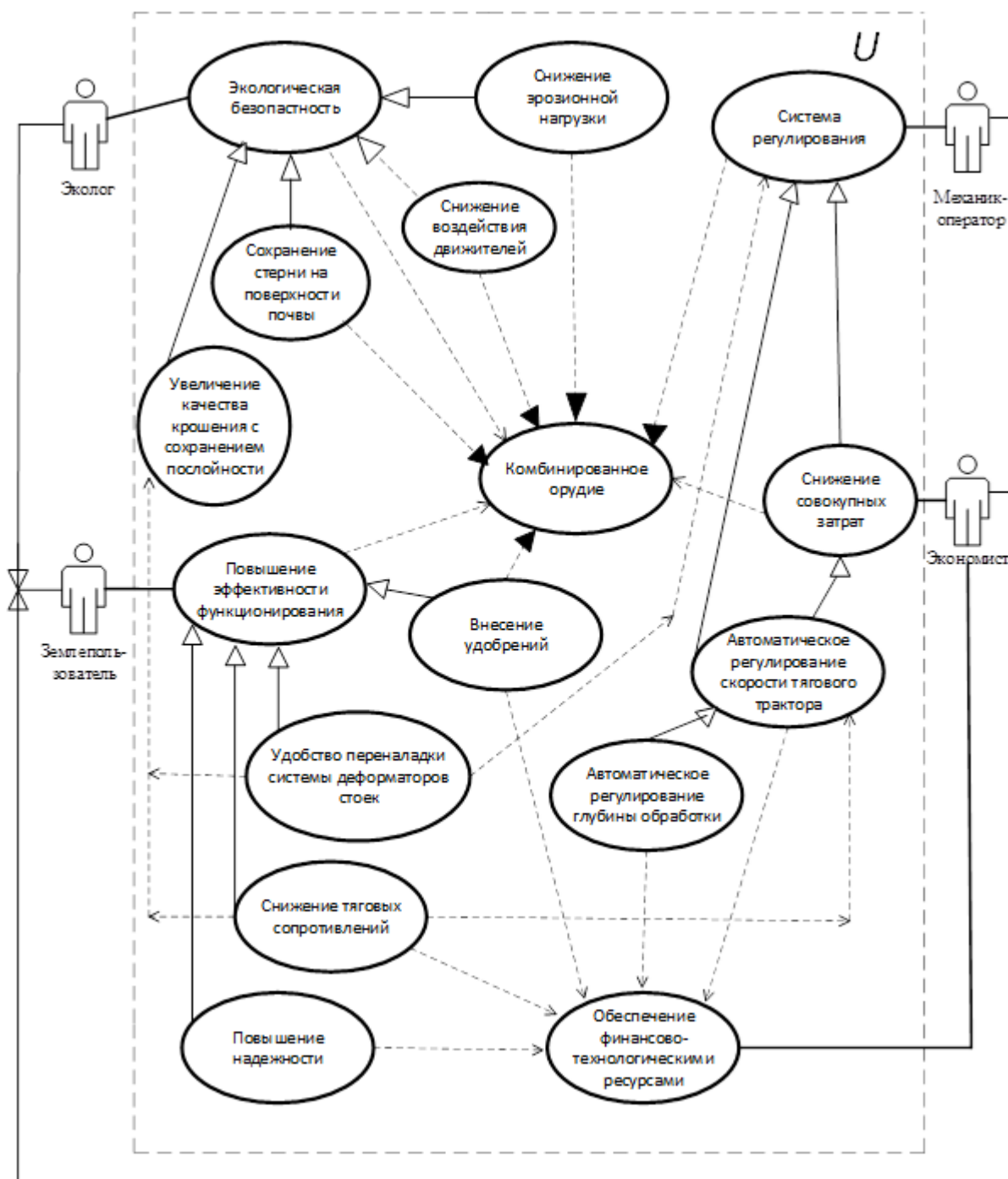


Рисунок 2.2 – Диаграмма прецедентов при комплексировании системы СРОСРЗ

Все указанные требования *акторов* представляют собой совокупность технологических процессов, посредством которых они выполняются. Алгоритм

работы диаграммы прецедентов (ДП) заключается в переходе от требований *актора* к *прецеденту* посредством отношения *обобщения* (наследования), побуждая посредством *ассоциативных* связей дальнейшие процедуры, определяющие последовательности действий.

Исходя из того, что требования *актора Землепользователь* определяются на верхнем уровне целеобразования и являются базовыми ( $St_{\text{би}}$ ), а требования *Эколога*, *Механика-оператора* и *Экономиста* добавляются к ним на последующем уровне, то они не влияют на декомпозицию основных целей. То есть базовый инвариант ( $St_{\text{би}}$ ) обеспечивает достижение глобальной цели «Повышение эффективности основной обработки почв» в СРОСРЗ (рисунок 2.1, 2.2) [88, 91, 92, 93]. Пусть базовая ( $St_{\text{би}}$ ) будет в виде множества гарантирующего для материализации прецедента ПЭФ, как минимально возможную комплектацию. То есть:

$$St_{\text{би}} = \{\text{УККСП, СВД, СЭН, СР, ССЗ}\}. \quad (2.4)$$

Взаимодействие *прецедентов* с *прецедентами-наследниками* отражается соответствующими *отношениями*, показанными на диаграмме прецедентов при комплексировании системы СРОСРЗ (рисунок 2.2).

*Механик-оператор* устанавливает прецедент СР, который в свою очередь инициирует дополнительный прецедент в виде режима «Автоматическое регулирование скорости тягового трактора» (АРСТТ), включающий параллельный режим «Автоматическое регулирование глубины обработки» (АРГО). Эти дополнительные прецеденты подразумевают выполнение всех технологических операций за один проход орудия [92, 93].

*Актор Эколог* осуществляет надзор за соблюдением экологической безопасности при выполнении полевых работ. Он устанавливает прецедент – *экологическая безопасность* (ЭБ), который предполагает поиск методов по минимизации возможного негативного влияния на объект воздействия при работе почвообрабатывающего орудия согласно системе СРОСРЗ [91, 93].

Данный прецедент в свою очередь инициирует прецедент-наследник «Снижение воздействия движителей» (СВД). Он включает параллельный прецедент-наследник – «Снижение эрозионной нагрузки» (СЭН). Выполнение их требований возможно при одновременном совмещении всех почвообрабатывающих агроприёмов. Такое возможно только при разработке инновационной архитектуры системы деформаторов ( $St$ ) комбинированного орудия ( $КО$ ).

Для описания перечисленных технологических операций в виде множества используем метод «Перечисления» [88, 91, 92, 93, 184].

Прецедент  $КО$  необходим для реализации вышеперечисленных требований, задаваемых *акторами*. При этом он является интеграционным прецедентом, объединяющим в себя прецеденты СЭН, ВУ, СВД, СР и ССПИ, КО замыкая на себя требования всех представленных *акторов* [88, 91, 92, 93].

Исходя из этого очевидно, что наличие соответствующих ресурсов, учитываемых *актором* «Экономист», в части прецедента «Обеспечение финансово технологическими ресурсами» (ОФТР), позволит достичь экологически безопасной высокоэффективной почвообработки.

В ДП прецедент ОФТР может сформировать из предлагаемых возможных случаев одно из решений ассоциативно связанного с *актором* «Экономист», что при наличии соответствующего ресурса повышает потенциал СРОСРЗ. При этом прецедент ОФТР, как и последующие прецеденты, не отражает конкретный способ их реализации [27, 88, 91, 92, 93, 99, 173]. Таким образом появляется возможность включая отношения расширения синтезировать различные варианты начиная от базового инварианта ( $St_{\text{би}}$ ) и заканчивая оптимальным ( $St_i$ ), отвечающего возможностям соответствующих ресурсов системы, то есть:

$$St_i = \{(St_{\text{би}}, St_j) : St_{\text{би}} \cup St_j \neq \emptyset, St_j \in (U \setminus St_{\text{би}})\}, \quad (2.5)$$

где  $St_j$  – некоторое требуемое количество дополнительно выбранных прецедентов из оставшейся части области  $U$  (рисунок 2.2) [88, 91].

## **2.4 Разработка ресурсосберегающего технологического процесса обработки склоновых земель**

Дальнейшее развитие системного подхода, необходимого для создания на современном научном уровне инновационных, экологически безопасных орудий мелиорирования обрабатываемых склоновых и равнинных земель предполагает адаптацию к реальным условиям использования технологий и технических средств в сельском хозяйстве. Концептуальное конструирование базируется на современной методологии создания машин и механизмов. Основные положения этой методологии применительно к рассматриваемой проблеме [41, 199]:

- понятия «изделие» и «жизненный цикл изделия» являются главным понятием методологии. В этой связи управление жизненным циклом включает архитектуру распределения управленческих функций, которые согласованы на всех этапах «жизненного цикла»;
- каждый этап создания изделия отображает его настоящие или перспективные функциональные свойства;
- каждый этап создания объекта должен быть оформлен в виде документа, отражающим его целевые характеристики и особые условия функционирования, а также накладываемые ограничения.

Методология конструирования почвообрабатывающих агрегатов (СРОСРЗ) включает процедуры нахождения лучших или оптимальных решений. Для этого используются разнообразный инструментарий типа структурного, математического, имитационного или информационного моделирования, каждый из которых требует применения соответствующей методики по

формализации описаний выполняемых процедур и конечных результатов [17]. На рисунке 2.3 представлен разработанный на основе проведенных исследований обобщенный алгоритм анализа и синтеза системы СРОСРЗ.

СРОСРЗ построена посредством структур, полученных на базе ОЦДК и ДП, которые учитывают требования, необходимые для реализации принятой глобальной цели – «Урожай». Состояние рассматриваемой системы на диаграмме представлены в виде прямоугольников. Сплошные прямые стрелки, между ними, показывают действия по переходу от одного состояния элементов системы к другому. Тип процесса определения достоверности между состояниями отображается через изогнутые пунктирные линии.

Область имитационного моделирования выделена штрихпунктирными линиями. Сплошные дугообразные стрелки показывают обратную связь [88]. При проведении анализа и синтеза системы исследователь вынужден проводить большое количество итераций, включая в том числе, процедуры отладки «реализующей программы» (рисунок 2.3), до тех пор, пока выполнение необходимых условий  $[Y_i]$  позволит осуществить переход между процедурами.

Анализ объектно-целевой диаграммы классов СРОСРЗ показал, что для аккумуляции внутрипочвенной влаги на склоне необходимо создание препятствий внутрипочвенному водостоку, устроенных поперёк наклонного участка. Отсюда следует инновационное решение, заключающееся в том, что в базовой ОЦДК [88, 91, 92, 93] на уровне интервала времени целеобразования введён новый целевой класс-наследник «создание внутрипочвенных стенок» (СВПС). Далее через отношение «наследование» этот класс, порождает класс «особые рабочие органы», который посредством отношений «зависимости» приводит на уровне классов оборудования к классу «орудие для склона», агрегированном в класс ГНЧ.

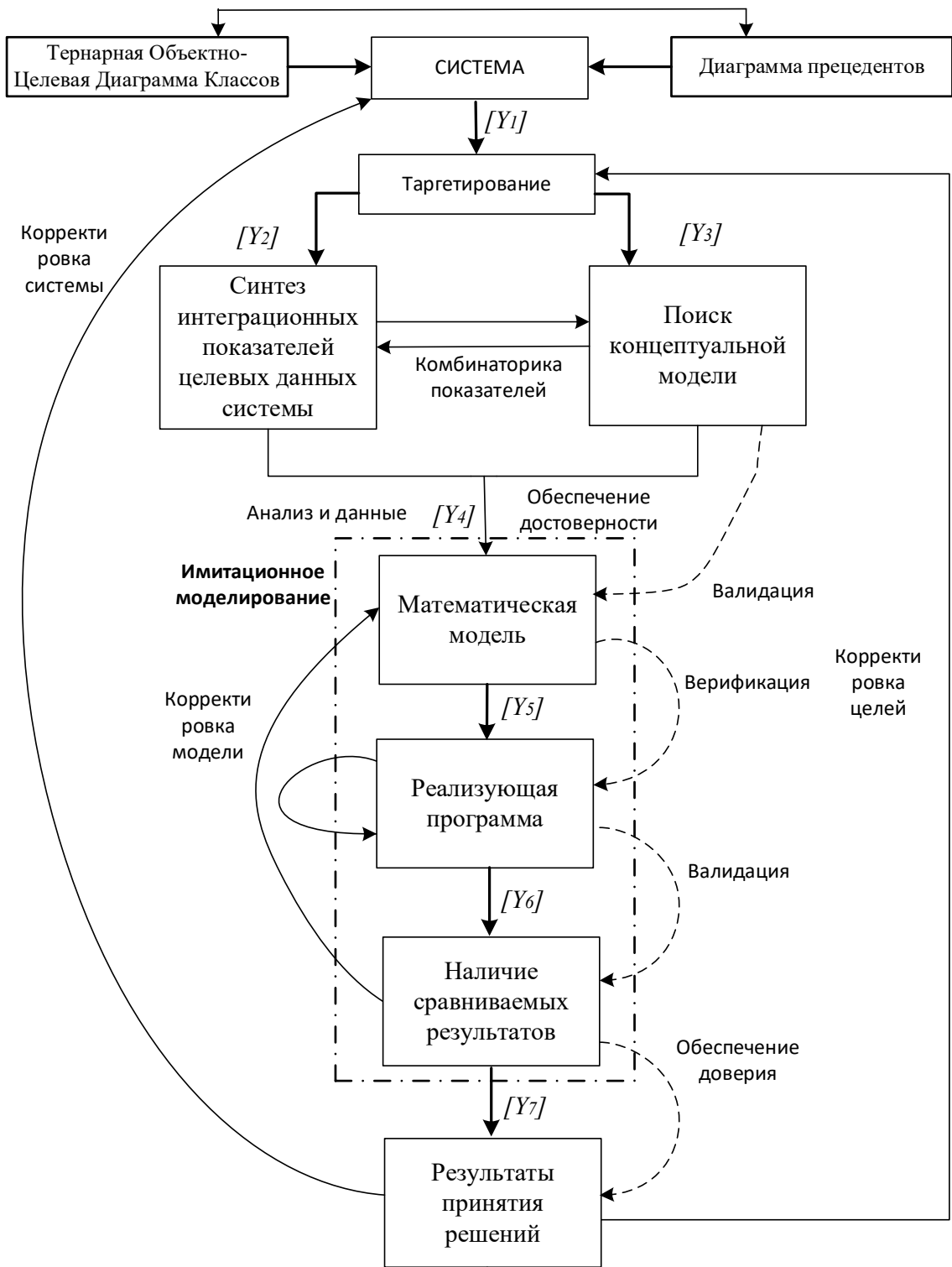


Рисунок 2.3 – Архитектура анализа и синтеза системы СРОСРЗ

Таким образом, логично приходим к необходимости создания новой технологии обработки почвы склонов на базе глубокого рыхления с устройством необработанных промежутков между разрыхленными областями

(внутрипочвенных стенок). При этом обработка почвы должна вестись поперёк склона. В качестве прототипа наиболее точно подходит глубокорыхлитель чизельного типа, конструкции ЮЖНИИГИМ.

Исходя из этого создан новый мелиоративный способ основной обработки склоновых земель, направленный на разрыхление верхних переуплотнённых слоёв почвы на глубину 0,60 м при обеспечении гарантированной повышенной влагопроницаемости и влагоёмкости обработанного горизонтального поля и удержания (сохранения) внутрипочвенной влаги на склоне. Это решение защищено патентом на изобретение № 2255450 [142]. Обработка почвы на склонах предлагаемым способом осуществляется следующим образом: на эродированном участке, где использовалась обычная обработка почвы, производится глубокое рыхление почвы без оборота пласта поперек склона. Одновременно с рыхлением устраиваются внутрипочвенные стенки в виде необработанной и переуплотненной почвы – междурядья, чередующиеся с разрыхленной областью. Такую обработку необходимо проводить не реже одного раза в 2 – 3 года [142].

Глубокорыхлители чизельного типа нарезают внутрипочвенные стенки на глубину до 60 см поперек склона. Толщина внутрипочвенной стенки должна быть в несколько раз меньше области разрыхления. Плотность внутрипочвенной стенки обеспечивается переуплотнением подпахотного слоя. При создании внутрипочвенных стенок необходимо располагать стойки глубокорыхлителя так, чтобы области разрыхления рабочих органов не перекрывались и обеспечивали достаточную толщину грунта для образования внутрипочвенной стенки [142].

На рисунке 2.4 показана схема обработанного новым способом склона на глубину  $\delta = 0,60$  м. Где: 1 – разрыхленные области; 2 – внутрипочвенные стенки из переуплотнённой (не обработанной) почвы, препятствующие стеканию вниз по склону подвижной влаги в почве.

Созданная инновационная технология обработки склоновых возделываемых агроландшафтов базируется на развитии методологии ООА в нотации UML, потребовала создания новых элементов системы деформаторов почвообрабатывающего орудия. В соответствии с анализом построенных диаграмм ОЦДК и ДП это орудие должно быть комбинированным, которое рыхлит почвы не только склонов, но и земли равнинных участков.

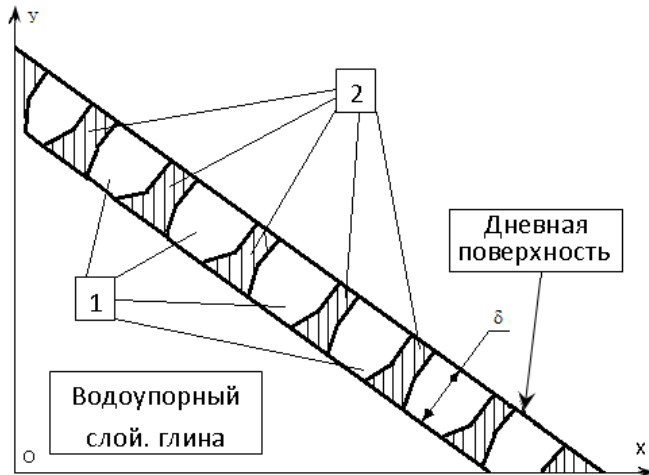


Рисунок 2.4 – Схема обработанного верхнего слоя почвы на склоне новым способом

ресурсосберегающим воздействием его системы деформаторов на обрабатываемый пласт почвы [106, 121, 128, 131].

Исходя из этого разработана техническая документация и изготовлен в металле универсальный инновационный глубокорыхлитель чизельного типа ГНЧ-0,6М. Также обоснованы тенденции создания перспективного адаптивного универсального рыхлителя с

## 2.5 Выводы

1. Реализация методологии объектно-ориентированного анализа (ООА) в нотации универсального языка моделирования UML для проведения концептуального анализа и построения на этапе «Техническое предложение» архитектуры системы ресурсосберегающей обработки склоновых и равнинных земель (СРОСРЗ) вызвала необходимость его дальнейшего развития в предметной области мелиоративной почвообработки склоновых и равнинных земель посредством введения новых процедур, конструкций и концептов.

2. Интеграция диаграммы целевых классов (ДЦК), диаграммы классов оборудования (ДКО) через новую диаграмму функционально-целевых классов (ДФЦК) позволила получить модель системы СРОСРЗ в виде объектно-целевой диаграммы классов (ОЦДК), имеющую тройную структуру: ДЦК, ДФЦК и ДКО. Выявленная при этом семантическая взаимосвязь позволила формализовать отношения между глобальной целью, задаваемой конкретными задачами, и элементами технологического оборудования и определить базовую структуру универсального комплекса орудий для обработки склоновых и равнинных земель.

3. Моделирование динамики развития СРОСРЗ, направленной на повышение её эффективности, осуществляется путем построения диаграммы прецедентов (ДП), по результатам которой устанавливается окончательный вариант комплексирования системы, учитывающий требований всех лиц, задействованных в её жизненном цикле.

4. Предложен обобщенный алгоритм анализа СРОСРЗ и синтеза инварианта базовой структуры глубокорыхлителя с возможностью технологической адаптации к потребностям глобальной цели, включающий процедуры математического и имитационного моделирования и локальной оптимизации элементов конструкции.

### **3 СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ОБРАБОТАННОГО НОВЫМ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИМ ПРОЦЕССОМ ВЛАГОНАСЫЩЕННОГО ПЛАСТА ПОЧВЫ НА СКЛОНЕ**

В условиях Ростовской области и всего Южного Федерального округа (ЮФО) значительные площади земель сельскохозяйственного назначения находятся на склонах и испытывают эрозионную нагрузку. Это приводит к непродуктивному использованию атмосферных осадков, и следовательно, к снижению урожайности сельскохозяйственных культур [154, 197]. Обработка склоновых земель проводится в основном поперечной вспашкой на глубину 20 – 25 см, в некоторых случаях применяется поверхностная обработка почвы без оборота пласта и щелевание. Однако, как было рассмотрено в главе 1, упомянутые виды обработки, в данных почвенно-климатических условиях, не решают в должной мере проблемы водной эрозии и дефляции, а также аккумуляцию почвенной влаги на обрабатываемом склоне [56, 180].

Проведенные исследования показали, что все эти виды обработки склоновых земель, можно заменить одной новой мелиоративной обработкой, основанной на глубоком рыхлении с глубиной обработки до 60 см. Для этого используется глубокорыхлитель чизельного типа – патент на изобретение № 2255450 «Способ обработки склоновых почв» [142]. Применение данного патента при обработке склона устройство поперечных внутрипочвенных стенок в виде необработанной и переуплотнённой почвы (междурядья), чередующихся с разрыхлёнными широкими полосами земли. Использование нового мелиоративного способа обработки склоновых земель, позволит резко повысить скважность обработанного горизонта на глубину обработки и аккумуляцию влаги осадков по всему профилю склона [116, 117, 118, 121, 123]. При таких создаваемых условиях для обработанного верхнего пласта почвы на склоне возникает его критическое насыщение влагой, следовательно происходит

быстрое возрастание его собственной массы. В этом случае возникает опасность оползня верхнего обработанного плодородного слоя, толщиной до 0,60 м, следовательно необходимо создать математическую модель для расчёта устойчивости этого горизонта на склоне [126].

На обработанном склоне влагонасыщенные участки будут удерживаться переуплотнёнными промежутками – внутрипочвенными стенками. Если представить внутрипочвенную стенку как "подпорную стенку" (ограждающую поверхность), то расчёт её устойчивости сводится к ряду известных методов в строительстве [116, 117, 119, 126].

В рассматриваемом случае предлагается следующий вид бокового давления грунта.

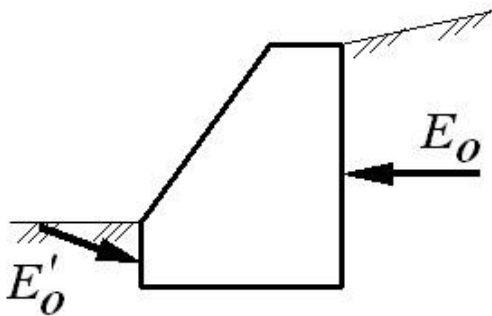


Рисунок 3.1 – Схема действия давления покоя на подпорную стенку

Давление покоя, называемое также естественным (натуральное), действующее в том случае, когда стена (ограждающая поверхность) неподвижна или относительные перемещения грунта и конструкции малы –  $E_0$  (рисунок 3.1) [18, 45, 135, 136].

Существуют теории определения давления грунта, использующие предпосылки, позволяющие с разной степенью точности выполнять решение задачи [173, 191, 202, 208]. Наиболее близкими решениями являются методы расчёта устойчивости предложенный Ш. Кулоном, по кругло-цилиндрическим поверхностям и аналитическая модель устойчивости склона по Г.М. Шахуняцу, преимущества и недостатки которых были показаны в главе 1. Приведённые виды расчётов известных ученых справедливы для расчёта устойчивости только одной подпорной стенки. В нашем случае на склоне размещается ряд подпорных стенок. Использование только СНиП и СП в вопросах устойчивости обрабатываемых склонов (земледельческая механика) является некорректным

вследствие того, что они основаны на теории Кулона-Мора и не отражают в полной мере картину взаимодействия разуплотнённых участков с переуплотнёнными промежутками, так как они созданы для применения в сфере строительства [18, 25, 127, 136, 190, 193, 194]. Также следует учесть, что "подпорных стенок" на обработанном склоне новым способом располагается множество, при этом они чередуются в строгом порядке с переуплотнёнными промежутками.

Очевидно, что давление грунта на ограждающую поверхность зависит от многих факторов: способа и последовательности засыпки грунта; естественного и искусственного трамбования; физико-механических свойств грунта; случайных или систематических сотрясений грунта; осадок и перемещений стенки под действием собственного веса, давления грунта; типа сопряженных сооружений [142, 180]. В большинстве инженерных расчетов используются результаты, полученные на основании теории Кулона, в тех случаях, когда результаты следует уточнить, используются поправочные коэффициенты, вводимые на основании точных решений и экспериментальных данных. Все это значительно усложняет задачу определения устойчивости обработанного пласта почвы на склоне во в лагонасыщенном состоянии.

В обработанном новым способом пласте на склоне размещаются ряды подпорных стенок, расположенные поперёк склона. Они разделяют разрыхленные участки. Всё это находится в тонком по сравнению с длиной верхнем слое, толщиной 0,60 м. Возникает необходимость расчета на устойчивость всего тонкого критически лагонасыщенного слоя на склоне в целом с учетом равновесия всех внутрпочвенных стенок и разрыхленных участков одновременно, в его напряженно-деформированном состоянии, в условиях его критического перенасыщения влагой.

Предлагается созданная математическая модель устойчивости этого слоя на склоне. Для этого разработана задача теоретического расчета равновесия

системы сил, приложенных к телам, находящимся на наклонной поверхности [114, 123, 124, 222]. При создании данной математической модели для определения устойчивости, необходимо учитывать такие факторы как естественное и искусственное трамбование, а также осадок и перемещений стенки под действием собственного веса, давления грунта [36, 119, 174, 202].

### **3.1 Постановка и допущения для создания математической модели оценки устойчивости верхнего обработанного влагонасыщенного слоя почвы на склоне**

Допустим, в первом приближении, что области разрыхления, образующиеся от стойки глубокорыхлителя чизельного типа, имеют вид перевёрнутых трапеций, а внутрипочвенные стенки из переуплотненной почвы (целяк) будут в виде треугольников. Толщина рассматриваемого слоя на склоне – 0,60 м. Указанные фигуры являются составляющими элементами разработанного слоя почвы на склоне. При этом 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 3.2 [114, 116, 119, 123, 124].

При постановке задачи примем к рассмотрению следующие допущения, где рассматриваемы параметры и характеристики имеют предельные значения, гарантирующие устойчивость склона после обработки:

– область разрыхления от стойки глубокорыхлителя чизельного типа представлена в виде перевёрнутой трапеции, а уплотненная внутрипочвенная стенка – в виде треугольника; следовательно, допустим:  $\Delta = const$  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 [116, 117, 119, 123, 124].

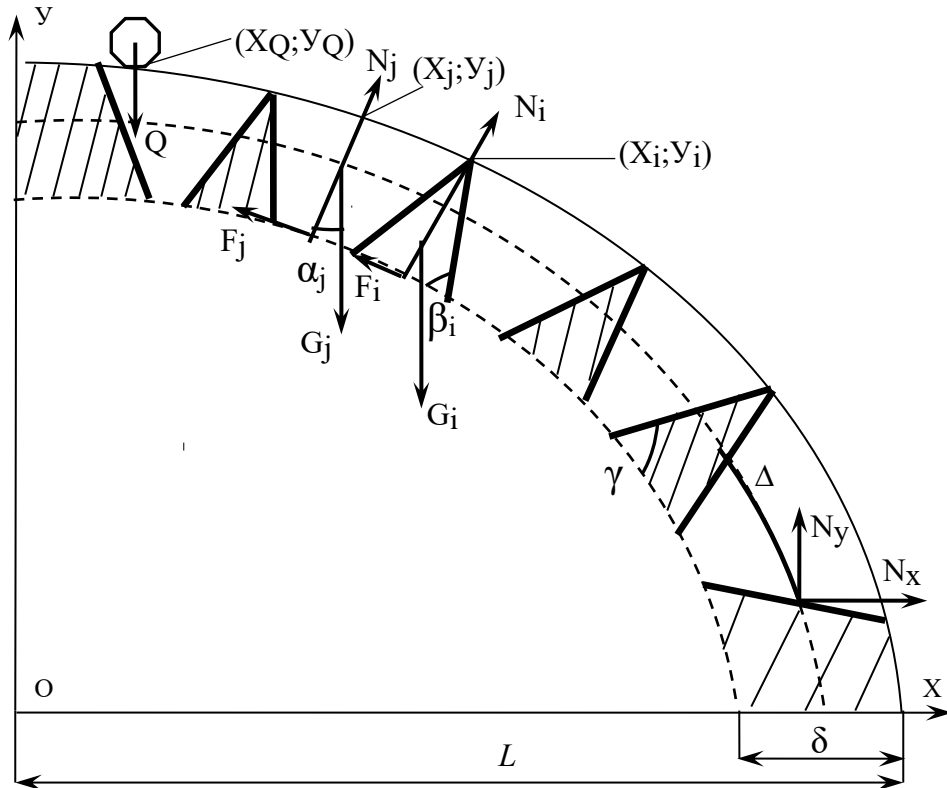


Рисунок 3.2 – Общая расчётная схема обработанного слоя почвы на склоне

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 уплотненные участки обработанного слоя почвы будем считать однородными, изотропными и линейными;
- поверхность склона геометрически гладкая;
- допустим нахождение на слоне энергонагруженной сельскохозяйственной техники, тогда:  $Q$  – вес трактора, грузового автомобиля, и т.п.;
- $X_Q; Y_Q$  – координаты положения транспортного средства [114, 119, 123, 124].

Будем рассматривать 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:

- $G_j = const = \Delta \delta \gamma_j$  – сила тяжести;
- $N_j = G_j \cos \alpha_j$  – сила реакции опоры, где  $\cos \alpha_i = \sqrt{\frac{1}{1+[f'/(x_j)]^2}}$ ;
- $F_j = f_j G_j \cos \alpha_j$  – сила сцепления, где  $f_j$  – коэффициент сцепления грунта в разрыхленной области (супесь, суглинок), при коэффициенте пористости 0,65 – 0,75 его значения принимаем для супеси 11 кПа в переувлажнённом состоянии и 15 кПа в сухом, аналогично для суглинка от 23 кПа до 31 кПа [114, 117, 119, 123, 124].

На каждый  $i$ -й элемент (треугольник) действуют следующие внешние силы:

- $G_i = \Delta^2 \gamma_i ctg \gamma$  – 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;

Коэффициент сцепления почвы во внутрпочвенной стенке –  $f_i$ , то есть при коэффициенте пористости 0,45 его значения принимаем для супеси 19 кПа в переувлажнённом состоянии и 21 кПа в сухом, аналогично для суглинка от 39 кПа до 47 кПа [114, 116, 117, 119].

Минимальное значение коэффициента сцепления почвы используем для сухого и переувлажнённого состояния переуплотнённых промежутков – внутрипочвенных стенок, следовательно для разрыхлённых областей и переуплотнённых промежутков устанавливаем соответствующую плотность. Исходя из этого коэффициент сцепления почвы учитывает возникающую неоднородность пласта почвы на склоне после обработки его новым способом [108, 114, 174, 190].

Положим, что протяжённость склона составляет от 500 м до 2000 м. Поле, обработанное новым способом, находится на склоне угол наклона, которого к горизонту изменяется от 5,7 градусов до 23 градусов. Влагонасыщение – до 32 % от НВ [108, 114, 116, 119].

Так как рассматривается обработанный участок с устроенными внутрипочвенными стенками 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 3.2 [108, 114, 116, 119, 124].

Составим уравнения равновесия:

$$\sum_k F_{kX} = 0;$$

$$\sum_{j=1}^n G_j (\sin \alpha_j - f \cos \alpha_j) \cos \alpha_j + \sum_{i=1}^n G_i (\sin \alpha_i - f \cos \alpha_i) \cos \alpha_i + N_X = 0; \quad (3.1)$$

$$\sum_k F_{kY} = 0;$$

$$\sum_{j=1}^n G_j (\sin \alpha_j - f \cos \alpha_j) \sin \alpha_j + \sum_{i=1}^n G_i (\sin \alpha_i - f \cos \alpha_i) \sin \alpha_i + N_X - Q = 0; \quad (3.2)$$

$$\sum_k M_O (\vec{F}_k) = 0;$$

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n G_j \sin \alpha_j \cos \alpha_j y_j^* + \sum_{i=1}^n G_i f_j \cos^2 \alpha_j y_j^{**} - \sum_{j=1}^n G_j \sin^2 \alpha_j x_j^{**} - \\ & - \sum_{i=1}^{n-1} G_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i y_i^* + \sum_{i=1}^{n-1} G_i f_i \cos^2 \alpha_i y_i^{**} - \sum_{i=1}^{n-1} G_i \sin^2 \alpha_i x_i^* + \\ & + \sum_{i=1}^{n-1} G_i f_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i x_i^{**} - Qx_Q + N_y x_N - -N_x y_N = 0, \end{aligned} \quad (3.3)$$

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

$S_{\text{необр}}$  – протяжённость необработанного слоя;

$f(x)$  – уравнение параболы, проходящей через среднюю линию трапеции;

$x_j^* = x_j - h_1 \cos \alpha_j$ ,  $x_i^* = x_i - h_1 \cos \alpha_i$ ,  $y_j^* = y_j - h_1 \sin \alpha_j$ ,  $y_i^* = y_i - h_2 \sin \alpha_i$ ,

$x_j^{**} = x_j - \delta \cos \alpha_j$ ,  $x_i^{**} = x_i - \delta \cos \alpha_i$ ,  $y_j^{**} = y_j - \delta \sin \alpha_j$ ,  $y_i^{**} = y_i - \delta \sin \alpha_i$ ;

$h_1 = \delta - \frac{1}{2}(b - a) \text{tg} \gamma$ ,  $h_2 = \frac{2}{3} \delta$ ;  $\gamma$  – угол при основании треугольника.

При условии, что в состоянии равновесия, обработанный пласт толщиной до 0,6м будет удерживаться, то реактивные силы  $N_x = N_y = 0$  [112, 114, 120].

Исходя из того, что величина силы сцепления в предельном состоянии равновесия известна, то для анализа устойчивости на склоне влагонасыщенного обработанного пласта почвы, уравнения предельного равновесия (3.1, 3.2, 3.3) будут представлены в виде неравенств [119, 220]:

$$\sum_k F_{kX} \leq 0;$$

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n G_j (\sin \alpha_j - f \cos \alpha_j) \cos \alpha_j + \sum_{i=1}^n G_i (\sin \alpha_i - f \cos \alpha_i) \cos \alpha_i + \\ & + N_x \leq 0; \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\sum_k F_{kY} \geq 0;$$

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n G_j (\sin \alpha_j - f \cos \alpha_j) \sin \alpha_j + \sum_{i=1}^n G_i (\sin \alpha_i - f \cos \alpha_i) \sin \alpha_i + \\ & + N_x - Q \geq 0; \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\sum_k M_O (\vec{F}_k) \geq 0;$$

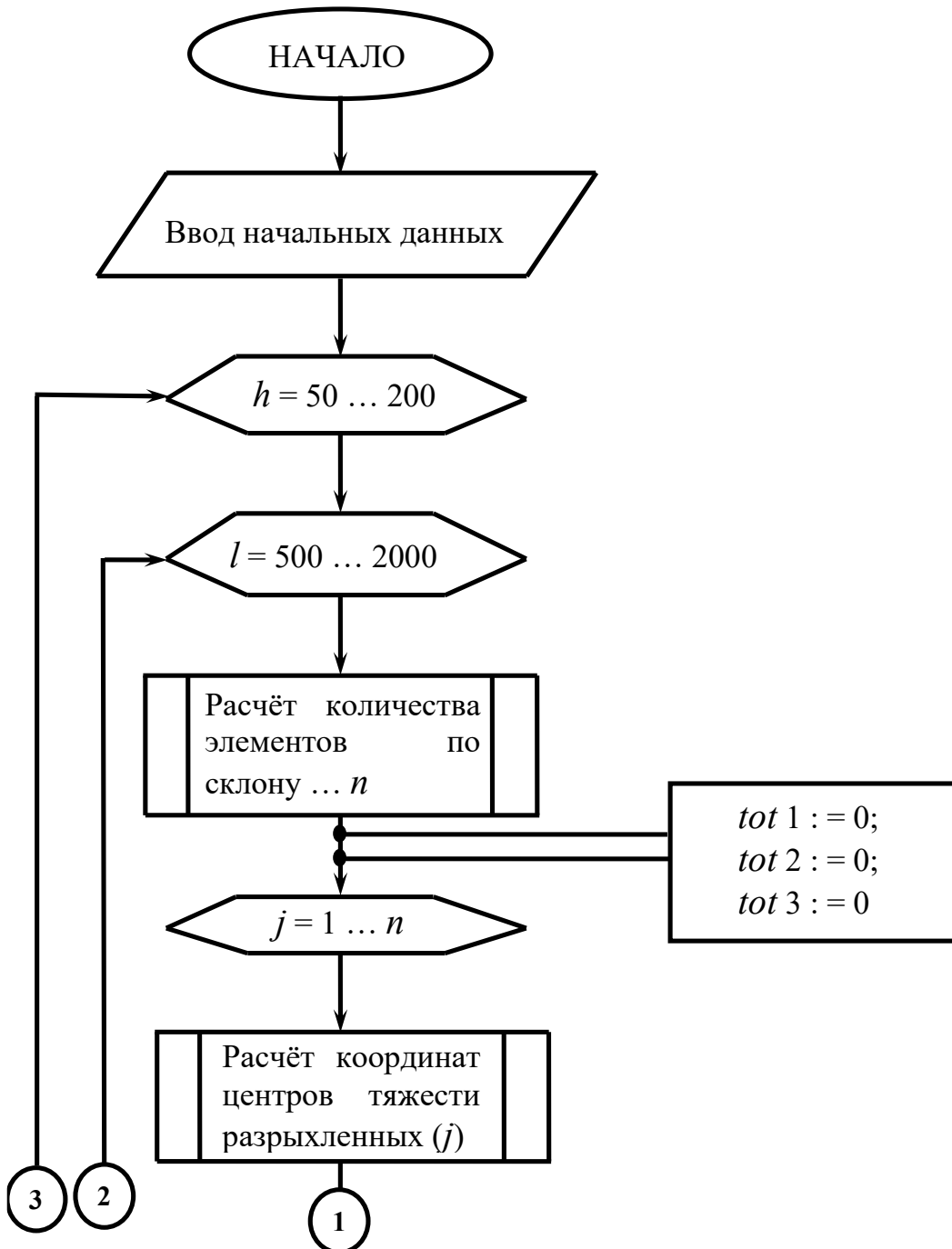
$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n G_j \sin \alpha_j \cos \alpha_j y_j^* + \sum_{i=1}^n G_i f_i \cos^2 \alpha_j y_j^{**} - \sum_{j=1}^n G_j \sin^2 \alpha_j x_j^{**} - \\ & - \sum_{i=1}^{n-1} G_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i y_i^* + \sum_{i=1}^{n-1} G_i f_i \cos^2 \alpha_i y_i^{**} - \sum_{i=1}^{n-1} G_i \sin^2 \alpha_i x_i^* + \\ & + \sum_{i=1}^{n-1} G_i f_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i x_i^{**} - Qx_Q + N_y x_N - N_x y_N \geq 0. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Приведенные неравенства (3.4, 3.5, 3.6) являются условиями равновесного состояния максимально влагонасыщенного слоя почвы толщиной до 0,60 м, обработанного инновационным способом, на базе глубокого рыхления, позволяющего создавать из переуплотнённой земли внутрпочвенные стенки. При этом обработанный горизонт располагается на поверхности, имеющей параболический профиль. Исходя из случая предельного равновесия ( $f \cdot N$ ), используя эмпирические уравнения для определения устойчивости твердого материального тела на наклонной плоскости, находим значения сил трения

### 3.2 Оценка устойчивости обработанного влагонасыщенного склона

Применяя разработанную математическую модель, подразумеваем, что на склоне находятся чередующиеся трапеции из разрыхленной почвы и переуплотнённые внутрпочвенные стенки в виде треугольников, имеющие разную плотность, расположенные как на рисунке 3.2. Для решения полученных неравенств (3.4, 3.5, 3.6) применим численный метод вычислений. Ввиду сложности проведения решения неравенств вручную, используется ЭВМ с пакетом программ "Maple 7". Составленная блок-схема программы для решения

разработанной математической модели устойчивости в виде полученных неравенств (3.4, 3.5, 3.6) обработанного слоя почвы на склоне новым агромелиоративным способом, в условии предельной его влагонасыщенности, показана рисунке 3.3.



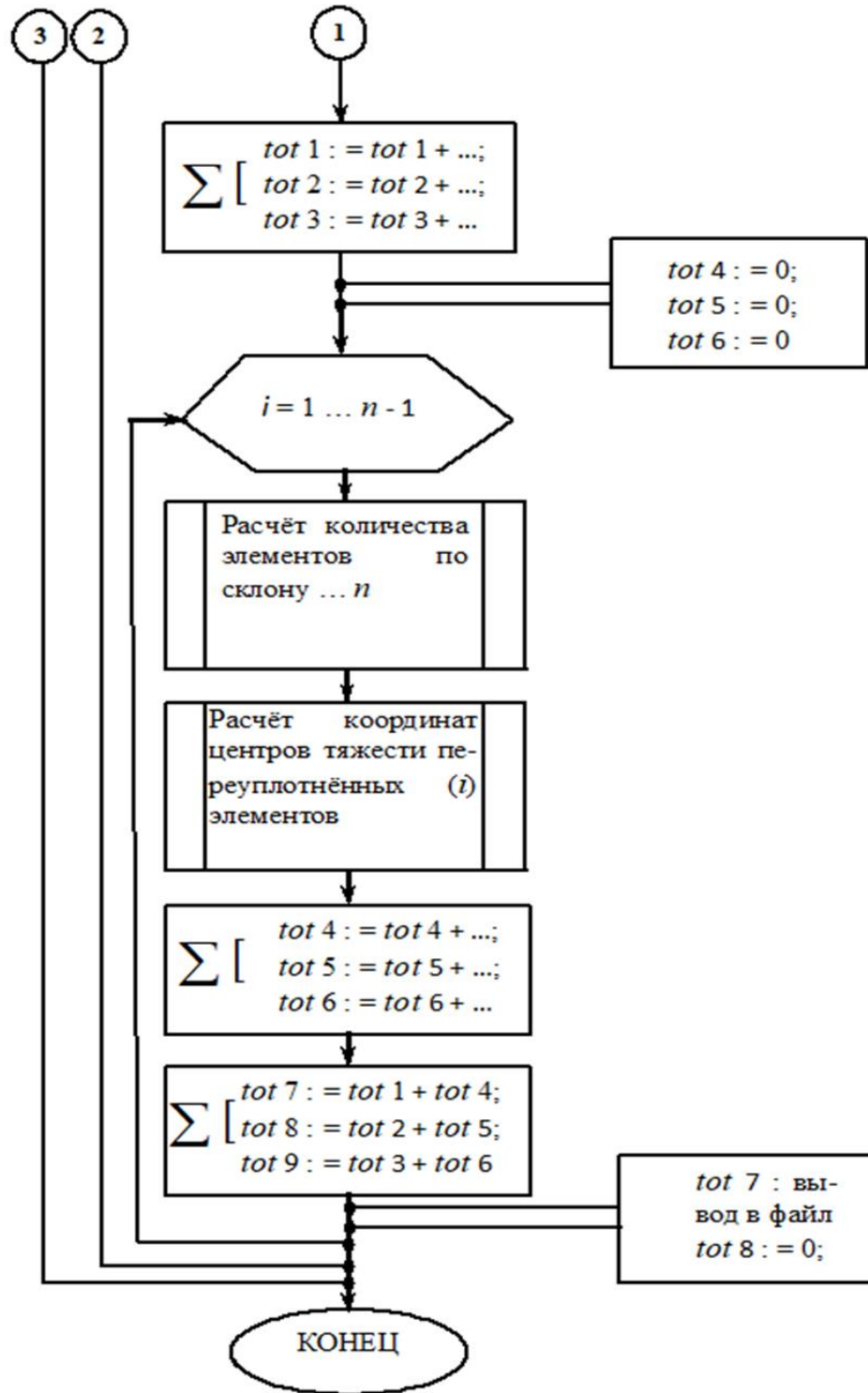


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритма решения математической модели устойчивости

Текст программы для решения численным методом составленных неравенств (3.4, 3.5, 3.6) в среде "Maple – 7" представлен в приложении 1.1.

В результате вычислений на ПЭВМ общей расчётной схемы обработанного слоя почвы на склоне, при заданных условиях были получены следующие значения.

l=500, h=50, tot7=-1.947200e+06, tot8=176310, tot9=1.262400e+08;  
l=500, h=100, tot7=-1.418700e+06, tot8=212710, tot9=1.721500e+08;  
l=500, h=150, tot7=-915840, tot8=121740, tot9=1.456700e+08;  
l=500, h=200, tot7=-454690, tot8=-74001, tot9=5.847000e+07;  
l=500, h=250, tot7=-40445, tot8=-352100, tot9=-7.751700e+07;  
l=500, h=300, tot7=324010, tot8=-687800, tot9=-2.492200e+08;  
l=1000, h=50, tot7=-4.430200e+06, tot8=211170, tot9=2.927800e+08;  
l=1000, h=100, tot7=-3.898300e+06, tot8=353470, tot9=5.037900e+08;  
l=1000, h=150, tot7=-3.363000e+06, tot8=423870, tot9=6.349900e+08;  
l=1000, h=200, tot7=-2.836800e+06, tot8=425730, tot9=6.874000e+08;  
l=1000, h=250, tot7=-2.325100e+06, tot8=363830, tot9=6.680600e+08;  
l=1000, h=300, tot7=-1.829600e+06, tot8=242680, tot9=5.808900e+08;  
l=1500, h=50, tot7=-6.920900e+06, tot8=221650, tot9=4.593400e+08;  
l=1500, h=100, tot7=-6.380500e+06, tot8=400120, tot9=8.356300e+08;  
l=1500, h=150, tot7=-5.846700e+06, tot8=530130, tot9=1.131400e+09;  
l=1500, h=200, tot7=-5.311100e+06, tot8=611950, tot9=1.347900e+09;  
l=1500, h=250, tot7=-4.779800e+06, tot8=647200, tot9=1.483300e+09;  
l=1500, h=300, tot7=-4.256000e+06, tot8=638960, tot9=1.546500e+09;  
l=2000, h=50, tot7=-9.333800e+06, tot8=223560, tot9=6.211300e+08;  
l=2000, h=100, tot7=-8.863500e+06, tot8=422790, tot9=1.166800e+09;  
l=2000, h=150, tot7=-8.319100e+06, tot8=581520, tot9=1.627100e+09;  
l=2000, h=200, tot7=-7.794200e+06, tot8=706510, tot9=2.010100e+09;  
l=2000, h=250, tot7=-7.260700e+06, tot8=794920, tot9=2.319500e+09;  
l=2000, h=300, tot7=-6.726900e+06, tot8=847730, tot9=2.533600e+09.

При граничных условиях: длина склона  $l = 500$  м; высота склона по общей вертикали  $h = 50$  м, уклон поля примерно  $5,7^{\circ}$  были получены значения, которые сведены в таблицу 3.1.

Например, при длине склона  $l = 500$  м и высоте склона по общей вертикали  $h = 200$  м, крутизна склона составит более  $23^{\circ}$ . В этом случае с большой вероятностью возникнут горизонтальные деформационные трещины в склоне, так как сумма проекций всех сил на ось  $Y$  будет иметь отрицательное значение –  $\text{tot } 8 = -74001$ . Но, при этом сдвиг пласта относительно общей горизонтали не должен возникнуть, потому что сумма проекций всех сил на ось  $X$  имеет отрицательное значение –  $\text{tot } 7 = -454690$ , а сумма моментов всех сил относительно начала координат – точки  $O$  – положительное значение –  $\text{tot } 9 = 5.847000\text{e}+07$ .

Таблица 3.1 – Результаты вычислений по устойчивости обработанного влагонасыщенного склона

Программное написание	Обозначение	Результаты вычислений
tot 7	$\Sigma F_{kx}$ (сумма проекций всех сил на ось $X$ )	$-1,947100\text{e}+06$
tot 8	$\Sigma F_{ky}$ (сумма проекций всех сил на ось $Y$ )	176310
tot 9	$\Sigma M_{ю}$ (сумма моментов всех сил относительно начала координат – точки $O$ )	$1,262400\text{e}+08$

В результате применения численного метода к решению составленных неравенств (3.4, 3.5, 3.6) для определения устойчивости обработанного новым мелиоративным способом влагонасыщенного склона и полученных значений (таблица 3.1) сделан вывод о том, что исследуемый верхний горизонт склонового возделываемого агроландшафта до  $5,7^{\circ}$ , обработанный инновационным способом в данной постановке задачи устойчив [119, 120].

### 3.3 Уточнённая оценка устойчивости обработанного склона глубокорыхлителем чизельного типа

На основании полученных результатов исследований области разрыхления, образующейся от применения стойки глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М (глава 5) был получен несколько другой профиль обработанного склона [123].

Схематичный вид разрыхлённых и переуплотнённых участков на склоне с действующими на них силовыми факторами представлено в уточнённой схеме обработанного слоя почвы на склоне на рисунке 3.4.

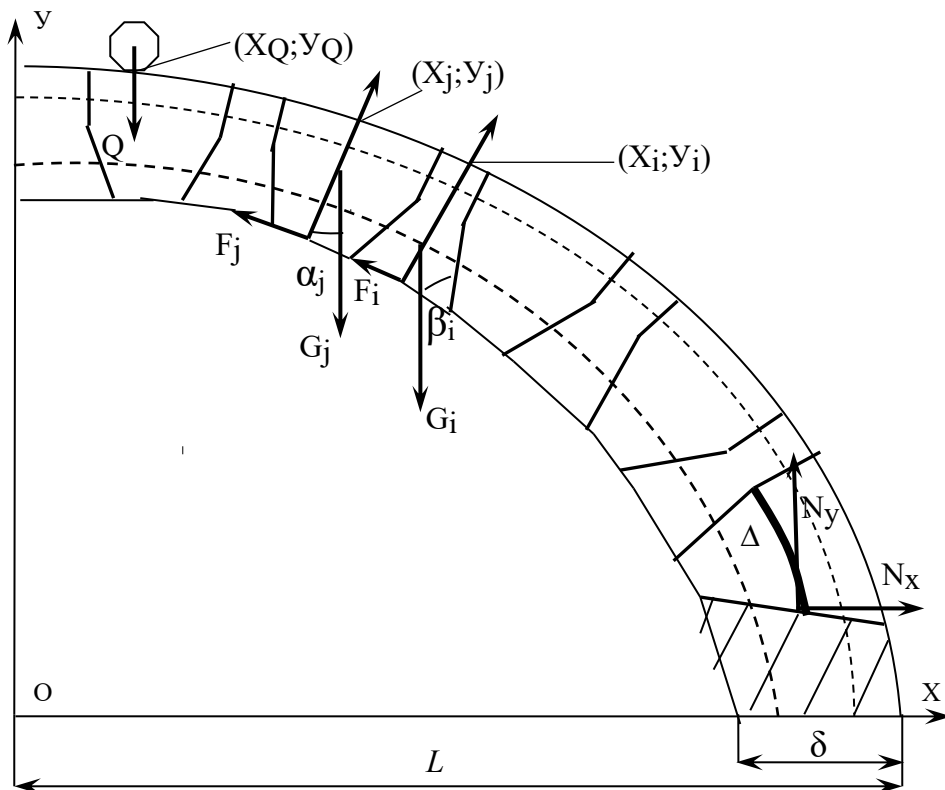


Рисунок 3.4 – Уточнённая расчётная схема обработанного слоя почвы на склоне

Как видно из схематичного вида разуплотнённого горизонта почвы на склоне, вместо предполагаемых переуплотнённых участков в виде треугольника (внутрипочвенная стенка), на самом деле образуется трапеция с прямоугольной частью вверху. Исходя из этого претерпевает изменение и разуплотнённая часть

обработанного горизонта склона. При этом характер учитываемых воздействий – количество и вид не изменяется.

Вид, а также примерные размеры внутрипочвенной стенки и разрыхленного участка, образующиеся при разрыхлении почвы на склоне стойкой глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М, приведены в рисунке 3.5.

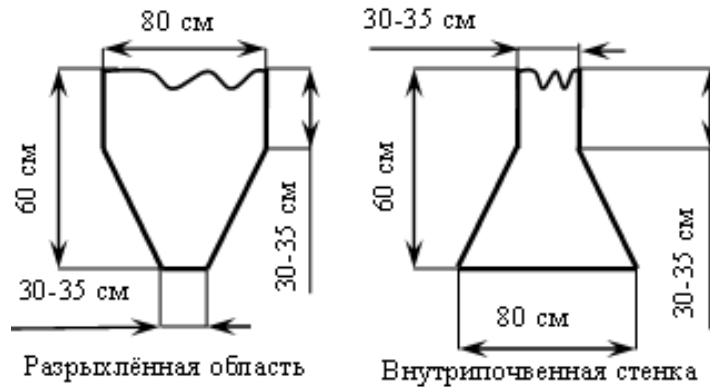


Рисунок 3.5 – Схема разрыхлённой области и внутрипочвенной стенки

Выпадающие осадки увлажняют обработанный новым способом слой почвы на склоне по всей глубине не сразу. Следовательно, при исследовании устойчивости такого слоя во влагонасыщенном состоянии необходимо это учесть. Отсюда возникает необходимость анализа равновесного состояния обработанного склона почвы новой мелиоративной обработкой по двум характерным слоям.

Вначале происходит смачивание слоя почвы на 25 – 30 см. Исходя из вышеизложенного рассмотрим верхний слой почвы глубиной до 30 см обработанного пласта на склоне.

Верхний слой обработанного склона, исследуемым способом, глубиной до 30 см, имеет профиль в виде чередующихся прямоугольников, больших (разрыхленных участков) и малых (переуплотнённых промежутков), являющихся верхними частями фигур, показанных на рисунке 3.5. Вид расчётной схемы верхнего слоя представлен на рисунке 3.6.

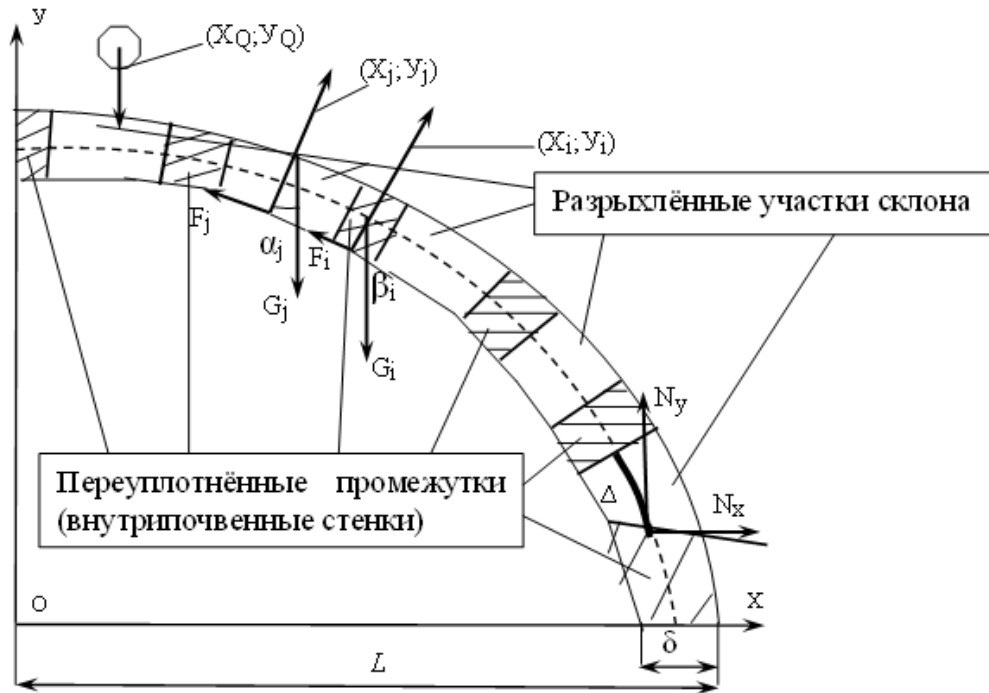


Рисунок 3.6 – Расчётная схема верхнего обработанного горизонта почвы на склоне

Положим, что следующий слой промокания будет начинаться с глубины 25 – 30 см до 60 см. При этом будет иметь структуру в вертикальной проекции (поперёк склона) в виде чередующихся из переуплотнённой почвы трапеций с разрыхленными участками, то есть нижние части фигур, показанных на рисунке 3.5. Вид нижнего слоя представлен на рисунке 3.7 [122, 123, 127].

Используем для численного эксперимента составленные неравенства для данной постановки задачи (3.4, 3.5, 3.6), которые справедливы для трапеций и треугольников, применим их для верхнего влагонасыщенного слоя почвы. Схема расположения материальных тел, составляющих этот слой, находящиеся на наклонной плоскости показана на рисунке 3.6. Для решения составленных уравнений применяли математическую среду "Maple 7". Алгоритм, использованный для вычисления устойчивости верхнего 0 – 30 см влагонасыщенного слоя – "верхних прямоугольников", обработанного новым агроулучшающим способом в выбранной программе приведён в приложении 1.1. Листинг программы аналогичен представленному в приложении 1.2.

В результате вычислений на ПЭВМ уточнённой расчётной схемы обработанного склонового горизонта, верхнего слоя толщиной 20 – 30 см при заданных условиях были получены следующие значения.

$l=500, h=50, tot7=-3.004000e+06, tot8=251800, tot9=1.868800e+08;$   
 $l=500, h=100, tot7=-2.257900e+06, tot8=322450, tot9=2.678500e+08;$   
 $l=500, h=150, tot7=-1.532800e+06, tot8=220840, tot9=2.480700e+08;$   
 $l=500, h=200, tot7=-850910, tot8=-32557, tot9=1.386400e+08;$   
 $l=500, h=250, tot7=-221440, tot8=-413080, tot9=-4.716000e+07;$   
 $l=500, h=300, tot7=344110, tot8=-888310, tot9=-2.918200e+08;$   
 $l=1000, h=50, tot7=-6.758900e+06, tot8=296130, tot9=4.269000e+08;$   
 $l=1000, h=100, tot7=-6.014800e+06, tot8=504770, tot9=7.489200e+08;$   
 $l=1000, h=150, tot7=-5.260900e+06, tot8=619730, tot9=9.624700e+08;$   
 $l=1000, h=200, tot7=-4.515400e+06, tot8=645120, tot9=1.072000e+09;$   
 $l=1000, h=250, tot7=-3.782800e+06, tot8=584350, tot9=1.080800e+09;$   
 $l=1000, h=300, tot7=-3.065900e+06, tot8=441320, tot9=9.931700e+08;$   
 $l=1500, h=50, tot7=-1.048600e+07, tot8=307360, tot9=6.648400e+08;$   
 $l=1500, h=100, tot7=-9.776200e+06, tot8=564880, tot9=1.229500e+09;$   
 $l=1500, h=150, tot7=-9.026000e+06, tot8=757740, tot9=1.685500e+09;$   
 $l=1500, h=200, tot7=-8.267500e+06, tot8=887050, tot9=2.034300e+09;$   
 $l=1500, h=250, tot7=-7.517700e+06, tot8=957660, tot9=2.273300e+09;$   
 $l=1500, h=300, tot7=-6.776000e+06, tot8=968550, tot9=2.413500e+09;$   
 $l=2000, h=50, tot7=-1.433100e+07, tot8=313950, tot9=9.070600e+08;$   
 $l=2000, h=100, tot7=-1.352100e+07, tot8=591610, tot9=1.705800e+09;$   
 $l=2000, h=150, tot7=-1.276000e+07, tot8=823650, tot9=2.409300e+09;$   
 $l=2000, h=200, tot7=-1.202500e+07, tot8=1.008800e+06, tot9=2.989100e+09;$   
 $l=2000, h=250, tot7=-1.127400e+07, tot8=1.146600e+06, tot9=3.458900e+09;$   
 $l=2000, h=300, tot7=-1.052500e+07, tot8=1.240600e+06, tot9=3.852700e+09.$

При граничных условиях: длина склона  $l = 500$  м; высота склона по общей вертикали  $h = 50$  м, уклон поля примерно  $5,7^0$  были получены значения, которые сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты вычислений по устойчивости верхнего слоя глубиной 20 – 30 см обработанного влагонасыщенного склона

Программное написание	Обозначение	Результаты вычислений
tot 7	$\Sigma F_{kx}$ (сумма проекций всех сил на ось $X$ )	$-3,004000e+06$
tot 8	$\Sigma F_{ky}$ (сумма проекций всех сил на ось $Y$ )	251800
tot 9	$\Sigma M_{iO}$ (сумма моментов всех сил относительно начала координат – точки $O$ )	$1,868800e+08$

В рассмотренном ранее случае – длина склона  $l = 500$  м, высота склона по общей вертикали  $h = 200$  м, крутизна склона – более  $23^0$ , также возникнут горизонтальные деформационные трещины в склоне. По полученным данным сумма проекций всех сил на ось  $Y$  ( $\Sigma F_{ky}$ ) имеет отрицательное значение –  $\text{tot } 8 = -32557$ . Сдвиг пласта относительно общей горизонтали не возникает, так как сумма проекций всех сил на ось  $X$  ( $\Sigma F_{kx}$ ) имеет отрицательное значение –  $\text{tot } 7 = -850910$ , при этом сумма моментов всех сил относительно начала координат – точки  $O$  ( $\Sigma M_{iO}$ ) – положительное значение –  $\text{tot } 9 = 1,386400e+08$ .

Проанализировав полученные данные, можно сделать заключение, что переувлажнённый верхний слой почвы глубиной 0 – 30 см склона, имеющего уклон до  $5,7^0$ , обработанного новым агромелиоративным способом устойчив. Его равновесие, при любых допустимых в модели граничных параметрах склона до  $22^0$  возможно устойчиво.

Установив, что устойчивое положение равновесия в напряженном влагонасыщенном состоянии верхнего 25 – 30 см слоя почвы сохраняется, на обработанном склоне, крутизной до  $5,7^0$  новым способом на базе глубокого рыхления до 0,6 м, рассмотрим равновесие нижележащего слоя отдельно от верхнего. Он имеет вид, в профильной задаче, чередующихся трапеций из

переуплотнённой почвы – основанием вниз; и разуплотнённых участков – основанием вверх.

Расчётная схема рассматриваемого нижнего слоя, расположенного на глубине от 25 – 30 см до 60 см имеет вид как показано на рисунке 3.7.

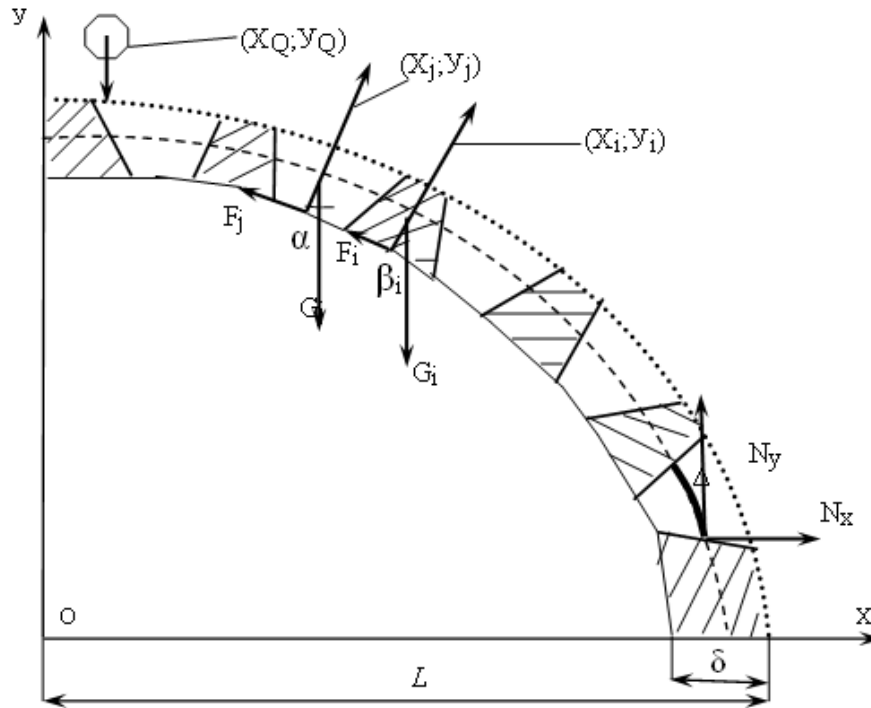


Рисунок 3.7 – Расчётная схема нижнего обработанного горизонта почвы на склоне

Исследуем равновесие нижней части на склоне в напряженном влагонасыщенном состоянии. Составленные ранее уравнения равновесия в виде неравенств (3.4, 3.5, 3.6) для трапеций и треугольников используем для нижнего влагонасыщенного горизонта, расположенного на глубине от 25 – 30 см до 60 см, обработанного слоя почвы новым агромелиоративным способом. Порядок расположения чередующихся материальных тел для данного горизонта показан рисунке 3.7. Для решения составленных неравенств (3.4, 3.5, 3.6) применим также математическую среду "Maple 7". Алгоритм вычисления для "нижних трапеций" (рисунок 3.7) в выбранной программе показан в приложении 1.1. Листинг программы подобен представленному в приложении 1.2.

В результате вычислений на ПЭВМ уточнённой расчётной схемы обработанного склонового горизонта, равновесия нижнего слоя отдельно от верхнего при заданных условиях были получены следующие значения.

l=500, h=50, tot7=-1.947200e+06, tot8=176310, tot9=1.262400e+08  
l=500; h=100, tot7=-1.418700e+06, tot8=212710, tot9=1.721500e+08;  
l=500, h=150, tot7=-915840, tot8=121740, tot9=1.456700e+08;  
l=500, h=200, tot7=-454690, tot8=-74001, tot9=5.847000e+07;  
l=500, h=250, tot7=-40445, tot8=-352100, tot9=-7.751700e+07;  
l=500, h=300, tot7=324010, tot8=-687800, tot9=-2.492200e+08;  
l=1000, h=50, tot7=-4.430200e+06, tot8=211170, tot9=2.927800e+08;  
l=1000, h=100, tot7=-3.898300e+06, tot8=353470, tot9=5.037900e+08;  
l=1000, h=150, tot7=-3.363000e+06, tot8=423870, tot9=6.349900e+08;  
l=1000, h=200, tot7=-2.836800e+06, tot8=425730, tot9=6.874000e+08;  
l=1000, h=250, tot7=-2.325100e+06, tot8=363830, tot9=6.680600e+08;  
l=1000, h=300, tot7=-1.829600e+06, tot8=242680, tot9=5.808900e+08;  
l=1500, h=50, tot7=-6.920900e+06, tot8=221650, tot9=4.593400e+08;  
l=1500, h=100, tot7=-6.380500e+06, tot8=400120, tot9=8.356300e+08;  
l=1500, h=150, tot7=-5.846700e+06, tot8=530130, tot9=1.131400e+09;  
l=1500, h=200, tot7=-5.311100e+06, tot8=611950, tot9=1.347900e+09;  
l=1500, h=250, tot7=-4.779800e+06, tot8=647200, tot9=1.483300e+09;  
l=1500, h=300, tot7=-4.256000e+06, tot8=638960, tot9=1.546500e+09;  
l=2000, h=50, tot7=-9.333800e+06, tot8=223560, tot9=6.211300e+08;  
l=2000, h=100, tot7=-8.863500e+06, tot8=422790, tot9=1.166800e+09;  
l=2000, h=150, tot7=-8.319100e+06, tot8=581520, tot9=1.627100e+09;  
l=2000, h=200, tot7=-7.794200e+06, tot8=706510, tot9=2.010100e+09;  
l=2000, h=250, tot7=-7.260700e+06, tot8=794920, tot9=2.319500e+09;  
l=2000, h=300, tot7=-6.726900e+06, tot8=847730, tot9=2.533600e+09.

При граничных условиях: длина склона  $l = 500$  м; высота склона по общей вертикали  $h = 50$  м, уклон поля примерно  $5,7^{\circ}$  были получены значения, которые сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты вычислений по устойчивости нижнего слоя (отдельно от верхнего) обработанного влагонасыщенного склона

Программное написание	Обозначение	Результаты вычислений
tot 7	$\Sigma F_{kx}$ (сумма проекций всех сил на ось $X$ )	$-1,947200e+06$
tot 8	$\Sigma F_{ky}$ (сумма проекций всех сил на ось $Y$ )	176310
tot 9	$\Sigma M_{iO}$ (сумма моментов всех сил относительно начала координат – точки $O$ )	$1,262400e+08$

Анализ полученных данных в таблице 3.3 позволяет утверждать, что переувлажнённый нижний слой почвы склона, обработанного новым способом, будет устойчивым на крутизне склона до  $5,7^{\circ}$ . Явление горизонтальных деформационных трещин в нижней части слоя почвы на склоне, обработанного новым способом на базе глубокого рыхления, возникнет на крутизне  $22^{\circ}$  при любых допустимых в модели параметрах склона и воздействиях на него [119, 123].

Достигнутые результаты проведённого численного эксперимента позволяют сделать заключение, что они хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными при проведении натурного эксперимента при крутизне склона до  $5^{\circ}$ , показанного в главе 6, что позволяет говорить 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 [123, 124, 127].

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

- 1) применяется поверхность скольжения в виде гладкой непрерывной линии с учётом сил трения (поверхность скольжения произвольного профиля, в общем случае неизвестным 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 представленной новой математической модели устойчивости рассматривается двухфазная среда, учитывающая различные физико-механические свойства;
- 3) прилагаемые усилия в рассматриваемых элементах не приводятся к равнодействующей;
- 4) в разработанной модели используется только один глобальный критерий прочности – коэффициент сцепления грунта, что позволяет наиболее точно проводить анализ (Ю. Н. Работнов) [127, 170];
- 5) используемые блоки обрабатываемого слоя почвы, имеют разную геометрическую конфигурацию и неодинаковые механические свойства [114, 116, 119, 122, 126, 127] в отличие от похожих моделей.

### 3.4 Выводы

Анализ устойчивости предельно влагонасыщенных возделываемых склоновых агроландшафтов с использованием инновационного способа их обработки, при параметрах склона, лежащих в допустимых пределах устойчивости позволил сделать следующие выводы.

1. Создана математическая модель для исследования равновесного состояния обработанных склонов до  $23^0$  новым способом любого профиля положительной или отрицательной кривизны (описываемого гладкой кривой) с любым мехсоставом почвы и с любой допустимой степенью увлажнения.

2. Разработанная модель анализа устойчивости верхнего слоя земли на склоне, обработанного новым способом, имеет важные отличия от существующих моделей оценки устойчивости склонов и откосов, которая позволяет адекватно оценивать устойчивость верхнего 0,60 м обработанного слоя почвы.
3. Обработанный слой почвы глубиной 0,60 м на склоне будет находиться в состоянии устойчивого равновесия при любом положении трактора или другого энергонагруженного транспортно-технологического средства на поверхности склона крутизной до  $5,7^{\circ}$  и любой адекватной степени насыщенности атмосферной влагой разрыхлённого слоя земли.
4. Сползание верхнего влагонасыщенного слоя глубиной до 30 см, на обработанном новым агромелиоративным способом склоне, крутизной до 22 градусов при любых допустимых его параметрах не возникает.
5. При выполнении глубокого рыхления до 0,60 м с любой формой области рыхления в обработанном слое, не происходит негативное влияние на устойчивое положение обработанного склона крутизной до  $22^{\circ}$ .
6. Получена актуальная математическая модель устойчивости обработанного склона новым агромелиоративным способом, которая адекватно описывает созданные структурные изменения в слое почвы на глубину 0,60 м.

## 4 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВЛАГОПЕРЕНОСА НА ОБРАБОТАННОМ СКЛОНЕ С ОБРАЗОВАННЫМИ ВНУТРИПОЧВЕННЫМИ СТЕНКАМИ

### 4.1 Обзор процессов переноса влаги в почве

Проведенный анализ процедур построения архитектуры СРОСРЗ, выполненный на основе разработанных диаграмм ОЦДК и ДП выявил для практической их реализации необходимость исследования движения внутрипочвенной влаги на обработанном склоне по новому способу.

Вода в почве находится в различных видах и агрегатных состояниях. Исходя из этого представим краткий обзор существующей почвенной влаги.

*Парообразная вода.* Данный вид воды имеет форму водяного пара и содержится в порах почвы. Концентрация такой воды в почвенном горизонте зависит от механических характеристик пара. Перемещение *парообразной* воды в почве зависит от неравномерности распределения её упругости и движения воздуха [177, 179].

*Физически связанная, или сорбированная, вода.* Это вода, из парообразного, и жидкого состояния сорбированная на поверхности почвенных частиц, которые создают некоторый слой вокруг капель. Силы сорбции, а также силы притяжения способствуют стабилизации частиц почвы на поверхности капель воды [176, 179].

*Свободная вода.* В почве находится в виде *капиллярной* и *гравитационной* [177, 179].

*Капиллярная вода.* Формируется в капиллярах, т.е. в порах малого размера, где её удерживают так называемые менисковые силы (капиллярные). Эти явления образуются из-за следующих причин. Установлено, что поверхностный

и внутренние слои разделяет поверхность раздела, *вода – воздух*, при этом они имеют различные характеристики [32, 33, 165, 177, 179]. Молекулы поверхностного слоя жидкости испытывают одностороннее воздействие со стороны молекул, лежащих ниже, через поверхность раздела, *вода – воздух*. Указанное воздействие направлено вниз. Во внутренних слоях *капиллярной* воды на каждую молекулу равномерно действуют силы притяжения и отталкивания со стороны окружающих молекул воды. Отметим, что действующие вне жидкости силы не значительны по величине, что позволяет их влияние не рассматривать.

Исходя из такой конфигурации воздействий, видно, что поверхностные молекулы жидкости стремятся втянуться во внутренние слои. Учитывая, что потенциал любой системы стремится к минимуму, то и поверхность жидкости тоже стремится к сокращению. Присутствие сил малой интенсивности, не принимающих участие в сцеплении поверхностных молекул жидкости, служит причиной избыточной поверхностной энергии, которая также стремится к уменьшению. Данная ситуация способствует возникновению как бы пленки на поверхности жидкости, обладающей поверхностным давлением вследствие поверхностного натяжения. Давление Лапласа (поверхностное давление) – это разница между давлением жидкости и атмосферным давлением [32, 33, 166, 177, 179].

Физическое состояние *капиллярной* воды – жидкое и как следствие высокоподвижное, которая позволяет в поверхностном горизонте почвы пополнять её запасы. Это свойство способствует свободно растворять вещества и перемещает растворимые соли, коллоиды, тонкие суспензии для интенсивного питания корневой системы выращиваемых растений или при испарении с поверхности почвы. Почва – это пористая структура, имеющая сложное строение, т.е. различный ансамбль капилляров с рандомными формами и размерами, обусловленными различной степенью разрыхления обрабатываемого горизонта по глубине. В общем виде при такой структуре почвы возникают

области *капиллярной* воды имеющую различную кривизну – мениски. Это обуславливает возникновение разности давлений между поверхностью менисков разной кривизны, а также под мениском и плоской поверхностью пленки натяжения. Исходя из этого возникающую разность поверхностных давлений называют отрицательным капиллярным давлением. С появлением этого давления связывают способность почвы удерживать определенное количество влаги и обеспечивать подъем воды по капиллярам [32, 33, 158, 177, 179]. В переуплотнённом слое почвы мениски в порах в основном не имеют кривизны или преимущественно выпуклые, что препятствует смачиванию почвенных комков. Создавая дополнительные деформационные трещины, тем самым будем способствовать созданию в порах менисков вогнутой кривизны, что увеличит увлажнение почвенных комочков разрыхленного горизонта.

Очевидно, что *капиллярная* вода во многом имеет определяющее влияние на дебет внутрипочвенных запасов. Особенно эффект влагонакопления проявляется в результате применения мелиорации обрабатываемых земель, в котором учитывается и расход влаги на физическое испарение с дневной поверхности.

Принято выделять следующие состояния *капиллярной* воды.

В результате заполнения капиллярных пор при атмосферных дождях или орошении дождеванием образуется так называемая *капиллярно-подвешенная* вода, которая как бы «висит», в толще слоя земли, не стекая. Она увлажняет верхний горизонт на некоторую глубину, ниже которого всегда остаётся сухой слой почвы. Это объясняется отсутствием гидростатического взаимодействия увлажнённого слоя с близко залегающими грунтовыми водами (если они есть). При этом она имеет достаточно надёжное сцепление с почвой. Но, при определённых условиях, ввиду разности давлений, возникающих в менисках верхней и нижней поверхностей водного слоя *капиллярно-подвешенная* вода подвержена динамике, имея градиент движения как вниз, так и вверх [157, 158].

При нарушении баланса давлений происходит перемещение воды. С увеличением глубины горизонта почвы происходит постепенное уменьшение её влажности (В. А. Ковда, 1973) [166].

*Капиллярно-подпертая вода.* Её возникновение в толще земли обусловлено движением грунтовых вод вверх по капиллярам. Обычно она располагается прямо над водоносным слоем, с которым имеет гидравлическую взаимосвязь. В случае его близкого залегания возможно вовлечение *капиллярно-подпертой* воды в систему орошаемого земледелия, по типу внутрипочвенного. Для этого необходимо применение глубокого рыхления на глубину, обеспечивающую движение этой воды вверх по капиллярам.

*Капиллярно-посаженная вода* (подперто-подвешенная). Обычно находится в толще почвы имеющей слоистую слоистость. В таких структурированных слоях, когда верхний слой имеет мелкую зернистость, а нижележащий крупнозернистую структуру, то на их границе наблюдается изменение геометрических характеристик капилляров, возникают дополнительные нижние мениски, способствующие удержанию некоторого количества капиллярной воды, которая как бы «посажена» на эти мениски. Влажность почвенного горизонта, обладающего слоистой структурой в основном, имеет большую влажность, чем однородный [166, 175, 185, 186]. Отметим, что такая послойная конфигурация почвенного среза сохраняется при обработке глубоким рыхлением без перемешивания слоёв. Исходя из этого использование данного вида обработки способствует рациональному использованию внутрипочвенной воды.

*Гравитационная вода.* Выделяют два типа: *просачивающаяся (свободная) гравитационная* и *вода водоносных горизонтов (подпертая гравитационная вода)*. Эти два типа воды имеют общие свойства, основными из которых являются: возможность переносить в растворенном состоянии тонкие суспензии, коллоидные растворы, соли и имеют высокий динамический потенциал. *Свободная гравитационная* вода отличается тем, что на неё не воздействуют

сорбционные и капиллярные силы почвы, а только силы тяжести. Следовательно, когда удерживающая сила менисков в капиллярах земли не может удержать накопленную в почве воду, то градиент движение по трещинам и порам почвы направлен вниз [166, 175, 185, 186].

*Вода водоносных горизонтов.* Это обобщённое понятие о внутрпочвенной воде при предельном насыщении ею пласта почвы. Такое избыточное переувлажнение способствует возникновению глеевого процесса, который препятствует проникновению воздуха в толщу земли [166, 175, 185, 186].

Определения и характеристики приведенных различных состояний воды в почве являются устоявшимися терминами и определениями, приводятся во многих работах, например [8, 51, 166, 171, 175, 177, 218] и др.

Отметим, что любое разделение воды, в частности на отдельные категории или формы содержащуюся в почве, является условным. В реальных условиях на почвенную воду действуют одновременно нескольких сил. При этом какой-либо один вид воздействия в рассматриваемом случае является преобладающим.

Известно, что динамика почвенной влаги в различных направлениях и находящейся в различных связных и несвязных состояниях и как следствие доступность ее корням растений описываются различными математическими моделями, содержащими системы дифференциальных уравнений с большим количеством эмпирических коэффициентов, точное значение которых варьируется в значительных пределах. Модели, основанные на гидродинамическом подходе и позволяющие описывать скорости и плотности водных потоков, несмотря на некоторые упрощения, обладают достаточной точностью в решении поставленной задачи влагопереноса через неоднородные структуры склонового почвенного горизонта в виде чередующихся разрыхлённых областей с внутрпочвенными стенками, полученные в результате его обработке новым способом. В работе рассматривается гидродинамический подход.

Известно, что модели грунта отражают его различные состояния, а такие как глина, песок, плодородный слой почвы, торф и аналогичные им относятся к категории проницаемых сред, которые обладают сложной совокупностью твёрдых частиц непрерывной структуры, связанных между собой силами сцепления. При этом их архитектура зачастую точно не определена. Исходя из этого доскональное описание изменения динамики жидкости в толще почвы будет иметь большие затруднения. Поэтому математическая модель данных структур лучше всего представить в виде сплошной среды в каждом выделенном элементарном объёме пространства который включает большое количество пор, обладает некоторыми осреднёнными физико-механическими характеристиками [179].

Общеизвестно, что внутрипочвенная вода не является свободным субъектом, так как находится под воздействием сложной системы различных сил, таких как гравитационные, капиллярные, осмотические, сорбционные. Это предполагает использование полного потенциала внутрипочвенной влаги как показателя, наиболее точно отражающего межфазные взаимодействия в почвенной среде. За идеальное состояние принимаем единичный объём, содержащий воду с нулевым осмотическим давлением, запишем как  $\Pi = 0$ . При этом вода не подвержена влиянию адсорбционных и капиллярных сил, в которой отсутствуют растворённые соли, имеющую температуру  $T_0$ , давление  $P_0$  и имеет определённую глубину залегания  $h_0$ . Учитываем, что давление почвенной воды в выбранной системе координат величина отрицательная, но для его преодоления необходима работа, которую будем считать величиной положительной.

Полный потенциал почвенной воды  $\varphi$  – это количество работы, Дж·кг<sup>-1</sup>, которую необходимо затратить, чтобы перенести единицу свободной чистой воды обратимо и изотермически из стандартного состояния  $S_0$  в то состояние  $S_n$ , в котором она находится в рассматриваемой точке почвы. Данная величина

выражает способность воды в почве производить большую или меньшую работу по сравнению с чистой свободной водой.

Одновременно с термином «потенциал» в почвоведении часто используют понятие «давление почвенной воды», которое измеряется в паскалях [ $\text{Па} = \text{кг}/\text{с}^2 \cdot \text{м}$ ].

Таким образом движение влаги в обработанном слое почвы новым способом происходит под действием гравитационных сил и градиента давления, обусловленного различием гидростатического напора и капиллярно-сорбционных сил в разных точках. Сущность капиллярно-сорбционных сил достаточно сложна, и они зависят от многих физико-химических свойств почвы [8, 176, 177].

#### **4.2 Разработка математической модели движения внутрипочвенной влаги в обработанном слое на склоне**

В постановке модели динамики влагопереноса будем рассматривать дождевые осадки, выпадающие на параболический склон, обработанный новым мелиоративным способом глубиной 0,60 м – на базе глубокого рыхления. Профиль обработанного горизонта почвы на склоне представлен на рисунке 3.4.

Динамика внутрипочвенной влаги на склоне совершается согласно законам фильтрации исходя из условия, что уровень влагонасыщения обработанного новым способом горизонта почвы не будет предельным. Учитывая это при построении модели движения внутрипочвенной влаги в склоновых обрабатываемых землях, примем следующие допущения:

- 1) совокупность твёрдых частиц почвы непрерывной структуры, связанных между собой силами сцепления, то есть её скелет будет геометрически стабильным;

- 2) влага внутрипочвенная не сжимается;
- 3) давление воздуха внутри обработанного почвенного горизонта равно атмосферному;
- 4) капиллярные и гравитационные явления являются основной причиной движения влаги внутри обработанного пласта;
- 5) в рассматриваемой системе исключаем гистерезис;
- 6) внутрипочвенный влагоперенос относим к изотермическим процессам;
- 7) используем декартову систему координат, при этом ось  $z$  направлена вертикально вверх.

Данные допущения позволяют рассматривать в модели движения внутрипочвенной влаги только динамику капиллярных сил и сорбции, происходящих из-за увлажнения почвы.

Исходя из вышеперечисленных допущенных условий, для создания математической модели динамики внутрипочвенной влаги в обрабатываемом горизонте склона применим уравнения Навье – Стокса для движения воды в пористой среде [76], которые имеют вид:

$$\frac{\rho}{\phi} \frac{du}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} - \rho g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\mu}{\phi} \nabla^2 u, \quad (4.1)$$

$$\frac{\rho}{\phi} \frac{dv}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} - \rho g \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\mu}{\phi} \nabla^2 v, \quad (4.2)$$

$$\frac{\rho}{\phi} \frac{dw}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g + \frac{\mu}{\phi} \nabla^2 w. \quad (4.3)$$

В формулах (4.1, 4.2, 4.3) вводимые переменные  $u$ ,  $v$ ,  $w$  – представляют скорость движения почвенной влаги относительно координатных осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  соответственно;  $\rho$  – плотность находящейся внутри почвы жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h(x, y)$  – в рассматриваемой среде верхний уровень нахождения жидкости;  $\mu$  – вязкость;  $\phi$  – в рассматриваемом пласте отношение объема пор к общему объему почвы;  $\nabla$  – оператор Лапласа.

При движении влаги в почве конвективные члены уравнения обычно малы и ими можно пренебречь. Исходя из этого уравнения (4.1) – (4.3) преобразуем в векторный вид:

$$\frac{1}{\phi} \frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - g \nabla h + \frac{\mu}{\rho \phi} \nabla^2 \vec{v}, \quad (4.4)$$

где  $\vec{v} = (u, v, w)$ .

Полученное уравнение представляет систему и, чтобы представить её как замкнутую добавим к ней уравнение состояния:

$$p = p(\theta, \rho) \quad (4.5)$$

и уравнение неразрывности, учитывая изменения почвенной влажности для ненасыщенной почвы. Полученное уравнение будет иметь вид:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad (4.6)$$

где  $\theta$  – отношение объема влаги к объему почвы (объемная влажность почвы).

Гравитационные силы, влияющие на динамику внутрипочвенной влаги, представляем в виде величины  $gz$  (гравитационный потенциал). Действия капиллярных, осмотических и пленочных сил покажем, как влажностный (капиллярно-сорбционный) потенциал в виде выражения  $\psi = \frac{p}{\rho g}$ .

Преобразуем равенство (4.4), для этого введём величину, имеющую обозначение  $\varphi_{\text{дин}} = \psi + z$ , затем умножив обе части равенства (4.4) на некоторое постоянное значение пористости  $\phi$ , получаем, что увеличению в  $\phi$  раз градиента  $\varphi_{\text{дин}}$  соответствует такое же увеличение значения скорости движения влаги в почве  $\vec{v}$ . Исходя из выше предложенного решение уравнения (4.4) имеет вид:

$$u = -K_1 \frac{\partial \varphi_{\text{дин}}}{\partial x}; v = -K_2 \frac{\partial \varphi_{\text{дин}}}{\partial y}; w = -K_3 \frac{\partial \varphi_{\text{дин}}}{\partial z}, \quad (4.7)$$

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

Представленные уравнения (4.7) показывают зависимость между изменением капиллярно-сорбционного потенциала и скорости фильтрации. Следовательно, оно полностью соответствует закону Дарси о фильтрации

жидкостей и газов в пористых структурах, согласно его формулировке «при медленном движении несжимаемой жидкости в неподвижной изотропной пористой среде скорость фильтрации линейно зависит от градиента давления». Подставляя зависимости (4.7) в уравнение неразрывности (4.6), формулируем уравнение влагопереноса в почве на обработанном склоне новым мелиоративным способом на базе глубокого рыхления [32, 33, 76, 134]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_1 \frac{\partial \varphi_{\text{дин}}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_2 \frac{\partial \varphi_{\text{дин}}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_3 \frac{\partial \varphi_{\text{дин}}}{\partial z} \right) \quad (4.8)$$

или

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_1 \frac{\partial \psi}{\partial x} + K_1 \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_2 \frac{\partial \psi}{\partial y} + K_2 \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_3 \frac{\partial \psi}{\partial z} + K_3 \frac{\partial z}{\partial z} \right). \quad (4.9)$$

Во влагоненасыщенной почве влажностный потенциал  $\psi$  является функцией её влажности  $\psi = \psi(\theta)$ , исходя из этого, слагаемые, члены  $K_1 \frac{\partial \psi}{\partial x}$ ,  $K_2 \frac{\partial \psi}{\partial y}$ ,  $K_3 \frac{\partial \psi}{\partial z}$  в уравнении (4.9), запишем в другом виде [134, 177]:

$$K_1 \frac{\partial \psi}{\partial x} = K_1 \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial x}, K_2 \frac{\partial \psi}{\partial y} = K_2 \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial y}, K_3 \frac{\partial \psi}{\partial z} = K_3 \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}. \quad (4.10)$$

Величины  $K_i$  и  $\frac{\partial \psi}{\partial \theta}$ ,  $i = 1, 2, 3$  отражают свойства почвы и зависят от её влажности, и их произведение выглядит:

$$D_i = K_i \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad (4.11)$$

и тоже зависит от влажности. Подставим величины  $D_i = K_i \frac{\partial \psi}{\partial \theta}$  в уравнение (4.9) и получим нелинейное уравнение диффузии в почве на обработанном склоне новым мелиоративным способом на базе глубокого рыхления. Данное уравнение будет иметь вид:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_1 \frac{\partial \theta}{\partial x} + K_1 \frac{\partial z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_2 \frac{\partial \theta}{\partial y} + K_2 \frac{\partial z}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_3 \frac{\partial \theta}{\partial z} + K_3 \frac{\partial z}{\partial z} \right), \quad (4.12)$$

где для горизонтальных направлений будет:  $\frac{\partial z}{\partial x} = 0$  и  $\frac{\partial z}{\partial y} = 0$ . Следовательно, для вертикального направления  $\frac{\partial z}{\partial z} = 1$ . Исходя из этого уравнение (4.12) преобразуется в вид:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_1 \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_2 \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_3 \frac{\partial \theta}{\partial z} \pm K \right), \quad (4.13)$$

где:  $K = K(\theta) = K_3$  и называется коэффициентом влагопроводности.

В полученном уравнении (4.13), в последнем слагаемом его правой части знак "+" обозначает нисходящее движение внутрипочвенного влагопереноса, а знак "-" представляет движение влаги в почве по направлению вверх [133, 134].

Капиллярные эффекты и сорбционные свойства слоя почвы глубиной 0,60 м на склоне учитываются величиной  $D_i(\theta)$  в уравнениях диффузии влаги данного слоя, нашедшие отражение в равенствах (4.12) и (4.13). При этом коэффициенты диффузии в толще рассматриваемого слоя почвы по направлениям  $x$ ,  $y$ ,  $z$  соответственно отражены величиной  $i = 1, 2, 3$  [76].

В создаваемой математической модели возникает необходимость задания критериев, определяющих динамику внутрипочвенного влагопереноса в толще обработанного пласта склонового агроландшафта. Это потребовало задать водный потенциал обработанного горизонта на склоне: капиллярно-сорбционные свойства  $\psi(\theta)$ , диффузию  $D_i(\theta)$  (при  $i = 1, 2, 3$ ), влагопроводность  $K(\theta)$ , являющиеся функциями влажности почвы. Адекватность решения задачи о динамике влагопереноса на склоне в слое почвы обработанного новым способом предполагает достаточную корректность выбора критериев движения внутрипочвенной влаги, при которых водно-физические характеристики будут отражаться моделью наиболее приемлемо. Функции  $\psi(\theta)$ ,  $D_i(\theta)$ ,  $K(\theta)$  установим теоретически, исходя из того, что эти критерии уравнения динамики влагопереноса в почве коррелируются с главными в формулируемой математической модели водно-физическими характеристиками обработанного

новым мелиоративным способом слоя земли глубиной 0,60 м на склоне, таким как пористость, влажность, максимальная гигроскопичность, коэффициент фильтрации и другие [8, 134, 135, 175, 176].

При неполном влагонасыщении капиллярно-сорбционный потенциал является функцией влажности [175, 176]. Он отрицателен в зоне неполного насыщения. На границах зон неполного и полного насыщения он равен нулю. Ниже уровня грунтовых вод он положителен, и величина его меняется по гидростатическому закону. Определение ОГХ производится для каждого слоя экспериментально на образцах обработанного пласта почвы. Для этого могут быть использованы методы мембранного и пластинчатого пресси, капилляриметрические и другие. Затем экспериментальная зависимость  $\psi(\theta)$  должна быть аппроксимирована функцией

$$\psi(\theta) = -h_k^* \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} \frac{\bar{\theta} - \theta}{\bar{\theta} - \theta_0} \right); \quad (4.14)$$

где:  $\bar{\theta}$  – полная влагоемкость, принимается меньше значения пористости на величину содержания заземленного воздуха;  $\theta_0$  – нижний предел иссушения почвогрунта (максимальная гигроскопичность);  $h_k^*$  – условная высота капиллярного поднятия.

Параметры  $\theta_0$ ,  $h_k^*$  должны находиться на основе аппроксимации экспериментальных кривых  $\psi(\theta)$ . Если таковых не имеется, то априори можно принять:  $\theta_0$  – максимальная гигроскопичность;  $h_k^* = \alpha h_k$ , где  $h_k$  – высота капиллярного поднятия;  $\alpha = 1 - 2$  (чем тяжелей грунт, тем больше  $\alpha$ ). Капиллярные и сорбционные свойства почвы обрабатываемых склонов, характеризующиеся значениями: условной высоты капиллярного поднятия ( $h_k^*$ ), нижним пределом иссушения почвы (максимальная гигроскопичность) ( $\theta_0$ ) и полной влагоемкостью ( $\bar{\theta}$ ).

Величины, характеризующее капиллярные и сорбционные свойства для различных типов почв (грунтов) приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Величины, характеризующее капиллярные и сорбционные свойства

Механический состав	$\bar{\theta}$ , %	$\theta_0$ , %	$h_k^*$ , м
Песчаный	0,37-0,40	0,05-0,10	0,5-1,2
Супесчаный	0,40-0,44	0,08-0,13	0,7-1,5
Легкосуглинистый	0,44-0,48	0,10-0,15	1,5-2,5
Средне суглинистый	0,40-0,44	0,13-0,18	2,5-3,5
Тяжелосуглинистый и глинистый	0,43-0,49	0,16-0,25	4,0-7,0

Известно [8], что при значениях влажности  $\theta > \theta^*$ , где  $\theta^*$  – связанная влага, то есть влажность, при которой начинается интенсивное движение воды в жидкой фазе, по А.Ф. Лебедеву, это будет максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ). Зависимость капиллярного давления от влажности почвы наиболее хорошо описывается формулой:

$$\frac{\theta - \theta^*}{\theta - \theta^*} = \exp(-v\bar{\psi}^N), \bar{\psi} = \frac{\psi}{h_k}, \quad (4.15)$$

где  $N$  – показатель степени для связных минеральных грунтов принимается равным 3,0;  $v$  – эмпирический коэффициент, определенный для минеральных грунтов, принимается равным 2,7.

Зависимость капиллярного давления от влажности почвы можно записать в другом виде [134, 135]:

$$\psi = -h_k^* \sqrt[3]{\frac{1}{v} \ln \frac{\theta - \theta^*}{\theta - \theta^*}}, \theta > \theta^*, \quad (4.16)$$

где:  $h_k^*$  – условная высота капиллярного поднятия;  $\theta$  - отношение объема влаги к объему почвы;  $\theta$  – отношения объема пор к общему объему почвы в исследуемом слое почвы;  $\theta^*$  – связанная влага.

Значения  $\theta$  - пористости (отношения объема пор к общему объему почвы) исследуемого слоя почвы. Визуально вид приведенной зависимости (4.16) схож с графиком, изображенным на рисунке 4.2. Условие, при котором значения объемной влажности почвы больше связанной влаги ( $\theta > \theta^*$ ), возникает интенсивное движение воды в жидкой фазе, то есть максимальная молекулярная

влажностность (ММВ). Но формула (4.16) не позволяет определить значения  $\psi_0 = \psi(\theta^*)$  [134, 135].

В нашей модели коэффициент влагопроводности это параметр, оценивающий динамику внутрипочвенной влаги в поверхностном слое обработанного склона новым способом. При этом данный параметр в значительной степени зависит от влажности почвы. При полном насыщении он соответствует коэффициенту фильтрации – эмпирическому параметру, интегрально отражающему свойства жидкости и почвы, следовательно применение закона Дарси для ненасыщенного потока возможно, но требует некоторых допущений и поправок. Одним из таких допущений будет гипотеза о том, что влагопроводность почвы рассматривается как функция объемного влагосодержания, а не как константа, это позволяет обойти возникающее ограничение.

Все модели влагопроводности почвы условно можно разделить на теоретические, полуэмпирические и эмпирические.

Теоретические модели представляют собой различные зависимости, основанные на законах движения жидкости в капиллярно-пористых телах. К этой группе моделей относятся зависимости, позволяющие определить влагопроводность по ранее рассчитанной основной гидрофизической характеристике почвы.

В отличие от теоретических моделей, полуэмпирические основаны на теоретических предпосылках и представляют собой простые эмпирические зависимости, аппроксимирующие более сложные теоретические уравнения. Воспользуемся для построения данной разрабатываемой математической модели наиболее известную полуэмпирическую модель С.Ф. Аверьянова, отражающую отношение коэффициента влагопроводности к уровню насыщения почвы влагой степенной функцией [8, 32, 33, 76, 170, 175, 176, 177]:

$$K(\theta) = K_0 \left( \frac{\theta - \theta_0}{\vartheta - \theta_0} \right)^n, \quad (4.17)$$

где  $K_0$  – коэффициент фильтрации рассматриваемого слоя почвы на склоне;  $\theta_0$  – максимальная гигроскопичность;  $n$  – показатель степени для коэффициента фильтрации, может принимать различные значения в зависимости от физико-механических свойств почв. Значения приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Показатель степени для коэффициента фильтрации почв (грунтов)

Механический состав	Значение $n$	
	нижняя граница	верхняя граница
Песчаный	3,5	4,5
Супесчаный	4,0	5
Легкосуглинистый	4,5	5,5
Среднесуглинистый	5,5	9,0
Тяжелосуглинистый и глинистый	6,0	12,0

Коэффициент фильтрации для различных грунтов по известным данным [179] приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Коэффициент фильтрации для различных почв (грунтов)

Механический состав	Коэффициент фильтрации	
	см/с	м/сутки
Песчаный с примесью	1 – 0,01	8,64 – 0,64
Песчано-глинистый	0,01 – 0,004	8,64 – 3,46
Проницаемый глинистый	0,004 – 0,001	3,46 – 0,86
Тяжелый глинистый	< 0,001	< 0,86

Учтём в первом приближении, что тождественность свойств почвы грунта – это совокупность твёрдых частиц непрерывной структуры, связанных между собой. Исходя из этого используем необходимые значения для почвы, приведённые для грунтов.

Применим аналог формулы С.Ф. Аверьянова (4.17), которая справедлива в диапазоне от наименьшей влагоёмкости  $\theta^*$  до полной влагоёмкости обработанного слоя  $\bar{\theta}$  [135]:

$$K(\theta) = K_0 \left( \frac{\theta - \theta^*}{\bar{\theta} - \theta^*} \right)^m, \quad (4.18)$$

где показатель степени для коэффициента фильтрации  $m = \frac{7}{10} n$ .

В таблице 4.4 показаны значения максимальной молекулярной влагоемкости (ММВ) для нескольких горизонтов почвы.

Таблица 4.4 – Значения ММВ в слоях почвы

Горизонт	Наименьшая влагоемкость, %	Максимальная молекулярная влагоемкость, % от НВ
A+, B	23,1	63,2
B1	19,6	61,0
B2	18,4	62,0
C	18,6	59,7

Представленный слой почвы A + является верхним гумусовым горизонтом. Слой B – переходный слой к породе, имеет, в основном, бурый окрас, с постепенной или неравномерно затечной, языковатой, ослабляющейся к низу гумусированностью. По степени гумусированности слой почвы B может подразделяться на горизонты B1 и B2. Слой C – это материнская порода.

Сопоставление формул (4.17) и (4.18) позволяет разрешить проблему о невозможности использования формулы (4.16) для вычисления  $\psi_0 = \psi(\theta^*)$  [135]. Формулы (4.17) и (4.18) для определения зависимости коэффициента влагопроводности от влажности почвы имеют различные интервалы применимости. Но вычисленные по этим зависимостям коэффициенты влагопроводности при одной и той же влажности имеют примерно одинаковые значения. Таким образом, приравнявая выражения (4.17) и (4.18) получаем, что

$$\frac{\theta - \theta^*}{\phi - \theta^*} = \left( \frac{\theta - \theta_0}{\phi - \theta_0} \right)^{\frac{10}{7}}. \quad (4.19)$$

Выражая из последнего выражения  $\theta^*$  при некоторой фиксированной влажности  $\tilde{\theta}$ , в результате находим выражение для максимальной молекулярной влагоемкости, которое имеет вид:

$$\theta^* = \frac{\phi(\tilde{\theta} - \theta_0)^{\frac{10}{7}} - \tilde{\theta}(\phi - \theta_0)^{\frac{10}{7}}}{(\tilde{\theta} - \theta_0)^{\frac{10}{7}} - (\phi - \theta_0)^{\frac{10}{7}}}. \quad (4.20)$$

Формула (4.20) отражает основную гидрофизическую характеристику, представляющую зависимость капиллярного давления от влажности разрыхленного слоя почвы на склоне (4.16). Учитывая равенства (4.19) и (4.20), позволяет находить капиллярное давление в разных условиях, включая ММВ по зависимости [135]:

$$\psi = -h_k * 3 \sqrt{\frac{10}{7\nu} \ln \frac{\theta - \theta_0}{m - \theta_0}}, \theta \geq \theta^*. \quad (4.21)$$

Для определения зависимости коэффициентов диффузии и влагопроводности от влажности почвы существуют два разных подхода. Первый подход опирается на различные физические модели пористой среды и связан с конкретным их видом. Основа второго подхода – это решение уравнения влагопереноса которое описывает сложный процесс упрощённо, в котором определяются коэффициенты диффузии и влагопроводности. Это соответствует, так называемой, обратной задаче, которая позволяет определить параметры влагопереноса в почве с помощью двумерной математической модели нестационарного влагопереноса в почвенных горизонтах.

Общая теория решения обратных задач пока не разработана. Известно сравнительно небольшое число методов, опирающихся на приближенные решения нелинейных краевых задач. Однако эти методы не универсальны, их применение ограничено условием слабой нелинейности характеристик от влажности, для них нет строгих оценок погрешностей и т.п.

Значительный вклад в использование теории обратных задач для нахождения параметров влагопереноса внесли И.П. Айдаров, А.А. Алексащенко, которые рекомендуют определять коэффициенты диффузии и влагопереноса методами непосредственного интегрирования, точек перегиба, «модельных решений», а также методом, использующим линеаризованные, упрощенные решения [178, 179]. При этом исходными данными для расчета коэффициентов служат профили влажности, полученные в полевых или лабораторных

исследованиях. Недостатком рассматриваемого метода является то, что полученные коэффициенты являются по существу функцией математической модели и не могут быть использованы в другой модели, не в той, из которой они были получены.

Рассмотрим несколько вариантов нахождения коэффициентов диффузивности на основе первого подхода. В исследованиях С.Ф. Аверьянова было получено, что зависимость коэффициента диффузии от влажности имеет следующий вид:

$$D_i(\theta) = \frac{K_0 \psi_0 \theta^*}{1 - \left(\frac{\theta^*}{\theta}\right)^3} \left(\frac{\theta - \theta^*}{m - \theta^*}\right)^n \left(\frac{1}{\theta^2} + 2 \frac{\theta}{\theta^3}\right), \quad (4.22)$$

где  $\psi_0$  – значение давления при влажности  $\theta = \theta^*$ .

Рассмотрим другой способ нахождения коэффициентов диффузии. Одно из решений подобных задач возможно при использовании модели пористой среды, выбор которой определяется частной задачей. Для решения задачи влагопереноса через внутрипочвенную стенку наилучший результат даёт метод Дж. Гарднера, устанавливающий экспоненциальный характер зависимости коэффициента диффузии от влажности:

$$D_i(\theta) = D_0 \exp[\beta c(\theta - \theta^*)], \quad (4.23)$$

где  $\beta c$  – критерий, учитывающий вид среды, в нашем случае почвы, как пористой среды;  $D_0$  – коэффициент диффузии при начальной влажности  $\theta = \theta^*$  [32, 33, 176].

В таблице 4.5 представлены, в зависимости от направления влагопереноса, значения коэффициента диффузии  $D_0$  и значения  $\beta c$ , при различной начальной влажности почвы. Влажность показана в долях от наименьшей влагоемкости ( $H_B$ ).

Следующим этапом для построения модели влагопереноса является установление начальных и краевых (граничных) критериев для обработанного пласта почвы на склоне, структурными составляющими которого являются

чередующиеся разрыхленные области и внутрипочвенные стенки. При этом они имеют резко отличающиеся друг от друга водно-физические характеристики. В связи с этим начальным критерием устанавливаем исходное распределение влаги. Следовательно, максимальная гигроскопичность будет:

$$\theta^0 = \theta(x, y, z, 0) = \theta^*. \quad (4.24)$$

Таблица 4.5 – Значения коэффициентов диффузии и параметра почвы

Направление влажнопереноса	Горизонтальное		Вертикально вверх		Вертикально вниз	
	$D_0$	$\beta c$	$D_0$	$\beta c$	$D_0$	$\beta c$
Начальная влажность						
65 % НВ	0,000126	57,118	0,001959	33,258	0,006281	39,409
75 % НВ	0,005266	39,86	0,01	27,674	0,009198	29,701
85 % НВ	0,047	31,073	0,047	23,145	0,042	24,854

Далее установим краевой критерий на границе почвы и воздуха, определяющий причину увлажнения почвы на склоне:

$$I = -K \frac{\partial \varphi}{\partial z} \Big|_{z=z'} = - \left( D_3(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=z'} + K(\theta) \right), \text{ при } z = z' \quad (4.25)$$

где  $I$  – мощность выпадающих дождей;

$z' = z'(x, y)$  – функция, описывающая параметры обработанного склона (уклон, протяжённость) с внутрипочвенными стенками.

Затем определяется зависимость объёмной влажности почвы к связанной влаге в окрестности нижней границы расчётной зоны обработанного пласта. Для нашего случая объёмную влажность почвы принимаем:

$$\theta = \theta^* \text{ при } z = z' - H, \quad (4.26)$$

где  $H$  – глубина исследуемой расчётной зоны увлажнения (толщина обработанного горизонта на склоне).

Завершающим этапом в разработке модели движения влагопереноса на обработанном новым способом склоне является установление условия свободного протекания через расчётную зону, принимая её как пористое тело. Исходя из этого на боковых границах этой зоны установим:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \bar{n}} = 0. \quad (4.27)$$

где  $\bar{n}$  – просветность (поверхностная пористость) [135].

### 4.3 Описание программы оценки динамики влагопереноса

Обобщая сказанное в параграфах 4.1 и 4.2 данной главы, имеем, что для определения динамики влагопереноса в обрабатываемом слое почвы необходимо решить краевую задачу, которая включает:

- уравнения (4.7) и (4.13); граничные и начальные условия (4.24) – (4.27);
- дополнена какой-либо моделью для нахождения параметров влагопереноса (а именно, коэффициентов диффузивности, влагопроводности и капиллярно-сорбционного потенциала), из тех которые описаны в п.4.2.2. данной главы.

Описание средств разработки. Мощным инструментом познания, анализа и синтеза нелинейных гидродинамических процессов являются разнообразные компьютерные системы и пакеты прикладных программ. Достаточно известны предназначенные для решения широкого круга задач системы и пакеты MathCAD, Matlab, Maple, и др. Среди указанных программных продуктов особое место занимает пакет FlexPDE, поддерживающий метод конечных элементов при моделировании объектов с распределенными переменными, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями с частными производными. Для компьютерной реализации математической модели влагопереноса написана программа именно в этом пакете.

Программный пакет FlexPDE предназначенный для построения различных сценарных моделей, расчёт которых ведётся методом конечных элементов. Позволяет производить операции для преобразования системы дифференциальных уравнений в частных производных в модель для расчета

методом конечных элементов. При этом найти решение для этой системы и представить результаты в графической форме.

Исходя из этого данный пакет программ является удобной вычислительной средой для решения разнообразных задач, в ней заложен полный набор функций, необходимых для решения системы дифференциальных уравнений в частных производных: 1) редактирование для подготовки сценариев; 2) генератор сеток конечных элементов; 3) подбор конечных элементов при поиске решения; 4) графические функции представления результатов решения.

FlexPDE не ограничивает пользователя заранее заданным списком прикладных задач или видов уравнений. Выбор вида дифференциальных уравнений в частных производных полностью зависит от пользователя.

Язык сценария позволяет пользователю описывать математический аппарат его системы дифференциальных уравнений в частных производных и структуру области решений в целом в естественном формате. Эта форма сценария у FlexPDE имеет ряд преимуществ по сравнению с другими программными комплексами:

- сценарий полностью описывает систему уравнений и область решений, так что нет никакой неопределенности относительно того, какие именно уравнения решаются, что могло бы иметь место в случае программы с фиксированным набором прикладных задач;
- FlexPDE решает задачи с собственными значениями функций;
- новые переменные, новые уравнения или новые условия могут легко добавляться в сценарий по желанию;
- позволяет решать системы дифференциальных уравнения первого или второго порядка в частных производных;
- система дифференциальных уравнений может быть независимой или зависимой от времени;

- в рамках одной задачи могут быть рассмотрены стационарные и нестационарные уравнения одновременно;
- число уравнений в системе определяется мощностью компьютера, на котором установлен математический пакет FlexPDE, уравнения могут быть линейными или нелинейными, решаются нелинейные системы методом Ньютона – Рафсона;

В программном пакете FlexPDE может быть задано любое количество геометрических областей с различными свойствами материала.

FlexPDE в своём арсенале имеет несколько модулей, для обеспечения решения многих прикладных задач:

- модуль редактирования сценария;
- анализатор записи уравнения в виде символов, который преобразует информацию, записанную в виде символов уравнения в набор переменных, параметров и их соотношений, затем раскладывает эти уравнения в матрицу Якоби;
- модуль генератора сетки строит сетку треугольных конечных элементов в двумерной области решений с возможностью преобразования в трёхмерную;
- модуль численного анализа конечного элемента осуществляет выбор соответствующей схемы решения для задач стационарных, нестационарных и поиска собственных значений, причем для линейных и нелинейных систем применяются отдельные процедуры расчета;
- процедура оценки погрешности, FlexPDE проводит итеративное уточнение параметров сетки и решения до заданного уровня погрешности;
- модуль графического вывода принимает произвольные алгебраические функции из полученного решения и осуществляет построение графиков контура, поверхности и векторов; модуль внешнего вывода данных.

В пакете FlexPDE имеется программа-редактор, с помощью которой можно создать сценарий для данной задачи, как на блок-схеме (рисунок 4.4) [134].



Рисунок 4.4 – Блок-схема алгоритма решения задачи влагопереноса

Представленный сценарий на блок-схеме алгоритма решения краевой задачи динамики внутрипочвенного влагопереноса на обработанном новым способом склоне сценарий редактируем, по необходимости, затем цикл расчёта снова запускается и так до тех пор, пока результат не удовлетворит всем заданным требованиям сценарной модели. После чего сценарий расчёта можно сохранить в виде файла для дальнейшего использования или в качестве основы при дальнейших исследованиях.

Расчетную область считаем двумерной. Схема области изображена на рисунке 4.5. Детализировка выделенной расчетной области показана на рисунке 4.6. На них по абсциссе отражена длина склона  $L$ , а по ординате высота  $h$ .

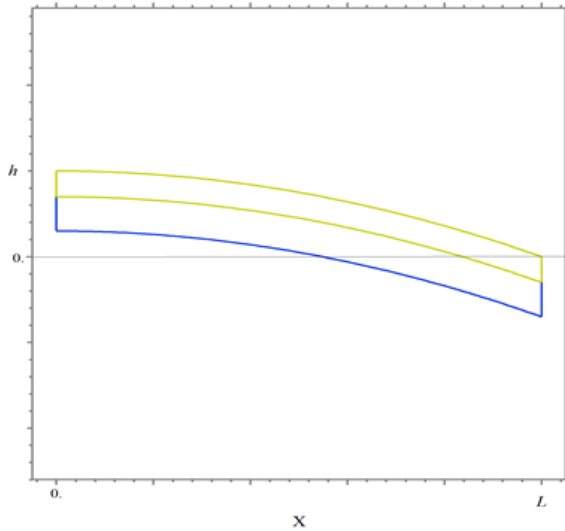


Рисунок 4.5 – Расчетная область

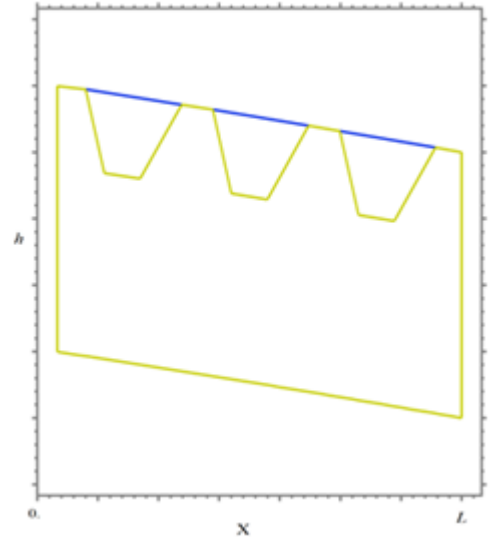


Рисунок 4.6 – Детализировка расчетной области

Как подробно описано в главе 3, обрабатываемый склон считаем параболическим. Линия, нижележащего подпорного слоя земли, также параболическая и геометрически гладкая. Уравнение задаётся следующим образом:

$$y = f(x) = -\frac{h}{L^2}x^2 + h, \quad (4.28)$$

где  $h$  и  $L$  высота и длина склона соответственно.

Расчетная область состоит из двух подобластей. Переуплотненных участков основного массива почвы и разрыхленных, трапециевидальных расположенных в верхней шестидесятисантиметровой части склона [134]. Схема разрыхленных участков изображена на рисунке 3.2 главы 3. В программе рассматривается нижняя часть склона, в которой выделяется промежуток, включающий три разрыхленных участка.

Процесс промокания обработанного пласта почвы занимает определённое время, поэтому целесообразно забить его на несколько этапов. Следовательно расчёт ведётся для последовательно расположенных моментов времени, отражающих реологические свойства естественного промокания обработанного склона: 0,135 суток (3,24 часа); 0,385 суток (9,24 часа); 1 сутки (24 часа); 2 суток (48 часов).

#### 4.4 Результаты вычислительных экспериментов

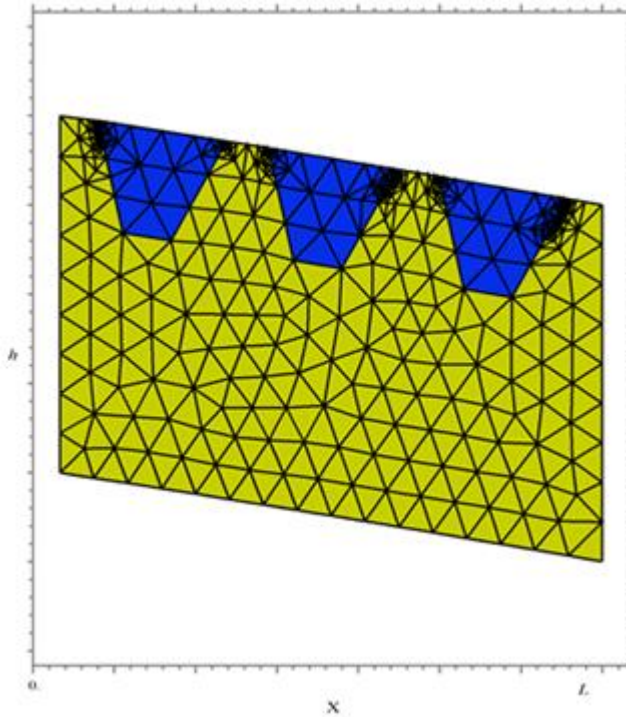


Рисунок 4.7 – Триангуляция расчётной области

Рассматривается ситуация достаточно интенсивных осадков интенсивностью  $I = 60$  мм/сут. На рисунке 4.7 изображена триангуляция области в начальный момент времени. На котором обозначены 1288 узлов и 597 ячеек. По абсциссе отражена длина склона  $L$ , а по ординате высота  $h$ . Далее на рисунках 4.8 – 4.14 приведены результаты расчетов в начальный момент времени – 0,135 суток.

На рисунках 4.9 – 4.11 представлены графики влагосодержания по линиям разрезов. Линии разрезов расположены: у края разрыхленного участка, по центру разрыхленного участка, по центру уплотненной стенки (абсцисса – координаты по высоте (м), ордината - влагосодержание ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ )). Графики диффузивности и коэффициента влагопроводности внутрипочвенной стенки в момент времени 0,135 суток приведены на рисунках 4.12 – 4.13.

Анализируя векторное поле течения почвенной влаги в выделенном фрагменте склона (рисунок 4.14), при осадках интенсивностью  $I = 60$  мм/сут видно, что промокание очень быстро происходит до середины глубины разрыхленной зоны.

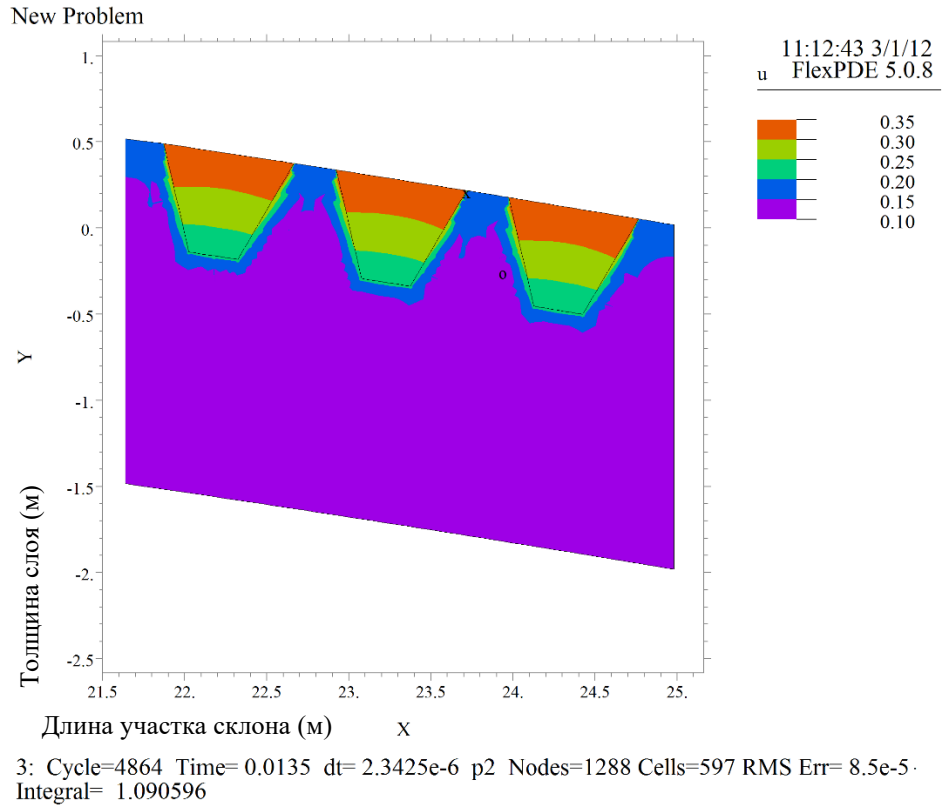


Рисунок 4.8 – Линии уровня влагосодержания при 0,135 суток

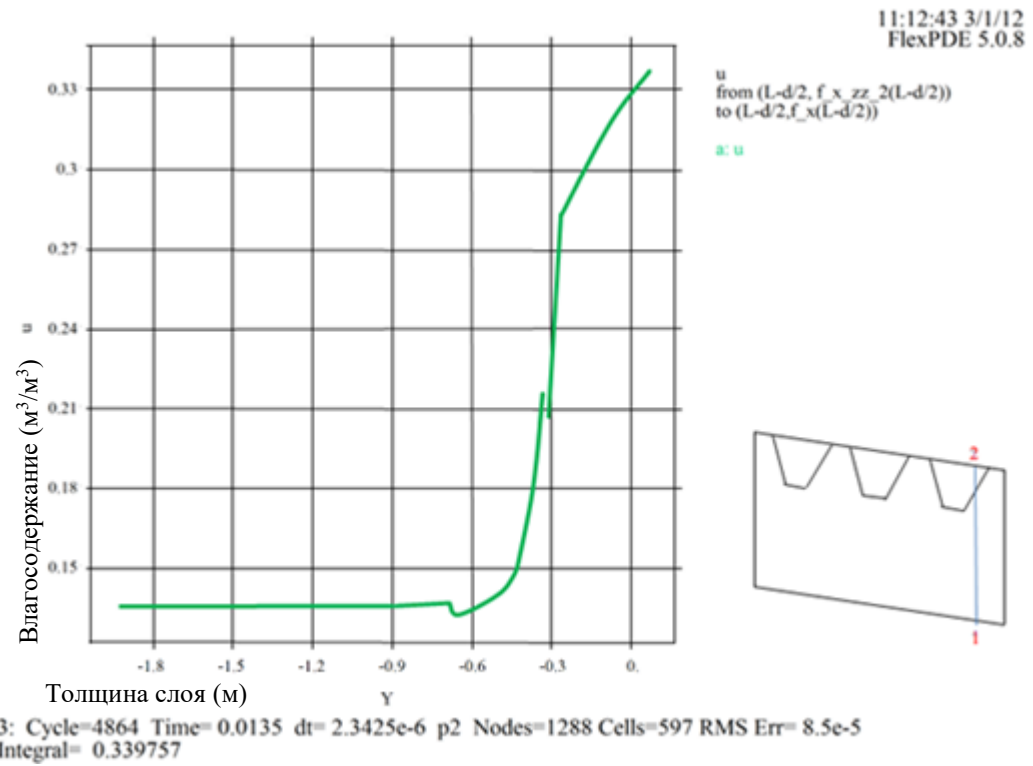


Рисунок 4.9 – График влагосодержания по линии разреза у края разрыхленного участка при 0,135 суток

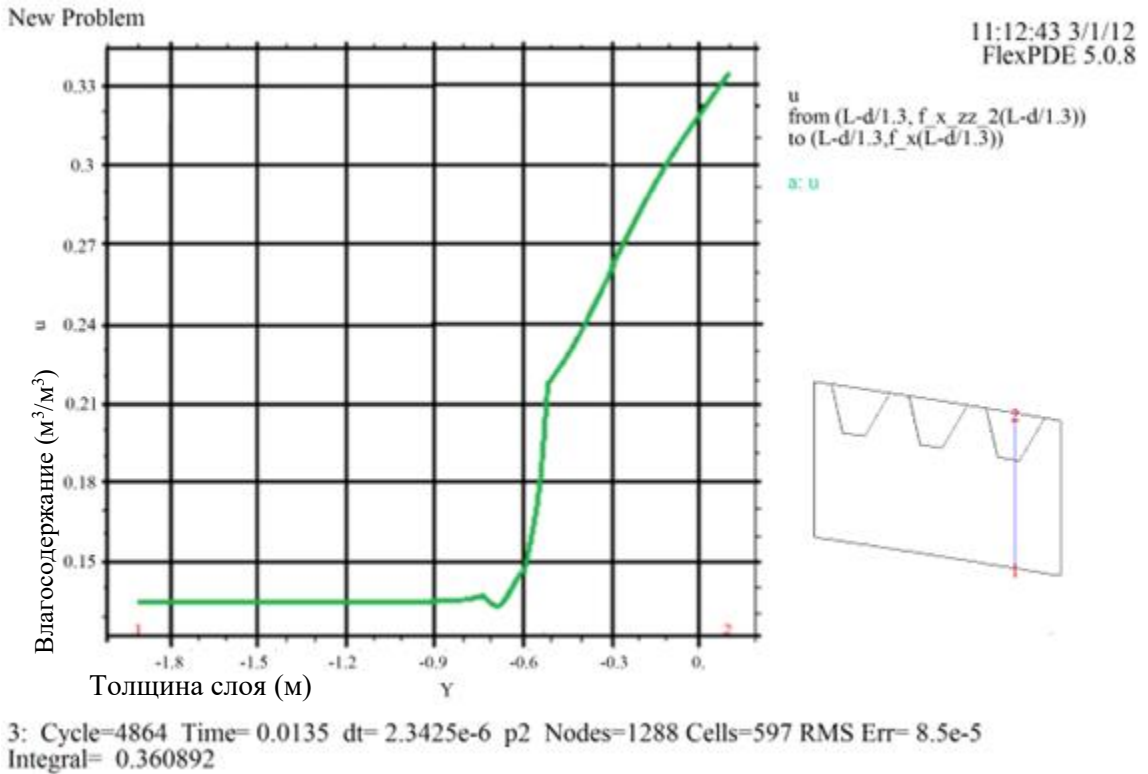


Рисунок 4.10 – График влагосодержания по линии разреза, расположенной по центру разрыхленного участка при 0,135 суток

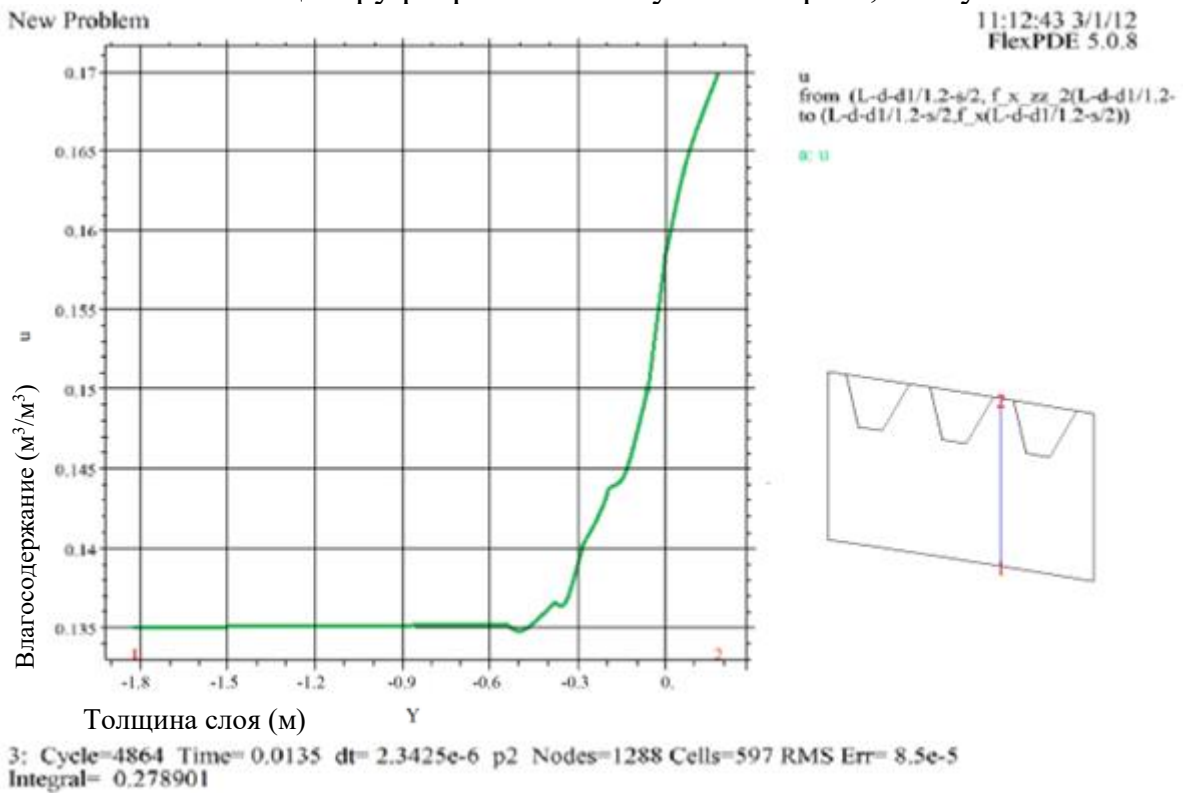
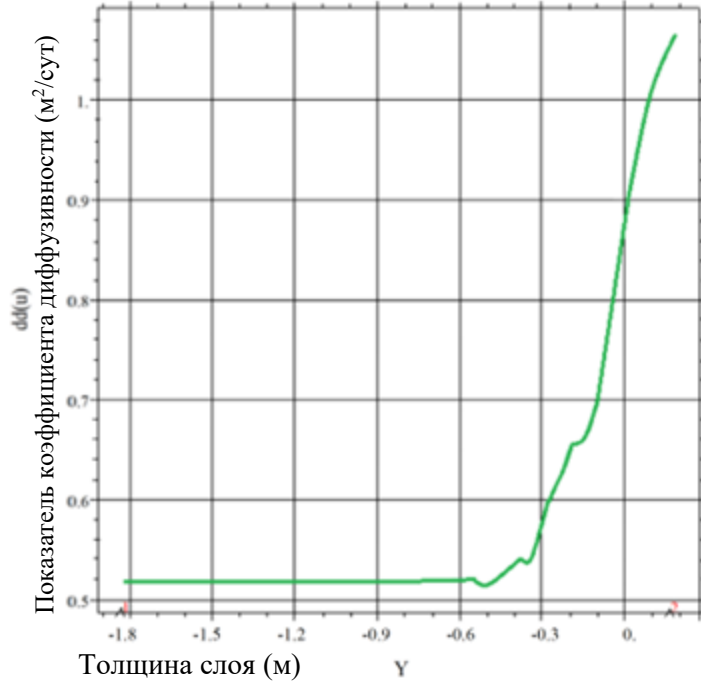


Рисунок 4.11 – График влагосодержания по линии разреза расположенной по центру уплотненной стенки при 0,135 суток

New Problem

11:12:43 3/1/12  
FlexPDE 5.0.8



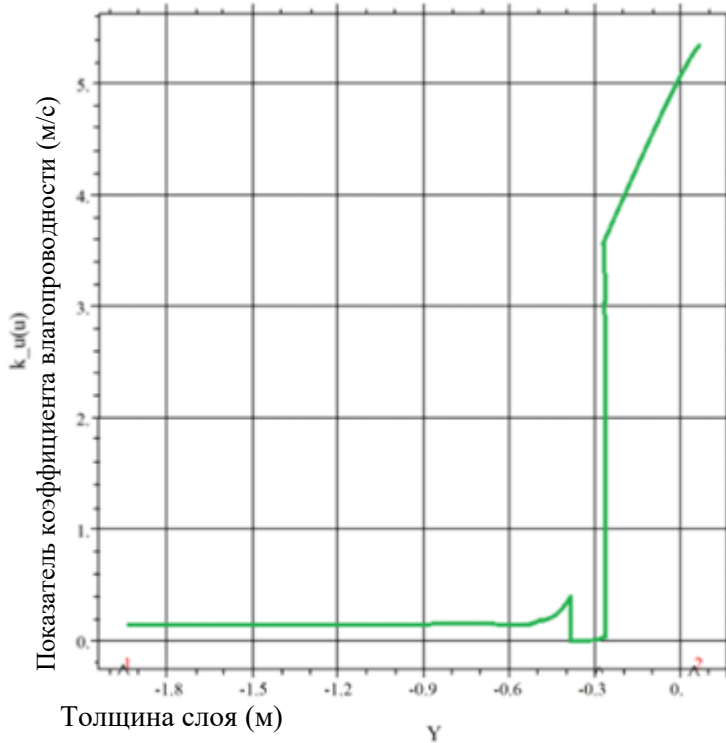
dd(u)  
from (L-d-d1/1.2-s/2, f\_x\_zz\_2(L-d-d1/1.2-  
to (L-d-d1/1.2-s/2, f\_x(L-d-d1/1.2-s/2))  
a: dd(u)

3: Cycle=4864 Time= 0.0135 dt= 2.3425e-6 p2 Nodes=1288 Cells=597 RMS Err= 8.5e-5  
Integral= 1.176544

Рисунок 4.12 – График диффузности при 0,135 суток

New Problem

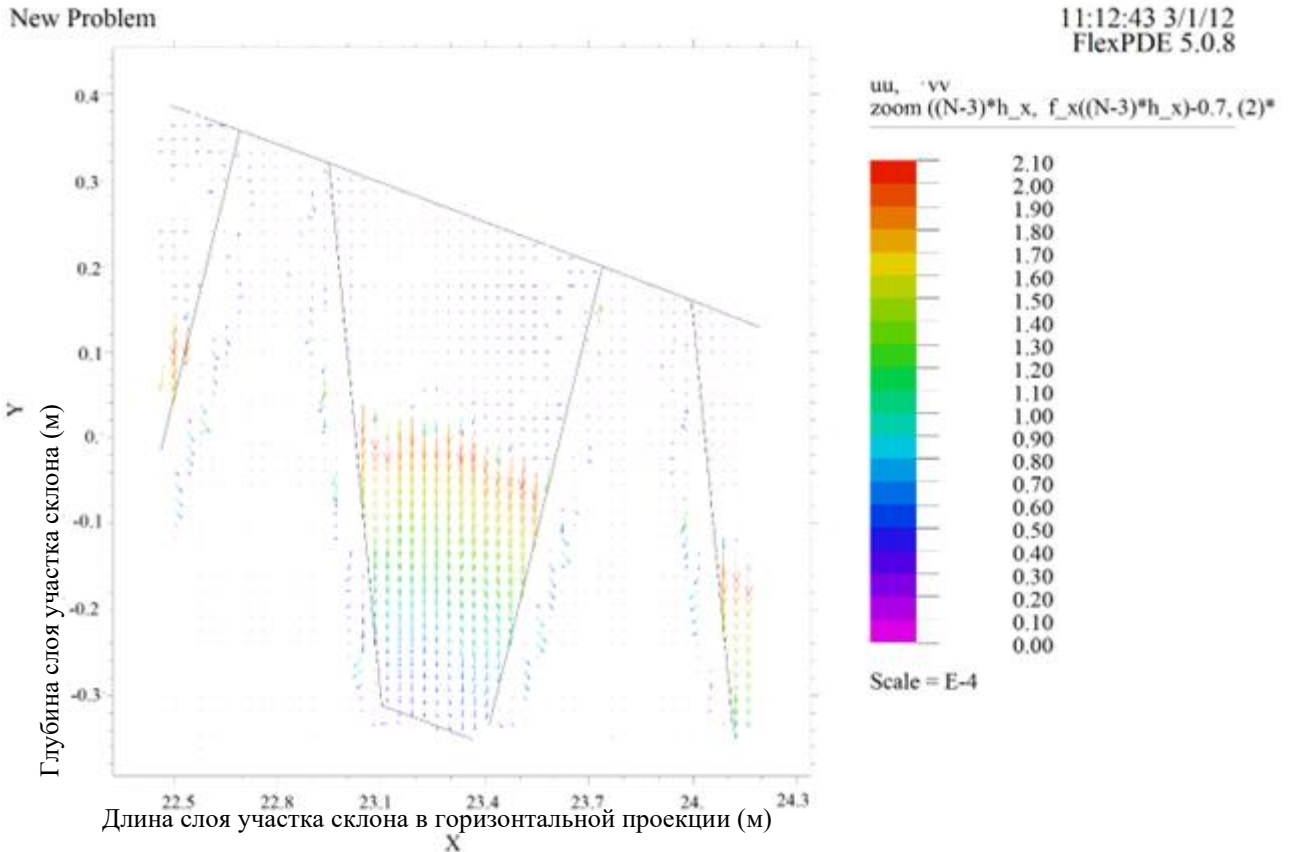
11:12:43 3/1/12  
FlexPDE 5.0.8



k\_u(u)  
from (L-d/2, f\_x\_zz\_2(L-d/2))  
to (L-d/2, f\_x(L-d/2))  
a: k\_u(u)

3: Cycle=4864 Time= 0.0135 dt= 2.3425e-6 p2 Nodes=1288 Cells=597 RMS Err= 8.5e-5  
Integral= 1.725335

Рисунок 4.13 – График коэффициента влагопроводности при 0,135 суток

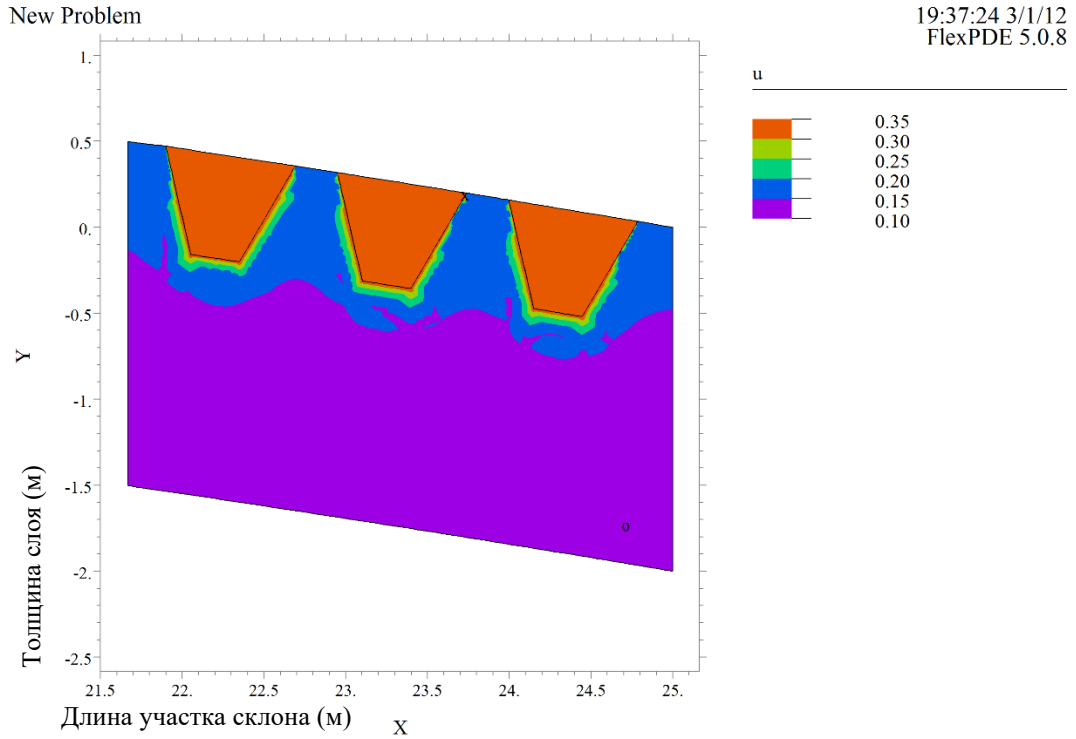


3: Cycle=4864 Time= 0.0135 dt= 2.3425e-6 p2 Nodes=1288 Cells=597 RMS Err= 8.5e-5

Рисунок 4.14 – Векторное поле течения влаги в почве при 0,135 суток

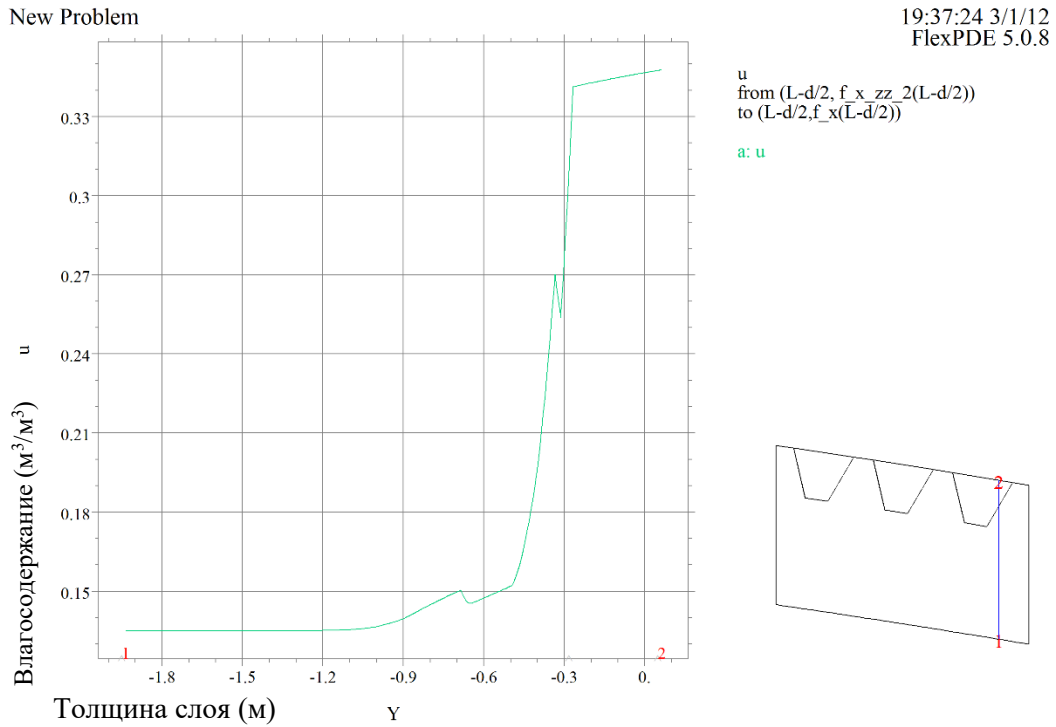
Направление движения внутрипочвенной влаги в разрыхленной зоне в основном вертикально вниз, незначительно проникая в толщу внутрипочвенной стенки. Результаты расчетов для момента времени 0,385 суток показаны на рисунках 4.15 – 4.21. Изменение влагосодержания на выделенном участке для момента времени 0,385 суток представлено в графике на рисунке 4.15.

Сравнивая уровни влагосодержания в моменты времени 0,135 суток и 0,385 (рисунки 4.8 и 4.15) видно, что внутрипочвенная влага на момент времени 0,385 суток почти в два раза содержится больше в разуплотнённых областях склона, чем во внутрипочвенной стенке.



3: Cycle=19042 Time= 0.0384 dt= 4.2685e-6 p2 Nodes=1617 Cells=758 RMS Err= 1.7e-4  
Integral= 1.187607

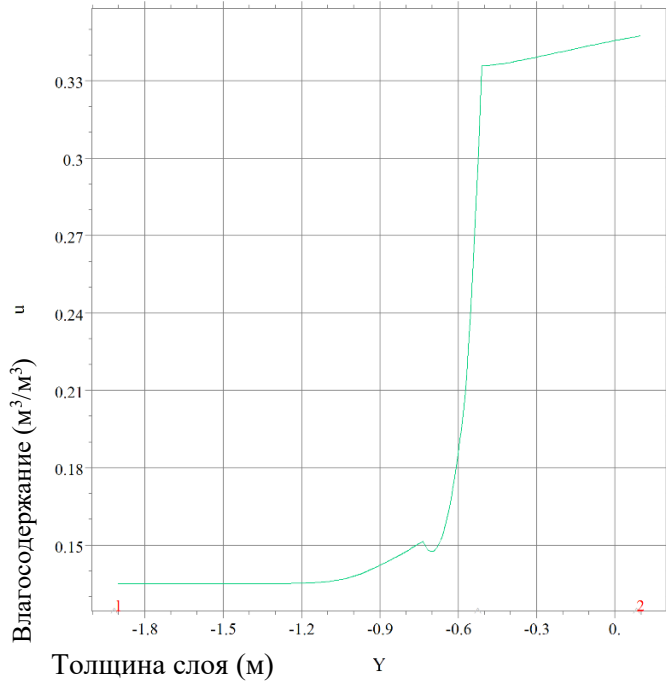
Рисунок 4.15 – Линии уровня влагосодержания при 0,385 суток



3: Cycle=18994 Time= 0.0382 dt= 4.2685e-6 p2 Nodes=1617 Cells=758 RMS Err= 1.7e-4  
Integral= 0.364260

Рисунок 4.16 – График влагосодержания по линии разреза у края разрыхленного участка при 0,385 суток

New Problem

19:37:24 3/1/12  
FlexPDE 5.0.8

u  
from (L-d/1.3, f\_x\_zz\_2(L-d/1.3))  
to (L-d/1.3, f\_x(L-d/1.3))

a: u

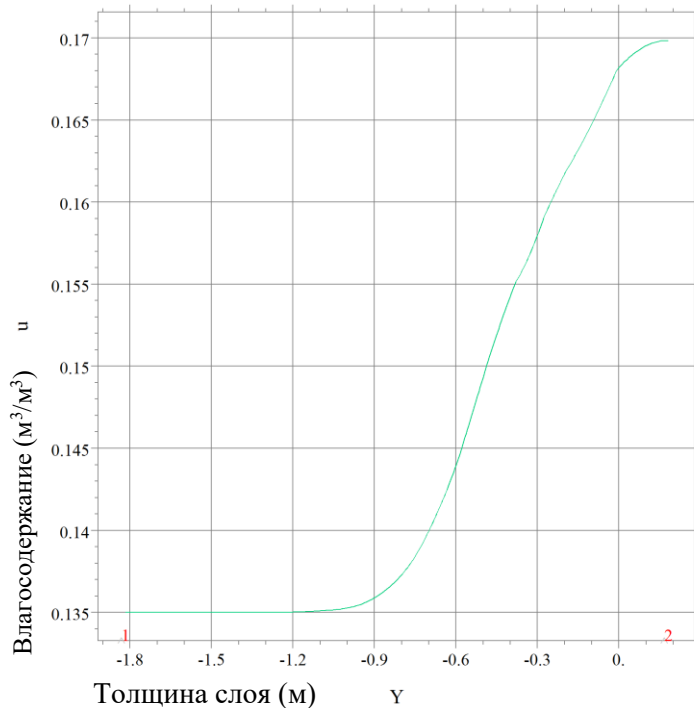
Толщина слоя (м)

Y

3: Cycle=19018 Time= 0.0383 dt= 4.2685e-6 p2 Nodes=1617 Cells=758 RMS Err= 1.7e-4  
Integral= 0.410936

Рисунок 4.17 – График влагосодержания по линии разреза, расположенной по центру разрыхленного участка при 0,385 суток

New Problem

19:37:24 3/1/12  
FlexPDE 5.0.8

u  
from (L-d-d1/1.2-s/2, f\_x\_zz\_2(L-d-d1/1.2-  
to (L-d-d1/1.2-s/2, f\_x(L-d-d1/1.2-s/2))

a: u

Толщина слоя (м)

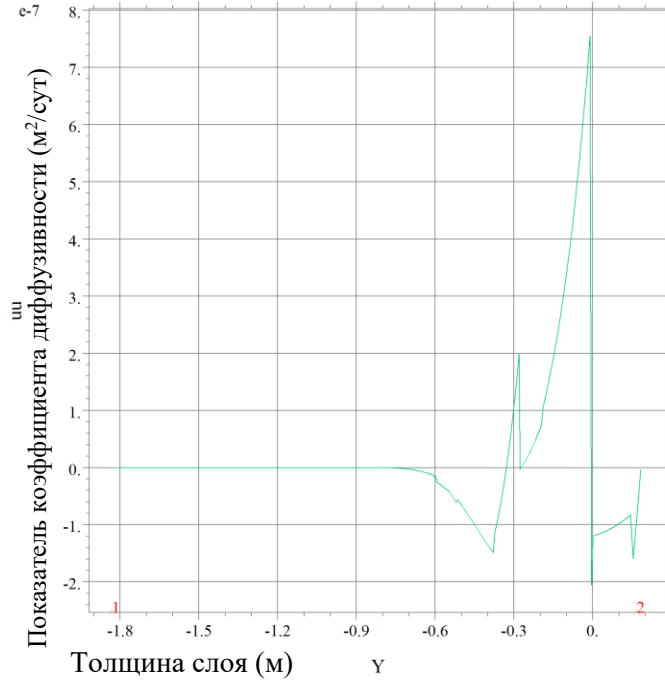
Y

3: Cycle=19042 Time= 0.0384 dt= 4.2685e-6 p2 Nodes=1617 Cells=758 RMS Err= 1.7e-4  
Integral= 0.290923

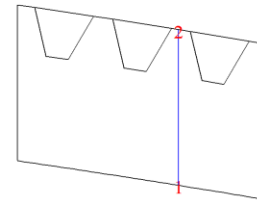
Рисунок 4.18 – График влагосодержания по линии разреза расположенной по центру уплотненной стенки при 0,385 суток

New Problem

19:37:24 3/1/12  
FlexPDE 5.0.8



uu  
from (L-d-d1/1.2-s/2, f\_x\_zz\_2(L-d-d1/1.2-  
to (L-d-d1/1.2-s/2,f\_x(L-d-d1/1.2-s/2))  
a: uu

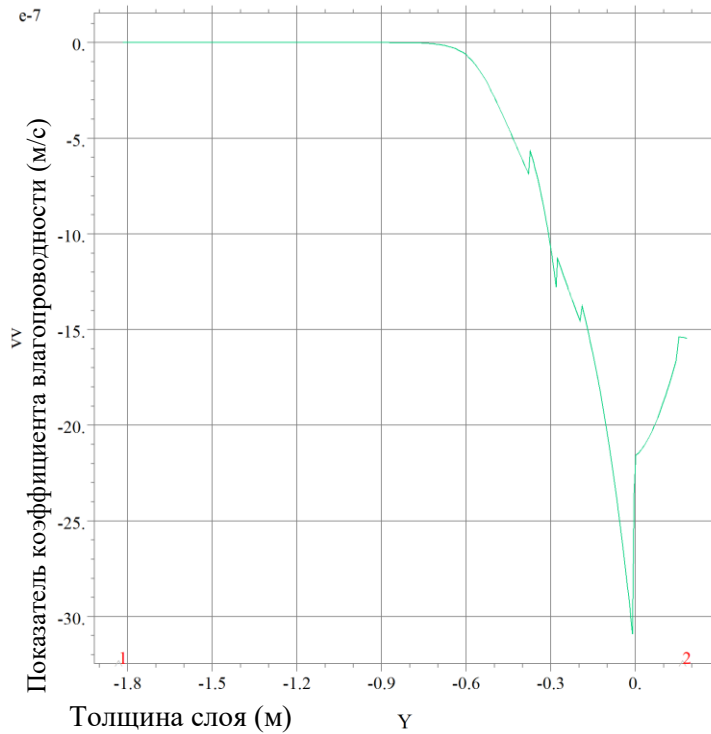


3: Cycle=19066 Time= 0.0385 dt= 4.2685e-6 p2 Nodes=1617 Cells=758 RMS Err= 1.7e-4  
Integral= 3.488792e-8

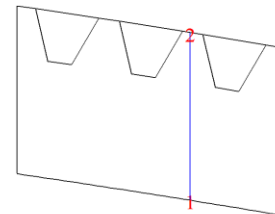
Рисунок 4.19 – График диффузивности при 0,385 суток

New Problem

19:37:24 3/1/12  
FlexPDE 5.0.8



vv  
from (L-d-d1/1.2-s/2, f\_x\_zz\_2(L-d-d1/1.2-s/  
to (L-d-d1/1.2-s/2,f\_x(L-d-d1/1.2-s/2))  
a: vv



3: Cycle=19066 Time= 0.0385 dt= 4.2685e-6 p2 Nodes=1617 Cells=758 RMS Err= 1.7e-4  
Integral= -1.025409e-6

Рисунок 4.20 – График коэффициента влагопроводности при 0,385 суток

Сопоставляя данные в рисунках 4.8 и 4.15, фиксируем удерживание влаги на склоне в разрыхленных промежутках, при этом она минимально диффузирует в окружающие не разрыхлённые слои почвы. Анализ векторного поля течения влаги в почве в момент времени 0,385 суток (рисунок 4.21) показал, что наполненность разрыхленной области на выделенном участке склона имеет равномерный повсеместный характер, что свидетельствует о необходимом влагонакоплении к заданному моменту времени.

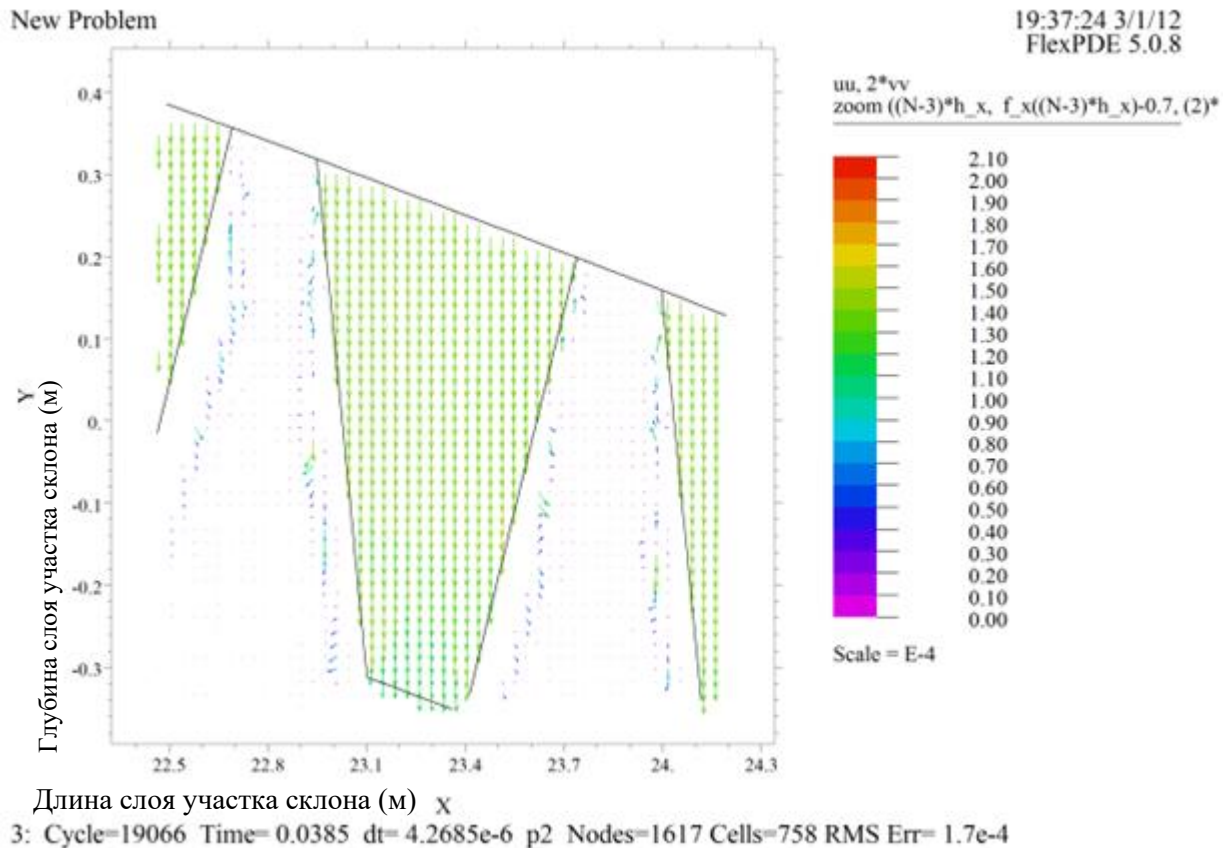


Рисунок 4.21 – Векторное поле течения влаги в почве при 0,385 суток

Сравнивая графики диффузивности и коэффициента влагопроводности внутрипочвенной стенки в момент времени 0,135 суток (рисунки 4.12 и 4.13) с моментом времени 0,385 суток (рисунки 4.19 и 4.20) видно, что их показатели снижаются до отрицательных значений. На глубине 0,3 м в толще внутрипочвенной стенки значение диффузивности и коэффициента влагопроводности при моменте времени 0,385 суток уменьшилось до нуля. Таким образом сформулированная гипотеза о том, что внутрипочвенная стенка является

преградой для движения внутрипочвенной влаги на склоне, имеет верификационное подтверждение.

Для следующего момента времени 1,0 сутки результаты расчетов влагосодержания приведены в рисунках 4.22 – 4.26. Анализ линий уровня влагосодержания в момент времени 1,0 сутки (рисунок 4.22) показывает, что движение влаги во внутрипочвенную стенку незначительное. Следовательно, накопленная внутрипочвенная влага в разрыхленных областях выделенного участка склона удерживается в них.

Векторное поле течения влаги в разрыхленном участке для момента времени 1,0 суток, представленное на рисунке 4.26 практически не отличается от векторного поля при моменте времени 0,385 суток (рисунок 4.21). Следовательно, удержанная влага осадков успешно профильтровалась в разрыхленные области выделенного участка и удерживается на протяжении суток.

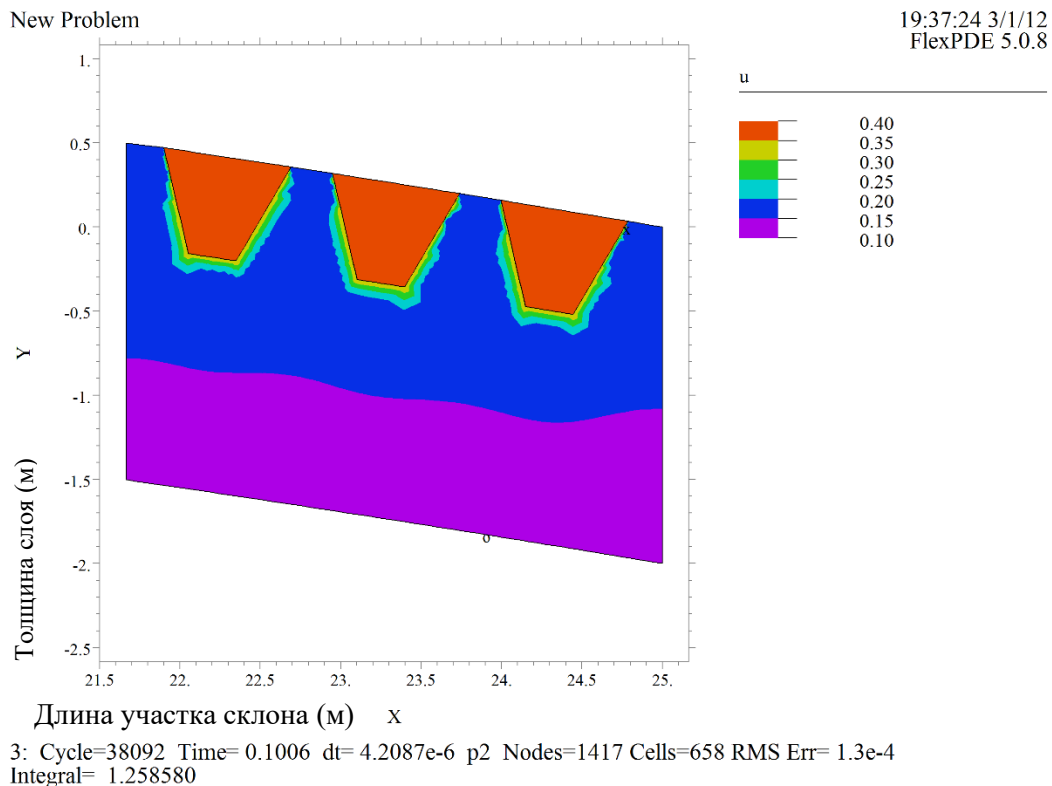


Рисунок 4.22 – Линии уровня влагосодержания при 1,0 сутки

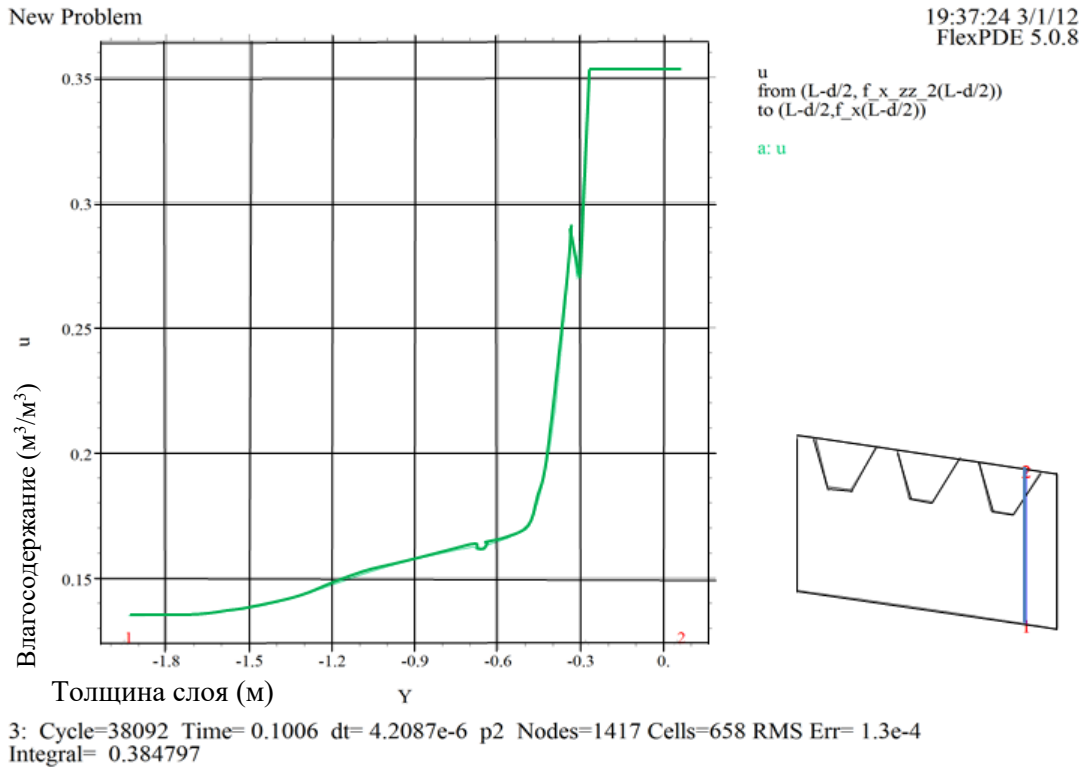


Рисунок 4.23 – График влагосодержания по линии разреза у края разрыхленного участка при 1,0 сутки

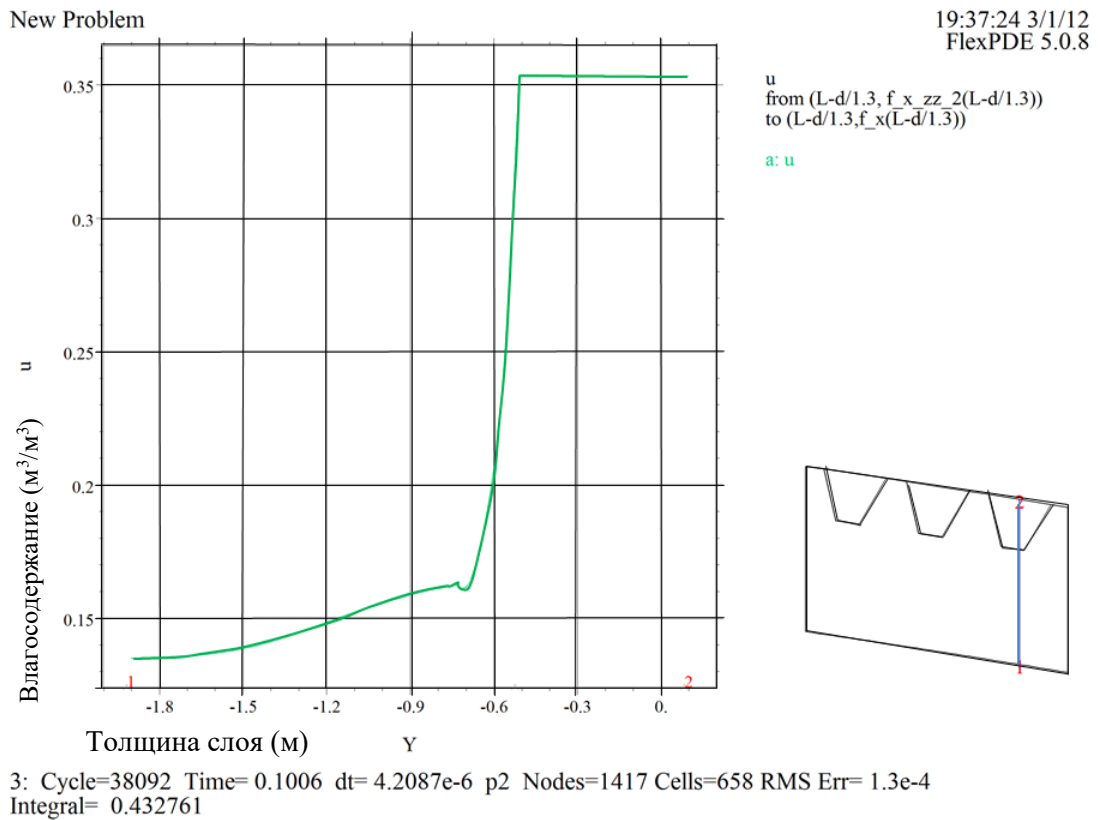


Рисунок 4.24 – График влагосодержания по линии разреза, расположенной по центру разрыхленного участка при 1,0 сутки

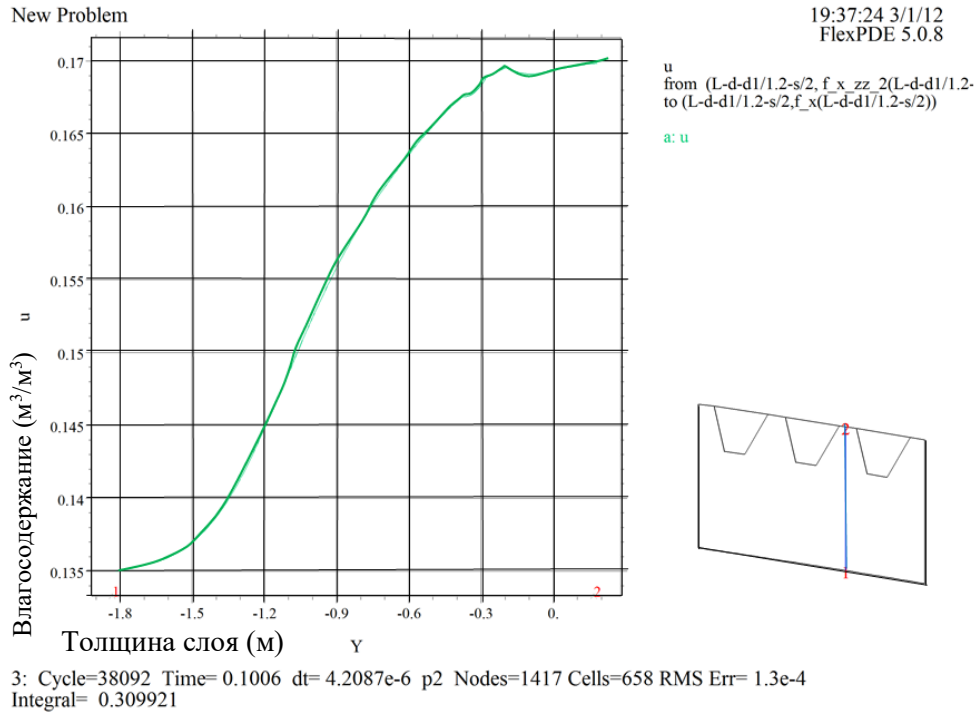


Рисунок 4.25 – График влагосодержания по линии разреза расположенной по центру уплотненной стенки при 1,0 сутки

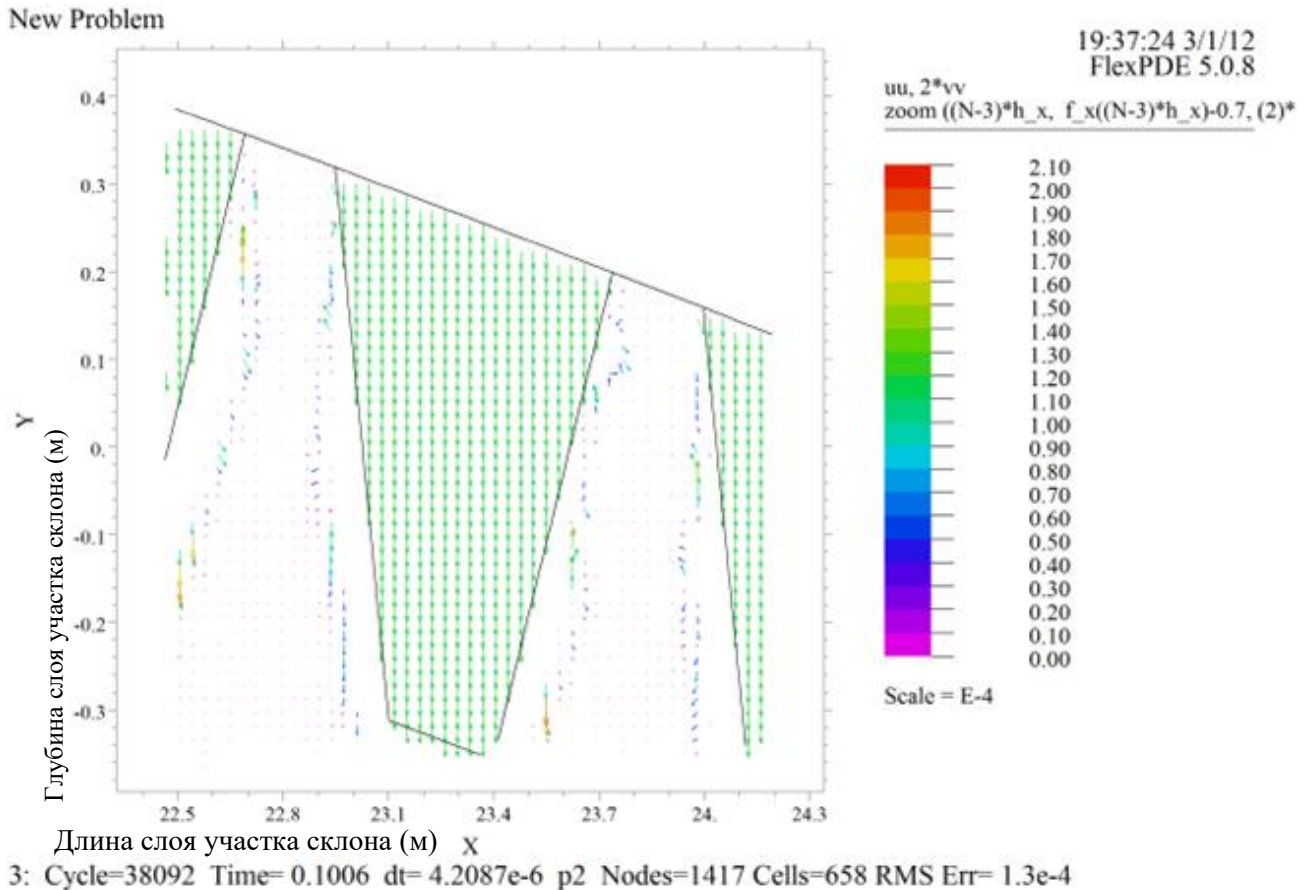


Рисунок 4.26 – Векторное поле течения влаги в почве при 1,0 сутки

Рассмотрим последний этап расчёта влагопроводности обработанного склона. Результаты расчетов для момента времени 2,0 суток показаны на рисунках 4.27 – 4.31. Изменение уровней влагосодержания на выделенном участке склона для момента времени 2,0 суток представлено в графике на рисунке 4.27. Представленные результаты расчёта влагопроводности обработанного склона почвы для момента времени 2,0 суток (рисунки 4.27 – 4.30) показывают, что внутрипочвенная влага удерживается в разрыхленных промежутках.

График значения влагосодержания по линии разреза, расположенной по центру разрыхленного участка при моменте времени 2,0 суток (рисунок 4.29), практически не отличается от графика влагосодержания по линии разреза, расположенной по центру разрыхленного участка в момент времени 1,0 сутки (рисунок 4.24).

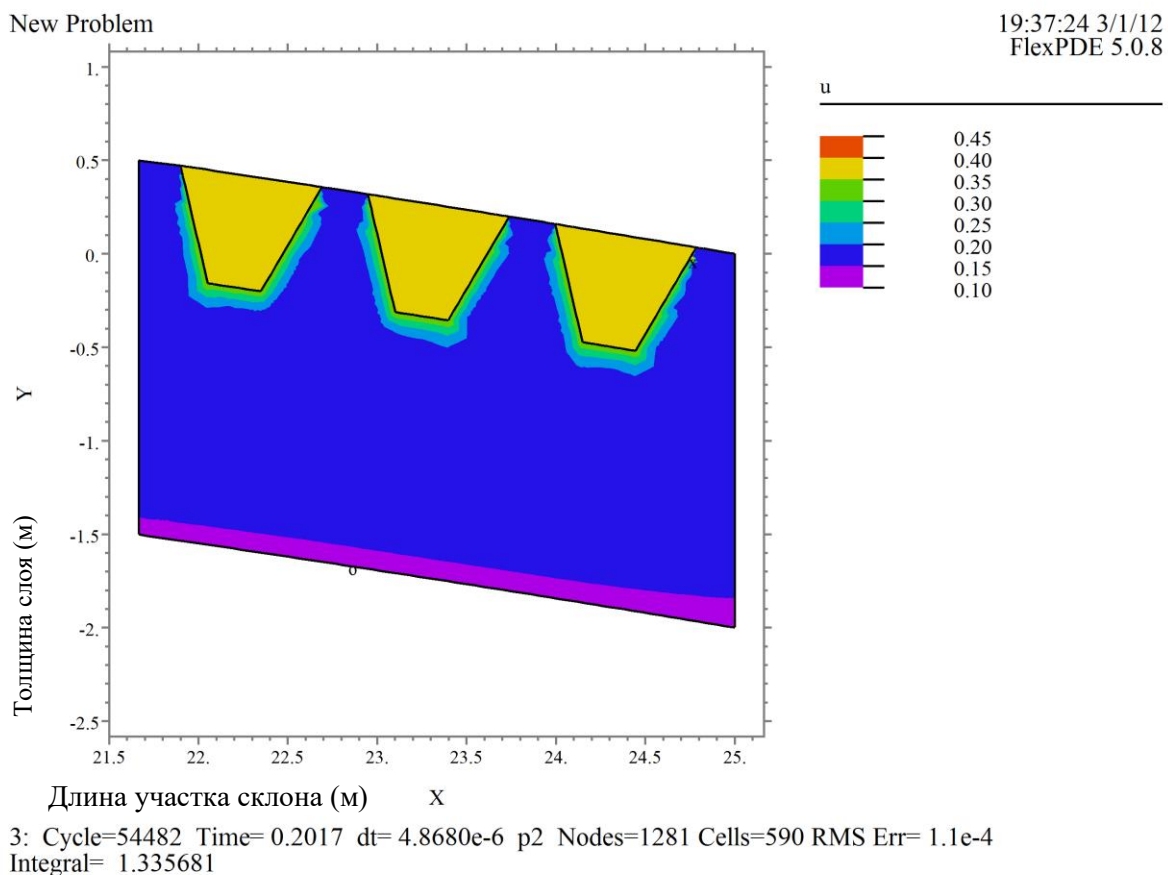


Рисунок 4.27 – Линии уровня влагосодержания при 2,0 суток

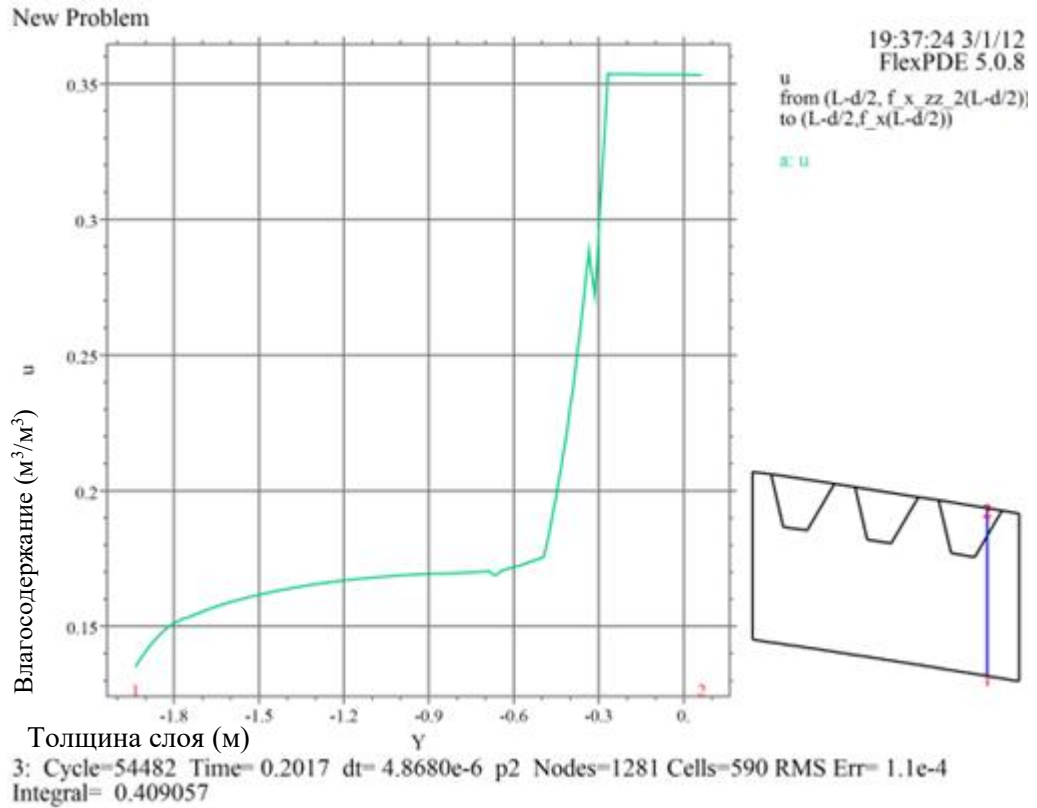


Рисунок 4.28 – График влагосодержания по линии разреза у края разрыхленного участка при 2,0 суток

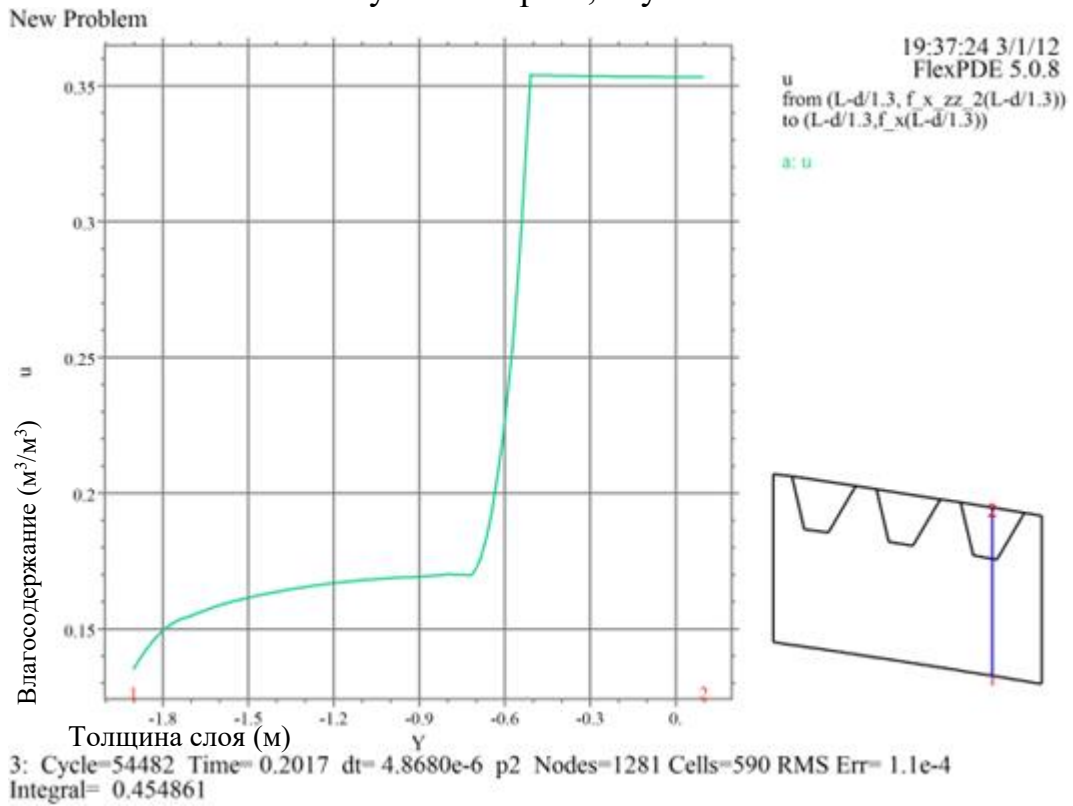


Рисунок 4.29 – График влагосодержания по линии разреза, расположенной по центру разрыхленного участка при 2,0 суток

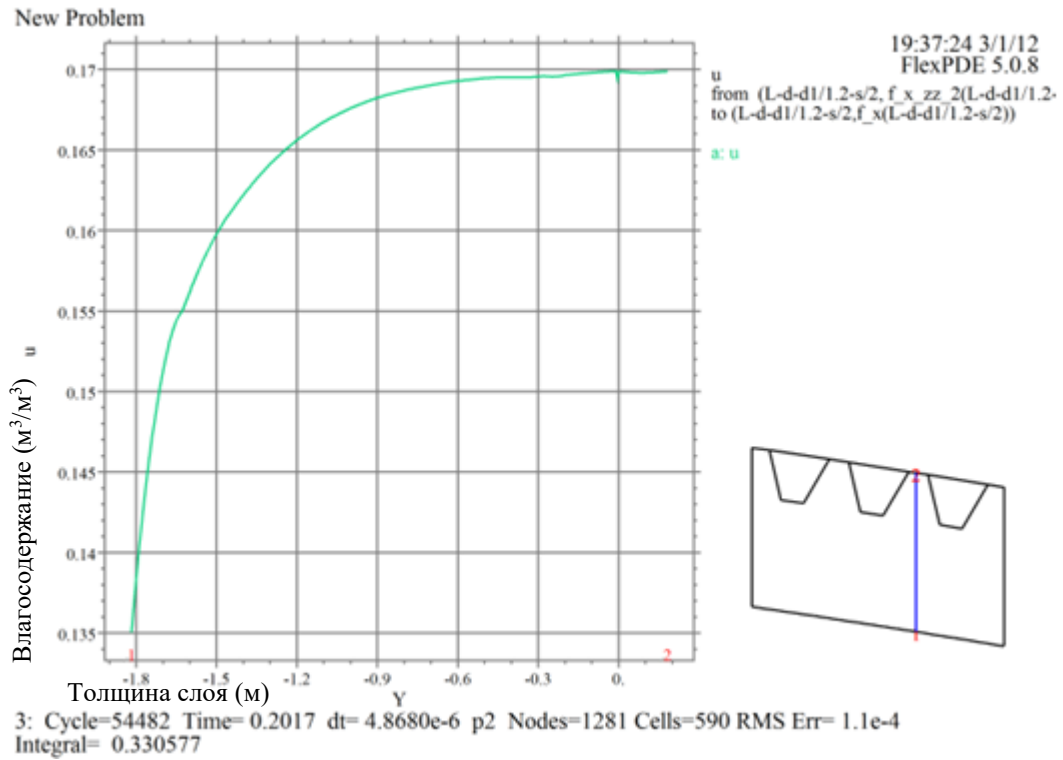


Рисунок 4.30 – График влагосодержания по линии разреза расположенной по центру уплотненной стенки при 2,0 суток

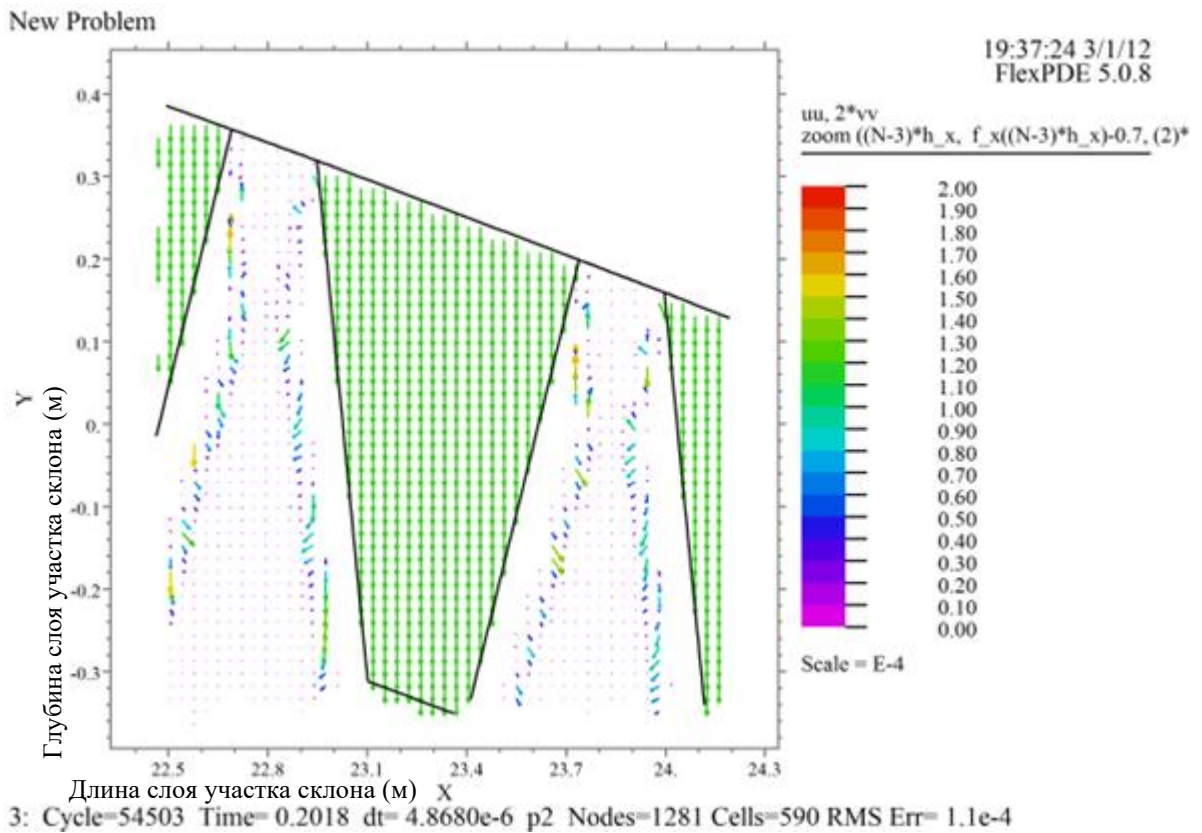


Рисунок 4.31 – Векторное поле течения влаги в почве при 2,0 суток

Спустя 2 суток после выпадения осадков интенсивностью  $I = 60$  мм/сут (расчётный период) происходит плавное влагонасыщение «целяка» (не разрыхленная область) глубиной до 1,4 м в размере  $0,15 - 0,20$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (рисунки 4.26 и 4.31). Разница во влагонасыщении «целяка» и разрыхленных областей выделенного участка склона по верхним значениям составляет более 50 %, что позволяет сделать заключение об аккумуляции внутрипочвенной влаги на склоне.

#### 4.5 Выводы

1. Создана математическая модель внутрипочвенного влагопереноса на склоне, обработанном новым мелиоративным способом, направленным на внутрипочвенное влагоудержание. Отличающаяся тем, что она позволяет определять параметры динамики влагопереноса такого обработанного слоя: коэффициенты диффузивности, влагопроводности и капиллярно-сорбционного потенциала, в исследуемом обработанном верхнем слое почвы глубиной 0,60 м с устроенными внутрипочвенными стенками, на базе глубокого рыхления. Данная модель разработана на базе уравнения Навье – Стокса для движения воды в пористой среде. В модели установлены граничные и начальные условия: начальное распределение влаги, краевое условие на границе почвы и воздуха.

2. Создана программа для решения краевой задачи динамики внутрипочвенного влагопереноса на обработанном склоне новым способом, с глубиной рыхления до 0,60 м рассчитываемая пакетом программ FlexPDE.

3. На основе полученных данных 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.

4. Разрыхленные области склона на протяжении 2 суток удерживают внутрипочвенную влагу в размере 0,40 – 0,45 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, что на 50 % больше, чем её содержание во внутрипочвенных стенках, что является подтверждением об аккумуляции внутрипочвенной влаги на склоне обработанным новым способом.

## **5 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДЕФОРМАТОРОВ КОМПЛЕКСА ОРУДИЙ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ**

В результате проведенного анализа текущей конъюнктуры по использованию техники и технологий по возделыванию переуплотнённых равнинных и склоновых земель в зоне неустойчивого увлажнения с дефицитным градиентом, возникает необходимость создания универсального почвообрабатывающего орудия без оборота пласта на глубину до 0,60 м. Это должно быть орудие глубокого безотвального рыхления, направленного на аккумуляцию внутрипочвенной влаги на равнинных и склоновых землях, а также для экономии оросительной воды на мелиорируемых полях. В качестве прототипа было выбрано орудие конструкции ЮЖНИИГиМ а.с. СССР № 1507220 А01В 35/26, так как оно рыхлило на глубину до 60 см. Однако, этот рыхлитель имел ряд недостатков, таких как неустойчивая глубина обработки, недостаточное качество разрыхления почвы. На его базе был создан комплекс глубокорыхлителей на что был получен патент на изобретение [145]. Система деформаторов нового рыхлителя должна обеспечивать более качественное крошение обрабатываемого 0,60 метрового слоя почвы как на равнинных, так и на склоновых участках, держать заданную глубину обработки, исключить вынос нижележащих слоёв почвы на поверхность. Вместе с тем на склоновых участках необходимо устройство оптимальной формы поперечного профиля разуплотнённого участка, для лучшей аккумуляции влаги на склоне.

### **5.1 Обоснование формы профиля стойки глубокорыхлителя**

Поставленная задача требует детального обоснования формы системы деформаторов стоек нового глубокорыхлителя. В результате проведенных

исследований [70, 88, 89, 104, 121], был сделан вывод о том, что форма стойки глубокорыхлителя в поперечной проекции должна оставаться не сглаженной – ломаной, как на прототипе. Это необходимо для повышения качества крошения разуплотняемого пласта. Почва на глубине 30 – 60 см зачастую имеет очень высокую плотность 1,9 – 2,2 г/см<sup>3</sup>, 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 неразрушение отдельных больших кусков и выворот на дневную поверхность этих больших глыб из сверхпереплотнённой 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 (рисунок 5.1).

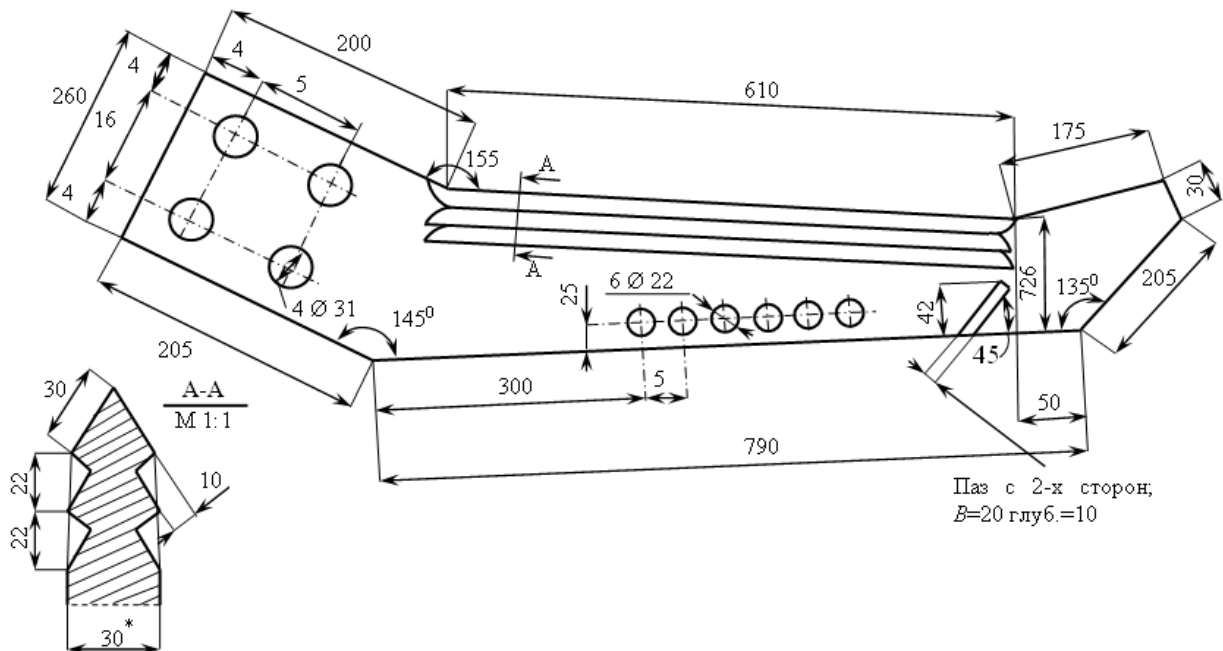


Рисунок 5.1 – Схема стойки глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М

Исходя из этого нами предлагается технологически доработанная стойка для навесного глубокорыхлителя чизельного типа с ломаным профилем (рисунок 5.1) [104, 131, 144].

## **5.2 Обоснование параметров вертикального элемента системы деформаторов стойки глубокорыхлителя**

В процессе рыхления первая часть, которая первой задействована в процессе – это наральник. Практически у всех глубокорыхлителей он имеет форму долота. При этом, существующие глубокорыхлители, рыхлящие на глубину до 60 см, имеют не широкое распространение на отечественном рынке. Наиболее распространенный зарубежом "John Deere" также имеет наральник в виде классического долота. Такая форма наральника является очень энергозатратной – резко повышается тяговое сопротивление при рыхлении почвы, а при увеличении глубины обработки с 45 см до 60 см это сопротивление возрастает практически в геометрической прогрессии. С другой стороны, согласно теории резания грунта – резание грунтов долотом позволяет получать стружку, которая наползает по фронтальной плоскости долота, что не является для нас необходимым критерием [128, 129, 131]. Считается, что процесс крошения рыхлителями обрабатываемого пласта почвы происходит как часть процесса стружкообразования. Исходя из этого В.П. Горячкин предложил модель процесса стружкообразования и деформации почвы клином в общем случае (рисунок 5.2): «Вначале клин сминает площадку  $cbd$ , а затем образуется трещина  $df$  под углом  $\Psi = \pi/2 - (\alpha + \varphi + \varphi')/3$ , где:  $\varphi$  – угол внешнего трения пласта по поверхности клина, а  $\varphi'$  – угол внутреннего трения [46, 144, 145]. Согласно подробным исследованиям стружкообразования при резании клином

Г.Н. Синеоковым были предложены уточнённые модели процесса резания почвы [88, 178]. Он дифференцировал обрабатываемую среду на:

- 1) малосвязная – рисунок 5.2;
- 2) связные суглинистые и глинистые почвы, составляющие большинство используемых в сельском хозяйстве почв – рисунок 5.3 [88, 187].

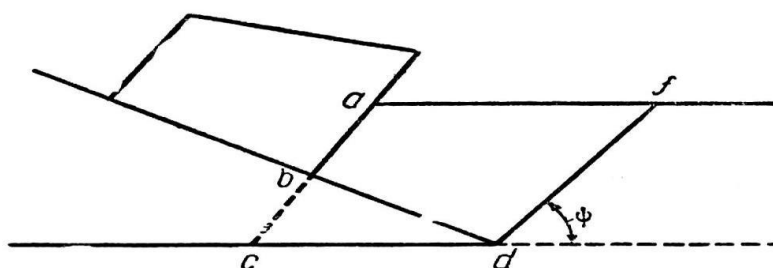


Рисунок 5.2 – Модель деформации почвы клином (общий случай)

по В.П. Горячкину

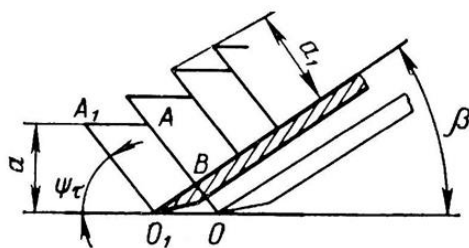


Рисунок 5.3 – Деформация малосвязной почвы под действием клина по Г.Н. Синеокову и И.М. Панову

Необходимо отметить, что показанные на рисунках 5.3 и 5.4 процессы деформации почвы характерны для чизельных, лаповых рыхлителей и плоскорезов [97, 98, 138, 186].

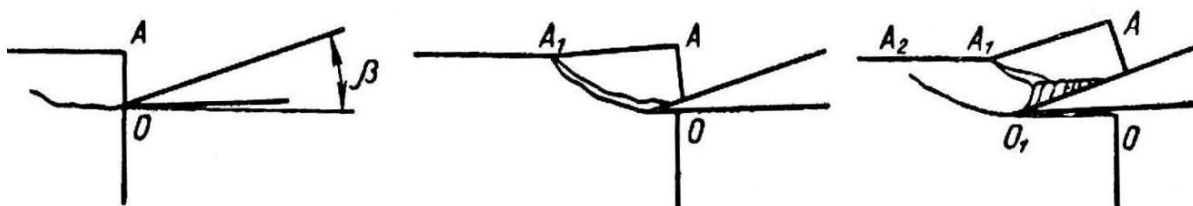


Рисунок 5.4 – Деформация связной почвы под действием клина по

Г.Н. Синеокову и И.М. Панову

Однако, по результатам детальных анализов [121], в действительности вначале может происходить серия сдвигов почвы, не достигающих дневной поверхности стружки, которая может быть названа «фаза предварительной серии сдвигов». Сдвиг может сопровождаться расширением трещины (взаимным разделением поверхностей трещины) – «стружкообразование отрывом». Однако,

реально, до момента отрыва происходит серия сдвигов, что видно на увеличенных фрагментах стружек. Эти мини-сдвиги до момента расширения основной трещины выглядят и трактуются многими авторами как смятие почвы.

Таким образом, отрыв и сдвиг можно считать одним процессом с периодическим преобладанием различных форм стружкообразования. На предложенной модели В.И. Ветохиным [39] (рисунок 5.5) наглядно показано, что подрезаемый пласт почвы фрагментируется на куски, которые «выскальзывают» (выдавливаются) в сторону своей ближайшей свободной поверхности. Такой свободной поверхностью прежде всего является задняя поверхность элемента стружки.

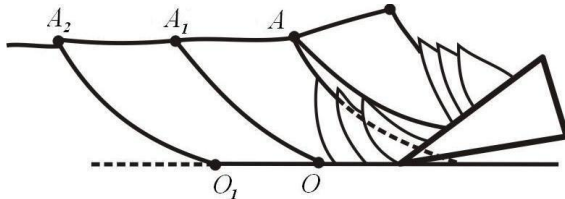


Рисунок 5.5 – Модель деформации связной почвы под действием клина по В.И. Ветохину

Когда условия выскальзывания в сторону этой поверхности и дневной поверхности уравниваются, происходит образование «опережающей трещины» и сдвиг или скальвание элемента стружки в сторону поверхности поля.

При такой трактовке процесса объяснима причина поворота элемента стружки вокруг точки  $A$  ( $A_1$ ) на поверхности поля, то есть серия мини-сдвигов образует клинья из почвы подклинивающих и поворачивающих элемент стружки  $OAA_1$  ( $O_1A_1A_2$ ). Нередко расклинивающее действие микросдвигов приводит к расширению трещин на поверхности поля и отделение более крупных глыб, что трактуется некоторыми авторами как «отделение пласта сколом». Таким образом, объясняется работа чизельного рыхлителя на глубине 35 – 40 см. При этом количество фракции почвы менее 50 мм может составлять более 50 % и при работе на глубине 20 – 40 см размер почвенных глыб должен составлять размер не менее глубины обработки [89].

Однако, в результате проведенных натурных исследований [97, 98] было установлено, что при рыхлении глубокорыхлителями чизельного типа на глубину

от 50 см до 60 см стойками, оборудованными стандартного вида наральниками возникают большие тяговые сопротивления величиной 65 – 70 кН и более. Так как при рыхлении, из всей системы деформаторов орудия, первым с почвой задействуется наральник и, если он имеет классическую форму, согласно вышеприведенным исследованиям, он будет производить стружку в виде «отделения пласта сколом», так как рыхление производится в связном грунте. При этом сколотая часть пласта скользит по передней плоскости долота и при этом должна «выскальзывать» (выдавливаться) в сторону своей ближайшей свободной (дневной) поверхности поля – линия  $AA_2$ , рисунок 5.5. Но линия  $AA_2$  не является внешней, так как при рыхлении на глубину 50 см и более деформационные кривые  $OA_1$ ,  $O_1A_2$  диссипатируют в толще разуплотняемого слоя почвы, следовательно происходит несколько другая картина деформационного развития разрыхляемого слоя. Возникает процесс вдавливания образованных клиньев из почвы подклинивающихся и поворачивающихся элементов стружки  $OAA_1$  ( $O_1A_1A_2$ ) в лежащий выше линии  $AA_2$  слой почвы – этот процесс затрачивает дополнительную энергию, что ведёт к увеличению тяговых сопротивлений. Также происходит дополнительная затрата тягового усилия на скольжение сколотых клиньев по передней поверхности стандартного долота.

Анализ известных положений и собственные исследования позволяют уточнить картину взаимодействия наральника глубокорыхлителя с переуплотненной почвой. Это возможно при следующих допущениях:

- 1) влажность почвы в период обработки находится в пределах 18 – 22 %;
- 2) почва рассматривается как связная сплошная среда;
- 3) разрушение почвенного пласта одновременно происходит в двух вертикальных продольно и поперечно расположенных плоскостях;
- 4) толщина деформируемого пласта не превышает 45 сантиметров.

Последнее допущение полностью меняет картину взаимодействия при глубине обработки более 50 сантиметров.

При классической плоской форме он будет производить стружку в виде «отделения пласта сколом» (рисунок 5.5). 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 (рисунок 5.6), поскольку при рыхлении на глубину более 45 сантиметров деформационные кривые  $OA_1$ ,  $O_1A_2$  диссипатируют в толще разуплотняемого слоя почвы на глубине  $h$ ,  $h'$ . Следовательно, наблюдается несколько другая 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  $h$ ,  $h'$ . Такое взаимодействие наральника с почвой на глубине более 50 сантиметров требует значительно большей энергии, что ведёт соответственно и к увеличению тяговых сопротивлений (рисунок 5.6). Отметим, что глубина залегания  $h_i$  точек поворота элементов стружки  $A'$ ,  $A$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  зависит в том числе и от механического состава разуплотняемой почвы [129].

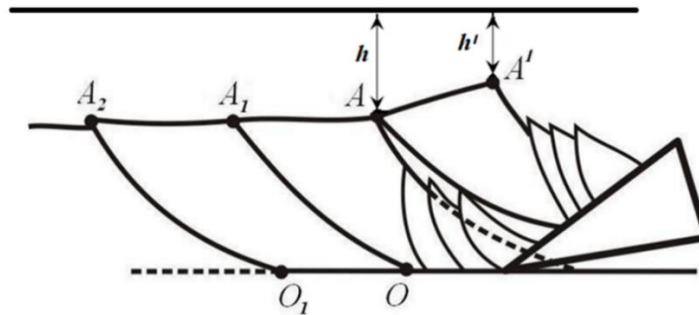


Рисунок 5.6 – Вид модели деформации пласта связной почвы под действием клина на глубине 50 см

Граненная поверхность наральника помимо снижения тяговых сопротивлений позволяет одновременно повысить эффективность рыхления переуплотненной почвы. Возникновение деформационных трещин в

разрыхляемом слое, возникающих от воздействия классического плоского и экспериментального многогранного наральника схематично показано на рисунке 5.7 [91, 129, 130].

В условиях сплошной среды – переуплотнённый пласт почвы, глубиной более 50 см будет иметь большую пригрузку, отсюда минимизируется необходимость в скольжении подрезаемого пласта по наральнику.

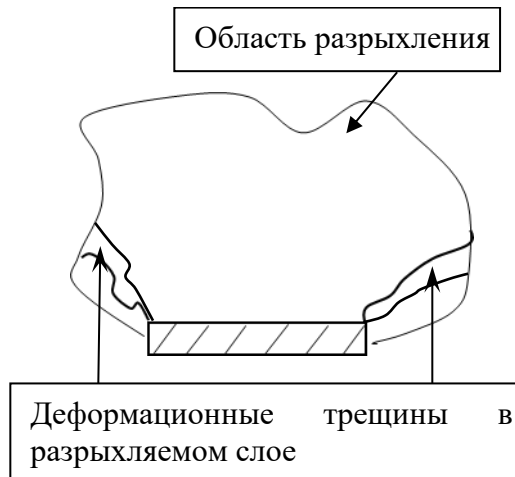


Рисунок 5.7а – Вид области разрыхления от плоского наральника (долота)

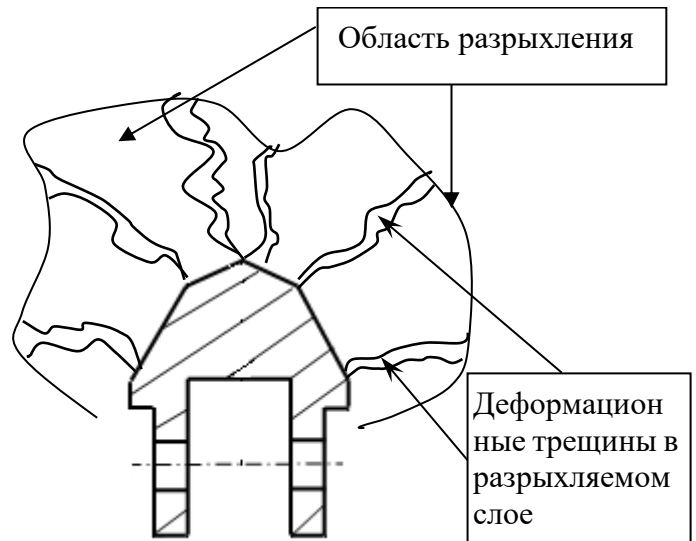


Рисунок 5.7б – Вид области разрыхления от инновационного наральника

### Рисунок 5.7 – Схема образования деформационных трещин

В условиях глубокого рыхления главным технологическим требованием является необходимость на глубине 45 – 60 см, производить качественное объемное разуплотнение почвы. Это достигается за счет создания дополнительных трещин в разуплотняемом слое путем раскалывания пласта на отдельные куски, которые, пытаясь проскользнуть вверх по наклонной фронтальной плоскости почвоподъёмника дополнительно крошатся, вступая во взаимодействие с его острыми гранями, а не скользят по гладкой поверхности плоских наральников. Таким образом, каждая грань передней части экспериментального наральника представляет собой концентратор напряжений. Это позволяет получить увеличение в среднем, в 2 – 3 раза количество

деформационных трещин, что также способствует снижению тягового сопротивления, при обработке почвы [121, 129].

Исходя из изложенного нами был спроектирован наральник с заострённой носовой частью и гранённой поверхностью атаки, как показано на рисунке 5.8. Поперечная проекция наральника, выполняющего функцию долота, имеет форму трапеции с четырьмя наклонными гранями, из которых передние две грани образуют тупой угол от  $120^{\circ}$  до  $170^{\circ}$ . Применяя наральники инновационной формы – с заострённой носовой частью и гранённой поверхностью атаки, как показано на рисунке 6, вместо обычного долота, происходит снижение тягового сопротивления – до 53 – 57 кН.

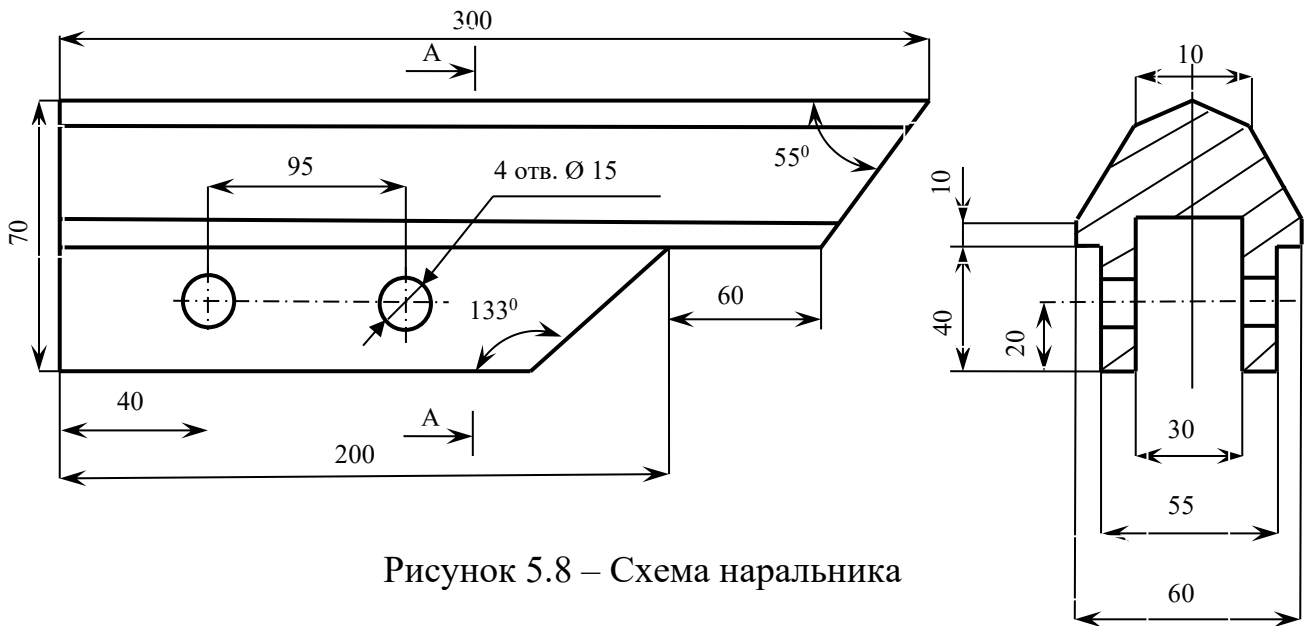


Рисунок 5.8 – Схема наральника

Предложенная форма наральника проектировалась с использованием методики определения тяговых сопротивлений, возникающих от воздействия грани глубокорыхлителя с почвой при криволинейной поверхности призме обрушения (формула 5.1) [46, 49, 104]:

$$P_{Ph} = \gamma \cdot h \cdot \lambda_{Ph\phi} + \frac{c}{\operatorname{tg}\phi} (\lambda_{Phc} - 1), \text{кПа} \left( \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \right), \quad (5.1)$$

где:  $\lambda_{Ph\phi} = f_1(\phi_1 \phi_S)$  – эмпирический коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления грунта (формула 5.2) [46, 49, 104]:

$$\lambda_{\text{Ph}\varphi} = f(\varphi, \varphi_s) = c_0 + c_1\varphi + c_2\varphi^2; R = 0,951 \text{ (при } \varphi_s = \varphi), \varphi \in [15^0, 30^0]; \text{ (5.2)}$$

где:  $\lambda_{\text{Phc}} = + \text{tg}30 \text{ tg}\varphi_s$  – эмпирический коэффициент;

$\gamma$  – расчетное значение внутреннего угла трения, град.;

$\varphi_s$  – угол трения грунта по плоскости рабочего органа;

$\varphi$  – угол наклона воздействующей грани системы деформаторов рабочего органа с почвой;

$C$  – расчетное значение удельного сцепления.

Таким образом доказано, что на глубокорыхлителях чизельного типа рыхлящих переуплотненную почву на глубине более 45 см целесообразно использовать вместо обычного долота разработанный инновационный наральник с гранённой поверхностью атаки. Поперечная проекция наральника, выполняющего функцию долота, имеет форму трапеции с четырьмя наклонными гранями, из которых передние две грани образуют тупой угол от  $120^0$  до  $170^0$ .

### **5.3 Обоснование и исследование уточнённой формы и размеров горизонтальных элементов системы деформаторов стойки глубокорыхлителя**

Для улучшения качества крошения обрабатываемого пласта почвы необходимо установить дополнительные рыхлящие элементы в систему деформаторов стойки глубокорыхлителя. Этими элементами являются наклонные пластины (почвоподъёмники).

Процесс разуплотнения обрабатываемого пласта почвы происходит согласно предложенной модели В.И. Ветохиным [38], показанной на рисунке 5.5. На схеме показано, что почва как бы выдавливается в сторону своей ближайшей свободной поверхности. В первую очередь такой свободной поверхностью будет

задняя поверхность элемента стружки. В момент выравнивания условий выскальзывания в сторону этой поверхности и дневной поверхности, возникает так называемая «опережающая трещина» и сдвиг или скалывание элемента стружки в сторону поверхности поля. В данной интерпретации процесса эволюции деформаций объяснима этиология серии мини-сдвигов, которые образуют клинья из почвы подклинивающих и поворачивающих элемент стружки  $OAA_1$  ( $O_1 A_1A_2$ ). Зачастую расклинивающее действие микросдвигов приводит к расширению трещин на поверхности поля и отделение более крупных глыб, это явление трактуется исследователями как «отделение пласта сколом» [47].

На основании вышеизложенного, установленный на стойке глубокорыхлителя на глубине 45 см по общей вертикали почвоподъёмник подрезает пласт почвы, и он скользит вверх по его плоскости, получая деформации, что приводит к кускованию переуплотнённого слоя. При достижении подрезанным пластом верхней кромки почвоподъёмника, он обрушается, что дополнительно приводит к разрушению его переуплотнённых кусков.

С целью увеличения ширины области разрыхления в поперечной проекции и качественного крошения в ней почвы необходимо установить на стойку дополнительные элементы перпендикулярно плоскости стойки глубокорыхлителя, расположенной вертикально, на высоте 15 см от носка наральника по общей вертикали. Эти дополнительные элементы должны быть разработаны таким образом, чтобы их форма обеспечивала требуемые параметры рыхления. Рассмотрены в первом приближении прочностные характеристики, учитывая форму и расположение дополнительных элементов системы деформаторов стойки глубокорыхлителя – почвоподъёмников.

Принимаем к исследованию почвоподъёмники как наклонные изометричные пластины, постоянного профиля, жёстко закреплённые к

вертикальной стенке (консоли), размер которых  $L \times h \times b = 235,0 \times 70,0 \times (5,0 \text{ и } 7,0)$  мм, выполненных из стали С245 (Ст3) (рисунок 5.9) [128].

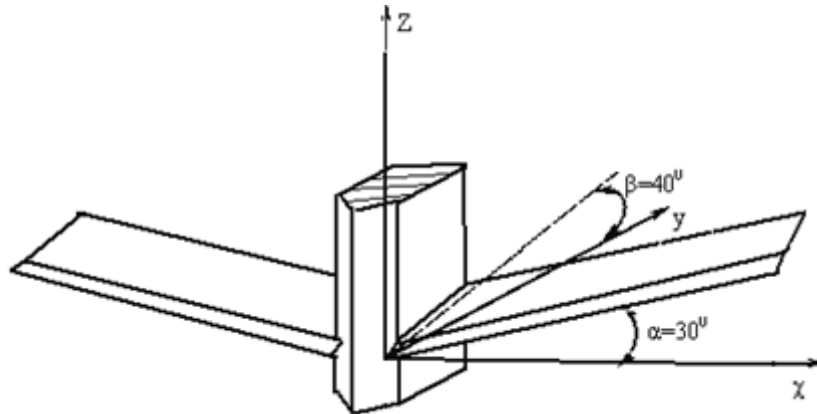


Рисунок 5.9 – Схема расположения прототипа грунтоподъёмников на стойке

С помощью программно – вычислительного комплекса Structure CAD (SCAD) проведён анализ их напряжённо – деформированного состояния. Варианты нагружения, учитывающиеся в разрабатываемой расчётной модели показаны на рисунке 5.9.

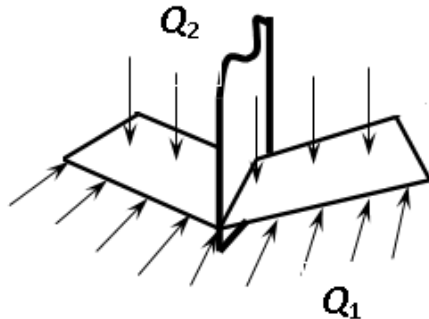


Рисунок 5.10 – Схема примерного нагружения наклонных пластин

Где  $Q_1 = 60 \text{ кН/м}^2$  – фронтальная (распределённая) нагрузка (горизонтальная, сопротивление среды), а  $Q_2 = 10 \text{ кН/м}^2$  – вертикальная (распределённая) нагрузка, действующая на всю поверхность пластин (пригрузка).

Использование почвоподъёмных пластин в виде, представленном на рисунке 5.8 не целесообразно, так как будет происходить налипание почвы в месте их закрепления – между стойкой и плоскостью почвоподъёмной пластины с её верхней стороны. Поэтому необходим вырез, обозначенный углом  $\varphi$  ( $30^0 - 50^0$ ) на рисунке 4.27. Этот вырез на медиальных сторонах почвоподъёмных пластин – почвоподъёмников будет способствовать «проваливанию» набегающего пласта почвы. Такая конфигурация обеспечит отсутствие

образования «почвенного клина» – налипания почвы в углу, между стойкой и рабочей плоскостью. Следовательно, почвоподъёмники будут иметь форму в виде трапеции, у которой наклонная сторона расположена на внутренней стороне, обращённой к стойке, длина основания, по передней части двух грунтоподъёмников вместе с толщиной стойки 80 см. Ширина почвоподъёмника по наружной стороне равна  $2/3$  его длины, ширина по внутренней стороне почвоподъёмника имеет половину его длины (рисунок 5.11). Грань  $ABE$  почвоподъёмника является внутренней (медиальной) и прилежит к стойке орудия [113, 115, 128, 144]. Исходя из того, что рыхление должно происходить на глубину до 60 см, то дополнительные рыхлящие элементы системы деформаторов стойки глубокорыхлителя, расположенные перпендикулярно вертикальной продольной оси стойки, будут испытывать значительные давление разрыхляемой среды и пригрузку, металлические пластины установлены по бокам стойки под углом  $40^{\circ} - 50^{\circ}$  к горизонту.

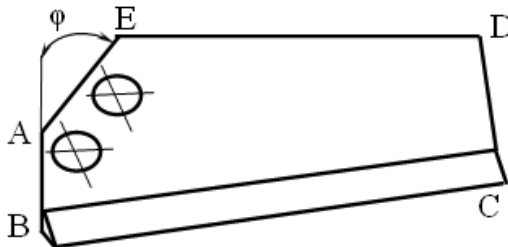


Рисунок 5.11 – Общий вид почвоподъёмника (правый)

Крепится каждый почвоподъёмник двумя винтами под потай к крепёжной лапе, приваренной к стойке глубокорыхлителя сзади. Длина пластины во фронтальной проекции по общей горизонтали 160 мм – грань  $BC$  на рисунке 5.11.

Почвоподъёмники с толщиной 5 мм принимаем как минимальное значение толщины, при которой прочность почвоподъёмников будет обеспеченной.

У почвоподъёмников с предложенной формой и конечными размерами, расположенными как показано на рисунке 5.12, требовалось провести поверочный анализ их напряжённо – деформированного состояния также с использованием программно – вычислительного комплекса Structure CAD (SCAD), приложения 3.1 и 3.2.

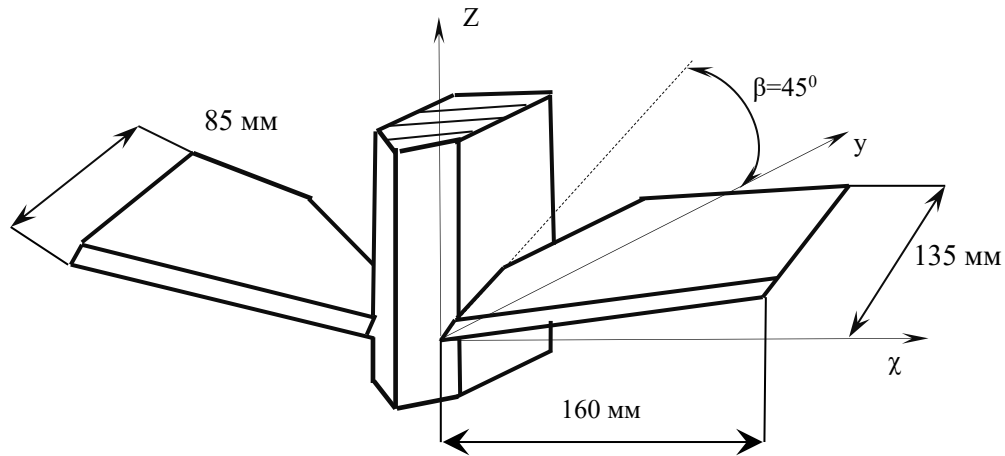


Рисунок 5.12 – Схема общего вида с размерами фигурных почвоподъёмников для постановки расчётной схемы

В постановке численного расчёта, прежде всего, преследовалась цель установления адекватности твердотельной модели: напряжённо – деформированного состояния изотропных наклонных фигурных почвоподъёмников в виде стальных пластин из стали С245 (Ст3), имеющих медиальные вырезы, в двух вариантах толщин  $\delta_1 = 5$  мм,  $\delta_2 = 7$  мм, постоянного сечения с жёстким защемлением по медиальной части (рисунок 5.11) [127]. Для этого было проведено конечно-элементное моделирование с учётом статических и динамических нагрузок. Вариант нагружения принимаем как на рисунке 5.10.

Расчёт напряженно-деформированного состояния предполагал построение адекватной расчётной модели при различных эксплуатационных параметрах. Число элементов и число узлов ансамбля, соответственно, составило 104 и 132. Кодирование исходной информации осуществлялось в терминах метода приращений с учётом фрагментального представления наклонных фигурных почвоподъёмников в виде объектов простой геометрической формы – пластинок (рисунок 5.13).

Проведён расчёт различных напряжённо-деформированных состояний наклонных изотропных фигурных почвоподъёмников в виде изотропных пластин прямого профиля, постоянного сечения симметрично расположенных на стойке

с заземленными медиальными краями постоянного сечения одинаковой жёсткости, нескольких случаев по толщине в зависимости от прочностных свойств материала при стандартных условиях их работы в упругой зоне материала, при максимальном напоре (сопротивлении разрыхляемого пласта почвы).

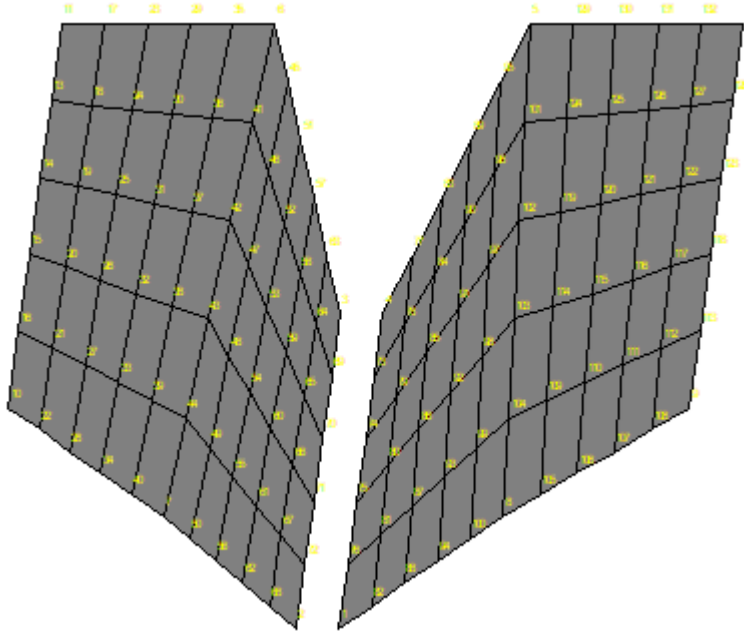


Рисунок 5.13 – Конечно-элементная модель для расчёта

Результаты проведенных исследований напряженно-деформированного состояния наклонных однородных стальных фигурных почвоподъемников с медиальными вырезами, прямого профиля, имеющих конечные размеры, симметрично расположенные на стойке рабочего органа глубокорыхлителя при толщине материала  $\delta_1 = 5$  мм представлены на рисунках 5.14 – 5.17, приложение 3.1. Эпюра распределения суммарных деформаций по наклонным инновационным почвоподъемникам при толщине материала  $\delta_1 = 5$  мм представлена на рисунке 5.14.

На представленной эпюре суммарных деформаций фиксируется их отсутствие в зоне закрепления почвоподъемников к стойке. Обработка полученных результатов моделирования наклонных инновационных почвоподъемников прямого профиля толщиной  $\delta_1 = 5$  мм (рисунок 5.14)

показала, что при их нагружении данными расчётными нагрузками они испытывают деформации, которые однозначно не выходят из упругой зоны материала.

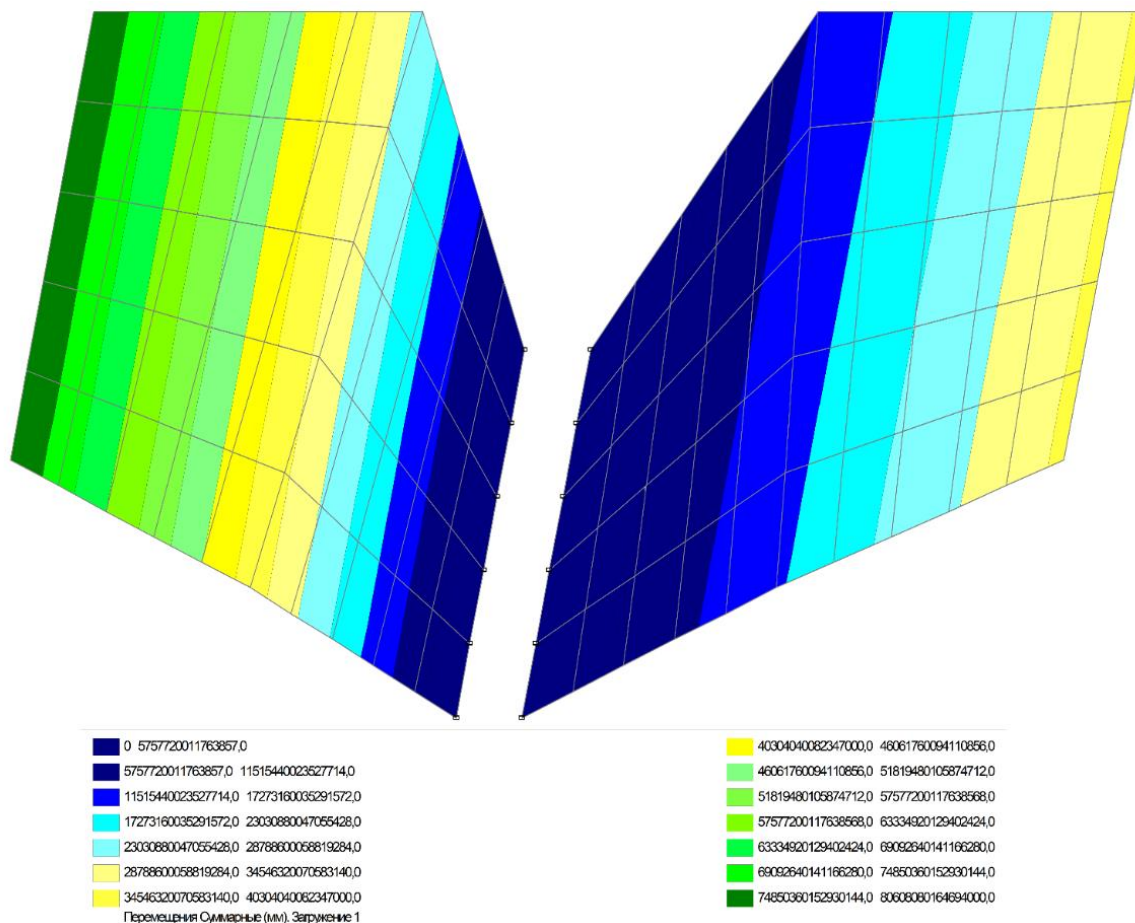


Рисунок 5.14 – Эпюра суммарных деформаций при толщине  $\delta_1 = 5,0$  мм

Приведены на рисунке 5.15 результаты проверочного анализа распределения напряжений относительно оси  $\chi$  в наклонных изометрических инновационных почвоподъёмниках возникающих от воздействия расчётных нагрузок. Напряжения относительно оси  $\chi$  имеют не симметричный рисунок распределения по поверхности материала.

Результаты численного эксперимента по распределению напряжений в наклонных почвоподъёмниках, возникающих от прилагаемых расчётных нагрузок, толщиной  $\delta_1 = 5$  мм, показали, что величина напряжений в большинстве участков незначительна (рисунок 5.15).

В сравнении с эпюрами распределения напряжений у наклонных пластин толщиной  $\delta_1 = 5$  мм наблюдается тенденция к не симметричному распределению по поверхности инновационных почвоподъёмников. Следовательно, технологический вырез на заднем крае почвоподъёмников и учтённые отверстия под патой для их крепления были скомпенсированы уменьшением длины вылета консоли, что положительно повлияло на их прочностные характеристики.

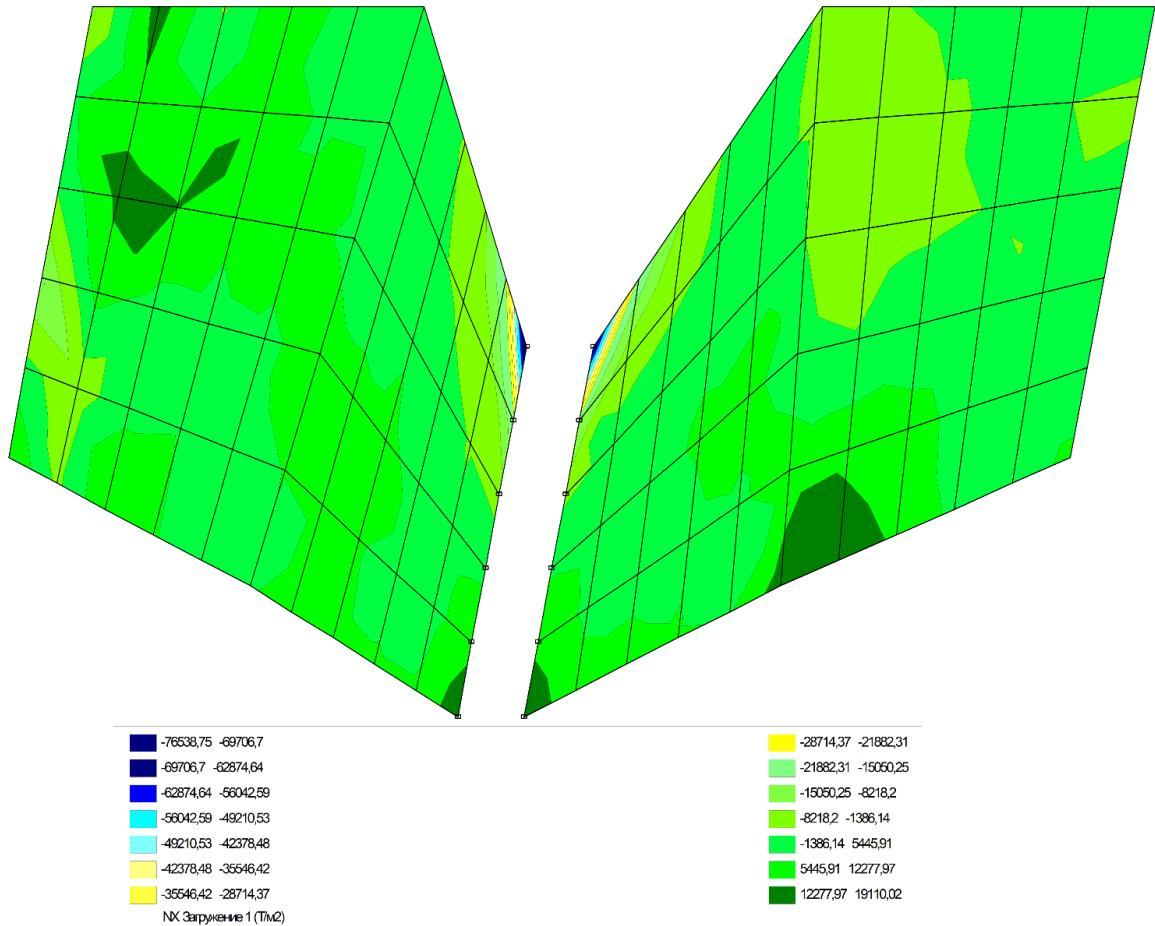


Рисунок 5.15 – Эпюра напряжения в инновационных почвоподъёмниках относительно оси  $\chi$  при толщине  $\delta_1 = 5$  мм

Покажем результаты численного эксперимента напряженно-деформированного состояния наклонных стальных инновационных почвоподъёмников прямого профиля, имеющих конечные размеры, симметрично расположенных на стойке рабочего органа глубокорыхлителя при увеличении

толщины материала до  $\delta_2 = 7,0$  мм. Численные значения результатов расчёта представлены в приложении 3.2.

Полученные результаты по возникающим суммарным деформациям и их распределению по поверхности почвоподъёмников при данной толщине материала представлены на рисунке 5.16.

На представленной эпюре суммарных деформаций (рисунок 5.16) фиксируется их отсутствие в зоне закрепления почвоподъёмников к стойке также как при их толщине  $\delta_1 = 5,0$  мм. При этом наблюдается достаточно незначительное снижение численных значений, по сравнению с наклонными инновационными почвоподъёмниками толщиной 5 мм, представленные на рисунке 5.14.

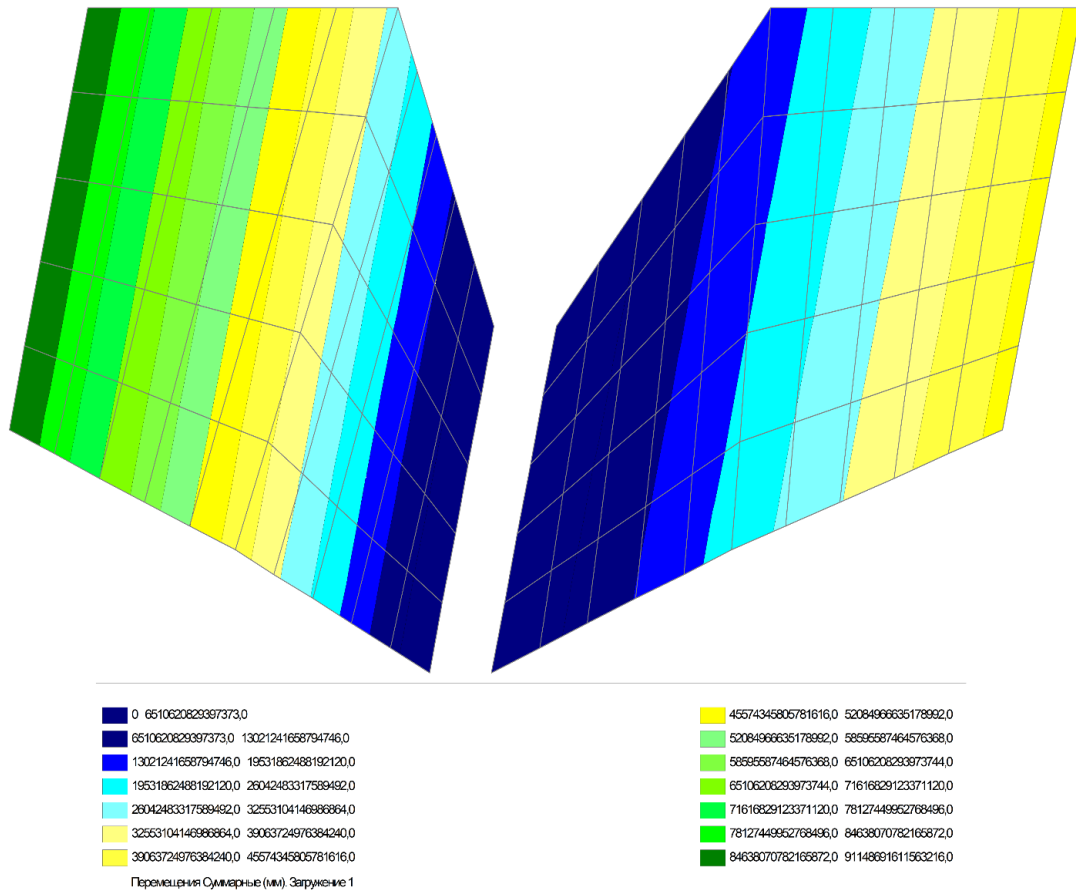


Рисунок 5.16 – Эпюра суммарных деформаций в инновационных почвоподъёмниках при их толщине  $\delta_2 = 7,0$  мм

Результаты исследования распределения напряжений в наклонных изометрических инновационных почвоподъёмниках возникающих от воздействия расчётных нагрузок показаны в рисунке 5.17. Эпюры возникающих напряжений относительно оси  $\chi$  имеют не симметричное распределение по поверхности материала также как на рисунке 5.15. Но их рисунок несколько отличается. Их значения снижаются в среднем на 12 – 15 % по сравнению со значениями напряжений в наклонных инновационных пластинах при их толщине  $\delta_1 = 5,0$  мм.

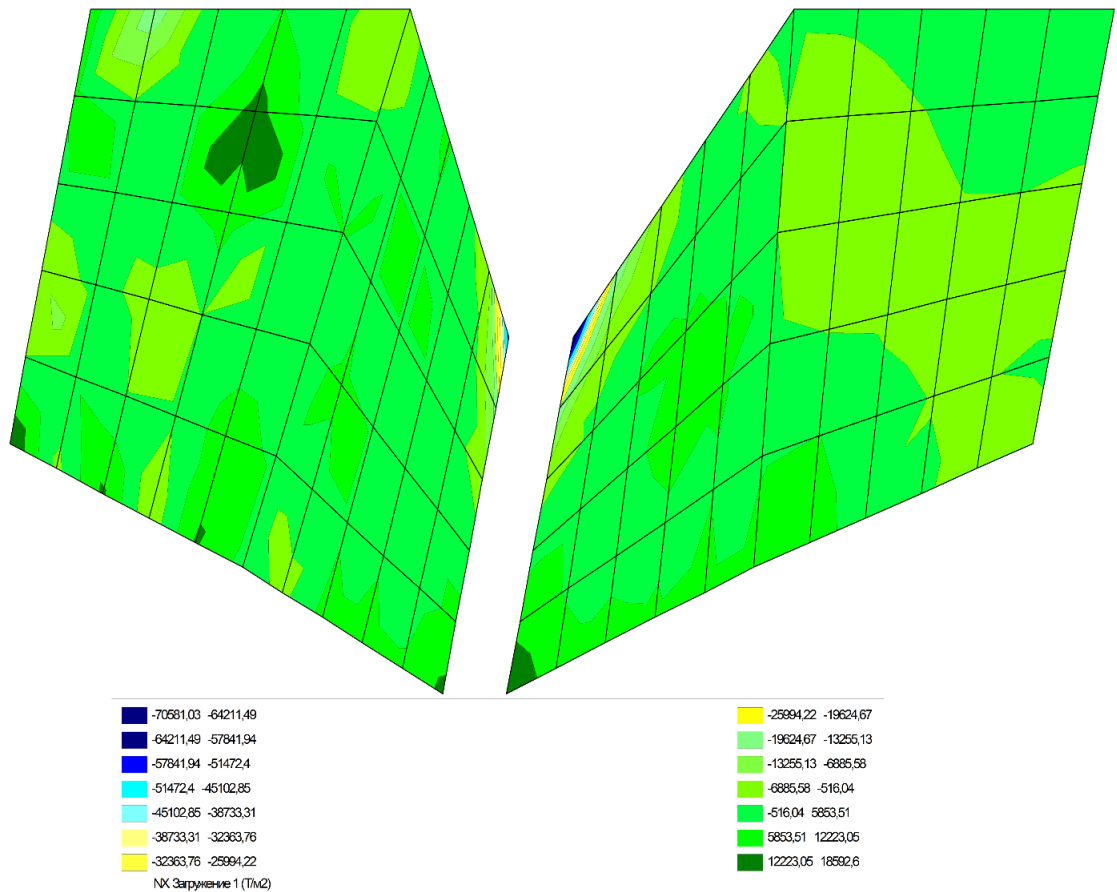


Рисунок 5.17 – Эпюра напряжений в инновационных почвоподъёмниках относительно оси  $\chi$  при толщине  $\delta_2 = 7$  мм

Анализ создаваемых напряжений в материале инновационных почвоподъёмников относительно оси  $\chi$  при их толщине  $\delta_2 = 7,0$  мм показал, что

площадь эпюр с высокими значениями снижается более чем в 2 раза. Сходство рисунка эпюр деформации и напряжений в инновационных почвоподъёмниках толщиной 5 и 7 мм, а также снижение полученных их численных значений на 30 – 40 % (в эпюрах почвоподъёмников при толщине  $\delta_2 = 7$  мм) показывает, что использование почвоподъёмников 5-ти мм толщины может быть оправдано. Но, в процессе разуплотнения почвы почвоподъёмники испытывают истирание, может происходить вибрация, а следовательно, возникают усталостные явления, что не нашло отражения в нашем исследовании.

Исходя из этого, чтобы избежать этих негативных явлений установим толщину инновационных почвоподъёмников в 7 мм, изготовленных из конструкционной стали С245 (Ст3), представленных в виде изометрических наклонных пластин, конечных размеров, имеющих постоянный профиль, жёстко закреплённых к стойке орудия. В результате проведенного исследования различных напряжённно-деформированных состояний наклонных изотропных пластин (почвоподъёмников) конечных размеров, прямого профиля, постоянного сечения, симметрично расположенных на стойке с заземленными медиальными краями, одинаковой жёсткости пришли к выводу о том, 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, при этом длина основания по передней части двух почвоподъёмников вместе с толщиной стойки составляет 40 см, ширина почвоподъёмника по наружной стороне составляет  $2/3$  его длины, а ширина по внутренней стороне почвоподъёмника составляет половину его длины. Схема почвоподъёмника с конечными размерами представлена на рисунке 5.18. Данная форма почвоподъёмников подтверждена патентом на изобретение №2694571 [144].

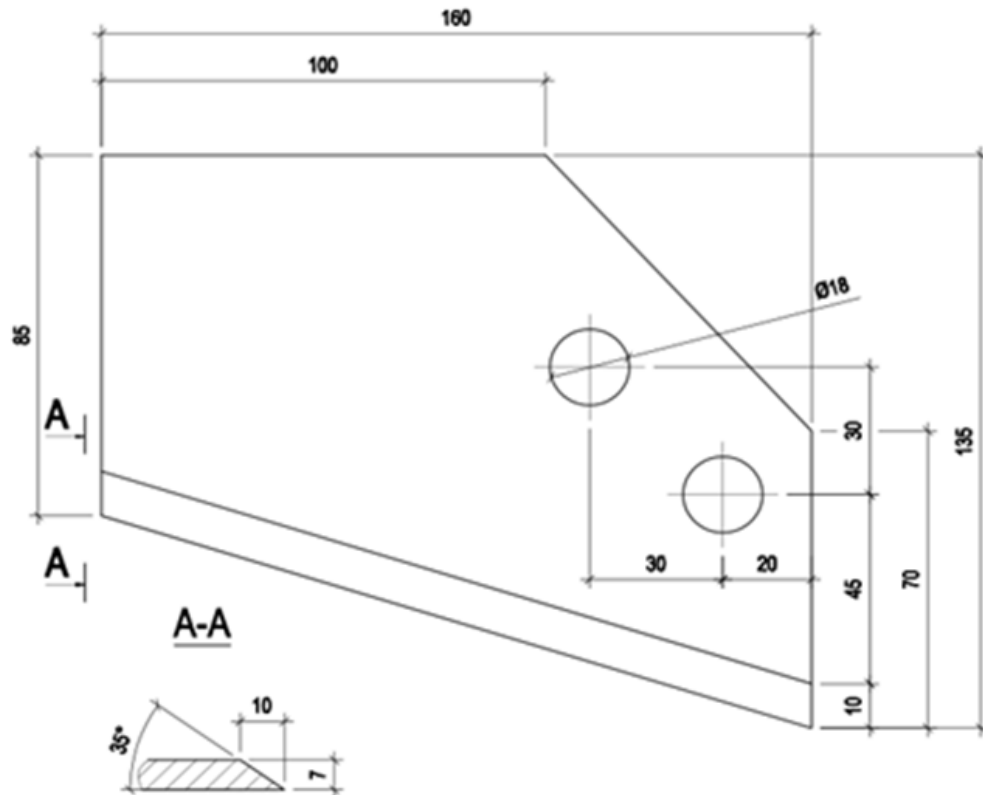


Рисунок 5.18 – Схема почвоподъёмника (левый)

#### 5.4 Обоснование структуры компоновки комплекса орудий глубокого рыхления

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 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 достигается изменением количества стоек 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 [131, 146], относящегося к вертикальным элементам системы деформаторов стоек орудия. Одним из ключевых изменений является размещение горизонтальных элементов системы деформаторов на стойках – почвоподъёмников.

Первая базовая компоновка орудия – «Глубокорыхлитель сверхпереуплотнённых равнинных земель» (ГСРЗ) позволяет рыхлить почву на глубину 60 см. 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 [20]. Схема расположения почвоподъёмников на стойке для рассматриваемого базового варианта представлена на рисунке 5.19. Такое расположение почвоподъёмников у ГСРЗ даёт возможность "вскрывать" сверхпереуплотнение равнинных участков, когда плотность почвы достигает от 2 – 2,2 г/см<sup>3</sup> 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 деградиционном тренде обрабатываемых земель юга России.

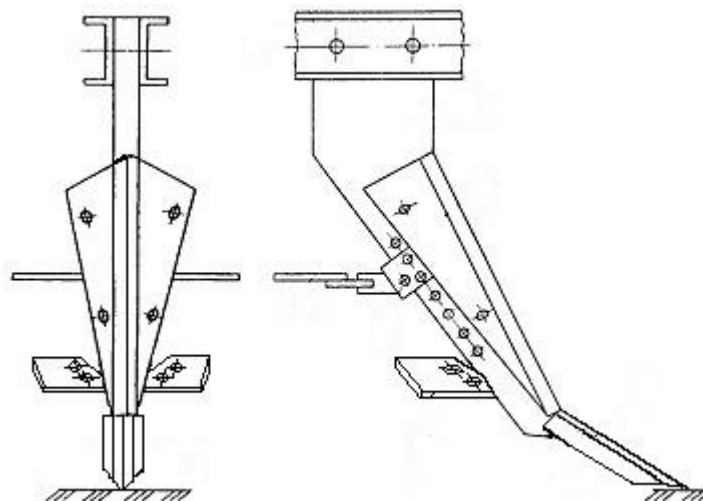


Рисунок 5.19 – Схема расположения почвоподъемников для рыхления сверх  
переуплотнённых равнинных горизонтов

Вторая базовая компоновка орудия – «Глубокорыхлитель равнинных земель» (ГРЗ) предполагает рыхление переуплотнённых почв до  $2 \text{ г/см}^3$  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 – почвоподъемники, помимо текущего расположения – на расстоянии 15 см от носка наральника по общей вертикали также установлены и на носке наральника, как представлено на рисунке 5.20. Где 1 – почвоподъемники, 2 – наральник. Используемая архитектура деформаторов на стойке ГНЧ-0,6М во второй базовой компоновке ГРЗ Вторая базовая компоновка орудия – «Глубокорыхлитель равнинных земель» (ГРЗ) предполагает рыхление переуплотнённых почв до  $2 \text{ г/см}^3$  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 [20]. Но горизонтальные элементы системы деформаторов – почвоподъемники, помимо текущего расположения – на расстоянии 15 см от носка наральника по общей вертикали также установлены и на носке наральника [52, 55, 65].

Общий вид (вид сверху) инновационного глубокорыхлителя ГНЧ–0,6М для рыхления равнин в двух базовых вариантах компоновки ГСРЗ и ГРЗ показан на схеме – рисунок 5.21, с установленными стойками в шахматном порядке.

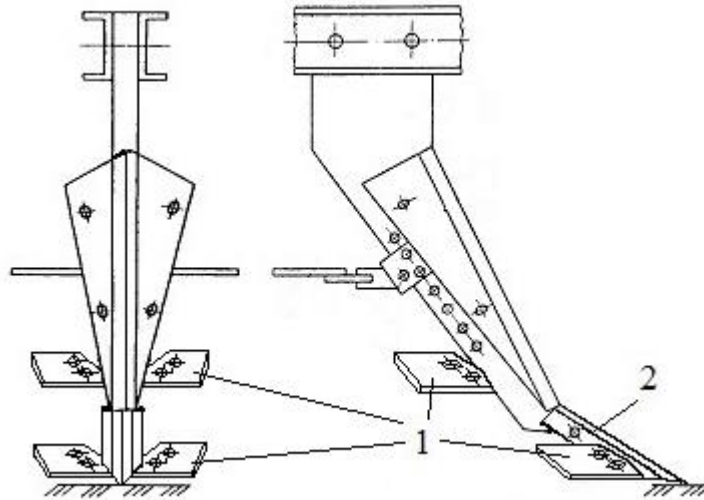


Рисунок 5.20 – Схема расположения почвоподъёмников для рыхления равнинных обрабатываемых земель

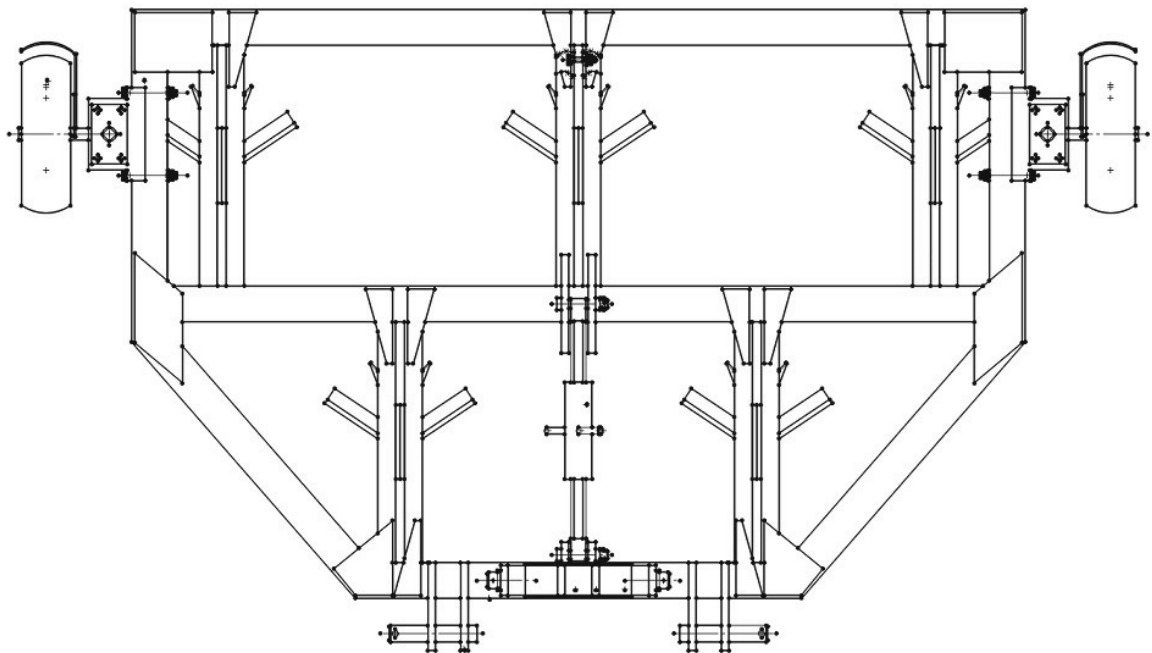


Рисунок 5.21 – Схема общего вида ГНЧ-0,6М в базовой компоновке «Обработка равнин»

Третья базовая компоновка орудия – «Глубокорыхлитель склоновых земель» (ГСЗ) позволяет рыхлить почву на глубину 60 см. 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, которые закреплены на носке наральников стоек.

Схема расположения почвоподъёмников на стойке глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М для рассматриваемого третьего базового варианта представлена на рисунке 5.22. На рисунке обозначены: 1 – почвоподъёмники, 2 – наральник, 3 – культиваторная лапа.

Используемая архитектура деформаторов на стойке ГНЧ-0,6М в третьей базовой компоновке ГСЗ 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 внутрпочвенной влаги обработанного 0,6 м горизонта земли на склоне, что качественно улучшит её физико-механические свойства.

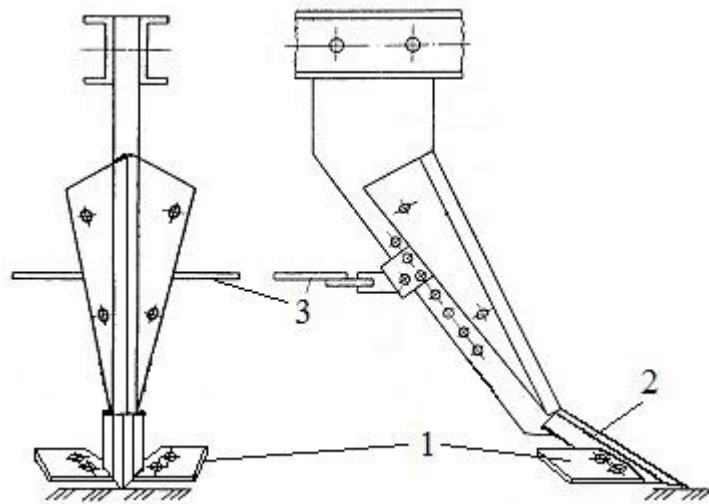


Рисунок 5.22 – Схема расположения почвоподъёмников для рыхления склоновых обрабатываемых земель

В результате проведенного обоснования структуры компоновки глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М получено три базовых компоновки ГСРЗ, ГРЗ и ГСЗ, отвечающих требованиям, приведенным в главе 2. По своему назначению и характеристикам, апробированным в главах 5 и 6 базовые компоновки имеют признаки самостоятельных орудий. 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 5.23).

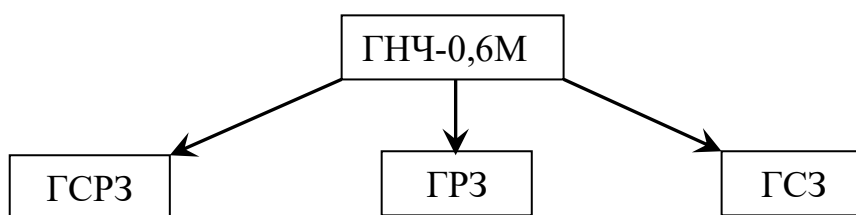


Рисунок 5.23 – Структура компоновки комплекса глубокорыхлителей

## 5.5 Выводы

1. Обоснованы параметры взаимодействия разрыхляемого пласта почвы на глубину до 0,60 м с нижней частью стойки глубокорыхлителя чизельного типа. В результате установлено, что картина деформационного развития разрыхляемого слоя энергоэффективнее и качественнее происходит при воздействии на нижнюю половину слоя почвы элемента системы деформаторов орудия с гранённой поверхностью атаки позволяет получить увеличение в среднем, в 2 – 3 раза количество деформационных трещин.
2. Обоснованы новые геометрические характеристики вертикального элемента системы деформаторов глубокорыхлителя – наральника. Поперечная проекция наральника, выполняющего функцию долота, имеет форму

трапеции с четырьмя наклонными гранями, из которых передние две грани образуют тупой угол от  $120^{\circ}$  до  $170^{\circ}$ .

3. Обоснованы горизонтальные элементы системы деформаторов глубокорыхлителя – почвоподъёмники, в виде наклонных изометричных пластин, постоянного профиля, жёстко закреплённые к стойке, с уточненными геометрическими характеристиками размер которых  $L \times h \times \delta = 160 \times 135 \times 7$  мм, выполненных из стали С245. Предложенная форма почвоподъёмников прошла верификацию при проведении анализа их напряжённо – деформированного состояния комплексом Structure CAD.
4. Адекватность результатов теоретических исследований усовершенствованных элементов системы деформаторов стойки глубокорыхлителя чизельного типа, обоснованных принципов проектирования, образования формы и конечных размеров подтверждает полученный патент № 2694571 РФ.
5. Обоснована структура компоновки инновационного комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М, которая включает в себя три орудия для глубокого рыхления склоновых и равнинных земель.

## **6 РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЧИЗЕЛЬНЫХ ГРУБОКОРЫХЛИТЕЛЕЙ**

### **6.1 Место и условия проведения натуральных исследований**

Натурные исследования проводились в южной зоне Ростовской области. Она включает Кагальницкий, Зерноградский, Егорлыкский, Целинский, Сальский, Песчанокоспский районы. Водной эрозии в зоне подвержено 25,4 % от общей территории, из них слабосмытых – 20,0 %, средне – 3,4 %; дефлированных почв – 22,6 %, в том числе слабо – 20,5, средне – 1,6 %. Средняя горизонтальная расчленённость оврагами – 0,18 км/км<sup>2</sup>. Слой стока 10 % -ной обеспеченности весной – около 40 мм, летом – 5 мм.

Среднемноголетняя сумма температур воздуха выше 10<sup>0</sup> С составляет 3304<sup>0</sup> С, среднегодовая температура воздуха – 8,9<sup>0</sup> С, максимальная температура июля составляет 22,9 – 23,8<sup>0</sup> С, минимальная января – минус 4,7 – 5,5<sup>0</sup> С. Среднемноголетняя сумма осадков за год в диапазоне 474 – 500 мм, в т.ч. за вегетационный период – 290 – 300 мм, испарение за год – 825 – 912 мм, радиационный баланс – 2641 – 2685 МДж/м<sup>2</sup> в год.

Основной почвенной разновидностью для данной зоны является чернозём обыкновенный (по старой классификации предкавказский), очень тёплый кратковременно промерзающий. Встречаются также тёмно-каштановые почвы, на долю которых приходится не более 15 %. Гранулометрический состав почвы на 59,8 % территории характеризуется как глинистый, 39,5 – тяжёлосуглинистый. Специфические особенности почвы Южной зоны в том, что здесь больше мощных и сверхмощных почв с колебаниями мощности гумусового горизонта от 75 до 140 см и с несколько меньшим содержанием

гумуса в пределах 3,7 – 4,2 %, чем у чернозёма приазовской зоны Ростовской области [73, 40, 104, 106, 154, 155, 156].

В последние 15 – 20 лет почвоведы [14, 159, 160, 161] отмечали расширение карбонатности почв в результате большой их эродированности, проведения глубокой вспашки, при которой верхний слой разбавляется массой нижерасположенных карбонатных горизонтов. Кроме того, уплотнение почвенного покрова за счёт максимальной нагрузки повышает его капиллярность, что способствует подтоку почвенных растворов с бикарбонатом калия в верхние слои и накоплению карбонатов. Чернозёмы обыкновенные слабосмытые на склонах крутизной от 1 до 3<sup>0</sup> отличаются от вышеописанных не смытых меньшей мощностью гумусового горизонта (на 20 – 25 %), более низким содержанием гумуса (на 15 – 17 %). Плотность сложения такой почвы увеличена незначительно (на 3 – 4 %), количество водопрочных агрегатов снижено (на 11 – 12 %).

На склонах крутизной 3 – 5<sup>0</sup> в среднесмытых почвах по сравнению с несмытыми гумусовый горизонт укорочен на 23 – 27 %, содержание гумуса уменьшено на 20 – 25 %, водопроницаемость – на 23 – 26 %, плотность повышена на 12 – 14 %. Почвы южной зоны Ростовской области наиболее подвержены водной эрозии – 25,4 % [14]. На участках, где проводили исследование, мощность гумусного горизонта колеблется от 60 до 140 см [31, 159, 167]. Содержание гумуса в среднем 3,66 % [147]. Гранулометрический состав – тяжелосуглинистый, с частицами менее 0,01 мм составляют 65 – 70 % [14, 31, 153, 161]. Водно-физические свойства этих почв имеют следующие показатели: плотность в слое 0 – 20 см – 0,96 – 1,3 г/см<sup>3</sup>, порозность 56 – 60 %. Наименьшая влагоёмкость колеблется от 27 до 32 % в метровом слое [14, 31].

## **6.2 Исследование области разрыхления от глубокорыхлителей различных типов**

Для создания геометрически правильных областей разрыхления и, следовательно, внутрпочвенных стенок образующихся при обработке склоновых земель новым способом применяя глубокое рыхление, необходимо было исследовать процесс взаимодействия системы деформаторов инновационного комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М с возделываемым массивом почвы. Полученные результаты создания области разрыхления от стоек комплекса глубокорыхлителей при различных вариациях его системы деформаторов сравнить с областями разрыхления получаемых от других перспективных рыхлителей.

Теоретические положения глубокого резания грунтов вертикальным ножом были обоснованы Е.Д. Томиным [201]. Но, в случае глубокого рыхления для решения сельскохозяйственных задач, процессы, возникающие в почве, могут быть несколько иными. Для решения этого вопроса была разработана оригинальная методика оценки области разрыхления, возникающей от стойки навесного глубокорыхлителя [115, 118, 120, 121, 124], которая включает несколько этапов.

Целью экспериментальных исследований области разрыхления, возникающей от стоек экспериментального комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М было:

- изучить в натуральных условиях процесс образования области разрыхления, которая возникает в почве от работы стойки комплекса рыхлителей в различных его базовых компоновках;
- улучшить геометрические параметры поперечной проекции области разрыхления от исследуемой стойки;

- определить параметры внутрипочвенной стенки, образующиеся при применении нового технологического процесса обработки склоновых земель инновационным комплексом глубокорыхлителей;
- усовершенствовать систему деформаторов разработанного комплекса глубокорыхлителей;
- сравнить параметры области разрыхления от исследуемых базовых компоновок стойки инновационного комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М с другими экспериментальными моделями глубокорыхлителей.

Местом проведения является 1-ое опытное поле института СКНИИМЭСХ (АНЦ "Донской") г. Зерноград, Ростовской области. Дата проведения 11 августа 2008 г.

Техническими средствами обеспечения проведения эксперимента являлись:

- экспериментальный трактор оригинальной конструкции СКНИИМЭСХ (АНЦ "Донской") 5-го тягового класса;
- тензометрическая станция на базе автомобиля марки «ГАЗ – 66», состоящая из автомобиля «ГАЗ – 66», бензоэлектроагрегата, самописца Н-327-3, усилителя ТДА-6, аналогового цифрового преобразователя (АЦП) ЛА-70МЗ, компьютера IBM совместимый, кабелей, разъёмов, платы сопряжения, тензометрических датчиков;
- трафарет для нанесения разметной сетки;
- белая акриловая краска;
- шанцевый инструмент;
- видео камера и фотоаппарат;
- экспериментальная стойка со сменными элементами её системы деформаторов комплекса глубокорыхлителей на базе рыхлителя ГНЧ-0,6М;
- универсальная навесная рама с трёхточечным креплением к трактору.

Последовательность действий для проведения опыта. Для эксперимента экскаватор отрывал траншею длиной не менее 15 м, глубиной  $h = 1,1$  м, шириной в верхней части  $a = 2$  м, а в нижней –  $b = 0,8$  м, причем одна из стенок траншеи выполнена наклонно. Вертикальная стенка траншеи должна располагаться с южной стороны, в тени, чтобы прямые солнечные лучи во время проведения опытов не иссушали поверхностный слой рабочей стенки (рисунок 6.1) [115, 118, 119, 124].

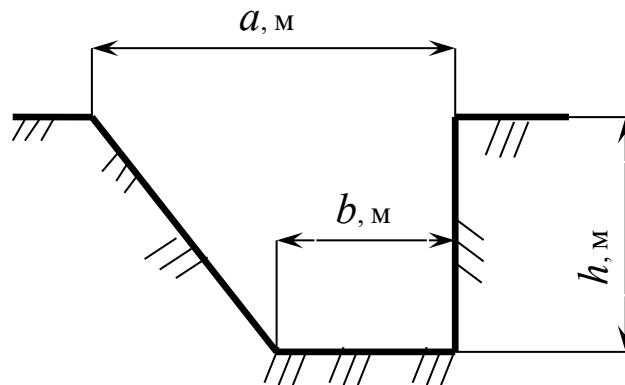


Рисунок 6.1 – Схема поперечного профиля траншеи

Процесс отрывки траншеи и профилирование её стенок на опытном поле института СКНИИМЭСХ (АНЦ "Донской"), для последующего определения областей разрыхления различных глубокорыхлителей с глубиной обработки от 40 до 60 см представлен на рисунке 6.2.



Рисунок 6.2 – Отрывка траншеи для определения областей разрыхления

План эксперимента предусматривал следующую последовательность:

- нанесение на вертикальную стенку белой краской разметной сетки с шагом 5 см;
- установка исследуемых орудий через тензометрическую трехточечную подвеску к экспериментальному трактору, оборудованному гидрообъемным трансформатором;
- опускание орудия в траншею со стороны вертикальной стенки на глубину 60 см и фиксация его на расстоянии от вертикальной стенки в 10 см;
- перемещение орудия происходит со скоростью в диапазоне от 0 до 3 км/ч перпендикулярно траншее, внедряясь в её вертикальную стенку с предварительно нанесенной на её плоскость разметной сеткой;
- проход орудия выполнить на расстояние 2,0 – 2,5 м при фиксации процесса взаимодействия съемкой на видеокамеру и фотоаппарат;
- остановка трактора.

Исследование полученной области разрушения путем оценки конфигурации границ полученных деформаций на предварительно нанесенной масштабной сетке. Параллельно измерялись усилия перемещения и плотность почвы до и после прохода орудия на глубинах от 10 до 60 см с шагом 10 см.

На рисунке 6.3 показано нанесение сетки на вертикальную стенку траншеи. На рисунке 6.4 представлен момент пенетрации в почвенную стенку стойки инновационного комплекса глубокорыхлителей на базе ГНЧ-0,6М первой базовой компоновки ГСРЗ – с установленными верхними и нижними почвоподъемниками.

После фиксации орудия в заданном положении трактор останавливался. Затем начиналось плавное, с ползучей скоростью, движение орудия до контакта с вертикальной стенкой траншеи с последующим полным внедрением его в массив почвы на расстояние в 2 – 2,5 метра. При этом этот процесс одновременно записывался на видео камеру при параллельной регистрации силомоментных

характеристик тензометрической аппаратурой в электронном виде. После чего трактор останавливался и производилось исследование полученной области разрушения.



Рисунок 6.3 – Нанесённая разметная сетка



Рисунок 6.4 – Пенетрация стойки ГСРЗ

Анализировались полученные с применением нанесенной разметной сетки зоны деформации. Производилась покадровая расшифровка видеозаписи, а также анализ сделанных фотографий и результатов тензометрирования. Обработка данных осуществлялась стандартными методами. Каждый опыт проводился на новом нетронутым участке траншеи на расстоянии не менее 1,5 – 2 метров от предыдущего [115, 118, 120, 122, 124, 125, 195].

На рисунках 6.5 показаны 3 базовые компоновки системы деформаторов на базе стойки чизеля ГНЧ-0,6М. Представлены расположение почвоподъемников на стойке и расстояния от носка наральника до них по общей вертикали. Для определения оптимальных параметров области разрыхления, образующейся от стойки ГНЧ-0,6М и размеров созданной внутрипочвенной стенки рассматривались три её базовые компоновки - расположения почвоподъемников как горизонтальной составляющей системы деформаторов (рисунок 6.5):

1) среднее расположение почвоподъемников глубокорыхлителя – ГРЗ, на расстоянии 15 см от носка наральника по общей вертикали (контроль) – рисунок 6.5а;

2) устанавливаются дополнительно почвоподъёмники такой же конструкции на носке наральника – ГСРЗ – рисунок 6.5б;

3) почвоподъёмники, установленные в среднем положении (контроль) снимаются, оставляются только установленные на носке наральника (как по варианту 2) – ГСЗ – рисунок 6.5в.

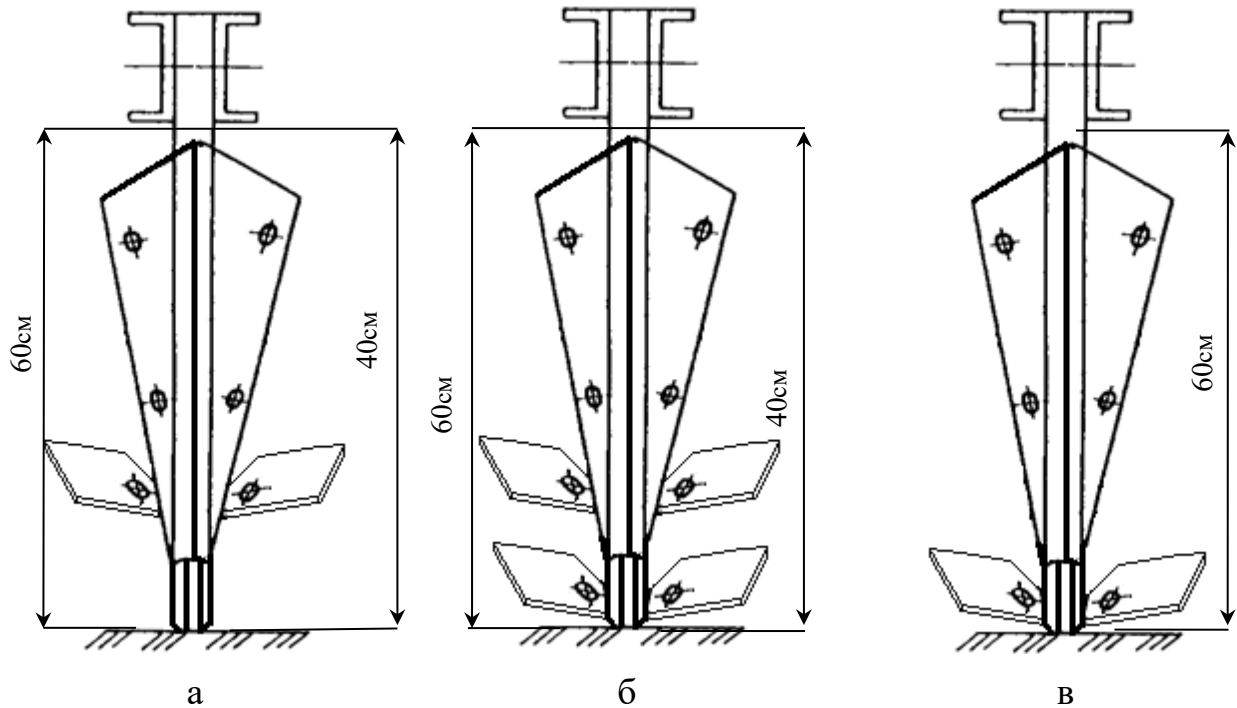


Схема деформаторов (контроль)

системы ГРЗ ГСРЗ с верхними и нижними почвоподъёмниками

Схема деформаторов ГСЗ с нижними почвоподъёмниками

Рисунок 6.5 – Схемы форм исследуемых систем деформаторов инновационного комплекса орудий

При выполнении научно-исследовательских работ вначале проводилось исследование почвы на её твёрдость и влажность в месте проведения эксперимента. Измерение твердости 0 – 60 см необработанного горизонта почвы выполнялось прибором ППИ-103. Опыт производился с трёхкратной повторностью. В таблице 6.1 приведены средние значения послойной твёрдости необработанного горизонта почвы глубиной до 60 см. Из полученных опытных данных следует, что твёрдость необработанного в диапазоне 0 – 60 см горизонта

почвы с увеличением глубины многократно возрастает. Это свидетельствует о наличии на опытном поле сильно переуплотнённого твёрдого подпахотного слоя почвы, мешающего естественному развитию корневой системы высеваемых сельскохозяйственных культур.

Таблица 6.1 – Послойная твёрдость 0 – 60 см необработанного горизонта почвы

Слой почвы (см)	Твёрдость (кг/см <sup>2</sup> )
0 – 5	6,5
5 – 10	18,7
10 – 15	34
15 – 20	49
20 – 25	64
25 – 30	83
30 – 35	94
35 – 40	108
45 – 50	140
50 – 55	154
55 – 60	172

Для проведения эксперимента для определения областей разрыхления необходимо было установить послойную влажность 0 – 60 см необработанного горизонта почвы в месте проведения исследований. Опыт по определению послойной влажности почвы также производился с трёхкратной повторностью. В таблице 6.2 приведены средние значения послойной влажности необработанного горизонта почвы глубиной до 60 см.

Таблица 6.2 – Послойная влажность 0 – 60 см необработанного горизонта почвы

Слой почвы (см)	Влажность, %
0 – 10	6,4, 4,6, 5,9
10 – 20	6,5, 6,8, 7,9
20 – 30	6,3 7,3, 10
30 – 40	7,3, 6,7, 6,7
40 – 60	8,0, 7,9, 8,1

Планом исследований предусматривалось определение области разрыхления от применения стойки экспериментального комплекса глубокорыхлителей в трёх базовых компоновках её системы деформаторов (патент № 2694571) и сравнение их с рабочими органами различных

экспериментальных орудий конструкций – СКНИИМЭСХ (АНЦ "Донской") КАО-2 и УНС-5. А также установление оптимальных геометрических характеристик "внутрипочвенной стенки", образующейся от применения нового способа обработки [142].

Для определения геометрических характеристик области разрыхления в её поперечной проекции от применения рабочего органа глубокорыхлителей использовали как основу стойку инновационного комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М. На рисунке 6.6 показан рабочий орган комплекса орудий для глубокого рыхления на базе ГНЧ-0,6М в базовой компоновке «Глубокорыхлитель Равнинных Земель», система деформаторов которого включает: 1 – раму; 2 – стойку; 3 – смежные рыхлящие грани; 4 – наральник; 5 – почвоподъёмники (правый и левый) установленные на высоте 15 см по общей вертикали от носка наральника; 6 – шарнир; 7 – культиваторную лапу. Такой вариант системы деформаторов являлся контрольным (рисунок 6.3а).

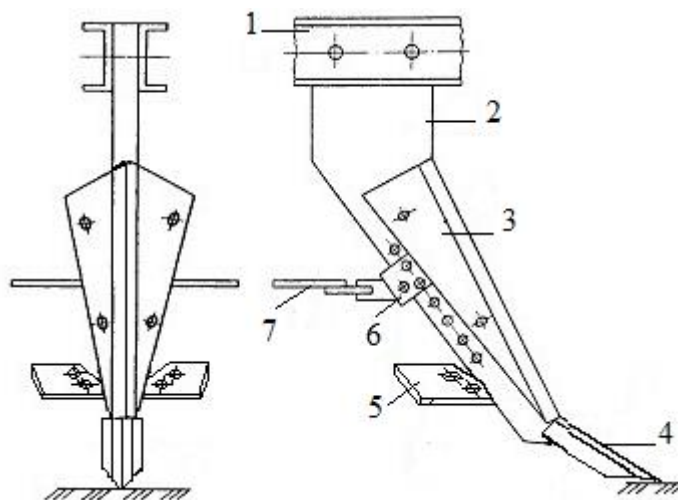


Рисунок 6.6 – Схема общего вида стойки – контроль (ГРЗ)

Грань *AB* почвоподъёмника (рисунок 6.7) является внутренней (медиальной) и прилежит к стойке орудия. Передняя грань *BC* имеет размер 160 мм в проекции на общую горизонталь. Вырез на медиальных сторонах почвоподъёмных пластин (почвоподъёмников) – обозначен на рисунке 6.7 как угол  $\varphi$ , и имеет величину от  $30^{\circ}$  до  $50^{\circ}$  (в зависимости от мехсостава почвы), он

необходим для предотвращения образования «почвенного клина» - налипания почвы в углу, между стойкой и рабочей плоскостью. Наружная (латеральная) грань  $CE$  длиной 85 мм. Почвоподъемники установлены на высоте 15 см от носка наральника по общей вертикали.

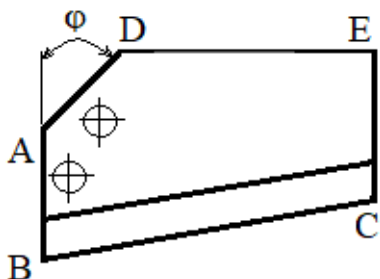


Рисунок 6.7 – Схема почвоподъемника (правый)

Выполнены они (рисунок 6.7) из марки стали С245 (Ст3), прошедшей термическую обработку, толщиной 7 мм, с отверстиями под «потай» диаметром 20 мм, с режущей гранью, заточенной под углом  $45^{\circ}$ . Угол наклона плоскости почвоподъемника к общей горизонтали равен  $40^{\circ}$ .

Согласно программе исследований инновационного комплекса орудий для глубокого рыхления произвели 3 различных опыта. Повторность каждого опыта – 3-х кратная.

Опыт № 1. Схема расположения почвоподъемников на стойке глубокорыхлителя на расстоянии 15 см от носка наральника по общей вертикали – контроль и полученная область разрыхления от такой конфигурации системы деформаторов показаны на рисунке 6.8. В результате проведенного опыта было установлено, что область разрыхления, полученная от пенетрации стойки в варианте ГРЗ – с системой деформаторов, показанная на рисунке 6.8а имеет схематичный вид, представленный на рисунке 6.8б.

На представленном рисунке 6.9 видно, что форма области разрыхления приближенно имеет вид перевернутой усеченной пирамиды, с зауженной нижней половиной общей площадью в пределах  $0,30 - 0,35 \text{ м}^2$  [120, 122, 124, 125].

Опыт № 2. Схема расположения горизонтальных элементов системы деформаторов – почвоподъемников, установленных как на контроле с добавлением второй пары почвоподъемников, которые закреплялись на носке наральника – базовая компоновка ГРЗ, представлена на рисунке 6.10а.

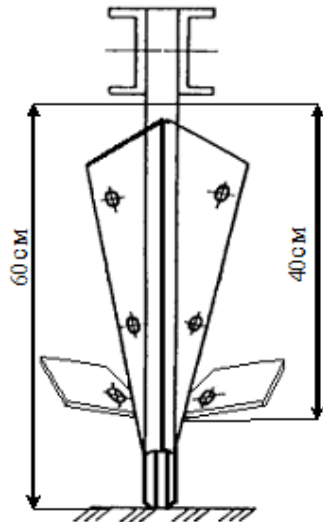


Рисунок 6.8а

Схема расположения системы деформаторов – контроль (ГРЗ)

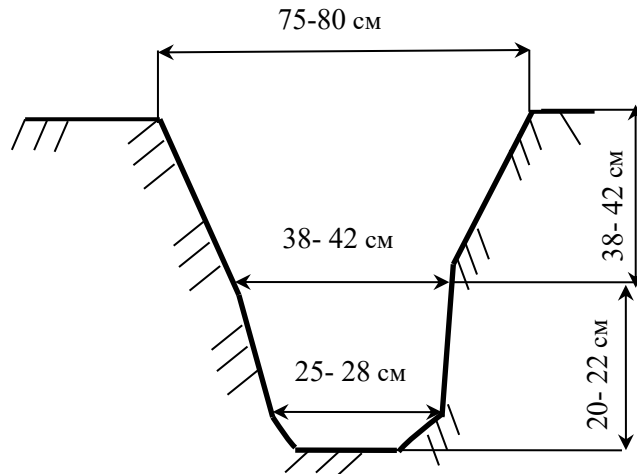


Рисунок 6.8б

Схема контура области разрыхления, образующейся, от данной конфигурации системы деформаторов ГРЗ

Рисунок 6.8 – Опыт № 1



Рисунок 6.9 – Вид области разрыхления от стойки ГРЗ (контроль)

Контур полученной области разрыхления, представленный на рисунке 6.10б имеет ковшеобразную форму. Установленные нижние почвоподъёмники дополнительно расширяют область разрыхления в нижней части, причем её края имеют сильно рваный профиль, что видно на рисунке 6.12. Общая площадь

разрыхления в этом случае лежит в пределах  $0,34 - 0,40 \text{ м}^2$ . На рисунке 6.11 показано возникновение разрушающих деформаций в разуплотняемом слое от пенетрации стойки в базовой компоновке ГРЗ с выбранной системой деформаторов.

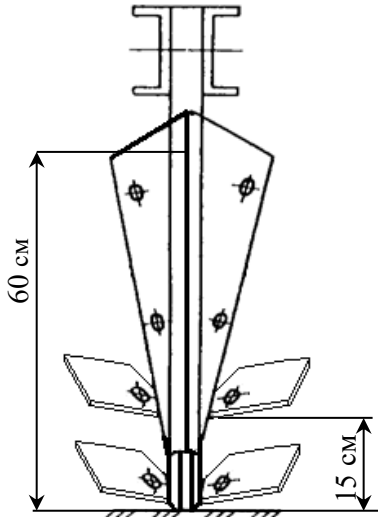


Рисунок 6.10а

Схема расположения системы деформаторов ГРЗ – опыт № 2

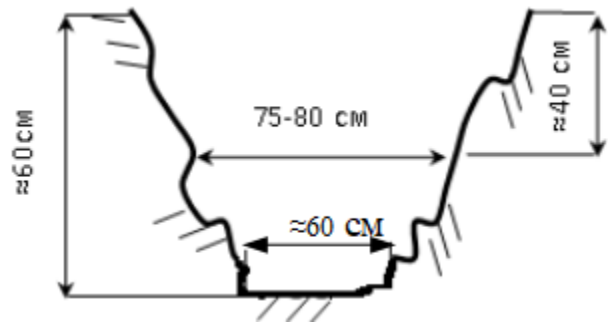


Рисунок 6.10б

Схема контура области разрыхления, образующейся, от данной конфигурации системы деформаторов ГРЗ

Рисунок 6.10 – Опыт № 2



Рисунок 6.11 – Возникновение разрушающих деформаций от стойки ГРЗ

Вид приобретённой области разрыхления в опыте №2 показан на рисунке 6.12. Контур полученной области разрыхления представлен на рисунке 6.10б имеет ковшеобразную форму.



Рисунок 6.12 – Вид области разрыхления – опыт № 2

Установленные нижние почвоподъёмники дополнительно расширяют область разрыхления в нижней части, её края имеют сильно рваный профиль – это наблюдается на рисунке 6.12. Данная конфигурация системы деформаторов будет наиболее энергетически затратная, но это компенсируется качеством крошения обрабатываемого пласта переуплотнённых почв и получаемым высоким урожаем возделываемых культур. Полученный результат по полученному контуру области разрыхления наиболее подходит для интенсивного разуплотнения почвы земель на равнинных участках, причём количество стоек, закреплённых на раме, должно быть 5 шт., как показано на рисунке 6.24.

Опыт № 3. исследовалась третья конфигурация системы деформаторов стойки ГСЗ. Пара почвоподъёмников закрепляется только на носке наральника – рисунок 13а.

В результате проведенного опыта № 3 получена область разрыхления с практически требуемой формой области разрыхления в поперечной проекции для обработки склонов новым мелиоративным способом, это видно на рисунке 6.14.

Общая площадь разрыхления в этом случае лежит в пределах  $0,36 - 0,40 \text{ м}^2$ . Контур данной области разрыхления показан на рисунке 6.13б, что является оптимальным диапазоном для устойчивости обработанного склона новым способом в данной почвенной разности для указанных условий (глава 3) [118, 119, 120, 122, 124, 125].

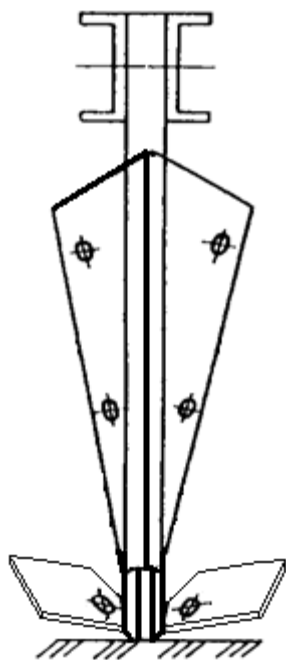


Рисунок 6.13а

Схема расположения системы деформаторов ГСЗ – опыт № 3

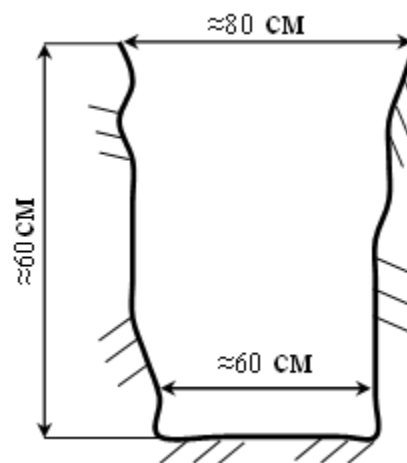


Рисунок 6.13б

Схема контура области разрыхления, образующейся, от системы деформаторов ГСЗ

Рисунок 6.13 – Опыт № 3

Полученный результат стал возможен благодаря тому, что с увеличением глубины разуплотнения область разрыхления стремится повторить архитектуру системы деформаторов стойки рыхлителя. Следовательно, результаты проведенных исследований в рамках данного эксперимента полностью согласуются с утверждением исследователей о том, что давление по лобовой грани ножа, благодаря пористости и сжимаемости земли, с увеличением глубины резания возрастает медленнее, чем это необходимо для отделения почвенного тела. При некоторой толщине ножа деформации уплотнения почвы достигают такой величины, когда она оттесняется в стороны от ножа еще до возникновения

поверхности сдвига [24, 38, 46, 47, 49, 125, 131, 139]. Из полученных данных опытов № 1, № 2 и № 3, приведенных на рисунках 6.9, 6.12 и 6.14 видно, что оптимальная область разрыхления для создания необходимой области разрыхления, получается в опыте № 3, в котором горизонтальные элементы системы деформаторов – почвоподъёмники находятся на носке наральника в крайней нижней точке рабочего органа ГСЗ на базе стойки глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М. Такая форма области разрыхления наиболее полно удовлетворяет необходимым условиям по аккумуляции внутрипочвенной влаги на склоне и развитию корневой системы растений. Исходя из этого устанавливаем, что расположение на раме орудия трёх стоек (две передних демонтируются) с расположением почвоподъёмников на носке наральника – это подготовленное орудие «Глубокорыхлитель Склоновых Земель», созданное на базе чизеля ГНЧ-0,6М.



Рисунок 6.14 – Вид области разрыхления (опыт № 3)

Архитектуры системы деформаторов стойки ГНЧ-0,6М используемые в опытах № 1 и № 2, как показал опыт, наилучшим образом подходят для обработки равнинных участков. Следовательно, расположение стоек на раме орудия – два спереди и три сзади, в шахматном порядке с расположением почвоподъёмников

на высоте 15 см от носка наральника по общей вертикали или также плюс дополнительная пара на носке наральника – это подготовленное орудие для режима «Обработка равнинных участков». Причём расположение почвopодъёмников как в опыте № 1 наиболее подходит для разрыхления равнинных участков со сверхпереуплотнёнными почвами – более  $2,2 \text{ г/см}^3$  [125].

Испытаниями предусматривалось сравнение формы в поперечной проекции области разрыхления, получаемой от стоек экспериментальных глубокорыхлителей ГСРЗ, ГРЗ и ГСЗ, созданных на базе рыхлителя ГНЧ-0,6М со стойками орудий конструкции института СКНИИМЭСХ (АНЦ "Донской"): КАО-2 и УНС-5 [68, 69, 181].

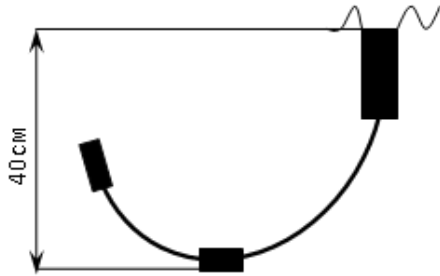


Рисунок 6.15а

Примерная схема системы деформаторов стойки КАО-2

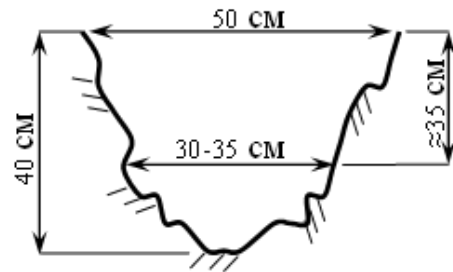


Рисунок 6.15б

Схема контура области разрыхления, образующейся, от стойки КАО-2

Рисунок 6.15 – Система деформаторов стойки КАО-2 и её область разрыхления



Рисунок 6.16 – Вид области разрыхления от стойки КАО-2

Результаты испытаний по определению области разрыхления от рабочего органа (стойки) КАО-2 приведены на рисунках 6.15а, 6.15б и 6.16. Общая площадь разрыхления для орудия КАО-2 при глубине обработки в 40 см находится в пределах 0,17 – 0,22 м<sup>2</sup>.



Рисунок 6.17 – Вид стойки КАО-2

Общий вид системы деформаторов рабочего органа КАО-2 представлен на рисунке 6.17. Следующим экспериментальным орудием, у которого для сравнения использовался рабочий орган был УНС-5. Результаты испытаний рабочего органа (стойки) УНС-5 приведены на рисунках 6.18а, 6.18б и 6.20.

В результате эксперимента была получена резко асимметричный контур области разрыхления (рисунок 6.18б). Такая форма контура поперечной проекции области разрыхления не удовлетворяет требуемым условиям для создания внутрпочвенных стенок на склонах. Общая площадь области разрыхления для этого орудия лежит в пределах 0,25 – 0,28 м<sup>2</sup> [122, 124, 125].

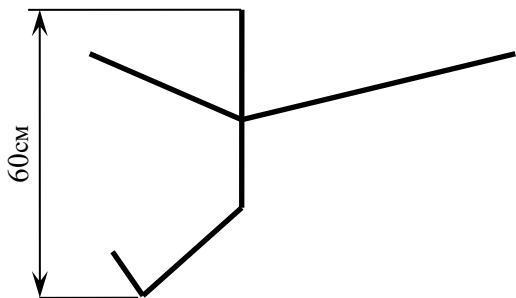


Рисунок 6.18а

Примерная схема системы деформаторов УНС-5

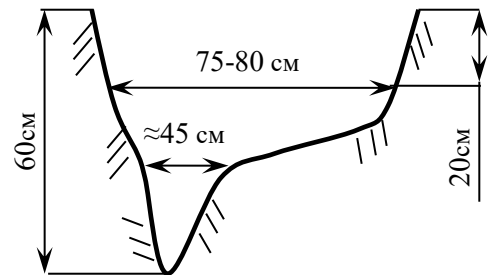


Рисунок 6.18б

Схема контура области разрыхления, образующейся, от конфигурации системы деформаторов УНС-5

Рисунок 6.18 – Схема деформаторов стойки КАО-2 и её область разрыхления

На рисунке 6.19 представлен вид рабочего органа рыхлителя УНС-5, установленный на универсальной раме. Вид области разрыхления полученный от стойки УНС-5 в натуральных условиях показан на рисунке 6.20.



Рисунок 6.19 – Вид стойки УНС-5



Рисунок 6.20 – Вид области разрыхления от стойки УНС-5



Рисунок 6.21 – Вид пенетрации стойки рыхлителя – УНС-5

Наиболее качественное крошение происходит при применении стойки рыхлителя КАО-2. Процесс пенетрации в почву стойки экспериментального орудия УНС-5, при рыхлении на глубину до 60 см показан на рисунке 6.21.

В результате испытаний было определено, что в области разрыхления от стойки УНС-5 присутствуют твёрдые комки из не разрыхлённой почвы.

При проведении натурного эксперимента по определению формы поперечной проекции области разрыхления, образующейся от исследуемые рабочих органов орудий КАО-2 и УНС-5 получили данные, на основе которых установлено, что их области разрыхления имеют неоптимальную форму для создания внутрпочвенных стенок, по сравнению со стойкой комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М в варианте ГСЗ – показанную в опыте № 3, рисунки 6.13 и 5.14.

Следующим этапом лабораторно-полевых исследований было определение необходимой толщины внутрпочвенной стенки. На основании результатов проведенной серии испытаний по определению оптимальной толщины внутрпочвенной стенки установлено, что её устойчивая целостность при обработке почвы обеспечивается при толщине «целяка» не менее 30 – 35 см у поверхности и 40 – 45 см у дна (рисунки 6.22, 6.23).



Рисунок 6.22 – К определению оптимальной толщины внутрпочвенной стенки

Следовательно, для обеспечения необходимых параметров расстояние между продольными осями рабочих органов глубокорыхлителя должно быть 110 – 115 см [125].

Уменьшение межосевого расстояния между продольными осями рабочих органов глубокорыхлителя приводит к критически тонкой стенке, которая при её нарезке может получить нежелательные разрушающие деформации, либо толщины стенки будет недостаточно для долгой фильтрации и удержания влагонасыщенной разрыхлённой части на склоне.

Увеличение межосевого расстояния стоек глубокорыхлителя способствует значительному увеличению толщины внутрипочвенной стенки, что негативно сказывается на соотношении полезного объёма влагонасыщенной разрыхленной области к объёму переуплотнённой части обрабатываемого склона [120, 122, 124, 125, 126].



Рисунок 6.23 – Пенетрация стойки ГСЗ при определении оптимальной толщины внутрипочвенной стенки

Результаты проведенных исследований по определению геометрических характеристик области разрыхления глубокорыхлителей позволяют сделать следующие выводы:

1) разработанная методика по экспериментальному определению области разрыхления глубокорыхлителей, обрабатывающих почву на глубину от 40 см, доказала свою практическую целесообразность;

2) экспериментально доказана наиболее рациональная архитектура системы деформаторов глубокорыхлителя ГСЗ на базе чизеля ГНЧ-0,6М – с почвоподъёмниками расположенными на носке наральника для обработки почвы склонов;

3) обоснован выбор комплекса глубокорыхлителей, созданных на базе ГНЧ-0,6М в качестве перспективных орудий для обработки склоновых и равнинных агроландшафтов, показавшего лучшие характеристики рыхления по сравнению с другими экспериментальными глубокорыхлителями типов УНС-5 и КАО-2, разработанных институтом СКНИИМЭСХ (АНЦ "Донской");

4) проведенные исследования установили, что устойчивость внутрпочвенной стенки обеспечивается при её толщине в 30 – 35 см у поверхности и 40 – 45 см у дна разрыхленной области.

### **6.3 Валидация эксплуатационных характеристик технических средств для глубокого рыхления по результатам приёмочных испытаний**

Для подтверждения эксплуатационно-технических характеристик экспериментального комплекса глубокорыхлителей на базе чизеля ГНЧ-0,6М были проведены в октябре 2018 г. приёмочные испытания на полях ФГБУ Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция (МИС) г. Зерноград, Ростовской области. Местом проведения был ГБПОУ РО «ЗТАТ», находящийся в Зерноградском районе Ростовской области (приложение 3).

Планом испытаний предусматривалось:

- 1) первичная техническая экспертиза базового глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М (приложение 4.1, 4.2);
- 2) исследования агротехнических показателей при лабораторно-полевых испытаниях;
- 3) валидация энергетических показателей чизеля ГНЧ-0,6М;
- 4) анализ эксплуатационно-технологических показателей;
- 5) исследования показателей безопасности и эргономичности конструкции ГНЧ-0,6М;
- 6) проверка конструкции глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М по критериям надёжности.

Вид инновационного комплекса глубокорыхлителей на базе ГНЧ-0,6М в базовой компоновке ГРЗ в агрегате с трактором К-744Р2 в транспортном положении представлен на рисунке 6.24.



Рисунок 6.24 – Вид инновационного базового глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в агрегате с трактором К-744Р2

По результатам этих исследований был составлен «Протокол приёмочных испытаний глубокорыхлителя навесного чизельного ГНЧ-0,6М» № 11-33-18 (4010042) от 10 декабря 2018 г. (приложение 3.3 «Протокол приёмочных испытаний ГНЧ-0,6М на МИС»).

В результате проведенных испытаний, согласно плану исследований, был выявлен ряд положительных и отрицательных результатов.

По первому пункту. Выявлено, что при исследовании варианта системы деформаторов стойки глубокорыхлителя с верхним расположением почвоподъемников – на расстоянии 15 см от носка наральника по общей

вертикали, как показано на рисунке 6.25, не проводилось по причине несоосности отверстий для крепления в сменном элементе (рисунок 5.26) и стойки.



Рисунок 6.25 – Вид стойки инновационного комплекса глубоких рыхлителей с верхним закреплением почвоподъемников



Рисунок 6.26 – Вид съемного элемента стойки почвоподъемника

В последствии указанный дефект автором был устранён и проведён натурный эксперимент – отражённый в данной главе п. 6.4. В остальном, по первому пункту были показаны следующие недостатки: отсутствие транспортной таблички, лакокрасочного покрытия, надписей по технике безопасности и мест для смазки, строповки и зачаливания. Эти недостатки не влияли 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 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 %, стандартное отклонение 2,7 см;

– крошение почвы – размер фракций от 0 до 50 мм составляет 88 % от объёма разрыхленной части, а фракции, размером более 100 мм – 5,4 %.

Данные агротехнической оценки ГНЧ-0,6М в сравнении с данными по УНС-5 представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Показатели агротехнической оценки ГНЧ-0,6 и УНС-5

Показатель	Для ГНЧ-0,6М	Для УНС-5
Ширина захвата, м	2,7	4,39
Глубина обработки, см	56 – 60	39,75
Крошение почвы: размер фракции 0 – 50 мм, %	Более 88	85,7

Результаты агротехнической оценки, представленные в таблице 6.3 показывают, что при глубине обработки почвы до 60 см глубокорыхлителем ГНЧ-0,6М качество крошения почвы, т.е. количество фракций от 0 до 50 мм в процентном соотношении выше на 8 %, чем при рыхлении глубокорыхлителем УНС-5 на глубину до 40 см, в целом, являются удовлетворительными.

По третьему пункту. Энергетическая оценка экспериментального глубокорыхлителя навесного чизельного типа ГНЧ-0,6М проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52777. Глубокорыхлитель испытывался в агрегате с трактором К-74432. При основной безотвальной обработке почвы по дискованной стерне озимой пшеницы были получены следующие энергетические показатели – таблица 6.4.

Таблица 6.4 – Энергетические показатели экспериментального ГНЧ-0,6М

Показатель	Значение показателя
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

Значения энергетических показателей для комбинированного агрегата с фронтальным расположением рабочих органов УНС-5 получены из протокола испытаний № 11-33-01 (1010152), проведенных на этой же

машиноиспытательной станции. Из данных испытаний по энергетическим показателям видно, что глубокорыхлитель ГНЧ-0,6М имеет преимущества перед УНС-5 – по скорости обработки на 21 %, производительности за час основного времени – на 5,3 % и по потребляемой мощности – более чем на треть.

На рисунке 6.27 показан процесс рыхления почвы на глубину до 60 см с использованием глубокорыхлителя навесного чизельного ГНЧ-0,6М без установления на стойки культиваторов.

Разработанная система деформаторов стоек инновационного чизеля позволила то, что в процессе обработки почвы на заданную глубину забивание и залипание рабочих органов глубокорыхлителя не наблюдалось. Полученные значения энергетических показателей экспериментального глубокорыхлителя навесного чизельного типа ГНЧ-0,6М являются адекватными при глубоком рыхлении без оборота пласта до 0,6 м (приложение 3) [129, 130].



Рисунок 6.27 – Разрыхление базовой компоновкой ГСЗ

По четвёртому пункту. Эксплуатационно-технологическая оценка показала высокую технологическую оценку работы ГНЧ-0,6М. Это подтверждают высокий коэффициент надёжности технологического процесса равный 1,0 при требовании СТО АИСТ 4.6 – 0,99, и коэффициент использования сменного

времени, полученный равным 0,814, что соответствует требованиям СТО АИСТ 4.6 – 0,80.

Проведенные испытания на 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.

#### **6.4 Оценка влияния на качество разуплотнения технологического процесса и технических средств для глубокого рыхления при обработке склонов согласно принятой методологии**

С целью проверки качества образования внутрпочвенных стенок и крошения почвы в разрыхленных областях, для внутрпочвенного влагонакопления и влагоудержания на обрабатываемых склонах был проведён натурный эксперимент. Для этого процесса использовался новый способ ресурсосберегающей 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.

Для обработки склонов использовался комплекс орудий для глубокого рыхления на базе чизеля ГНЧ-0,6М – патент на изобретение №2694571, с перенастроенной системой деформаторов в третью базовую конфигурацию «Глубокорыхлитель Склоновых Земель» (ГСЗ). Вместо конфигурации с верхним расположением почвоподъёмников (рисунок 6.28) использовался наральник, показанный на рисунке 6.29 – конфигурация стоек с нижним расположением почвоподъёмников. Количество стоек на раме рыхлителя – 3 шт, при этом задний

ряд остаётся, а две передние стойки снимаются. На рисунке 6.28 показан общий вид стоек спереди в конфигурации для глубокого рыхления склонов по новой технологии.



Рисунок 6.28 – Общий вид стоек с нижним расположением  
пчвоподъёмников

На стойках орудия, сзади установлены культиваторы. Общий вид глубокорыхлителя ГСЗ на базе чизеля ГНЧ-0,6М показан на рисунке 6.29 – вид сзади.



Рисунок 6.29 – Общий вид ГСЗ на базе ГНЧ-0,6М

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 %. Процесс обработки склоновых земель с использованием экспериментального комплекса орудий для глубокого рыхления в базовой комплектации ГСЗ для обработки склонов по новой технологии представлен на рисунке 6.30 [130, 131].



Рисунок 6.30 – Разрыхление экспериментальным глубокорыхлителем ГСЗ

На рисунке 6.31 показан результат воздействия на почву комплекса орудий для глубокого рыхления с настроенной системой деформаторов для базовой комплектации ГСЗ – с нижним закреплением почвоподъемников (рисунок 6.26). Сектор 1 показывает разрыхленные участки на глубину до 60 см, а сектор 2 обозначает переуплотнённые промежутки – «целяки».

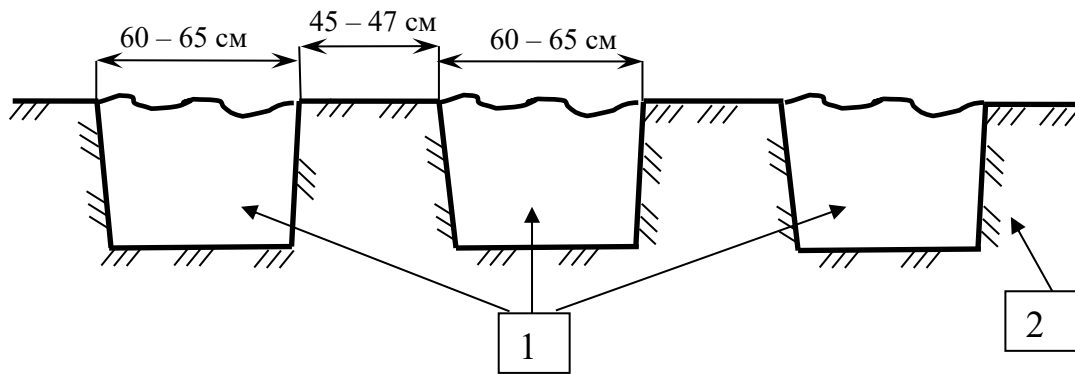


Рисунок 6.31 – Схема поперечной проекции обработанного слоя почвы новым способом

Качество разрыхления почвы орудием комплекса орудий для глубокого рыхления в базовой комплектации ГСЗ показано на рисунках 6.32, 6.33 и 6.34. На рисунке 6.32 показан общий вид обработанного участка используя глубокое рыхление до 0,6 м с применением новой технологии обработки склоновых земель (патент на изобретение № 2255450) и глубокорыхлителя ГСЗ на базе чизеля ГНЧ-0,6М (патент на изобретение №2694571). На схеме поперечного профиля

обработанного участка, представленного на рисунке 6.33, показана глубина развальной борозды, которая варьируется от 8 см до 15 см [130, 131].



Рисунок 6.32 – Общий вид обработанного участка в режиме «Обработка склонов»

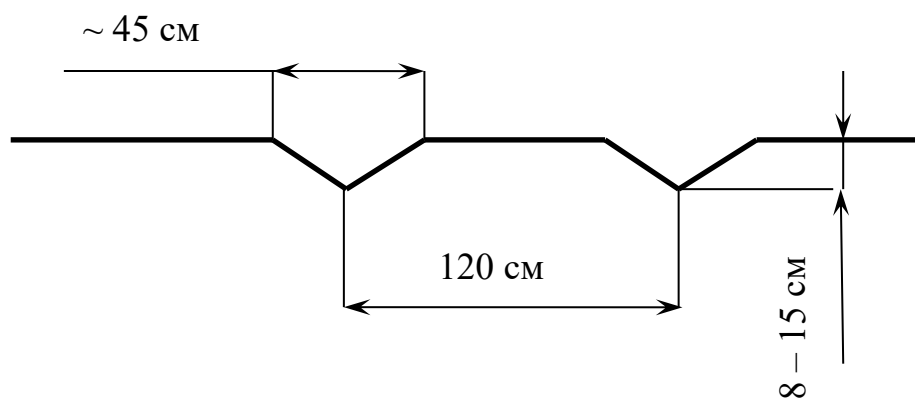


Рисунок 6.33 – Схема поперечного профиля дневной поверхности обработанного участка в режиме «Обработка склонов»

Учитывая, что обработка склона будет вестись поперёк склона – полученный результат удовлетворяет условиям применения. Ширина развальной части – около 45 см, при этом расстояние между центрами развальных борозд составляет, в среднем 120 см. На рисунке 6.34 показаны комья разуплотнённой

полосы, расположенные на дневной поверхности. Их размеры удовлетворяют ТУ при обработке склоновых земель.



Рисунок 6.34 – Вид и размеры комьев на дневной поверхности

В рамках исследования воздействия глубокорыхлителя ГСЗ на базе чизеля ГНЧ-0,6М, необходимо было зафиксировать целостность и геометрические характеристики верхней 0 – 30 см части образываемой внутрипочвенной стенки в полевых условиях. Для этого была освобождена от комьев разуплотнённой земли дневная поверхность на обработанном участке. В разрыхленных промежутках, для наглядности, был выбран слой почвы на глубину 30 – 35 см. Таким образом визуально, в процессе эксперимента была зафиксирована целостность внутрипочвенной стенки, при этом ширина её верхней 0 – 30 см части варьировалась в пределах 45 – 47 см.

В результате проведенного исследования по применению комплекса орудий для глубокого рыхления на базе чизеля ГНЧ-0,6М с переоборудованной системой деформаторов в базовую конфигурацию «Глубокорыхлитель Склоновых Земель» установлено, что полученный поперечный профиль дневной

поверхности обработанного участка с глубиной развальных борозд 8 – 15 см, развалом до 45 см, шириной верхней 0 – 30 см части внутрисочвенных стенок в размере 45 – 47 см удовлетворяет ТУ при проведении обработки почвы новым способом. При этом механическая целостность внутрисочвенной стенки обеспечена.

### **6.5 Натурное исследование влияния нового ресурсосберегающего способа обработки склоновых земель на скорость впитывания воды**

Натурный эксперимент по определению скорости впитывания и влагоёмкости проводился в зерноградском районе Ростовской области. На поле, находящемся в УНПК «Учхоз Зерновое» ФГБУ ВО Донской ГАУ были намечены опытные участки на склоне, крутизной около 5 градусов. Площадь опытного участка, отведённого для новой ресурсосберегающей обработки на базе глубокого рыхления на глубину 0,55 – 0,6 м составил 16 га, а контроль – вспашка + дискование на глубину 0,22 – 0,25 м около 70 га. На следующий год на поле планировалось возделывание в ярового ячменя. В последующем, что предусматривалось севооборотом, поле оставлялось под пар. Обработка опытного участка новым способом проводилась в октябре 2016 г.

Натурные исследования по сравнению скорости впитывания и влагоёмкости обработанного поля рассматриваемыми способами, проводились в ноябре 2016 г., 2017 г. и в 2018 г. Влажность почвы находилась в пределах 14,3 % – 18,0 %. Вид опытного участка на склоне, обработанного новым агрономелиоративным способом показан на рисунках 6.36 (ноябрь 2016 г.) и 6.39 (июль 2017 г.). Опытный и контрольный участки после дискования представлены на рисунке 6.37.



Рисунок 6.36 – Вид обработанного склонового опытного участка



Рисунок 6.37 – Вид опытного и контрольного участков после дискования

Планом проведения исследований предусматривалось:

- 1) изготовить приспособление для лабораторно-полевого определения скважности почвы на нескольких видах её обработки;

2) установить зависимость скорости впитывания воды от разных способов обработки почвы [133].

Вид приспособления для определения послойной скважности почвы показан на рисунке 6.38.

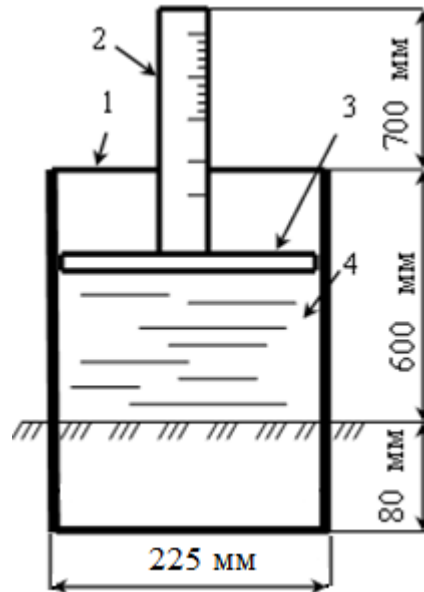


Рисунок 6.38 – Схема приспособления для определения в полевых условиях скважности почвы

По мере изменения уровня воды с течением времени в приспособлении, снимают показания мерной линейки в определённые промежутки времени – 10 мин., 30 мин., 60 мин., 100 мин., 150 мин., 210 мин., 280 мин., 360 мин. Замеры в эксперименте проводились с трёхкратной повторностью. Результаты исследований по скорости впитывания воды, на участке, обработанном вспашка плюс дискование в сравнении с новым ресурсосберегающим технологическим процессом приведены в таблицах 6.5, 6.6 и 6.7 [133]. Обработка данных производилась согласно стандартным и специальным методикам [59]. Используем статистическую гипотезу, то есть предположение или допущение о неизвестных генеральных параметрах, выражаемых в терминах вероятности, которые могут быть проверены на основании выборочных показателей с

помощью статистических критериев, основанных на использовании статистических распределений.

Статистические гипотезы различают по виду предположений, содержащихся в них, исходя из этого будем применять нулевую и альтернативную гипотезы. Нулевая гипотеза ( $H_0$ ) – это гипотеза о том, что две совокупности  $X$  и  $Y$ , которые сравниваются по одному или нескольким признакам, не различаются между собой. При этом предполагают, что действительное различие сравниваемых величин равно нулю:  $X_T - Y_T = 0$  или  $X_T = Y_T$ . В некоторых случаях, когда расчеты соответствуют нулевой гипотезе, гипотеза  $H_0$  может быть и не принята. Возможно, это возникает из-за двух возможных причин:

- а) объемы выборок недостаточно велики, чтобы обнаружить имеющиеся различия, следовательно, продолжение экспериментов вероятно принесет успех;
- б) различия есть, но они настолько малы, что не имеют практического значения.

Если играет роль вторая причина, то продолжение экспериментов не имеет смысла. Альтернативная гипотеза ( $H_1$ ) – это предположение, принимаемое в случае отклонения нулевой гипотезы.

Статистическая проверка гипотезы о существенной разности скважности почвы производилась в каждом почвенном слое: 0 – 5 см, 25 – 30 см, 40 – 45 см, в зависимости от 2-х способов обработки (новый способ и дискование, и вспашка + дискование). При сравнении двух независимых выборок из различных генеральных совокупностей  $X$  и  $Y$ , подчиняющихся нормальному закону распределения, проверяются гипотезы:

$H_0$  – нулевая гипотеза:  $X_T = Y_T, (X_T - Y_T = 0)$ ;

$H_1$  – альтернативная гипотеза:  $X_T \neq Y_T, (X_T - Y_T \neq 0)$

В гипотезе  $H_0$  принимается предположение о том, что различия не являются статистически достоверными и носят случайный характер. В гипотезе  $H_1$  принимается предположение о том, что разность между генеральными средними

сравниваемых групп не равна нулю, и исследуемые выборки не принадлежат одной генеральной совокупности, а различия, наблюдаемые между выборочными показателями, носят именно систематический, а не случайный характер. Устанавливается уровень значимости принятия или отказа от гипотезы.

Вычисляем эмпирическое значение критерия Стьюдента ( $t$ ) по формуле:

$$t = \frac{|\bar{x}_B - \bar{y}_B|}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}}}, \quad (6.1)$$

где:  $\bar{x}_B, \bar{y}_B$  – выборочные средние значения выборок;

$$s_x^2 = \frac{1}{n_x - 1} \sum_{i=1}^1 (x_i - \bar{x}_B)^2, \quad s_y^2 = \frac{1}{n_y - 1} \sum_{i=1}^1 (y_i - \bar{y}_B)^2 \quad - \text{приведённые}$$

(исправленные) оценки выборочных дисперсий для исследуемых выборок;

$n_x, n_y$  – число вариант в выборках.

Определяем число степеней свободы  $f$ :

– если  $s_x^2 \approx s_y^2$ , то  $f = n_x + n_y - 2$ ;

– если  $s_x^2$  и  $s_y^2$  различаются более, чем на порядок, то  $f = (n_x + n_y - 2) \cdot [1/2 + (s_x^2 \cdot s_y^2) / (s_x^4 + s_y^4)]$ .

Теоретический критерий ( $t_{кр}$ ) находим по таблице распределения Стьюдента для заданного уровня значимости  $\alpha = 0,05$  или доверительной вероятности ( $p$ ) и найденного числа степеней свободы ( $f$ ) (рисунок 6.39).

Сравнивая две независимые выборки из одной или различных генеральных совокупностей, подчиняющихся нормальному закону распределения, проверяем гипотезы:

–  $H_0$  – нулевая гипотеза, при которой:  $\sigma_{rx}^2 = \sigma_{ry}^2, (\sigma_{rx}^2 - \sigma_{ry}^2 = 0)$ ;

–  $H_1$  – альтернативная гипотеза, где:  $\sigma_{rx}^2 \neq \sigma_{ry}^2, (\sigma_{rx}^2 - \sigma_{ry}^2 \neq 0)$ .

В гипотезе  $H_0$  принимается предположение о том, что различия не являются статистически достоверными и носят случайный характер.

f	p			
	0,9	0,95	0,99	0,999
1	6,314	12,70	63,65	636,61
2	2,920	4,303	9,925	31,602
3	2,353	3,182	5,841	12,923
4	2,132	2,776	4,604	8,610
5	2,015	2,571	4,032	6,869
6	1,943	2,447	3,707	5,959
7	1,895	2,365	3,499	5,408
8	1,860	2,306	3,355	5,041
9	1,833	2,262	3,250	4,781
10	1,812	2,228	3,169	4,587
11	1,796	2,201	3,106	4,437
12	1,782	2,179	3,055	4,318
13	1,771	2,160	3,012	4,221
14	1,761	2,145	2,977	4,140
15	1,753	2,131	2,947	4,073
16	1,746	2,120	2,921	4,015
17	1,740	2,110	2,898	3,965
18	1,734	2,101	2,878	3,922
19	1,729	2,093	2,861	3,883
20	1,725	2,086	2,845	3,850
21	1,721	2,080	2,831	3,819
22	1,717	2,074	2,819	3,792
23	1,714	2,069	2,807	3,768
24	1,711	2,064	2,797	3,745
25	1,708	2,060	2,787	3,725
26	1,706	2,056	2,779	3,707
27	1,703	2,052	2,771	3,690
28	1,701	2,049	2,763	3,674
29	1,699	2,045	2,756	3,659
30	1,697	2,042	2,750	3,646

Рисунок 6.39 – Соотношение доверительной вероятности ( $p$ ) и найденного числа степеней свободы ( $f$ )

Так как фактическая разность между вариантами  $d < НСР$ , то  $H_0 = 0$  и нулевая гипотеза принимается, т.е. разница между вариантами несущественная.

В гипотезе  $H_1$  принимается предположение о том, что разность между генеральными дисперсиями сравниваемых групп не равна нулю, и исследуемые выборки не принадлежат одной генеральной совокупности, а различия, наблюдаемые между выборочными показателями, носят именно систематический, а не случайный характер.

Рассмотрим опытные данные по скважности почвы из таблицы 6.5. Статистическая проверка гипотезы о существенной разности в слое 0 – 5 см в зависимости от 2-х способов обработки (Новый способ и дискование, и вспашка + дискование).

Уровень значимости принятия или отказа от гипотезы  $d = \bar{X}_{B1} - \bar{X}_{B2} = 0,04$ .  $S_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2} = 2,353$ . Число степеней свободы  $f = 22$ . Значение критерия Стьюдента  $t = 2,074$ .  $НСР = t \cdot S_d = 4,88$ .

В слое 25 – 30 см (таблица 6.5). Уровень значимости принятия или отказа от гипотезы  $d = \bar{X}_{B1} - \bar{X}_{B2} = 2,00$ .  $S_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2} = 2,105$ . Число степеней свободы  $f = 40$ . Значение критерия Стьюдента  $t = 2,021$ .  $HCP = t \cdot S_d = 4,25$  (рисунок 6.39).

Таблица 6.5 – Влияние способов обработки склонов на впитывание воды – ноябрь 2016 г.

Виды обработки почвы	Глубина залегания почвенного слоя, см	Значение высоты столба воды в установке, см								Среднее $\bar{X}_B$	Испр. дисперсия $S^2$	Число вариантов в выборках	
		10 мин.	30 мин.	60 мин.	100 мин.	150 мин.	210 мин.	280 мин.	360 мин.				
Новый способ и дискование	0 – 5	10,1	14,1	18,2	25	-	-	-	-	16,83	33,20	12	
		10,1	14,0	18,2	25								
		10,0	14,2	18,1	25								
	25 – 30	7,8	11,8	15,0	19,4	22,8	25	-	-	17,03	39,53	18	
		7,5	11,8	15,2	19,8	23,0	25						
		7,5	12,0	15,4	19,6	23,0	25						
	40 – 45	3,5	6,0	11,0	14,0	17,5	20,0	25	-	13,79	52,27	21	
		3,2	6,5	11,0	13,7	17,2	19,8	25					
		3,5	6,2	10,7	13,7	17,2	19,8	25					
Вспашка + дискование	0 – 5	10,0	14,1	18,1	25	-	-	-	-	16,79	33,16	12	
		10,0	14,1	18,0	25								
		10,2	14	18,0	25								
	25 – 30	3,3	7,5	10,1	14,6	17,5	20,5	22,2	25	15,03	53,66	24	
		3,1	7,2	10,0	14,6	17,7	20,7	22,0	25				
		3,1	7,5	9,8	14,2	17,7	20,5	22,0	25				
	40 – 45	1,0	1,0	1,0	Уровень воды не снижается						1,07	0,01	9
		1,2	1,2	1,2									
		1,0	1,09	1,0									

Так как фактическая разность между вариантами  $d < HCP$ , то  $H_0 = 0$  и нулевая гипотеза принимается. Но, при этом наблюдается незначительная разница между вариантами.

В слое 40 – 45 см (таблица 6.5). Уровень значимости принятия или отказа от гипотезы  $d = \bar{X}_{B1} - \bar{X}_{B2} = 12,72$ .  $S_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2} = 1,578$ . Число степеней

свободы  $f = 28$ . Значение критерия Стьюдента  $t = 2,049$ .  $HCP = t \cdot S_d = 3,23$  (рисунок 6.39). Так как фактическая разность между вариантами  $d > HCP$ , то  $H_0 \neq 0$ , нулевая гипотеза отвергается, т.е. возникающая разница между вариантами является статистически существенной.

Статистическая проверка гипотезы о существенной разности в таблице 6.6. В слое 0 – 5 см. Уровень значимости принятия или отказа от гипотезы  $d = \bar{X}_{B1} - \bar{X}_{B2} = 00,2$ .  $S_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2} = 2,337$ . Число степеней свободы  $f = 22$ .

Таблица 6.6 – Влияние способов обработки склонов на впитывание воды – ноябрь 2017 г.

Виды обработки почвы	Глубина залегания почвенного слоя, см	Значение высоты столба воды в установке, см								Среднее $\bar{X}_B$	Испр. дисперсия $S^2$	Число вариантов в выборках	
		10 мин.	30 мин.	60 мин.	100 мин.	150 мин.	210 мин.	280 мин.	360 мин.				
Новый способ и дискование	0 – 5	10,1	14,2	18,1	25	–	–	–	–	16,92	32,72	12	
		10,2	14,5	18,3	25								
		10,1	14,2	18,3	25								
	25 – 30	6,0	10,5	12,6	17	20,5	23,5	25	–	16,30	44,50	21	
		5,8	10,0	13,0	16,6	20,0	23,0	25					
		5,8	10,2	12,8	16,8	20,2	23,0	25					
	40 – 45	2,6	4,8	9,2	12,2	15,2	18,0	20,8	25	13,45	54,93	24	
		2,5	5,0	9,5	11,8	15,0	17,5	21,0	25				
		2,5	5,0	9,5	12,0	15,0	17,5	21,2	25				
Вспашка + дискование	0 – 5	10,2	14,5	18,5	25	–	–	–	–	16,93	32,85	12	
		10,0	14,2	18,2	25								
		10,1	14,3	18,2	25								
	25 – 30	3,3	7,7	10,1	14,2	18	20,5	22,0	25	14,95	53,14	24	
		3,2	7,4	9,8	14,6	17,5	20,2	22,3	25				
		3,2	7,4	9,8	14,2	15,5	20,5	22,3	25				
	40 – 45	1,0	1,0	1,0	Уровень воды не снижается						1,07	0,01	9
		1,0	1,0	1,0									
		1,2	1,2	1,2									

Эмпирическое значение критерия Стьюдента  $t = 2,074$ .  $HCP = t \cdot S_d = 4,85$ .

Так как фактическая разность между вариантами  $d < HCP$ , то  $H_0 = 0$  и нулевая гипотеза принимается, т.е. разница между вариантами несущественная.

В слое 25 – 30 см (таблица 6.6). Уровень значимости принятия или отказа от гипотезы  $d = \bar{X}_{B1} - \bar{X}_{B2} = 1,35$ .  $S_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2} = 2,082$ . Число степеней свободы  $f = 43$ . Эмпирическое значение критерия Стьюдента  $t = 2,017$ .  $HCP = t \cdot S_d = 4,20$  (рисунок 6.39). Так как фактическая разность между вариантами  $d < HCP$ , то  $H_0 = 0$  и нулевая гипотеза принимается. Но, при этом наблюдается несущественная разница между вариантами.

В слое 40 – 45 см (таблица 6.6). Уровень значимости принятия или отказа от гипотезы  $d = \bar{X}_{B1} - \bar{X}_{B2} = 12,38$ .  $S_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2} = 1,513$ . Число степеней свободы  $f = 31$ . Эмпирическое значение критерия Стьюдента  $t = 2,049$  (рисунок 6.39).  $HCP = t \cdot S_d = 3,09$ . Так как фактическая разность между вариантами  $d > HCP$ , то  $H_0 \neq 0$ , нулевая гипотеза отвергается, т.е. возникающая разница между вариантами является статистически существенной.

Статистическая проверка гипотезы о существенной разности в таблице 6.7. В слое 0 – 5 см. Уровень значимости принятия или отказа от гипотезы  $d = \bar{X}_{B1} - \bar{X}_{B2} = 0,1$ .  $S_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2} = 2,336$ . Число степеней свободы  $f = 22$ . Эмпирическое значение критерия Стьюдента  $t = 2,074$ .  $HCP = t \cdot S_d = 4,84$ . Так как фактическая разность между вариантами  $d < HCP$ , то  $H_0 = 0$  и нулевая гипотеза принимается, т.е. разница между вариантами несущественная.

В слое 25 – 30 см (таблица 6.7). Уровень значимости принятия или отказа от гипотезы  $d = \bar{X}_{B1} - \bar{X}_{B2} = 0,64$ .  $S_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2} = 2,098$ . Число степеней свободы  $f = 46$ . Эмпирическое значение критерия Стьюдента  $t = 2,013$ .  $HCP = t \cdot S_d = 4,22$  (рисунок 6.39). Так как фактическая разность между вариантами  $d < HCP$ , то  $H_0 = 0$  и нулевая гипотеза принимается. Но, при этом наблюдается несущественная разница между вариантами.

В слое 40 – 45 см (таблица 6.7). Уровень значимости принятия или отказа от гипотезы  $d = \bar{X}_{B1} - \bar{X}_{B2} = 3,75$ .  $S_d = \sqrt{S_{x1}^2 + S_{x2}^2} = 0,770$ . Число степеней

свободы  $f = 19$ . Эмпирическое значение критерия Стьюдента  $t = 1,61$  (рисунок 6.39).  $HCP = t \cdot S_d = 2,093$ . Так как фактическая разность между вариантами  $d > HCP$ , то  $H_0 \neq 0$ , нулевая гипотеза отвергается, т.е. возникающая разница между вариантами является статистически существенной.

Таблица 6.7 – Влияние способов обработки склонов на впитывание воды – ноябрь 2018 г.

Виды обработки почвы	Глубина залегания почвенного слоя, см	Значение высоты столба воды в установке, см								Среднее $\bar{x}_B$	Испр. дисперсия $S^2$	Число вариантов в выборках
		10 мин.	30 мин.	60 мин.	100 мин.	150 мин.	210 мин.	280 мин.	360 мин.			
Новый способ и дискование	0 – 5	10,2	14,2	18,2	25	–	–	–	–	16,94	32,64	12
		10,1	14,2	18,4	25							
		10,2	14,5	18,3	25							
	25 – 30	4	8,0	11	15,6	18,8	21,3	23	25	15,86	51,44	24
		4,2	8,2	10,8	15,8	18,6	21	23,2	25			
		4,2	8,3	10,7	16	18,5	21,2	23,2	25			
	40 – 45	1,8	3,0	6,5	8,2	Уровень воды не снижается				4,82	7,10	12
		1,8	3,2	6,2	8							
		1,6	3,0	6,2	8,3							
Вспашка + дискование	0 – 5	10,2	14,4	18,2	25	–	–	–	–	16,93	32,84	12
		10,2	14,2	18,4	25							
		10	14,2	18,4	25							
	25 – 30	3,3	7,5	10,1	15	18,1	20,3	22,8	25	15,22	54,18	24
		3,5	7,2	9,8	14,8	18	20,5	22,6	25			
		3,5	7,3	9,8	15,2	17,8	20,5	22,6	25			
	40 – 45	1,0	1,0	1,0	Уровень воды не снижается				1,07	0,01	9	
		1,0	1,0	1,0								
		1,2	1,2	1,2								

Исходя из полученных данных по скважности почвы, обработанной экспериментальным комплексом орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в третьей базовой конфигурации «Глубокорыхлитель Склоновых Земель» (ГСЗ) следует, что в верхнем 0 – 5 см слое процесс впитывания воды практически одинаков. Изменения в скорости впитывания происходят на глубине 25 – 30 см, на участке склона, обработанном новым способом. В этом слое скорость

оседания столба воды увеличена в первый год замеров, по сравнению с контролем в среднем от 36 % до 60 %.

Полученные данные по скорости впитывания в слое 25 – 30 см в разрыхленной области согласуются с данными численного эксперимента, проведенного на программном комплексе *FlexPDE* (глава 4). Согласно рисунка 4.8 в этом слое влагосодержание составляет, примерно,  $0,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$  за период впитывания 3,25 часа, что подтверждено данными опыта (таблица 6.5) где за практически тот же период (210 минут) вода в установке полностью впиталась. Объём впитавшейся воды соответствует интенсивности осадков  $I = 60 \text{ мм/сут.}$  При этом в нижнем слое 40 – 45 см за такой же промежуток времени процесс впитывания воды замедлился, что отразилось на уровне влагосодержания –  $0,25 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (рисунок 4.8). Этот результат согласуется с опытным значением высоты оседания столба жидкости, примерно 20 см.

На второй год замеров в этом слое на участке, обработанном новым способом скорость оседания столба воды, снижается на 15 %. На третий год скорость впитывания на контроле и участке, обработанном новым способом, практически выравнивается. В слое, на глубине 40 – 45 см участке склона, обработанном новым способом динамика скорости впитывания на второй год исследований, снижается по сравнению с первым. Столб воды высотой 25 см в установке, на второй год полностью впитался спустя 410 минут, против 360 минут в первом году исследований. На третий год в данном слое динамика впитывания воды наблюдалась в течении 1,5 часов и в последствии уровень воды не снижался.

В результате проведенного натурного исследования влияния последствий новой ресурсосберегающей обработки склоновых земель на скорость впитывания воды, можно сделать заключение о том, что послойная скважность земли на исследуемых участках при данной почвенной разности практически выравнивается после третьего года исследований.

Сравнение результатов натурального исследования по скважности почвы на склоне обработанным новым способом в ноябре 2016 г. (таблица 6.5) и теоретических данных по влагосодержанию на момент времени 0,135 суток (рисунок 4.8) показало достаточную сходимость результатов – с процентом относительной ошибки до 16,7 % (рисунок 6.40). Значения влагосодержания на различных уровнях приводятся в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Послойное влагосодержание при 0,135 суток

Глубина залегания уровня	Теоретические данные	Опытные данные	
		Новая обработка	Контроль
0 – 5 см	0,35 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,35 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,35 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
25 – 30 см	0,30 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,25 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,207 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
40 – 45 см	0,25 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,23 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,012 м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>

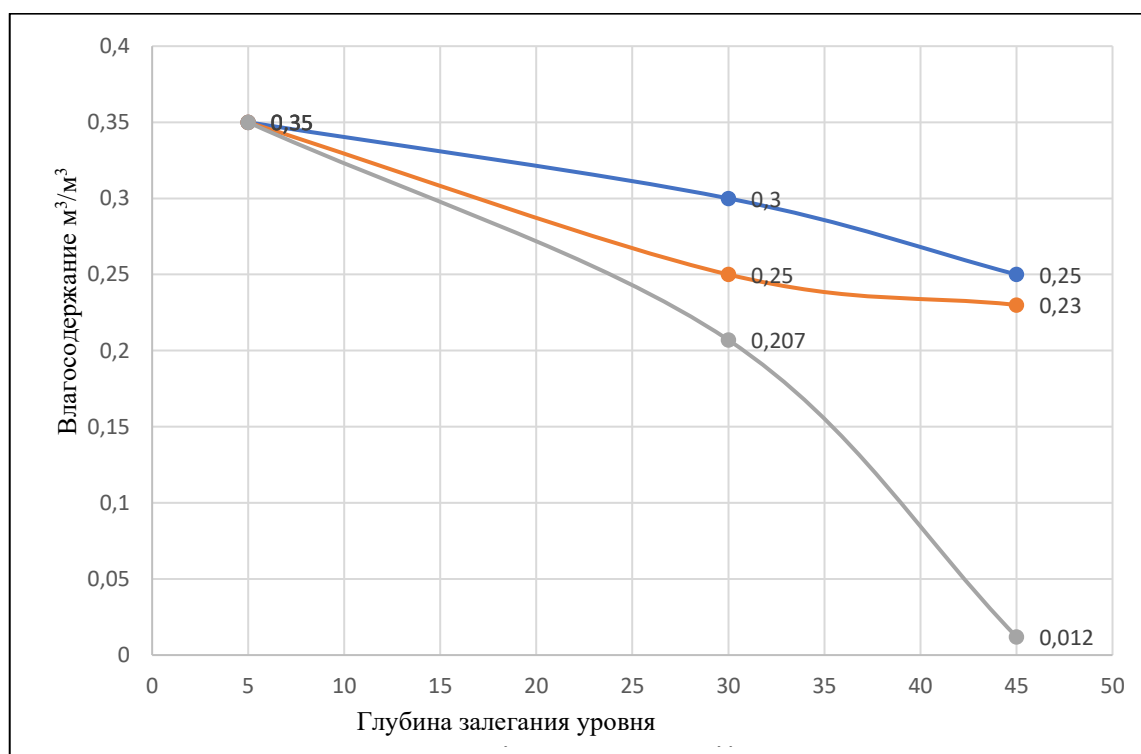


Рисунок 6.40 – Графики влагосодержания на различных уровнях

## **6.6 Исследование воздействия разработанных ресурсосберегающих технологического процесса и технических средств глубокого рыхления для обработки склонов на урожайность сельскохозяйственных культур**

Исследования по оценке влияния на урожайность выращиваемых культур от применения нового способа ресурсосберегающей обработки склонов и комплекса орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в третьей базовой конфигурации «Глубокорыхлитель Склоновых Земель» (ГСЗ) 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. На рисунке 6.41 показано поле, на котором проводилось исследование воздействия разработанных ресурсосберегающих технологического процесса и технических средств глубокого рыхления для обработки склонов на урожайность сельскохозяйственных культур в период 2016 – 2018 гг. Левая часть поля – это опытный участок, обработанный новым ресурсосберегающим способом.



Рисунок 6.41 – Вид поля, на котором проводились натурные исследования

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<sup>0</sup> С. Влажность воздуха, в среднем, составляет 56 %. Обрабатываемое поле имеет уклон – примерно 5<sup>0</sup>.

Глубокая безотвальная обработка проводилась в октябре 2016 г. Натурный эксперимент проводился при основной глубокой обработке почвы на глубину 0,55 – 0,6 м на фоне возделывания ярового ячменя. Площадь опытного участка составила 16 га, контроль – 70 га [58, 129, 130, 131]. Процесс переоборудования системы деформаторов инновационного комплекса орудий для глубокого рыхления на базе ГНЧ-0,6М в третью базовую комплектацию ГСЗ представлен на рисунке 6.42. На рисунке 6.43 представлены два сравниваемых вида обработки, слева опытный участок – глубокое рыхление склона новым способом на глубину 55 – 60 см, справа участок контроля – вспашка + дискование.



Рисунок 6.42 – Переоборудование системы деформаторов стоек



Рисунок 6.43 – Вид опытного и контрольного участков, ноябрь 2016 г.

Результаты исследований по биологической урожайности в 2017 году на контроле и опыте приведены таблице 6.9 и таблице 6.10 соответственно. Взятие проб было произведено 03.06.2017 г. На рисунке 6.44 показан выращиваемый на контрольном участке яровой ячмень (06.06.2017 г.) [128, 132].

Таблица 6.9 – Яровой ячмень (контроль) 2017 г.

Показатели	1	2	3	4	Сумма (1 м <sup>2</sup> )
	(0,25 м <sup>2</sup> )	(0,25 м <sup>2</sup> )	(0,25 м <sup>2</sup> )	(0,25 м <sup>2</sup> )	
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
Количество 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 6.10 – Яровой ячмень (опыт) 2017 г.

Показатели	1	2	3	4	Сумма (1 м <sup>2</sup> )
	(0,25 м <sup>2</sup> )	(0,25 м <sup>2</sup> )	(0,25 м <sup>2</sup> )	(0,25 м <sup>2</sup> )	
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
Количество 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



Рисунок 6.44 – Вид ярового ячменя на контроле 2017 г.

Развитие ячменя на опытном участке показано на рисунке 6.45 (06.06.2017 г.) На рисунке 6.46 представлены колосья ячменя: слева – собранные с контрольного участка, справа – с опытного.



Рисунок 6.45 – Вид ярового ячменя на опыте 2017 г.



Рисунок 6.46 – Вид колосьев ячменя на контроле и опыте (06.06.2017 г.)

На этой фотографии – рисунок 6.46, наглядно показано более выгодное отличие колосьев, выращенных на опытном участке, от колосьев ячменя с контрольного поля.

Результаты исследований по биологической урожайности в 2018 году показаны на контроле в таблице 6.11 и опыте в таблице 6.12. Взятие проб проводилось 04.06.2018 г.

Таблица 6.11 – Озимая пшеница (контроль) 2018 г.

Показатели	1 (0,25 м <sup>2</sup> )	2 (0,25 м <sup>2</sup> )	3 (0,25 м <sup>2</sup> )	4 (0,25 м <sup>2</sup> )	Сумма (1 м <sup>2</sup> )
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 6.12 – Озимая пшеница (опыт) 2018 г.

Показатели	1 (0,25 м <sup>2</sup> )	2 (0,25 м <sup>2</sup> )	3 (0,25 м <sup>2</sup> )	4 (0,25 м <sup>2</sup> )	Сумма (1 м <sup>2</sup> )
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

Проведенные натурные исследования показали, что глубокое безотвальное рыхление экспериментальным комплексом орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в третьей базовой конфигурации ГСЗ увеличило биологическую урожайность выращиваемых посевных культур в 2017 году, на примере ярового

ячменя, до 22,10 % и повышает массу соломы на 24,18 % по сравнению с контролем. В следующем, 2018 г. на этом же поле проводились замеры биологической урожайности озимой пшеницы. Исследовалось влияние последствий инновационной глубокой обработки склонов, проведенного экспериментальным комплексом орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в третьей базовой конфигурации ГСЗ на урожайность посевных культур [129].

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 %.

## 6.7 Выводы

1. Установлено, что существенное улучшение качества обработки склоновых и равнинных земель обеспечивается разработанным комплексом орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М, архитектура которого разработана с использованием методологии концептуального конструирования. Экспериментально подтверждена эффективность принятых конструктивных решений по его конфигурации и значений геометрических параметров.
2. Уточнена модель взаимодействия рабочих органов различных глубокорыхлителей с почвой. Проведена сравнительная оценка влияния параметров различных типов почвообрабатывающих агрегатов на конфигурацию, площадь и качество зоны рыхления. В результате инновационный комплекс орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М показал лучшие, с средним на 17 – 25 %, характеристики рыхления по

сравнению с другими экспериментальными глубокорыхлителями УНС-5 и КАО-2.

3. Установлено, что наиболее полно агротехническим требованиям после обработки в части: плотность почвы; рациональная зона разрыхления; максимальной влагоемкости и области корневой системы растений отвечает архитектура системы деформаторов комплекса орудий для глубокого рыхления на базе чизеля ГНЧ-0,6М с горизонтальными элементами системы деформаторов жёстко закреплёнными на носке наральника.
4. Экспериментально установлено, что устойчивая целостность внутрипочвенной стенки, создаваемой при глубоком рыхлении почвы на глубину до 60 см, будет обеспечена, если в верхней 0 – 30 см части внутрипочвенных стенок их ширина будет в пределах 45 – 47 см.
5. В результате проведенных натурных исследований воздействия глубокого рыхления проведенного экспериментальным комплексом орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в третьей базовой конфигурации «Глубокорыхлитель Склоновых Земель» на глубину до 60 см на опытном поле с уклоном примерно 5<sup>0</sup> установлено, что прибавка урожайности в первый год составила 22,10 %, в последующем году последствие инновационной глубокой обработки склонов позволило получить прибавку урожайности 13,20 % на примере возделывания ярового ячменя и озимой пшеницы соответственно.
6. Сравнение результатов натурального исследования по скважности почвы на склоне обработанным новым способом в ноябре 2016 г. и теоретических данных по влагосодержанию на момент времени 0,135 суток показало достаточную сходимость результатов, с процентом относительной ошибки до 16,7 %.

## **7 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ**

### **7.1 Обоснование целей расчёта инновационных элементов системы деформаторов энергоэффективного глубокорыхлителя**

На сегодняшний день существуют разнообразные конструкции глубокорыхлителей почвы, например включающие наклонные стойки, а также наклонные стойки с закреплёнными на них подрезающими элементами – чизельные глубокорыхлители. Известны рыхлители почвы, имеющие в качестве системы деформаторов замкнутый контур – объёмные глубокорыхлители. Такие рыхлители имеют ширину захвата до 3 м и глубину рыхления, в основном – до 0,5 м, редко до 0,6 м (глубокорыхлитель объёмного типа – до 0,8 м).

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 критерию 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 также ограничивает возможности глубокого рыхления почвы на глубину 50 см и более, что в итоге ведёт к снижению экономической эффективности обработки почвы в целом [6, 10, 17, 83, 84].

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 их текущих конструктивных 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.

При обработке почвы установлено [55, 16, 85, 181, 182, 232, 240], что непостоянство физико-механических свойств обрабатываемых земель, неровности микрорельефа, по которому движется машина, вибрации работающего двигателя трактора, вызывают варьирование в широких пределах величин, направления и точек приложения сил сопротивления, действующих как на рабочие органы, так и машину в целом. При процессе обработки периодические составляющие, которые можно представить в виде гармонических составляющих с амплитудой  $A$  и круговой частотой  $\omega$ , причем полная нагрузка равна сумме низкочастотной, среднечастотной центрированной и высокочастотной случайных составляющих, с учетом в последней вида разрушения [88, 89].

Исходя из этого предложим для моделирования колебательности стойки глубокорыхлителя функцией вида [88, 89]:

$$M_c = \bar{M} + A_n \cdot \sin(\omega_n t + \alpha_1) + A_{cp} \cdot \sin(\omega_{cp} t + \alpha_2) + A_e \cdot \sin(\omega_e t + \alpha_3), \quad (7.1)$$

где  $\bar{M}$  – постоянная составляющая момента сопротивления (математическое ожидание, определяемое по известным методикам);

$A_n, A_{cp}, A_e$  – амплитуды низко, средне и высокочастотных составляющих момента сопротивления;

$\omega_n, \omega_{cp}, \omega_e$  – круговые частоты соответствующих составляющих;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – смещение фаз [88, 89].

Диаграмма основной возмущающей силы показана на рисунке 7.1 [88, 89].

Учитывая вышеизложенное, а также удлинение и изменение прямого горизонтального профиля почвоподъёмников, при динамическом воздействии неоднородной среды по всему профилю, ведёт к возникновению у них самовозбуждающихся незатухающих изгибающих и крутящих автоколебаний.

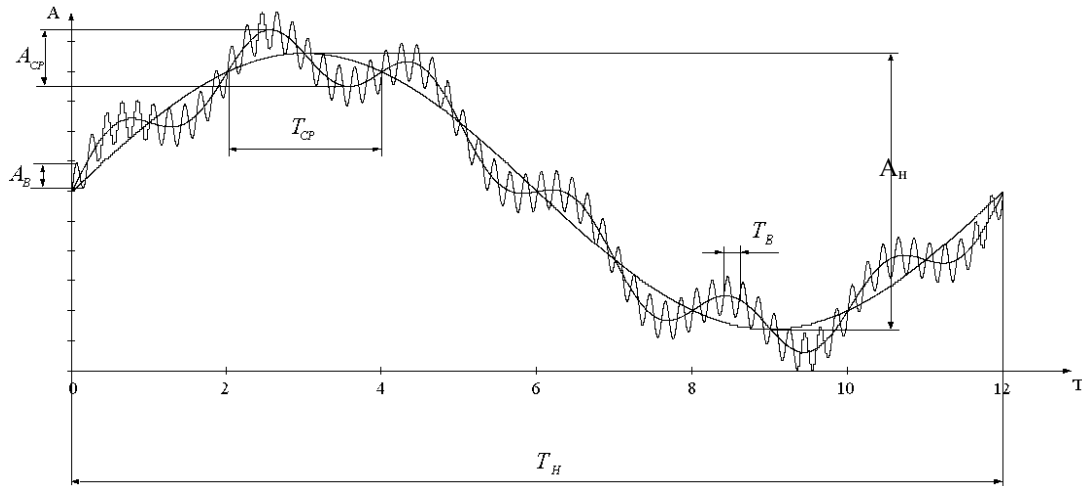


Рисунок 7.1 – График характеристики возмущающей силы

Следовательно, возникает динамическая неустойчивость упругой конструкции в потоке среды – разрыхляемого пласта почвы. Такое состояние будет вызвано одновременным воздействием положительной обратной связью между отклонением ломаного почвоподъёмника, вынуждающими колебаниями стойки глубокорыхлителя и реактивной силой, создаваемой потоком неоднородной почвы. Слияние этих сил может привести к нестабильному состоянию, которое создаёт новое свойство, так называемую эмерджентность – эффекту флаттера (рисунок 7.2). При обеспечении необходимых прочностных характеристик материала почвоподъёмников их дрожание будут способствовать увеличению качества разрыхления почвы, дополнительно воздействуя на подрезаемый пласт. В конечном итоге это ведёт к повышению энергоэффективности рыхления глубокорыхлителем чизельного типа ГНЧ-0,6М, оборудованного инновационными ломаными почвоподъёмниками,

обеспечивающими возникновение эффекта флаттера. Исходя из этого возникает необходимость проведения расчётов на прочность и жёсткость элементов систем деформаторов глубокорыхлителей представляя их в виде ломаных пластин. Они должны иметь механические характеристики, достаточные для рыхления почвы, не разрушаясь, испытывая при этом автоколебания – «флаттер».

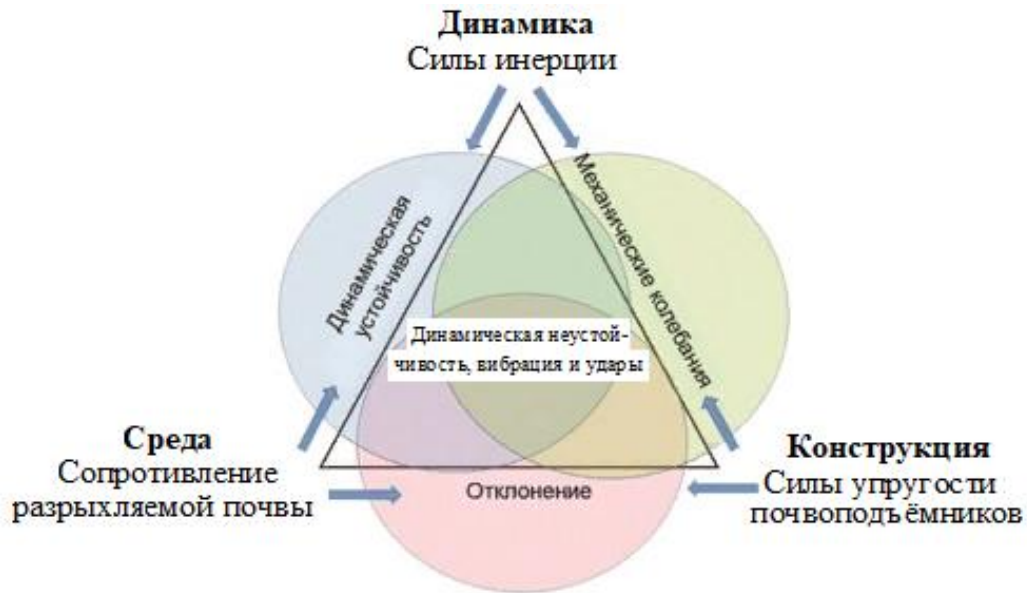


Рисунок 7.2 – Вид взаимодействия различных сил, действующих на инновационные ломаные почвоподъёмники

Исходя из сформулированного предположения о ломаном профиле и вспомогательном автоколебании рыхлящих пластин сменного элемента системы деформаторов, был получен патент на изобретение № 2742657 РФ [26, 131, 146]. Полагаем, что для увеличения ширины захвата глубокорыхлителя, рационального профилирования области рыхления, улучшения качества крошения почвы без оборота пласта на глубину до 60 см, а также снижения тягового сопротивления необходимо устанавливать на стойку – 1 орудия горизонтальные элементы системы деформаторов с ломаным профилем (рисунок 7.3). Исходя из этого почвоподъёмники имеют ломаную форму, состоящую из двух частей – медиальной – 2 и латеральной – 3 с заостренными режущими частями, соотношение размеров между частями зависит от физико-механических

свойств почвы и принимается либо равным, либо соответственно пропорциям «золотого сечения» медиальная часть больше латеральной, или соответственно пропорциям «золотого сечения» медиальная часть меньше латеральной. Медиальные участки – 2 ломанных почвоподъёмников имеют подъём внешних частей относительно общей горизонтали на угол от  $0^{\circ}$  до  $50^{\circ}$ , установлены с уклоном к фронтальной плоскости под углом от  $40^{\circ}$  до  $50^{\circ}$  относительно общей горизонтали; латеральные участки отклоняются от медиальных участков на угол от  $10^{\circ}$  до  $90^{\circ}$ . Почвоподъёмники симметрично установлены на стойке рабочего органа и закреплены на стойке – 1 или на глубине 45 см от дневной поверхности, по общей вертикали (рисунок 7.3).

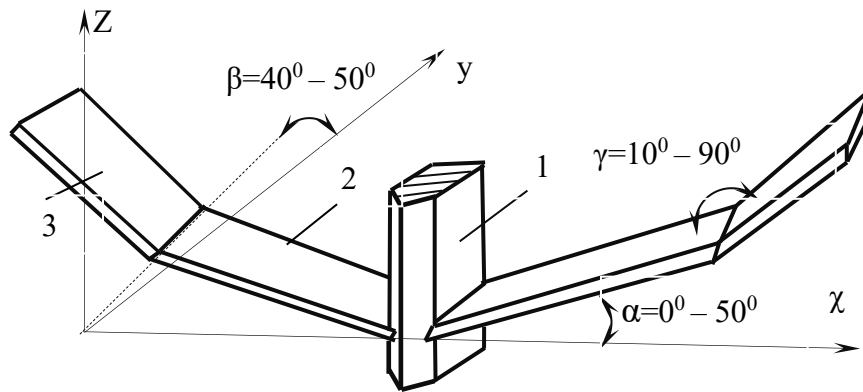


Рисунок 7.3 – Схема возможных пределов кривизны почвоподъёмников

При взаимодействии ломанных почвоподъёмников с землёй за счет разновеликих реакций возникают их колебания (вибрации). Такой осциллятор, как показан на рисунке 7.3, приводит к возникновению дополнительных деформаций в разуплотняемом пласте, а также препятствует налипанию почвы, вследствие чего не возникает «почвенный клин», что существенно снижает тяговые сопротивления. Ломаные почвоподъёмники взаимодействуя на почву испытывают разновеликие реакции, что ведёт к возникновению их колебаний (вибрации). Представленный на рисунке 7.3 осциллятор, приводит к созданию дополнительных деформаций в разуплотняемом пласте, а также препятствует

налипанию почвы, вследствие чего не возникает «почвенный клин», что существенно снижает тяговые сопротивления.

Применение на стойках чизель-разрыхлителях почвоподъёмников ломаной формы, позволяет увеличить поперечный размер области разрыхления от прохождения одной стойки, т.е. происходит рост ширины захвата орудия. Изломы способствуют более качественному рыхлению почвы, а также являются элементами, усиливающими жёсткость на почвоподъёмниках. Ломаные почвоподъёмники позволяют более качественно профилировать область разрыхления и обеспечить требуемое разрыхление без оборота обрабатываемого пласта почвы на глубину до 60 см.

## **7.2 Численное исследование на прочность ломаных почвоподъёмников различной конфигурации**

Форм ломаных пластинок, удовлетворяющих представленным выше требованиям, может быть множество, исходя из рисунка 7.3 и изменяя показанные углы  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  согласно их заданным диапазонам. Рассмотрим основные возможные формы ломаных почвоподъёмников – три базовые конфигурации. В дальнейшем для расчёта наклонных изотропных пластин ломаного профиля при работе в условиях различных напряжённо-деформированных состояний эксплуатации, постоянного сечения симметрично расположенных на стойке с заземленными медиальными краями постоянного сечения одинаковой жёсткости, использовалась толщина 2 мм, в первом приближении. Она была выбрана начальной в зависимости от прочностных свойств при стандартных условиях работы стали марки С245 в упругой зоне. Исследовались напряжённо-деформированные состояния ломаных почвоподъёмников в заданных базовых профилях при толщинах от 2,0 мм до

7,0 мм. Для расчётов учитывалось, что пластинки выполнены из стали марки С245 (СтЗсп по ГОСТ 380 и ГОСТ 535 (прил. 1 ГОСТ 27772-88)) [135].

Для проведения оценки критериев прочности из геометрических характеристик поперечного сечения (соотношение ширины к выбранным толщинам) почвоподъёмников в виде наклонных стальных ломаных пластин с защемлено-свободными краями конечных размеров, постоянного сечения, одинаковой жёсткости воспользовались программным комплексом «SCAD office». Для расчёта применялся метод конечных элементов. При выполнении моделирования твердотельной модели напряжённо – деформированного состояния в первую очередь, выполнялись условия адекватности изотропных ломанных наклонных стальных почвоподъёмников постоянного сечения с жёстким защемлением медиальных горизонтальных частей, при различном, конечно-элементном моделировании, с учётом различных статических и динамических нагрузок [121, 127, 135, 222, 234].

Расчёт напряженно-деформированного состояния предполагал построение адекватной расчётной модели ломаного почвоподъёмника с защемленно-свободными краями при различных эксплуатационных параметрах, как элемента системы деформаторов навесного оборудования. Число элементов и число узлов ансамбля построения расчётной модели ломаного почвоподъёмника с защемленно-свободными краями, соответственно, составило 104 и 132. Кодирование исходной информации осуществлялось в терминах метода приращений с учётом фрагментального представления ломанных почвоподъёмников в виде объектов простой геометрической формы – пластины, как элемента системы деформаторов навесного оборудования. В постановке математического моделирования расчётной модели преследовалась цель установления адекватности твердотельной модели, испытывающей напряжённо-деформированное состояние ломаного почвоподъёмника с защемленно-свободными краями без характерных дефектов как элемента системы

деформаторов стойки почвообрабатывающего агрегата чизельного типа, при максимальном напоре сопротивления разрыхляемого пласта почвы.

Рассмотрим первую базовую конфигурацию консольных парных ломаных пластин (почвоподъёмников), у которых медиальные части располагаются горизонтально, а латеральные части установлены вертикально, перпендикулярно медиальным. Общий вид исследуемой первой базовой конфигурации формы поперечного профиля ломаных почвоподъёмников, и взаимное расположение ломаных пластин показано на рисунке 7.4. Угол наклона медиальных частей (1) по общей горизонтали  $\beta = 40^\circ$ . Длина во фронтальной проекции 110 мм. Они жёстко закреплены на стойке (3).

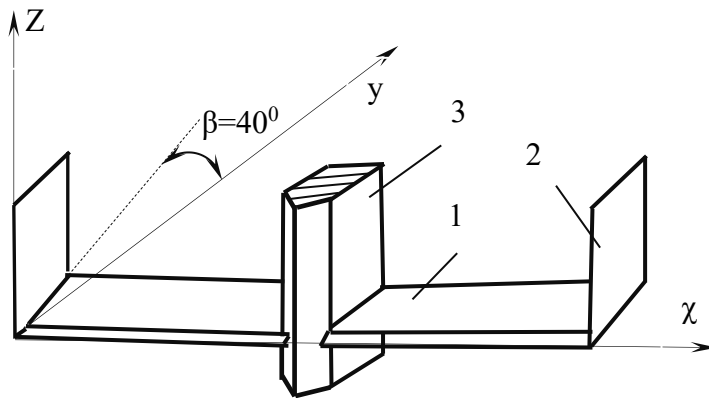


Рисунок 7.4 – Вид первой базовой конфигурации ломаных почвоподъёмников

Размер по оси Z вертикально расположенных латеральных (расположенные по краям) частей (2) составляет 100 мм. Конечно-элементная модель ломанных почвоподъёмников для первой базовой формы их профиля представлена на рисунке 7.5.

Приложенные к расчётной схеме нагрузки, которые учитывались в численном исследовании, показаны на рисунке 7.6.  $Q_1 = 60,0 \text{ кН/м}^2$  – фронтальная (распределённая) нагрузка (горизонтальная);  $Q_2 = 10,0 \text{ кН/м}^2$  – вертикальная (распределённая) нагрузка, действующая на всю поверхность пластинок (пригрузка).

Полученные эпюры напряжений и перемещений элементов ломаных почвоподъёмников одинаковой толщины (2,0 мм) по всему профилю показаны на рисунках 7.7, 7.8.

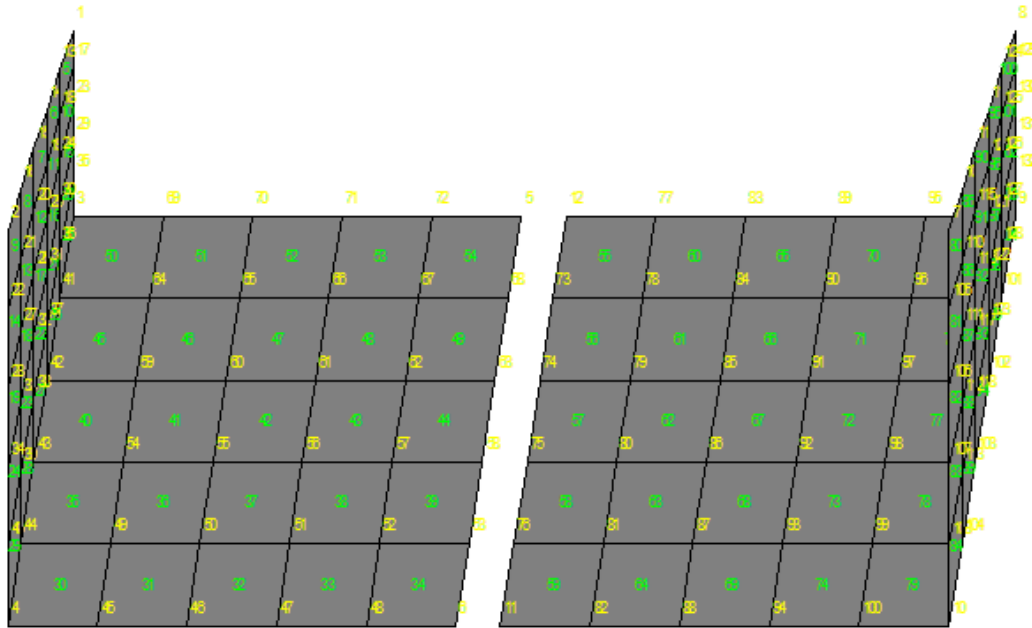


Рисунок 7.5 – Вид конечно-элементной модели ломанных почвоподъёмников

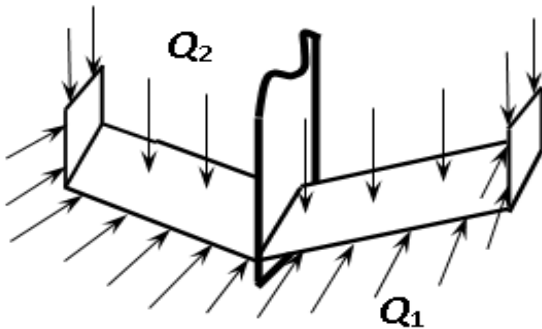


Рисунок 7.6 – Вид расчётной схемы нагружения первой базовой формы

Численные значения результатов расчёта эпюр напряжений, перемещений и деформаций элементов ломанных почвоподъёмников первой базовой формы, имеющих одинаковую толщину – 2,0 мм, по всему профилю, представлены в приложении 4.1.

Как видно из показанной на рисунке 7.7 эпюры интенсивности напряжений, опасными местами являются зона жёсткого закрепления ломанных почвоподъёмников и вся их латеральная часть. Здесь же локализованы сверхкритические значения напряжений. Наличие неприемлемо высоких значений по напряжениям может явиться причиной разрушения элементов почвоподъёмников, или отрыва от стойки глубокорыхлителя [135].

Исходя из показанных эпюр суммарных перемещений первой базовой конфигурации при толщине материала 2,0 мм (рисунок 7.8) видно, что точки, находящиеся на латеральном (внешнем) крае ломаного почвоподъёмника

отклоняются от начального положения в среднем от 5 мм до 8 мм, что является косвенным подтверждением амплитуды колебаний.

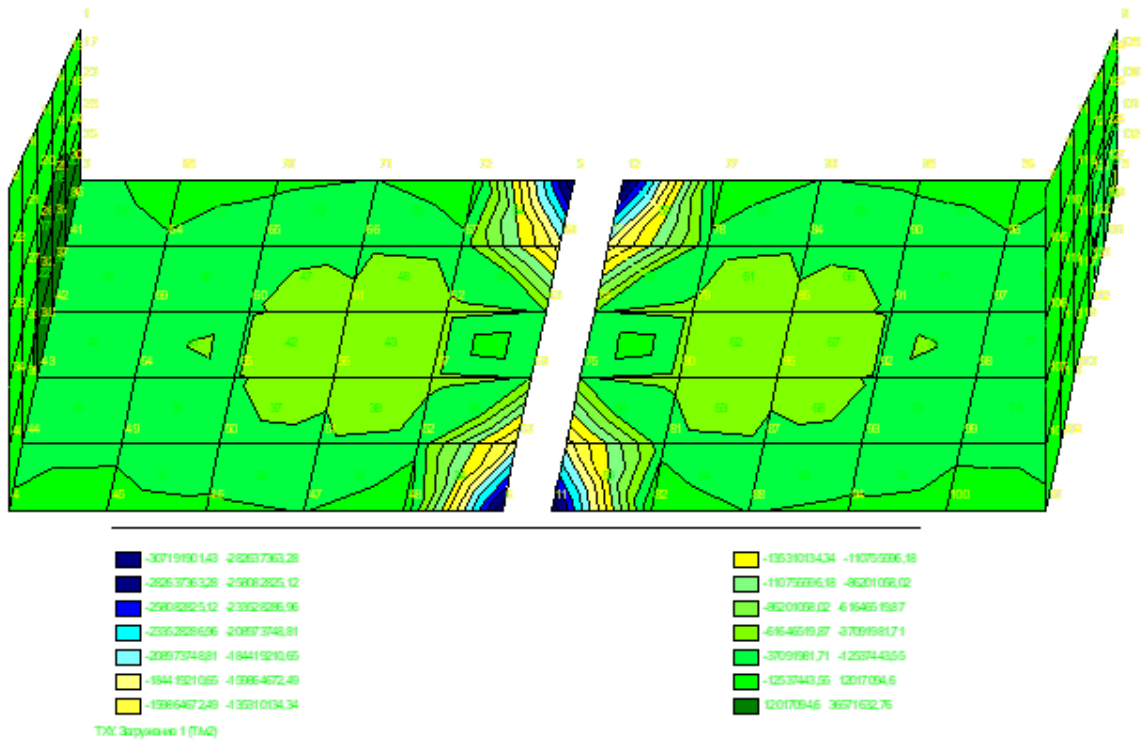


Рисунок 7.7 – Вид эпюра суммарных напряжений ломаных почвоподъёмников при толщине 2,0 мм по осям  $X$  и  $Y$

Анализ полученных эпюр суммарных деформаций консольных ломаных почвоподъёмников толщиной 2,0 мм первой базовой конфигурации (рисунок 7.9) показал, что деформаций в местах их крепления нет. При этом в средней зоне горизонтальных, а также в вертикальных частях ломаных почвоподъёмников возникают деформации с неприемлемыми значениями, что ведёт к потере заданной формы – смятию. Следовательно выбранная толщина – 2,0 мм ломаных почвоподъёмников первой базовой формы при данном материале позволяет возникать колебаниям, но не обеспечивает прочность детали. Необходимо рассмотреть прочность ломаных почвоподъёмников текущей базовой конфигурации при толщине материала 3,0 мм.

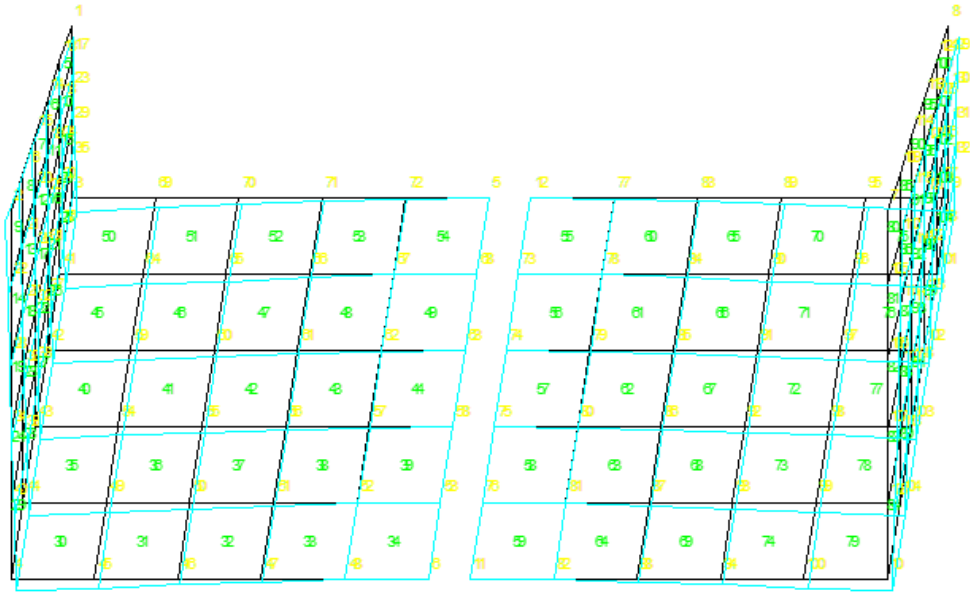


Рисунок 7.8 – Вид эпюры суммарных перемещений ломаных почвоподъёмников  
толщиной 2,0 мм

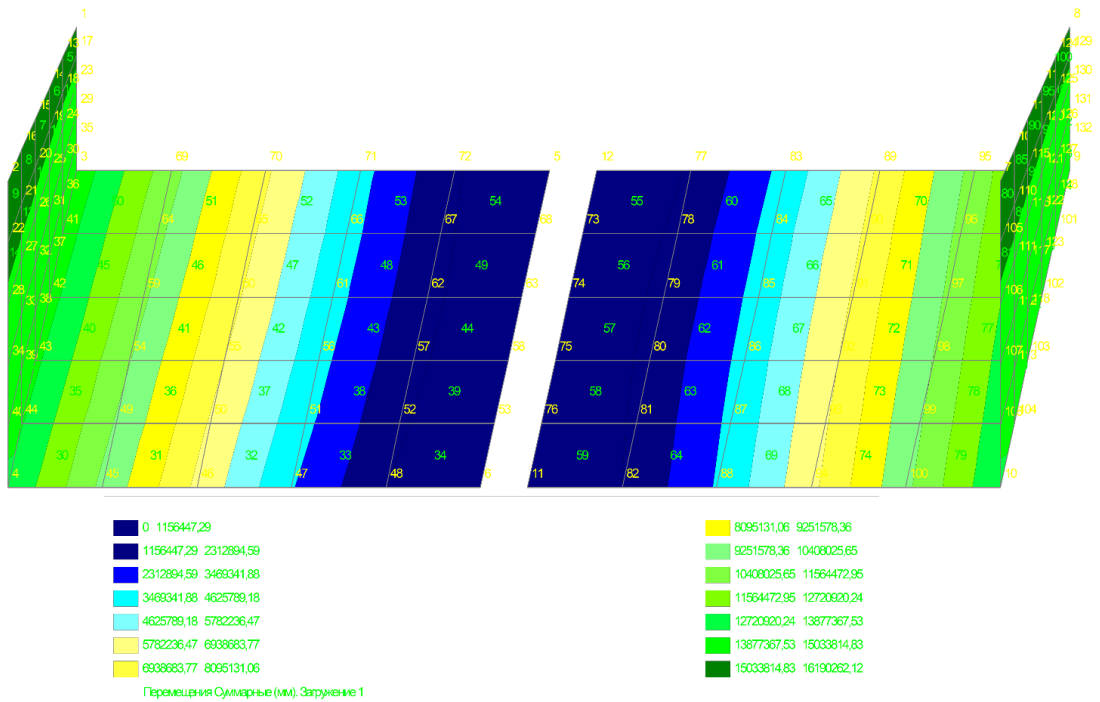


Рисунок 7.9 – Вид эпюры суммарных деформаций ломаных почвоподъёмников  
толщиной 2,0 мм

Результаты численных расчётов напряженно-деформированного состояния ломаных почвоподъёмников, толщиной 3мм по всему профилю, в виде эпюр суммарных напряжений и суммарных деформаций представлены на рисунках

7.10, 7.11. Численные значения результатов расчёта эпюр напряжений, перемещений и деформаций ломаных почвоподъёмников одинаковой толщины (3,0 мм) первой базовой формы представлены в приложении 4.2.

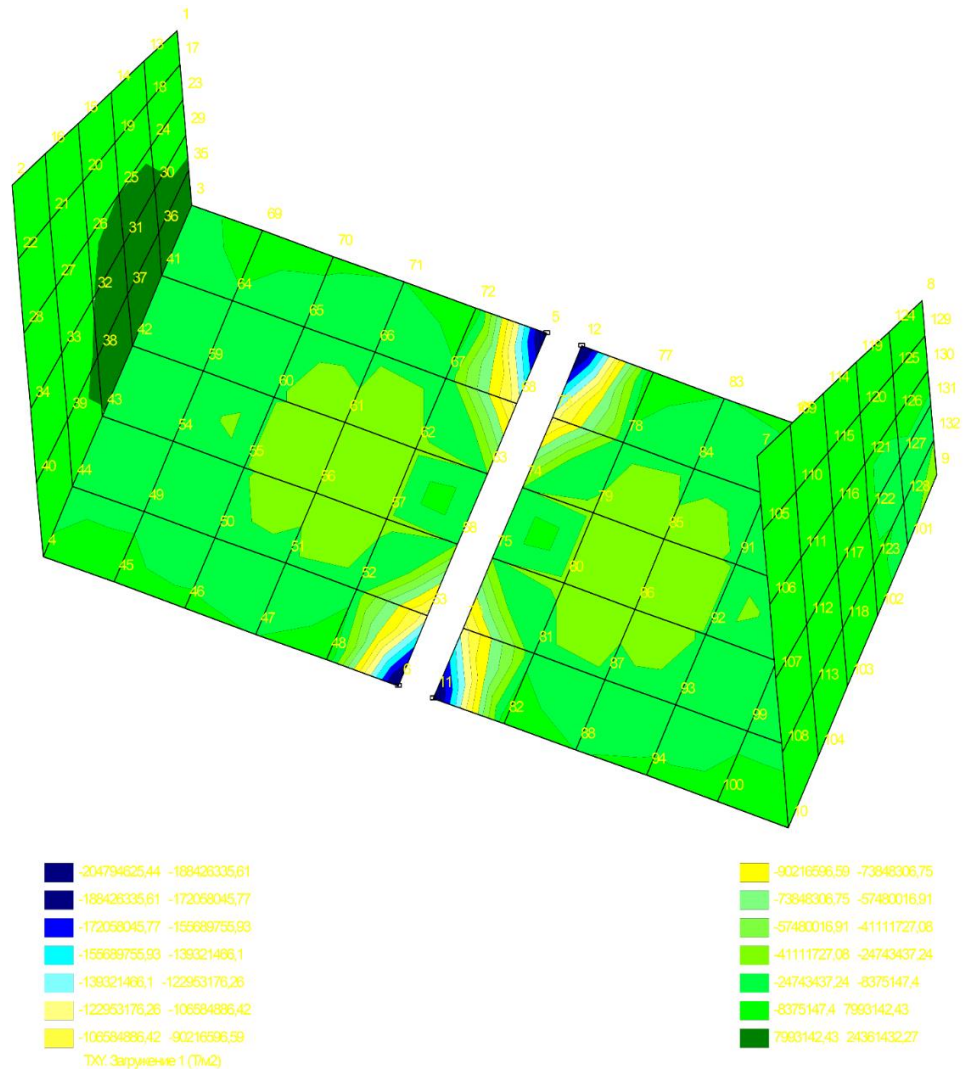


Рисунок 7.10 – Вид эпюры суммарных напряжений в консольных ломаных почвоподъёмниках толщиной 3,0 мм по осям  $x$  и  $y$

Анализ рисунка распределения суммарных напряжений ломаных почвоподъёмников толщиной 3,0 мм по осям  $x$  и  $y$  (рисунок 7.10) показывает, что характер распространения напряжений в материале в целом похож на случай с их толщиной 2 мм. При этом абсолютные максимальные значения напряжений более чем в 1,5 раза ниже, чем на рисунке 7.7. Полученные значения суммарных деформаций в эпюрах консольных ломаных почвоподъёмников при толщине

3,0 мм (рисунок 7.11) почти в 2 раза ниже, чем при их толщине в 2,0, мм (рисунок 7.9).

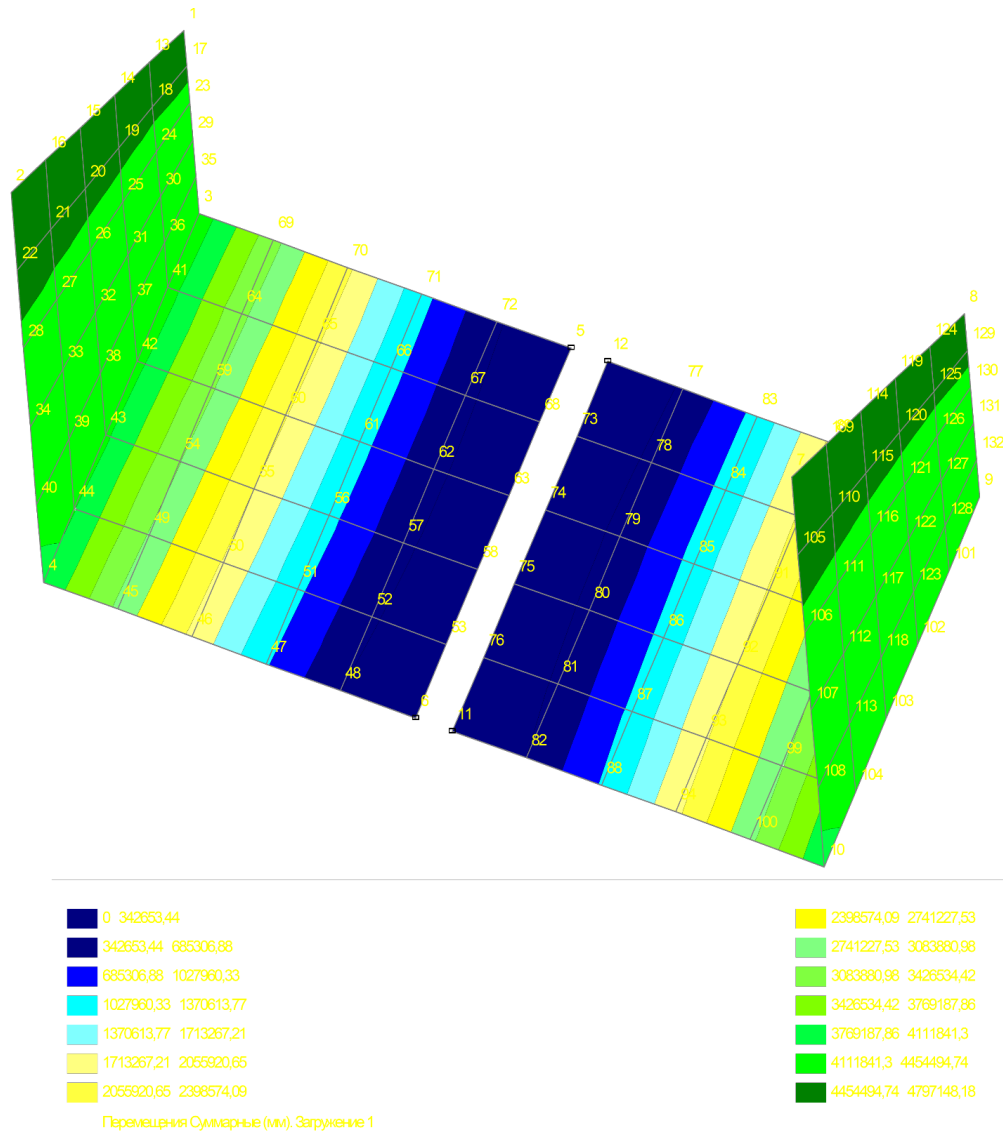


Рисунок 7.11 – Вид эпюры суммарных деформаций консольных ломаных почвоподъёмников при толщине 3,0 мм

Исходя из данных по напряжениям и суммарным деформациям полагаем о необходимости исследования напряжённо-деформированного состояния консольных ломаных почвоподъёмников первой базовой конфигурации при их толщине в 3,5 мм. Полученные эпюры напряжённо-деформированного состояния ломаных почвоподъёмников, толщиной 3,5 мм по всему профилю, напряжениям

относительно горизонтальной ( $x$ ) и вертикальной ( $y$ ) осей представлены на рисунке 7.12.

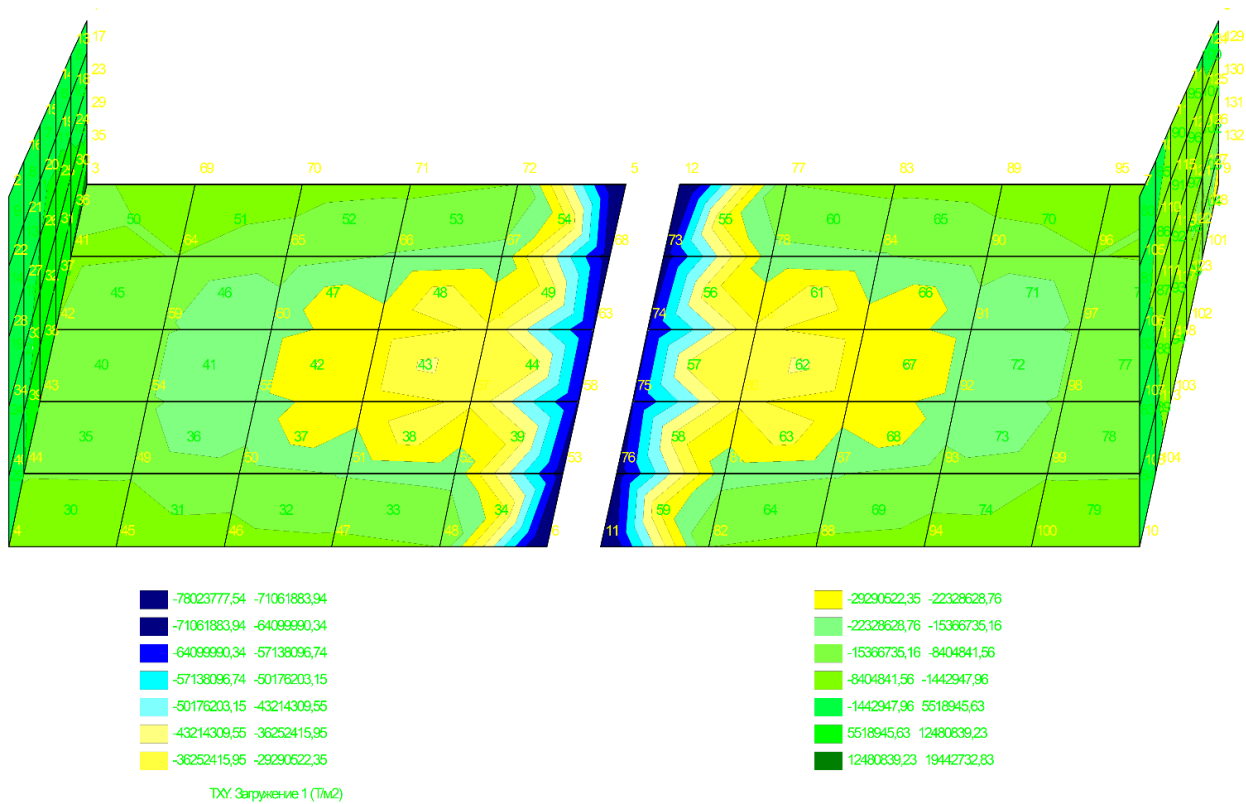


Рисунок 7.12 – Вид эпюры суммарных напряжений ломаных консольных почвоподъёмников толщиной 3,5 мм по осям  $x$  и  $y$

Численные значения результатов расчёта ломаных почвоподъёмников одинаковой толщины (3,5 мм) эпюр напряжений, перемещений и деформаций представлены в приложении 4.3. Сравнивая эпюры суммарных напряжений ломаного почвоподъёмника с вертикальными латеральными частями толщиной 3 мм и толщиной 3,5 мм можно сделать вывод о том, что значения напряжений уменьшаются в последней, в среднем на 20 %. При этом значения напряжений в элементах толщиной 3 мм и толщиной 3,5 мм находятся в упругой зоне работы материала почвоподъёмников и эту толщину можно принять за начальную для исследования напряжённо-деформированного состояния следующих базовых форм инновационных ломаных почвоподъёмников. Однако, в местах крепления суммарные напряжения увеличиваются в 8,3 раза (рисунок 7.12), по сравнению с

величинами напряжений, возникающими в горизонтальной плоскости почвоподъемников (приложение 4.3). Следовательно, необходимо либо существенно укрепить место прикрепления горизонтальной пластины со стойкой рыхлителя, или увеличивать толщину ломаных почвоподъемников с вертикальными латеральными частями более 3,5 мм, чтобы обеспечить прочность конструкции с точки зрения реологии. Либо заменить материал инновационных почвоподъемников первой базовой формы, вместо марки С245 применять сталь не ниже марки С390 или 60Г, но это ведёт к удорожанию изделия.

Исходя из этого целесообразно использовать ломаные почвоподъемники первой базовой формы, выполненных из стали марки С245 толщиной 7 мм для наилучшего профилирования нижней части области разрыхления во фронтальной проекции при обработке почвы инновационным универсальным чизелем ГНЧ-0,6М в режиме «Обработка склонов» без флаттер-эффекта [135].

Рассмотрим другую базовую форму ломаных почвоподъемников, в которых медиальная часть наклонена относительно оси  $\chi$  под углом  $\alpha = 40^\circ$ , а наклон латеральной части относительно оси  $\chi$  составляет  $\gamma = 20^\circ$ . Изучаемая форма профиля ломаных пластин почвоподъемников представлена на рисунке 7.13.

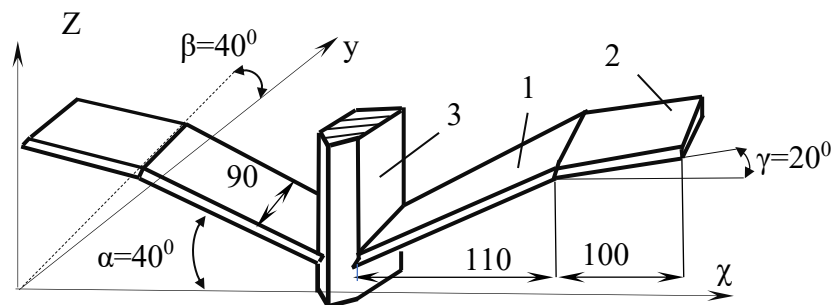


Рисунок 7.13 – Схема второй базовой конфигурации почвоподъемников

Приложенные к исследуемой второй базовой форме ломаных почвоподъемников примерные нагрузки, используемые в численном

эксперименте, показаны в расчётной схеме на рисунке 7.14. Показанные нагрузки такие же по модулю и направлению, как и в рисунке 7.6, где  $Q_1$  – фронтальная и  $Q_2$  – вертикальная нагрузки.

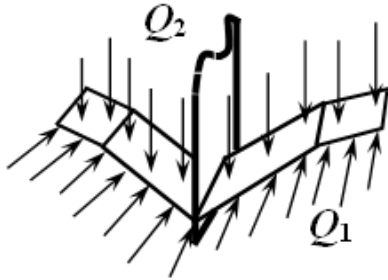


Рисунок 7.14 – Вид расчётной схемы нагружения второй базовой формы

$Q_1 = 60 \text{ кН/м}^2$  – распределённая нагрузка, расположенная горизонтально;  
 $Q_2 = 10 \text{ кН/м}^2$  – распределённая нагрузка, действующая на всю поверхность пластинки – пригрузка.

Конечно-элементная модель ломанных почвоподъёмников, с углами наклона его частей в вертикальной проекции относительно общей горизонтали – ось  $\chi$ , где:  $\alpha = 40^\circ$ ,  $\gamma = 20^\circ$ , показана на рисунке 7.15. Она представляет собой расчётную модель консольной ломаной пластины, в которой содержится 104 элемента простейшей геометрической формы и 132 узла [128, 135, 222, 233].

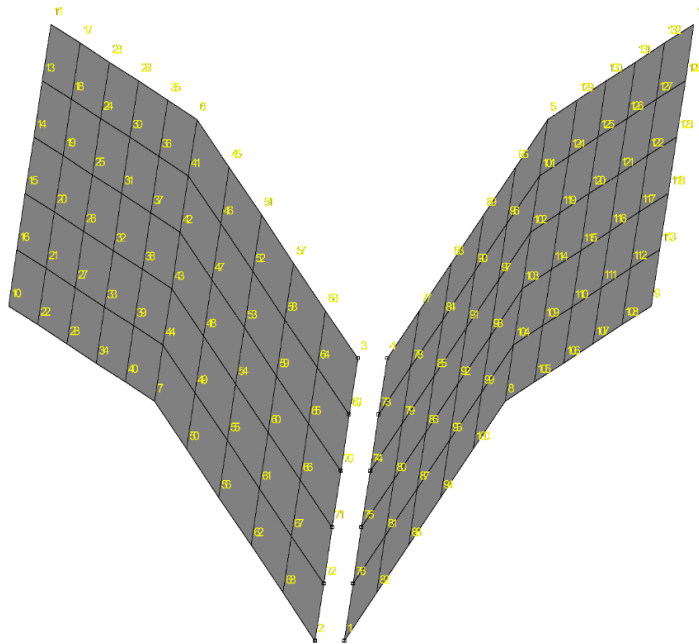


Рисунок 7.15 – Вид конечно-элементной модели ломанных грунтоподъёмников для второй формы их профиля

Представлены на рисунках 7.16, 7.17 эпюры деформаций и суммарных напряжений, возникающие в консольных ломаных пластинах исследуемой второй базовой формы, при заданной нагрузке (рисунок 7.14). Координатные оси расположены по умолчанию как на рисунке 7.13.

Рассмотрим ломаные почвоподъёмники толщиной 3,5 мм, так как этот размер был принят нами начальным в предыдущем численном исследовании. Отчёт по результатам расчёта приведён в приложении 4.4.

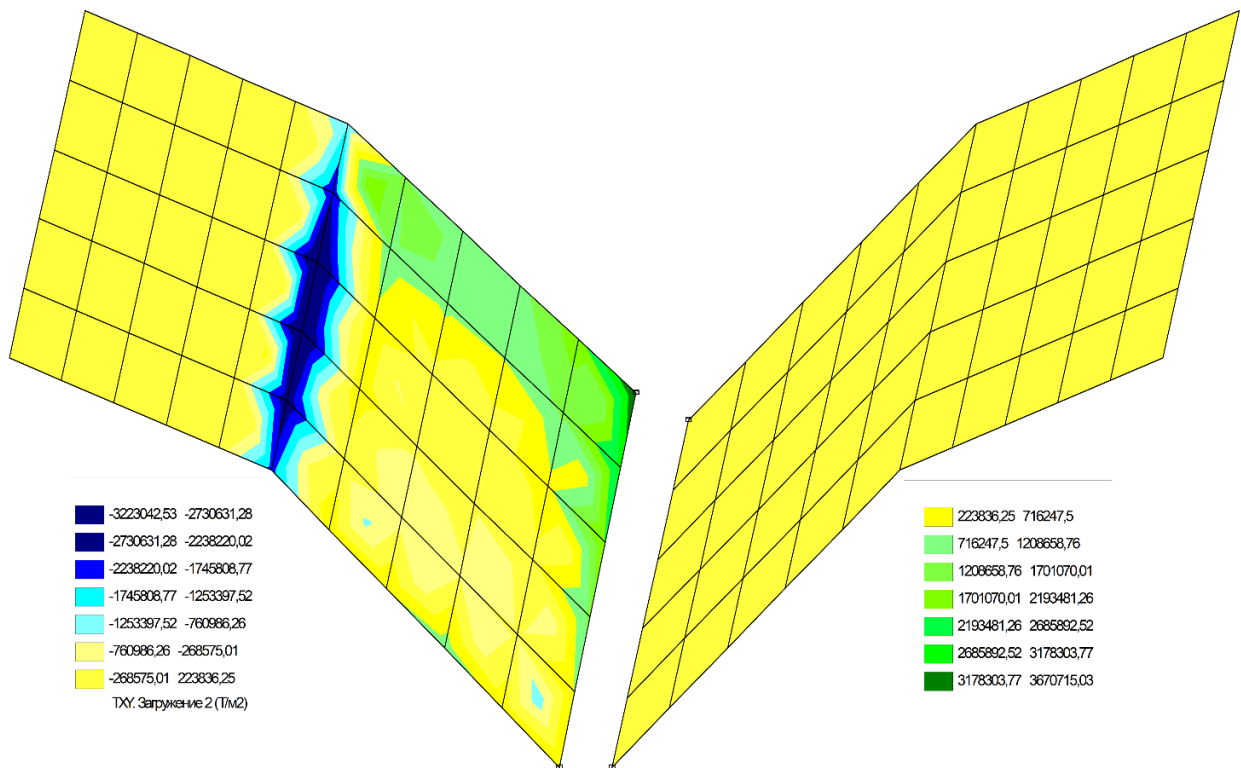


Рисунок 7.16 – Вид эпюры суммарных напряжений ломаной пластинки второй базовой формы толщиной 3,5 мм по оси  $x$  и  $y$

Анализируя эпюру суммарных напряжений, возникающих в ломанных грунтоподъёмниках толщиной 3,5 мм, с углами наклона медиальной части –  $\alpha = 40^\circ$  и латеральной части –  $\gamma = 20^\circ$  в вертикальной проекции относительно общей горизонтали видно, что наибольшие значения напряжений возникают в местах соединения медиальной и латеральной пластин  $3223042,58 \text{ Т/м}^2$  (рисунок 7.16). В местах крепления почвоподъёмников к стойке рабочего органа, где в узлах 3, 4

значение по модулю достигает  $3178303,77 \text{ Т/м}^2$  (рисунок 7.16). Следовательно, необходимо увеличить размер поперечного сечения ломаных почвоподъёмников второй базовой формы. На эпюре суммарных деформаций ломаной пластинки второй базовой формы (рисунок 7.17) наблюдаются в медиальной части ломаных пластин второй базовой формы области с отсутствием деформаций – зона закрепления почвоподъёмников к стойке.

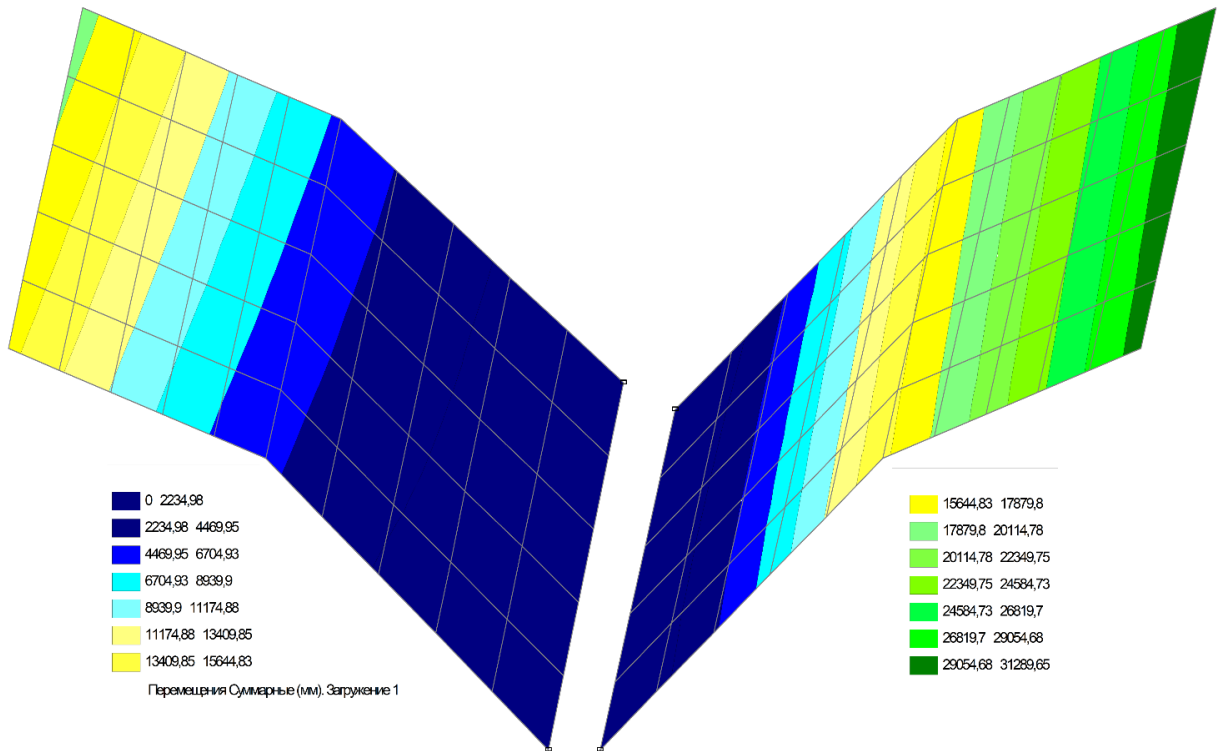


Рисунок 7.17 – Вид эпюры суммарных деформаций ломаной пластинки второй базовой формы толщиной 3,5 мм

Максимальные значения деформаций почти не выходят за предел упругости заданного материала, что является критичным с реологических требований. Значения перемещений (приложение 4.4) уверенно подтверждают появление колебательных эффектов.

Рассмотрим ломаные почвоподъёмники второй базовой формы с толщиной 5 мм, созданные из стали С245 (Ст3). Представлены на рисунках 7.18, 7.19 соответственно эпюры суммарных напряжений и деформаций, возникающих в исследуемой второй базовой форме, при заданной нагрузке (рисунок 7.14).

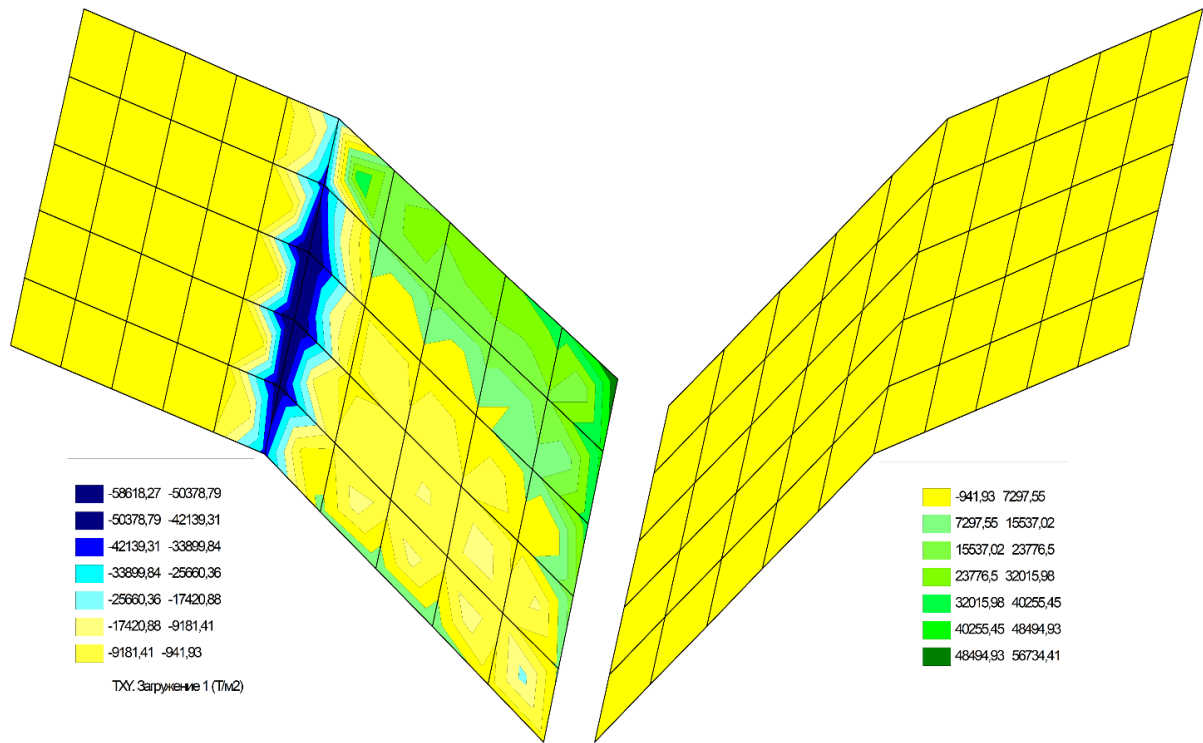


Рисунок 7.18 – Вид эпюры суммарных напряжений второй базовой формы при толщине 5 мм относительно осей  $X$  и  $Y$

Сравнивая результаты эпюр суммарных напряжений, возникающих в ломанных почвоподъёмниках толщиной 5 мм (рисунок 7.18), с эпюрами напряжений при толщине материала 3,5 мм (рисунки 7.16) установлено, что напряжения уменьшаются в среднем почти в 15 раз во всех простейших элементах ломанных пластин почвоподъёмников.

В эпюре напряжений почвоподъёмников второй базовой формы толщиной 5 мм в месте соединения медиальной и латеральной пластин значение напряжения снизилось до 58618,27 Т/м<sup>2</sup> (рисунок 7.18), по сравнению со значениями напряжений на рисунке 7.16 в данной зоне.

Из представленных результатов по суммарным деформациям на рисунке 7.19 видно, что в области крепления медиальных частей к стойке деформации также отсутствуют, как и в случае с толщиной 3,5 мм, причём площадь этой области возросла более чем в 2,5 раза. Значения деформаций уверенно лежат в

пределах упругой зоны материала. Но полученные величины перемещений резко уменьшились и пока также позволяют судить о возможном автоколебательном явлении в инновационных ломаных почвоподъёмниках второй базовой формы толщиной 5 мм (приложение 5.4).

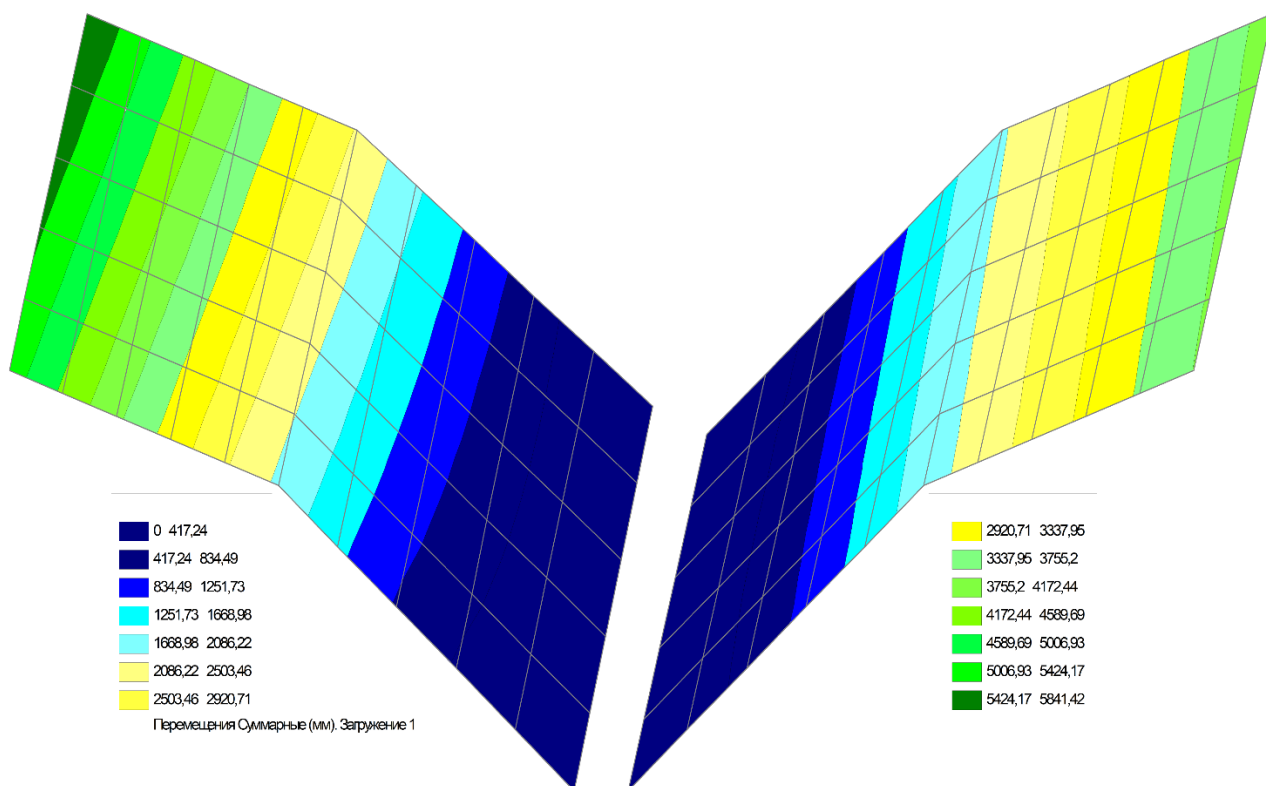


Рисунок 7.19 – Вид эпюры суммарных деформаций второй базовой формы при толщине материала 5 мм

Необходимо установить, как сильно уменьшатся напряжения и деформации в ломаных пластинах почвоподъёмников второй базовой формы, если увеличить их толщину до 7 мм. Численные значения расчёта показаны в приложении 4.6. Эпюра суммарных напряжений в ломаных инновационных почвоподъёмниках при толщине 7 мм показаны на рисунке 7.20. В результате проведённого численных расчётов напряженно-деформированного состояния ломаных пластин (почвоподъёмников), толщиной 7 мм по всему профилю установлено, что значения суммарных напряжений в 90 % простейших элементах конструкции снизились в среднем на 11 % (рисунок 7.20). Значения по эпюре

суммарных деформаций – рисунок 7.21, имеют значения на 35 % ниже, чем на рисунке 7.19.

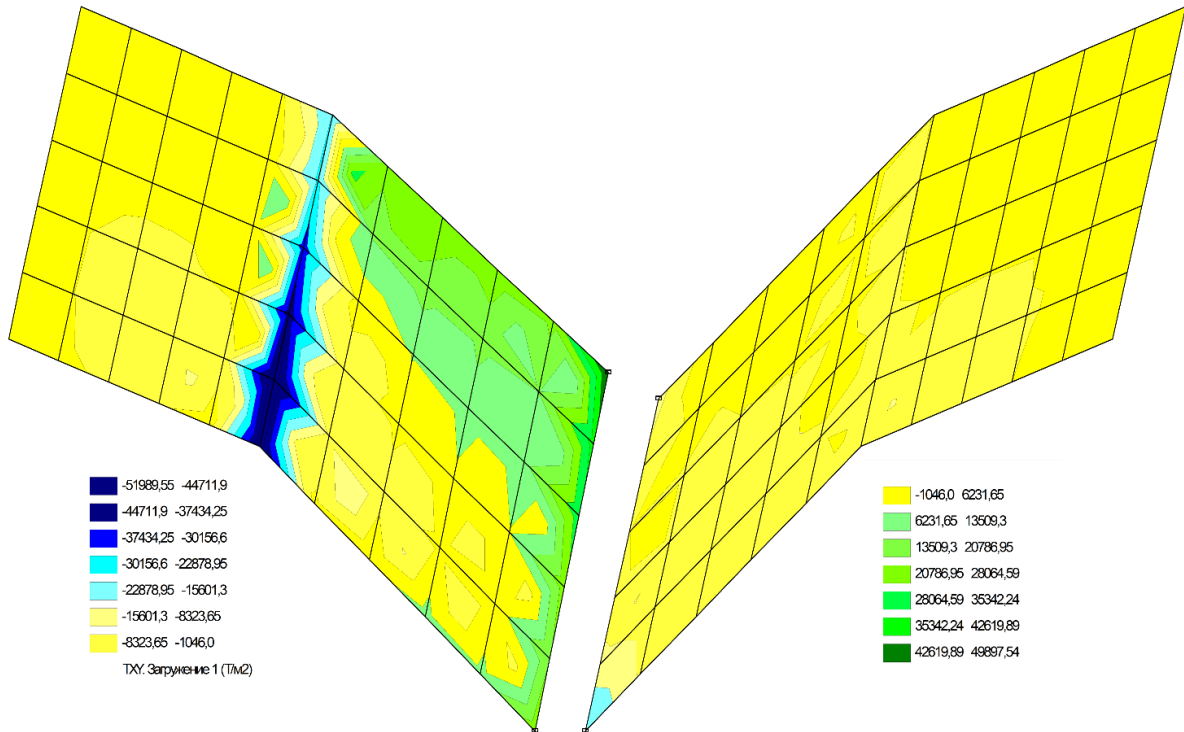


Рисунок 7.20 – Вид эпюры суммарных напряжений второй базовой формы при толщине 7 мм относительно осей  $x$  и  $y$

Увеличивать толщину ломаных почвоподъёмников второй базовой формы, выполненных из стали марки С245 (Ст3сп по ГОСТ 380 и ГОСТ 535 (прил. 1 ГОСТ 27772-88)) не целесообразно, так как будет резко снижаться их гибкость.

По прочностным характеристикам толщина инновационных ломаных почвоподъёмников второй базовой формы заданной марки стали могут быть выполнены и при их толщине 5 мм, но это потребует дополнительных натурных исследований [135].

Исследуем последнюю из основных форм ломаных почвоподъёмников, где медиальная часть наклонена относительно оси  $\chi$  под углом  $\alpha = 30^0$ , а наклон латеральной части относительно оси  $x$  составляет  $\gamma = 60^0$ , имеющих одинаковую толщину по всему профилю, выполненных из стали марки С245 (Ст3сп по ГОСТ 380 и ГОСТ 535 (прил. 1 ГОСТ 27772-88)).

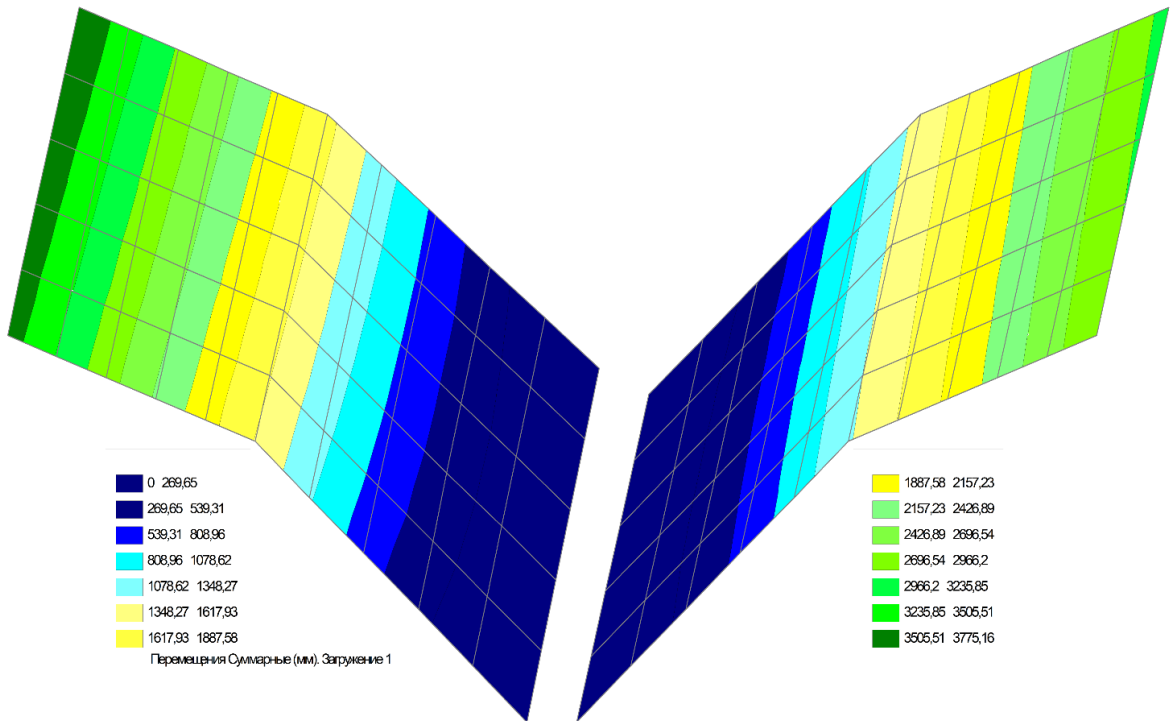


Рисунок 7.21 – Вид эпюра суммарных деформаций второй формы при толщине 7 мм

Исследуемая третья форма ломанных пластин почвоподъёмников представлена на рисунке 7.22.

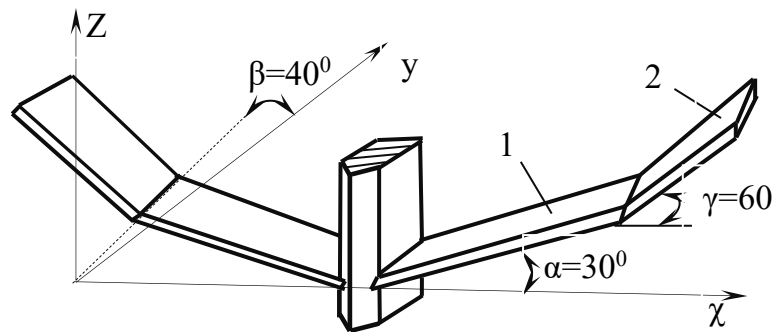


Рисунок 7.22 – Схема третьей базовой конфигурация почвоподъёмников

Приложенные к исследуемой расчётной схеме нагрузки, используемые в численном эксперименте, показаны такие же по модулю и направлению, как и в рисунках 7.6 и 7.14. Конечно-элементная модель ломанных почвоподъёмников, с углами наклона ломанных его частей в вертикальной проекции относительно общей горизонтали – ось  $x$ , где:  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\gamma = 60^\circ$  (рисунок 7.23). Она представляет

собой расчётную модель, состоящую из двух симметричных консольных ломаных пластин, в которых не изменилось количество простейших геометрических элементов – 104 и также 132 узла. Рассмотрим вариант при толщине почвоподъёмников 3,5 мм. Значения расчёта для третьей базовой формы ломаных почвоподъёмников толщиной 3,5 мм показаны в приложении 4.7.

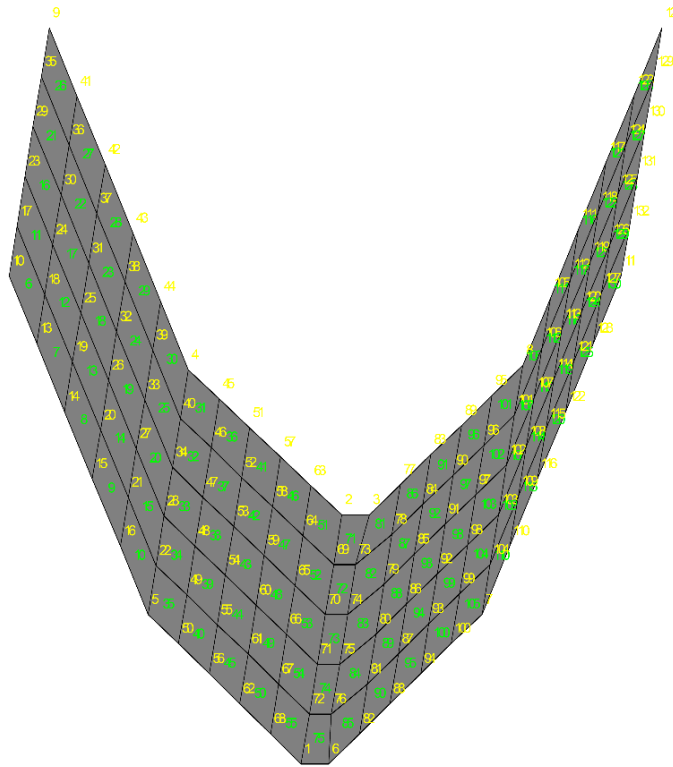


Рисунок 7.23 – Вид конечно-элементной модели ломанных почвоподъёмников для третьей формы их профиля

На рисунках 7.24, 7.25 представлены эпюры напряжений, возникающие в простейших элементах ломанных почвоподъёмников третьей базовой формы.

Исходя из полученных эпюр напряжений по осям симметрии ломанных почвоподъёмников третьей базовой формы толщиной 3,5 мм (рисунки 7.24, 7.25) видно, что их значения являются самыми низкими по сравнению с первой и второй базовыми конфигурациями при данной толщине материала. Значения, в среднем в 2 раза ниже, чем во второй базовой конфигурации при толщине материала в 7 мм.

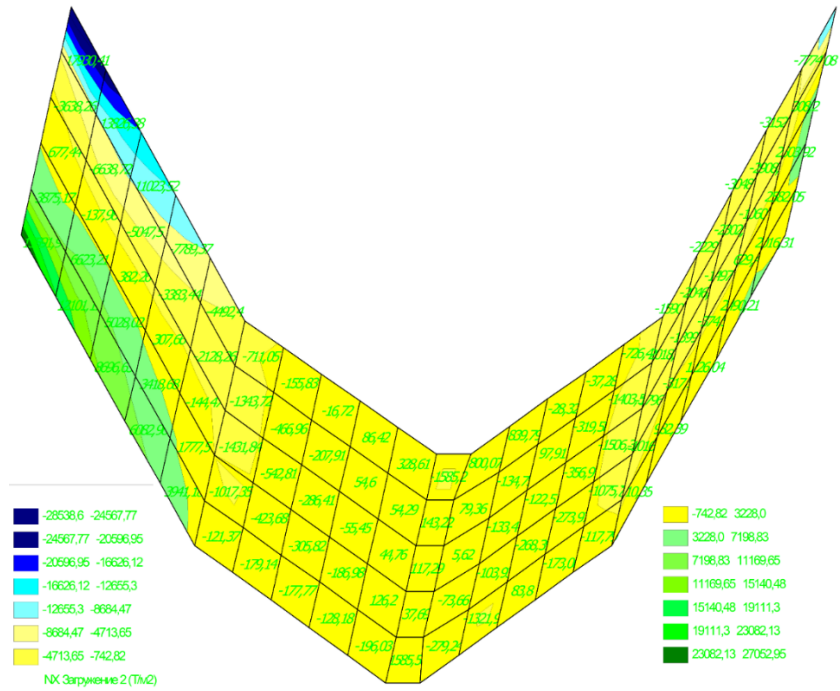


Рисунок 7.24 – Вид эпюры напряжений третьей базовой формы при толщине 3,5 мм по оси X

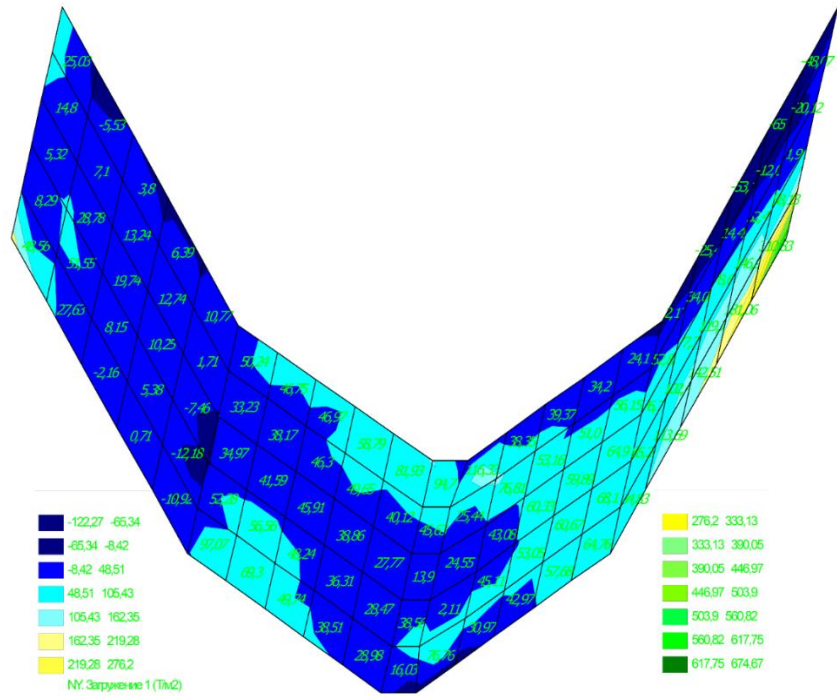


Рисунок 7.25 – Вид эпюры напряжений третьей базовой формы при толщине 3,5 мм по оси y

Следовательно, конструкция ломаных почвопоёмников, имеющих профиль третьей базовой конфигурации, однозначно выдержит заданные нагрузки, представленные на рисунках 7.6 и 7.14.

Рассмотрим прочность профиля конструкции ломаных грунтопоёмников третьей базовой конфигурации толщиной 5,0 мм. Анализ эпюр деформаций ломаных почвоподъёмников третьей формы, толщиной 5,0 мм, материал сталь С245 (СтЗсп) (рисунки 7.26, 7.27), позволяет утверждать, что наличие более 60% простейших элементов с минимальными значениями находятся в их медиальных частях и в латеральных в зонах прилегания к излому. Остальные простейшие элементы практически не испытывают каких-либо деформаций.

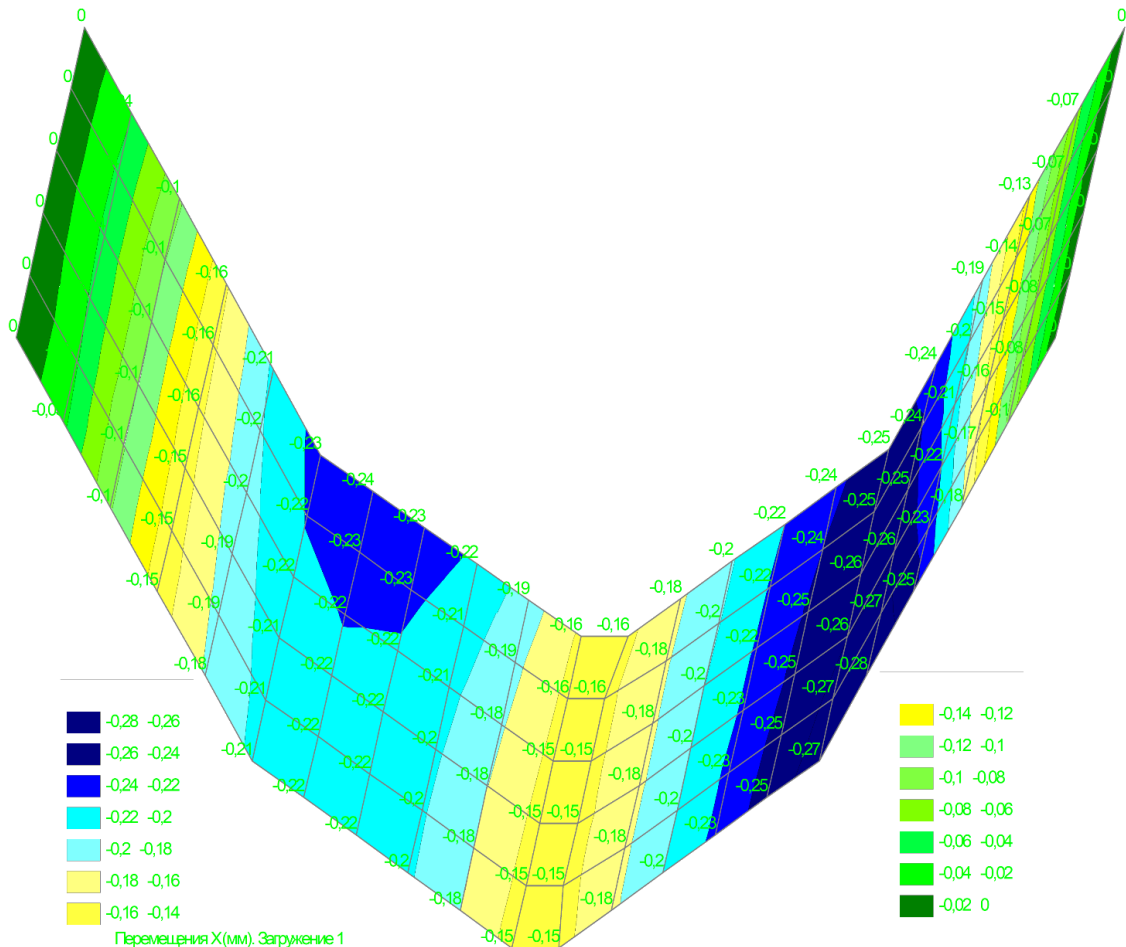


Рисунок 7.26 – Вид эпюры деформаций ломаных почвоподъёмников третьей базовой формы при толщине 5,0 мм по оси X

Очередное утолщение плоскостей ломаных почвоподъёмников будет способствовать снижению возможных перемещений конструкции, что приведёт к отсутствию флаттер-эффекта. Необходимость увеличения толщины ломаных почвоподъёмников третьей базовой формы при заданных параметрах нагружения не выявлена.

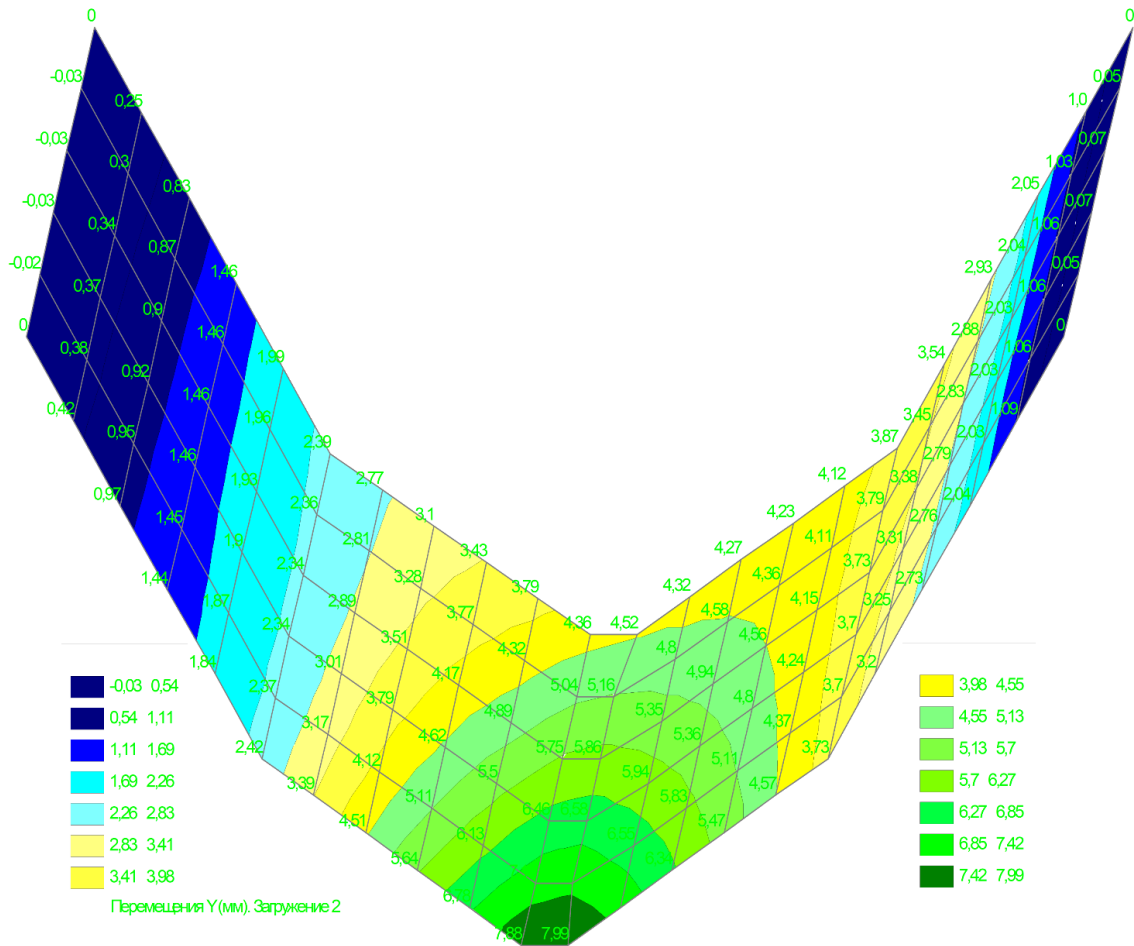


Рисунок 7.27 – Вид эпюры деформаций третьей базовой формы при толщине 5,0 мм по оси  $y$

Таким образом, исходя из представленных эпюр напряжений и деформаций в простейших элементах для третьей базовой формы ломаных почвоподъёмников, при заданном виде нагружения (рис. 7.6, 7.14) их толщина в 3,5 мм обеспечивает необходимую прочность и надёжность их конструкции.

В результате проведенного численного исследования на прочность трёх базовых конфигураций ломаных грунтоподъёмников различной толщины,

выполненные из стали С245 (СтЗсп) установлено, что для обеспечения оптимальной формы области разрыхления желательно 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 [135].

### 7.3 Разработка концептуальной адаптивной конструкции глубокорыхлителя

На сегодняшний день существуют разные формы продольного профиля стоек рыхлителей – с прямым уклоном и обратным, относительно рабочего движения – рисунок 7.28.

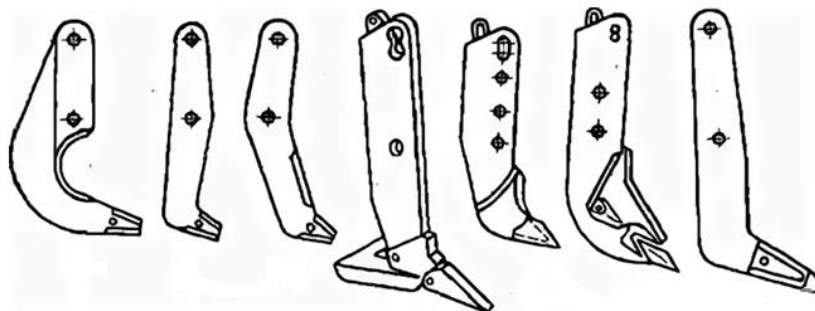


Рисунок 7.28 – Виды стоек рыхлителей

Глубоко рыхлящие орудия имеют стойки с ломаным профилем – рисунки 7.29 и 7.30. Рыхлители имеют сглаженный профиль стоек – рисунки 7.31 и 7.32, даже у некоторых присутствует пружинный демпфер – рисунок 7.33. Но у всех перечисленных рыхлителях есть один главный недостаток, также как и у разрабатываемого комплекса орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М – профиль стойки неизменяемый.



Рисунок 7.29 – Плуг чизельный  
"АГРИРИЧ"



Рисунок 7.30 – Глубококорыхлитель  
АТТИЛА



Рисунок 7.31 – Глубококорыхлитель  
Ехром Pegaz



Рисунок 7.32 – Глубококорыхлитель ГР-  
2.5



Рисунок 7.33 – Глубококорыхлитель Kuhn Krause 4830

При обработке переуплотнённых почв, в ряде случаев возникают условия, когда для более качественного разрыхления, при этом не увеличивая расход топлива, необходимо изменить профиль стойки и всей его системы деформаторов в режиме реального времени. Также рамы у современных глубокорыхлителей с закреплёнными на них стойками обладают неизменяемой формой. Орудия не имеют возможности изменять ширину захвата в зависимости от тяговых сопротивлений, непосредственно, не прерывая процесс обработки почвы.

На сегодняшний день отечественные и зарубежные предприятия не проектируют и не выпускают орудия с описанными возможностями. Исходя из этого разработан концепт инновационного энергосберегающего адаптивного орудия и на основании которого получен патент на изобретение № 2799608 [147].

Инновационный адаптивный глубокорыхлитель для обработки равнинных и склоновых земель, содержащий раму с расположенными на ней стойками рыхлителей с наральниками и закреплёнными на боковых гранях почвоподъёмниками, отличающийся тем, что стойки глубокорыхлителя закреплены на раме шарнирно с возможностью поворота вокруг вертикальной оси стоек и изменения угла наклона стойки по профилю, при этом в угол «V» – образной рамы глубокорыхлителя установлен плоский цилиндрический управляемый шарнир, продольная ось которого расположена перпендикулярно общей горизонтали, в излом стойки глубокорыхлителя установлен плоский цилиндрический управляемый шарнир, продольная ось которого расположена в общей горизонтали, перпендикулярно фронтальной проекции системы деформаторов стойки, в место крепления почвоподъёмников интегрирован управляемый шарнир, обеспечивающий изменение угла наклона почвоподъёмников.

На рисунке 7.34 показан адаптивный глубокорыхлитель вид сбоку, на рисунке 7.35 показан адаптивный глубокорыхлитель вид спереди, на рисунке 7.36 показана схема расположения активных и пассивных устройств рыхлителя.

Рабочий орган глубокорыхлителя (чизельная стойка) закреплён на раме 1 и включает следующие элементы: стойка 2; смежные рыхлящие грани 3; наральник 4; почвоподъёмники (левый и правый) 5; закрепление гибкой связи на стойке 6; культиваторная лапа на гибкой связи 7 (рисунок 7.34). Также в стойку установлены: плоский цилиндрический шарнир 10, продольная ось которого расположена перпендикулярно плоскости стойки, позволяющий изменять угол  $\alpha$ ; плоский цилиндрический шарнир, продольная ось которого расположена перпендикулярно плоскости стойки, позволяющий устанавливать заданный угол наклона почвоподъёмников относительно общей горизонтали, в зависимости от наклона стойки орудия 9; плоский цилиндрический шарнир 8, продольная ось которого расположена перпендикулярно плоскости стойки, позволяющий изменять угол  $\beta$ ; орудие имеет силовую трансмиссию системы управления подвижными частями 11 (рисунки 7.34).

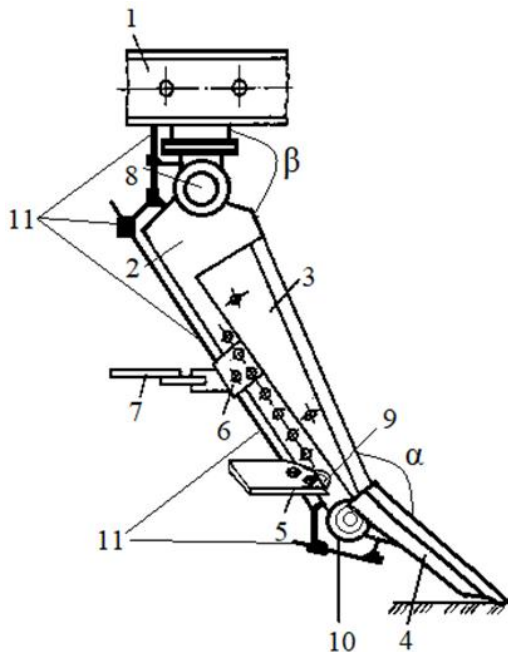


Рисунок 7.34 – Схема рабочего органа адаптивного глубокорыхлителя – вид сбоку

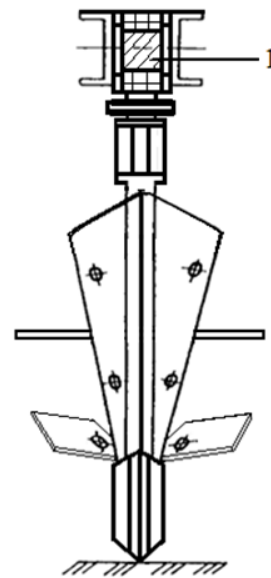


Рисунок 7.35 – Схема рабочего органа адаптивного глубокорыхлителя – вид спереди

Посредством плоского цилиндрического шарнира 1, продольная ось которого расположена вдоль общей вертикальной оси стойки, стойка рабочего органа глубокорыхлителя крепится к раме и поворачивается вокруг своей вертикальной оси (рисунок 7.35).

Навесной адаптивный глубокорыхлитель состоит из: «V» - образная рама 1; центральный шарнир, позволяющий изменять угол развала рамы 3; геометрически изменяемый элемент жёсткости рамы, закреплённый на ней шарнирно 4; элементы трёх-точечного крепления к трактору 5; стойки с системой деформаторов 2; шарниры устройства поворота стоек вокруг собственной вертикальной оси 11; ограничители хода 6; гидропривод системы управления орудием: гидромоторы 7, гидроцилиндр 8; гидропроводы высокого давления 9; элементы системы автоматического управления (САУ) подвижными частями рамы, стоек и их системы деформаторов 10 (рисунок 7.36).

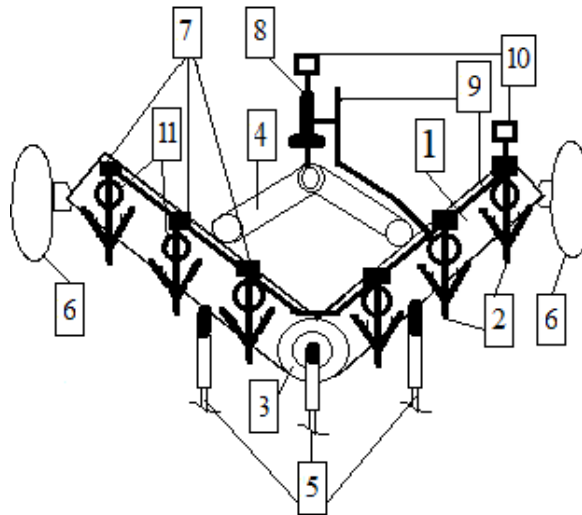


Рисунок 7.36 – Схема адаптивного глубокорыхлителя (вид сверху)

Подвижный поперечный профиль стоек и угол развала рамы жёстко фиксируются, либо изменяются в режиме реального времени гидроэлектрической системой управления посредством тяг и кулачковых механизмов, соединённых трубопроводами с гидросистемой трактора (тяговой машины) через многопозиционный гидрораспределитель, который механически связан с электромагнитом. Посредством электрической связи он соединен через

релейно-тиристорный элемент с логической системой оценки импульсов, входящую в САУ. Вход гидрораспределителя подключен к выходу усилителя-формирователя импульсов (элемент САУ), имеющего в свою очередь электрическую связь с электронными датчиками тягового сопротивления, закрепленным на сцепке адаптивного рыхлителя с трактором (тяговой машиной).

Адаптивный глубокорыхлитель для обработки равнинных и склоновых земель функционирует следующим образом. При глубоком рыхлении сверх переуплотнённых равнинных и склоновых земель угол развала рамы уменьшается к размерам, ближе к  $90^0$ , если тяговые сопротивления уменьшаются (переуплотнение обрабатываемой почвы становится меньше), то угол развала рамы увеличивается ближе к  $180^0$  посредством управляемого шарнира 3 гидроцилиндром 8 (рисунок 7.36).

При этом изменении угла развала «V» образной рамы, возникает необходимость корректировки расположения стоек орудия, которая происходит через поворот управляемого шарнира 1 (рисунок 7.35) посредством гидромоторов 7 (рисунок 7.36). В процессе рыхления может возникнуть необходимость увеличения качества разуплотнения почвы, не повышая тяговых сопротивлений, для этого управляемыми шарнирами 8 и 10 (рисунок 7.34) изменяется угол наклона частей стойки относительно общей вертикали. При изменении угла наклона от общей вертикали части стойки, на которой установлены смежные рыхлящие грани 3 (рисунок 7.34), возникает необходимость корректировки угла наклона установленных там же почвоподъёмников 5 (рисунок 7.34), которое происходит посредством управляемого шарнира 9 (рисунок 7.34), что обеспечивает силовая трансмиссия системы управления подвижными частями 11 (рисунок 7.34).

Прогнозируя использование концепта инновационного адаптивного глубокорыхлителя, появляются возможности без прерывания процесса обработки почвы:

- 1) изменять ширину захвата в зависимости от локальных характеристик обрабатываемой почвы;
- 2) создание оптимальных поперечных профилей стоек и их системы деформаторов, позволяющих в режиме реального времени, непосредственно изменять их параметры проведения глубокого рыхления.

Представленное концептуальное техническое решение – адаптивный глубокорыхлитель, повышает эффективность обработки уплотнённых равнинных и склоновых земель без оборота пласта за счет адаптации рамы и системы деформаторов стоек к возможным изменениям механических характеристик в среде обработки, что позволит, не останавливая процесс рыхления, стабилизировать нагрузки на рабочие органы, привод тяговой машины и качественно повысить разрыхление переуплотнённых слоёв почвы на глубину до 0,6 м.

#### **7.4 Выводы**

1. Разработано инновационное концептуальное 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, это позволит, не останавливая процесс рыхления, в зависимости от значений ключевого фактора – «тяговое сопротивление» стабилизировать нагрузки на рабочие органы, на привод тяговой машины и качественно повысить разрыхление переуплотнённых слоёв почвы на глубину до 0,6 м на равнинных и склоновых агроландшафтах. На основании разработанного концепта получен патент на изобретение № 2799608 РФ.

2. Впервые созданы новые горизонтальные элементы системы деформаторов, имеющие ломаный профиль и использующие флаттер – эффект, возникающий под воздействием на них автоколебаний. Подтверждено патентом на изобретение № 2742657 РФ.

3. Результаты проведенных исследований выявили, что первая базовая конфигурация ломаных почвоподъёмников, изготовленных из стали С245 толщиной от 7 мм, жёсткость которой не обеспечивает эффект флаттера. В которых медиальные части располагаются горизонтально, а латеральные части установлены вертикально, перпендикулярно медиальным, соответствует условиям профилирования нижней части области разрыхления во фронтальной проекции обработке почвы инновационным комплексом орудий для глубокого рыхления на базе чизеля ГНЧ-0,6М в варианте «Глубокорыхлитель склоновых земель».

4. В результате численного эксперимента было установлено, что третья базовая форма ломаных почвоподъёмников, выполненные из стали марки С245 где медиальная часть имеет уклон  $30^{\circ}$ , а латеральная часть  $60^{\circ}$  относительно общей горизонтали и имеющие толщину 5 мм, показала что необходимые прочностные свойства конструкции и её гибкость без угрозы возникновения остаточных деформаций с использованием флаттера обеспечена. При этом во второй базовой конфигурации в которой медиальная часть наклонена относительно оси  $\chi$  под углом  $\alpha = 40^{\circ}$ , а наклон латеральной части относительно оси  $\chi$  составляет  $\gamma = 20^{\circ}$  результаты прочностных характеристик не существенно отличаются. Следовательно эти базовые конфигурации являются универсальными для применения на стойке глубокорыхлителя как в варианте «Глубокорыхлитель равнинных земель», так и в варианте «Глубокорыхлитель склоновых земель».

## 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ОРУДИЙ ДЛЯ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ

### 8.1 Условия и установка критериев расчёта для оценки экономической эффективности

Оценка эффективности разработок проведена методом наложения на модельное хозяйство. Вариантные расчеты были проведены с использованием алгоритмно-программного комплекса, разработанного в СКНИИМЭСХ г. Зерноград, Ростовской области [141]. Критерием эффективности в примененном алгоритмно-программном комплексе 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» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [83].

Эксплуатационные затраты на выполнение механизированных работ в растениеводстве рассчитываются по каждому машинно-тракторному агрегату в целом. Основными составляющими прямых эксплуатационных затрат являются отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонты машин, входящих в состав машинно-тракторных агрегатов, стоимость топлива, а также затраты на оплату труда механизаторов и подсобных рабочих с начислениями. Амортизационные отчисления, приходящиеся на единицу выполняемой работы, определяются по формуле:

$$Z_a = \frac{B \cdot H_a}{100 \cdot T_{\text{Год}} \cdot W_{\text{ч}}}, \quad (8.1)$$

где:  $Z_a$  – амортизационные отчисления на машины, руб.;  $B$  – балансовая стоимость машин, руб.;  $N_a$  – норма амортизационных отчислений, %;  $T_{\text{год}}$  – годовая загрузка машины;  $W_{\text{ч}}$  – производительность, га/ч эксплуатационного времени.

Годовую загрузку принимают в размере установленного норматива в типичном или модельном предприятии. Балансовая стоимость машин ( $B$ ) складывается из цены завода-изготовителя, налога на добавленную стоимость и снабженческо-сбытовой наценки торговых посредников.

$$B = C \frac{(1 + N_{\text{ДС}})}{100} \cdot \frac{(1 + N_{\text{нац}})}{100} + Z_{\text{тр}}, \quad (8.2)$$

где:  $C$  – цена завода – изготовителя, руб.;  $N_{\text{ДС}}$  – налог на добавленную стоимость, %;  $N_{\text{нац}}$  – снабженческо-сбытовая наценка, %;  $Z_{\text{тр}}$  – затраты на доставку техники, руб.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт определяются по формуле

$$Z_{\text{ТО}} = \frac{B \cdot N_{\text{ТО}}}{100 \cdot T_{\text{год}} \cdot W_{\text{ч}}}, \quad (8.3)$$

где:  $Z_{\text{ТО}}$  – затраты на техническое обслуживание и ремонт машин, руб.;  $N_{\text{ТО}}$  – норматив затрат на техническое обслуживание и ремонт машин, % от балансовой стоимости;  $T_{\text{год}}$  – нормативная (годовая) загрузка машин, ч.

Стоимость расхода топлива на единицу выполняемой работы определяется с использованием следующего выражения:

$$Z_{\text{Т}} = \frac{N \cdot q \cdot K_{\text{М}} \cdot C_{\text{Т}}}{W_{\text{ч}}}, \quad (8.4)$$

где  $N$  – номинальная мощность двигателя, л. с.;  $q$  – удельный расход топлива, кг/л. с.;  $K_{\text{М}}$  – коэффициент использования мощности двигателя на данной технологической операции;  $C_{\text{Т}}$  – цена топлива, руб. за кг (л).

Оплату труда механизаторов на выполнение единицы работы определяют по формуле:

$$Z_{\text{П}} = \frac{C_{\text{тар}} \cdot K_{\text{сл}} \cdot (f + K_{\text{доп}}) \cdot L}{W_{\text{ч}}}, \quad (8.5)$$

где  $Z_{\Pi}$  – оплата труда механизаторов за единицу работы, руб.;  $C_{\text{тар}}$  – тарифная ставка механизатора за выполненные работы, руб./ч;  $K_{\text{сл}}$  – коэффициент сложности работ;  $K_{\text{доп}}$  – размер дополнительной оплаты работников (премий за выполнение работ в напряженный период), %;  $L$  – число обслуживающего персонала, чел.

Тарифная ставка механизатора, определяется исходя из сложившейся в хозяйстве или регионе системы оплаты труда. При применении системы натуральной оплаты выделяемую продукцию оценивают по свободным рыночным ценам.

Общую сумму отчислений на социальные нужды определяют из выражения:

$$Z_{\text{ТО}} = \frac{Z_{\Gamma} \cdot K_{\text{ОТ}}}{100}, \quad (8.6)$$

где:  $Z_{\text{ТО}}$  – отчисления на социальные нужды, руб.;  $K_{\text{ОТ}}$  – норматив отчислений на социальные нужды, %;  $Z_{\Gamma}$  – годовой фонд оплаты труда механизаторов, руб.

Сумма начислений на заработную плату работников сельскохозяйственного производства составляет 30,1 %. В отчисления на социальные нужды включаются выплаты на социальное страхование (5,4 %), в государственный фонд занятости (1,5 %), пенсионный фонд (20,6 %), фонд медицинского страхования (3,6 %) от всех выплат в виде оплаты труда.

Кроме перечисленного в калькуляцию эксплуатационных затрат входят также затраты на хранение техники, проценты за кредит, страховые платежи, стоимость вспомогательных материалов, налоги, накладные расходы и прочие затраты. При этом затраты на хранение машин ( $Z_{\text{хр}}$ ) определяются по формуле:

$$Z_{\text{хр}} = \frac{N_{\text{хр}}}{T_{\text{год}} W_{\text{ч}}}, \quad (8.7)$$

где  $N_{\text{хр}}$  – норматив затрат на хранение одной машины, руб./год.

Сумму налогов определяют по формуле:

$$N_0 = N_{\text{ГТ}} + N_{\text{И}} + N_{\text{Э}} + N_{\text{Т}}, \quad (8.8)$$

где:  $H_0$  – общая сумма налогов, руб.;  $H_{ГТ}$  – сборы, взимаемые инспекцией Гостехнадзора;  $H_{И}$  – налог на имущество, руб.;  $H_{Э}$  – экономический налог, руб.;  $H_{Т}$  – транспортный налог, руб. Сумму каждого вида налога определяют в соответствии с действующими нормативными актами. На рисунке 8.1 показано главное меню принятого программного комплекса, разработанного в СКНИИМЭСХ, для расчёта экономической эффективности применения инновационного комплекса орудий на базе чизельного глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М.

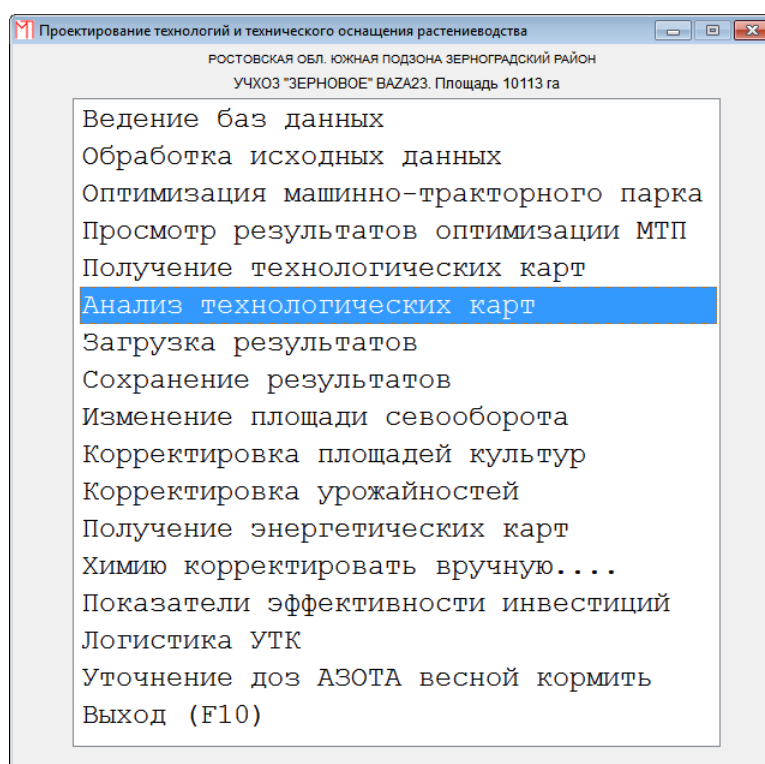


Рисунок 8.1 – Главное меню программного комплекса

## 8.2 Данные для базового расчёта экономической эффективности

В качестве базы для расчетов использовались данные по структуре посевных площадей, урожайности сельскохозяйственных культур, севооборотах, почвенно-климатических условиях 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 были 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 разработанным комплексом орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в третьей его базовой компоновке «Глубокорыхлитель склоновых земель» (ГСЗ). Такое различие в объемах обработок объясняется различием агросроков подготовки почвы под эти культуры. Агросрок основной обработки под озимые составил 10 дней, а агросрок зяблевой обработки в два раза длиннее и составляет для южной зоны Ростовской области 20 дней. Соответственно и выработка агрегата на обработке зяби получается в 2 раза больше [108]. Конкретные объемы обработок были модельно подобраны для обеспечения полной загрузки новой машины в количестве 1 шт.

Показатели экономической эффективности предлагаемых вариантов расчетов, определялись сравнением характеристик использования смоделированных машинотракторных парков, полученных в вариантных оптимизационных расчетах на ПЭВМ. В ниже представленных таблицах показаны результаты расчетов экономической эффективности, характеристики энергетики анализ технологических карт и показатели эффективности инвестиций по рассчитанным вариантам.

На рисунке 8.2 представлены показатели экономической эффективности машинно-тракторного парка рассматриваемого агропредприятия для базового варианта расчетов на площадь 10113 га.

Наименование	Значение
Эксплуатационные затраты, тыс. руб	175723.58
В том числе	
Заработная плата, тыс. руб	8976.48
Стоимость ГСМ, тыс. руб	41859.57
Отчисления на реновацию энергомашин, тыс. руб	62878.26
Отчисления на реновацию сельхозмашин, тыс. руб	18332.20
Отчисления на кап. ремонт энергомашин, тыс. руб	314.25
Отчисления на кап. ремонт сельхозмашин, тыс. руб	12.03
Отчисления на тек. ремонт энергомашин, тыс. руб	30302.70
Отчисления на тек. ремонт сельхозмашин, тыс. руб	13048.08
Капитальные вложения, тыс. руб	758434.91
В том числе:	
на энергомашины, тыс. руб	619734.00
на сельхозмашины, тыс. руб	138700.91
Расход топлива, т	716.38
Затраты труда, чел-ч	44233.85
Максимальная потребность в рабочей силе, чел.	130
В том числе:	
трактористы-машинисты, чел.	39

Рисунок 8.2 – Показатели эффективности машинно-тракторного парка

На рисунке 8.3 представлены характеристики тракторов, комбайнов, грузовых машин и других транспортных средств (энергомашин) базового варианта расчетов.

Шифр	Наименование	К-во	Стоим, тыс. р	Загрузка, ч	Рас. топ, т	Масса, к
003	К-701	6	79544.30	2662.29	140.76	96000
007	Т-150К	18	68040.00	7746.64	210.66	135630
011	МТЗ-80	47	91375.14	14398.98	176.35	164500
167	АСРОС-530	16	168317.18	2458.24	72.92	219200
171	ВЕКТОР	11	156642.02	1010.59	17.61	139700
016	КАМАЗ-55102	15	95849.88	4130.06	17.79	121695
067	ЗАВ-40	2	5600.00	897.86	55.13	46600
071	МОБИТОКС	4	1257.54	162.93	5.75	4060
076	УТМ-30	4	566.05	421.52	18.45	10400
077	АПЖ-12	2	466.82	36.67	0.97	4400

Рисунок 8.3 – Характеристики энергомашин

На рисунке 8.4 показаны характеристики технологических сельхозмашин базового варианта расчетов.

Шифр	Наименование	К-во	Стоим, тыс.р	Загрузка, ч	Масса, кг
187	СЭП-5.4	13	13845.10	2344.13	37830
197	ПТК-8-35	1	599.98	10.68	2500
204	ГКБ-8526	47	10159.52	4009.62	141000
218	ПТК-9-35	6	7056.00	1356.73	16800
220	ПЛН-4-35	9	1799.78	1437.73	5940
221	ПВР-2.3	24	516.10	1784.13	26400
227	ЛДГ-15	10	8848.00	1045.58	38500
228	ЛДГ-10	1	589.46	138.87	2480
229	ППЛ-10-25	13	1427.61	926.11	16445
231	БДТ-10Б	2	2914.02	202.66	11960
235	БЭСС-1.0	243	1524.10	14901.38	8505
243	КШУ-18	6	4977.50	1092.22	36990
244	КШУ-12	6	4715.76	1222.18	21456
245	КПС-4	1	205.97	20.76	820
255	СП-16	8	3018.62	278.37	18880
257	СТ-21	7	3466.46	550.52	28700
260	АКП-2.5М	3	352.80	89.52	9600
275	УТМ-30	2	261.97	169.03	5150
283	ЭС-20	6	377.33	531.40	1200
289	РЖТ-10	4	2530.98	81.03	17000
291	ОП-2000/18	6	3094.22	129.55	9300
308	ЖВП-6А	9	1337.62	445.26	15120
319	СУПН-8	9	2212.06	670.99	9900
330	ПСП-10 (Дон-1500)	16	4809.73	828.32	35200
345	КТП-6	4	140.00	322.45	5040
347	ГВР-6	4	275.07	325.84	5600
350	ПРФ-180	6	3678.19	789.11	40200
354	ПТ-Ф-500	4	40.32	749.70	720
355	СПТ-60	6	3276.00	569.36	39000
357	СП-60	6	1557.36	397.77	18540
436	ХС-7-1500	2	913.36	96.03	4660
517	ПК-1,6	1	201.60	28.67	2400
559	ЖКС-6.0	7	8057.95	584.42	8400

Рисунок 8.4 – Характеристики сельхозмашин базового варианта

На рисунке 8.5 представлен график загрузки трактора Т-150К для базового варианта расчетов. На рисунке 8.6 представлен график загрузки работников-механизаторов в полевой сезон для базового варианта расчетов.

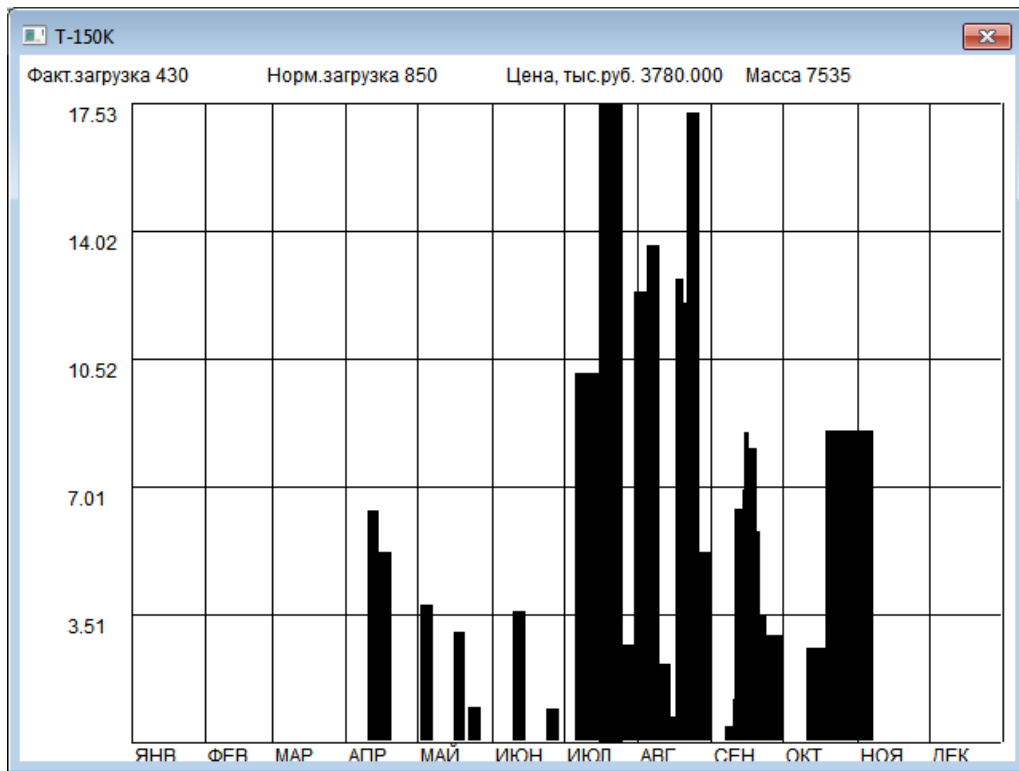


Рисунок 8.5 – График загрузки трактора Т-150К для базового варианта

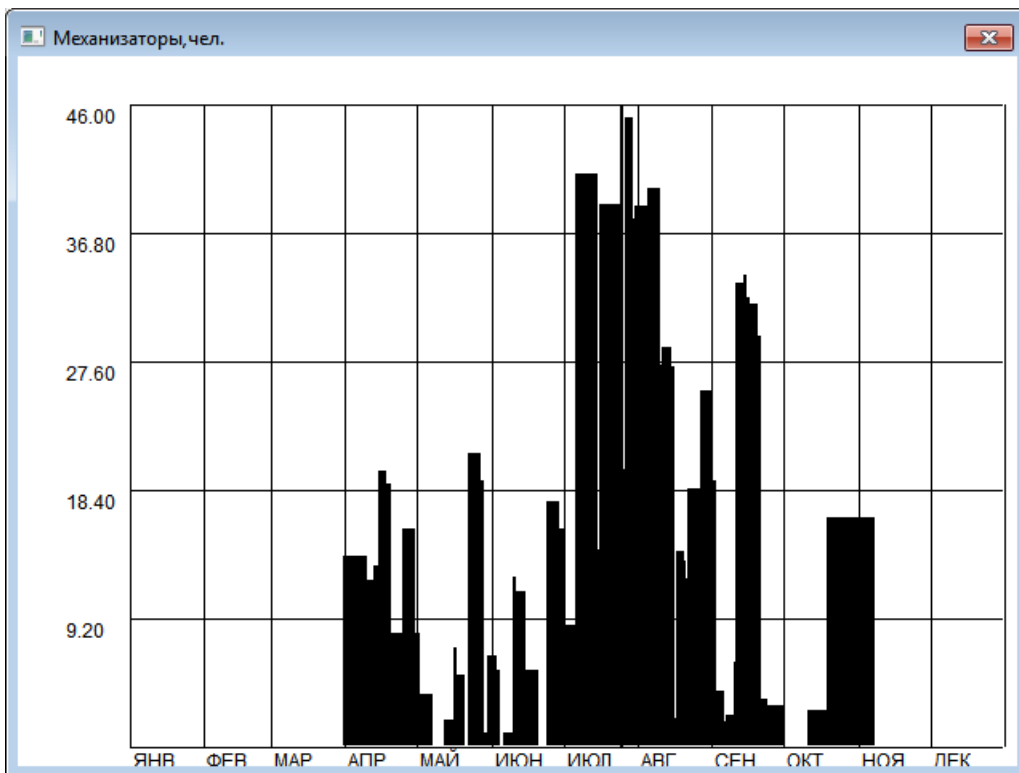


Рисунок 8.6 – График загрузки механизаторов для базового варианта

Рассмотрим вариант выращивания озимой пшеницы. На рисунке 8.7 представлен перечень технологических операций и их количественный анализ при возделывании озимой пшеницы базового варианта расчетов.

Наименование операции	Объем, га (т)	Дата, чис. мц
осн. обработка		
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	125.0	26.07
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	125.0	05.08
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	125.0	22.08
посев		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	125.0	11.09
ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН	25.0	11.09
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	25.0	11.09
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	125.0	11.09
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	125.0	11.09
уходн. работы		
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	30.0	31.03
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	30.0	31.03
ЗАГРУЗКА УДОБРЕНИЙ	30.0	31.03
ПРИКОРНЕВАЯ ПОДКОРМКА ОЗИМЫХ	125.0	31.03
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	125.0	10.04
уборка		
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	125.0	06.07
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	564.0	06.07
ОЧИСТКА ЗЕРНА	564.0	06.07

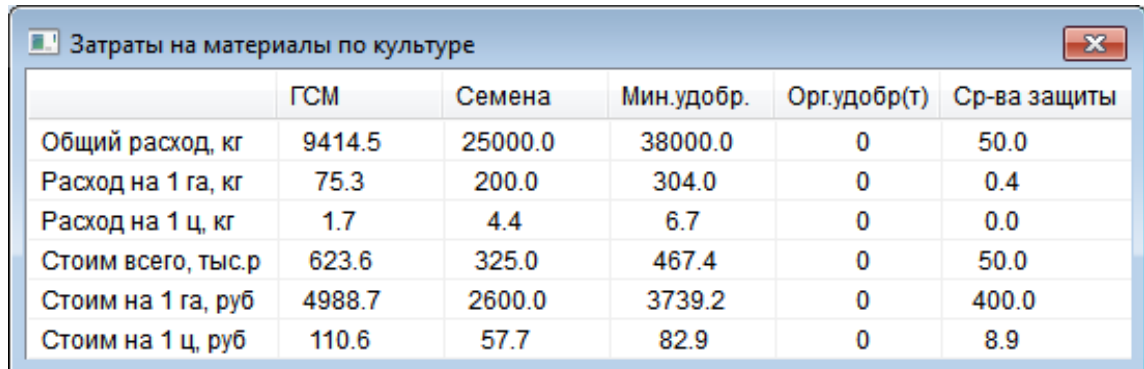
Рисунок 8.7 – Анализ технологических работ для озимой пшеницы

На рисунке 8.8 представлены экономические показатели технологии возделывания озимой пшеницы базового варианта расчетов на площади 125 га.

	Затр.труда,челч	Расх.ГСМ,кг	З/пл,тыс.р	Ст. ГСМ,тыс	Ренов,тыс	Рем.,тыс	Экспл.затр.,тыс
Осн. обр.	141.16	3837.4	40.9	249.3	161.1	137.9	589.2
Посев	69.59	1183.3	17.3	77.9	96.2	76.8	268.2
Уход	41.08	625.8	10.4	40.9	54.2	46.4	152.0
Уборка	402.61	3768.1	48.8	255.4	818.6	393.1	1515.9
Всего	654.45	9414.5	117.4	623.6	1130.1	654.2	2525.2
На 1 га	5.24	75.3	938.9	4988.7	9040.6	5233.5	20201.7
На 1 ц	0.12	1.7	20.8	110.6	200.5	116.1	448.0

Рисунок 8.8 – Показатели возделывания озимой пшеницы базового варианта

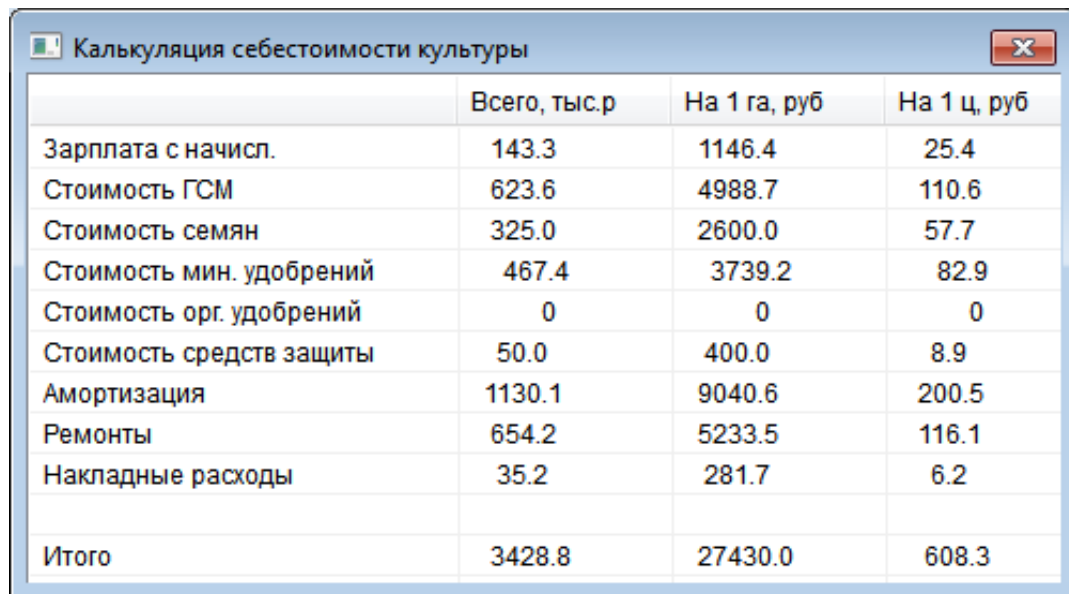
На рисунке 8.9 представлены затраты на материалы по технологии выращивания озимой пшеницы при базовом варианте расчетов.



	ГСМ	Семена	Мин.удобр.	Орг.удобр(т)	Ср-ва защиты
Общий расход, кг	9414.5	25000.0	38000.0	0	50.0
Расход на 1 га, кг	75.3	200.0	304.0	0	0.4
Расход на 1 ц, кг	1.7	4.4	6.7	0	0.0
Стоим всего, тыс.р	623.6	325.0	467.4	0	50.0
Стоим на 1 га, руб	4988.7	2600.0	3739.2	0	400.0
Стоим на 1 ц, руб	110.6	57.7	82.9	0	8.9

Рисунок 8.9 – затраты выращиванию озимой пшеницы при базовом варианте

На рисунке 8.10 представлена калькуляция себестоимости возделывания озимой пшеницы по базовому варианту расчетов.



	Всего, тыс.р	На 1 га, руб	На 1 ц, руб
Зарплата с начисл.	143.3	1146.4	25.4
Стоимость ГСМ	623.6	4988.7	110.6
Стоимость семян	325.0	2600.0	57.7
Стоимость мин. удобрений	467.4	3739.2	82.9
Стоимость орг. удобрений	0	0	0
Стоимость средств защиты	50.0	400.0	8.9
Амортизация	1130.1	9040.6	200.5
Ремонты	654.2	5233.5	116.1
Накладные расходы	35.2	281.7	6.2
Итого	3428.8	27430.0	608.3

Рисунок 8.10 – Себестоимость озимой пшеницы для базового варианта

Рассмотрим вариант выращивания ярового ячменя. На рисунке 8.11 представлены экономические показатели технологии выращивания ярового ячменя при базовом варианте расчетов. На рисунке 8.12 представлен перечень операций и их количественный анализ при возделывании ярового ячменя для базового варианта расчетов.

	Затр.труда, челч	Расх.ГСМ, кг	З/пл, тыс. р	Ст. ГСМ, тыс	Ренов, тыс	Рем., тыс	Экспл.затр., тыс
Осн. обр.	309.08	7917.5	87.3	515.9	389.8	324.8	1317.7
Посев	131.76	2126.4	34.4	138.1	163.3	146.7	482.5
Уход	24.24	305.0	6.7	19.8	70.2	63.7	160.4
Уборка	2499.94	10144.6	438.4	681.0	2594.7	1292.7	5006.8
Всего	2965.03	20493.4	566.7	1354.8	3217.9	1827.9	6967.3
На 1 га	11.86	82.0	2267.0	5419.2	12871.7	7311.5	27869.4
На 1 ц	0.25	1.7	48.0	114.8	272.7	154.9	590.5

Рисунок 8.11 – Показатели выращивания ярового ячменя при базовом варианте

Наименование операции	Объем, га (т)	Дата, чис. мц
осн. обработка		
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	250.0	26.07
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 8-10 СМ	250.0	07.09
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	62.5	19.10
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	62.5	19.10
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	62.5	19.10
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	250.0	19.10
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	250.0	19.10
посев		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	250.0	15.04
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	50.0	15.04
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	250.0	15.04
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	250.0	15.04
уходн. работы		
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	37.5	25.04
ТРАНСПОРТИРОВКА МИН. УДОБРЕНИЙ	37.5	25.04
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	250.0	25.04
уборка		
СКАШИВАНИЕ В ВАЛКИ	250.0	01.07
ПОДБОР И ОБМОЛОТ ВАЛКОВ	250.0	06.07
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	1178.5	06.07
ОЧИСТКА ЗЕРНА	1178.6	06.07

Рисунок 8.12 – Пооперационный анализ возделывания ярового ячменя при базовом варианте

Затраты на материалы, необходимые по технологии выращивания ярового ячменя при базовом варианте расчетов экономической эффективности показаны на рисунке 8.13.

	ГСМ	Семена	Мин.удобр.	Орг.удобр(т)	Ср-ва защиты
Общий расход, кг	20493.4	50000.0	122300.0	0	0.0
Расход на 1 га, кг	82.0	200.0	489.2	0	0.0
Расход на 1 ц, кг	1.7	4.2	10.4	0	0.0
Стоим всего, тыс.р	1354.8	600.0	1504.3	0	0.0
Стоим на 1 га, руб	5419.2	2400.0	6017.2	0	0.0
Стоим на 1 ц, руб	114.8	50.8	127.5	0	0.0

Рисунок 8.13 – Затраты на выращивание ярового ячменя при базовом варианте

На рисунке 8.14 представлена калькуляция затрат, входящих в себестоимость выращивания ярового ячменя при базовом варианте расчетов экономической эффективности.

	Всего, тыс.р	На 1 га, руб	На 1 ц, руб
Зарплата с начисл.	692.0	2768.0	58.6
Стоимость ГСМ	1354.8	5419.2	114.8
Стоимость семян	600.0	2400.0	50.8
Стоимость мин. удобрений	1504.3	6017.2	127.5
Стоимость орг. удобрений	0	0	0
Стоимость средств защиты	0.0	0.0	0.0
Амортизация	3217.9	12871.7	272.7
Ремонты	1827.9	7311.5	154.9
Накладные расходы	170.0	680.1	14.4
Итого	9366.9	37467.6	793.8

Рисунок 8.14 – Себестоимость выращивания ярового ячменя (базовый вариант)

### 8.3 Данные для расчёта экономической эффективности инновационного комплекса орудий

Применение инновационного комплекса орудий на базе чизельного глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М – в его базовой компоновке ГСЗ, в программе по расчёту экономической эффективности указывается – "новый вариант расчетов".

Характеристики энергомашин при возделывании рассматриваемых культур в новом варианте расчетов показаны на рисунке 8.15. Показатели экономической эффективности машинно-тракторного парка агропредприятия по новому варианту расчётов представлены на рисунке 8.16.

Шифр	Наименование	К-во	Стоим, тыс. р	Загрузка, ч	Рас. топ, т	Масса, кг
003	К-701	6	79544.30	2525.38	133.49	96000
007	Т-150К	18	68040.00	8227.50	223.73	135630
011	МТЗ-80	48	93319.30	14576.06	178.34	168000
167	АСРОС-530	16	168317.18	2378.90	71.19	219200
171	ВЕКТОР	12	170882.21	1102.46	19.21	152400
016	КАМАЗ-55102	15	95849.88	4199.24	17.96	121695
067	ЗАВ-40	2	5600.00	907.75	55.73	46600
071	МОБИТОКС	4	1257.54	162.93	5.75	4060
073	ОВС-25	1	383.71	4.60	0.43	2000
076	УТМ-30	4	566.05	421.52	18.45	10400
077	АПЖ-12	2	466.82	36.67	0.97	4400

Рисунок 8.15 – Характеристики энергомашин для нового варианта расчетов

Наименование	Значение
Эксплуатационные затраты, тыс. руб	177734.27
В том числе	
Заработная плата, тыс. руб	9155.34
Стоимость ГСМ, тыс. руб	42375.69
Отчисления на реновацию энергомашин, тыс. руб	64554.51
Отчисления на реновацию сельхозмашин, тыс. руб	18069.33
Отчисления на кап. ремонт энергомашин, тыс. руб	317.71
Отчисления на кап. ремонт сельхозмашин, тыс. руб	12.03
Отчисления на тек. ремонт энергомашин, тыс. руб	30664.59
Отчисления на тек. ремонт сельхозмашин, тыс. руб	12585.06
Капитальные вложения, тыс. руб	772900.60
В том числе:	
на энергомашины, тыс. руб	636302.04
на сельхозмашины, тыс. руб	136598.56
Расход топлива, т	725.26
Затраты труда, чел-ч	45089.08
Максимальная потребность в рабочей силе, чел.	131
В том числе:	
трактористы-машинисты, чел.	39

Рисунок 8.16 – Показатели эффективности МТП по новому варианту

Производительность, расход топлива 32,36 кг/га и время смены в определении экономической эффективности при новом варианте расчётов отражены в рисунке 8.17.

Что	Как
Шифр операции	404 ЧИЗЕЛЬНАЯ ВСПАШКА НА 35-40 СМ
Шифр энергомашины	003 К-701
Шифр 1-й сельхозмашины	656 ПЧ-2.5
К-во 1-х сельхозмашин	1
Шифр 2-й сельхозмашины	000
К-во 2-х сельхозмашин	0
Шифр 3-й сельхозмашины	000
К-во 3-х сельхозмашин	0
Количество механизаторов	1
Количество подсобных рабочих	0
Производительность сменная, га(т)	12.7927
Удельный расход топлива, кг/га(т)	32.3600
Эксплуатационные затраты, тыс.руб	0.00
Зарплата, тыс.руб	0.00
Стоимость ГСМ, тыс.руб	0.00
Реновация энергомашины, тыс.руб	0.00
Кап. ремонт энергомашины и агрегата, тыс.руб	0.00
Тек. ремонт энергомашины и агрегата, тыс.руб	0.00
Реновация машинного агрегата, тыс.руб	0.00
Продолжительность рабочего дня, ч	7.787
К-во альтернатив на операции	1
Численность бригады, чел	0.01

Рисунок 8.17 – Производительность и затраты ГСМ при новом варианте расчётов

На рисунке 8.18 представлен список сельскохозяйственных технологических машин и их характеристики для нового варианта расчетов. Третья базовая компоновка (ГСЗ) на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М классификатору программы представлена как ГНЧ-0,6М (рисунок 8.18).

Шифр	Наименование	К-во	Стоим, тыс. р	Загрузка, ч	Масса, кг
187	СЭП-5.4	13	13845.10	2344.13	37830
197	ПТК-8-35	1	599.98	10.68	2500
204	ГКБ-8526	47	10159.52	4009.62	141000
218	ПТК-9-35	6	7056.00	1356.73	16800
220	ПЛН-4-35	9	1799.78	1437.73	5940
221	ПВР-2.3	24	516.10	1784.13	26400
227	ЛДГ-15	10	8848.00	1045.58	38500
228	ЛДГ-10	1	589.46	138.87	2480
229	ППЛ-10-25	13	1427.61	926.11	16445
231	БДГ-10Б	2	2914.02	202.66	11960
235	БЭСС-1.0	243	1524.10	14901.38	8505
243	КШУ-18	6	4977.50	1092.22	36990
244	КШУ-12	6	4715.76	1222.18	21456
245	КПС-4	1	205.97	20.76	820
255	СП-16	8	3018.62	278.37	18880
257	СГ-21	7	3466.46	550.52	28700
260	АКП-2.5М	3	352.80	89.52	9600
275	УТМ-30	2	261.97	169.03	5150
283	ЭС-20	6	377.33	531.40	1200
289	РЖТ-10	4	2530.98	81.03	17000
291	ОП-2000/18	6	3094.22	129.55	9300
308	ЖВП-6А	9	1337.62	445.26	15120
319	СУПН-8	9	2212.06	670.99	9900
330	ПСП-10 (Дон-1500)	16	4809.73	828.32	35200
345	КТП-6	4	140.00	322.45	5040
347	ГВР-6	4	275.07	325.84	5600
350	ПРФ-180	6	3678.19	789.11	40200
354	ПТ-Ф-500	4	40.32	749.70	720
355	СПТ-60	6	3276.00	569.36	39000
357	СП-60	6	1557.36	397.77	18540
436	ХС-7-1500	2	913.36	96.03	4660
517	ПК-1,6	1	201.60	28.67	2400
559	ЖКС-6.0	7	8057.95	584.42	8400
577	ППТ-3А	8	0.45	711.81	6400
593	ПЛН-5-35	18	4643.86	2290.66	17100
656	ГНЧ-0.6М	1	549.98	228.27	950
669	КМО-11	7	9215.53	546.36	8400
687	AMAZONE	4	17291.01	655.81	10000
714	ВП-8	7	2744.00	655.36	24500
975	ПКС-1.6	12	2358.05	2122.46	21600

Рисунок 8.18 – Список сельхоз машин и их характеристики при новом варианте

Выращивание озимой пшеницы при новом варианте расчёта экономической эффективности. На рисунке 8.19 представлен перечень операций и их количественный анализ при возделывании озимой пшеницы для нового варианта расчетов [108].

Наименование операции	Объем, га (т)	Дата, чис.мц
осн. обработка		
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	125.0	26.07
ЧИЗЕЛЬНАЯ ВСПАШКА НА 35-40 СМ	125.0	05.08
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	125.0	22.08
посев		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	125.0	11.09
ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН	25.0	11.09
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	25.0	11.09
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	125.0	11.09
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	125.0	11.09
уходн. работы		
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	30.0	31.03
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	30.0	31.03
ЗАГРУЗКА УДОБРЕНИЙ	30.0	31.03
ПРИКОРНЕВАЯ ПОДКОРМКА ОЗИМЫХ	125.0	31.03
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	125.0	10.04
уборка		
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	125.0	06.07
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	649.8	06.07
ОЧИСТКА ЗЕРНА	649.8	06.07

Рисунок 8.19 – Перечень операций при возделывании озимой пшеницы для нового варианта расчетов

Затраты на чизельную обработку почвы на площади 125 га под озимую пшеницу для нового варианта расчетов показаны на рисунке 8.20.

Энергомашинa	Машинный агрегат	К-во МТА	Объем, га(т)	Затр.труд,чел ч	Расход ГСМ,кг	Стоим.ГСМ,тыс р	З/плата,тыс р	Экспл.затр,тыс р
К-701	ГНС-0.6М	0.98	125.0	76.09	4044.9	262.8	22.1	667.8

Рисунок 8.20 – Затраты на чизельную обработку 125 га под озимую пшеницу

На рисунке 8.21 представлены экономические показатели возделывания озимой пшеницы для нового варианта расчетов экономической эффективности.

	Затр.труда,челч	Расх.ГСМ,кг	З/пл,тыс.р	Ст. ГСМ,тыс	Ренов,тыс	Рем.,тыс	Экспл.затр.,тыс
Осн. обр.	105.07	4834.9	30.5	314.1	257.5	211.9	813.9
Посев	69.59	1183.3	17.3	77.9	97.7	76.8	269.7
Уход	41.08	625.8	10.4	40.9	54.0	46.4	151.8
Уборка	457.46	4312.3	55.3	291.9	935.7	444.6	1727.5
Всего	673.20	10956.2	113.4	724.9	1344.8	779.7	2962.8
На 1 га	5.39	87.6	907.4	5799.2	10758.7	6237.3	23702.6
На 1 ц	0.10	1.7	17.5	111.5	206.9	119.9	455.8

Рисунок 8.21 – Показатели возделывания озимой пшеницы для нового варианта расчетов

Возникающие затраты на материалы по технологии выращивания озимой пшеницы на площади 125 га при новом варианте расчетов отражены на рисунке 8.22.

	ГСМ	Семена	Мин.удобр.	Орг.удобр(т)	Ср-ва защиты
Общий расход, кг	10956.2	25000.0	38000.0	0	50.0
Расход на 1 га, кг	87.6	200.0	304.0	0	0.4
Расход на 1 ц, кг	1.7	3.8	5.8	0	0.0
Стоим всего, тыс.р	724.9	325.0	467.4	0	50.0
Стоим на 1 га, руб	5799.2	2600.0	3739.2	0	400.0
Стоим на 1 ц, руб	111.5	50.0	71.9	0	7.7

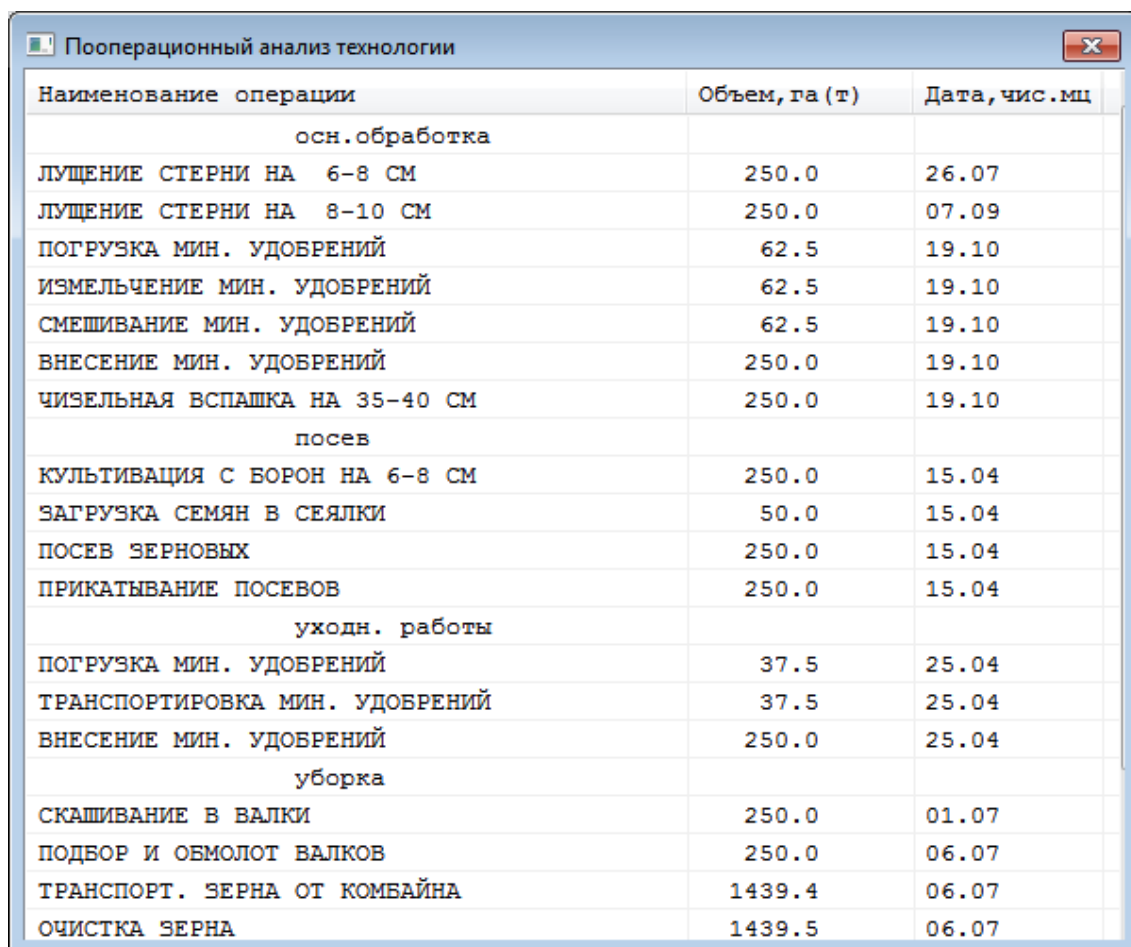
Рисунок 8.22 – Затраты на материалы для озимой пшеницы при новом варианте

На рисунке 8.23 представлена калькуляция себестоимости возделывания озимой пшеницы для нового варианта расчетов.

	Всего, тыс.р	На 1 га, руб	На 1 ц, руб
Зарплата с начисл.	138.5	1108.0	21.3
Стоимость ГСМ	724.9	5799.2	111.5
Стоимость семян	325.0	2600.0	50.0
Стоимость мин. удобрений	467.4	3739.2	71.9
Стоимость орг. удобрений	0	0	0
Стоимость средств защиты	50.0	400.0	7.7
Амортизация	1344.8	10758.7	206.9
Ремонты	779.7	6237.3	119.9
Накладные расходы	34.0	272.2	5.2
Итого	3864.3	30914.6	594.5

Рисунок 8.23 – Калькуляция себестоимости озимой пшеницы для нового варианта

Покажем данные при возделывании ярового ячменя для нового варианта расчёта экономической эффективности. На рисунке 8.24 представлен перечень технологических операций и их количественный анализ при возделывании ярового ячменя для нового варианта расчетов.



Наименование операции	Объем, га (т)	Дата, чис.мц
осн. обработка		
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	250.0	26.07
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 8-10 СМ	250.0	07.09
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	62.5	19.10
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	62.5	19.10
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	62.5	19.10
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	250.0	19.10
ЧИЗЕЛЬНАЯ ВСПАШКА НА 35-40 СМ	250.0	19.10
посев		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	250.0	15.04
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	50.0	15.04
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	250.0	15.04
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	250.0	15.04
уходн. работы		
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	37.5	25.04
ТРАНСПОРТИРОВКА МИН. УДОБРЕНИЙ	37.5	25.04
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	250.0	25.04
уборка		
СКАШИВАНИЕ В ВАЛКИ	250.0	01.07
ПОДБОР И ОБМОЛОТ ВАЛКОВ	250.0	06.07
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	1439.4	06.07
ОЧИСТКА ЗЕРНА	1439.5	06.07

Рисунок 8.24 – Перечень операций при выращивании ярового ячменя для нового варианта расчётов

На рисунке 8.25 представлены показатели технологических операций при возделывании ярового ячменя для нового варианта расчетов экономической эффективности.

На рисунке 8.26 представлены затраты на материалы, необходимые для возделывания ярового ячменя при новом варианте расчетов экономической эффективности.

	Затр.труда,челч	Расх.ГСМ,кг	З/пл,тыс.р	Ст. ГСМ,тыс	Ренов,тыс	Рем.,тыс	Экспл.затр.,тыс
Осн. обр.	236.89	9912.5	66.3	645.5	582.6	472.7	1767.1
Посев	131.76	2126.4	34.4	138.1	162.0	146.7	481.2
Уход	24.24	305.0	6.7	19.8	70.3	63.7	160.5
Уборка	2973.49	11836.9	515.0	794.4	3086.1	1522.7	5918.3
Всего	3366.39	24180.8	622.5	1597.8	3901.0	2205.8	8327.1
На 1 га	13.47	96.7	2489.8	6391.3	15604.0	8823.3	33308.5
На 1 ц	0.23	1.7	43.2	111.0	270.9	153.2	578.3

Рисунок 8.25 – Экономические показатели технологических операций для ярового ячменя при новом варианте расчётов

	ГСМ	Семена	Мин.удобр.	Орг.удобр(т)	Ср-ва защиты
Общий расход, кг	24180.8	50000.0	122300.0	0	0.0
Расход на 1 га, кг	96.7	200.0	489.2	0	0.0
Расход на 1 ц, кг	1.7	3.5	8.5	0	0.0
Стоим всего, тыс.р	1597.8	600.0	1504.3	0	0.0
Стоим на 1 га, руб	6391.3	2400.0	6017.2	0	0.0
Стоим на 1 ц, руб	111.0	41.7	104.5	0	0.0

Рисунок 8.26 – Затраты на материалы для ярового ячменя при новом варианте

На рисунке 8.27 отражена калькуляция себестоимости выращивания ярового ячменя по новому варианту расчетов экономической эффективности.

	Всего, тыс.р	На 1 га, руб	На 1 ц, руб
Зарплата с начисл.	760.0	3040.1	52.8
Стоимость ГСМ	1597.8	6391.3	111.0
Стоимость семян	600.0	2400.0	41.7
Стоимость мин. удобрений	1504.3	6017.2	104.5
Стоимость орг. удобрений	0	0	0
Стоимость средств защиты	0.0	0.0	0.0
Амортизация	3901.0	15604.0	270.9
Ремонты	2205.8	8823.3	153.2
Накладные расходы	186.7	746.9	13.0
Итого	10755.7	43022.9	746.9

Рисунок 8.27 – Калькуляция себестоимости ярового ячменя при новом варианте

## 8.4 Результаты расчёта экономической эффективности применения инновационного комплекса орудий

Расчет основных технико-экономических показателей при использовании обоих агрегатов выполнен согласно методики [141].

Одним из основных показателей экономической эффективности предлагаемых инженерных решений является ожидаемый годовой экономический эффект, определяемый по формуле:

$$\mathcal{E}_{год} = \sum_{i=1}^k \Delta Z_i, \quad (8.9)$$

где  $\mathcal{E}_{год}$  – общий годовой экономический эффект, руб.;

$\Delta Z_i$  – годовая экономия от сокращения эксплуатационных затрат на  $i$ -й операции, руб.

Годовая экономия от сокращения эксплуатационных затрат на операции определяется по формуле:

$$\Delta Z_i = (Z_i^c - Z_i^n) \cdot Q_{2,i}^n, \quad (8.10)$$

где  $Z_i^c, Z_i^n$  – удельные эксплуатационные затраты на  $i$ -й операции по существующему и проектируемому вариантам, руб.;

$Q_{2,i}^n$  – годовая выработка агрегата (машины) на  $i$ -й операции.

Удельные эксплуатационные затраты на выполнение  $i$ -й операции определяются по формуле:

$$Z_{y,i}^o = C_i^s + C_i^a + C_i^{p.mo} + C_i^{эл} + C_i^{np} \quad (8.11)$$

где  $Z_{y,i}^o$  – прямые эксплуатационные затраты на  $i$ -й операции, руб./т;

$C_i^s$  – затраты на оплату труда с отчислениями на социальные нужды на  $i$ -й операции, руб./т;

$C_i^a$  – амортизационные отчисления на  $i$ -й операции, руб./т;

$C_i^{p.mo}$  – отчисления на ремонты и техобслуживание на  $i$ -й операции, руб./т;

$C_i^{эл}$  – затраты на электроэнергию на  $i$ -й операции, руб./т;

$C_i^{np}$  – прочие прямые затраты на  $i$ -й операции, руб./т.

Оплата труда с отчислениями на социальные нужды определяется по формуле:

$$C_i^z = \left( \frac{m_{ч.i}^M \cdot l_i^M}{W_i^i} \cdot K_M + \frac{m_{ч.i}^{BP} \cdot l_i^{BP}}{W_i^i} \cdot K_{BP} \right) \cdot K_{соц}, \quad (8.12)$$

где  $m_{ч.i}^M$ ,  $m_{ч.i}^{BP}$  – часовые тарифные ставки механизатора и вспомогательных рабочих соответственно на  $i$ -й операции, руб./ч;

$l_i^M$ ,  $l_i^{BP}$  – количество соответственно механизаторов и вспомогательных рабочих, обслуживающих агрегат на  $i$ -й операции, чел;

$W_i^i$  – производительность оборудования, т/час.

$K_M$ ,  $K_{BP}$  – коэффициенты доплат к тарифному фонду механизаторов и вспомогательных рабочих (1,25 и 1,1 соответственно);

$K_{соц}$  – коэффициент отчислений на социальные нужды ( $K_{соц} = 1,30$ ).

Амортизационные отчисления равны:

$$C_i^a = \frac{B_m a_m}{100 \cdot T_{z.m} W_i^i}, \quad (8.13)$$

где  $B_m$  – балансовая цена оборудования, руб.

$a_m$  – годовая норма амортизационных отчислений на оборудование, %

$T_{z.m}$  – нормативная загрузка оборудования, ч./год.

Затраты на ремонты и техобслуживание рассчитываются по формуле:

$$C_i^{p.mo} = \frac{B_m p_m}{100 \cdot T_{z.m} \cdot W_i^i}, \quad (8.14)$$

где  $p_m$  – годовая норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание оборудования, %.

Затраты на электроэнергию определяются по формуле:

$$C_i^{эл} = \sum \frac{N_i \cdot n_i \cdot K_M \cdot V_i}{W_i^i}, \quad (8.15)$$

где  $N_i$  – установленная мощность оборудования, кВт;

$n_i$  – количество оборудования, шт.;

$K_m$  – коэффициент использования установленной мощности ( $K_m=0,8$ )

$V_i$  – объем работы, т.

Прочие прямые затраты определяются значением:

$$C_{np} = 0,04 \cdot C^s \quad (8.16)$$

Для нового варианта расчётов используем инновационный комплекс орудий в базовом варианте ГСЗ. В таблице 8.1 представлены результаты обработки рассчитанных технологических карт. Эксплуатационные затраты представлены как суммарные годовые [108].

Таблица 8.1 – Показатели для расчета экономической эффективности

Наименование показателей	Варианты расчетов	
	Базовый	Новый
Затраты труда, чел. ч	44233,9	45089,1
Эксплуатационные затраты, тыс. руб.	175723,6	177734,3
В том числе:		
Оплата труда, тыс. руб.	8976,5	9155,3
Стоимость ГСМ, тыс. руб.	41859,6	42375,7
Капвложения, тыс. руб.	758434,9	772900,6
Ремонтные отчисления, тыс. руб.	43677,1	43579,4
Расход топлива, т	716,4	725,3
Продажа зерна, т	1742,5	2089,2
Выручка от продаж, тыс. руб.	31365	37605,6
Себестоимость ячменя, руб./ц	793,8	746,9
Себестоимость озимой пшеницы, руб./ц	608,3	594,5
Годовой доход, тыс. руб.		4229,9

В результате проведенных расчетов в новом варианте применен один агрегат в третьем базовом варианте ГСЗ на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М. Годовая загрузка его в модельном хозяйстве составила 229 часов. При этом хозяйство получит дополнительный урожай зерновых колосовых 346,7 т, что на 20 % больше, чем при базовой технологии.

Чистый дисконтированный доход от нового проекта был так же рассчитан на этом программном комплексе.

Для оценки экономической эффективности проектов, связанных с привлечением дополнительных капиталовложений, используют показатель чистого дисконтированного дохода (NPV), характеризующий разницу потребных инвестиций и дисконтированной (приведенной к моменту капиталовложений) суммы дополнительных денежных поступлений от реализации инвестиционного проекта. В этом случае предполагается, что денежные средства на приобретение машин и оборудования могут быть размещены с известной средней доходностью на рынке альтернативных инвестиций. Оцениваемый инвестиционный проект считается привлекательным при положительном значении чистого дисконтированного дохода.

В рассматриваемом нами случае разработка и внедрение инновационного проекта сопровождается увеличением капиталовложений в формирование машинно-тракторного парка сельхозтоваропроизводителей. Поэтому совокупный экономический эффект представляет собой сумму денежных потоков, генерируемых данным проектом в течение его «жизни», которая соответствует срокам службы приобретаемых технических средств до полной амортизации и списания. При расчете этой суммы необходимо учитывать среднюю доходность капитала, существующую на рынке в момент оценки. В качестве первого слагаемого здесь выступает наращенная сумма денежных средств в объеме разницы потребных капиталовложений базового и нового вариантов проекта:

$$S_1 = (K_{\bar{o}} - K_n) \cdot (1 + i)^n, \quad (8.17)$$

где  $K_{\bar{o}}$  и  $K_n$  – соответственно размер капиталовложений в формирование базового и нового парка машин;

$i$  – доходность вложения капитала на момент оценки;

$n$  – средний срок эксплуатации техники до списания.

В формуле 5.9  $(1 + i)^n$  представляет собой коэффициент наращения разницы капиталовложений по сложным процентам. Его использование в данном

случае обусловлено следующими соображениями. Предполагается, что свободная разница денежных средств  $(K_{\text{б}} - K_{\text{н}})$  может быть размещена товаропроизводителем либо на рынке капитала, либо на рынке альтернативных инвестиций с годовой доходностью  $i$ . В этом случае к концу  $n$ -го года величина этих первоначально вложенных средств возрастает до  $S_1$ .

Вторым слагаемым суммы денежных поступлений является наращенная сумма ежегодных дополнительных средств, полученных в результате реализации данного проекта. В рассматриваемом нами случае составляющими этих дополнительных средств будет полученный доход от продажи дополнительного объема продукции растениеводства. Поэтому в дальнейших расчетах предполагалось, что внедрение предлагаемого комплекса технических средств обеспечивает только прибавку урожайности культур и соответственно увеличение дохода и других источников прибыли нет. Для определения наращенной суммы ежегодных денежных поступлений с доходностью  $i$  в течение  $n$  лет используется следующая формула [140]:

$$S_2 = (I_{\text{б}} - I_{\text{н}}) \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i}, \quad (8.18)$$

где  $I_{\text{б}}$  и  $I_{\text{н}}$  – суммы выручки от продажи сельхозпродукции в базовом и новом вариантах соответственно.

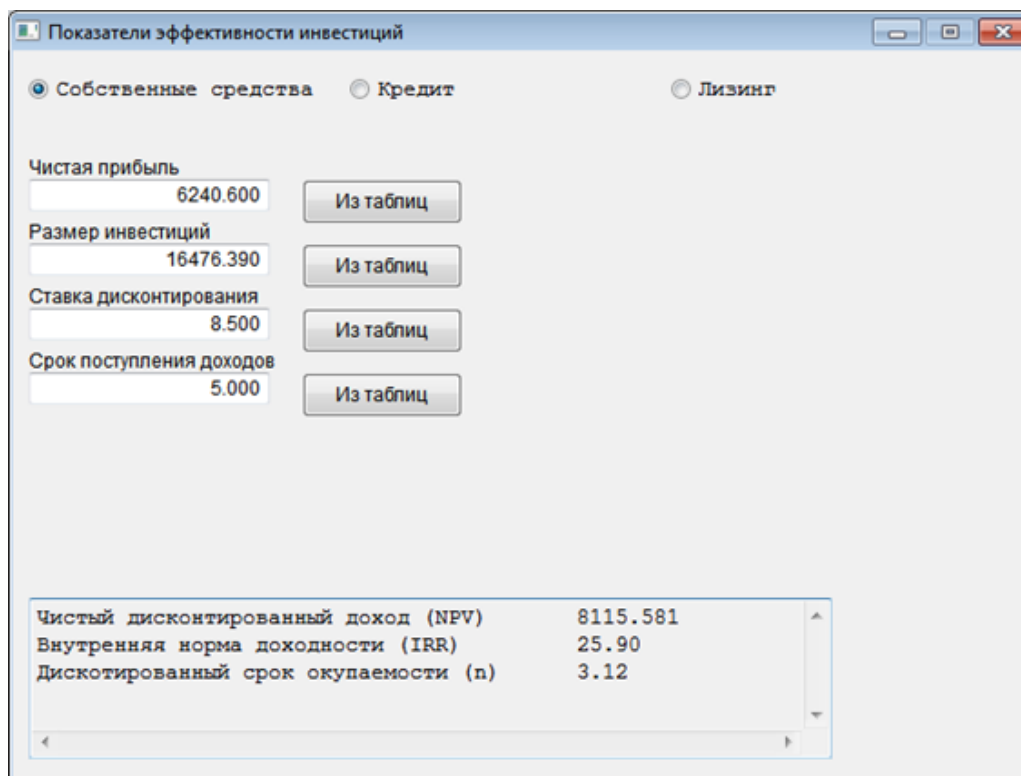
С учетом выражений (8.17) и (8.18) общий объем денежных поступлений от модернизации зерноочистительного агрегата ЗАВ-40 равен:

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = S_1 + S_2 = (K_{\text{б}} - K_{\text{н}}) \cdot (1+i)^n + (I_{\text{б}} - I_{\text{н}}) \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i}. \quad (8.19)$$

На рисунках 8.28 и 8.29 показаны соответственно результаты расчетов показателей эффективности инвестиций в проектах базового и нового вариантов.

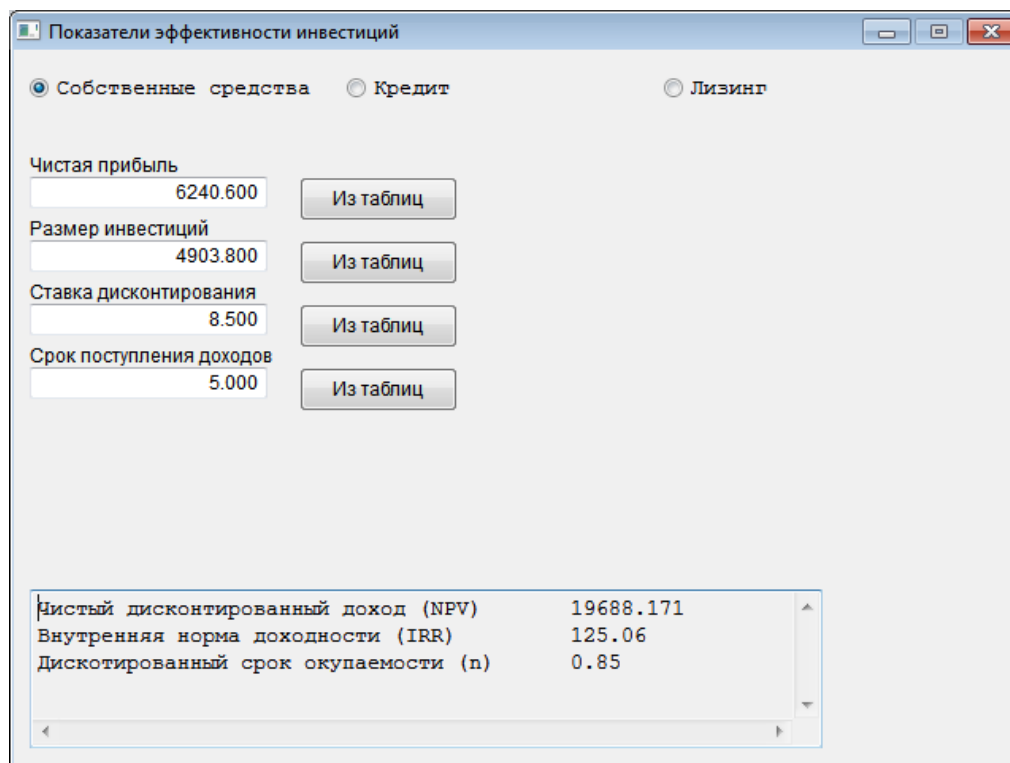
В качестве чистой прибыли представлен размер выручки от продажи зерна за счет повышения урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя от применения новой технологии основной обработки почвы склонов и

разработанного комплекса орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М под эти культуры на момент расчёта экономической эффективности.



Показатель	Значение
Чистая прибыль	6240.600
Размер инвестиций	16476.390
Ставка дисконтирования	8.500
Срок поступления доходов	5.000
Чистый дисконтированный доход (NPV)	8115.581
Внутренняя норма доходности (IRR)	25.90
Дисконтированный срок окупаемости (п)	3.12

Рисунок 8.28 – Показатели эффективности инвестиций в базовом варианте



Показатель	Значение
Чистая прибыль	6240.600
Размер инвестиций	4903.800
Ставка дисконтирования	8.500
Срок поступления доходов	5.000
Чистый дисконтированный доход (NPV)	19688.171
Внутренняя норма доходности (IRR)	125.06
Дисконтированный срок окупаемости (п)	0.85

Рисунок 8.29 – Показатели эффективности инвестиций в новом варианте

Дополнительный объем зерна от повышения урожайности (согласно проведенных опытов) составил 346,7 тонн и при цене реализации 18000 руб./т размер прибыли за год получится 6240,6 тыс. руб. Размер инвестиций определен как сумма дополнительных капитальных вложений на приобретение дополнительной техники (один трактор МТЗ-80, один комбайн «Вектор-450» и ОВС-25). Это в итоге составило 14465,7 тыс. руб., и в свою очередь привело к увеличению суммарных годовых эксплуатационных затрат на 2010,69 тыс. руб. Повышение капиталовложений происходит за счет приобретения дополнительной техники в новом варианте расчетов, в связи с увеличением объемов работ на уборке урожая из-за значительного роста урожайности.

Исходя из этого, показатели эффективности инвестиций в базовом варианте размер годовых инвестиций составил 16476,39 тыс. руб. При ставке дисконтирования в 8,5 % годовых и сроке поступления доходов 5 лет, внутренняя норма доходности будет 25,9 %, размер чистого дисконтированного дохода составит 8115,58 тыс. руб., а дисконтированный срок окупаемости 3,12 года (рисунок 8.28).

Показатели эффективности инвестиций в новом варианте (с применением разработанного комплекса орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в количестве одного комплекта) размер годовых инвестиций в 3,4 раза меньше, чем в базовом варианте и составил 4903,8 тыс. руб. При ставке дисконтирования в 8,5% годовых и сроке поступления доходов 5 лет, внутренняя норма доходности больше базового варианта в 4,8 раза. Размер чистого дисконтированного дохода увеличивается в 2,4 раза и составляет 19688,17 тыс. руб., а дисконтированный срок окупаемости снижается до 0,85 года, что почти в 3,7 меньше, чем на базовом варианте (рисунок 8.29).

Применение разработанного комплекса орудий на базе глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М в южной подзоне Ростовской области в течении 5 лет на площади 375

га позволяет получить в пересчете на 1 га обработанной площади прибыль 10,5 тыс. руб. за 1 год его применения.

### **8.5 Выводы**

1. При ставке дисконтирования в 8,5 % годовых и сроке поступления доходов 5 лет, размер чистого дисконтированного дохода увеличивается в 2,4 раза.

2. 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.

3. 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 глубоких рыхлителей 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  $5,7^{\circ}$ , содержащий чередующиеся внутрпочвенные 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 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, 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, проведенными на Зерноградской 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 Зерноградском 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  $5^{\circ}$ , 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 напряжённно-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» (ГСПЗ) 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 ГСПЗ. Устанавливается на раму орудия пять стоек – две спереди и три сзади. Почвоподъёмники закрепляют на расстоянии 15 см по общей вертикали от носка нарального.

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 нарального, 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 ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Автоматизация поискового конструирования (Искусственный интеллект в машинном проектировании) : монография / А.И. Половинкина, Н. К. Бабков, Г. Я. Буш [и др.]. – Москва : Радио и связь, 1981. – 344 с. (П 3)
2. Агротехнические основы возделывания полевых культур с использованием машин и орудий нового поколения в Ставропольском крае (Рекомендации) : монография / В. Ф. Гарькуша, В. Д. Огарев, С. С. Уманов [и др.] // Министерство сельского хозяйства Ставропольского Края ; Ставропольский НИИ сельского хозяйства (СНИИСХ) ; Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хоз-ва (ВНИПТИМЭСХ). – Ставрополь–Зерноград : ВНИПТИМЭСХ, 1999. – 44 с.
3. Нейтрализация загрязненных почв : монография / С. Б. Адьяев, В. З. Веневцев, Т. Л. Волчкова [и др.] // Российская академия сельскохозяйственных наук ; Всероссийский НИИ гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова ; Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии ; Белорусская государственная сельскохозяйственная академия ; Варминьско-Мазурский университет ; под общей редакцией Ю. А. Мажайского. – Рязань : Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. - 528 с.
4. Алексеев, В. В. Гидрофизические аспекты эрозии почв и мелиорации склоновых земель / В. В. Алексеев, С. А. Васильев, С. И. Чучкалов. – Чебоксары : Новое время, 2023. – 197 с. - ISBN 978-5-907619-43-2. – EDN KORBAG.
5. Амиров, Ю. Д. Основы конструирования. Творчество. Стандартизация. Экономика : справочное пособие / Ю. Д. Амиров. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 391 с. (П 6)

6. Анилович, В. Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов : справочник / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолажченко. – Москва : Машиностроение, 1976. – 456 с.
7. Ардабаев, Т. А. Чизельная обработка почвы. Почвообрабатывающие орудия зарубежных стран / Т. А. Ардабаев // Земледелие. – 1984. – № 9. – С. 58
8. Ахмедов, А. Д. Аналитический подход к определению некоторых водно-физических характеристик почвогрунтов / А. Д. Ахмедов // Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов : материалы Международной научно-практической конференции. – Москва : Московский государственный университет природообустройства, 2008. – Ч. 1. – С. 21–27 (IV 3)
9. Обоснование конструкции рабочего органа рыхлителя объемного типа для улучшения агрофизических свойств почвы / В. И. Балабанов, Ю. П. Леонтьев, А. А. Макаров [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – № 2. – С. 11 – 15. – DOI 10.32962/0235-2524-2023-2-11-15. – EDN NIZYYW
10. Баловнев, В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин : учебное пособие / В. И. Баловнев. – Москва : Высшая школа, 1981. - 335 с.
11. Бараев, А. И. Борьба с ветровой эрозией почв / А. И. Бараев, А. А. Зайцева, Э. Ф. Госсен. – Алма-Ата : Казахсельхозгиз, 1963. - 35 с.
12. Бараев, А. И. Почвозащитное земледелие / под общ. ред. А. И. Бараева. – Москва : Колос , 1975. - 303 с.
13. Бахтин, П. У. Уплотнение почвы движителями тракторов и машин / П. У. Бахтин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – № 2. – С. 34
14. Динамика деградации земель в Ростовской области / О. С. Безуглова, И. Н. Ильинская, В. Е. Закруткина [и др.] // Известия РАН. Серия географическая. – 2022. – Т. 86, № 1. – С. 41–54

15. Бенькович, Е. С. Практическое моделирование динамических систем : учебное пособие / Е. С. Бенькович, Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченков. – СПб. : БХВ–Петербург, 2002. – 464 с. (II 15)
16. Берлинов, М. В. Основания и фундаменты : учебник для строительных специальностей вузов / М. В. Берлинов. – 4-е изд., испр. – СПб : Лань, 2011. – 319 с.
17. Беспамятнова, Н. М. Научно-методические основы адаптации почвообрабатывающих и посевных машин : монография / Н. М. Беспамятнова. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2002. – 176 с. (II 17)
18. Бобрович, А. С. Математическая модель грунта, учитывающая анизотропность его параметров в природной обстановке / А. С. Бобрович // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – № 6. – С. 19. (III 11)
19. Разработка комбинированного рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы / И. В. Божко, Г. Г. Пархоменко, А. В. Громаков [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 8. – С. 3-6.
20. Разработка схемы почвообрабатывающего орудия с рациональной расстановкой чизельных рабочих органов / В. М. Бойков, С. В. Старцев, А. В. Павлов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 12. – С. 56-58
21. Анализ зависимости влагонакопления почвы от способа ее основной обработки / В. М. Бойков, С. В. Старцев, И. Л. Воротников [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 4. – С. 61–64
22. Изменение физических свойств почв под действием ходовых систем. Серые лесные почвы / А. Г. Бондарев, П. М. Сапожников, В. Ф. Уткаев [и др.] // Земледелие. – 1987. – № 9. – С. 25–27
23. Бондарев, А. Г. Переуплотнение пахотных почв / А. Г. Бондарев, В. А. Русанов, В. В. Медведев. – Москва, 1987. – С. 205–209
24. Борисенко, И. Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы острозасушливых

- условиях Нижнего Поволжья [Текст] : дис. ...д-ра техн. наук : 05.20.01 / Борисенко Иван Борисович. – Волгоград, 2006. – 402 с.
25. Борисенко, И. Б. Модернизация и адаптация почвообрабатывающих орудий на основе чизеля / И. Б. Борисенко, В. И. Пындак, А. Е. Новиков // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. – № 4. – С. 8–10
26. Борисенко, И. Б. Агротехнологические подходы при проектировании рабочих органов для основной глубокой обработки почвы / И. Б. Борисенко, А. Е. Доценко // Поиск инновационных путей : материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Волгоград, 14 мая 2014 г. – Волгоград : ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2014. – С. 123–130
27. Бузало Н. С., Захарченко Н. С. Математическое моделирование динамики влагопереноса в обрабатываемом слое почвы. Новая наука: от идеи к результату. 2017; (3–2): 185–187. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28826469> EDN: YGVVBL
28. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ : [пер. с англ.] / Г. Буч ; под редакцией И. Романовского и Ф. Андреева. – 2-е изд. – Москва : Бином, 1999. – 558 с. (II 24)
29. Буч, Г. Язык UML. Руководство пользователя : [пер. с англ.] / Г. Буч., Д. Рамбо, А. Джекобсон. – Москва : ДМК, 2000. – 432 с. (II 25)
30. Буянхишиг Болд. Прогноз ползучести обочин дорожных насыпей и деформаций ограждающих конструкций с учетом в составе грунта обломков скальных пород [Текст] : автореферат дис. ...канд. техн. наук : 05.23.11 / Буянхишиг Болд. – Москва, 2008. – 20 с.
31. Быков, В. П. Методика проектирования объектов новой техники : учеб. пособие / В. П. Быков. – Москва : Высшая школа, 1990. – 168 с. (II 26)
32. Вальков, В. Ф. Почвы юга России // В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников / Ростов-на-Дону : Изд-во «Эверест», 2008г. – 276 с.

33. Вабищевич, П. Н. Численное моделирование увлажнения грунта / П. Н. Вабищевич, А. О. Данияров, П. А. Пулатов // Математическое моделирование. – 1991 г. – Т. 3, № 6. – С. 3–9. (IV 4)
34. Вабищевич, П. Н. Математическое моделирование промачивания зоны аэрации в условиях близкого залегания грунтовых вод / П. Н. Вабищевич, А. О. Данияров // Математическое моделирование. – 1994 г. – Т. 6, № 11. – С. 11–23. (IV 3)
35. Васильев, С. А. Интеллектуальная технология контроля качества обработки почвы в системе точного земледелия / С. А. Васильев // Земледелие. – 2022. – № 3. – С. 36–41. – DOI 10.24412/0044-3913-2022-3-36-41. – EDN ZGGQUG
36. Интеллектуальная технология контурного глубокого рыхления с вертикальным мульчированием почвы склоновых земель в системе точного земледелия / С. А. Васильев, А. А. Васильев, В. Е. Таркинский [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 4 (322). – С. 10-13. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-4-10-13. – EDN TNSCOR.
37. Ващенко, Г. П. Комбинаторный метод расчета устойчивости и усиления земляного полотна [Текст] : дис. ...канд. техн. наук : специальность 05.23.11 "Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей" / Ващенко Геннадий Петрович. – Новосибирск, 2006. – 128 с. (III 6)
- 38.Верхошенцева, Ю. П. Влияние плоскостной эрозии на химические свойства чернозема южного Оренбургского Предуралья / Ю. П. Верхошенцева, С. В. Хардикова // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2013. – № 10 (159). – С. 237–240
- 39.Ветохин, В. И. Системные и физико-механические основы проектирования рыхлителей почвы [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11 / Ветохин Владимир Иванович. – Киев, Москва, 2010. – 284 с.

40. Ветохин, В. И. Система свойств почвы и повышение продуктивности полевых культур в условиях недостатка влаги / В. И. Ветохин // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий : материалы VI-й Международной научно-практической конференции, г. Горно-Алтайск, 08–11 июня 2017 г. – Горно-Алтайск : Горно-Алтайский государственный университет, 2017. – С. 328-333. – EDN ZNIWDN
41. Власов, М. В. Влияние погодных рисков на урожайность сельскохозяйственных культур в Ростовской области / М. В. Власов, С. В. Куприянова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – № 4. – С. 10–13
42. Волкова, В. Н. Основы теории систем и системного анализа : учеб. для студентов вузов / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 1999. – 512 с. (II 38)
43. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации : общее резюме. – Москва, 2014. – 60 с.
44. Голдыбан, В. В. Общие подходы к проектированию новых форм рабочих органов сельскохозяйственных машин на основе элементов бионики / В. В. Голдыбан, В. И. Ветохин, П. П. Бегун // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию образования РУП "НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства", г. Минск, 20–21 окт. 2022 г. / Редколлегия: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск : Издательский дом "Белорусская наука", 2022. – С. 68–75. – EDN RMTFPW
45. Мелиорация земель : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки (специальности) "Природообустройство и водопользование" / А. И. Голованов, И. П. Айдаров, М. С. Григоров [и др.] // под редакцией А. И. Голованова. – Москва : Колос, 2011. – 824 с. : ил.

46. Гольдин, А. Л. Проектирование грунтовых плотин : учебное пособие / А. Л. Гольдин, Л. Н. Рассказов. – Москва : АСВ, 2001. – 384 с.
47. Горячкин, В. П. Собрание сочинений Т. I-VI / В. П. Горячкин. – Москва : Колос, 1968. – 455 с.
48. Гудков, А. Н. Теоретические основы вспашки твердых почв и обоснование конструкции плуга для обработки твердых почв / А. Н. Гудков // Усовершенствование орудий для основной обработки почвы : материалы НТС ВИСХОМ. – Москва : ОНТИ ВИСХОМ, 1959. – Вып. 5. – С. 212–241
49. Проект комплексной механизации агротехнологий возделывания зерновых культур / И. И. Гуреев, В. П. Дьяков, В. А. Плотников В.А. [и др.] / под редакцией И. И. Гусева. – Россельхозакадемия, 2006. – 52 с.
50. Гячев, Л. В. Теория лемешно-отвальной поверхности : труды института. – Вып. 13. – зерноград, 1961. – 313 с.
51. Дарков, А. В. Строительная механика : учебное пособие / А. В. Дарков, В. М. Кузнецов. – Москва : Высшая школа, 1962. – 292 с.
52. Агрофизические процессы формирования запасов продуктивной влаги в почве / Е. П. Денисов, А. П. Солодовников, А. С. Линьков [и др.] // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2014. – № 8. – С. 10–15
53. Джонс Дж. К. Методы проектирования: [пер. с англ.] / Дж. К. Джонс. – Москва : Мир, 1986. – 326 с. (II 56)
54. Диксон, Д. Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решений : [пер. с англ.] / Д. Диксон. – Москва : Мир, 1969. – 440 с. (II 57)
55. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации : монография / Е. М. Акентьева, Е. И. Александров, Г. В. Алексеев [и др.] / Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. – Санкт-Петербург : Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2017. – 106 с.

56. Докукин, А.В. Статистическая динамика горных машин / А. В. Докукин, Ю. Д. Красников, З. Я. Хургин. – Москва : Машиностроение, 1978. – 239 с.
57. Долматов, Н. П. Агротехнические мероприятия на землях, подверженных водной эрозии / Н. П. Долматов, Н. Б. Сухомлинова // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки. – 2015. – № 6. – С. 136–141. (Ш 3)
58. Дорфман, А. Г. Оползневое давление и выпор грунта / А. Г. Дорфман. – Вопросы геотехники : сб. тр. / Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Днепропетровск, 1972. – № 20
59. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) / Б. А. Доспехов. – Москва : Альянс, 2011. – 351 с.
60. Дьяченко, Г. Н. Интенсификация рабочих процессов при безотвальной обработке почвы [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Дьяченко Геннадий Николаевич. – Ростов-н/Д, 1990. – 446 с.
61. Зейдельман, Ф. Р. Эколого-гидрологические основы глубокого мелиоративного рыхления / Ф. Р. Зейдельман. – Москва : Московский университет, 1986. – 197 с.
62. Иванов, Н. Я. Механизация полеводства в США / Н. Я. Иванов, Н. М. Шаров. – Москва : Колос, 1975. – 207 с.
63. Ивонин, В. М. Эрозия почв / В. М. Ивонин. – Москва–Берлин : ООО "Директмедиа Паблишинг", 2020. – 225 с. – ISBN 978-5-4499-1597-9. – EDN RJERTY.
64. Инновационные технологии возделывания полевых культур в АПК Самарской области: учебное пособие / В. А. Корчагин, С. Н. Шевченко, С. Н. Зудилин [и др.]. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2014. – 192 с.

65. Интенсивные технологии повышения плодородия мелиорируемых земель на Северном Кавказе / В. Н. Бабушкин, И. И. Лысенко, А. Д. Брик [и др.] – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского ун-та, 1990. – 144 с. (II 75)
66. Казаков, В. С. Технологии в механизации мелиоративных работ / В. С. Казаков // Перспективы развития глубокого рыхления при мелиорации земель : сб. тр. – Москва : 1980. – С. 5–8
67. Камбулов, С. И. Снижение энергоемкости процесса почвообработки / С. И. Камбулов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 1. – С. 32–34
68. Температурный режим обрабатываемого слоя почвы / С. И. Камбулов, В. Б. Рыков, Е. И. Трубилин, [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 146. – С. 49–57. – DOI 10.21515/1990-4665-146-012. – EDN VWBNOJ.
69. Разработать научные принципы формирования ресурсосберегающих машинных технологий, создания рабочих органов и машин для возделывания и уборки основных сельскохозяйственных культур в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения : отчет о НИР (заключительный) / ФГБНУ Аграрный научный центр "Донской" ; исполн.: Камбулов С.И., Рыков В.Б., Пархоменко Г.Г. [и др.]. – Краснодар, 2021. – 339 с.
70. Влияние параметров рабочего органа культиватора на качество крошения почвенного пласта / С. И. Камбулов, Г. Г. Пархоменко, О. С. Бабенко [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2022. – Т. 16, № 1. – С. 41–46. – DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-41-46. – EDN IWOVQN.
71. Методика определения критериев подобия для рабочих органов глубокорыхлителя / Г. Г. Пархоменко, С. И. Камбулов, С. В. Белоусов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее

- профессиональное образование. – 2023. – № 1(69). – С. 556–563. – DOI 10.32786/2071-9485-2023-01-61. – EDN YYTVZI.
72. Канарев, Ф. М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф. М. Канарев. – Москва : Машиностроение, 1983. – 140 с. (II 79)
73. Касымканова, Х. М. Анализ методов оценки устойчивости прибортовых массивов карьеров / Х. М. Касымканова // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. – 2013. – № 1. – С. 37–42.
74. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2022-2026 годы / А. И. Клименко, А. В. Гринько, А. И. Грабовец [и др.] ; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области (Минсельхозпрод РО); Федеральный Ростовский аграрный научный центр. – Ростов-на-Дону : ФР АНЦ , 2022. – 736 с. – EDN GHQGWS.
75. Коршиков, А. А. Система машин в орошаемом земледелии (разд. 7) / А. А. Коршиков, А. А. Михайлин // Ландшафтное земледелие в условиях орошения Ростовской обл. – Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2000. – 324 с.
76. Коршиков, А. А. О глубоком рыхлении почвы / А. А. Коршиков, А. А. Михайлин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. – № 4. – С. 28–30. – EDN SJSPCH.
77. Кучмент, Л. С. Модели процессов формирования речного стока : монография / Л. С. Кучмент. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1980. – 144 с. (IV 2)
78. Кушнарев, А. С. К вопросу определения мгновенного модуля упругости почвы / А. С. Кушнарев, В. И. Кузьмин // Комплексная механизация освоения каменистых земель : доклады Первой научно-технической конференции, 26–28 августа 1968 г. – Ереван, 1969.
79. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах : учебник / О. И. Ларичев. – Москва : Логос, 2000. – 296 с. (II 98)

80. Левин, С. В. Механика грунтов : учеб. пособие для геол.-развед. и горных вузов / С. В. Левин. – Москва : Недра, 1964. – 163 с.
81. Листопад, Г. Е. Мелиоративные орудия для устройства временной оросительной сети / Г. Е. Листопад, В. К. Шаршак. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 240 с.
82. Листопадов, И. Н. Интенсификация и экологизация развития земледелия в Южном Регионе / И. Н. Листопадов, И. М. Шапошникова // Земледелие. – 2001. – № 4 – С. 12–14 (III 1)
83. Ломтева, К. О. Математическое моделирование упругих прямоугольных пластин с защемленно-свободными краями [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Ломтева Ксения Олеговна. – СПб, 2016. – 152 с.
84. Лурье, А. Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А. Б. Лурье, А. А. Громбичевский. – Ленинград : Машиностроение, 1977. – 528 с.
85. Лурье, А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А. Б. Лурье. – Москва : Колос, 1981. – 382 с.
86. Максимов, В. П. Моделирование колебательности внешних возмущений при работе почвообрабатывающих машин как случайной функции // Мелиорация антропогенных ландшафтов : межвузовский сборник. – Т. 10. : Современные проблемы земледелия Ростовской области. – Новочеркасск, 2000. – С. 78–84.
87. Максимов, В. П. Объектно-целевая декомпозиция процесса мелиорирования солонцовых почв / В. П. Максимов // Физико-технические проблемы создания новых технологий в АПК : сб. науч. тр. II-я Российская научн.-практ. конф. – Ставрополь, 2003. – С. 462–466. (II 143)
88. Максимов, В. П. Объектно-ориентированная методология и анализ технологий / В. П. Максимов, А. Н. Игошин // Совершенствование рабочих органов машин, технологии и организация производственных работ в АПК: межвуз. научн.-практ. семинар. – Новочеркасск, 2003. – С. 40–41. (II 146)

89. Максимов, В. П. Концептуальная методология построения технологий и агрегатов мелиоративной обработки солонцовых почв с улучшенными показателями качества технологических процессов [Текст] : дис. ...д-ра техн. наук : 05.20.01 / Максимов Валерий Павлович. – Новочеркасск, 2005. – 370 с.
90. 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.
91. Максимов, В. П. Методология численного эксперимента динамической модели подпокровного агрегата / В. П. Максимов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 2 (20). – С. 248–254. – EDN PCRQEF.
92. Максимов, В. П. Моделирование процессов восстановления структуры переуплотненных почв глубокорыхлителем / В. П. Максимов, А. Е. Ушаков // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 5 (132). – С. 23-34. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-5-23-34. – EDN UNVLCD.
93. 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.
94. 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.
95. Максимов, И.И. Рабочий орган плоскореза-глубокорыхлителя удобрения / И. И. Максимов, А. А. Васильев, С. А. Васильев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 2 (70). – С. 102–107. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-102-107. – EDN IAEUTZ.

96. Маслов, Н. Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними) : учебное пособие для студентов дорожно-строительных вузов / Н. Н. Маслов. – Москва : Стройиздат, 1977. – 320 с.
97. Матяшин, А. В. К вопросу о безотвальной обработке почвы / А. В. Матяшин // Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях глобальных рисков : материалы научно-практической конференции, Казань, 07 декабря 2016 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2016. – С. 232–235.
98. Мацепуро, М. Е. Характер деформации болотно-торфяного грунта под воздействием плоского двугранного клина / М. Е. Мацепуро, И. В. Манюта // Вопросы земледельческой механики / АН БССР, Ин-т мех-и и электр. сел. хоз-ва. – Минск : Госиздат БССР, 1959. – Т. 2, Гл. 2. – С. 36-64.
99. Мацепуро, М. Е. Сопротивление почвогрунтов воздействию двугранного плоского клина / М. Е. Мацепуро, И. В. Манюта // Вопросы земледельческой механики / АН БССР, Ин-т мех-и и электр. сел. хоз-ва. – Минск : Госиздат БССР, 1959. – Т. 2, Гл. 3. – С. 64–102.
100. Мацяшек, Лешек А. Анализ требований и проектирование систем. Разработка информационных систем с использованием UML : [пер. с англ.] / Лешек А. Мацяшек. – Москва : Изд. дом Вильямс, 2002. – 432 с. (П 156)
101. Маценский, А. А. Энергонасыщенные машины в мелиорации / А. А. Маценский. – Минск : Наука и техника, 1985. – 288 с.
102. Мельник, Т. В. Повышение эффективности орошения в восточных районах Ростовской области [Текст] : дис. ...канд. с/х наук : 06.01.02 / Мельник Татьяна Владимировна. – Новочеркасск, 2003. – 234 с.
103. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / А. В. Шпилько, В. И. Драгайцев, П. Ф. Тулапин [и др.]. – Москва : МСХ и П РФ, 1998. – 219 с.

104. Механика грунтов, основания и фундаменты : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов - "Строительство" / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский [и др.]. – 4-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2007. – 566 с. (III 8)
105. Михайлин, А. А. Разуплотнение подпахотного слоя почвы в зоне орошения глубокорыхлителем чизельного типа [Текст] : дис. ... канд. техн. наук 06.01.02 / Михайлин Андрей Андреевич. – Новочеркасск, 2003. – 176 с. – EDN NODSGF
106. Михайлин, А. А. Энергетические характеристики орудий для глубокого разуплотнения орошаемых земель / А. А. Михайлин // Научные технологии в мелиорации. (Костяковские чтения) : материалы Междунар. конф. посвящается 118-летию со дня рождения А. Н. Костякова, г. Москва, 30 мар. 2005 г. / Российская академия сельскохозяйственных наук; Отделение мелиорации, водного и лесного хозяйства; Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2005. – С. 523–526. – EDN YMQSEF.
107. 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.
108. 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.
109. 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 / Отделение мелиорации, водного хозяйства Россельхозакадемии; ФГБОУ ВПО "Новочеркасская государственная мелиоративная академия"; Международная академия экологии и природопользования. Том 2. – Новочеркасск: Темп, 2006. – С. 10–14. – EDN RALAUC

110. 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 Российской Федерации; Отделение мелиорации, водного и лесного хозяйства Россельхозакадемии; ФГОУ ВПО "Новочеркасская государственная мелиоративная академия"; Международная академия экологии и природопользования. Том 1. – Новочеркасск: ТЕМП, 2006. – С. 248–251. – EDN XRZIAL

111. 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 Российской Федерации; Отделение мелиорации, водного и лесного хозяйства РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ; Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Новочеркасская государственная мелиоративная академия"; Международная академия экологии и природопользования. Том 1. – Новочеркасск: ТЕМП, 2006. – С. 234–236. – EDN XRZBET

112. 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" (Шумаковские чтения совместно с заседанием секции РАСХН), Новочеркасск, 09–10 ноября 2006 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Отделение мелиорации, водного и лесного хозяйства Россельхозакадемии, ФГОУ ВПО "Новочеркасская государственная мелиоративная академия", ФГНУ "Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации". Том Выпуск 5, Том 1. – Новочеркасск: Оникс+, 2007. – С. 150–152. – EDN THTGXP
113. Михайлин, А. А. О глубоком рыхлении орошаемых земель глубокорыхлителем чизельного типа / А. А. Михайлин // Природообустройство. – 2008. – № 4. – С. 74-77. – EDN JXVGHN.
114. Михайлин, А. А. Постановка математической модели устойчивости обработанного пласта почвы на склоне / А. А. Михайлин // Природообустройство. – 2009. – № 2. – С. 92–94. – EDN KWVMKJ.
115. 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
116. Михайлин, А. А. Устойчивость склонов в земледелии / А. А. Михайлин, В. В. Нефедов, А. Ю. Кириенко // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 47, № 2. – С. 111–115. – EDN NCZPVN.

117. Михайлин, А. А. Механическое состояние склоновых земель при глубоком рыхлении с образованием внутрпочвенных 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.
118. 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. – EDN RAQBYJ.
119. 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. (III 22)

120. Михайлин, А. А. Анализ устойчивости обрабатываемых влагонасыщенных склоновых почв / А. А. Михайлин // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4–1(22). – С. 38. (III 19)
121. 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.
122. 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.
123. Михайлин, А. А. Разработка новой ресурсосберегающей технологии обработки склоновых земель / А. А. Михайлин // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 1 (24). – С. 31. – EDN PYZMWB.
124. Михайлин, А. А. Анализ устойчивости глубоко разрыхленных склонов / А. А. Михайлин, С. В. Филонов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2 (29). – С. 122. (III 20)
125. 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 FQXPME.
126. 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.
127. 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. (III 23)
128. 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.
129. 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.
130. 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.
131. 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.
132. 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.
133. 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.
134. 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.
135. 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.
136. Инженерные сооружения природоохранных комплексов и информационное моделирование их взаимодействия с грунтовым массивом : учебное пособие / Ю. Н. Мурзенко, А. З. Абуханов, А. И. Субботин [и др.]. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 1999. – 58 с. (Ш 13)
137. Мюллер, И. Эвристические методы в инженерных разработках : [пер с нем.] / И. Мюллер. – Москва : Радио и связь, 1984. – 144 с. (П 166)
138. Павлющик, С. А. Оценка несущей способности нагруженных откосов и склонов методами предельного анализа пластических систем [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / Павлющик Сергей Александрович. – Новочеркасск, 2011. – 287 с.
139. Физические основы механики почв : монография / И. М. Панов, В. И. Ветохин ; И. М. Панов [и др.]. – Киев : Феникс, 2008. – 265 с. – ISBN 978-966-651-621-6. – EDN QLCUOL.
140. Панов, И. М. Современное состояние и перспективы развития земледельческой механики в свете трудов В. П. Горячкина / И. М. Панов, В. И. Ветохин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". – 2008. – № 2 (27). – С. 9–14. – EDN JWWXOJ.

141. А. с. № 2003611559 Программа для ЭВМ "Определение оптимального состава машинно-тракторного парка сельхозпредприятия" / Бершицкий Ю. И., Болотов А. С., Шевченко Н. В. [и др.] // Всероссийский НИПТИ механизации и электрификации сельского хозяйства. – № 200361004 ; заявл. 5.05.2003
142. Пат. № 2255450 С2 РФ, МПК А01В 13/16. Способ обработки склоновых почв / Михайлин А. А. – № 2002108073/12 ; заявл. 29.03.2002 ; опубл. 10.07.2005 /. – EDN SHQEJY.
143. Пат. № 2677968 С1 РФ, МПК А01В 13/08. Глубокорыхлитель мульчирователь / Васильев С. А., Константинов П. В., Васин А. С. [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Элекрафт". – № 2018100956 ; заявл. 10.01.2018 ; опубл. 22.01.2019. – EDN WADGSS.
144. Пат. № 2694571 РФ, МПК А01В 13/14, А01В 13/16 СПК А01В 13/14, А01В 13/16, А01В 15/025. Универсальный глубокорыхлитель навесной чизельный / Михайлин А. А. ; заявитель и патентообладатель Михайлин А. А. – № 2017140567 ; заявл. 21.11.2017 ; опубл. 21.05.2019, Бюл. № 15. – 5 с.
145. Пат. № 2715621 С1 РФ, МПК А01В 25/00, А01В 33/02, А01В 13/16. Почвообрабатывающее орудие для склоновых земель : / Васильев С. А., Лопоткин А. М., Васильев А. А. [и др.] ; заявитель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НГИЭУ). – № 2019108110 ; заявл. 21.03.2019 ; опубл. 02.03.2020. – EDN XEEBLN.
146. Пат. № 2742657 С1 РФ, МПК А01В 13/08. Безотвальный чизель-рыхлитель навесной / Михайлин А. А., Максимов В. П., Филонов С. В., [и др.]. – № 2019130102 : заявл. 24.09.2019 : опубл. 09.02.2021. – EDN MRXKJK.
147. Пат. № 2786696 С1 РФ, МПК А01В 79/00, А01В 13/16, А01В 13/08. Способ контурного глубокого рыхления с вертикальным мульчированием почвы склоновых земель / Васильев С. А., Александров Р. И., Мишин С. А. [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное

- учреждение высшего образования "Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова". – № 2022108433 ; заявл. 29.03.2022 ; опубл. 23.12.2022, Бюл. 36. – EDN ETCRFC.
148. Пат. № 2799608 С1 РФ, МПК А01В 13/14. Адаптивный глубокорыхлитель для обработки уплотнённых равнинных и склоновых земель / Михайлин А. А., Максимов В. П. – № 2022106993 ; заявл. 16.03.2022 ; опубл. 07.07.2023, Бюл. 19. – EDN YFXZYU.
149. Пат. на полезную модель № 218938 U1 РФ, МПК А01В 13/14. Рабочий орган глубокорыхлителя / Бойков В. М., Старцев С. В., Воротников И. Л. ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова". – № 2022128800 ; заявл. 07.11.2022 ; опубл. 20.06.2023. – EDN BIANAX.
150. НПП «Геотек» - геотехническая продукция, оборудование для грунта : официальный сайт. – Прочность и деформируемость грунтов 18.04.2006 г. : статья. - URL : <https://npp-geotek.com/upload/iblock/8b1/8b132041a9140cffa444a10b037f72a9.pdf> (III 7)
151. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества : учебное пособие / А. И. Половинкин. – Москва : Машиностроение, 1988. – 368 с. (II 172)
152. Поляков, Ю. П. Приёмы предупреждения ирригационной эрозии почв / Ю. П. Поляков // Гидротехника и мелиорация. – 1977. – № 10. – С. 55–61.
153. Поляков, Ю. П. Руководство по предупреждению и регулированию эрозии почв при поливе дождеванием / Ю. П. Поляков. – Новочеркасск : НГМА, 1998. – 52 с.
154. Полуэктов, Е. В. Почвозащитные системы в ландшафтном земледелии : монография / Е. В. Полуэктов, Е. П. Луганцев. – Ростов н /Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. – 208 с. (III 2)

155. Полуэктов, Е. В. Защита почв от эрозии и дефляции в Ростовской области (рекомендации) : монография / Е. В. Полуэктов, Н. Б. Сухомлинова. – Новочеркасск, 2017. – 67 с.
156. Полуэктов, Е. В. Эрозия почв и плодородие / Е. В. Полуэктов / Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ; Донской государственный аграрный университет. – Новочеркасск : Лик, 2020. – 229 с.
157. Полуэктов, Е. В. Мониторинг водопроницаемости и эрозионных процессов при различных способах основной обработки черноземов юга России / Е. В. Полуэктов, И. В. Батищев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 158–173.
158. Полуэктов, Е. В. Организация эрозионно опасной территории на ландшафтной основе / Е. В. Полуэктов // Экология и водное хозяйство. – 2022. – Т. 4, № 3. – С. 46–57.
159. Полуэктов, Е. В. Анализ эффективности почвозащитных приемов и мероприятий по их стокорегулирующей способности / Е. В. Полуэктов, Н. Б. Сухомлинова // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 99–118.
160. Полуэктов, Е. В. Эрозия почв при выпадении ливней на юге европейской части России / Е. В. Полуэктов, Г. Т. Балакай // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 1–19.
161. Полуэктов Е. В. Потери почвы от дефляции в Ростовской области / Е. В. Полуэктов, Г. Т. Балакай // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 97–113. – URL : <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-97-113>
162. Полуэктов, Е. В. Особенности проявления эрозии в пределах овражно-балочного водосбора / Е. В. Полуэктов, Г. Т. Балакай // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 48–68. – DOI 10.31774/2712-9357-2023-13-3-48-68. – EDN UCFST.

163. Поляков, Ю. П. Приёмы предупреждения ирригационной эрозии почв / Ю. П. Поляков // Гидротехника и мелиорация. – 1977. – № 10. – С.55–61.
164. Поляков, Ю. П. Руководство по предупреждению и регулированию эрозии почв при поливе дождеванием / Ю. П. Поляков. – Новочеркасск : НГМА, 1998. – 52 с.
165. Построение современных систем автоматизированного проектирования / К. Д. Жук., А. А. Тимченко, А. А. Родионов [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1983. – 247 с. (II 176)
166. Почвоведение : учебник для университетов : в 2 ч. / под редакцией В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. Ч. 1 : Почва и почвообразование / Г. Д. Белицина, В. Д. Васильевская, Л. А. Гришина [и др.]. – Москва : Высшая школа, 1988 г. – 400 с.: ил. (IV 1)
167. Пупонин, А. И. Депрессия почвы при уплотнении и методы ее устранения / А. И. Пупонин, Н. С. Матюк // Земледелие. – 1986. – № 6. – С. 18
168. Пындак, В. И. Обоснование рабочих органов для глубокого рыхления почвы при возделывании широкорядных пропашных культур в условиях орошения / В. И. Пындак, А. Е. Новиков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 2. – С. 161–165.
169. Расширение функциональных возможностей чизельных орудий / В. И. Пындак, А. Е. Новиков, С. Д. Фомин [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 3. – С. 195–200.
170. Работнов, Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю. Н. Работнов // Москва : Наука, 1988. – 744 с. (III 21)
171. Уплотнение почвы ходовыми системами машин / И. С. Рабочев, П. У. Бахтин, И. В. Гавалов [и др.] // Земледелие. – 1978. – № 5. – С. 74–77. – EDN RPWHPN.

172. Минимальная обработка почвы и борьба с ее переуплотнением / И. С. Рабочев, П. У. Бахтин, В. Д. Аксененко, И. В. Гавалов. – Москва : Знание, 1980. – 62 с. : ил.; 20 см.
173. Рамбо, Дж. UML. Специальный справочник / Дж. Рамбо, Л. Якобсон, Г. Буч. – СПб : Питер, 2002. – 656 с. (II 181)
174. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления / Укрспецстройпроект. – Москва : ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1986. – 124 с. : ил.
175. Рекс, Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем Л. М. Рекс. – Москва : Издательство "Аслан", 1995. – 192 с. (IV 6)
176. Рекс, Л. М. Расчет процессов переноса влаги, тепла и солей в ненасыщенной и насыщенной зонах почвогрунта. [Электронный ресурс] / Л. М. Рекс, А. М. Якиревич. – ФГБНУ Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова : официальный сайт. – URL : <http://rex.vniigim.ru> (IV 7)
177. Роде, А. А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1. Вводные свойства почв и передвижение почвенной влаги А. А. Роде. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1965 г. – 664 с. (IV 5)
178. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика [Текст] / П. Роуч. – Москва : Мир, 1980. – С. 616. (IV 9)
179. Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки. П-717-80 / Всесоюзный ордена Ленина проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт Гидропроект им. С. Я. Жука ; Министерство энергетики и электрификации СССР. Главниипроект. – Москва : Энергоиздат, 1981 г. [Электронный ресурс]. – URL : <http://base1.gostedu.ru/5/5486/> (IV 10)

180. Рыков, В. Б. Механико-технологическое обоснование технических средств и агрегатов для обработки почвы [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Рыков Виктор Борисович. – Москва, 2001. – 426 с. (Ш 4)
181. Машинные технологии и технические средства возделывания озимой пшеницы / В. Б. Рыков, С. И. Камбулов, Ю. А. Семенихина [и др.]. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. – 251 с. – ISBN 978-5-907816-90-9. – EDN NPTEAV.
182. Савочкин, В. А. Статистическая динамика транспортных и тяговых гусеничных машин / В. А. Савочкин, А. А. Дмитриев. – Москва : Машиностроение, 1993. – 320 с.
183. Самарский, А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. - Москва : Физматиздат, 2001. – 320 с. (Ш 186)
184. Свечкарев, В. П. Концептуальное конструирование интегрированных технологических систем: информационный подход / В. П. Свечкарев. – Ростов-на-Дону : Изд-во СКНЦВШ, 2003. – 252 с. (Ш 189)
185. Сергеева, Т. В. Оценка эрозии при поливе по бороздам и мероприятия по её устранению / Т. В. Сергеева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 3. – С. 36–37.
186. Сидаренко, Д. П. Урожайность озимой пшеницы при различных технологиях орошения и минерального питания в условиях изменяющегося климата в Центральной орошаемой зоне Ростовской области / Д. П. Сидаренко, А. П. Тищенко // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 58–72. – DOI : 10.31774/2712-9357-2023-13-1-58-72.
187. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 328 с. (Ш 191)

188. Складнева, И. И. Прогноз деформаций консолидации высоких насыпей автомобильных дорог из глинистых грунтов с влажностью выше оптимальной [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Складнева Ирина Игоревна. – Москва, 1991. – 21 с.
189. СНиП II-55-79. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения / Госстрой СССР. – Москва : Стройиздат, 1980.
190. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий. – Москва : ФГУП ЦПП, 2006. – 66 с.
191. Советов, Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Москва : Высшая школа, 2001. – 343 с. (II 196)
192. Соколовский, В. В. Статика сыпучей среды. 3-е изд. / В. В. Соколовский. – Москва : Гостехиздат, 1960. – 243 с. (II 199, III 10)
193. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов : актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84\*. – Москва, 2012. – 86 с. (III 15)
194. СП 101.13330.2012. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения : актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87. – Москва, 2012. – 69 с. (III 16)
195. Соболевский, И.В. Определение качественных и энергетических показателей рабочих органов кольцевой бороны в лабораторных условиях / И.В. Соболевский, В.А. Куклин, Я.Н. Исмаилов // Таврический вестник аграрной науки. – 2024. – № 3 (39). – С. 195–204.
196. Стратегия социально-экономического развития Ростовской области на период до 2030 года : официальный сайт. – URL : <https://www.donland.ru/activity/2158/>. (Дата обращения: 27.03.2024 г.)
197. Сухомлинова, Н. Б. Оценка состояния агроландшафтов Ростовской области / Н. Б. Сухомлинова, А. В. Суханова // Экономика и экология территориальных образований. – 2016. – № 3. – С. 48–52. (III 1)

198. Сухотерин, М. В. Изгиб прямоугольной консольной пластины с учетом деформации поперечного сдвига / М. В. Сухотерин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева. – 2008. – № 1 (14). – С. 174–180.
199. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем : учебник для ВУЗов / В. П. Тарасик. – Минск : Дизайн ПРО, 1977. – 640 с. (II 204)
200. Технология по мелиорации и возделыванию сельскохозяйственных культур на солонцовых почвах Северного Кавказа : рекомендации / кол. авторов // Центр научно-технической информации, пропаганды и рекламы. – Москва, 1990. – 55 с. (II 206)
201. Томин, Е. Д. Бестраншейное строительство закрытого дренажа / Е. Д. Томин. – Москва : Колос, 1981. – 240 с.
202. Механика грунтов, основания и фундаменты : учебник / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, З. Г. Тер-Мартirosян [и др.]. – 4-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2007. – 566 с.
203. Федоров, И. В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов / И. В. Федоров. – Москва : Госстройиздат, 1962. – 203 с.
204. Фишберн, С. Теория полезности для принятия решений : пер. с англ. / С. Фишберн. – Москва : Наука, 1978. – 352 с. (II 211)
205. Флоринский, О. С. Совершенствование способов регулирования эрозии почв при орошении дождеванием в предгорной зоне Северо-Кавказского региона [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Флоринский Олег Станиславович. – Новочеркасск, 1999. – 287 с.
206. Харр, М. Э. Основы теоретической механики грунтов / М. Э. Харр ; пер. с англ. проф. М. Н. Гольдштейна. – Москва : Стройиздат, 1971. – 319 с.
207. Цытович, Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цытович. – Москва : Высшая школа, 1973. – 446 с.

208. Цытович, Н. А. Механика грунтов: краткий курс / Н. А. Цытович. – Москва : Высшая школа, 1983. – 268 с. (III 9)
209. Чешев, А. С. Антропогенные воздействия на качество природных ресурсов и меры их предотвращения / А. С. Чешев, О. В. Погребная // Экономика и экология территориальных образований. – 2015. – № 2. – С. 85–89.
210. Чус, А.В. Основы технического творчества : учебное пособие / А. В. Чус, В. А. Данченко. – Киев-Донецк : Вища школа, 1983. – 184 с. (II 217)
211. Шадских, В. А. Изменение плодородия и гумусового состояния темнокаштановых длительно орошаемых почв при различных агротехнических приемах / В. А. Шадских, В. Е. Кижяева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 2. – С. 7–10. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-2-7–11. – EDN JBPIYQ.
212. Шаршак, В. К. Подпокровные фрезерователи для мелиорирования солонцовых почв / В. К. Шаршак, В. В. Сконодобов. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского университета, 1986. – 104 с. (II 220)
213. Шахуняц, Г.М. Расчет устойчивости склонов и откосов против скольжения пород / Г. М. Шахуняц // Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними : сборник. – Киев : Изд-во КГУ, 1964. – С. 19–23.
214. Шахуняц, Г. М. К вопросу выбора рациональных методов расчета склонов / Г. М. Шахуняц // Оползни и борьба с ними : тр. Северо-Кавказского науч.-производ. семинара по изучению оползней и опыта борьбы с ними / Академия наук СССР, Северо-Кавказское отделение лаборатории гидрогеологических проблем имени Ф. П. Саваренского. – Ставрополь : Книжное издательство, 1964.
215. Шек, В. М. Объектно-ориентированное моделирование горнопромышленных систем : учебное пособие / В. М. Шек. – Москва : изд-во МГГУ, 2000. – 304 с. (II 222)

216. Шлеер, С. Объектно-ориентированный анализ: моделирование мира в состояниях : пер. с англ. / С. Шлеер, С. Меллор. – Киев : Диалектика, 1993. – 240 с. (II 225)
217. Оценка устойчивости реальных откосов / П. С. Шпаков, Г. Г. Поклад, С. Т. Омаров [и др.] // Прогнозная оценка инженерно-геологических условий при открытой разработке месторождений Урала. – Свердловск, 1989. – С. 22.
218. Штокалов, Д. А. Методика по определению скорости впитывания воды в почву, параметров поверхностных способов полива, объемной массы и наименьшей влагоемкости почвы, отбора почвенных образцов на анализ / Д. А. Штокалов, Н. С. Скуратов. – Новочеркасск : ЮжНИИГИМ, 1985. – 58 с.
219. Шушкевич, В. А. Основы электротензометрии. – Минск : Наука и техника, 1975. – 351 с. (II 226)
220. Стратегический подход к развитию мелиорации в условиях меняющегося климата / В. Н. Щедрин, Р. С. Масный, С. А. Манжина [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 2. – С. 11–17. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-2-11–18. – EDN KVGWSI.
221. Курс теоретической механики : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим специальностям / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова, А. А. Яблонский, [и др.]. – 16-е изд., стер. – Москва : КноРус, 2011. – 603 с. ISBN 978-5-406-01977-1. (III 18)
222. 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.
223. Towards multi-model soil erosion modelling: An evaluation of the erosion potential method (EPM) for global soil erosion assessments / N. Bezak, P. Borrelli,

- M. Matjaz [et al.]. – CATENA. – 2024. – Vol. 234. – Article number 107596. – DOI: 10.1016/j.catena.2023.107596
224. Towards a better understanding of pathways of multiple co-occurring erosion processes on global cropland / P. Borrelli, C. Alewell, J. E. Yang [et al.] // International Soil and Water Conservation Research. – 2023. – Vol. 11(4). – P. 713–725.
225. Costa, J. 1996. Farmer acceptance and public support for no-tillage – conservation farming in Spain / J. Costa // Proceedings of the EC-Workshop- III-, Évora, 1 – 2 April, 1996, Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries, Wissenschaftlicher Fachverlag. – Germany, Giessen, 1997. – P. 132.
226. Derpsch, R. Conservation Tillage, No-tillage and related technologies / R. Derpsch // Conservation Agriculture, a Worldwide Challenge : Proceedings First World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 1–5 October, 2001 / L. García-Torres, J. Benites, A. Martínez-Vilela Ed. – Vol. 1 : Keynote Contributions. – P. 161–170.
227. FAO. 2021. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства: системы на пределе : сводный доклад 2021. – Рим, Италия, 2021. – 99 с. – URL : <https://doi.org/10.4060/cb7654ru>
228. Friedrich, T. Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture / T. Friedrich, R. Derpsch, A. Kassam // Field Action Science Reports. – 2012. – Special Is. 6 (1). – P. 1–7.
229. Solutions for a cultivated planet / J. A. Foley, N. Ramankutty, K. A. Brauman [et al.] // Nature. – 2011. – № 478. – P. 337–342. – URL : <https://doi.org/10.1038/nature10452>
230. GTZ., 1998. Conserving natural resources and enhancing food security by adopting no- tillage. An assessment of the potential for soil- conserving production

- systems in various agro- eco- logical zones of Africa. GTZ, Eschborn, Germany, Tropical Ecology Support Program. – TÖB publication number: TÖB F– 5/ e. – 53 p.
231. Keller, T. Farm vehicles approaching weights of sauropods exceed safe mechanical limits for soil functioning / T. Keller, Or Dani // PNAS. – 2022. – Vol. 19, Is. 21. – Article number e2117699119. – URL : <https://doi.org/10.1073/pnas.2117699119>
232. Kuncheva, G. S. Loss of Nutrients by Soil Water Erosion / G. S. Kuncheva, P. D. Dimitrov, / 7-th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (*EE&AE*), Ruse, Bulgaria. – 2020. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/EEAE49144.2020.9278977.
233. Synthesis of a 47-year old field experiment in France comparing soil tillage techniques in different crop rotations / J. Labreuche, R. Duval, S. Bureau [et al.] // Researchgate. – September 2018. – P. 1–23. – URL : <https://www.researchgate.net/publication/327551503>. – DOI:10.13140/RG.2.2.16398.00324.
234. 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.
235. Further Improvement and Adaptation of the Primera DMC Seeder, Germany / V. A. Milyutkin, V. Buxmann, O. Polushkin [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. – Vol. 246 : XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021”: Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Vol. 1, Rostov-on-Don, 24f26 feb. 2021 yare. – Springer Verlag: Springer

- Verlag, 2022. – P. 130–137. – DOI 10.1007/978-3-030-81619-3\_14. – EDN BZMMLM.
236. Wave destruction of closed soils / A. Novikov, I. Borisenko, O. Chamurliev [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1278 : V International Scientific and Practical Conference "Virtual Simulation, Prototyping and Industrial Design 2018" 14–16 November 2018, Tambov State Technical University, Russian Federation 2019. – Article number 012010.
237. Pre-agricultural soil erosion rates in the midwestern United States / Caroline L. Quarrier, Jeffrey S. Kwang, Brendon J. Quirk, [et al.] // *Geology*. – 2023. – Vol. 51, № 1. – P. 44–48. – URL : <https://doi.org/10.1130/G50667.1>
238. The State of the World's Arable Land / L. Olsson, F. Cotrufo, T. Crews [et al.] // *Annual Review of Environment and Resources*. – 2023. – Vol. 48 (1). – P. 451–475.
239. Sustainable agriculture and soil conservation (SoCo Project) : Case Study Report (WP2 findings) / P. Pointereau, S. Doublet, F. Coulo, [et al.]. – Case study Germany, 2008. – P. 134. – URL : <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/>
240. Dynamic models of cultivator spring tine performance / O. A. Polushkin, V. I. Ignatenko, I. V. Ignatenko [et al.] // *MATEC Web of Conferences*. – Vol. 226 : XIV International Scientific-Technical Conference “Dynamic of Technical Systems” (DTS–2018), Rostov-on-Don, 12–14 sep. 2018 year. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2018. – P. 01016. – DOI 10.1051/mateconf/201822601016. – EDN JYCDHW.
241. Reicosky, D. Advances in tillage research in North American cropping systems / D. Reicosky, R. R. Allmaras // *Journal of Crop Production*. – 2008. – Vol. 8(1). – P. 75–125. – DOI:10.1300/J144v08n01\_05. – <https://www.researchgate.net/publication/50208331>
242. Sonderegger, T. Global assessment of agricultural productivity losses from soil compaction and water erosion / T. Sonderegger, S. Pfister // *Environmental Science and Technology*. – Vol. 55, Is. 18. – P. 12162–12171.

243. Vasilyev, A. A. Mechanized spraying of liquid meliorants / A. A. Vasilyev, S. A. Vasilyev, N. P. Shkilev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science . – Vol. 421 : Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations : conference proceedings, Krasnoyarsk, Russia, 13–14 november 2019 years. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 32026. – DOI 10.1088/1755-1315/421/3/032026. – EDN IHJNQV.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Приложение 1 Текст программ для решения численным методом обработанного склона новым ресурсосберегающим способом в MAPLE .....	350
2 Приложение 2 Результаты прочностного расчета почвоподъемников .....	352
Приложение 2.1 Результаты расчета почвоподъемников, толщиной 5,0 мм .....	352
Приложение 2.2 Результаты расчета почвоподъемников, толщиной 7,0 мм .....	352
3 Приложение 3 Отчёт о лабораторно-полевых исследованиях в ВНИПТИМЭСХ .....	354
Приложение 3.1 Техническое задание на проектирование, изготовление и исследование технических характеристик ГНЧ-0,6М .....	355
Приложение 3.2 Сопроводительное письмо в МИС .....	356
Приложение 3.3 Протокол приёмочных испытаний ГНЧ-0,6М в МИС .....	357
4 Приложение 4 Результаты расчета ломаных грунтоподъемников .....	358
Приложение 4.1 Результаты расчета первой базовой конфигурации толщиной 2,0 мм .....	358
Приложение 4.2 Результаты расчета первой базовой конфигурации толщиной 3,0 мм .....	358
Приложение 4.3 Результаты расчета первой базовой конфигурации толщиной 3,5 мм .....	359

Приложение 4.4	Результаты расчета второй базовой конфигурации толщиной 3,5 мм .....	360
Приложение 4.5	Результаты расчета второй базовой конфигурации толщиной 5,0 мм .....	361
Приложение 4.6	Результаты расчета второй базовой конфигурации толщиной 7,0 мм .....	361
Приложение 4.7	Результаты расчета третьей базовой конфигурации толщиной 3,5 мм .....	362
Приложение 4.7	Результаты расчета третьей базовой конфигурации толщиной 5,0 мм .....	363
5	Приложение 5 Технологическая карта – базовые данные .....	365
	Приложение 5.1 Технологическая карта – ГНЧ-0,6 .....	374
6	Приложение 6 Акт внедрения в ИП Глава «КФХ» Доценко Е.Н. ....	384
7	Приложение 7 Акт внедрения в ООО «Шаповалов» .....	386
8	Приложение 8 Внедрение в учебный процесс в ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова на каф. МГПА .....	388
9	Приложение 9 Внедрение в рабочий процесс в ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова на каф. АиТТК .....	389
10	Приложение 10 Акт о внедрении ФГБУ «Россельхозцентр» филиал по Волгоградской области .....	390
11	Приложение 11 Патенты на способ и изобретения .....	392

## Приложение 1

### Текст программ для решения численным методом обработанного склона новым ресурсосберегающим способом в MAPLE

Текст программы для оценки устойчивости обработанного влагонасыщенного склона.

```
> restart;c:=0.4;Digits := 5;fd := fopen("temp1", WRITE);
  > for h from 50 to 300 by 50 do for l from 500 to 2000 by 500 do
    n:=trunc(evalf(int(sqrt(1+(-2*(h+c)*x/(1+c)^2)^2),x=0..1)/1.2));
    q:=int(sqrt(1+(-2*h*x/l^2)^2),x=0..xs);qq:=int(sqrt(1+(-
      2*(h+c)*x/(1+c)^2)^2),x=0..xs);cosug:=unapply(sqrt(1/(1+(-
      2*h*x/(l^2))^2)),x); sinug:=unapply(sqrt(1-cosug(x)^2),x);tot1:=0;
    tot2:=0; tot3:=0; for j from 1 to n do x[j]:=evalf(solve(qq=0.4+1.2*(j-
      1),xs));f[j]:=0.45;G[j]:=3500*0.8*0.4*9.;x1[j]:=evalf(solve(qq=0.4+1.2*(j
      -1),xs)); x2[j]:=evalf(solve(q=0.4+1.2*(j-1),xs)); y1[j]:=-
      (h+c)*x1[j]^2/(1+c)^2+(h+c); y2[j]:=-
      h*x2[j]^2/l^2+h;tot1:=tot1+G[j]*(sinug(x[j]) -
      f[j]*cosug(x[j]))*cosug(x[j]); tot2:=tot2+G[j]*(-
      sinug(x[j])+f[j]*cosug(x[j]))*sinug(x[j]);tot3:=
    G[j]*sinug(x[j])*cosug(x[j])*y1[j]+G[j]*f[j]*cosug(x[j])*cosug(x[j])*y2[j]
      ]-
    G[j]*sinug(x[j])*sinug(x[j])*x1[j]+G[j]*f[j]*sinug(x[j])*cosug(x[j])*x2[j]
      ]+tot3 end do: tot4:=0; tot5:=0; tot6:=0:for i from 1 to n-1 do
    G[i]:=1500*0.4*0.4*9.8; f[i]:=0.6; x[i]:=evalf(solve(qq=1+1.2*(i-1),xs));
    x1[i]:=evalf(solve(qq=1+1.2*(i-1),xs)); x2[i]:=evalf(solve(q=1+1.2*(i-
      1),xs)); y1[i]:=- (h+c)*x1[i]^2/(1+c)^2+(h+c); y2[i]:=-h*x2[i]^2/l^2+h;
    tot4:=tot4+G[i]*(sinug(x[i]) -f[i]*cosug(x[i]))*cosug(x[i]);
    tot5:=tot5+G[i]*(-sinug(x[i])+f[i]*cosug(x[i]))*sinug(x[i]); tot6:=
    G[i]*sinug(x[i])*cosug(x[i])*y1[i]+G[i]*f[i]*cosug(x[i])*cosug(x[i])*y2[i]
      ]-
    G[i]*sinug(x[i])*sinug(x[i])*x1[i]+G[i]*f[i]*sinug(x[i])*cosug(x[i])*x2[i]
      ]+tot6 end do: tot7:=tot1+tot4; tot8:=tot2+tot5;
    tot9:=tot3+tot6;fprintf(fd,"l=%g,h=%g,tot7=%g,tot8=%g,tot9=%g",l,h,tot7,t
      ot8,tot9);od: od; fclose(fd);
```

Алгоритм, использованный для вычисления устойчивости верхнего 0-30 см слоя – "верхних прямоугольников"

```
> restart;c:=0.5;c1:=0.4;Digits := 5;fd := fopen("temp12", WRITE);
  c := .3
  c1 := 0
  Digits := 5
  fd := 0
  > for l from 500 to 2000 by 500 do for h from 50 to 300 by 50 do
    n:=trunc(evalf(int(sqrt(1+(-2*(h+c)*x/(1+c)^2)^2),x=0..1)/1.2));
    q:=int(sqrt(1+(-2*h*x/l^2)^2),x=0..xs);qq:=int(sqrt(1+(-
      2*(h+c)*x/(1+c)^2)^2),x=0..xs);cosug:=unapply(sqrt(1/(1+(-
      2*h*x/(l^2))^2)),x); sinug:=unapply(sqrt(1-cosug(x)^2),x);tot1:=0;
    tot2:=0; tot3:=0; for j from 1 to n do x[j]:=evalf(solve(qq=0.4+1.1*(j-
      1),xs));f[j]:=0.45;G[j]:=3500*0.8*0.6*9.8;x1[j]:=evalf(solve(qq=0.4+1.1*(j
      -1),xs)); x2[j]:=evalf(solve(q=0.4+1.1*(j-1),xs)); y1[j]:=-
      (h+c)*x1[j]^2/(1+c)^2+(h+c); y2[j]:=-
      (h+c1)*x2[j]^2/l^2+(h+c1);tot1:=tot1+G[j]*(sinug(x[j]) -
      f[j]*cosug(x[j]))*cosug(x[j]); tot2:=tot2+G[j]*(-
```

```

sinug(x[j])+f[j]*cosug(x[j]))*sinug(x[j]); tot3:=-
G[j]*sinug(x[j])*cosug(x[j])*y1[j]+G[j]*f[j]*cosug(x[j])*cosug(x[j])*y2[j]
]-
G[j]*sinug(x[j])*sinug(x[j])*x1[j]+G[j]*f[j]*sinug(x[j])*cosug(x[j])*x2[j]
]+tot3 end do; tot4:=0; tot5:=0; tot6:=0:for i from 1 to n-1 do
G[i]:=1500*0.6*0.3*9.8; f[i]:=0.6; x[i]:=evalf(solve(qq=1+1.1*(i-1),xs));
x1[i]:=evalf(solve(qq=0.95+1.1*(i-1),xs));
x2[i]:=evalf(solve(q=0.95+1.1*(i-1),xs)); y1[i]:=-
(h+c)*x1[i]^2/(1+c)^2+(h+c); y2[i]:=- (h+c1)*x2[i]^2/1^2+(h+c1);
tot4:=tot4+G[i]*(sinug(x[i])-f[i]*cosug(x[i]))*cosug(x[i]);
tot5:=tot5+G[i]*(-sinug(x[i])+f[i]*cosug(x[i]))*sinug(x[i]); tot6:=-
G[i]*sinug(x[i])*cosug(x[i])*y1[i]+G[i]*f[i]*cosug(x[i])*cosug(x[i])*y2[i]
]-
G[i]*sinug(x[i])*sinug(x[i])*x1[i]+G[i]*f[i]*sinug(x[i])*cosug(x[i])*x2[i]
]+tot6 end do: tot7:=tot1+tot4; tot8:=tot2+tot5; tot9:=tot3+tot6;
print(l,h,tot7,tot8,tot9); fprintf(fd,"l=%g,h=%g,tot7=%g,tot8=%g,tot9=%g",
l,h,tot7,tot8,tot9); od;          od; fclose(fd);

```

Алгоритм вычисления для расчёта на устойчивость нижнего слоя 30-60 см – "нижних трапеций"

```

> restart;c:=0.3;c1:=0;Digits := 5;fd := fopen("temp12", WRITE);
      c := .3
      c1 := 0
      Digits := 5
      fd := 0
> for l from 500 to 2000 by 500 do for h from 50 to 300 by 50 do
n:=trunc(evalf(int(sqrt(1+(-2*(h+c)*x/(1+c)^2)^2),x=0..1)/1.2));
q:=int(sqrt(1+(-2*h*x/1^2)^2),x=0..xs); qq:=int(sqrt(1+(-
2*(h+c)*x/(1+c)^2)^2),x=0..xs); cosug:=unapply(sqrt(1/(1+(-
2*h*x/(1^2))^2)),x); sinug:=unapply(sqrt(1-cosug(x)^2),x); tot1:=0;
tot2:=0; tot3:=0; for j from 1 to n do x[j]:=evalf(solve(qq=0.4+1.1*(j-
1),xs)); f[j]:=0.45;G[j]:=3500*0.8*0.6*9.8;x1[j]:=evalf(solve(qq=0.4+1.1*(
j-1),xs)); x2[j]:=evalf(solve(q=0.4+1.1*(j-1),xs)); y1[j]:=-
(h+c)*x1[j]^2/(1+c)^2+(h+c); y2[j]:=-
(h+c1)*x2[j]^2/1^2+(h+c1); tot1:=tot1+G[j]*(sinug(x[j])-
f[j]*cosug(x[j]))*cosug(x[j]); tot2:=tot2+G[j]*(-
sinug(x[j])+f[j]*cosug(x[j]))*sinug(x[j]); tot3:=-
G[j]*sinug(x[j])*cosug(x[j])*y1[j]+G[j]*f[j]*cosug(x[j])*cosug(x[j])*y2[j]
]-
G[j]*sinug(x[j])*sinug(x[j])*x1[j]+G[j]*f[j]*sinug(x[j])*cosug(x[j])*x2[j]
]+tot3 end do; tot4:=0; tot5:=0; tot6:=0:for i from 1 to n-1 do
G[i]:=1500*0.6*0.3*9.8; f[i]:=0.6; x[i]:=evalf(solve(qq=1+1.1*(i-1),xs));
x1[i]:=evalf(solve(qq=0.95+1.1*(i-1),xs));
x2[i]:=evalf(solve(q=0.95+1.1*(i-1),xs)); y1[i]:=-
(h+c)*x1[i]^2/(1+c)^2+(h+c); y2[i]:=- (h+c1)*x2[i]^2/1^2+(h+c1);
tot4:=tot4+G[i]*(sinug(x[i])-f[i]*cosug(x[i]))*cosug(x[i]);
tot5:=tot5+G[i]*(-sinug(x[i])+f[i]*cosug(x[i]))*sinug(x[i]); tot6:=-
G[i]*sinug(x[i])*cosug(x[i])*y1[i]+G[i]*f[i]*cosug(x[i])*cosug(x[i])*y2[i]
]-
G[i]*sinug(x[i])*sinug(x[i])*x1[i]+G[i]*f[i]*sinug(x[i])*cosug(x[i])*x2[i]
]+tot6 end do: tot7:=tot1+tot4; tot8:=tot2+tot5; tot9:=tot3+tot6;
print(l,h,tot7,tot8,tot9); fprintf(fd,"l=%g,h=%g,tot7=%g,tot8=%g,tot9=%g",
l,h,tot7,tot8,tot9); od;          od; fclose(fd);

```

500, 50, -3.0040  $10^7$ , 251800. , .18688  $10^9$ 

## Приложение 2

### Результаты прочностного расчета почвоподъемников

#### Приложение 3.1 Результаты расчета почвоподъемников, толщиной 5,0 мм

##### Минимакс перемещений

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

Минимакс перемещений						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загружение	Значение	Узел	Загружение
X	454,923	23	1	-408,734	131	1
Y	56998516623970952	11	1	-25188421891675188	118	1
Z	25188421891676192	118	1	-56998516623969816	11	1
Ux	56563420,884	8	1	-348867222,352	15	1
Uy	- 335845578488654,56	4	1	- 759980202877585,75	3	1
Uz	273330602,058	4	1	-258131498,019	3	1

##### Минимакс усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

Минимакс усилий и напряжений								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
NX	17071,574	80	1	1	-21420,771	50	1	1
NY	58708,281	54	1	1	-68015,188	50	1	1
TXU	20247,228	54	1	1	-19922,099	59	1	1
MX	839,094	80	1	1	-999,183	45	1	1
MY	1634,278	50	1	1	-395,896	51	1	1
MXY	314,084	55	1	1	-1346,348	50	1	1
QX	24,126	5	1	1	-70,603	51	1	1
QU	52,083	24	1	1	-31,088	9	1	1

#### Приложение 2.2 Результаты расчета почвоподъемников, толщиной 7,0 мм

##### Минимакс перемещений

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимум перемещений</b>						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загружение	Значение	Узел	Загружение
X	290,425	6	1	-388,993	129	1
Y	64451854000988904	11	1	0	1	1
Z	0	1	1	-64451854000988128	11	1
U <sub>x</sub>	12348157,335	69	1	-270170828,448	45	1
U <sub>y</sub>	447371724930957	4	1	-859358048700404,25	3	1
U <sub>z</sub>	211807981,907	4	1	-266550718,319	3	1

### Минимум усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимум усилий и напряжений</b>								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
NX	15516,989	21	1	1	-18977,754	55	1	1
NY	49852,889	59	1	1	-67494,155	55	1	1
TXU	20549,832	47	1	1	-19515,395	59	1	1
MX	1564,296	101	1	1	-2767,247	45	1	1
MY	3803,009	50	1	1	-1059,737	51	1	1
MXY	1788,554	55	1	1	-3136,216	50	1	1
QX	37,274	18	1	1	-171,234	51	1	1
QU	108,945	50	1	1	-69,597	55	1	1

## Приложение 3

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор НИР  
ФГОУ ВПО НГМА  
д-р техн. наук, проректор  
Волосухин В.А.



« 14 »

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе  
ВНИИТИМЭСХ  
д-р техн. наук, ст. науч. сотр.  
Рыков В.Б.



« 14 » 10 2009г.

## ОТЧЕТ

о лабораторно-полевых исследованиях  
процесса взаимодействия натуральных экспериментальных образцов  
глубококорыхлителей  
по плану НИР ФГОУ ВПО НГМА  
шифр 03.05.02.01 "Разработать ресурсосберегающую технологию обработки  
склоновых земель, предусматривающую глубокое рыхление, направленное  
на снижение эрозионных процессов"

Руководитель НИР  
канд. техн. наук, доц. (НГМА)

Михайлин А.А.

Научный консультант НИР  
д-р техн. наук  
проф. (НГМА)

Максимов В.П.

Проведение испытаний  
Зав. отделом механизации  
полеводства ВНИИТИМЭСХ  
д-р техн. наук

Камбулов С.И.

Отв. Исполнитель  
аспирант (НГМА)

Клименко И.В.

## Приложение 3.1

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет  
(НПИ) имени М.И. Платова»  
ОАО «Волгоградский электромеханический завод»  
НПК № 143 «Орошаемое земледелие»

УТВЕРЖДАЮ:

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «АгроПромтехмаш»

Проректор по инновационной деятельности  
ФГБОУ ВО «ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова»



С.Ю. Кондаков



О.А. Кравченко

«15» августа 2018 г.

«15» августа 2018 г.

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

На проектирование, изготовление и исследование технических характеристик стоек усовершенствованного глубокорыхлителя чизельного типа  
**ГНЧ-0,6М**

СОГЛАСОВАНО:

Начальник производства –

А.В. Иваницкий

«15» августа 2018 г.

Доцент кафедры «Общеинженерные дисциплины», канд. техн. наук, доцент

А.А. Михайлин

«15» августа 2018 г.

Новочеркасск 2018г.

## Приложение 3.2 Сопроводительное письмо в МИС



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования

**«Южно-Российский государственный  
политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова»  
(ФГБОУ ВО «ЮРГПУ(НПИ)  
имени М.И. Платова»)**

ул. Просвещения, д. 132,  
г. Новочеркасск, Ростовская область, 346428  
телефон (8635) 255448, факс (8635) 227269  
e-mail: rektorat@npi-tu.ru; http://www.npi-tu.ru  
ОКТМО 60727000001; БИК 046015001  
ИНН 6150010834; КПП 610503001

№ 13n-190/102 от 19.11.18  
на № \_\_\_\_\_

Федеральное государственное  
бюджетное учреждение  
«Государственный испытательный  
центр» (ФГБУ «ГИЦ»)

ВРИО директора Д.Е. Золотарёву

Просим Вас включить в план работы на 2018 год ФГБУ «Северокавказская МИС» предварительные испытания комплекта рабочих органов глубокорыхлителя навесного чизельного ГНЧ-0,6М, агрегируемых с чизельным безотвальным орудием ГРН-3. Разработчик комплекта рабочих органов – доцент кафедры «Общеинженерные дисциплины» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (346428, ул. Просвещения, 132, г. Новочеркасск, Ростовская обл.), изготовитель – научно-производственный кооператив № 143 «Орошаемое земледелие» (346428, ул. Пушкинская, 116, г. Новочеркасск, Ростовская обл.).

Проректор по инновационной деятельности,  
доктор технических наук, доцент

О.А. Кравченко

### Приложение 3.3

## Протокол приёмочных испытаний ГНЧ-0,6М

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Департамент растениеводства, механизации, химизации  
и защиты растений

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЗОНАЛЬНАЯ  
МАШИНОИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ

Для служебного  
пользования экз. № 3

ПРОТОКОЛ № 11-33-18  
(4010042)

ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ НАВЕСНОГО  
ЧИЗЕЛЬНОГО ГНЧ-0,6М

**Приложение 4**  
**Результаты расчета ломаных грунтоподъёмников**  
**Приложение 4.1 Результаты расчета ломаных грунтоподъёмников, первой базовой**  
**конфигурации толщиной 2,0 мм**

**Минимакс перемещений**

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс перемещений</b>						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загрузка	Значение	Узел	Загрузка
X	7435797,114	7	1	-7435797,112	2	1
Y	9277775,141	7	1	-93543,315	74	1
Z	123517,403	74	1	-11652710,368	8	1
U <sub>x</sub>	8462462,753	77	1	-10574400,569	82	1
U <sub>y</sub>	75624730,853	9	1	-75624730,83	3	1
U <sub>z</sub>	57037627,602	9	1	-57037627,585	3	1

**Минимакс усилий и напряжений**

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс усилий и напряжений</b>								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загрузка	Значение	Элемент	Сечение	Загрузка
NX	330918392,36	34	1	1	-330902504,523	54	1	1
NY	330918392,464	59	1	1	-330902504,627	55	1	1
TXU	22417382,593	21	1	1	-113925825,827	55	1	1
MX	626,204	62	1	1	-14398,165	54	1	1
MY	995,79	25	1	1	-14398,165	55	1	1
MXY	1693,154	58	1	1	-975,787	56	1	1
QX	1511505,675	59	1	1	-1687434,535	55	1	1
QU	1687434,535	54	1	1	-1511505,675	34	1	1

**Приложение 4.2 Результаты расчета ломаных грунтоподъёмников, первой базовой**  
**конфигурации толщиной 3,0 мм**

**Минимакс перемещений**

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс перемещений</b>						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загрузка	Значение	Узел	Загрузка
X	2202948,498	7	1	-2202948,498	2	1
Y	2751192,61	7	1	-27721,935	74	1
Z	36593,628	74	1	-3451014,486	8	1
Ux	2507404,495	77	1	-3133163,98	82	1
Uy	22397552,842	9	1	-22397552,838	3	1
Uz	16913145,117	9	1	-16913145,114	3	1

### Минимакс усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс усилий и напряжений</b>								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загрузка	Значение	Элемент	Сечение	Загрузка
NX	220612215,244	34	1	1	-220601695,954	54	1	1
NY	220612215,264	59	1	1	-220601695,975	55	1	1
TXU	14918821,252	21	1	1	-75950547,731	55	1	1
MX	626,237	62	1	1	-14398,163	54	1	1
MY	994,366	25	1	1	-14398,163	55	1	1
MXY	1693,158	58	1	1	-975,791	56	1	1
QX	1511503,773	59	1	1	-1687432,645	55	1	1
QU	1687432,645	54	1	1	-1511503,773	34	1	1

### Приложение 4.3 Результаты расчета ломаных грунтоподъемников, первой базовой конфигурации толщиной 3,5 мм

#### Минимакс перемещений

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс перемещений</b>						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загрузка	Значение	Узел	Загрузка
X	1059960,293	7	1	-1059960,293	2	1
Y	1261336,84	2	1	59513,616	82	1
Z	-77962,824	82	1	-1552896,331	1	1
Ux	767559,767	72	1	-1756950,922	3	1
Uy	10815896,571	9	1	-10815896,572	3	1
Uz	8168553,56	9	1	-8168553,562	3	1

#### Минимакс усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс усилий и напряжений</b>								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
NX	177619683,536	34	1	1	-177616943,861	54	1	1
NY	177619683,535	59	1	1	-177616943,86	55	1	1
ТХУ	11931325,986	21	1	1	-37973090,608	43	1	1
MX	540,515	84	1	1	-11603,202	49	1	1
МУ	928,11	25	1	1	-11603,202	56	1	1
МХУ	1551,274	34	1	1	-856,957	54	1	1
QX	63818,185	59	1	1	-158273,493	49	1	1
QU	158273,493	56	1	1	-63818,185	34	1	1

#### Приложение 4.4 Результаты расчета ломаных грунтоподъемников, второй базовой конфигурации толщиной 3,5 мм

##### Минимакс перемещений

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс перемещений</b>						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загружение	Значение	Узел	Загружение
X	1210108,632	12	2	-134907,816	9	2
Y	1616805,469	12	2	-12214,693	74	2
Z	16764,958	74	2	-2294449,925	12	2
Ux	1298810,414	70	2	-388395,241	57	2
Uy	1326896,326	12	2	-1460743,178	70	2
Uz	1688345,005	70	2	-580259,017	57	2

##### Минимакс усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс усилий и напряжений</b>								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
NX	1008987,342	52	1	2	-2013266,39	55	1	2
NY	4397520,791	31	1	2	-3887035,945	35	1	2
ТХУ	2209474,065	31	1	2	-1029826,055	55	1	2
MX	7,3	61	1	2	-28,873	57	1	2
МУ	1,84	47	1	2	-167,264	56	1	2
МХУ	28,185	60	1	2	-26,143	57	1	2

<b>Минимакс усилий и напряжений</b>								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
QX	285,117	59	1	2	-1293,276	56	1	2
QY	446,655	60	1	2	-265,582	57	1	2

**Приложение 4.5 Результаты расчета ломаных грунтоподъемников, второй базовой конфигурации толщиной 5,0 мм**

**Минимакс перемещений**

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс перемещений</b>						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загружение	Значение	Узел	Загружение
X	1603,268	12	1	-2106,65	9	1
Y	3240,029	9	1	-17,225	74	1
Z	23,634	74	1	-4380,228	9	1
Ux	20414,481	63	1	-3948,259	69	1
Uy	4005,565	69	1	-23765,06	63	1
Uz	26804,796	63	1	-5993,774	69	1

**Минимакс усилий и напряжений**

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимакс усилий и напряжений</b>								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
NX	16364,288	52	1	1	-28793,709	55	1	1
NY	83184,05	31	1	1	-68845,496	35	1	1
ТХУ	40141,637	31	1	1	-20516,203	55	1	1
MX	0,085	61	1	1	-1,083	15	1	1
MY	0,04	16	1	1	-2,173	56	1	1
МХУ	0,325	60	1	1	-0,446	46	1	1
QX	7,081	35	1	1	-17,848	56	1	1
QY	6,79	60	1	1	-9,267	51	1	1

**Приложение 4.6 Результаты расчета ломаных грунтоподъемников, второй базовой конфигурации толщиной 7,0 мм**

**Минимакс перемещений**

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимум перемещений</b>						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загружение	Значение	Узел	Загружение
X	1208,012	12	1	-1369,636	9	1
Y	2164,665	9	1	-12,251	74	1
Z	16,783	74	1	-2773,113	9	1
Ux	16059,722	63	1	-4854,42	69	1
Uy	5057,226	69	1	-18432,466	63	1
Uz	21095,975	63	1	-6906,565	69	1

### Минимум усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимум усилий и напряжений</b>								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
NX	26902,856	10	1	1	-22403,188	15	1	1
NY	66689,796	31	1	1	-35157,484	35	1	1
TXU	30389,837	31	1	1	-13786,36	40	1	1
MX	7,895	35	1	1	-30,65	55	1	1
MY	3,745	25	1	1	-167,296	56	1	1
MXY	30,159	51	1	1	-37,116	55	1	1
QX	346,063	35	1	1	-1551,461	51	1	1
QU	446,547	60	1	1	-392,657	51	1	1

### Приложение 4.7 Результаты расчета ломаных грунтоподъемников, третьей базовой конфигурации толщиной 3,5 мм

#### Минимум перемещений

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

<b>Минимум перемещений</b>						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загружение	Значение	Узел	Загружение
X	4,545	105	2	-1,66	43	2
Y	7,992	6	2	-0,123	110	1
Z	3,665	2	2	-2,426	111	2
Ux	450,852	44	2	-228,104	51	2
Uy	287,488	51	2	-244,798	44	2
Uz	351,237	44	2	-446,194	51	2

### Минимакс усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

Минимакс усилий и напряжений								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
NX	15591,944	6	1	2	-17930,408	26	1	2
NY	17369,505	130	1	2	-10332,967	126	1	2
TXU	9146,912	126	1	2	-4082,15	125	1	2
MX	0,039	29	1	2	-0,055	81	1	2
MY	0,064	111	1	2	-0,125	71	1	2
MXY	0,058	81	1	2	-0,054	46	1	2
QX	3,368	26	1	2	-3,692	82	1	2
QU	2,392	81	1	2	-3,024	51	1	2

### Приложение 4.8 Результаты расчета ломаных грунтоподъемников, третьей базовой конфигурации толщиной 5,0 мм

#### Минимакс перемещений

Единицы измерений: мм.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

Минимакс перемещений						
Фактор	Максимальные значения			Минимальные значения		
	Значение	Узел	Загружение	Значение	Узел	Загружение
X	11,979	105	2	-4,394	43	2
Y	14,838	6	2	-0,368	110	1
Z	8,564	2	2	-7,413	111	2
Ux	1217,797	44	2	-572,685	51	2
Uy	675,244	51	2	-670,67	44	2
Uz	960,516	44	2	-1067,967	51	2

#### Минимакс усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загружений/комбинаций: все

Список факторов: все

Минимакс усилий и напряжений								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
NX	21944,289	6	1	2	-25211,439	26	1	2
NY	24252,682	130	1	2	-14411,988	126	1	2
TXU	12757,396	126	1	2	-5689,864	125	1	2
MX	0,041	29	1	2	-0,053	81	1	2

Минимакс усилий и напряжений								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
MY	0,063	111	1	2	-0,123	71	1	2
MXU	0,059	81	1	2	-0,054	35	1	2
QX	3,58	26	1	2	-3,666	82	1	2
QY	2,404	81	1	2	-3,006	51	1	2

## Приложение 5

### Технологическая карта – база

Наименование	Энергомашин	Машинный агрегат	Произв	Врем	Расх.т	Де	М	Дн	Объем	в	Колич.	Зарплата	Стоимост	Расход ГС	Амортиз	Ремонты	Затраты т	Экспл. Зат	
культ: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																			
предш: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																			
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	Т-150К	ЛДГ-15	70,9	7,5	2,9	6	7	10	2862,3	4,04	88,3	539,2	8300,8	589,6	379,2	304,51	1596,4		
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	Т-150К	ЛДГ-10	55,4	7,5	3,7	6	7	10	378,7	0,68	15,0	91,0	1401,0	72,7	56,1	51,57	234,7		
ВСПАШКА НА 18-20 СМ С ВЫР.	К-701	ПТК-8-35+ПВР-2.3	20,3	7,6	19,7	16	7	10	28,5	0,14	3,1	36,4	560,3	91,7	24,7	10,66	155,8		
ВСПАШКА НА 18-20 СМ С ВЫР.	К-701	ПТК-9-35+ПВР-2.3	22,4	7,6	17,8	16	7	10	1313,7	5,86	128,9	1521,5	23422,7	1330,1	1242,4	444,24	4222,9		
ВСПАШКА НА 18-20 СМ С ВЫР.	Т-150К	ПЛН-5-35+ПВР-2.3	10,8	7,6	19,1	16	7	10	1898,9	17,53	385,6	2357,2	36287,3	1516,3	1239,3	1329,21	5498,5		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	Т-150К	КШУ-12	48,4	7,5	4,2	26	7	5	424,7	1,76	19,0	116,4	1792,0	89,1	101,4	65,47	325,8		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	К-701	КШУ-18	93,9	7,5	4,2	26	7	5	2816,3	6,00	64,9	766,6	11800,3	662,3	586,1	223,77	2079,9		
БОРОНОВАНИЕ НА 3-4 СМ	МТЗ-80	СП-16+БЗСС-1.0(12ЕД.)	89,8	7,7	1,2	25	7	5	3241,0	7,22	80,8	242,1	3727,2	637,8	166,6	278,37	1127,3		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	Т-150К	КШУ-12	60,8	7,6	3,4	22	8	10	2160,2	3,55	78,6	479,9	7387,8	368,7	419,5	270,99	1346,7		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	К-701	КШУ-18	91,9	7,6	4,4	22	8	10	1080,8	1,18	26,0	307,5	4734,0	265,3	234,8	89,64	833,7		
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											890,1	6457,9	99413,4	5623,6	4450,2	3068,43	17421,7		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	К-701	КШУ-18	93,9	7,8	4,4	11	9	10	4,7	0,00	0,1	1,3	20,5	1,2	1,0	0,39	3,6		
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	Т-150К	КШУ-12	62,1	7,8	3,4	11	9	10	3236,3	5,21	117,8	719,0	11068,2	552,4	628,5	406,00	2017,7		
ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН	МОБИТОКС		26,8	4,8	6,4	11	9	10	648,2	2,42	42,4	27,7	4129,0	134,5	13,5	233,91	218,2		
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102		49,1	7,9	2,8	11	9	10	648,2	1,32	10,7	119,2	1834,4	157,7	100,0	209,11	387,7		
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	35,2	8,1	3,1	11	9	10	3241,0	9,21	215,1	646,3	9949,9	999,2	985,8	741,42	2846,4		
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	74,3	8,1	1,5	11	9	10	3241,0	4,36	101,9	305,3	4699,5	406,9	187,1	351,20	1001,2		
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											488,0	1818,9	27572,4	2251,9	1916,0	1942,02	6474,7		
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	228,8	7,4	0,3	31	3	10	777,8	0,34	8,6	14,1	217,8	21,4	10,8	50,41	55,0		
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	428,9	7,4	0,2	31	3	10	777,8	0,18	4,7	7,6	116,7	13,6	6,6	26,89	32,4		
ЗАГРУЗКА УДОБРЕНИЙ	КАМАЗ-55102	ЗС-20	87,1	7,3	2,8	31	3	10	777,8	0,89	6,7	143,0	2201,2	98,2	62,3	130,26	310,2		
ПРИКОРНЕВАЯ ПОДКОРМКА ОЗИМЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	34,9	7,4	2,9	31	3	10	3241,0	9,30	200,0	600,0	9236,9	929,3	916,8	689,55	2646,2		
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	Т-150К	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	10	4	5	3241,0	4,56	48,7	296,9	4569,8	343,3	207,6	168,05	896,5		
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											268,7	1061,6	16225,6	1405,9	1204,2	1065,16	3940,4		
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	ACROS-530	ЖКС-7.0	22,1	10,7	10,5	6	7	9	454,6	2,29	63,7	309,8	4768,4	1897,3	897,1	438,88	3167,8		
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	ВЕКТОР		28,1	10,2	6,3	6	7	9	2786,4	11,00	293,2	1144,0	17610,3	15664,2	3477,8	2021,18	20579,2		
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	МТЗ-80	ГКБ-8526	34,6	9,5	3,7	6	7	9	12283,4	39,45	245,1	2968,3	45694,2	3396,1	1386,6	3371,87	7996,0		
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	12283,4	1,08	273,2	165,1	24566,8	249,6	336,1	1600,49	1024,0		
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	3241,0	1,34	35,9	58,9	907,5	89,2	45,2	210,07	229,2		
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	3241,0	0,71	19,4	31,6	486,2	56,5	27,6	112,06	135,1		
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	3241,0	2,10	9,4	48,4	7195,0	39,7	8,0	328,80	105,4		
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	3241,0	1,91	43,3	130,5	2009,4	761,9	763,7	149,36	1699,5		
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											983,1	4856,5	70989,8	22154,5	6942,1	8232,71	34936,2		
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											2629,9	14194,9	214201,3	31435,9	14512,5	14308,32	62773,1		
НА 1 ГА											811,5	4379,8	66,1	9699,4	4477,8	4,41	19368,4		
НА 1 Ц											21,4	115,6	1,7	255,9	118,1	0,12	511,0		

культ: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																	
предш: ПРОСО НА ЗЕРНО																	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	71,7	7,6	2,9	26	7	10	125,0	0,17	3,9	23,5	362,5	25,7	16,6	13,30	69,7
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	T-150K	ПЛН-4-35	8,7	7,8	24,4	5	8	10	125,0	1,44	32,5	198,0	3047,4	114,0	97,1	112,18	441,5
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	T-150K	КШУ-12	60,8	7,6	3,4	22	8	10	125,0	0,21	4,5	27,8	427,5	21,3	24,3	15,68	77,9
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											40,9	249,3	3837,4	161,1	137,9	141,16	589,2
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	K-701	КШУ-18	93,9	7,8	4,4	11	9	10	125,0	0,13	3,0	35,6	547,5	30,7	27,2	10,37	96,4
ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН	МОБИТОКС		26,8	4,8	6,4	11	9	10	25,0	0,09	1,6	1,1	159,3	5,2	0,5	9,02	8,4
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102		49,1	7,9	2,8	11	9	10	25,0	0,05	0,4	4,6	70,8	6,1	3,9	8,06	15,0
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	35,2	8,1	3,1	11	9	10	125,0	0,36	8,3	24,9	383,8	38,5	38,0	28,60	109,8
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	74,3	8,1	1,5	11	9	10	125,0	0,17	3,9	11,8	181,3	15,7	7,2	13,55	38,6
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											17,3	77,9	1183,3	96,2	76,8	69,59	268,2
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	228,8	7,4	0,3	31	3	10	30,0	0,01	0,3	0,5	8,4	0,8	0,4	1,94	2,1
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	428,9	7,4	0,2	31	3	10	30,0	0,01	0,2	0,3	4,5	0,5	0,3	1,04	1,3
ЗАГРУЗКА УДОБРЕНИЙ	КАМАЗ-55102	ЗС-20	87,1	7,3	2,8	31	3	10	30,0	0,03	0,3	5,5	84,9	3,8	2,4	5,02	12,0
ПРИКОРНЕВАЯ ПОДКОРМКА ОЗИМЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	34,9	7,4	2,9	31	3	10	125,0	0,36	7,7	23,1	356,3	35,8	35,4	26,59	102,1
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	10	4	5	125,0	0,18	1,9	11,4	176,3	13,2	8,0	6,48	34,6
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											10,4	40,9	625,8	54,2	46,4	41,08	152,0
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	ACROS-530	ЖКС-6.0	18,6	10,7	12,5	6	7	9	125,0	0,75	20,8	101,2	1557,5	614,7	281,4	143,44	1018,0
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	МТЗ-80	ГКБ-8526	34,6	9,5	3,7	6	7	9	564,0	1,81	11,3	136,3	2098,1	155,9	63,7	154,82	367,1
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	564,0	0,05	12,5	7,6	1128,0	11,5	15,4	73,49	47,0
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	125,0	0,05	1,4	2,3	35,0	3,4	1,7	8,10	8,8
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	125,0	0,03	0,7	1,2	18,8	2,2	1,1	4,32	5,2
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	125,0	0,08	0,4	1,9	277,5	1,5	0,3	12,68	4,1
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	125,0	0,07	1,7	5,0	77,5	29,4	29,5	5,76	65,5
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											48,8	255,4	3768,1	818,6	393,1	402,61	1515,9
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											117,4	623,6	9414,5	1130,1	654,2	654,45	2525,2
НА 1 ГА											938,9	4988,7	75,3	9040,6	5233,5	5,24	20201,7
НА 1 Ц											20,8	110,6	1,7	200,5	116,1	0,12	448,0

культ: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																		
предш: СОЯ НА ЗЕРНО																		
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	73,2	7,8	2,9	10	9	5	266,0	0,73	8,2	50,1	771,4	54,8	35,2	28,30	148,4	
ОБРАБОТКА СТЕРНЕВОГО ФОНА	T-150K	АКП-2.5М	23,1	7,8	9,1	15	9	5	266,0	2,30	26,0	157,8	2428,6	137,5	77,0	89,52	398,3	
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е												34,2	207,9	3200,0	192,3	112,2	117,82	546,6
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	K-701	КШУ-18	93,9	7,8	4,4	11	9	10	266,0	0,28	6,4	75,7	1165,1	65,3	57,8	22,06	205,2	
ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН	МОБИТОКС		26,8	4,8	6,4	11	9	10	53,2	0,20	3,5	2,3	338,9	11,0	1,1	19,20	17,9	
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102		49,1	7,9	2,8	11	9	10	53,2	0,11	0,9	9,8	150,6	12,9	8,2	17,16	31,8	
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	35,2	8,1	3,1	11	9	10	266,0	0,76	17,7	53,0	816,6	82,0	80,9	60,85	233,6	
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	74,3	8,1	1,5	11	9	10	266,0	0,36	8,4	25,1	385,7	33,4	15,4	28,82	82,2	
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У												36,8	165,8	2518,0	204,7	163,4	148,10	570,7
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	228,8	7,4	0,3	31	3	10	63,8	0,03	0,7	1,2	17,9	1,8	0,9	4,14	4,5	
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	428,9	7,4	0,2	31	3	10	63,8	0,01	0,4	0,6	9,6	1,1	0,5	2,21	2,7	
ЗАГРУЗКА УДОБРЕНИЙ	КАМАЗ-55102	ЗС-20	87,1	7,3	2,8	31	3	10	63,8	0,07	0,5	11,7	180,6	8,1	5,1	10,68	25,4	
ПРИКОРНЕВАЯ ПОДКОРМКА ОЗИМЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	34,9	7,4	2,9	31	3	10	266,0	0,76	16,4	49,2	758,1	76,3	75,2	56,59	217,2	
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	10	4	5	266,0	0,37	4,0	24,4	375,1	28,2	17,0	13,79	73,6	
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И												22,1	87,1	1331,6	115,4	98,8	87,41	323,4
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	ACROS-530	ЖКС-7.0	22,1	10,7	10,5	6	7	9	101,6	0,51	14,2	69,2	1065,8	424,1	200,5	98,10	708,1	
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	ACROS-530	ЖКС-6.0	21,8	10,7	10,6	6	7	9	164,4	0,84	23,3	113,1	1740,9	689,7	315,7	160,94	1141,9	
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	МТЗ-80	ГКБ-8526	34,6	9,5	3,7	6	7	9	1008,1	3,24	20,1	243,6	3750,1	278,7	113,8	276,73	656,2	
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	1008,1	0,09	22,4	13,5	2016,2	20,5	27,6	131,35	84,0	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	266,0	0,11	2,9	4,8	74,5	7,3	3,7	17,24	18,8	
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	266,0	0,06	1,6	2,6	39,9	4,6	2,3	9,20	11,1	
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	266,0	0,17	0,8	4,0	590,5	3,3	0,7	26,99	8,7	
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	АМАЗОНЕ	170,1	7,8	0,6	16	7	10	266,0	0,16	3,6	10,7	164,9	62,5	62,7	12,26	139,5	
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я												89,0	461,6	6796,3	1490,7	727,0	732,81	2768,2
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е												182,0	922,4	13845,8	2003,1	1101,4	1086,13	4208,9
НА 1 ГА												684,1	3467,8	52,1	7530,5	4140,5	4,08	15823,0
НА 1 Ц												18,1	91,5	1,4	198,7	109,3	0,11	417,5

культ: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																	
предш: ПАР ЧЕРНЫЙ																	
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	К-701	КШУ-18	93,9	7,8	4,4	11	9	10	883,0	0,94	21,2	251,2	3867,4	216,8	191,8	73,23	681,1
ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН	МОБИТОКС		26,8	4,8	6,4	11	9	10	176,6	0,66	11,6	7,6	1124,9	36,6	3,7	63,73	59,4
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102		49,1	7,9	2,8	11	9	10	176,6	0,36	2,9	32,5	499,8	43,0	27,3	56,97	105,6
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	35,2	8,1	3,1	11	9	10	883,0	2,51	58,6	176,1	2710,7	272,2	268,6	201,99	775,5
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	74,3	8,1	1,5	11	9	10	883,0	1,19	27,8	83,2	1280,3	110,9	51,0	95,68	272,8
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											122,1	550,5	8358,2	679,5	542,3	491,60	1894,4
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	228,8	7,4	0,3	31	3	10	211,9	0,09	2,3	3,9	59,3	5,8	3,0	13,73	15,0
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	428,9	7,4	0,2	31	3	10	211,9	0,05	1,3	2,1	31,8	3,7	1,8	7,33	8,8
ЗАГРУЗКА УДОБРЕНИЙ	КАМАЗ-55102	ЭС-20	87,1	7,3	2,8	31	3	10	211,9	0,24	1,8	39,0	599,7	26,8	17,0	35,49	84,5
ПРИКОРНЕВАЯ ПОДКОРМКА ОЗИМЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	34,9	7,4	2,9	31	3	10	883,0	2,53	54,5	163,5	2516,4	253,2	249,8	187,86	720,9
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	Т-150К	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	10	4	5	883,0	1,24	13,3	80,9	1245,0	93,5	56,6	45,78	244,3
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											73,2	289,2	4420,5	383,0	328,1	290,19	1073,5
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	ACROS-530	ЖКС-6.0	21,8	10,7	10,6	6	7	9	883,0	4,51	125,4	607,4	9351,0	3704,5	1695,9	864,46	6133,2
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		59,5	10,2	0,6	6	7	9	2825,4	5,28	35,2	100,9	1554,0	731,2	463,8	484,74	1331,3
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	МТЗ-80	ГКБ-8526	34,6	9,5	3,7	6	7	9	521,2	1,67	10,4	125,9	1938,7	144,1	58,8	143,06	339,3
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	3346,6	0,29	74,4	45,0	6693,2	68,0	91,6	436,05	279,0
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	883,0	0,37	9,8	16,1	247,2	24,3	12,3	57,23	62,5
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	883,0	0,19	5,3	8,6	132,5	15,4	7,5	30,53	36,8
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	883,0	0,57	2,6	13,2	1960,3	10,8	2,2	89,58	28,7
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	883,0	0,52	11,8	35,6	547,5	207,6	208,1	40,69	463,0
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											274,9	952,7	13638,4	4905,9	2540,3	2146,35	8673,7
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											470,2	1792,4	26417,1	5968,3	3410,6	2928,14	11641,6
НА 1 ГА											532,5	2029,9	29,9	6759,2	3862,5	3,32	13184,1
НА 1 Ц											14,0	53,6	0,8	178,3	101,9	0,09	347,9

культ: ЯР. ЯЧМЕНЬ НА ЗЕРНО																	
предш: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	70,9	7,5	2,9	6	7	10	1283,0	1,81	39,6	241,7	3720,7	264,3	170,0	136,49	715,5
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	243,2	7,9	0,3	31	7	10	320,8	0,13	3,5	5,8	89,8	8,8	4,5	20,79	22,7
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	455,9	7,9	0,2	31	7	10	320,8	0,07	1,9	3,1	48,1	5,6	2,7	11,09	13,4
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		155,4	7,9	2,2	31	7	10	320,8	0,21	0,9	4,8	712,2	3,9	0,8	32,54	10,4
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	171,0	7,9	0,6	31	7	10	1283,0	0,75	17,2	51,7	795,5	301,6	302,3	59,12	672,7
ВСПАШКА НА 20-22 СМ	T-150K	ПЛН-5-35	10,6	7,6	19,6	31	7	10	1283,0	12,15	268,6	1635,2	25172,5	1026,8	838,4	925,89	3768,9
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	K-701	КШУ-18	98,0	7,8	4,2	11	8	10	1283,0	1,31	29,6	349,2	5375,7	301,7	267,0	101,94	947,5
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	T-150K	КШУ-12	62,1	7,8	3,4	11	10	8	1283,0	2,58	46,7	285,0	4387,9	219,0	249,2	160,95	799,9
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											408,0	2576,6	39542,0	2131,7	1834,9	1448,82	6951,1
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	T-150K	КШУ-12	58,8	7,4	3,4	15	4	5	1283,0	4,36	46,7	285,0	4387,9	219,0	249,2	160,95	799,9
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102		46,5	7,5	2,8	15	4	5	256,6	1,10	4,2	47,2	726,2	62,4	39,6	82,77	153,5
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	33,3	7,6	3,1	15	4	5	1283,0	7,70	85,1	255,9	3938,8	395,6	390,2	293,49	1126,8
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	70,4	7,6	1,5	15	4	5	1283,0	3,65	40,3	120,8	1860,4	161,1	74,1	139,02	396,3
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											176,4	708,9	10913,2	838,1	753,1	676,24	2476,4
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	235,4	7,6	0,3	25	4	5	192,5	0,16	2,1	3,5	53,9	5,3	2,7	12,48	13,6
ТРАНСПОРТИРОВКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ГКБ-8526	25,4	7,0	3,7	25	4	5	192,5	1,51	15,3	46,5	716,1	53,2	21,7	52,85	136,8
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	165,5	7,6	0,6	25	4	5	1283,0	1,55	17,2	51,7	795,5	301,6	302,3	59,12	672,7
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											34,6	101,7	1565,5	360,1	326,7	124,45	823,2
СКАШИВАНИЕ В ВАЛКИ	МТЗ-80	ЖВП-6А	35,1	10,2	3,9	1	7	5	1283,0	7,30	108,1	322,5	4965,2	400,1	206,8	372,64	1037,5
ПОДБОР И ОБМОЛОТ ВАЛКОВ	ACROS-530	ППТ-ЗА+ЗС-20	25,7	10,7	8,9	6	7	9	1283,0	5,54	154,1	740,9	11405,7	3684,2	1376,4	1062,81	5955,7
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		59,5	10,2	0,6	6	7	9	4028,6	7,52	50,2	143,9	2215,7	1042,6	661,4	691,16	1898,2
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	4028,6	0,35	89,6	54,1	8057,2	81,8	110,2	524,91	335,8
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	1283,0	0,53	14,2	23,3	359,2	35,3	17,9	83,16	90,8
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	1283,0	0,28	7,7	12,5	192,5	22,4	10,9	44,36	53,5
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	1283,0	0,83	3,7	19,1	2848,3	15,7	3,2	130,16	41,7
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	1283,0	0,75	17,2	51,7	795,5	301,6	302,3	59,12	672,8
ПОДБОР И ПРЕС. СЕНА В ТЮКИ	МТЗ-80	ПРФ-180	16,7	7,6	2,4	27	7	20	1283,0	3,84	169,2	203,4	3130,5	861,1	346,4	583,21	1580,0
ПОГРУЗКА ТЮКОВ И РУЛОНОВ	МТЗ-80	ПКС-1.6+ПТ-Ф-500	93,4	7,6	0,7	27	7	20	4028,6	2,16	95,1	183,2	2820,0	281,5	143,6	327,92	703,4
ТРАНСПОРТ. ТЮКОВ И РУЛОНОВ	КАМАЗ-55102		28,2	7,5	0,7	27	7	20	4028,6	7,15	309,9	170,1	2618,6	1611,4	1022,1	1068,19	3113,5
СКИРДОВАНИЕ ТЮКОВ И РУЛОНОВ	МТЗ-80	ПКС-1.6	32,7	7,6	2,0	27	7	20	4028,6	6,16	500,7	520,8	8016,9	795,9	403,3	3747,68	2220,7
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											1519,7	2445,6	36327,4	9133,7	4604,6	8695,33	17703,6
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											2138,7	5832,8	88348,1	12463,6	7519,2	10944,83	27954,3
НА 1 ГА											1666,9	4546,2	68,9	9714,4	5860,7	8,53	21788,2
НА 1 Ц											53,1	144,8	2,2	309,4	186,6	0,27	693,9

культ: ЯР. ЯЧМЕНЬ НА ЗЕРНО																	
предш: ПРОСО НА ЗЕРНО																	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	70,1	7,5	2,9	26	7	5	250,0	0,71	7,7	47,1	725,0	51,5	33,1	26,60	139,4
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 8-10 СМ	T-150K	ЛДГ-10	57,2	7,8	3,7	7	9	10	250,0	0,44	9,9	60,1	925,0	48,0	37,0	34,05	155,0
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	19	10	20	62,5	0,01	0,7	1,1	17,5	1,7	0,9	4,05	4,4
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	19	10	20	62,5	0,01	0,4	0,6	9,4	1,1	0,5	2,16	2,6
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	19	10	20	62,5	0,02	0,2	0,9	138,7	0,8	0,2	6,34	2,0
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	174,7	8,1	0,6	19	10	20	250,0	0,07	3,3	10,1	155,0	58,8	58,9	11,52	131,1
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	T-150K	ПЛН-4-35	8,7	7,8	24,4	19	10	20	250,0	1,44	65,1	395,9	6095,0	228,0	194,1	224,36	883,1
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											87,3	515,9	7917,5	389,8	324,8	309,08	1317,7
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	T-150K	КШУ-12	58,8	7,4	3,4	15	4	5	250,0	0,85	9,1	55,5	855,0	42,7	48,5	31,36	155,9
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102		46,5	7,5	2,8	15	4	5	50,0	0,22	0,8	9,2	141,5	12,2	7,7	16,13	29,9
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	33,3	7,6	3,1	15	4	5	250,0	1,50	16,6	49,9	767,4	77,1	76,0	57,18	219,5
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	70,4	7,6	1,5	15	4	5	250,0	0,71	7,9	23,5	362,5	31,4	14,4	27,09	77,2
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											34,4	138,1	2126,4	163,3	146,7	131,76	482,5
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	235,4	7,6	0,3	25	4	5	37,5	0,03	0,4	0,7	10,5	1,0	0,5	2,43	2,7
ТРАНСПОРТИРОВКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ГКБ-8526	25,4	7,0	3,7	25	4	5	37,5	0,30	3,0	9,1	139,5	10,4	4,2	10,29	26,6
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	165,5	7,6	0,6	25	4	5	250,0	0,30	3,3	10,1	155,0	58,8	58,9	11,52	131,1
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											6,7	19,8	305,0	70,2	63,7	24,24	160,4
СКАШИВАНИЕ В ВАЛКИ	МТЗ-80	ЖВП-6А	35,1	10,2	3,9	1	7	5	250,0	1,42	21,1	62,8	967,5	78,0	40,3	72,61	202,2
ПОДБОР И ОБМОЛОТ ВАЛКОВ	ACROS-530	ППТ-3А	17,8	10,7	13,0	6	7	9	250,0	1,56	43,4	211,3	3252,5	1024,1	380,3	299,14	1659,0
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		59,5	10,2	0,6	6	7	9	1178,5	2,20	14,7	42,1	648,2	305,0	193,5	202,18	555,3
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	1178,6	0,10	26,2	15,8	2357,2	23,9	32,2	153,57	98,2
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	250,0	0,10	2,8	4,5	70,0	6,9	3,5	16,20	17,7
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	250,0	0,06	1,5	2,4	37,5	4,4	2,1	8,64	10,4
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	250,0	0,16	0,7	3,7	555,0	3,1	0,6	25,36	8,1
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	250,0	0,15	3,3	10,1	155,0	58,8	58,9	11,52	131,1
ПОДБОР И ПРЕС. СЕНА В ТЮКИ	МТЗ-80	ПРФ-180	9,2	7,6	4,5	27	7	20	250,0	1,35	59,7	72,4	1115,0	304,0	122,3	205,89	558,4
ПОГРУЗКА ТЮКОВ И РУЛОНОВ	МТЗ-80	ПКС-1.6+ПТ-Ф-500	93,4	7,6	0,7	27	7	20	1178,6	0,63	27,8	53,6	825,0	82,4	42,0	95,94	205,8
ТРАНСПОРТ. ТЮКОВ И РУЛОНОВ	КАМАЗ-55102		28,2	7,5	0,7	27	7	20	1178,6	2,09	90,7	49,8	766,1	471,4	299,0	312,50	910,9
СКИРДОВАНИЕ ТЮКОВ И РУЛОНОВ	МТЗ-80	ПКС-1.6	32,7	7,6	2,0	27	7	20	1178,6	1,80	146,5	152,4	2345,4	232,9	118,0	1096,39	649,7
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											438,4	681,0	10144,6	2594,7	1292,7	2499,94	5006,8
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											566,7	1354,8	20493,4	3217,9	1827,9	2965,03	6967,3
НА 1 ГА											2267,0	5419,2	82,0	12871,7	7311,5	11,86	27869,4
НА 1 Ц											48,0	114,8	1,7	272,7	154,9	0,25	590,5

культ: ПОДСОЛНЕЧНИК НА ЗЕРНО																	
предш: ЯР. ЯЧМЕНЬ НА ЗЕРНО																	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	70,9	7,5	2,9	6	7	10	2130,0	3,00	65,7	401,3	6177,0	438,7	282,2	226,60	1187,9
КОРПУСНОЕ ЛУЩЕНИЕ НА 10-12 СМ	T-150K	ППЛ-10-25	17,7	7,7	11,8	17	8	10	2130,0	12,02	268,6	1638,2	25219,2	970,4	794,1	926,10	3671,4
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	73,2	7,8	2,9	21	9	10	2130,0	2,91	65,7	401,3	6177,0	438,7	282,2	226,60	1187,9
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	19	10	20	958,5	0,19	10,6	17,4	268,4	26,4	13,4	62,13	67,8
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	19	10	20	958,5	0,10	5,8	9,3	143,8	16,7	8,2	33,14	40,0
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	19	10	20	958,5	0,30	2,8	14,3	2127,9	11,8	2,4	97,24	31,2
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	174,7	8,1	0,6	19	10	20	2130,0	0,61	28,5	85,8	1320,6	500,7	501,9	98,16	1116,9
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	К-701	ПТК-9-35	18,6	7,8	22,2	19	10	20	903,0	2,43	109,8	1304,5	20082,3	1121,2	1048,4	378,50	3583,9
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	T-150K	ПЛН-4-35	8,7	7,8	24,4	19	10	20	1227,0	7,07	319,4	1943,3	29914,7	1118,8	952,8	1101,19	4334,3
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											876,9	5815,4	89159,2	4643,5	3885,5	3149,65	15221,3
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 10-12 СМ	К-701	КШУ-18	82,4	7,4	4,7	10	4	5	2081,4	5,05	54,0	640,9	9865,7	551,5	488,0	186,31	1734,4
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 10-12 СМ	МТЗ-80	КПС-4	17,9	7,6	5,7	10	4	5	48,6	0,54	6,0	18,1	278,7	40,2	12,5	20,76	76,9
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	К-701	КШУ-18	92,8	7,4	4,2	20	4	12	2130,0	1,91	49,1	579,7	8924,7	500,9	443,3	169,24	1573,1
ПОСЕВ ПРОПАШНЫХ	МТЗ-80	СУПН-8	28,7	7,6	3,6	20	4	12	2130,0	6,19	164,4	492,6	7582,8	601,3	318,4	566,91	1576,7
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											273,6	1731,3	26651,8	1693,9	1262,2	943,22	4961,0
БОРОНОВАНИЕ ДО ВСХОДОВ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	114,3	7,4	1,8	2	5	5	2130,0	3,73	39,9	243,5	3748,8	280,7	169,8	137,42	733,9
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	16	5	5	2130,0	2,99	32,0	195,1	3003,3	225,6	136,4	110,44	589,2
1-Я МЕЖДУР.ОБРАБОТКА ПРОПАШНЫХ	МТЗ-80	КМО-11	77,4	8,4	1,5	30	5	5	2130,0	5,50	67,0	200,6	3088,5	647,8	228,5	230,81	1143,9
2-Я МЕЖДУР.ОБРАБОТКА ПРОПАШНЫХ	МТЗ-80	КМО-11	77,4	8,4	1,5	15	6	5	2130,0	5,50	67,0	200,6	3088,5	647,8	228,5	230,81	1143,9
ТРАНСПОРТ. ВОДЫ ДЛЯ РАСТВОРОВ	T-150K	РЖТ-10	35,8	4,5	3,0	10	6	5	639,0	3,57	23,5	124,1	1910,6	493,8	82,6	81,03	724,1
ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРОВ	АПЖ-12		77,1	4,4	1,5	10	6	5	639,0	1,66	4,6	6,5	971,3	84,0	2,9	110,00	98,1
ОПРЫСКИВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ОП-2000/18	72,7	4,4	0,7	10	6	5	2130,0	5,86	37,6	95,5	1469,7	607,2	112,8	129,55	853,0
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											271,5	1066,0	17280,7	2986,9	961,6	1030,05	5286,0
УБОРКА ПОДСОЛНЕЧНИКА	ACROS-530	ПСП-10(Дон-1500)	20,1	7,8	16,7	27	8	7	2130,0	15,12	240,3	2313,4	35613,4	6272,8	2386,0	828,32	11212,5
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		52,1	10,5	0,7	27	8	7	5154,6	14,15	75,6	217,6	3350,5	1568,6	995,0	1039,83	2856,8
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		468,3	15,3	2,0	27	8	10	5154,6	1,10	114,6	69,3	10309,2	104,7	141,0	671,60	429,7
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											430,5	2600,4	38963,9	7946,1	3522,0	2539,75	14499,0
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											1852,6	11213,1	172055,6	17270,4	9631,2	7662,67	39967,3
НА 1 ГА											869,8	5264,4	80,8	8108,2	4521,7	3,60	18764,0
НА 1 Ц											35,9	217,5	3,3	335,0	186,8	0,15	775,4

культ: СОЯ НА ЗЕРНО																		
предш: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																		
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	70,9	7,5	2,9	6	7	10	391,0	0,55	12,1	73,7	1133,9	80,5	51,8	41,60	218,1	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 8-10 СМ	T-150K	ЛДГ-10	57,2	7,8	3,7	10	8	10	391,0	0,68	15,4	94,0	1446,7	75,0	57,9	53,25	242,4	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	73,2	7,8	2,9	14	9	10	391,0	0,53	12,1	73,7	1133,9	80,5	51,8	41,60	218,1	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	MT3-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	19	10	20	176,0	0,04	1,9	3,2	49,3	4,8	2,5	11,41	12,4	
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	MT3-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	19	10	20	176,0	0,02	1,1	1,7	26,4	3,1	1,5	6,09	7,3	
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	19	10	20	176,0	0,06	0,5	2,6	390,7	2,2	0,4	17,86	5,7	
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	MT3-80	AMAZONE	174,7	8,1	0,6	19	10	20	391,0	0,11	5,2	15,7	242,4	91,9	92,1	18,02	205,0	
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	K-701	ПТК-9-35	18,6	7,8	22,2	19	10	20	391,0	1,05	47,5	564,9	8695,8	485,5	453,9	163,89	1551,9	
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											95,9	829,5	12702,0	823,6	712,0	353,70	2460,9	
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 10-12 СМ	K-701	КШУ-18	82,4	7,4	4,7	13	4	5	391,0	0,95	10,2	120,4	1853,3	103,6	91,7	35,00	325,8	
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	K-701	КШУ-18	92,8	7,4	4,2	25	4	5	391,0	0,84	9,0	106,4	1638,3	92,0	81,4	31,07	288,8	
ПОСЕВ ПРОПАШНЫХ	MT3-80	СУПН-8	28,7	7,6	3,6	25	4	5	391,0	2,73	30,2	90,4	1392,0	110,4	58,4	104,07	289,4	
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											49,4	317,2	4883,6	305,9	231,5	170,13	904,0	
1-Я МЕЖДУР.ОБРАБОТКА ПРОПАШНЫХ	MT3-80	КМО-11	77,4	8,4	1,5	29	5	5	391,0	1,01	12,3	36,8	567,0	118,9	42,0	42,37	210,0	
2-Я МЕЖДУР.ОБРАБОТКА ПРОПАШНЫХ	MT3-80	КМО-11	77,4	8,4	1,5	6	6	5	391,0	1,01	12,3	36,8	567,0	118,9	42,0	42,37	210,0	
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											24,6	73,7	1133,9	237,8	83,9	84,74	420,0	
ПРЯМОЕ КОМБ.СОИ С КОПНЕНИЕМ	ACROS-530	XC-7-1500	45,1	11,1	10,6	10	9	5	391,0	1,73	27,9	270,2	4160,2	771,7	288,0	96,03	1357,8	
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		61,9	10,6	0,6	10	9	5	265,9	0,86	3,3	9,5	146,2	68,8	43,7	45,62	125,3	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	MT3-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	10	9	5	391,0	0,31	4,3	7,1	109,5	10,8	5,5	25,34	27,7	
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	MT3-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	10	9	5	391,0	0,17	2,3	3,8	58,7	6,8	3,3	13,52	16,3	
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	10	9	5	391,0	0,49	1,1	5,8	868,0	4,8	1,0	39,67	12,7	
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	MT3-80	AMAZONE	174,7	8,1	0,6	10	9	5	391,0	0,45	5,2	15,7	242,4	91,9	92,1	18,02	205,0	
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											44,2	312,3	4658,4	954,8	433,5	238,20	1744,8	
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											214,0	1532,6	23377,9	2322,2	1461,0	846,78	5529,7	
НА 1 ГА											547,3	3919,7	59,8	5939,0	3736,5	2,17	14142,5	
НА 1 Ц											80,5	576,6	8,8	873,7	549,6	0,32	2080,4	

культ: МН.ТР.ПР.ЛЕТ НА СЕНО																	
предш: МН.ТР.ПР.ЛЕТ НА СЕНО																	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	235,4	7,6	0,3	22	5	5	191,7	0,16	2,1	3,5	53,7	5,3	2,7	12,42	13,6
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	441,2	7,6	0,2	22	5	5	191,7	0,09	1,2	1,9	28,8	3,3	1,6	6,63	8,0
ПОДКОРМКА ТРАВ МИН. УДОБР.	МТЗ-80	AMAZONE	165,5	7,6	0,6	22	5	5	661,0	0,80	8,8	26,6	409,8	155,4	155,8	30,46	346,6
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	22	5	5	661,0	0,93	9,9	60,5	932,0	70,0	42,3	34,27	182,8
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	240,6	7,8	0,3	24	6	5	191,7	0,16	2,1	3,5	53,7	5,3	2,7	12,43	13,6
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	451,0	7,8	0,2	24	6	5	191,7	0,09	1,2	1,9	28,8	3,3	1,6	6,63	8,0
ПОДКОРМКА ТРАВ МИН. УДОБР.	МТЗ-80	AMAZONE	169,2	7,8	0,6	24	6	5	661,0	0,78	8,8	26,6	409,8	155,4	155,8	30,46	346,6
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	145,4	7,5	1,4	24	6	5	661,0	0,91	9,9	60,5	932,0	70,0	42,3	34,27	182,8
И Т О Г О П О У Х О Д У ЗА ПОСЕВАМИ											44,1	185,0	2791,0	468,1	404,8	167,58	1102,0
СКАШИВАНИЕ МН. ТРАВ	МТЗ-80	КТП-6	28,5	6,9	3,3	22	5	7	661,0	3,31	46,8	140,0	2154,9	122,5	67,9	161,22	377,2
ВОРОШЕНИЕ ВАЛКОВ ТРАВ	МТЗ-80	ГВР-6+ПТ-Ф-500	28,2	6,9	3,3	22	5	7	661,0	3,35	47,3	141,7	2181,3	138,2	72,8	162,92	399,9
ПОДБОР СЕНА ИЗ ВАЛКОВ	МТЗ-80	СПТ-60	15,6	6,9	6,0	22	5	7	616,0	5,65	79,7	239,7	3689,6	417,7	172,4	274,62	909,4
ПОДБОР СЕНА ИЗ ВАЛКОВ	МТЗ-80	ПК-1,6	10,9	6,9	8,5	22	5	7	45,0	0,59	8,3	24,9	383,3	48,8	13,8	28,66	95,9
ТРАНСПОРТИРОВКА СЕНА	МТЗ-80	СП-60	10,4	6,4	8,3	22	5	7	390,0	5,38	69,5	210,0	3232,9	323,7	118,1	239,47	721,4
ПОГРУЗКА В СКИРД. АГРЕГАТ	МТЗ-80	ПКС-1.6	98,7	9,7	0,8	22	5	7	390,0	0,56	11,2	21,3	327,6	32,7	16,6	38,45	81,7
СКИРДОВАНИЕ СОЛОМЫ И СЕНА	МТЗ-80	ПКС-1.6	360,1	9,7	0,2	22	5	7	390,0	0,15	3,1	5,8	89,7	9,0	4,5	10,54	22,4
СКАШИВАНИЕ МН. ТРАВ	МТЗ-80	КТП-6	30,6	7,5	3,3	24	6	7	661,0	3,09	46,8	140,0	2154,9	122,6	67,9	161,23	377,2
ВОРОШЕНИЕ ВАЛКОВ ТРАВ	МТЗ-80	ГВР-6+ПТ-Ф-500	30,3	7,5	3,3	24	6	7	661,0	3,12	47,3	141,7	2181,3	138,2	72,8	162,93	400,0
ПОДБОР СЕНА ИЗ ВАЛКОВ	МТЗ-80	СПТ-60	16,7	7,5	6,0	24	6	7	661,0	5,65	85,5	257,2	3959,4	448,2	185,0	294,73	975,9
ТРАНСПОРТИРОВКА СЕНА	МТЗ-80	СП-60	11,1	6,8	8,3	24	6	7	257,8	3,31	45,9	138,8	2137,1	214,0	78,1	158,30	476,8
ПОГРУЗКА В СКИРД. АГРЕГАТ	МТЗ-80	ПКС-1.6	105,9	10,4	0,8	24	6	7	257,8	0,35	7,4	14,1	216,6	21,6	10,9	25,42	54,0
СКИРДОВАНИЕ СОЛОМЫ И СЕНА	МТЗ-80	ПКС-1.6	386,5	10,4	0,2	24	6	7	257,8	0,10	2,0	3,9	59,3	5,9	3,0	6,97	14,8
И Т О Г О П О У Б О Р К Е УРОЖАЯ											500,5	1479,0	22767,7	2043,0	883,8	1725,45	4906,4
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											544,6	1664,0	25558,7	2511,1	1288,7	1893,02	6008,4
НА 1 ГА											823,9	2517,4	38,7	3798,9	1949,6	2,86	9089,8
НА 1 Ц											84,1	256,9	3,9	387,7	199,0	0,29	927,6

культ: ПАР ЧЕРНЫЙ																	
предш: ПОДСОЛНЕЧНИК НА ЗЕРНО																	
ДИСКОВАНИЕ ДВУХСЛЕДНОЕ 8-10 СМ	К-701	БДТ-10Б	33,6	7,7	12,1	27	8	15	883,0	1,75	58,8	694,1	10684,3	971,0	466,1	202,66	2189,9
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	19	10	20	353,2	0,07	3,9	6,4	98,9	9,7	4,9	22,89	25,0
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	19	10	20	353,2	0,04	2,1	3,4	53,0	6,2	3,0	12,21	14,7
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	19	10	20	353,2	0,11	1,0	5,3	784,1	4,3	0,9	35,83	11,5
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	174,7	8,1	0,6	19	10	20	883,0	0,25	11,8	35,6	547,5	207,6	208,1	40,69	463,0
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	К-701	ПТК-9-35	18,6	7,8	22,2	19	10	20	882,9	2,38	107,4	1275,6	19636,6	1096,4	1025,1	370,10	3504,4
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 10-12 СМ	К-701	КШУ-18	82,4	7,4	4,7	16	5	5	883,0	2,14	22,9	271,9	4185,4	234,0	207,0	79,04	735,8
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	К-701	КШУ-18	92,8	7,4	4,2	12	5	5	883,0	1,90	20,4	240,3	3699,7	207,7	183,8	70,16	652,1
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	T-150K	КШУ-12	60,8	7,6	3,4	22	8	10	883,0	1,45	32,1	196,2	3019,8	150,7	171,5	110,77	550,5
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											260,4	2728,7	41872,3	2887,5	2270,3	944,36	8147,0
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											260,4	2728,7	41872,3	2887,5	2270,3	944,36	8147,0
НА 1 ГА											294,9	3090,3	47,4	3270,1	2571,1	1,07	9226,5
НА 1 Ц											0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0



культ: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																	
предш: ПРОСО НА ЗЕРНО																	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	71,7	7,6	2,9	26	7	10	125,0	0,17	3,9	23,5	362,5	25,1	16,6	13,30	69,0
ЧИЗЕЛЬНАЯ ВСПАШКА НА 35-40 СМ	K-701	ГНЧ-0.6М	12,8	7,8	32,4	5	8	10	125,0	0,98	22,1	262,8	4044,9	211,9	171,0	76,09	667,8
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	T-150K	КШУ-12	60,8	7,6	3,4	22	8	10	125,0	0,21	4,5	27,8	427,5	20,5	24,3	15,68	77,1
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											30,5	314,1	4834,9	257,5	211,9	105,07	813,9
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	K-701	КШУ-18	93,9	7,8	4,4	11	9	10	125,0	0,13	3,0	35,6	547,5	32,0	27,2	10,37	97,8
ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН	МОБИТОКС		26,8	4,8	6,4	11	9	10	25,0	0,09	1,6	1,1	159,3	5,2	0,5	9,02	8,4
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102	ЗС-20+ЗС-20	49,1	7,9	2,8	11	9	10	25,0	0,05	0,4	4,6	70,8	6,0	3,9	8,06	14,9
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	35,2	8,1	3,1	11	9	10	125,0	0,36	8,3	24,9	383,8	38,7	38,0	28,60	110,0
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	74,3	8,1	1,5	11	9	10	125,0	0,17	3,9	11,8	181,3	15,8	7,2	13,55	38,7
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											17,3	77,9	1183,3	97,7	76,8	69,59	269,7
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	228,8	7,4	0,3	31	3	10	30,0	0,01	0,3	0,5	8,4	0,8	0,4	1,94	2,1
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	428,9	7,4	0,2	31	3	10	30,0	0,01	0,2	0,3	4,5	0,5	0,3	1,04	1,3
ЗАГРУЗКА УДОБРЕНИЙ	КАМАЗ-55102	ЗС-20	87,1	7,3	2,8	31	3	10	30,0	0,03	0,3	5,5	84,9	3,7	2,4	5,02	11,9
ПРИКОРНЕВАЯ ПОДКОРМКА ОЗИМЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	34,9	7,4	2,9	31	3	10	125,0	0,36	7,7	23,1	356,3	36,0	35,4	26,59	102,2
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	10	4	5	125,0	0,18	1,9	11,4	176,3	12,9	8,0	6,48	34,2
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											10,4	40,9	625,8	54,0	46,4	41,08	151,8
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	ACROS-530	ЖКС-6.0	16,3	10,7	14,3	6	7	9	125,0	0,85	23,7	115,8	1782,5	705,3	320,9	163,55	1165,7
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	МТЗ-80	ГКБ-8526	34,6	9,5	3,7	6	7	9	649,8	2,09	13,0	157,0	2417,3	180,6	73,4	178,37	424,0
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	649,8	0,06	14,5	8,7	1299,6	13,1	17,8	84,67	54,0
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	125,0	0,05	1,4	2,3	35,0	3,5	1,7	8,10	8,9
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	125,0	0,03	0,7	1,2	18,8	2,2	1,1	4,32	5,2
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	125,0	0,08	0,4	1,9	277,5	1,5	0,3	12,68	4,1
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	125,0	0,07	1,7	5,0	77,5	29,4	29,5	5,76	65,6
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											55,3	291,9	4312,3	935,7	444,6	457,46	1727,5
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											113,4	724,9	10956,2	1344,8	779,7	673,20	2962,8
НА 1 ГА											907,4	5799,2	87,6	10758,7	6237,3	5,39	23702,6
НА 1 Ц											17,5	111,5	1,7	206,9	119,9	0,10	455,8

культ: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																	
предш: СОЯ НА ЗЕРНО																	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	73,2	7,8	2,9	10	9	5	266,0	0,73	8,2	50,1	771,4	53,3	35,2	28,30	146,9
ОБРАБОТКА СТЕРНЕВОГО ФОНА	T-150K	АКП-2.5М	23,1	7,8	9,1	15	9	5	266,0	2,30	26,0	157,8	2428,6	132,9	77,0	89,52	393,7
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											34,2	207,9	3200,0	186,3	112,2	117,82	540,6
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	K-701	КШУ-18	93,9	7,8	4,4	11	9	10	266,0	0,28	6,4	75,7	1165,1	68,2	57,8	22,06	208,0
ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН	МОБИТОКС		26,8	4,8	6,4	11	9	10	53,2	0,20	3,5	2,3	338,9	11,0	1,1	19,20	17,9
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102	ЗС-20+ЗС-20	49,1	7,9	2,8	11	9	10	53,2	0,11	0,9	9,8	150,6	12,7	8,2	17,16	31,6
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	35,2	8,1	3,1	11	9	10	266,0	0,76	17,7	53,0	816,6	82,4	80,9	60,85	234,0
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	74,3	8,1	1,5	11	9	10	266,0	0,36	8,4	25,1	385,7	33,6	15,4	28,82	82,4
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											36,8	165,8	2518,0	207,9	163,4	148,10	573,9
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	228,8	7,4	0,3	31	3	10	63,8	0,03	0,7	1,2	17,9	1,8	0,9	4,14	4,5
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	428,9	7,4	0,2	31	3	10	63,8	0,01	0,4	0,6	9,6	1,1	0,5	2,21	2,7
ЗАГРУЗКА УДОБРЕНИЙ	КАМАЗ-55102	ЗС-20	87,1	7,3	2,8	31	3	10	63,8	0,07	0,5	11,7	180,6	7,9	5,1	10,68	25,3
ПРИКОРНЕВАЯ ПОДКОРМКА ОЗИМЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	34,9	7,4	2,9	31	3	10	266,0	0,76	16,4	49,2	758,1	76,6	75,2	56,59	217,5
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	10	4	5	266,0	0,37	4,0	24,4	375,1	27,5	17,0	13,79	72,9
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											22,1	87,1	1331,6	114,9	98,8	87,41	322,9
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	ACROS-530	ЖКС-6.0	21,8	10,7	10,6	6	7	9	266,0	1,36	37,8	183,0	2816,9	1123,1	510,9	260,42	1854,7
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	МТЗ-80	ГКБ-8526	34,6	9,5	3,7	6	7	9	1008,1	3,24	20,1	243,6	3750,1	280,2	113,8	276,73	657,7
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	1008,1	0,09	22,4	13,5	2016,2	20,3	27,6	131,35	83,8
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	266,0	0,11	2,9	4,8	74,5	7,4	3,7	17,24	18,9
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	266,0	0,06	1,6	2,6	39,9	4,7	2,3	9,20	11,1
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	266,0	0,17	0,8	4,0	590,5	3,3	0,7	26,99	8,7
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	266,0	0,16	3,6	10,7	164,9	62,6	62,7	12,26	139,6
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											89,2	462,3	6806,5	1501,5	721,6	734,18	2774,5
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											182,2	923,1	13856,0	2010,6	1096,0	1087,51	4211,9
НА 1 ГА											684,9	3470,3	52,1	7558,8	4120,4	4,09	15834,3
НА 1 Ц											18,1	91,6	1,4	199,4	108,7	0,11	417,8

культ: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																	
предш: ПАР ЧЕРНЫЙ																	
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	К-701	КШУ-18	93,9	7,8	4,4	11	9	10	883,0	0,94	21,2	251,2	3867,4	226,3	191,8	73,23	690,5
ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН	МОБИТОКС		26,8	4,8	6,4	11	9	10	176,6	0,66	11,6	7,6	1124,9	36,6	3,7	63,73	59,4
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102	ЗС-20+ЗС-20	49,1	7,9	2,8	11	9	10	176,6	0,36	2,9	32,5	499,8	42,3	27,3	56,97	104,9
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	35,2	8,1	3,1	11	9	10	883,0	2,51	58,6	176,1	2710,7	273,5	268,6	201,99	776,7
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	74,3	8,1	1,5	11	9	10	883,0	1,19	27,8	83,2	1280,3	111,5	51,0	95,68	273,4
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											122,1	550,5	8358,2	690,1	542,3	491,60	1905,0
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	228,8	7,4	0,3	31	3	10	211,9	0,09	2,3	3,9	59,3	5,9	3,0	13,73	15,1
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	428,9	7,4	0,2	31	3	10	211,9	0,05	1,3	2,1	31,8	3,7	1,8	7,33	8,9
ЗАГРУЗКА УДОБРЕНИЙ	КАМАЗ-55102	ЗС-20	87,1	7,3	2,8	31	3	10	211,9	0,24	1,8	39,0	599,7	26,3	17,0	35,49	84,1
ПРИКОРНЕВАЯ ПОДКОРМКА ОЗИМЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	34,9	7,4	2,9	31	3	10	883,0	2,53	54,5	163,5	2516,4	254,3	249,8	187,86	722,1
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	Т-150К	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	10	4	5	883,0	1,24	13,3	80,9	1245,0	91,2	56,6	45,78	241,9
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											73,2	289,2	4420,5	381,5	328,1	290,19	1072,0
ПРЯМОЕ КОМБАЙНИРОВАНИЕ ЗЕРНОВЫХ	ACROS-530	ЖКС-6.0	21,8	10,7	10,6	6	7	9	883,0	4,51	125,4	607,4	9351,0	3728,1	1695,9	864,46	6156,9
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		59,5	10,2	0,6	6	7	9	2564,5	4,79	32,0	91,6	1410,5	652,8	421,0	439,98	1197,4
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	МТЗ-80	ГКБ-8526	34,6	9,5	3,7	6	7	9	782,1	2,51	15,6	189,0	2909,3	217,4	88,3	214,68	510,3
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	3346,6	0,29	74,4	45,0	6693,2	67,3	91,6	436,05	278,2
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	883,0	0,37	9,8	16,1	247,2	24,7	12,3	57,23	62,8
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	883,0	0,19	5,3	8,6	132,5	15,5	7,5	30,53	36,9
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	883,0	0,57	2,6	13,2	1960,3	10,8	2,2	89,58	28,7
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	883,0	0,52	11,8	35,6	547,5	207,8	208,1	40,69	463,3
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											276,8	1006,4	14465,4	4924,4	2526,9	2173,20	8734,5
ВСЕГО ПО КУЛЬТУРЕ											472,1	1846,2	27244,1	5996,0	3397,2	2954,99	11711,5
НА 1 ГА											534,7	2090,8	30,9	6790,4	3847,4	3,35	13263,3
НА 1 Ц											14,1	55,2	0,8	179,2	101,5	0,09	350,0

культ: ЯР. ЯЧМЕНЬ НА ЗЕРНО																		
предш: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																		
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	70,9	7,5	2,9	6	7	10	1283,0	1,81	39,6	241,7	3720,7	257,3	170,0	136,49	708,5	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	243,2	7,9	0,3	31	7	10	320,8	0,13	3,5	5,8	89,8	9,0	4,5	20,79	22,8	
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	455,9	7,9	0,2	31	7	10	320,8	0,07	1,9	3,1	48,1	5,6	2,7	11,09	13,4	
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		155,4	7,9	2,2	31	7	10	320,8	0,21	0,9	4,8	712,2	3,9	0,8	32,54	10,4	
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	171,0	7,9	0,6	31	7	10	1283,0	0,75	17,2	51,7	795,5	302,0	302,3	59,12	673,1	
ВСПАШКА НА 20-22 СМ	T-150K	ПЛН-5-35	10,6	7,6	19,6	31	7	10	1283,0	12,15	268,6	1635,2	25172,5	975,9	838,4	925,89	3718,1	
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	K-701	КШУ-18	98,0	7,8	4,2	11	8	10	1283,0	1,31	29,6	349,2	5375,7	314,9	267,0	101,94	960,7	
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	T-150K	КШУ-12	62,1	7,8	3,4	11	10	8	1283,0	2,58	46,7	285,0	4387,9	210,7	249,2	160,95	791,6	
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											408,0	2576,6	39542,0	2079,3	1834,9	1448,82	6898,8	
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	T-150K	КШУ-12	58,8	7,4	3,4	15	4	5	1283,0	4,36	46,7	285,0	4387,9	210,7	249,2	160,95	791,6	
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102	ЗС-20+ЗС-20	46,5	7,5	2,8	15	4	5	256,6	1,10	4,2	47,2	726,2	61,4	39,6	82,77	152,4	
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	33,3	7,6	3,1	15	4	5	1283,0	7,70	85,1	255,9	3938,8	397,4	390,2	293,49	1128,6	
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	70,4	7,6	1,5	15	4	5	1283,0	3,65	40,3	120,8	1860,4	161,9	74,1	139,02	397,2	
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											176,4	708,9	10913,2	831,4	753,1	676,24	2469,8	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	235,4	7,6	0,3	25	4	5	192,5	0,16	2,1	3,5	53,9	5,4	2,7	12,48	13,7	
ТРАНСПОРТИРОВКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ГКБ-8526	25,4	7,0	3,7	25	4	5	192,5	1,51	15,3	46,5	716,1	53,5	21,7	52,85	137,1	
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	165,5	7,6	0,6	25	4	5	1283,0	1,55	17,2	51,7	795,5	302,0	302,3	59,12	673,1	
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											34,6	101,7	1565,5	360,9	326,7	124,45	823,9	
СКАШИВАНИЕ В ВАЛКИ	МТЗ-80	ЖВП-6А	35,1	10,2	3,9	1	7	5	1283,0	7,30	108,1	322,5	4965,2	402,4	206,8	372,64	1039,8	
ПОДБОР И ОБМОЛОТ ВАЛКОВ	ACROS-530	ППТ-ЗА+ЗС-20	25,7	10,7	8,9	6	7	9	1283,0	5,54	154,1	740,9	11405,7	3805,6	1376,4	1062,81	6077,1	
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		59,5	10,2	0,6	6	7	9	4028,6	7,52	50,2	143,9	2215,7	1025,4	661,4	691,16	1881,0	
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	4028,6	0,35	89,6	54,1	8057,2	81,0	110,2	524,91	334,9	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	1283,0	0,53	14,2	23,3	359,2	35,9	17,9	83,16	91,3	
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	1283,0	0,28	7,7	12,5	192,5	22,5	10,9	44,36	53,6	
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	1283,0	0,83	3,7	19,1	2848,3	15,7	3,2	130,16	41,7	
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	1283,0	0,75	17,2	51,7	795,5	302,0	302,3	59,12	673,1	
ПОДБОР И ПРЕС.СЕНА В ТЮКИ	МТЗ-80	ПРФ-180	16,7	7,6	2,4	27	7	20	1283,0	3,84	169,2	203,4	3130,5	864,7	346,4	583,21	1583,6	
ПОГРУЗКА ТЮКОВ И РУЛОНОВ	МТЗ-80	ПКС-1.6+ПТ-Ф-500	93,4	7,6	0,7	27	7	20	4028,6	2,16	95,1	183,2	2820,0	285,9	143,6	327,92	707,8	
ТРАНСПОРТ. ТЮКОВ И РУЛОНОВ	КАМАЗ-55102		28,2	7,5	0,7	27	7	20	4028,6	7,15	309,9	170,1	2618,6	1584,8	1022,1	1068,19	3086,9	
СКИРДОВАНИЕ ТЮКОВ И РУЛОНОВ	МТЗ-80	ПКС-1.6	32,7	7,6	2,0	27	7	20	4028,6	6,16	500,7	520,8	8016,9	808,7	403,3	3747,68	2233,4	
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											1519,7	2445,6	36327,4	9234,5	4604,6	8695,33	17804,4	
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											2138,7	5832,8	88348,1	12506,2	7519,2	10944,83	27996,9	
НА 1 ГА											1666,9	4546,2	68,9	9747,6	5860,7	8,53	21821,4	
НА 1 Ц											53,1	144,8	2,2	310,4	186,6	0,27	695,0	

культ: ЯР. ЯЧМЕНЬ НА ЗЕРНО																	
предш: ПРОСО НА ЗЕРНО																	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	70,1	7,5	2,9	26	7	5	250,0	0,71	7,7	47,1	725,0	50,1	33,1	26,60	138,1
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 8-10 СМ	T-150K	ЛДГ-10	57,2	7,8	3,7	7	9	10	250,0	0,44	9,9	60,1	925,0	46,2	37,0	34,05	153,2
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	19	10	20	62,5	0,01	0,7	1,1	17,5	1,7	0,9	4,05	4,4
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	19	10	20	62,5	0,01	0,4	0,6	9,4	1,1	0,5	2,16	2,6
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	19	10	20	62,5	0,02	0,2	0,9	138,7	0,8	0,2	6,34	2,0
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	174,7	8,1	0,6	19	10	20	250,0	0,07	3,3	10,1	155,0	58,8	58,9	11,52	131,2
ЧИЗЕЛЬНАЯ ВСПАШКА НА 35-40 СМ	K-701	ГНЧ-0.6М	12,8	7,8	32,4	19	10	20	250,0	0,98	44,1	525,5	8090,0	423,8	342,1	152,18	1335,6
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											66,3	645,5	9912,5	582,6	472,7	236,89	1767,1
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	T-150K	КШУ-12	58,8	7,4	3,4	15	4	5	250,0	0,85	9,1	55,5	855,0	41,1	48,5	31,36	154,2
ЗАГРУЗКА СЕМЯН В СЕЯЛКИ	КАМАЗ-55102	ЗС-20+ЗС-20	46,5	7,5	2,8	15	4	5	50,0	0,22	0,8	9,2	141,5	12,0	7,7	16,13	29,7
ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ	МТЗ-80	СЗП-5.4	33,3	7,6	3,1	15	4	5	250,0	1,50	16,6	49,9	767,4	77,4	76,0	57,18	219,9
ПРИКАТЫВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ВП-8	70,4	7,6	1,5	15	4	5	250,0	0,71	7,9	23,5	362,5	31,6	14,4	27,09	77,4
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											34,4	138,1	2126,4	162,0	146,7	131,76	481,2
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	235,4	7,6	0,3	25	4	5	37,5	0,03	0,4	0,7	10,5	1,0	0,5	2,43	2,7
ТРАНСПОРТИРОВКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ГКБ-8526	25,4	7,0	3,7	25	4	5	37,5	0,30	3,0	9,1	139,5	10,4	4,2	10,29	26,7
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	165,5	7,6	0,6	25	4	5	250,0	0,30	3,3	10,1	155,0	58,8	58,9	11,52	131,2
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											6,7	19,8	305,0	70,3	63,7	24,24	160,5
СКАШИВАНИЕ В ВАЛКИ	МТЗ-80	ЖВП-6А	35,1	10,2	3,9	1	7	5	250,0	1,42	21,1	62,8	967,5	78,4	40,3	72,61	202,6
ПОДБОР И ОБМОЛОТ ВАЛКОВ	ACROS-530	ППТ-ЗА	14,8	10,7	15,7	6	7	9	250,0	1,88	52,3	255,3	3929,9	1276,5	458,7	360,81	2042,7
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		59,5	10,2	0,6	6	7	9	1439,4	2,69	18,0	51,4	791,6	366,4	236,3	246,94	672,0
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		454,3	14,8	2,0	6	7	25	1439,5	0,13	32,0	19,3	2879,0	28,9	39,4	187,56	119,7
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	241,9	7,8	0,3	16	7	10	250,0	0,10	2,8	4,5	70,0	7,0	3,5	16,20	17,8
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	453,4	7,8	0,2	16	7	10	250,0	0,06	1,5	2,4	37,5	4,4	2,1	8,64	10,4
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		154,5	7,8	2,2	16	7	10	250,0	0,16	0,7	3,7	555,0	3,1	0,6	25,36	8,1
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	170,1	7,8	0,6	16	7	10	250,0	0,15	3,3	10,1	155,0	58,8	58,9	11,52	131,2
ПОДБОР И ПРЕС. СЕНА В ТЮКИ	МТЗ-80	ПРФ-180	9,2	7,6	4,5	27	7	20	250,0	1,35	59,7	72,4	1115,0	305,3	122,3	205,89	559,7
ПОГРУЗКА ТЮКОВ И РУЛОНОВ	МТЗ-80	ПКС-1.6+ПТ-Ф-500	93,4	7,6	0,7	27	7	20	1439,5	0,77	34,0	65,5	1007,6	102,2	51,3	117,17	252,9
ТРАНСПОРТ. ТЮКОВ И РУЛОНОВ	КАМАЗ-55102		28,2	7,5	0,7	27	7	20	1439,5	2,55	110,7	60,8	935,7	566,3	365,2	381,68	1103,0
СКИРДОВАНИЕ ТЮКОВ И РУЛОНОВ	МТЗ-80	ПКС-1.6	32,7	7,6	2,0	27	7	20	1439,5	2,20	178,9	186,1	2864,5	288,9	144,1	1339,09	798,0
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											515,0	794,4	11836,9	3086,1	1522,7	2973,49	5918,3
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											622,5	1597,8	24180,8	3901,0	2205,8	3366,39	8327,1
НА 1 ГА											2489,8	6391,3	96,7	15604,0	8823,3	13,47	33308,5
НА 1 Ц											43,2	111,0	1,7	270,9	153,2	0,23	578,3

культ: ПОДСОЛНЕЧНИК НА ЗЕРНО																	
предш: ЯР. ЯЧМЕНЬ НА ЗЕРНО																	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	70,9	7,5	2,9	6	7	10	2130,0	3,00	65,7	401,3	6177,0	427,1	282,2	226,60	1176,3
КОРПУСНОЕ ЛУЩЕНИЕ НА 10-12 СМ	T-150K	ППЛ-10-25	17,7	7,7	11,8	17	8	10	2130,0	12,02	268,6	1638,2	25219,2	922,9	794,1	926,10	3623,9
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	T-150K	ЛДГ-15	73,2	7,8	2,9	21	9	10	2130,0	2,91	65,7	401,3	6177,0	427,1	282,2	226,60	1176,3
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	19	10	20	958,5	0,19	10,6	17,4	268,4	26,8	13,4	62,13	68,2
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	19	10	20	958,5	0,10	5,8	9,3	143,8	16,8	8,2	33,14	40,1
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	19	10	20	958,5	0,30	2,8	14,3	2127,9	11,8	2,4	97,24	31,2
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	174,7	8,1	0,6	19	10	20	2130,0	0,61	28,5	85,8	1320,6	501,3	501,9	98,16	1117,5
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	K-701	ПТК-9-35	18,6	7,8	22,2	19	10	20	31,8	0,09	3,9	45,9	707,0	42,1	36,9	13,33	128,8
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	T-150K	ПЛН-4-35	8,7	7,8	24,4	19	10	20	2098,2	12,09	546,2	3323,0	51154,3	1843,2	1629,2	1883,04	7341,7
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											997,8	5936,5	91023,5	4219,0	3550,5	3566,32	14703,8
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 10-12 СМ	K-701	КШУ-18	82,4	7,4	4,7	10	4	5	2081,4	5,05	54,0	640,9	9865,7	575,6	488,0	186,31	1758,5
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 10-12 СМ	МТЗ-80	КПС-4	17,9	7,6	5,7	10	4	5	48,6	0,54	6,0	18,1	278,7	40,4	12,5	20,76	77,0
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	K-701	КШУ-18	92,8	7,4	4,2	20	4	12	2130,0	1,91	49,1	579,7	8924,7	522,9	443,3	169,24	1595,0
ПОСЕВ ПРОПАШНЫХ	МТЗ-80	СУПН-8	28,7	7,6	3,6	20	4	12	2130,0	6,19	164,4	492,6	7582,8	604,8	318,4	566,91	1580,2
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											273,6	1731,3	26651,8	1743,7	1262,2	943,22	5010,8
БОРОНОВАНИЕ ДО ВСХОДОВ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	114,3	7,4	1,8	2	5	5	2130,0	3,73	39,9	243,5	3748,8	273,7	169,8	137,42	726,8
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	T-150K	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	16	5	5	2130,0	2,99	32,0	195,1	3003,3	220,0	136,4	110,44	583,5
1-Я МЕЖДУР.ОБРАБОТКА ПРОПАШНЫХ	МТЗ-80	КМО-11	77,4	8,4	1,5	30	5	5	2130,0	5,50	67,0	200,6	3088,5	649,2	228,5	230,81	1145,3
2-Я МЕЖДУР.ОБРАБОТКА ПРОПАШНЫХ	МТЗ-80	КМО-11	77,4	8,4	1,5	15	6	5	2130,0	5,50	67,0	200,6	3088,5	649,2	228,5	230,81	1145,3
ТРАНСПОРТ. ВОДЫ ДЛЯ РАСТВОРОВ	T-150K	РЖТ-10	35,8	4,5	3,0	10	6	5	639,0	3,57	23,5	124,1	1910,6	489,7	82,6	81,03	719,9
ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРОВ	АПЖ-12		77,1	4,4	1,5	10	6	5	639,0	1,66	4,6	6,5	971,3	84,0	2,9	110,00	98,1
ОПРЫСКИВАНИЕ ПОСЕВОВ	МТЗ-80	ОП-2000/18	72,7	4,4	0,7	10	6	5	2130,0	5,86	37,6	95,5	1469,7	608,0	112,8	129,55	853,8
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											271,5	1066,0	17280,7	2973,7	961,6	1030,05	5272,8
УБОРКА ПОДСОЛНЕЧНИКА	ACROS-530	ПСП-10(Дон-1500)	20,1	7,8	16,7	27	8	7	2130,0	15,12	240,3	2313,4	35613,4	6461,9	2386,0	828,32	11401,6
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		52,1	10,5	0,7	27	8	7	5154,6	14,15	75,6	217,6	3350,5	1542,8	995,0	1039,83	2831,0
ОЧИСТКА ЗЕРНА	ЗАВ-40		468,3	15,3	2,0	27	8	10	5154,6	1,10	114,6	69,3	10309,2	103,6	141,0	671,60	428,5
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											430,5	2600,4	38963,9	8108,3	3522,0	2539,75	14661,2
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											1973,5	11334,2	173920,0	17044,6	9296,2	8079,35	39648,5
НА 1 ГА											926,5	5321,2	81,7	8002,2	4364,4	3,79	18614,3
НА 1 Ц											38,3	219,9	3,4	330,7	180,3	0,16	769,2

культ: СОЯ НА ЗЕРНО																		
предш: ОЗ.ПШЕНИЦА НА ЗЕРНО																		
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	Т-150К	ЛДГ-15	70,9	7,5	2,9	6	7	10	391,0	0,55	12,1	73,7	1133,9	78,4	51,8	41,60	215,9	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 8-10 СМ	Т-150К	ЛДГ-10	57,2	7,8	3,7	10	8	10	391,0	0,68	15,4	94,0	1446,7	72,3	57,9	53,25	239,7	
ЛУЩЕНИЕ СТЕРНИ НА 6-8 СМ	Т-150К	ЛДГ-15	73,2	7,8	2,9	14	9	10	391,0	0,53	12,1	73,7	1133,9	78,4	51,8	41,60	215,9	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	19	10	20	176,0	0,04	1,9	3,2	49,3	4,9	2,5	11,41	12,5	
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	19	10	20	176,0	0,02	1,1	1,7	26,4	3,1	1,5	6,09	7,4	
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	19	10	20	176,0	0,06	0,5	2,6	390,7	2,2	0,4	17,86	5,7	
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	174,7	8,1	0,6	19	10	20	391,0	0,11	5,2	15,7	242,4	92,0	92,1	18,02	205,1	
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	К-701	ПТК-9-35	18,6	7,8	22,2	19	10	20	391,0	1,05	47,5	564,9	8695,8	517,2	453,9	163,89	1583,6	
И Т О Г О П О О С Н О В Н О Й О Б Р А Б О Т К Е											95,9	829,5	12702,0	848,5	712,0	353,70	2485,8	
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 10-12 СМ	К-701	КШУ-18	82,4	7,4	4,7	13	4	5	391,0	0,95	10,2	120,4	1853,3	108,1	91,7	35,00	330,4	
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	К-701	КШУ-18	92,8	7,4	4,2	25	4	5	391,0	0,84	9,0	106,4	1638,3	96,0	81,4	31,07	292,8	
ПОСЕВ ПРОПАШНЫХ	МТЗ-80	СУПН-8	28,7	7,6	3,6	25	4	5	391,0	2,73	30,2	90,4	1392,0	111,0	58,4	104,07	290,1	
И Т О Г О П О П Р Е Д П О С . О Б Р . И П О С Е В У											49,4	317,2	4883,6	315,1	231,5	170,13	913,2	
1-Я МЕЖДУР.ОБРАБОТКА ПРОПАШНЫХ	МТЗ-80	КМО-11	77,4	8,4	1,5	29	5	5	391,0	1,01	12,3	36,8	567,0	119,2	42,0	42,37	210,2	
2-Я МЕЖДУР.ОБРАБОТКА ПРОПАШНЫХ	МТЗ-80	КМО-11	77,4	8,4	1,5	6	6	5	391,0	1,01	12,3	36,8	567,0	119,2	42,0	42,37	210,2	
И Т О Г О П О У Х О Д У З А П О С Е В А М И											24,6	73,7	1133,9	238,3	83,9	84,74	420,5	
ПРЯМОЕ КОМБ.СОИ С КОПНЕНИЕМ	ACROS-530	ХС-7-1500	45,1	11,1	10,6	10	9	5	391,0	1,73	27,9	270,2	4160,2	793,6	288,0	96,03	1379,8	
ТРАНСПОРТ. ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНА	КАМАЗ-55102		61,9	10,6	0,6	10	9	5	265,9	0,86	3,3	9,5	146,2	67,7	43,7	45,62	124,2	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	10	9	5	391,0	0,31	4,3	7,1	109,5	10,9	5,5	25,34	27,8	
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	10	9	5	391,0	0,17	2,3	3,8	58,7	6,9	3,3	13,52	16,3	
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	10	9	5	391,0	0,49	1,1	5,8	868,0	4,8	1,0	39,67	12,7	
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	AMAZONE	174,7	8,1	0,6	10	9	5	391,0	0,45	5,2	15,7	242,4	92,0	92,1	18,02	205,1	
И Т О Г О П О У Б О Р К Е У Р О Ж А Я											44,2	312,3	4658,4	975,9	433,5	238,20	1765,9	
В С Е Г О П О К У Л Ь Т У Р Е											214,0	1532,6	23377,9	2377,9	1461,0	846,78	5585,5	
НА 1 ГА											547,3	3919,7	59,8	6081,6	3736,5	2,17	14285,1	
НА 1 Ц											80,5	576,6	8,8	894,6	549,6	0,32	2101,4	

культ: МН.ТР.ПР.ЛЕТ НА СЕНО																	
предш: МН.ТР.ПР.ЛЕТ НА СЕНО																	
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	235,4	7,6	0,3	22	5	5	191,7	0,16	2,1	3,5	53,7	5,4	2,7	12,42	13,6
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	441,2	7,6	0,2	22	5	5	191,7	0,09	1,2	1,9	28,8	3,4	1,6	6,63	8,0
ПОДКОРМКА ТРАВ МИН. УДОБР.	МТЗ-80	AMAZONE	165,5	7,6	0,6	22	5	5	661,0	0,80	8,8	26,6	409,8	155,6	155,8	30,46	346,8
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	Т-150К	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	142,3	7,4	1,4	22	5	5	661,0	0,93	9,9	60,5	932,0	68,3	42,3	34,27	181,1
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	240,6	7,8	0,3	24	6	5	191,7	0,16	2,1	3,5	53,7	5,4	2,7	12,43	13,6
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	451,0	7,8	0,2	24	6	5	191,7	0,09	1,2	1,9	28,8	3,4	1,6	6,63	8,0
ПОДКОРМКА ТРАВ МИН. УДОБР.	МТЗ-80	AMAZONE	169,2	7,8	0,6	24	6	5	661,0	0,78	8,8	26,6	409,8	155,6	155,8	30,46	346,8
БОРОНОВАНИЕ ПО ВСХОДАМ	Т-150К	СГ-21+БЗСС-1.0(21ЕД.)	145,4	7,5	1,4	24	6	5	661,0	0,91	9,9	60,5	932,0	68,3	42,3	34,27	181,1
И Т О Г О П О У Х О Д У ЗА ПОСЕВАМИ											44,1	185,0	2791,0	465,1	404,8	167,58	1099,1
СКАШИВАНИЕ МН. ТРАВ	МТЗ-80	КТП-6	28,5	6,9	3,3	22	5	7	661,0	3,31	46,8	140,0	2154,9	123,5	67,9	161,22	378,2
ВОРОШЕНИЕ ВАЛКОВ ТРАВ	МТЗ-80	ГВР-6+ПТ-Ф-500	28,2	6,9	3,3	22	5	7	661,0	3,35	47,3	141,7	2181,3	139,1	72,8	162,92	400,9
ПОДБОР СЕНА ИЗ ВАЛКОВ	МТЗ-80	СПТ-60	15,6	6,9	6,0	22	5	7	616,0	5,65	79,7	239,7	3689,6	419,4	172,4	274,62	911,1
ПОДБОР СЕНА ИЗ ВАЛКОВ	МТЗ-80	ПК-1,6	10,9	6,9	8,5	22	5	7	45,0	0,59	8,3	24,9	383,3	49,0	13,8	28,66	96,1
ТРАНСПОРТИРОВКА СЕНА	МТЗ-80	СП-60	10,4	6,4	8,3	22	5	7	390,0	5,38	69,5	210,0	3232,9	325,2	118,1	239,47	722,8
ПОГРУЗКА В СКИРД. АГРЕГАТ	МТЗ-80	ПКС-1.6	98,7	9,7	0,8	22	5	7	390,0	0,56	11,2	21,3	327,6	33,2	16,6	38,45	82,2
СКИРДОВАНИЕ СОЛОМЫ И СЕНА	МТЗ-80	ПКС-1.6	360,1	9,7	0,2	22	5	7	390,0	0,15	3,1	5,8	89,7	9,1	4,5	10,54	22,5
СКАШИВАНИЕ МН. ТРАВ	МТЗ-80	КТП-6	30,6	7,5	3,3	24	6	7	661,0	3,09	46,8	140,0	2154,9	123,6	67,9	161,23	378,2
ВОРОШЕНИЕ ВАЛКОВ ТРАВ	МТЗ-80	ГВР-6+ПТ-Ф-500	30,3	7,5	3,3	24	6	7	661,0	3,12	47,3	141,7	2181,3	139,1	72,8	162,93	400,9
ПОДБОР СЕНА ИЗ ВАЛКОВ	МТЗ-80	СПТ-60	16,7	7,5	6,0	24	6	7	661,0	5,65	85,5	257,2	3959,4	450,1	185,0	294,73	977,7
ТРАНСПОРТИРОВКА СЕНА	МТЗ-80	СП-60	11,1	6,8	8,3	24	6	7	257,8	3,31	45,9	138,8	2137,1	215,0	78,1	158,30	477,8
ПОГРУЗКА В СКИРД. АГРЕГАТ	МТЗ-80	ПКС-1.6	105,9	10,4	0,8	24	6	7	257,8	0,35	7,4	14,1	216,6	21,9	10,9	25,42	54,3
СКИРДОВАНИЕ СОЛОМЫ И СЕНА	МТЗ-80	ПКС-1.6	386,5	10,4	0,2	24	6	7	257,8	0,10	2,0	3,9	59,3	6,0	3,0	6,97	14,9
И Т О Г О П О У Б О Р К Е УРОЖАЯ											500,5	1479,0	22767,7	2054,2	883,8	1725,45	4917,6
ВСЕГО ПО КУЛЬТУРЕ											544,6	1664,0	25558,7	2519,4	1288,7	1893,02	6016,7
НА 1 ГА											823,9	2517,4	38,7	3811,4	1949,6	2,86	9102,4
НА 1 Ц											84,1	256,9	3,9	389,0	199,0	0,29	928,9

культ: ПАР ЧЕРНЫЙ																	
предш: ПОДСОЛНЕЧНИК НА ЗЕРНО																	
ДИСКОВАНИЕ ДВУХСЛЕДНОЕ 8-10 СМ	К-701	БДТ-10Б	33,6	7,7	12,1	27	8	15	883,0	1,75	58,8	694,1	10684,3	997,3	466,1	202,66	2216,2
ПОГРУЗКА МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	ПКС-1.6	248,4	8,1	0,3	19	10	20	353,2	0,07	3,9	6,4	98,9	9,9	4,9	22,89	25,1
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	УТМ-30	465,7	8,1	0,2	19	10	20	353,2	0,04	2,1	3,4	53,0	6,2	3,0	12,21	14,8
СМЕШИВАНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	УТМ-30		158,7	8,1	2,2	19	10	20	353,2	0,11	1,0	5,3	784,1	4,3	0,9	35,83	11,5
ВНЕСЕНИЕ МИН. УДОБРЕНИЙ	МТЗ-80	АМАЗОНЕ	174,7	8,1	0,6	19	10	20	883,0	0,25	11,8	35,6	547,5	207,8	208,1	40,69	463,3
ВСПАШКА НА 25-27 СМ	К-701	ПТК-9-35	18,6	7,8	22,2	19	10	20	882,9	2,38	107,4	1275,6	19636,5	1167,9	1025,1	370,10	3575,9
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 10-12 СМ	К-701	КШУ-18	82,4	7,4	4,7	16	5	5	883,0	2,14	22,9	271,9	4185,4	244,2	207,0	79,04	746,0
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 8-10 СМ	К-701	КШУ-18	92,8	7,4	4,2	12	5	5	883,0	1,90	20,4	240,3	3699,7	216,8	183,8	70,16	661,2
КУЛЬТИВАЦИЯ С БОРОН НА 6-8 СМ	Т-150К	КШУ-12	60,8	7,6	3,4	22	8	10	883,0	1,45	32,1	196,2	3019,8	145,0	171,5	110,77	544,8
ИТОГО ПО ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКЕ											260,4	2728,7	41872,2	2999,4	2270,3	944,36	8258,9
ВСЕГО ПО КУЛЬТУРЕ											260,4	2728,7	41872,2	2999,4	2270,3	944,36	8258,9
НА 1 ГА											294,9	3090,3	47,4	3396,9	2571,1	1,07	9353,2
НА 1 Ц											0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0

Наименование	Энергомашин	Машинный агрегат	Производит,	Время	Расход топлива,	Датчик	Мощность,	Датчик	Объем выполнения,	Количество агрегатов,	Зарплата, руб	Стоимость ГСМ, тыс. руб	Расход ГСМ, кг	Амортизация, тыс. руб	Ремонт, руб	Затраты труда, чел. ч	Экспл. Затраты, тыс. руб
	а		га;(т)	ч	на (т)	ь	ц	ы	(т)	тов,шт	руб	тыс. руб	ГСМ, кг	тыс. руб	руб	чел. ч	тыс. руб

## Приложение 6

### Акт внедрения в ИП Глава «КФХ» Доценко Е.Н.

УТВЕРЖДАЮ:

ИП Глава «КФХ» Доценко Е.Н.


 Е.Н. Доценко  
 «31» октября 2021 г.

#### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

экспериментального универсального глубокорыхлителя навесного  
чизельного типа ГНЧ-0,6М

31 октября 2021г. комиссия в составе: заместителя по производству ИП Главы «КФХ» Доценко Е.Н. Доценко А.Е., инженера ИП Главы «КФХ» Доценко Е.Н. Токалова А.Г. и представителей ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова» д-ра техн. наук, проф. В.П. Максимова и канд. техн. наук, доцента А.А. Михайлина составила настоящий акт о том, что в хозяйстве ИП Главы «КФХ» Доценко Е.Н. Еланского района Волгоградской области используется в производственном процессе обработки почвы на склоновых и равнинных участках при выращивании зерновых товарных сельскохозяйственных культур экспериментальный глубокорыхлитель чизельного типа ГНЧ-0,6М.


В процессе внедрения были получены следующие результаты.

1. В 2019 и 2020 годах универсальным глубокорыхлителем ГНЧ-0,6М было обработано общей площади 510 га, из которых на долю склоновых земель приходилось 185 га с максимальным уклоном до 7%. Обработка проводилась по фонам озимой пшеницы, ячменя и подсолнечника.
2. Применение универсального глубокорыхлителя навесного чизельного типа ГНЧ-0,6М на равнинных участках способствовало разрыхлению почвы на глубину до 0,6 м, что позволило снизить плотность почвы в обработанном слое с 1,8 г/см<sup>3</sup> до 1,2г/см<sup>3</sup> и повысить влагоёмкость обработанного слоя в 1,5-1,8 раза, по сравнению с обычной вспашкой.
3. Использование разработанной технологии обработки склоновых земель, как основной обработкой почвы сохранило устойчивость обработанного горизонта на склоне, позволило аккумулировать влагу в почве, что способство-

вало повышению урожайности ячменя на 12-15 % по сравнению с контролем. При этом было зафиксировано незначительное увеличение расхода дизельного топлива – до 30 л/час при 27,5 л/час на контроле.

4. Проведенное глубокое рыхление ГНЧ-0,6М в 2018 г. повлияло на увеличение урожайности подсолнечника в 2020 г. на 10-11%, по сравнению с контролем. Таким образом, последствие глубокого рыхления, имеет доказанный положительный эффект, в климатических и почвенных условиях Еланского района Волгоградской области. Рекомендуется применение данного универсального глубокорыхлителя использовать с периодичностью через год на одном поле.

Предложенный универсальный глубокорыхлитель ГНЧ-0,6М рекомендуется для более широкого внедрения в хозяйствах Еланского района Волгоградской области как на склоновых так и на равнинных землях.

Зам. по производству ИП Глава «КФХ» Доценко Е.Н.  А.Е. Доценко

Инженер ИП Глава «КФХ» Доценко Е.Н.  А.Г. Токалов

Д-р техн. наук, профессор  В.П. Максимов

Канд. техн. наук, доцент  А.А. Михайлин

## Приложение 7

### Акт внедрения в ООО «Шаповалов»

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор ООО  
«Шаповалов»

П.И. Шаповалов

2017 г.



#### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

экспериментального универсального глубокорыхлителя навесного  
чизельного типа ГНЧ-0,6М

24 августа 2021г. комиссия в составе: главного инженера ООО «Шаповалов» П.П. Шаповалова и представителей ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова» д-ра техн. наук, проф. В.П. Максимова, канд. техн. наук, доцента А.А. Михайлина составила настоящий акт о том, что в хозяйстве ООО «Шаповалов» Киквидзенского района Волгоградской области, внедрён в производственный процесс экспериментальный навесной глубокорыхлитель чизельного типа ГНЧ-0,6М.

В 2019 и 2020 годах универсальным глубокорыхлителем ГНЧ-0,6М было обработано 620 га общей площадью по фонам озимой пшеницы, ячменя и подсолнечника. В процессе внедрения были получены следующие результаты.

1. Проведенное глубокое рыхление ГНЧ-0,6М повлияло на незначительное увеличение расхода дизельного топлива – до 30 л/час на опытных участках и 27,5 л/час на контроле.
2. В процессе рыхания предлагаемым орудием отсутствовал вынос нижележащих слоёв почвы на дневную поверхность как на склоновых, так и на равнинных участках.
3. Использование экспериментального глубокорыхлителя ГНЧ-0,6М позволило фиксировать отсутствие корнеотпрысковых сорняков на обрабатываемых полях.
4. Применение универсального глубокорыхлителя навесного чизельного типа ГНЧ-0,6М способствовало разрыхлению почвы до 0,6 м, что позволило снизить переуплотнение почвы в слое 20-60 см с 1,8 г/см<sup>3</sup> до 1,0 г/см<sup>3</sup> и повысить

влажёмкость обработанного слоя в 1,5 раза, в сравнении с обычной вспашкой.

5. Использование данной технологии, как основной обработкой почвы в 2019г. привело к повышению урожайности пшеницы на 13-15%, ячменя на 11-13 % по сравнению с контролем.
6. Проведенное глубокое рыхление без оборота пласта экспериментальным глубокорыхлителем ГНЧ-0,6М в 2019г. повлияло на повышение урожайности сельскохозяйственных культур, выращенных на прошлогодних разрыхленных участках: пшеница на 10-11 % и подсолнечник на 10 % по сравнению с контролем. Таким образом, последствие глубокого рыхления имеет доказанный положительный эффект на повышение урожайности пшеницы, ячменя и подсолнечника при незначительном повышении затрат на ГСМ, в климатических и почвенных условиях Киквидзенского района Волгоградской области. Следовательно, применение данного универсального глубокорыхлителя целесообразно применять через год на одном поле.

Предложенный универсальный глубокорыхлитель ГНЧ-0,6М рекомендуется для более широкого внедрения в хозяйствах Киквидзенского района Волгоградской области.

Главный инженер ООО «Шапвалов»



П.П. Шаповалов

Д-р техн. наук, профессор

*В.П. Максимов*

В.П. Максимов

Канд. техн. наук, доцент

*А.А. Михайлин*


А.А. Михайлин



## Приложение 9

### Внедрение в учебный процесс в ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова на каф. МГПА

«УТВЕРЖДАЮ»  
 Проректор по учебно-методической  
 работе ЮРГПУ(НПИ)  
 П.В. Овчинников  
 «18» сентября 2025 г.



#### АКТ

об использовании в учебном процессе  
 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
 высшего образования «Южно-Российский государственный  
 политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»  
 результатов докторской диссертации Михайлина Андрея Андреевича  
**«Ресурсосберегающие технологические процессы и технические средства  
 для глубокой обработки склоновых и равнинных земель Юга России»**

Мы, нижеподписавшиеся, руководитель учебно-методического управления, к.т.н., доцент Скринников Евгений Валерьевич и заведующий кафедрой «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» д.т.н., профессор Исаков Владимир Семёнович составили настоящий акт о том, что результаты докторской диссертации Михайлина А.А. используются в учебном процессе кафедры АиТТК по программам подготовки бакалавров и магистров по направлениям 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

Результаты диссертационной работы используются при чтении лекций и проведении практических занятий по дисциплине «Инженерная механика».

Внедрение в учебный процесс теоретических и практических результатов диссертационной работы Михайлина А.А. позволило улучшить качество реализуемых образовательных программ, выпускных квалификационных работ и обеспечить их соответствие современному уровню развития науки и прикладного машиностроения.

Заведующий кафедрой АиТТК



Исаков В.С.

Начальник учебно-методического  
 управления

Скринников Е.В.

## Приложение 10

### Акт о внедрении в ФГБУ «Россельхозцентр»

МИНИСТЕРСТВО  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное  
бюджетное учреждение  
«РОССИЙСКИЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ  
ЦЕНТР»  
(ФГБУ «Россельхозцентр»)  
ФИЛИАЛ  
по Волгоградской области

400012, г. Волгоград, ул. Трехгорная  
дом 21  
Тел.8 (8442)97-77-21  
E-mail: 34@rscagro.ru

14.04.2025 г. № 268

#### АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационной работы Михайлина Андрея Андреевича на тему  
«Ресурсосберегающие технологические процессы и технические средства для  
глубокой обработки склоновых и равнинных земель Юга России»

Вид внедрения результатов – технологические и технические решения, направленные на повышение плодородия склоновых и равнинных земель, за счёт сбережения внутрипочвенной влаги обрабатываемых земель, путём применения нового технологического процесса обработки склоновых земель на базе глубокого рыхления и универсального глубокорыхлителя чизельного типа ГНЧ-0,6М.

Область и форма внедрения – единичное производство при внедрении.

Эффект от внедрения и новизна.

1. Использование разработанной технологии обработки склоновых земель, как основной обработки почвы в условиях Еланского района Волгоградской области сохранило устойчивость обработанного горизонта на склоне, позволило аккумулировать влагу в почве, что способствовало повышению урожайности ячменя на 12-15% по сравнению с контролем.

2. Проведенные испытания на ФГБУ Северо-Кавказская государственная зональная машиноиспытательная станция (МИС) г. Зерноград, Ростовской области в соответствии с СТО АИСТ 4,6 – 0,99, установили:

– универсальное орудие для мелиоративной обработки склоновых и равнинных земель – глубокорыхлитель навесной чизельного типа ГНЧ-0,6М соответствует агротехническим требованиям: качественно рыхлит переуплотнённые сохраняя структуры обрабатываемых горизонтов почвы, выдерживает заданную глубину обработки, не вынося нижележащие слои на поверхность;

– полученные значения энергетических показателей экспериментального ГНЧ-0,6М являются энергосберегающими при глубоком рыхлении без оборота пласта до 0,6 м.

На основании результатов проведенных испытаний универсального орудия ГНЧ-0,6М комитет сельского хозяйства Волгоградской области рекомендует указанное орудие для внедрения в хозяйствах западных районов Волгоградской области.

Врио руководителя филиала

 А.В. Харьков



Приложение 11  
Патенты на способ и изобретения

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2255450

**СПОСОБ ОБРАБОТКИ СКЛОНОВЫХ ПОЧВ**

Патентообладатель(ли): *Михайлин Андрей Андреевич (RU)*

Автор(ы): *Михайлин Андрей Андреевич (RU)*

Заявка № 2002108073

Приоритет изобретения 29 марта 2002 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 июля 2005 г.

Срок действия патента истекает 29 марта 2022 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2694571

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЬ НАВЕСНОЙ  
ЧИЗЕЛЬНЫЙПатентообладатель: *Михайлин Андрей Андреевич (RU)*Автор: *Михайлин Андрей Андреевич (RU)*

Заявка № 2017140567

Приоритет изобретения 21 ноября 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 16 июля 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 21 ноября 2037 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности
 Г.П. Ивлиев


## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2742657

## Безотвальный чизель-разрыхлитель навесной

Патентообладатели: *Михайлин Андрей Андреевич (RU), Максимов Валерий Павлович (RU), Филонов Сергей Владимирович (RU), Ушаков Александр Евгеньевич (RU)*

Авторы: *Михайлин Андрей Андреевич (RU), Максимов Валерий Павлович (RU), Филонов Сергей Владимирович (RU), Ушаков Александр Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2019130102

Приоритет изобретения 24 сентября 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 09 февраля 2021 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 24 сентября 2039 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**2 799 608**<sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
A01B 13/14 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
A01B 13/14 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022106993, 16.03.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
16.03.2022Дата регистрации:  
07.07.2023Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 16.03.2022

(45) Опубликовано: 07.07.2023 Бюл. № 19

Адрес для переписки:  
346411, Ростовская обл., ул. Будёновская, 119,  
кв. 40, Максимов Валерий Павлович

(72) Автор(ы):

Михайлин Андрей Андреевич (RU),  
Максимов Валерий Павлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Михайлин Андрей Андреевич (RU),  
Максимов Валерий Павлович (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: SU 986307 A1, 07.01.1983. RU 2694571  
C2, 16.07.2019. RU 206164 U1, 26.08.2021. FR  
2618039 A1, 20.01.1989. FR 2487156 A1,  
29.01.1982.

(54) Адаптивный глубокорыхлитель для обработки уплотнённых равнинных и склоновых земель

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельскохозяйственной техники. Глубокорыхлитель содержит раму с расположенными на ней стойками рыхлителей с наральниками и закрепленными на боковых гранях грунтоподъемниками. Стойки глубокорыхлителя закреплены на раме шарнирно с возможностью поворота вокруг вертикальной оси стоек и изменения угла наклона стойки по профилю. В угол «V»-образной рамы глубокорыхлителя установлен плоский цилиндрический управляемый шарнир, продольная ось которого расположена перпендикулярно общей горизонтали. В излом стойки глубокорыхлителя установлен плоский

цилиндрический управляемый шарнир, продольная ось которого расположена в общей горизонтали, перпендикулярно фронтальной проекции системы деформаторов стойки. В место крепления грунтоподъемников интегрирован управляемый шарнир, обеспечивающий изменение угла наклона грунтоподъемников. Обеспечивается повышение эффективности обработки уплотненных равнинных и склоновых земель без оборота пласта за счет адаптации к возможным изменениям в среде обработки, что позволит, не останавливая процесс рыхления, стабилизировать нагрузки на рабочие органы и привод тяговой машины. 3 ил.

RU 2 799 608 C1

RU 2 799 608 C1