

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический  
университет имени С.М. Кирова»

На правах рукописи

**Мохамед Ахмед Халед Абдельвахаб**

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА  
ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук,  
профессор Н.А. Тюрин

Санкт-Петербург  
2020

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ _____	5
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. _____	12
1.1. Особенности технологии и организации производства земляных работ в лесном дорожном строительстве _____	12
1.2. Анализ исследований в области организации эффективного производства земляных работ в дорожном строительстве _____	24
1.3. Выводы и задачи исследования. _____	30
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В ЛЕСНОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ _____	34
2.1. Оптимизация распределения земляных масс _____	34
2.2. Экономико-математическая модель выбора эффективных технологий земляных работ и использования парка машин по строящимся участкам _____	43
2.3. Выводы по главе 2 _____	50
3. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В ЛЕСНОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ _____	52
3.1. Общий алгоритм проектирования производства земляных работ в лесном дорожном строительстве _____	52
3.2. Блок-схема алгоритма распределения земляных масс _____	56
3.3. Программа распределения земляных масс для строительства лесных дорог и руководство пользователя _____	76

3.4. Выбор вычислительного метода и программных средств модели оптимизации использования парка машин в лесном дорожном строительстве.	89
3.5 Выводы по главе 3	96
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДИКИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В ЛЕСНОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	99
4.1. Цели и задачи экспериментальных исследований	99
4.2. Выбор эффективных технологий земляных работ и использования парка машин	102
4.3. Выводы по главе 4	119
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	121
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	124
Приложение 1: Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве. Код подпрограммы ввода исходных данных.	135
Приложение 2: Код подпрограммы определения объемов земляных работ при строительстве лесных дорог	138
Приложение 3: Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве. Код подпрограммы первого этапа распределения земляных масс.	146
Приложение 4: Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве. Код подпрограммы второго этапа распределения земляных масс.	148

Приложение 5: Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве. Код подпрограммы третьего этапа распределения земляных масс. _____	151
Приложение 6: Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве. Код подпрограммы четвертого этапа распределения земляных масс. _____	152
Приложение 7: Табличные данные продольного профиля участка лесовозной автомобильной дороги №1 _____	156
Приложение 8: Табличные данные продольного профиля участка лесовозной автомобильной дороги №2 _____	159
Приложение 9: Результаты поикетного распределения земляных масс лесовозной дороги №1 _____	162
Приложение 10: Результаты поикетного распределения земляных масс лесовозной дороги №2 _____	167
Приложения 11: Распределения земляных масс дороги №1 _____	172
Приложения 12: Распределение земляных масс дороги №2 _____	182
Приложения 13: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. _____	196

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Процессы лесопользования осуществляются на обширных территориях, носят ярко выраженный собирательный характер, требующий развитой транспортной сети лесных дорог. Требуемая плотность лесотранспортной сети как в РФ, так и за рубежом составляет 12...15 км автомобильных дорог на 1000 га. [21, 22]. Для ежегодной заготовки 200 мил. м куб. древесины в РФ требуется строительство более десяти тысячи км лесовозных автомобильных дорог в год, в том числе, более пяти тысяч км постоянных автомобильных дорог-магистралей и веток, что по протяженности сопоставимо с объемами ежегодного строительства дорог общего пользования. Современные лесовозные автомобильные дороги представляют собой сложные и дорогостоящие инженерные сооружения. К числу основных элементов дороги относится земляное полотно, сооружаемое из местных грунтов путем производства земляных работ, стоимость выполнения которых составляет 15...40 % от стоимости строительства автодороги [1–6].

Современное лесное дорожное строительство характеризуется высокой степенью механизированного исполнения отдельных видов работ. Особую актуальность и значимость для лесной отрасли имеют вопросы и проблемы повышения эффективности работы машин для производства земляных работ в лесном дорожном строительстве. Земляные дорожно-строительные работы - это сложный технологический процесс с возможностью применения широкой номенклатуры машин, разнообразных организационных и технологических решений [2, 3, 7–11]. Эффективность использования тех или иных технологий, кроме машин, в значительной мере определяется рациональностью распределения земляных масс при организации производства работ.

Оптимизация способов организации земляных работ и применяемых технологий является технико-экономической задачей, решение которой позволяет обеспечить качественное выполнение работ в заданные сроки с наибольшей экономической эффективностью использования всех ресурсов предприятия, включая технические [3, 11, 12].

Производственные мощности организаций лесного дорожного строительства формировались в основном без учета реальной потребности в производственных мощностях и часто образцами подержанной зарубежной техники. Сложившаяся структура парка машин, каждая из которых способны выполнять только одну – две операции производственного цикла, приводит к тому, что для выполнения всей совокупности работ по созданию земляного полотна необходимо формирование комплекта машин, способных их реализовать. Это обстоятельство в условиях острой взаимосвязи дорожно-строительных операций вызывает не полную загрузку машин с высокой производительностью и значительные потери рабочего времени. Сокращение простоев на основе рациональной комплектации комплексных потоков и организации земляных работ является резервом повышения производительности дорожно-строительных машин и повышения эффективности строительства лесовозных дорог [13–15, 17].

Имеющиеся на сегодняшний день методики формирования технологических комплексов машин в сфере лесного дорожного строительства изучены недостаточно, имеющиеся подходы основаны на общих рекомендациях строительных норм и правил (СНиП и СП), отражающих устаревшие представления о применяемых материалах, технологиях и средствах механизации технологических процессов. Сегодня в строительной отрасли существуют иные способы привлечения техники, и одним из наиболее распространенных способов является аренда. В

определенных условиях аренда выгодней и рациональней, чем приобретение, причем выгоднее не только с финансовой точки зрения. Такой способ привлечения техники позволяет строителям тратить деньги на нее только тогда, когда техника действительно необходима, а все обязательства по ремонту и обслуживанию машин остаются за арендодателем. В связи с этим использование современных подходов, методов и средств для решения организационных задач, направленных на рациональное распределение производственных ресурсов, в том числе в процессе распределения земляных масс и формирования эффективных технологических комплексов в лесном дорожном строительстве, является актуальной задачей.

**Степень разработанности проблемы.** Проблема эффективности производства земляных работ в лесном дорожном строительстве весьма актуальна. Значительный вклад в решение проблемы повышения эффективности лесного дорожного строительства внесли работы таких отечественных ученых, как Б.А. Ильина, В.К. Курьянова, О.Н. Бурмистровой, А.В. Скрыпникова, С.В. Дорохина, А.А. Камусина, В.Г. Козлова, Е.В. Кондрашовой, Д.М. Левушкина, В.П. Подольского, Э.О. Салминена, В.С. Сюнева, М.Ю. Смирнова, Н.А. Тюрина, и др.

Однако следует отметить, что список литературы об оценке эффективности производства земляных работ достаточно беден; фундаментальных исследований, по существу, данной проблемы практически нет.

**Цель исследования** повышение эффективности производства земляных работ в лесном дорожном строительстве за счет рационального распределения земляных масс и формирования рациональных технологических комплексов с учетом условий их функционирования и характера производственных задач.

**Задачи исследования:**

1. Создание математической модели и алгоритма рационального распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве.
2. Разработка автоматизированной системы распределения земляных масс в дорожном строительстве.
3. Создание экономико-математической модели рационального распределения дорожных машин строительной организации по объектам строительства с учетом возможности как передачи так и получения необходимой техники в аренду. Выполнение экспериментальной проверки моделирования.

**Объектом исследования** являлись механизмы, методы, математические модели и алгоритмы процесса производства земляных работ в лесном дорожном строительстве.

**Предметом исследования** являлись технико-экономические показатели функционирования моделируемой технологической системы в ходе реализации технологического процесса возведения земляного полотна автомобильной лесовозной дороги в зависимости от эксплуатационно-технологических параметров объектов исследования, входящих в состав этой системы.

**Научная новизна** заключается в методике проектирования производства земляных работ в лесном дорожном строительстве, рациональном распределении земляных масс, оптимизации марочного состава комплекса технологических машин при производстве таких работ на основе технологий линейного программирования.

Создана экономико-математическая модель расчета эффективной структуры парка машин с точки зрения системы производственной эксплуатации, которая складывается из эффектов всех специализированных



комплектов машин и эффекта от передачи машин парка в аренду. Учет возможности передачи или получения техники в аренду позволяет улучшить технико-экономические показатели эксплуатации парка машин.

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Разработано математическое и программное обеспечение для автоматизированного выбора технологии производства земляных работ и рациональной структуры парка машин, создана программа расчета рационального распределения земляных масс с учетом имеющихся в строительной организации машин для земляных работ.

Результаты работы могут быть востребованы лесозаготовительными и дорожно-строительными предприятиями в период проектирования производства земляных работ, обновления машинных парков, а также при выборе рационального варианта использования имеющегося парка, прогнозировании продолжительности и стоимости ведения механизированных работ.

**Методология и методы исследования** основана на теории системного анализа и теории исследования операций, экономико-математическом моделировании процесса распределения земляных масс и организации дорожно-строительных работ, математической теории линейного программирования и машинном вычислительном эксперименте.

### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Методика проектирования производства земляных работ в лесном дорожном строительстве на основе рационального распределения земляных масс и выбора техники и технологий возведения земляного полотна.
2. Автоматизированная система рационального распределения земляных масс при проектировании производства дорожных земляных работ.

3. Экономико-математическая модель рационального распределения дорожных машин строительной организации по объектам строительства с учетом возможности как передачи, так и получения необходимой техники в аренду.

**Личный вклад соискателя** заключается в выполнении теоретической части, проведении экспериментальных исследований, получения результатов, разработке и внедрении практических рекомендаций.

**Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности.** Результаты, выносимые на защиту, относятся к пункту 15 - Обоснование схем транспортного освоения лесосырьевых баз, поставки лесопродукции, выбора техники и способов строительства лесовозных дорог и инженерных сооружений (паспорт специальности 05.21.01 - Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства).

**Достоверность выводов и результатов исследований обеспечена:** базированием исследований на методах системного анализа; теории математического моделирования; научной обоснованностью использованной методики экспериментальных исследований и применением современных методов математической обработки их результатов; применением аналитических и экспериментальных методов исследований; программы Microsoft Excel, среды программирования C#.

**Апробация результатов работы.** Результаты работы обсуждались на научно-практических конференциях:

Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ за 2016 г. 23 января - 3 февраля 2017 г.

Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ за 2017 г. 23 января - 3 февраля 2018 г. [16]

Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ за 2018 г. 23 января - 3 февраля 2019 г. [18]

**Публикации.** Результаты исследований отражены в 4 научных работах, из них 2 в изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России [19, 20].

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх разделов, выводов и рекомендаций, библиографического списка из 86 наименований. Основные материалы диссертации изложены на 196 страницах машинописного текста, содержит 11 таблиц, 34 рисунков и 13 приложения.

# **1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.**

## **1.1. Особенности технологии и организации производства земляных работ в лесном дорожном строительстве**

Процессы лесопользования осуществляются на обширных территориях, носят ярко выраженный собирательный, транспортный характер, требующий развитой сети лесных дорог. Научные исследования и мировая практика показывают, что лесные ресурсы являются доступными, а ведение лесного хозяйства успешным, если плотность дорожной сети в лесном массиве составляет не менее 12...15 км на 1000 га лесной площади [21, 22]. При этом в большинстве лесных регионов плотность дорожной сети значительно ниже и в среднем по РФ составляет 1,2 км на 1000 га лесной площади [23]. Для ежегодной заготовки 200 мил. м куб. древесины в РФ требуется строительство более десяти тысячи км лесовозных автомобильных дорог в год, в том числе, более пяти тысяч км постоянных автомобильных дорог-магистралей и веток, что по протяженности сопоставимо с объемами ежегодного строительства в РФ дорог общего пользования.

Строительство лесовозных автомобильных дорог ведется хозяйственным и (или) подрядным способом. Строительство подрядным способом, специализированной дорожно-строительной организацией, более предпочтительно, ввиду высокого качества работ и обеспечения сроков строительства [11, 24].

Технологические пути (волока, усы, ветки зимнего действия) строят, в основном, хозяйственным способом, в процессе лесозаготовительного производства, а магистрали и ветки постоянного действия - подрядным. В

следствии удаленности лесозаготовительных предприятий от баз индустрии, небольшой протяженности строящихся участков дорог и их разбросанности по площади аренды, часто сложно найти подрядчика не только на строительство технологических путей, но и на строительство магистралей и веток. В этих условиях лесозаготовительное предприятие вынуждено выполнять строительство дорог хозяйственным способом [9, 22].

Дорожно-строительные работы относятся к линейным и это определяет особенности организации их производства. Трудности при этом в лесном дорожном строительстве состоят в распределении не только дорожных работ на значительном протяжении по длине строящейся дороги, но и объектов строительства по территории арендной базы. Для лесного дорожного строительства, в отличие от строительства дорог общего пользования, характерно распределение множества небольших по протяженности участков строящихся дорог на значительной площади арендной базе лесозаготовительного предприятия.

Наиболее совершенным и научно обоснованным способом организации строительства лесовозных дорог является поточное производство. При поточном методе строительства передвижные механизированные комплексные потоки постоянного состава для определенных условий и вида работ непрерывно и равномерно выполняют работы с периодической сдачей полностью законченных работ и участков готовой дороги [9, 24].

Современные лесовозные автомобильные дороги представляют собой сложные и дорогостоящие инженерные сооружения. К числу основных элементов дороги относится земляное полотно, сооружаемое из местных грунтов, стоимость строительства которого составляет 15...40 % от общей стоимости строительства автодороги [1–6].

Объемы работ при возведении земляного полотна зависят от конструкции земляного полотна, рельефа местности, типа грунтов и других местных условий. Средний объем земляных работ при постройке дорог в равнинной и слабопересеченной местности составляет на 1 км земляного полотна для магистралей лесовозных автомобильных дорог - 15-20 тыс. м<sup>3</sup>. В условиях пересеченной местности объем работ обычно бывает в 1,5-2 раза выше, чем в равнинной местности [2, 12].

Основные работы по сооружению земляного полотна включают: разработку выемок и возведение насыпей с послойным разравниванием и уплотнением грунтов; планировку поверхности и откосов земляного полотна и выработанных резервов, укрепление откосов; рекультивацию карьеров и резервов.

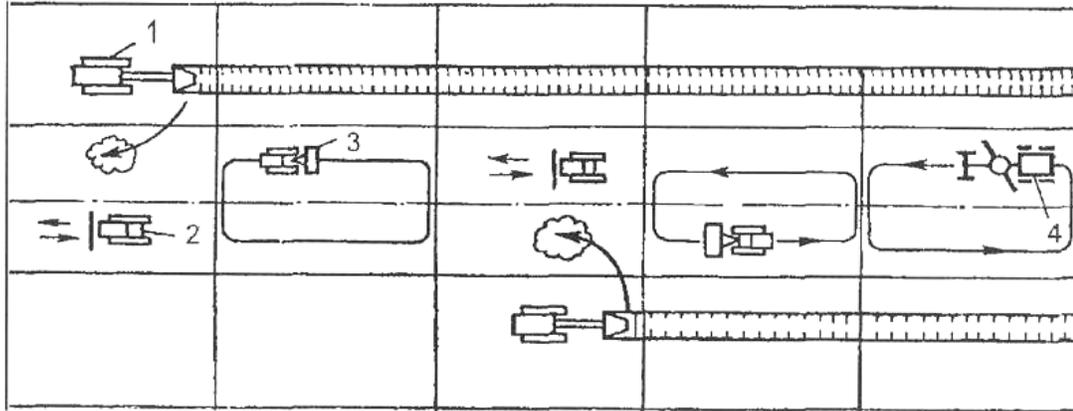
Насыпи возводят горизонтальными или слабонаклонными слоями, отсыпаемыми поперечным или продольным способом. При поперечном способе насыпь отсыпают из резервов на всю ширину и длину, применяя бульдозеры, автогрейдеры, скреперы, экскаваторы, а на открытых местах грейдер-элеваторы. Для лесного дорожного строительства характерно использование в качестве ведущих машин лишь бульдозеров и экскаваторов [11, 22, 24, 25].

Продольный способ применяют при устройстве насыпи из соседней выемки и грунтовых карьеров, а также при отсыпке подходов к мостовым переходам и при засыпке оврагов и труб. В лесном дорожном строительстве здесь используют в качестве ведущих машин бульдозеры и экскаваторы. При разработке выемок грунт транспортируют в соседнюю насыпь (продольный способ) или отвозят в отвал-кавалер (поперечный способ). Выемки из-за сложности отвода поверхностных и грунтовых вод на лесных дорогах применяют редко. Они занимают примерно около 10 % от общего объема

земляных работ, не обеспечивая таким образом баланс грунта насыпей и выемок. В этих условиях для возведения насыпей необходимо заложение резервов и карьеров грунта. Так возникает задача определения оптимальных способов выполнения работ и областей применения грунта выемок, резервов и карьеров, в решении которой существенную роль играет определение оптимального плана перемещения земляных масс и распределение объемов работ по способам их выполнения.

Выемки глубиной до 6 м при однородных грунтах разрабатывают бульдозерами или экскаваторами сразу до проектных отметок. При глубоких выемках, когда максимальная высота забоя для экскаватора меньше глубины выемки, применяют ярусный способ, обеспечивающий постепенную ярусную разработку выемки.

В равнинной местности основной тип земляного полотна лесовозных дорог, вследствие повышенной влажности лесных грунтов - невысокая (до 1,0...1,5 м) насыпь. Такие насыпи при наличии благоприятных грунтово-гидрологических условий часто устраивают путем поперечного перемещения грунта, разрабатываемого в боковых резервах бульдозерами. При возведении земляного полотна однопутных лесовозных дорог возможно использование в качестве ведущей машины экскаватора с перемещением грунта из продольных боковых канав в насыпь [26, 27] (рисунок 1.1 и 1.2).



**Рисунок 1.1.** Технологическая схема устройства насыпи экскаватором из грунта боковых продольных канав



**Рисунок 1.2.** Возведение земляного полотна из боковых канав экскаватором

В холмистой местности основной тип земляного полотна - это насыпи более значительной высоты. Такие насыпи устраиваются в основном путем



разработки сосредоточенных резервов, карьеров и выемок с продольным перемещением грунта [2, 3, 10, 28].

Таким образом, основными ведущими машинами для производства земляных работ в лесном дорожном строительстве являются бульдозеры и экскаваторы. Бульдозеры используются на возведении насыпей из боковых и сосредоточенных резервов и на разработке выемок. Экскаваторы на возведении невысоких насыпей из боковых продольных канав и в комплексе с автомобилями–самосвалами, для разработки глубоких выемок и возведения любых насыпей из грунта карьеров.

Организацию работ по строительству дороги проектируют в два этапа [2, 3, 10, 11]. На первом этапе проектная организация составляет проект организации строительства (ПОС). На втором этапе дорожно-строительная организация составляет проект производства работ (ППР).

Организация строительства – это совокупность мероприятий планирования, управления, производства работ, материального и технического обеспечения в целях реализации проектных решений по строительству дороги. Технология работ отвечает на вопрос, как и чем выполняется тот или иной технологический процесс. Организация же работ представляет собой увязку всех имеющихся ресурсов во времени, т. е. отвечает на вопрос, когда и кому выполнять данный технологический процесс.

Целью организации строительства является возведение сооружения, предусмотренного проектом. Организация строительства лесной дороги должна обеспечить: высокую производительность труда и наиболее эффективное использование основных производственных фондов в течение всего периода строительства, выполнение работ в заданные сроки, минимальную себестоимость строительства при высоком качестве работ. Проект организации строительства создается проектной организацией на

основе самых современных машин и технологий дорожного строительства. Главное назначение ПОС – определение сметной стоимости объекта.

Проект производства работ (ППР) создается дорожно-строительной организацией – подрядчиком работ при подрядном способе или самим лесозаготовительным предприятием при хозяйственном способе строительства. Он разрабатывают на основе имеющейся в строительной организации и возможной для привлечения технической вооруженности, наличия сил и средств дорожно-строительного производства, обеспечивающих выполнение работ в намеченные сроки. ППР создается с целью определения эффективных методов выполнения строительномонтажных работ, способствующих снижению их себестоимости и трудоемкости, сокращению продолжительности строительства объектов, повышению степени использования строительных машин и оборудования, улучшению качества строительномонтажных работ и обеспечении безопасности труда. Осуществление строительства без ППР запрещается.

Исходными данными для разработки ППР служат: сводная смета; проект организации строительства; рабочие чертежи; задание на разработку проекта производства работ, содержащее сведения об объеме и сроках работ; сведения о количестве и типах намечаемых к использованию строительных машин и механизмов; сведения о рабочих кадрах по основным профессиям; данные о наличии производственных предприятий, баз, полигонов, карьеров и их мощности [2, 3, 10, 11].

Современное лесное дорожное строительство характеризуется высокой степенью механизированного исполнения отдельных видов работ. Особую актуальность и значимость для лесной отрасли имеют вопросы и проблемы повышения эффективности работы машин для производства земляных работ в лесном дорожном строительстве.

Производственные мощности организации лесного дорожного строительства формировались в основном без учета реальной потребности в производственных мощностях и образцами подержанной зарубежной техники. Это обстоятельство в условиях острой взаимосвязи дорожно-строительных операций вызывает не полную загрузку машин с высокой производительностью в дорожном комплексе и значительные потери рабочего времени. В связи с этим в изучении технологических процессов при использовании комплексов машин значительное внимание следует уделить показателю времени простоя техники в процессе производства работ.

Время простоя разделяют на два вида, первый из них - технологические простои, которые имеют место в случае отсутствия у технологической машины фронта работ или в ситуациях, ограничивающих скорость выполнения работы текущей операции по отношению к впереди идущей, выполняемой с меньшей производительностью. Ко второму виду относятся технические простои. Из общей формулировки можно выделить простои, связанные с проведением технического обслуживания и простои, обусловленные внезапными отказами, классифицируемые по группам сложности. Наличие перечисленных факторов оказывают заметное влияние на процесс производства работ за счёт нарушения стабильного функционирования элементов технологической системы. Сокращение простоев на основе рациональной организации дорожных работ является резервом повышения производительности дорожных машин и повышения эффективности строительства лесных дорог.

Выбор средств механизации для земляных работ зависит от множества факторов: от конструкции земляного полотна (насыпь, выемка), рабочих отметок, свойств грунтов и их состояния, дальности перемещения, объёмов работ, сроков строительства и возможности полной и равномерной загрузки

выбранных средств механизации в течение всего срока выполнения работ. Сначала выбирают ведущую машину, при помощи которой выполняют основные объёмы, а затем вспомогательные машины для выполнения всех остальных работ входящих в технологический процесс сооружения земляного полотна. Ведущую и вспомогательные машины подбирают из условия комплексной механизации работ с увязкой всех машин по производительности.

Большое влияние на производительность машин, используемых для земляных работ и на стоимость этих работ, оказывает вид и состояние разрабатываемого грунта. По трудности разработки различными машинами грунты делят на группы: 1 – легко разрабатываемые, 2 – средней трудности разработки, 3 – тяжёлые для разработки, 4 – особо тяжёлые для разработки. Грунты 3, 4 групп необходимо послойно рыхлить для более эффективного использования землеройных машин.

При выборе машин для сооружения земляного полотна предлагается использовать следующие рекомендации [22], основанные на опыте строительства (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Комплекты машин для строительства земляного полотна

№ комплекта	Ведущая машина	Вспомогательные машины	Условия применения
1	Бульдозер	Рыхлитель, каток, автогрейдер	Возведение насыпей из боковых резервов высотой до 1,5 м, насыпей из выемок и сосредоточенных резервов, выемок в насыпь и кавальер. Расстояние перемещения до 100 м

2	Экскаватор с транспортными средствами	Бульдозер, каток, автогрейдер	Насыпи из карьеров, выемки в насыпь. Расстояние перемещения 0,5 км и более
3	Экскаватор	Бульдозер, каток, автогрейдер	Возведение насыпи из канав и боковых резервов, разработка выемок в отвал
4	Скрепер	Рыхлитель, бульдозер, каток, автогрейдер	Возведение насыпей и разработка выемок при расстоянии перемещения грунта 0,1...3 км
5	Автогрейдер	Рыхлитель, каток	Возведение насыпей высотой до 0,8 м из канав или боковых резервов

Для объектов лесного дорожного строительства, в отличие от объектов строительства дорог общего пользования, характерна повышенная влажность лесных грунтов и высокая заболоченность лесосырьевых баз лесозаготовительных предприятий. Все это усложняет производство земляных работ и уменьшает возможность использования в качестве ведущих землеройно-транспортных машин, рекомендуемых в (таблица 1.1), скреперов и автогрейдеров.

Снижение стоимости строительства лесных дорог может быть достигнуто за счет более широкого использования местных дорожно-строительных материалов. Местные грунты являются основным дорожно-строительным материалом, из которого сооружается земляное полотно дороги. Распределение земляных масс предполагает решение двуединой задачи – выбор источников грунтов для возведения насыпей, маршрутов транспортировки грунта и системы машин для выполнения этих операций. В ПОС проектная организация использует самые современные технологии и машины для производства земляных работ, которые часто отсутствуют у производителей работ в подрядных организациях. Подрядчик на этапе ППР

вынужден организовывать земляные работы на основе имеющихся в организации машин и технологий, что требует формирование своих комплектов средств механизации и перераспределения земляных масс, предложенного в ПОС. Решение этих вопросов оформляется в виде графика распределения земляных масс (рисунок 1.3).

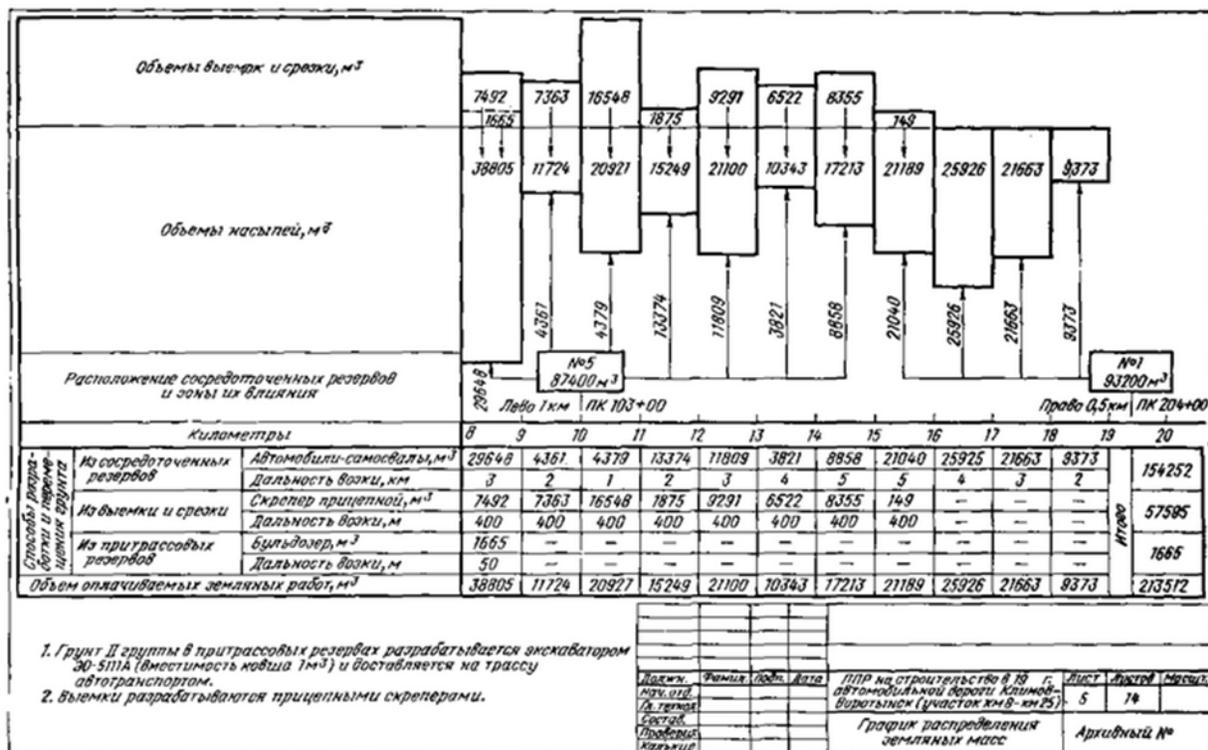


Рисунок 1.3 – Графики распределения земляных масс

График распределения земляных масс составляется на основе покикетных объёмов земляных работ, технико-экономического обоснования разработки и перемещения грунта различными механизмами, а также рекомендаций по выбору ведущих машин для земляных работ. В графике указываются покикетные объёмы насыпи, выемки, источники грунта для возведения насыпи, места транспортировки грунта из выемок и применяемые землеройно-транспортные машины.

При составлении графика распределения необходимо стремиться к максимальному использованию грунта из выемок для возведения соседних насыпей. Такое распределение наиболее экономично, так как обеспечивает одновременное выполнение разработки выемки и создание насыпи. Ограничением здесь могут быть только предельное, эффективное расстояние транспортировки грунта и пригодность грунта выемки к использованию в земляном полотне. В противном случае грунты выемок приходится отсыпать в отвалы (кавалеры).

Вторым по эффективности источником получения грунта для насыпей являются грунты боковых резервов. Этот источник грунта является наиболее рациональным на всех участках трассы, где закладка боковых резервов возможна, а грунт отвечает требованиям строительства. Дешевизна этого грунта делает целесообразным его использование и в тех случаях, когда высота насыпи более 1,0...1,5 м, что ограничивает возможность применения такой высокопроизводительной машины, как бульдозер. В этом случае грунт из боковых резервов может быть использован для отсыпки нижней части насыпи на высоту до 1 м от поверхности земли, а остальная часть насыпи создана путем продольной транспортировки грунта из карьеров или сосредоточенных резервов [2, 3, 10, 11, 22, 24].

Применение в качестве источника грунта для отсыпки насыпей сосредоточенных резервов и грунтовых карьеров связано с транспортировкой грунта на значительные расстояния, обходится дорого и должно быть ограничено лишь для отсыпки высоких (более 1...1,5 м) насыпей, наличие непригодных для земляного полотна местных грунтов и на пересечениях болот, где закладка боковых резервов невозможна. При этом возникает необходимость в оптимальном размещении вдоль строящейся дороги резервов и карьеров с установлением для каждого границ зон снабжения [11].

К особенностям лесного дорожного строительства так же относятся значительная изменчивость грунтово-гидрологических условий по длине дороги, что усложняет процесс распределения грунтов, выбор средств механизации и их использование, требуя применения систем автоматизированного проектирования.

## **1.2. Анализ исследований в области организации эффективного производства земляных работ в дорожном строительстве**

К настоящему времени исследованию организации дорожно-строительного производства посвящено огромное количество работ. Повышению эффективности использования дорожно-строительных машин посвящены труды А.И. Зеленина, В.Н. Баловнева, Ф.К. Абдразакова, Ю.М. Бузина, В.Д. Бурдакова, А.В. Ильичева, В.Н. Иванова, Е.Д. Корана, В.И. Костюченко, А.П. Крившина, И.А. Недорезова, П.И. Никулина, Н.Н. Токарева, А.З. Шарца, В.С. Щербакова и других ученых [7, 8, 12, 13, 29–40]. Значительный вклад в решение проблемы повышения эффективности лесного дорожного строительства внесли работы таких отечественных ученых, как Б.А. Ильина, В.К. Курьянова, А.В. Бурмистровой, О.Н. Скрыпникова, С.В. Дорохина, А.А. Камусина, В.Г. Козлова, Е.В. Кондрашовой, Д.М. Левушкина, В.П. Подольского, Э.О. Салминена, В.С. Сюнева, М.Ю. Смирнова, Н.А. Тюрина и др. [1, 9, 11, 14, 21, 22, 41–53].

Большой вклад в теорию оптимизации дорожно-строительного парка машин с использованием современных методов математического программирования, внесли такие ученые как Иванов Н.И., Будников М.С., Сиденко В.М., Арсеньев А.М., Сорокин П.Н., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Дорохин С.В., Чернышова Е.В. и многие другие [13, 31, 34, 47–51, 54].



Эффективности таких систем, как комплекты и комплексы машин, посвящены работы А.В. Вавилова, В.Б. Веприниева, А.Я. Котлобая, Е.М. Кудрявцева, Д.В. Марова, Д.Г. Одинцова, В.Б. Пермьякова, М.С. Цицикашвили, В.Н. Шестакова и др. [37–40].

Целевые функции, основанные на себестоимости работ, присутствовали в моделях П.П. Нефедова, А.С. Пурцеладзе, С.Я. Луцкого. Работы С.Е. Канторера, С.Я. Луцкого, А.С. Мензуренко, Е.М. Кудрявцева, В.Н. Шафранского, Р.М. Брызгаловой основываются на приведенных затратах [35–40].

Попытки использовать в оптимизации парка машин финансовые результаты – чистый дисконтированный доход строительной организации, стали предприниматься лишь в последние годы, с приходом рыночных законов экономики. Например, в экономико-математической модели расчёта эффективной структуры парка машин В. Н. Иванова [13, 31] учитываются: индивидуальная эксплуатационная производительность единичной машины; затраты времени на проведение технического обслуживания и ремонта каждой машины; условие исключения перегрузки сменной мощности ремонтных средств; корректирование периодичности технического обслуживания и ремонта. Усовершенствована методика определения рациональной периодичности проведения ремонтов дорожно-строительных машин, которая дополнительно учитывает упущенную выгоду от падения эксплуатационной производительности машин и увеличение затрат из-за роста требуемой продолжительности техобслуживания и ремонта с увеличением межцикловой наработки, а также упущенную выгоду из-за простоя техники в ремонте. Оптимизация парков предприятия производилась методами Монте Карло с использованием метода целочисленной оптимизации ветвей и границ.

Логистические взаимосвязи при функционировании парков машин, а также такие новые формы улучшения их структуры, как лизинговые операции с техникой, рассматриваются в трудах Б.Г. Ким [33].

Использование математических моделей теории массового обслуживания для оптимизации структуры парка предпринято в работах Кузнецова Е.М. [35, 36]. Комплект строительных и дорожных машин рассматривается как многоканальная замкнутая система массового обслуживания, например, экскаваторы-автосамосвалы, скреперы-толкач и т.п. Машины, поступающие на обслуживание, находятся в системе до тех пор, пока не будут обслужены - система с неограниченным временем ожидания обслуживаемых машин. Потоки событий, происходящих в системе, в процессе ее работы простейшие. Известны:

- интенсивность поступления одной машины на обслуживание –  $\lambda$ ;
- интенсивность обслуживания каналом -  $\mu$ .

Известны также основные технико-экономические показатели функционирования каждой машины комплекта. Требуется определить оптимальную структуру комплекта, т.е. какое число машин должны обслуживать заданное число ведущих машин (каналов обслуживания) по критерию приведенных расходов. Такая оптимизация возможна при известных статистических законах входящего потока и статистических законах обслуживания, которые пока не исследованы в лесной отрасли. К тому же рассматривается поток, который обладает одновременно свойствами стационарности, ординарности и отсутствием последствия, что достаточно далеко от реальной действительности [55].

В последнее время все больше и больше появляется работ, в основу которых положены принципы теории вероятностей, массового обслуживания, деловых игр. С помощью теории деловых игр представляется возможным

оптимизировать элементы специализированных строительных потоков, например, структуру машинных парков и звеньев дорожно-строительных отрядов, выполняющих комплекс работ [13, 30–33, 35–37, 45, 46, 56]. Большое внимание этой проблеме уделяется зарубежными исследователями [57–65].

Оптимальное комплектование строительных и дорожных машин в условиях неполной определенности о среде проводится в соответствии с теорией вероятности Кудрявцевым Е.М. [37–40]. При этом должно быть известно условное распределение вероятностей состояния среды, которое для лесного дорожного строительства полностью отсутствует.

Анализ источников, посвященных вопросам повышения эффективности использования парков машин дорожно-строительных организаций, позволил сделать вывод, что в данной теме есть вопросы, которые необходимо изучить более глубоко и подробно во взаимосвязи друг с другом.

Требуется дальнейшее совершенствование методики определения эффективного использования парка машин. Проведенный анализ существующего положения в изучаемом вопросе показывает, что к настоящему времени есть еще не реализованные возможности в использовании математического моделирования парка машин.

Научные исследования, стратегически направленные на комплексное рассмотрение систем технической и производственной эксплуатации парков машин, требуют своего развития. Необходимо совершенствование математических моделей повышения эффективности использования парка машин, учитывающих простои машин в комплектах и возможности их аренды.

При расчёте эффективного по структуре парка дорожно-строительных машин в большинстве проанализированных моделей отсутствует привязка результатов расчёта к процессу проектирования производства работ.

Как правило, применение рассмотренных методик эффективно при наличии большого парка машин и практически не реализуем для лесозаготовительных предприятий и малых предприятий лесного дорожного строительства. При жесткой конкуренции на рынке труда и постоянно изменяемой стоимости производства работ малые предприятия с трудом могут позволить себе оптимизацию технического сервиса или покупку новой единицы техники. Повышение эффективности эксплуатации парка, полученное за счет рационального распределения ресурсов организации и аренды дорожной техники, может быть достигнуто без дополнительных капиталовложений.

Анализ тематической литературы по оптимизации параметров функционирования технологических процессов в дорожно-строительном производстве показал разделение критериев оптимальности на стоимостные и вещественно-натуральные. Стоимостные критерии, как правило, являются главными при определении состава комплекса машин [14, 34, 54, 66–71].

Вещественно-натуральные критерии оптимальности, также могут быть применены для планирования состава комплекса технологических машин. Можно выделить следующие вещественно – натуральные критерии, актуальные для производства земляных работ:

1. суммарная наработка комплекса;
2. минимум продолжительности производства работ;
3. минимум энергетических затрат;
4. минимум трудовых затрат.

Минимум суммарной наработки и продолжительности работ комплекса позволяет найти вариант наиболее удачного распределения имеющихся в парке машин сочетаний и, соответственно, наилучший уровень синергии между элементами системы, но необязательно приведет к уменьшению

стоимости. Минимум энергетических и трудовых затрат скорее являются частными критериями и используются в совокупности в виде аддитивного критерия.

Многие ученые отмечают, что недостаточно использовать лишь один критерий оптимальности [13, 31, 34–38, 72, 73]. Поэтому для решения некоторых задач прибегают к использованию интегральных критериев оптимальности. Особенность заключается в приведении значений частных факторов в безразмерный вид. Пример формирования интегрального критерия в основном производится в виде взвешенной суммы частных показателей

Существенным недостатком отображения интегрального критерия является отсутствие возможности отслеживания изменений частных факторов, так как в ситуации изменения одного критерия до минимального или нулевого значения может быть компенсировано ростом других.

В задачах лесного дорожного строительства, как правило, все работы пытаются производить в срок до наступления зимнего сезона. Поэтому для оптимизации состава технологического комплекса при строительстве лесовозных дорог необходимо выбирать главным критерием - затраты на производство работ, а ограничением - сроки строительства.

Анализ источников, посвященных вопросам повышения эффективности производства земляных работ и использования парков машин дорожно-строительных организаций, позволил сделать вывод, что в данной теме есть вопросы, которые необходимо изучить более глубоко и подробно во взаимосвязи с друг другом. Требуется дальнейшее совершенствование методики проектирования производства земляных работ и определения эффективного использования парка машин.

### **1.3. Выводы и задачи исследования.**

Современное лесное дорожное строительство характеризуется высокой степенью механизированного исполнения отдельных видов работ. Особую актуальность и значимость для лесной отрасли имеют вопросы и проблемы повышения эффективности работы машин для производства земляных работ в лесном дорожном строительстве.

Применение существующих и развивающихся методов организации и планирования производства земляных работ в большей степени прогрессирует в практике жилищного и промышленного строительства и в меньшей мере в транспортном строительстве и, особенно, в строительстве лесовозных автомобильных дорог с их существенными особенностями организации строительства. Существующие методы организации и планирования производства земляных работ еще в недостаточной мере учитывают ее специфику и динамику взаимного влияния дорожно-строительных процессов в ходе их выполнения. Производственные мощности организаций лесного дорожного строительства формировались в основном без учета реальной потребности в производственных мощностях и в последнее время часто образцами подержанной зарубежной техники. Это обстоятельство в условиях острой взаимосвязи дорожно-строительных операций вызывает не полную загрузку машин с высокой производительностью и значительные потери рабочего времени. Сокращение простоев на основе рациональной комплектации комплексных потоков и организации производства земляных работ является резервом повышения производительности дорожно-строительных машин и повышения эффективности строительства лесовозных дорог.

В результате анализа имеющейся литературы, можно сделать предположение о необходимости дальнейшего совершенствования методов современного проектирования производства земляных работ. Цель исследования - повышение эффективности производства земляных работ в лесном дорожном строительстве за счет рационального распределения земляных масс и оптимизации использования машинных парков строительной организации.

По результатам исследования выполненного в первой главе можно сделать следующие выводы:

1. Проведен анализ существующих особенностей технологии и организации производства земляных работ в лесном дорожном строительстве. Выявлено, что для лесного дорожного строительства в отличие от строительства дорог общего пользования характерна высокая рассредоточенность объектов строительства, наличие множества небольших по протяженности участков строящихся дорог на значительной площади арендной базы лесозаготовительного предприятия.
2. Исследованы особенности технологического процесса производства работ на линейно-протяженных сооружениях лесного дорожного строительства. На объектах подобного типа характерна повышенная влажность лесных грунтов и высокая заболоченность лесосырьевых баз лесозаготовительных предприятий. Все это усложняет производство земляных работ и уменьшает возможность использования в качестве ведущих землеройно-транспортных машин скреперов и автогрейдеров.
3. Проект производства работ (ППР) создается дорожно-строительной организацией – подрядчиком работ при подрядном способе или

самим лесозаготовительным предприятием при хозяйственном способе строительства. Он разрабатывается на основе имеющейся в строительной организации и возможной для аренды технической вооруженности, наличия сил и средств дорожно-строительного производства, обеспечивающих выполнение работ в намеченные сроки.

4. В проекте организации строительства проектная организация использует самые современные технологии и машины для производства земляных работ, которые часто отсутствуют у производителей работ в подрядных организациях. Подрядчик на этапе ППР вынужден организовывать земляные работы на основе имеющихся в организации или арендуемых машин и технологий, что требует перераспределения земляных масс и формирование своих комплектов средств механизации, в отличие от предложенного в проекте организации строительства.
5. Производственные мощности организаций лесного дорожного строительства формировались в основном без учета реальной потребности в производственных мощностях и образцами подержанной зарубежной техники. Это обстоятельство в условиях острой взаимосвязи дорожно-строительных операций и разнообразия объектов строительства вызывает необходимость формирования возможных дорожных комплексов на основе имеющейся в организации и арендуемой техники и выбора наиболее эффективных.
6. Основными ведущими машинами для производства земляных работ в лесном дорожном строительстве являются бульдозеры и экскаваторы. Бульдозеры используются на возведении насыпей из боковых и сосредоточенных резервов и на разработке неглубоких



выемок. Экскаваторы - на возведении невысоких насыпей из боковых продольных канав и в комплексе с автомобилями–самосвалами, для разработки глубоких выемок и возведения любых насыпей из грунта карьеров.

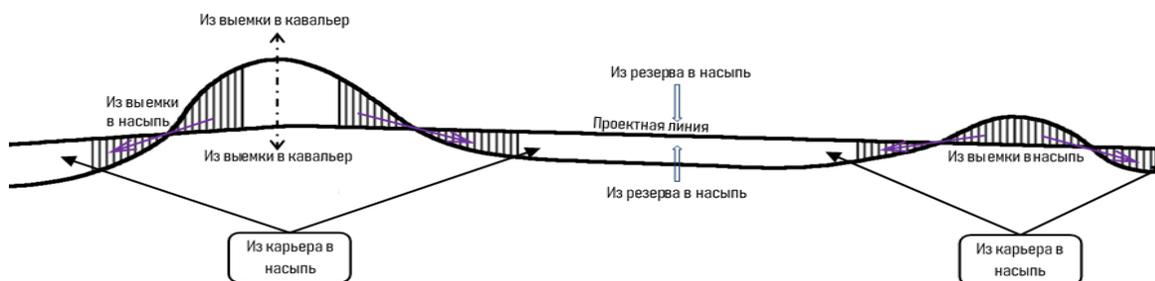
7. Проведен анализ современных информационных решений по организации эффективных производственных процессов земляных работ, предложен наиболее эффективный инструмент для реализации задач по повышению эффективности использования наличного парка машин с возможностью распределения земляных масс под имеющиеся в строительной организации комплексы землеройно-транспортных машин.
8. Для выполнения земляных работ в лесном дорожном строительстве, как правило, определяется необходимая технология и подбирается комплекс машин из имеющегося парка. Грамотное распределение имеющихся производственных ресурсов и выбор рационального состава комплекса машин для производства земляных работ, с учетом возможности передачи или получения техники в аренду, позволит повысить экономику предприятия, обеспечив ему условия устойчивого развития.
9. Проведенный анализ передовых направлений в планировании, организации и производстве земляных работ позволяет сделать выводы, что применение их при строительстве лесовозных автомобильных дорог, при соответствующем отражении специфики строительства лесовозных автомобильных дорог, является одним из прогрессивных путей повышения эффективности дорожно-строительного производства.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В ЛЕСНОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### 2.1. Оптимизация распределения земляных масс

Местные грунты являются основным дорожно-строительным материалом из которого сооружается земляное полотно лесных дорог, а в ряде случаев и конструктивные слои дорожных одежд [74].

Вследствие сложных грунтово-гидрологических условий лесной зоны характеризующейся повышенной влажностью лесных грунтов, земляное полотно лесных автомобильных дорог проектируют, как правило, в насыпях. Выемки используют лишь на коротких участках для смягчения продольных уклонов [2]. На лесных дорогах обычно нет равенства объемов грунта, получаемого при разработке выемок и требуемого объема для отсыпки насыпей. В этой связи необходимо использование для возведения насыпей, кроме выемок еще и боковых и сосредоточенных резервов, и грунтовых карьеров (рисунок 2.1).



**Рисунок 2.1.** Схема к распределению земляных масс

Так возникает задача определения рациональных способов выполнения работ и областей применения грунта выемок, резервов и карьеров, в решении которой существенную роль играет определение оптимального плана

распределения земляных масс и распределение объемов работ по способам их выполнения с учетом имеющейся в строительной организации техники.

Выбор рационального плана перемещения земляных масс является важной частью проекта производства работ, в результате решения которой определяют наиболее целесообразные для разработки источники грунта (карьеры, резервы, выемки) и области их действия. Областью действия источника грунта (зоной снабжения) называют участок трассы, на котором для возведения насыпи используют грунт этого источника.

При традиционных методах проектирования производства работ распределение земляных масс производится в соответствии с рядом неформализованных правил, дающих многозначные результаты [3, 11]. В общем случае выбор наиболее целесообразных источников грунта и определение областей их действия с учетом возможных перемещений грунта, а также ограничений на его пригодность представляют собой многовариантную задачу, для решения которой целесообразно применение математических методов и ЭВМ [75]. Такое обстоятельство послужило причиной разработки и опытной проверки математической модели и алгоритма рационального распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве, предназначенного для реализации на ЭВМ.

В качестве исходных данных используются: профильные объемы насыпей и выемок; группы грунтов по трудности разработки; пикеты и плюсы отдельных профильных объемов, расположенных между смежными точками поверхности земли; рабочие отметки земляного полотна; отметки уровней грунтовых вод; затраты на производство земляных работ с учетом группы грунта по трудности разработки, вида механизмов и расстояния перемещения; запасы, вид и группа грунта по трудности разработки в сосредоточенных

резервах и карьерах; длина подъездных путей к карьерам и пикеты с плюсами точек примыкания карьеров к трассе проектируемой автодороги.

Вся дорога разбивается на элементарные участки, длина каждого из них равна разнице между пикетами смежных точек поверхности земли, т.е.

$$l_i = y_{i+1} - y_i; \quad (2.1)$$

где  $y_i, y_{i+1}$  - пикетаж начала и конца  $i$ -го участка поверхности земли;

$l_i$  - длина  $i$ -го элементарного участка.

Каждому  $i$ -му элементарному участку объема земляных работ соответствуют:

$Q_i$  - объем насыпи, в случае насыпи и  $W_i$  – объем выемки, в случае выемки;

$G_i$  - вид грунта  $i$ -го участка;

$T_i$  - группа грунта по трудности разработки на  $i$ -ом участке;

$h_i$  - рабочая отметка в начале  $i$ -го участка;

$H_i$  - отметка земли в начале  $i$ -го участка;

$V_i$  - уровень грунтовых вод в начале  $i$ -го участка.

При разработке алгоритма приняты следующие допущения:

1. Производственные, геологические и гидрологические условия элементарного объема земляного полотна, заключенного между двумя смежными точками поверхности земли, постоянны и соответствуют условиям, зафиксированным в первой по ходу расчета точке.

2. Работы по сооружению земляного полотна производятся заданными проектировщиком видами ведущих машин, перемещающими грунт (максимум четыре машины): бульдозерами, экскаваторами, скреперами и автосамосвалами, погружаемыми тем или иным способом. Такой состав механизмов наиболее типичен для дорожного строительства.

Критерием оптимальности распределения земляных масс является минимум стоимости производства земляных работ всеми машинами на всех участках.

$$\sum_{ij} c_{ji} v_{ji} = \min \quad (2.2)$$

где  $c_{ji}$  - затраты на перемещение 1 м<sup>3</sup> грунта  $j$ -ой машиной на  $i$ -ом объекте, руб/м<sup>3</sup>;

$v_{ji}$  – объем перемещаемого грунта машиной  $j$ -ого типоразмера на  $i$  –ом объекте, м<sup>3</sup>.

Стоимость перемещения грунта может быть представлена из постоянной и переменной составляющей расценки, зависящей от категории грунта по трудности разработки в виде:

$$c_{ji} = a(T_i) + b(T_i)l_{ji}; \quad (2.3)$$

где  $a(T_i)$  и  $b(T_i)$  – постоянная и переменная составляющие расценки на перемещение грунта  $j$ -ой машиной на  $i$ -ом объекте;

$l_{ji}$  – расстояние перемещения грунта  $j$ -ой машиной на  $i$ -ом объекте.

Результатом работы предлагаемого алгоритма распределения земляных масс являются следующие двух- и трехмерные рабочие массивы объемов земляных работ распределенных по источникам и назначению на  $i$ -ом элементе:

$K_{il}$  – из выемки в кавальер на расстояние  $l$ ;

$V_{ijl}$  – из  $j$ -той выемки в  $i$ -ую насыпь на расстояние  $l$ ;

$S_{il}$  – из продольных боковых притрассовых резервов в  $i$ -ую насыпь на расстояние  $l$ ;

$A_{jil}$  – из  $j$ -го сосредоточенного притрассового резерва или карьера в  $i$ -ую насыпь на расстояние  $l$ .

В начале алгоритма, после ввода исходных данных, создается рабочий массив элементарных рабочих объемов земляных работ, представляющий собой копию исходного профильного объема земляных работ продольного профиля. В дальнейшем, по мере распределения земляных масс, объемы распределенных насыпей и выемок в рабочем массиве будут обнуляться. Окончанием распределения земляных масс будет обнуление всех насыпей и выемок в рабочем массиве [19].

Весь алгоритм распределения земляных масс последовательно разбивается на четыре этапа, рассчитывающих распределение земляных масс соответственно [2, 76]:

- 1) из полувыемки в полунасыпь;
- 2) из выемки в насыпь или кавальер;
- 3) из боковых притрассовых резервов поперечным перемещением грунта в насыпь;
- 4) из сосредоточенных резервов и карьера продольным перемещением грунта в насыпь.

На *первом* этапе алгоритма распределяются участки полувыемок и полунасыпей в поперечном направлении по следующим правилам:

Если  $Q_i \neq 0$ ,  $W_i \neq 0$  и вид местного грунта  $\Gamma_i$  не соответствует техническим условиям для укладки в насыпь, то весь объем полувыемки перемещается в кавальер  $K_i=W_i$ ,  $T_i=C_i$ , а рабочий массив на участке корректируется на  $W_i=0$ ;

Если  $Q_i \neq 0$ ,  $W_i \neq 0$  и вид местного грунта  $\Gamma_i$  соответствует техническим условиям для укладки в насыпь, а  $Q_i < W_i$ , то грунт из полувыемки перемещается в полунасыпь  $V_i=Q_i$ ,  $T_i=C_i$ , а рабочий массив последовательно корректируется по правилу  $W_i=W_i-Q_i$  и  $Q_i=0$ ;

Если  $Q_i \neq 0$ ,  $W_i \neq 0$  и вид местного грунта  $\Gamma_i$  соответствует техническим условиям для укладки в насыпь, а  $Q_i \geq W_i$ , то грунт из уширенной раскрытой

полувыемки перемещается в полунасыпь  $V_i=Q_i$ ,  $T_i=C_i$ , а рабочий массив корректируется по правилу  $W_i=0$  и  $Q_i=0$ .

*Второй* этап алгоритма производит распределение грунта из выемок в соседние насыпи или кавальеры.

Если  $Q_i = 0$ ,  $W_i \neq 0$  и вид местного грунта  $\Gamma_i$  не соответствует техническим условиям для укладки в насыпь, то весь объем выемки перемещается в кавальер  $K_i=W_i$ ,  $T_i=C_i$ , а рабочий массив корректируется на  $W_i=0$ .

Если вид грунта в выемке  $\Gamma_i$  соответствует техническим условиям для сооружения земляного полотна, то он распределяется сначала в соседние ближайšie к выемке насыпи, а затем и более дальние. Максимальное расстояние перемещения грунта из данной выемки в соседние насыпи определяется экономически целесообразной величиной, определяемой из условия равенства затрат:

$$Z_{BH} = Z_{BK} + Z_{PH}; \quad (2.4)$$

где  $Z_{BH}$  – затраты маш-час на разработку и перемещение грунта из  $i$ -той выемки в  $j$ -ую насыпь;

$Z_{BK}$  – затраты маш-час на разработку и перемещение грунта из  $i$ -той выемки в кавальер;

$Z_{PH}$  – затраты маш-час на разработку и перемещение грунта из бокового резерва в  $j$ -тую насыпь.

На основании сметных норм на строительные земляные работы [76, 77] при разработке и перемещении грунта бульдозером в развернутом виде имеем:

$$\frac{V}{1000} \left( a(T_i) + b(T_i) \frac{l-10}{10} \right) = \frac{V}{1000} \left( a(T_i) + b(T_i) \frac{l_k-10}{10} \right) + \frac{V}{1000} \left( a(T_j) + b(T_j) \frac{l_r-10}{10} \right);$$

откуда

$$l_3 = \frac{0,1b(T_i)l_k + a(T_j) + 0,1b(T_j)l_r}{0,1b(T_i)} + 10; \quad (2.5)$$

где  $l_3$  – максимальное экономически целесообразное расстояние перемещения грунта бульдозером из выемки в насыпь;

$l_k$  – расстояние перемещения грунта бульдозером из выемки в кавальер;

$l_r$  – расстояние перемещения грунта бульдозером из бокового резерва в насыпь;

$V$  – объем перемещаемого грунта в м куб;

$a(T_i)$ ,  $a(T_j)$  – затраты маш-час на разработку и перемещение грунта из  $i$ -той выемки в  $j$ -тую насыпь и из бокового резерва в  $j$ -тую насыпь на расстояние 10 м;

$b(T_i)$ ,  $b(T_j)$  – затраты маш.-час на перемещение грунта из  $i$ -той выемки в  $j$ -тую насыпь и из бокового резерва в  $j$ -тую насыпь на каждые последующие 10 м;

Перемещение грунта в  $j$ -ую насыпь будет экономически целесообразно, если

$$|y_i - y_j| / 2 \leq l_3; \quad (2.6)$$

где  $y_i$ ,  $y_j$  пикеты начала и конца распределяемых элементарных участков  $i$ -ой выемки и  $j$ -ой насыпи.

Если перемещение грунта из выемки в насыпь будет экономически целесообразно (2.6), то распределение земляных масс будет выполняться по следующим правилам:

Если  $Q_j \neq 0$ ,  $W_i \neq 0$ , вид местного грунта выемки  $\Gamma_i$  соответствует техническим условиям для укладки в насыпь и  $Q_j \geq W_i$ , то весь объем выемки перемещается в насыпь  $V_i = W_i$ ,  $T_i = C_i$ , а рабочий массив корректируется на  $Q_j = Q_j - W_i$  и  $W_i = 0$ ;



Если  $Q_j \neq 0$ ,  $W_i \neq 0$ , вид местного грунта выемки  $\Gamma_i$  соответствует техническим условиям для укладки в насыпь и  $Q_j < W_i$ , то часть объем выемки перемещается в насыпь  $V_i = Q_j$ ,  $T_i = C_i$ , а рабочий массив корректируется на  $W_i = W_i - Q_j$  и  $Q_j = 0$ .

Если перемещение грунта из выемки в насыпь будет экономически не целесообразно (2.6), то распределение земляных масс будет выполняться по следующим правилам:

Если  $Q_j \neq 0$ ,  $W_i \neq 0$ , и  $|y_i - y_j|/2 > l_3$  то весь объем выемки перемещается в кавальер  $K_i = W_i$ ,  $T_i = C_i$ , а рабочий массив корректируется на  $W_i = 0$ .

В результате работы второго этапа алгоритма все объемы земляных работ выемок будут обнулены в рабочем массиве и окажутся распределенными либо в насыпи, либо в кавальеры.

*Третий* этап алгоритма распределения земляных масс предполагает возведение участков насыпей из продольных боковых притрассовых резервов по следующим правилам:

Если  $Q_i \neq 0$ , вид местного грунта резерва  $\Gamma_i$  соответствует техническим условиям для укладки в насыпь, уровень грунтовых вод на участке ниже дна резерва  $H_i - B_i \geq 1.0$  и высота насыпи менее предельной для поперечного возведения земляного полотна  $h_i \leq 1.0$ , то весь объем насыпи создается из притрассового резерва  $S_i = Q_i$ ,  $T_i = C_i$ , а рабочий массив корректируется на  $Q_i = 0$ ;

если  $Q_i \neq 0$ , вид местного грунта резерва  $\Gamma_i$  соответствует техническим условиям для укладки в насыпь, уровень грунтовых вод на участке ниже дна резерва  $H_i - B_i \geq 1.0$  и высота насыпи более предельной для поперечного возведения земляного полотна  $h_i > 1.0$ , то нижняя часть насыпи создается из притрассового резерва  $S_i = Q_i - V_i$ ,  $T_i = C_i$ , а рабочий массив корректируется на  $Q_i = Q_i - V_i$ .

В результате работы третьего этапа алгоритма распределения земляных масс на дороге остаются насыпи, которые могут быть созданы из сосредоточенных притрассовых резервов или карьеров путем продольного перемещения грунтов. Все остальные объемы земляных работ в рабочем массиве к этому моменту оказываются обнуленными.

*Четвертый* этап алгоритма обеспечивает создание оставшихся насыпей, путем продольного перемещения грунта из сосредоточенных притрассовых резервов или карьеров. Пикетаж границы зон снабжения соседними карьерами или резервами определяется из условия равенства расстояния транспортировки грунта до сооружаемого участка насыпи по формуле

$$g_i = 0,5(y_{j+1}^k - y_j^k - p_j + p_{j+1}); \quad (2.7)$$

где  $y_{j+1}^k$ ,  $y_j^k$  - пикетаж примыканий карьерных дорог к строящейся трассе;

$p_j$ ,  $p_{j+1}$  - протяженность карьерных дорог соседних источников грунтов.

Расстояние транспортировки грунта из  $i$ -го карьера в  $j$ -ую насыпь определяются по формуле:

$$D_{ij} = |y_j - y_i| + p_j. \quad (2.8)$$

Четвертый этап алгоритма распределения земляных масс предполагает возведение участков насыпей только из сосредоточенных резервов и карьеров по следующим правилам:

если  $Q_i \neq 0$ ,  $y_i \leq g_i$ ,  $V_j \neq 0$  и  $Q_i \leq V_j$  то весь объем насыпи создается из ближайшего  $j$ -го карьера  $A_i = Q_i$ ,  $T_i = C_j$  с транспортировкой грунта на расстояние  $D_{ij}$ , а рабочий массив корректируется на  $V_j = V_j - Q_i$  и  $Q_i = 0$ ;

если  $Q_i \neq 0$ ,  $y_i \leq g_i$ ,  $V_j \neq 0$  и  $Q_i > V_j$  то часть объема насыпи создается из ближайшего  $j$ -го карьера  $A_i = Q_i - V_j$ ,  $T_i = C_j$  с транспортировкой грунта на расстояние  $D_{ij}$ , а рабочий массив корректируется на  $Q_i = Q_i - V_j$  и  $V_j = 0$ ;

Во всех остальных случаях, если  $Q_i \neq 0$ , то весь объем оставшихся насыпей создается из ближайшего  $j+1$ -го резерва или карьера  $A_i=Q_i$ ,  $T_i=C_{j+1}$  с транспортировкой грунта на расстояние  $D_{ij+1}$ , а рабочий массив корректируется на  $V_{j+1} = V_{j+1} - Q_i$  и  $Q_i = 0$ . Процесс распределения земляных масс заканчивается при условии обнуления в рабочем массиве всех оставшихся объемов насыпей.

Следует отметить, что предложенный алгоритм был реализован на языке программирования C#. Малое время работы предложенного алгоритма, состоящего в основном из логических операций, выполняемых на ЭВМ быстрее, чем арифметические, подтвердило целесообразность такого подхода к алгоритмизации распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве.

## **2.2. Экономико-математическая модель выбора эффективных технологий земляных работ и использования парка машин по строящимся участкам**

Одной из наиболее сложных задач, которые возникают при планировании механизации дорожно-строительных работ, является формирование комплектов средств механизации и их распределение по участкам строительства.

Все возрастающее разнообразие номенклатуры дорожно-строительных машин и технологий лесного дорожного строительства при широкой гамме грунтово-гидрологических характеристик арендуемых лесных массивов акцентируют внимание теории и практики на вопросах рациональной организации дорожно-строительных работ. Сложность вопросов организации дорожно-строительных работ проявляется также и в значительной сезонной

изменчивости условий их проведения, обусловленной климатическими закономерностями региона [78, 79].

В реальных условиях производства дорожно-строительная организация имеет ограниченные ресурсы. Расчет рационального (оптимального) использования имеющихся дорожно-строительных машин и комплексов на конкретных объектах лесовозных дорог является составной частью технической подготовки лесозаготовительного производства.

Следует отметить, что оптимальная организация дорожно-строительных работ встречает ряд затруднений и не всегда может быть полностью осуществлена. Во-первых, нет еще достаточно полно разработанных научных методов комплектования механизированных отрядов для выполнения дорожно-строительных работ [80]. Во-вторых, промышленность, как правило, выпускает отдельные виды дорожно-строительных машин, а не их комплекты с заранее согласованными производительностью и другими качественными характеристиками их взаимодействия в строительном потоке. Появившаяся возможность закупки зарубежных дорожно-строительных машин еще более усложняют формирование оптимальной организации дорожно-строительных работ. В-третьих, часто необходимо учитывать состав только наличного парка дорожно-строительных машин лесозаготовительного предприятия или подрядной дорожно-строительной организации и искать пути их рационального использования. Далекое не всегда выделение дополнительных капиталовложений для приобретения новых машин будет экономически оправдано. В тоже время дорожно-строительная организация, как правило, имеет широкую возможность аренды дорожно-строительной техники. Учет возможности передачи или получения техники в аренду позволяет улучшить технико-экономические показатели эксплуатации парка машин.

В реальных условиях каждый леспромхоз или подрядная дорожно-строительная организация, как правило, располагают своими парками дорожно-строительных машин и необходима их оптимальное распределение по объектам строительства. Разница в производительности дорожно-строительных машин последовательно работающих в комплексном потоке, вызывают необоснованные простои машин с высокой производительностью. При дефиците ресурсов отдельных дорожно-строительных машин в потоке, вынуждены простаивать и все комплектующие поток машины. Целью настоящей работы является разработка математической модели оптимизации дорожно-строительных работ в изменчивых природно-производственных условиях объектов строительства и наличных парков строительных машин в подразделениях строительной организации. Существуют две основные формы представления критерия оптимизации. Первая форма представляет достижение максимума полезного эффекта (прибыли) при данных затратах ресурсов (принцип максимизации эффекта (прибыли)). Вторая форма представляет минимизацию затрат ресурсов с обязательным условием достижения полезного эффекта (минимизация затрат). Принципы максимизации эффекта и минимизации затрат эквивалентны друг другу. В данной работе использован критерий минимума приведенных затрат [81].

Введем следующие обозначения. Пусть программа дорожно-строительных работ строительной организации включает  $i = 1 \dots m$  видов работ (объектов) с соответствующими объемами их выполнения  $Q_i$ . Имеющаяся в дорожно-строительной организации номенклатура комплектов дорожно-строительных машин ( $q = 1 \dots n$ ) задана. Известно количество дорожно-строительных машин каждого типоразмера  $N_j$  ( $j = 1 \dots k$ ). Плановые объемы работ должны быть выполнены в срок, не превышающий директивный  $T_0$ .

Введем следующие дополнительные обозначения:

$C_{iqj}^r$  - приведенные часовые затраты при работе  $j$ -ой машины, в  $q$ -ом комплекте на  $i$ -ом объекте, руб/маш.-ч;

$C_j^p$ - приведенные часовые затраты при простое  $j$ -ой машины, руб/маш.-ч;

$t_{iqj}$  - норма времени  $j$ -ой машины в  $q$ -ом комплекте при работе на  $i$ -ом объекте, маш.-час.

Производительность для каждого типоразмера машины на каждом виде работ рассчитывается по ГЭСН 81-02-01-2017 [76] по категориям грунта и условиям производство работ по формуле

$$P_{iqj} = \frac{8,2V}{t_{iqj}} \quad (2.9)$$

где  $V$  - единица объема работы, принятая в ГЭСН, на норматив;

$t_{iqj}$  - норма времени на объем работ  $V$  с учетом работы  $j$ -ой машины на  $i$  – ом объекте, ч.

Себестоимость единицы продукции определится по формуле

$$C_{jq_i} = \frac{M_j}{P_{jq_i}} \quad (2.10)$$

где  $M_j$  – стоимость машино-смены  $j$ -ой машины, руб.

Исходные данные задачи могут быть представлены в виде матрицы, (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Матрица исходных данных задачи

Виды дорожно-строит. работ	Имеющиеся комплекты дорожно-строительных машин				Объемы работ
	1	2	...q...	n	
1					$Q_1$
⋮ i ⋮			$t_{iqj}$ $C_j^p$	$C_j^r$ $X_{qi}$	$Q_i$
⋮ m					$Q_m$

Следует отметить, что число столбцов матрицы равно числу имеющихся комплектов дорожно-строительных машин; строки же отражают объекты дорожно-строительных работ в м куб. разработки и перемещения грунтов по трассе строящейся лесовозной дороги  $Q_i$ , полученные на основании графика распределения земляных масс.

Принцип максимально возможной загрузки всех машин – исполнителей требует, кроме затрат собственно на производство работ, учитывать в критерии потери от простоя машин из-за недостаточной их загрузки при работе в комплексном потоке.

Каждая из слагаемых общих приведенных затрат является функцией ряда переменных параметров организации работ. Такими параметрами являются маршруты из распределения земляных масс и число машин, объемы работ, закрепленными за различными машинами, степень загрузки машин, а также принятая технология работ. Следовательно, задача определения способов производства земляных работ сводится к совместному решению следующих задач: распределения парка машин по объектам работ, распределение объемов на объекте по эффективным способам работ; распределение нагрузки машин по длине трассы объектов с учетом требований технологии возведения земляного полотна.

Результатом решения задачи должны быть значения следующих переменных, которые обеспечивают минимум приведенных затрат на выполнение работ в срок, не превышающий директивный  $T_0$ :

$x_{qi}$  - объем работ в м<sup>3</sup> выполняемых  $q$ -ой системой машин на  $i$ -ом объекте;

$x_j^r$  - недоиспользованный фонд времени (резерв)  $j$ -ой машины в машино-часах;

$x_j^d$  - недостаток (дефицит) фонда времени машины  $j$  в машино-часах.

Резерв фонда времени машины означает, что данная машина недогружена и возможен ее простой; дефицит фонда времени машины означает, что фонда полезного времени машины недостаточно для выполнения заданного объема работ в установленные директивные сроки.

В первом случае число машин типа  $j$ , которые являются лишними в составе заданной системы может быть определено по формуле

$$N_{rj} = \frac{X_j^r}{T_{oj}} \quad (2.11)$$

где  $T_{oj}$  - полезный фонд рабочего времени машины  $j$  в период планируемого директивного срока  $T_0$ .

Аналогично, число машин  $j$ , которых недостаточно в составе данного комплекта для выполнения намеченного объема работ в директивные сроки  $T_0$  определяется по формуле

$$N_{dj} = \frac{X_j^d}{T_{oj}} \quad (2.12)$$

В описанной постановке задача может быть сформулирована следующим образом: минимизировать приведенные затраты на организацию дорожно-строительных работ

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{q=1}^n \sum_{j=1}^k C_{iqj}^r t_{iqj} X_{qi} + \sum_{j=1}^k (C_j^p X_j^r + \sum_{j=1}^{k-1} C_j^d X_j^d) \rightarrow \min \quad (2.13)$$

При ограничениях

$$\sum_{i=1}^m t_{jq_i} X_{qi} + X_j^r - X_j^d = N_j T_{oj}; \quad (q = 1 \dots n; j = 1 \dots k) \quad (2.14)$$

$$\sum_{q=1}^n X_{qi} = Q_i; \quad (i = 1 \dots m) \quad (2.15)$$

$$X_{qi} \geq 0; \quad X_j^r \geq 0; \quad X_j^d \geq 0; \quad (2.16)$$



В уравнении целевой функции (2.13) первое слагаемое - суммарные приведенные затраты непосредственно на выполнение дорожно-строительных работ. Второе слагаемое - дополнительные затраты (штраф) за неполное использование (недозагрузку) машин типа  $j$  в комплекте ( $X^r_j$ ) и за дефицит фонда рабочего времени машины  $j$  в комплекте ( $X^d_j$ ), что влечет за собой вынужденный простой остальных машин  $k-1$ , входящих в комплект.

Смысл ограничения (2.14) состоит в том, что общее время работы и простоя любой машины на всех объектах равно общему фонду ее рабочего времени. Полезный фонд рабочего времени  $j$ -ой машины за период директивного срока  $T_o$  составит

$$T_{oj} = T_o(1 - K_j) \quad (2.17)$$

где  $K_j$  - коэффициент ремонтов  $j$ -ой машины.

Коэффициент ремонтов в свою очередь может быть определен по выражению

$$K_j = \frac{1}{T_c} (T_{об}t_{об} + T_{рем}t_{рем})S \quad (2.18)$$

где  $T_c$  - продолжительность межремонтного цикла, час;

$T_{об}$  - число техобслуживаний за период  $T_c$ ;

$T_{рем}$  - число текущих ремонтов за период  $T_c$ ;

$t_{об}$  - число дней простоя в техническом обслуживании;

$t_{рем}$  - число дней простоя в текущем ремонте;

$S$  - число часов работы машины в смену по принятому режиму, час.

Директивная возможная продолжительность дорожно-строительных работ в планируемый календарный период определяется по формуле:

$$T_o = (T_k - T_B - T_M)S K_{см} \frac{l}{L} \quad (2.19)$$

где  $T_k$  - календарная продолжительность строительного сезона, дней;

$T_B$  - количество выходных и праздничных дней в планируемый период;

$T_m$  - количество нерабочих дней по метеоусловиям;

$K_{см}$  – коэффициент сменности;

$l$ - протяженность рассматриваемого объекта строительства дороги, км;

$L$  – общая длина строящейся автодороги по заданию, км.

Ограничение (2.15) полученной математической модели позволяет обеспечить выполнение всех видов работ в требуемом объеме, а тривиальные ограничения (2.16) - исключают получение при решении задачи отрицательных переменных.

Следует отметить, что полученная математическая модель может быть легко трансформирована в модель при условии отсутствия возможности приобретения или аренды дополнительной техники путем исключения из целевой функции переменной  $X_j^d$ , обозначающей дефицит рабочего времени  $j$ -ой машины. В этом случае ограничение (2.14) будет выглядеть как

$$\sum_{i=1}^m t_{jq_i} X_{qi} + X_j^r \leq N_j T_{oj} \quad (2,20)$$

Получена экономико-математическая модель расчета эффективной структуры парка машин с точки зрения системы производственной эксплуатации, которая складывается из эффектов использования всех специализированных комплектов машин и эффекта от передачи машин парка в аренду. Учет возможности передачи или получения техники в аренду позволяет улучшить технико-экономические показатели эксплуатации парка машин строительной организации.

### 2.3. Выводы по главе 2

1. Проектирование производства земляных работ предполагает решение двуединой задачи: рационального распределения земляных масс и выбор

техники и технологии возведения земляного полотна с учетом наличного парка машин дорожно-строительной организации и возможности их аренды.

2. Разработана математическая модель и алгоритм выбора наиболее целесообразных источников грунта в лесном дорожном строительстве, определение рациональной зоны их действия с учетом возможных путей перемещений грунта и ограничений на пригодность.

3. Малое время работы предложенного алгоритма, состоящего в основном из логических операций, выполняемых на ЭВМ быстрее, чем арифметические, подтвердило целесообразность такого подхода к алгоритмизации распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве.

4. Синтез машин в комплексы должен базироваться на максимальном использовании потенциальных возможностей машин, их образующих, учитывая при этом, что эксплуатационная производительность дорожно-строительных машин, объединенных в комплекты, зависит от физико-механических свойств грунтов, уровня организации работ и уровня оптимального сочетания производительности машин, составляющих комплект.

5. Объединение машин в комплекты и комплексы должен осуществляться параллельно с решением вопросов выбора технологии строительства земляного полотна, средств механизации с учетом возможности аренды техники и сроков строительства дороги.

6. Дорожно-строительная организация, как правило, имеет широкую возможность аренды дорожно-строительной техники, а также привлечение сезонной рабочей силы. Предлагаемая математическая модель позволяет учесть возможности передачи или получения техники в аренду. Это позволяет улучшить технико-экономические показатели эксплуатации парка машин.

### **3. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В ЛЕСНОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

#### **3.1. Общий алгоритм проектирования производства земляных работ в лесном дорожном строительстве**

Проект производства земляных работ в дорожном строительстве является частью проекта производства работ (ППР), который создается дорожно-строительной организацией – подрядчиком работ при подрядном способе или самим лесозаготовительным предприятием при хозяйственном способе строительства. Он разрабатывают на основе имеющейся в строительной организации и возможной для арендного привлечения технической вооруженности, наличия сил и средств дорожно-строительного производства, обеспечивающих выполнение работ в намеченные сроки. ППР создается с целью определения эффективных методов выполнения строительного-монтажных работ, способствующих снижению их себестоимости и трудоемкости, сокращению продолжительности строительства объектов, повышению степени использования строительных машин и оборудования, улучшению качества строительного-монтажных работ и обеспечению безопасности труда.

Создание ППР должно опираться на проработанный проект производства наиболее энергоемких земляных работ. Разработка подобного проекта требует применения специальной методики проектирования, позволяющей учитывать техническую вооруженность дорожно-строительной организации и принимать обоснованные проектные решения. Данная методика выполняется в несколько этапов, представленных на (рисунок 3.1)



Рисунок 3.1 - Общий алгоритм проектирования производства земляных работ в дорожном строительстве

Выполнение представленных выше этапов методики основано на использовании разработанной автором автоматизированной системы рационального распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве, математической модели распределения технических средств по объектам строительства и возможностей автоматизированной обработки информации средствами MS Excel. Содержание работ по этапам

проектирования, в рамках рассматриваемой методики, представлено следующим образом.

*Сбор исходной информации и ее анализ.* Источники информации для проектирования производства земляных работ являются: сводная смета; проект организации строительства; рабочие чертежи; задание на разработку проекта производства работ, содержащее сведения об объеме и сроках работ; сведения о количестве и технико-экономических показателях намечаемых к использованию строительных машин и механизмов; сведения о рабочих кадрах по основным профессиям; данные о наличии производственных предприятий, баз, полигонов, карьеров и их мощности. В качестве исходных данных используются так же данные полевых изысканий, характеристика грунтово-гидрологических условий объектов строительства, карты и планы в бумажном и электронном формате, документы лесного планирования, нормативно-справочная информация и др.

*Оптимизация распределения земляных масс строящегося участка дороги.* Этап предполагает использование разработанной автором автоматизированной системы рационального распределения земляных масс по источникам грунтов и расстояниям их транспортировки. В качестве исходных данных работы системы используются: профильные объемы насыпей и выемок; группы грунтов по трудности разработки; пикеты и плюсы отдельных профильных объемов, расположенных между смежными точками поверхности земли; рабочие отметки земляного полотна; отметки уровней грунтовых вод; затраты на производство земляных работ с учетом группы грунта по трудности разработки, вида механизмов и расстояния перемещения; запасы, вид и группа грунта по трудности разработки в сосредоточенных резервах и карьерах; длина подъездных путей к карьерам и пикеты с плюсами точек примыкания карьеров к трассе проектируемой автодороги. Вся дорога

разбивается на элементарные участки, длина каждого из них равна разнице между пикетами смежных точек поверхности земли продольного профиля. Критерием оптимальности распределения земляных масс является минимум стоимости производства земляных работ. Система представляет подробный отчет по каждому элементу продольного профиля содержащий путь транспортировки грунта, источники грунтов и места укладки, расстояние транспортировки, объем грунта и описание процесса. Кроме поэлементного отчета, система выдает общий отчет распределения земляных масс на проектируемом участке, который содержит суммарные объемы грунтов, перемещаемых на конкретные расстояния. например менее 30 м, 100 м, 250 м и более 250 м.

Для каждого элементарного участка лесовозной дороги определяется рациональный источник грунта и расстояние транспортировки в виде поэлементной таблицы распределения земляных масс, которая затем обобщается по источникам и расстояниям транспортировки грунта на весь строящийся участок.

*Основной этап проектирования производства земляных работ* предусматривает выполнение оптимизационных расчетов в среде MS Excel распределения дорожно-строительных машин строительной организации по видам земляных работ с учетом возможности аренды техники. В результате решения оптимизационной задачи определяются объемы земляных работ по видам на имеющиеся системы машин, недоиспользованный фонд времени (резерв) каждой машины в машино-часах и недостаток (дефицит) фонда времени так же каждой машины в машино-часах. Резерв фонда времени машины означает, что данная машина недогружена и возможен ее простой и возможность сдать в аренду; дефицит фонда времени машины означает, что фонда полезного времени машины недостаточно для выполнения заданного

объема работ в установленные директивные сроки и необходима ее аренда. При условии не возможности аренды решается оптимизационная задача распределения по видам земляных работ только имеющейся в строительной организации техники и ее технологических комплексов. В этом случае определяются объемов земляных работ по видам работ на имеющиеся системы машин и недоиспользованный фонд времени (резерв) каждой марки машины в машино-часах. Сравнительный анализ полученных вариантов распределения дорожной техники по видам земляных работ позволяет принять окончательное решение и оформить результаты в проект производства работ строящейся лесовозной дороги

### **3.2. Блок-схема алгоритма распределения земляных масс**

Под алгоритмом понимается последовательность арифметических и логических действий над числовыми значениями переменных, приводящая к вычислению результата решения задачи при изменении исходных данных в достаточно широких пределах. Таким образом, при разработке алгоритма решения задачи математическая формулировка преобразуется в процедуру решения, представляющую собой последовательность арифметических действий и логических связей между ними. При этом алгоритм обладает следующими свойствами: детерминированностью, означающей, что применение алгоритма к одним и тем же исходным данным должно приводить к одному и тому же результату; массовостью, позволяющей получать результат при различных исходных данных; результативностью, обеспечивающей получения результата через конечное число шагов [82].

При разработке любого алгоритма необходимо выполнить следующие требования:

- алгоритм должен правильно решать поставленную задачу;



- алгоритм должен быть легким для понимания;
- алгоритм должен быть удобным для модификации.

Этап алгоритмизации включает следующие основные операции. Операция спецификации данных необходима для определения имени каждого входного, выходного и промежуточного данного как в задаче, так и в будущей программе, определения его смыслового содержания, физической размерности и типа. Операция разработки структур данных состоит в выборе приемлемых способов и алгоритмов хранения и поиска данных. Операция контроля правильности алгоритма заключается, в первую очередь, в проверке того, что в нем обеспечены свойства детерминированности, определенности, конечности. Кроме того, результаты вычислений должны быть сохраняющимися.

Наиболее наглядным способом описания алгоритмов является описание его в виде схем. При этом алгоритм представляется последовательностью блоков, выполняющих определенные функции и связи между ними. Внутри блоков указывается информация, характеризующая выполняемые ими функции.

Рассмотренный в главе 2 описательный алгоритм задачи рационального распределения земляных масс реализован в виде блок-схемы. Общий вид блок-схемы алгоритма показан на (рисунок 3.3).

Так как программное обеспечение имеет графический интерфейс, и вызов множества функций происходит на основании «событий» либо действий пользователя, то некоторые части кода (ввод исходных данных, например) опущены или показаны упрощенно в блок-схеме.

Рассмотрим блок-схемы алгоритма подробнее. Алгоритм будет работать после определения некоторых параметров, которые менеджер должен выбрать

в соответствии с проектом строительства дороги, такими параметрами являются:

W - ширина земляного полотна дороги [м];

S - заложение откосов земляного полотна, можно выбрать из пяти вариантов 1: 2, 1: 3, 1: 4, 1: 5 и 1: 6;

DN - номер пикета;

DD - расстояние между двумя соседними точками продольного профиля [м];

RL<sub>i</sub>, RL<sub>f</sub> – проектные отметки дороги в начале и в конце элементарного участка [м];

SL<sub>i</sub>, SL<sub>f</sub> – отметки земли в начале и в конце элементарного участка [м];

GW - уровень грунтовых вод [м];

SU - группа грунта по возможности использования в теле земляного полотна, значения будут (да или нет);

K – объем карьера [м<sup>3</sup>];

L<sub>k</sub> - протяженность карьерных дорог источников грунтов [м];

W<sub>d</sub> - ширина канавы (кювета) по низу на участке [м];

S<sub>d</sub> – коэффициент заложение откосов канавы (кювета);

dd - глубина канвы (кювета) на участке [м].

Все эти данные могут быть сохранены в базе данных.

В первой части алгоритма нам нужно найти рабочие отметки (HL) для начала и конца каждого элементарного участка (H<sub>i</sub> и H<sub>f</sub>)<sub>id</sub>, где (id) - номер строки от 1 до общего количества элементарных участков (n).

$$H(i, f)_{id} = SL(i, f)_{id} - RL(i, f)_{id}$$

если  $H > 0$ , то выемка.

если  $H < 0$ , то насып.

Затем нам нужно рассчитать объем грунта, ( $C_i$ ) - объем выемки и ( $E_i$ ) - объем насыпи для каждого элементарного участка в кубических метрах. В этом случае у нас есть четыре варианта.

1. Если рабочие отметки в начале и конце элементарного участка выше проектной отметки (Если  $H_{i,d} \geq 0$  и  $H_{f,d} \geq 0$ ), то для расчёта объема выемки надо рассчитать ширина траншеи (канавы/кювета) по верху, а далее объем траншеи канавы:

$$\text{ширина траншеи канавы по верху} = W_d + 2 \frac{dd}{S_d} \quad (3.1)$$

$$\text{объем траншеи канавы [м}^3\text{]: } V_{d_i} = 2DD_i \cdot dd \left( W_d + \frac{dd}{S_d} \right) \quad (3.2)$$

Скорректированная ширина дороги в случае выемки [м]:

$$W_c = W + 2 \left( W_d + 2 \frac{dd}{S_d} \right) \quad (3.3)$$

$$C_i = \frac{DD}{2} (W_c(|H_i| + |H_f|) + S^{-1}(H_i^2 + H_f^2)) \quad (3.4)$$

2. Если отметки земли меньше проектных отметок в начале и конце элементарного участка (если  $H_i \leq 0$  и  $H_f \leq 0$ ), то объем земляных работ в насыпи составит:

$$E_i = \frac{DD}{2} (W(|H_i| + |H_f|) + S^{-1}(H_i^2 + H_f^2)) \quad (3.5)$$

3. Если рабочие отметки в начале элементарного участка положительные, а в конец участка отрицательные (если  $H_i > 0$  и  $H_f < 0$ ), то объемы земляных работ в выемке и насыпи определяются по формулам

$$C_i = DD \cdot H_f^2 \frac{W_c + \frac{|H_f|}{S}}{2(|H_i| + |H_f|)} \quad (3.6)$$

$$E_i = DD \cdot H_i^2 \frac{W + \frac{|H_i|}{S}}{2(|H_i| + |H_f|)} \quad (3.7)$$

4. Если рабочие отметки в начале элементарного участка отрицательные, а в конце участка положительные (если  $H_i < 0$  и  $H_f > 0$ ), то соответствующие объемы выемки и насыпи определяются по формулам

$$C_i = DD \cdot H_i^2 \frac{W_c + \frac{|H_i|}{s}}{2(|H_i| + |H_f|)} \quad (3.8)$$

$$E_i = DD \cdot H_f^2 \frac{W + \frac{|H_f|}{s}}{2(|H_i| + |H_f|)} \quad (3.9)$$

Следующим этапом является расчёт объем резерва ( $R_i$ ). Для расчета объема резерва нам нужно добавить несколько условий:

Вид местного грунта резерва  $SU$  должен соответствовать техническим условиям для укладки в насыпь, уровень грунтовых вод на участке должен быть ниже дна резерва более чем на один метр и высота насыпи меньше чем предельная, равная 1 м для поперечного возведения земляного полотна. В этом случае мы можем математически выразить глубину резерва ( $r$ ) следующим образом:

$$r = SL - GW - 1$$

$$\text{где } SL = (SL_i + SL_f)/2$$

Согласно предыдущим условиям у нас есть два случая ( $r$ );

$$\text{если } r < 1 \rightarrow R_i = DD \cdot W \cdot r \quad (3.10)$$

$$\text{если } r \geq 1 \rightarrow R_i = DD \cdot W \cdot 1 \quad (3.11)$$

### 3.1.1. Подробное описание подготовительного этапа:

Этот этап начинается с ввода полевых данных для параметров местоположения дороги и их сохранения в базе данных (рисунок 3.2, блок 2), а затем начинается расчет объема траншеи канавы (кювета) (рисунок 3.2, блок 11), объема насыпи и объема выемки (рисунок 3.2, блок 4-10) и объема резерва (рисунок 3.2, блок 12-18) для каждого элементарного участка.

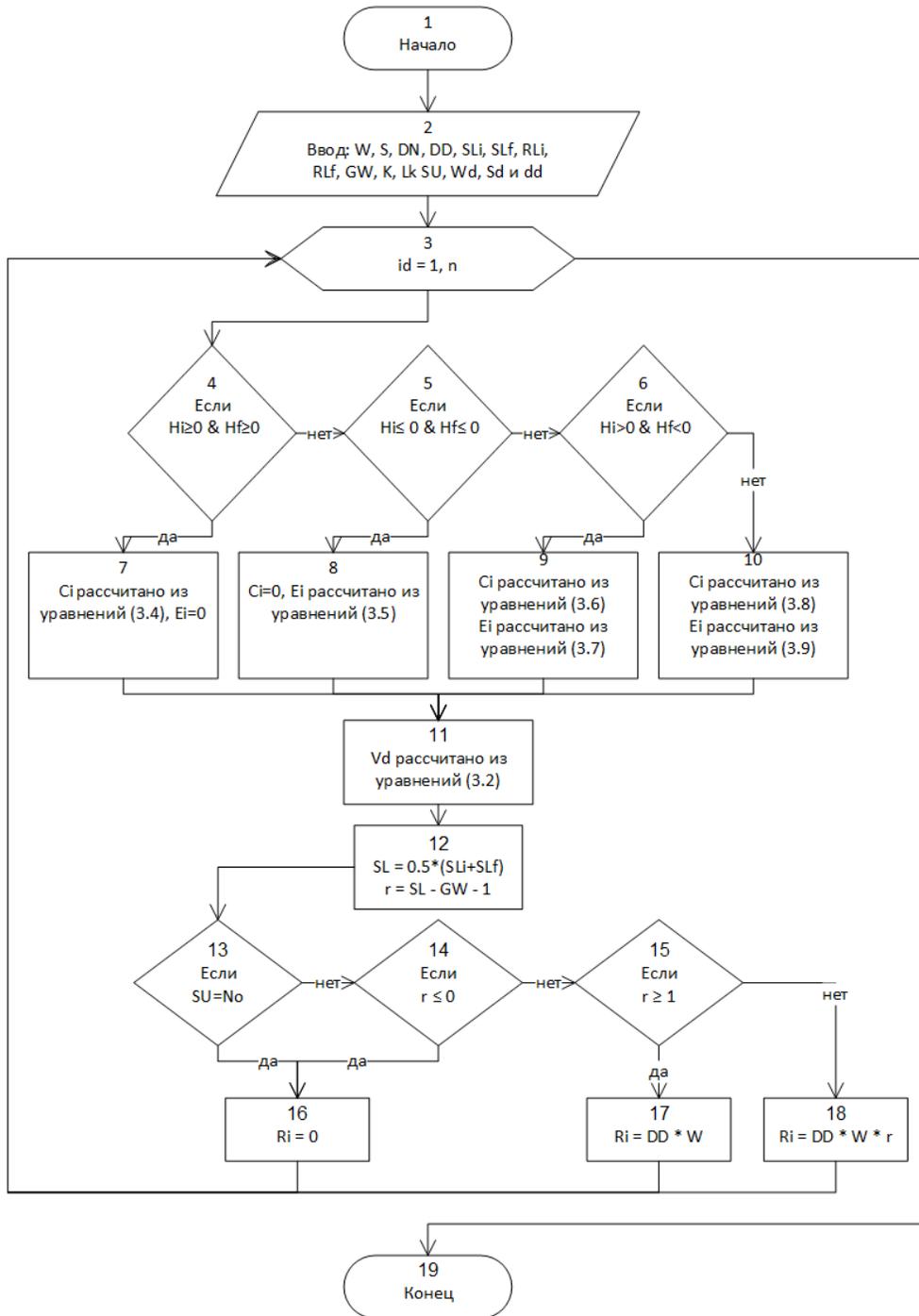


Рисунок 3.2 - Подготовительный этап - определения объемов выемки, насыпи и резервов при строительстве лесных дорог

По завершении этого этапа алгоритм должен перейти к основным этапам распределения грунтовых масс вдоль дороги.

Следующая схема (рисунок 3.3) показывает общий алгоритм, который объясняет, как алгоритм проходит через этапы, от ввода данных через четыре этапа до результатов [19].

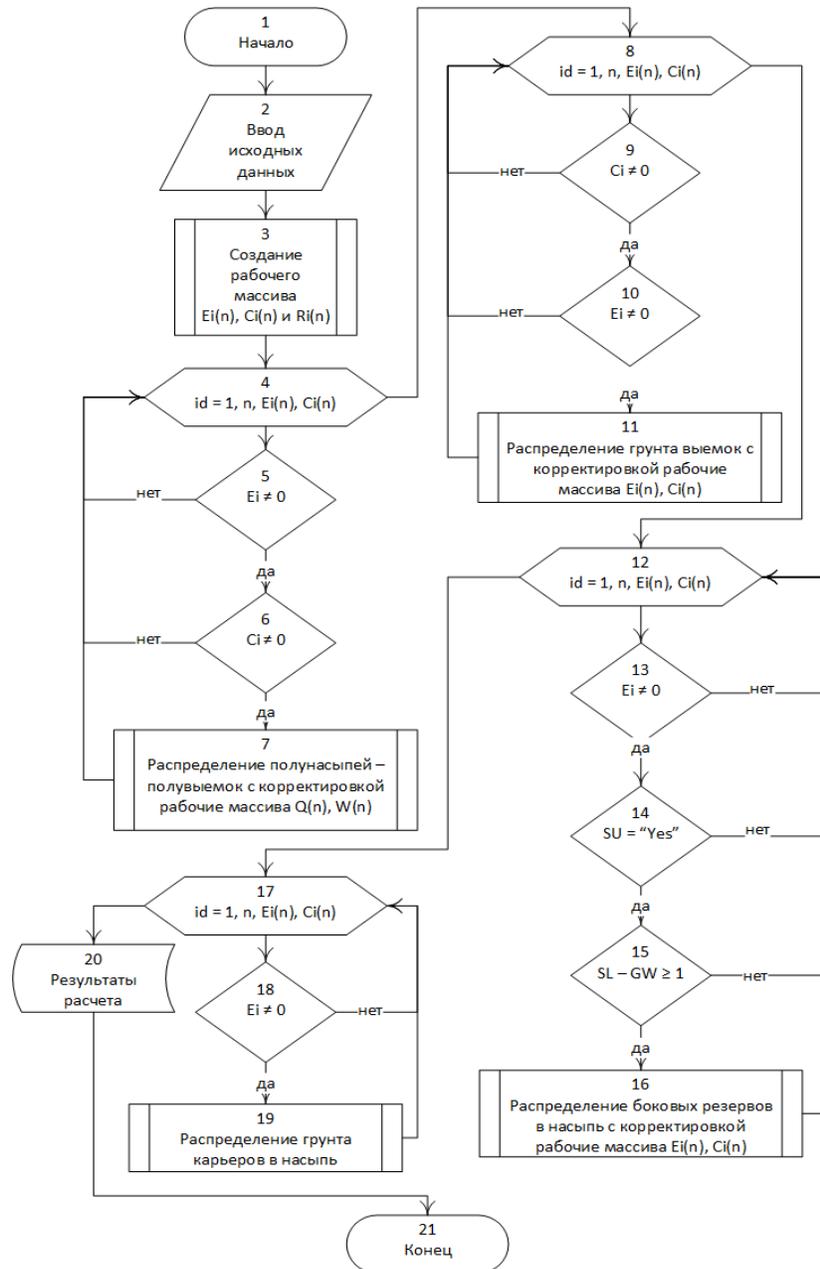


Рисунок 3.3 - Общая схема алгоритма распределению земляных масс

### 3.1.2. Подробное описание первого этапа:

Этот этап начинается с проверки наличия полувыемки, полунасыпи в расчетном участке (рисунок 3.4, блок 4), если это условие выполнено, проверяется второе условие: свойства грунта пригодны для использования грунта в насыпи (рисунок 3.4, блок 5).

Если грунт пригоден для использования в насыпи, будет введено условие, описанное в схеме (рисунок 3.4, блок 6).

Если объем выемки больше, чем объем насыпи, то объем перевозимого грунта (транс-объем) равен всему объему насыпи. Корректировка количества объема выемки и насыпи рассчитывается как в (рисунок 3.4, блок 7). Текущая строка сохраняется в отчете (рисунок 3.4, блок 9). В этом отчете указывается путь к грунту, откуда и куда, тип транспорта (на этом этапе «из полувыемки в полунасыпи»), расстояние транспортировки (в этом случае не больше, чем DD), объем перевозимого грунта равен в этом случае E<sub>i</sub>.

Если объем насыпи больше, чем объем выемки, то весь объем выемки перемещается в насыпь (рисунок 3.4, блок 8). Корректировка объема выемки и насыпи рассчитывается как в (рисунок 3.4, блок 8) и текущая строка сохраняется в отчете (рисунок 3.4, блок 9).

Если грунт не пригоден для применения в насыпи, то весь объем выемки перемещается в кавальер и корректировка объема выемки и насыпи рассчитывается как в (рисунок 3.4, блок 10), а текущая строка сохраняется в отчете (рисунок 3.4, блок 9). Источником грунта является текущий пикет и перемещение происходит на том же пикете, но записывается в тип транспорта (из полувыемки в кавальер).

Выполнив предыдущие шаги, мы возвращаемся к (рисунок 3.4, Блок 3), чтобы найти следующую строку, соответствующую условиям этого этапа.

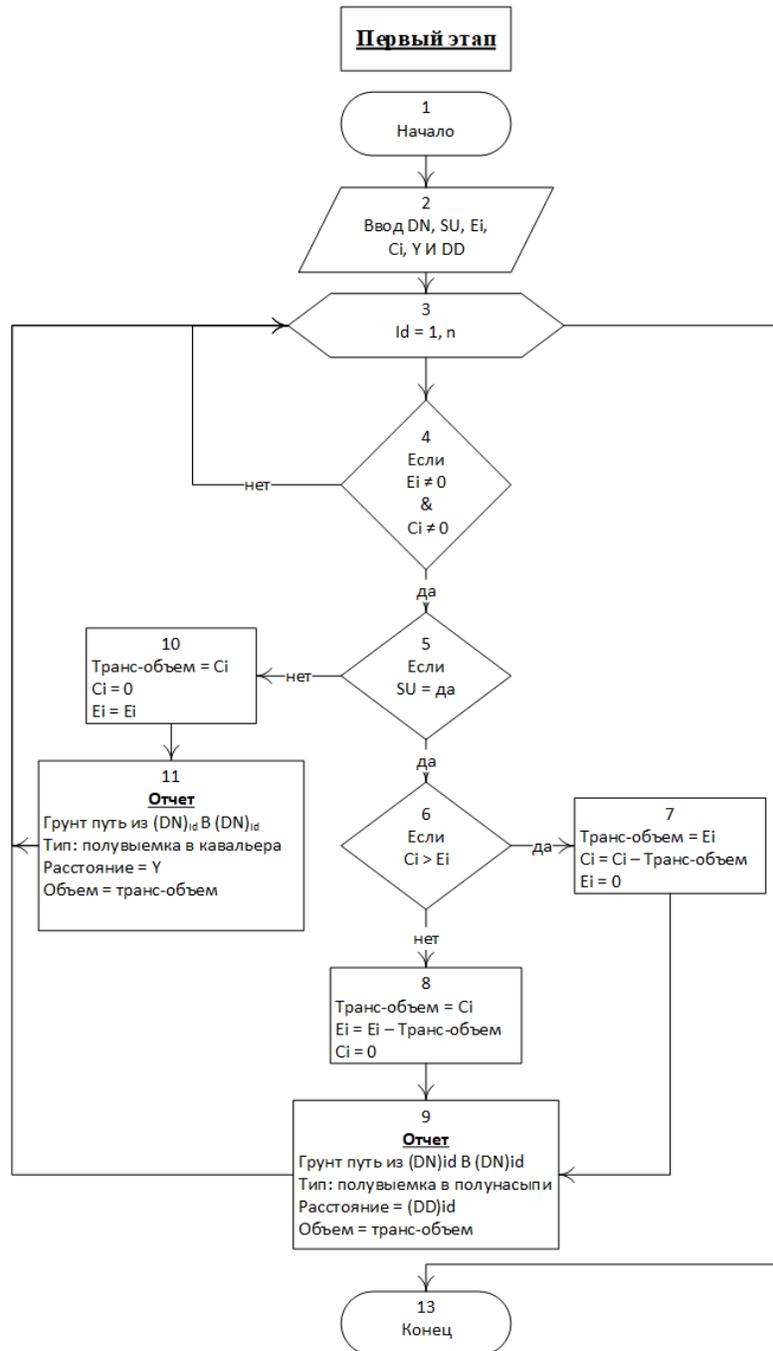


Рисунок 3.4 - Первый этап - распределяются участки полувыемок и полунасыпей



### 3.1.3. Подробное описание второго этапа:

После выполнения первого этапа в рабочем массиве отсутствуют участки продольного профиля с наличием полунасыпей- полувыемок и система переходит ко второму этапу распределения земляных масс.

Этот этап вступает в силу путем проверки состояния, показанного на (рисунок 3.5, блок 4), (если  $C_i \neq 0$ ). Проверяется, пригоден ли грунт выемки для использования в насыпи (рисунок 3.5, блок 5). Если грунт не пригоден для использования, то весь объем выемки перемещается в кавальер (рисунок 3.5, блок 17), объем выемки корректируется на ноль, а отчет сохраняется как на (рисунок 3.5, блок 18).

Если вид грунта выемки пригоден для использования в насыпи, то этот объем грунта распределяется по смежным пикетам так, чтобы расстояние перемещения не превышало 100 метров [83]. В этих блоках (рисунок 3.5, блок 7-14) определен объем насыпи смежных пикетов, будь то пикет, который следует за текущим пикетом (рисунок 3.5, блок 7-10), или предшествующий ему (рисунок 3.5, блок 11-14). Затем они сохраняются в списке, и этот список сортируется в порядке возрастания в соответствии с расстоянием перемещения грунта (рисунок 3.5, блок 15). Если этот список не содержит значений, то это означает, что нет подходящих участков насыпей для перемещения грунта из текущей выемки и весь объем выемки переносится в кавальер (рисунок 3.5, блок 17-18).

В противном случае, сначала осуществляется проверка: если объем насыпи меньше, чем объем выемки (рисунок 3.5, блок 21), то транспортируемый объем грунта равен всему объему насыпи, если нет, то транспортируемый объем грунта равен всему объему выемки (рисунок 3.5, блок 22-23). Далее текущая строка сохраняется в отчете (рисунок 3.5, блок 24).

Корректировка объем выемки и насыпи выполняется как в (рисунок 3.5, блок 25), и система перемещается к следующему строке из списка, пока не закончится весь объем выемки или все строки списка.

В случае если останется не использованный грунт из выемки, то данный объем грунта будет транспортирован в кавальер (рисунок 3.5, блок 17-18).

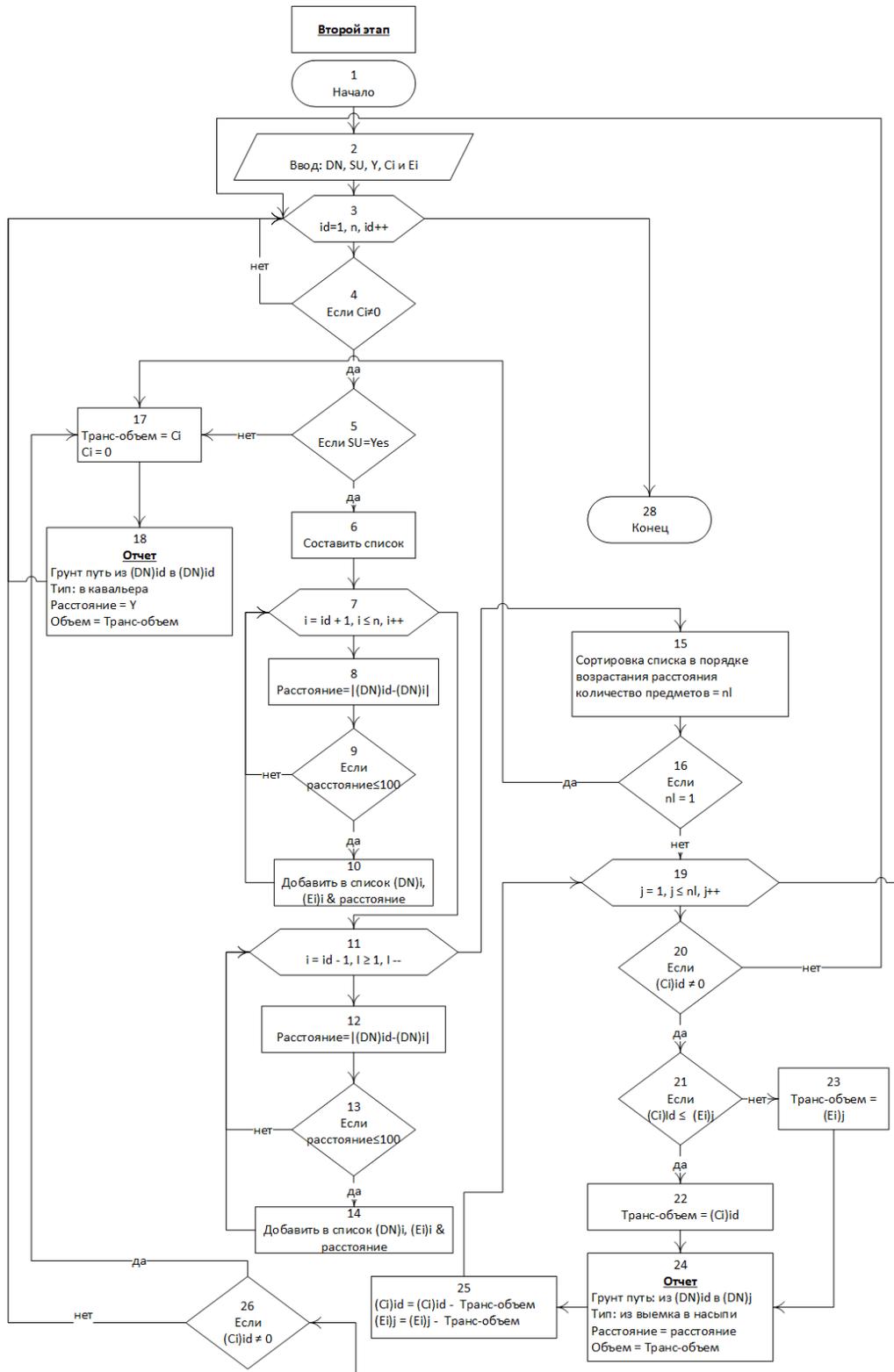


Рисунок 3.5 - Второй этап - распределение грунта из выемок в соседние насыпи или кавальер

#### 3.1.4. Подробное описание третьего этапа:

После распределения грунта выемок осуществляется определение источников грунтов оставшихся участков продольного профиля с насыпью. После расчета рабочих отметок земляных работ на каждом пикете, их значения вводятся в алгоритм, показанный на (рисунок 3.6.). Этот этап предусматривает возможность распределения земляных масс из боковых притрассовых резервов поперечным перемещением грунта в насыпь.

Первоначально каждый пикет проверяется, связан ли он с этим этапом или нет по условию  $E_i \neq 0$  и  $R_i \neq 0$  (рисунок 3.6, блок 4-5). Далее проверяется объем насыпи: если меньше, чем объем резерва (рисунок 3.6, блок 6), то весь объем насыпи перемещается из бокового резерва (рисунок 3.6, блок 7). В этом случае транспортируемый объем  $E_i = 0$ , а  $R_i = R_i - E_i$ .

Если объем насыпи больше, чем объем резерва, то весь объем резерва перемещается в насыпи (рисунок 3.6, блок 8). В этом случае транспортируемый объем  $R_i = 0$  а  $E_i = E_i - R_i$ . Корректировка объема резерва и насыпи рассчитывается как в (рисунок 3.6, блок 9), текущая строка сохраняется в отчете (рисунок 3.6, блок 10), и расчет возвращается на (рисунок 3.6, блок 3) для осуществления анализа последующих пикетов и переходу к четвертому этапу.

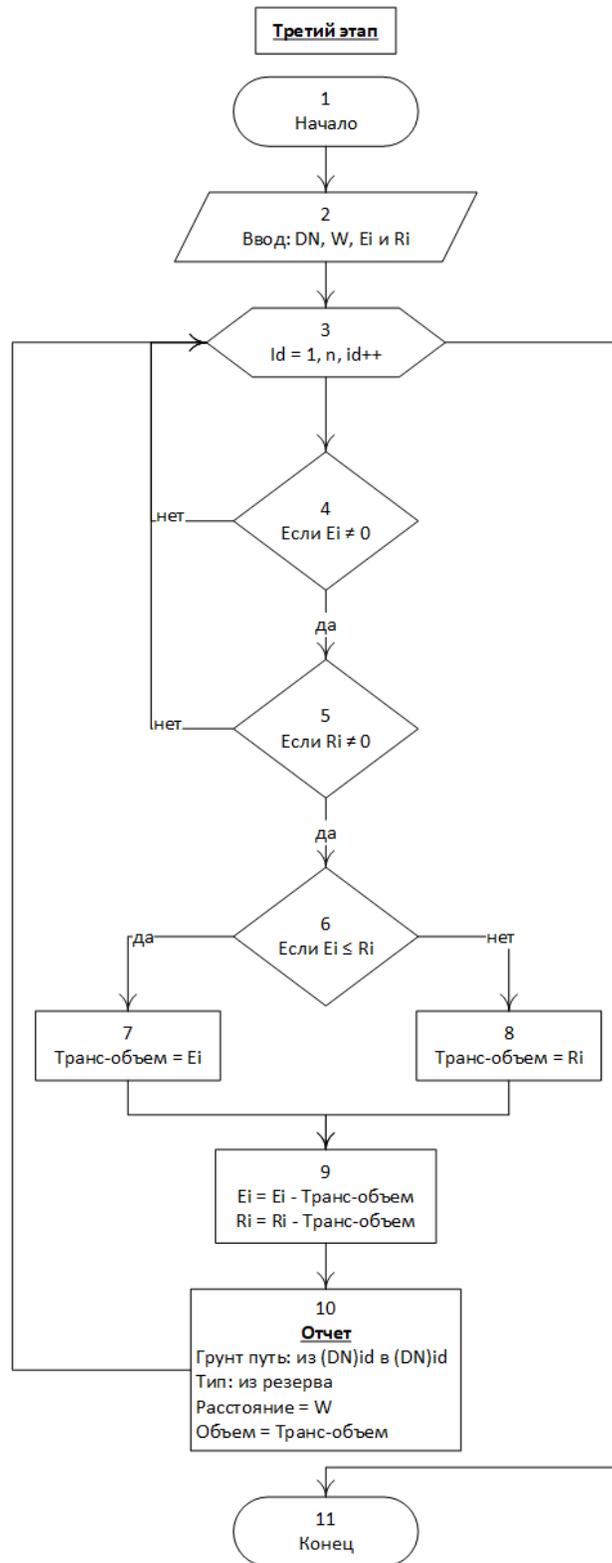


Рисунок 3.6 - Третий этап - распределение грунта в насыпи из притрассовых резервов.

### 3.1.5. Подробное описание четвертого этапа:

На данном этапе рабочий массив будет содержать только участки насыпей, которые не могут быть возведены из грунта выемок и грунта боковых продольных резервов. На этом этапе можно использовать два источника грунта: 1 из сосредоточенных резервов; 2. из карьеров. Таким образом, этот этап был разделен на две части в соответствии с вышеизложенным.

#### 3.1.5.1. Возведение насыпей из сосредоточенных резервов.

Для минимизации транспортных расходов необходимо найти сосредоточенный резерв для выемки грунта, ближайший для данного пикета.

Алгоритм (рисунок 3.7.1) начинается с тестирования участка (рисунок 3.7.1, блок 5). Начальное значение условия размещения сосредоточенного резерва от участка установлено с  $D_r = 0$  (рисунок 3.7.1, блок 3). Производится поиск пикетов, которые находятся в близости нынешнего пикета на расстояние не более чем на  $D_r$ .

Алгоритм продолжается в циклах (рисунок 3.7.1, блок 6-11, 12-17). Для следующих пикетов текущего участка (у которого имеется необнуленная насыпь) (рисунок 3.7.1, блок 6-11), а для предыдущих пикетов (рисунок 3.7.1, блок 12-17). Вначале важно проверить, есть ли у пикета объем грунта в сосредоточенном резерве, если нет, переходим в следующий (рисунок 3.7.1, блок 7, 13). Если сосредоточенный резерв имеется, то расстояние будет рассчитано (рисунок 3.7.1, блок 8, 14), затем значение  $D_r$  будет корректироваться (рисунок 3.7.1, блок 9, 15). Все подходящие пикеты с расстоянием перемещения, не превышающим  $D_r$ , выбираются (рисунок 3.7.1, блок 10, 16), и они сохраняются в списке (рисунок 3.7.1, блок 11, 17).

Затем в списке строки сортируются в порядке возрастания в соответствии с расстоянием перемещения (рисунок 3.7.1, блок 18) для того, чтобы сначала использовать близлежащие сосредоточенные резервы. Если в

списке отсутствуют записи (рисунок 3.7.1, блок 19), то переходим к следующему пикету (рисунок 3.7.1, блок 4). Если список не пустой, то переход сделан в (рисунок 3.7.1, блок 22), если объем насыпи больше объема грунта в резерве  $E_i \geq R_i$ , то весь объем резерва перемещается в насыпь (рисунок 3.7.1, блок 23). В этом случае транспортируемый объем  $R_i = 0$  а  $E_i = E_i - R_i$ . Если объем насыпи меньше или равен объему грунта в сосредоточенном резерве, то весь объем насыпи перемещается из резерва (рисунок 3.7.1, блок 24). В этом случае транспортируемый объем  $E_i = 0$ , а  $R_i = R_i - E_i$ . Текущая строка сохраняется в отчете (рисунок 3.7.1, блок 25) и корректировка объем резерва и насыпи рассчитывается как в (рисунок 3.7.1, блок 26). Далее осуществляется переход к следующей строке в списке и расчеты повторяются в цикле аналогичным образом. Если все пикеты были обработаны, то условие, показанное на (рисунок 3.7.1, блок 27) пройдено. что означает завершение текущего этапа. А если суммирование объемов насыпи не равно нулю, то система перейдет к (рисунок 3.7.1, блок 28) для проверки наличия резервного объема. Если суммирование объемов резерва равно нулю, то схема перейдет ко второй части этого этапа. Если сумма объемов сосредоточенного резерва не равно нулю, то система перейдет к (рисунок 3.7.1, блок 29), для корректировки значения переменной  $D_r$  с добавлением 100м к текущему значению области поиска сосредоточенных резервов. Затем осуществляется сброс значения  $id$  на 1 и процесс возвращается в (рисунок 3.7.1, блок 4) и проверяются все процессы с новым условием.

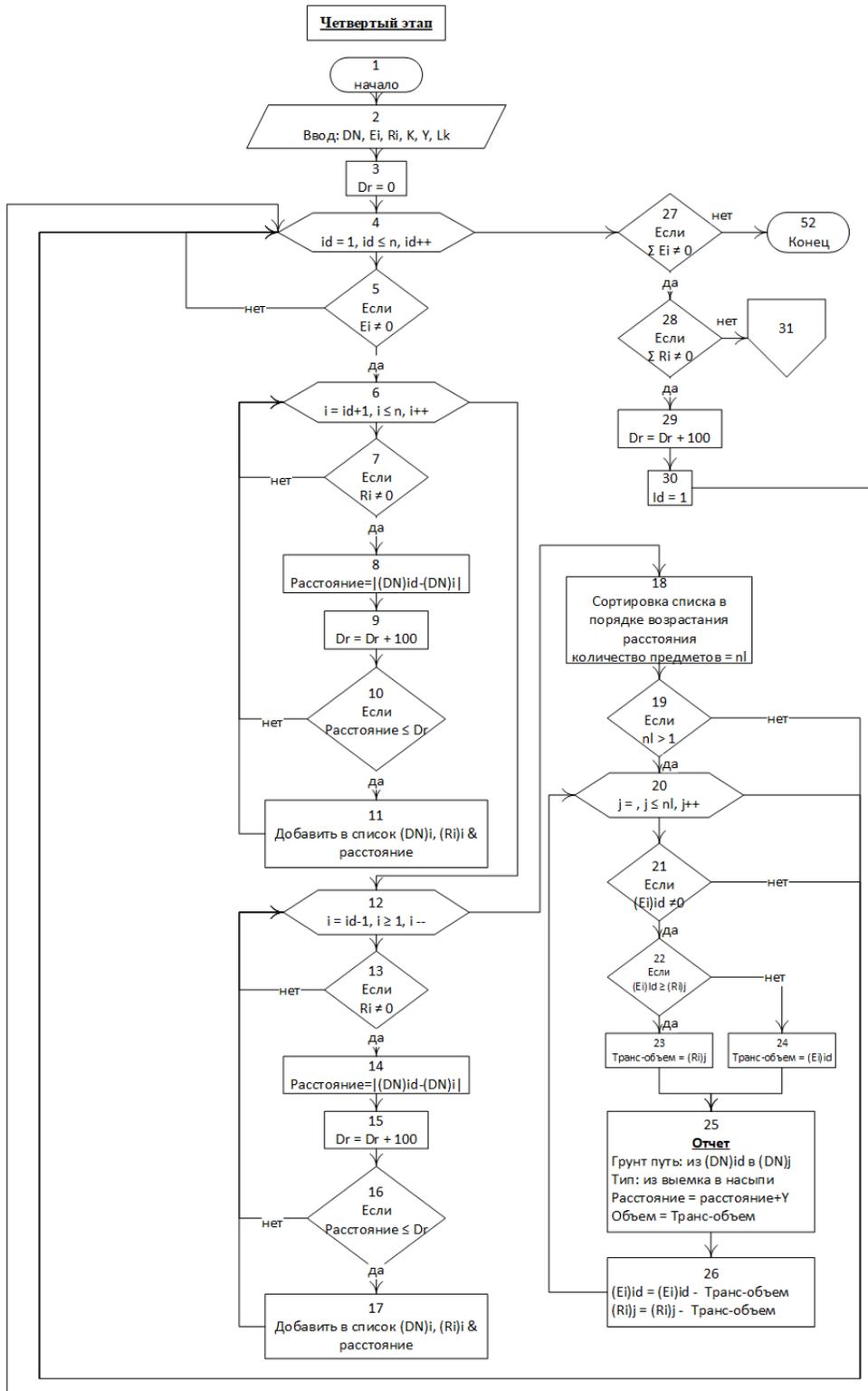


Рисунок 3.7.1 - Четвертый этап - распределение грунта в насыпи из ближайшего резерва или карьера.



### 3.1.5.2. Возведение насыпей из грунтовых карьеров.

Если в результате работы алгоритма возведения насыпей из грунтов сосредоточенных резервов (рисунок 3.7.1, блок 28), остаются потребные не обнуленные объемы насыпей и запасы грунта сосредоточенных резервов равны нулю, то система переходит ко второй части четвертого этапа алгоритма.

В этой части грунт в оставшиеся необнуленные насыпи перемещается из притрассовых карьеров. Вначале важно сделать анализ для каждого элемента базы данных и проверить, не равен ли объем насыпи этого участка нулю (рисунок 3.7.2, блок 32, 33). Для каждого участка, имеющего не обнуленные объемы насыпей, распределение земработ будет идти двумя циклами, чтобы перебрать отсортированный по возрастанию порядок карьеров по расстоянию, как упоминалось ранее в первой части (рисунок 3.7.2, блок 33-36, 37-40). Если количество участков в списке равно нулю (рисунок 3.7.2, блок 42), то необходимо ввести значения запаса грунта в карьере и расстояния до строящейся дороги (рисунок 3.7.2, блок 50). Суммарный объем грунта в карьерах должно быть больше или равно сумме объемов оставшихся необнуленных насыпи (рисунок 3.7.2, блок 51). После ввода карьерных параметров, система будет возвращаться к блоку (рисунок 3.7.2, блок 33), чтобы осуществить сортирование карьеров, как и сосредоточенных резервов. Затем система выполняет анализ внутри списка, чтобы составить оптимальные распределения (рисунок 3.7.2, блок 43). Этот цикл будет находить элементы списка один за другим, сначала наименьшее расстояние, а затем - большее расстояние и т.д. Цикл начинается с проверки, если текущий запас карьера в списке больше или равен объему насыпи текущей строки в базе данных (рисунок 3.7.2, блок 44), то весь объем насыпи примешается из карьера

(рисунок 3.7.2, блок 45), если нет, то весь объем карьера перемещается в насыпь (рисунок 3.7.2, блок 46). Текущая строка сохраняется в отчете (рисунок 3.7.2, блок 47), а корректировка запаса карьера и насыпи рассчитывается как в (рисунок 3.7.2, блок 48). Далее, если текущий объем насыпи не равен нулю (рисунок 3.6.2, блок 49), то схема возвращается к (рисунок 3.7.2, блок 43), чтобы найти другой элемент в списке, а если нет, то схема вернется к следующей строке в базе данных (рисунок 3.7.2, блок 32).

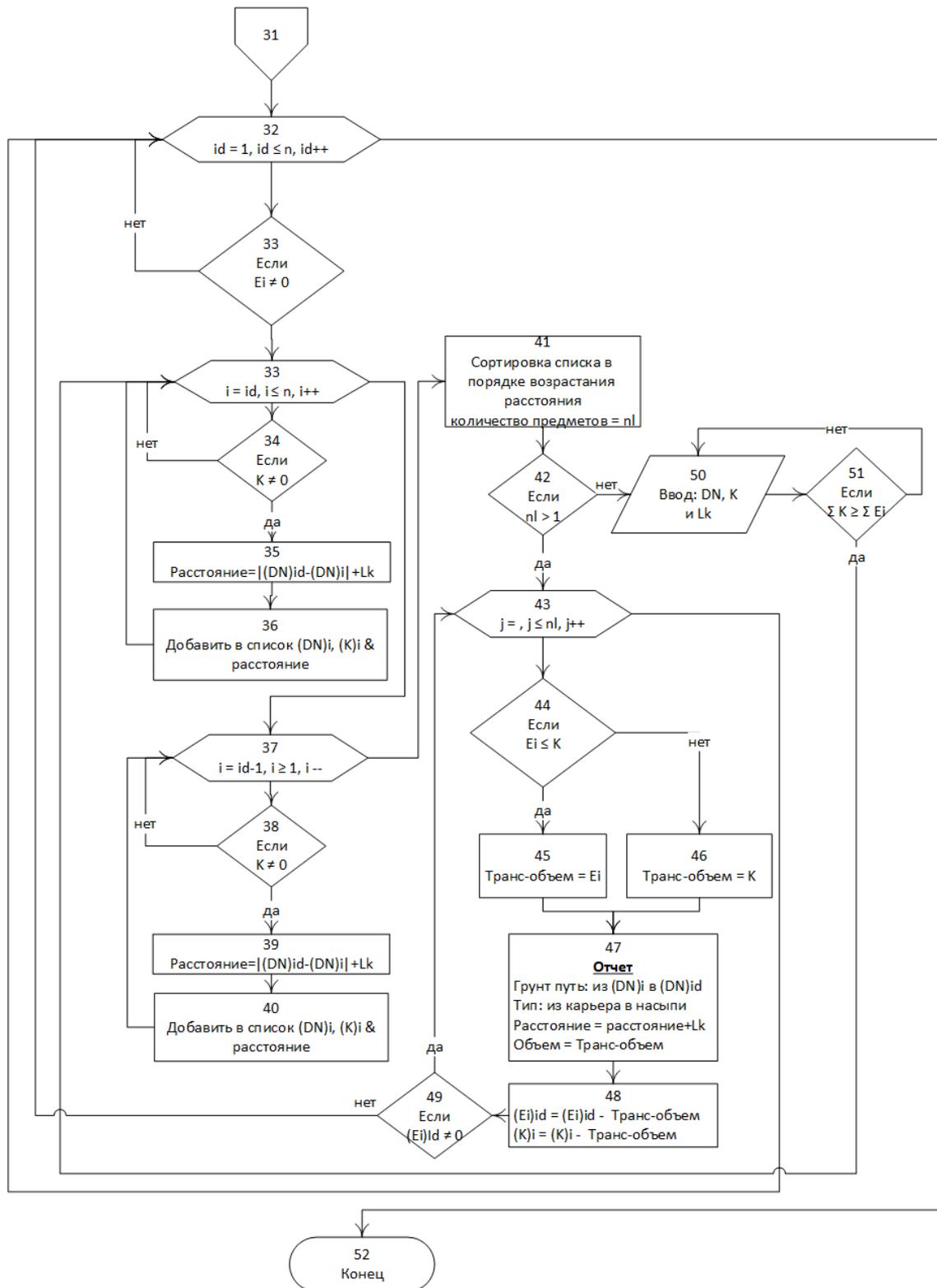


Рисунок 3.7.2 - Четвертый этап - распределение грунта в насыпи из ближайшего резерва или карьера.

### 3.3. Программа распределения земляных масс для строительства лесных дорог и руководство пользователя

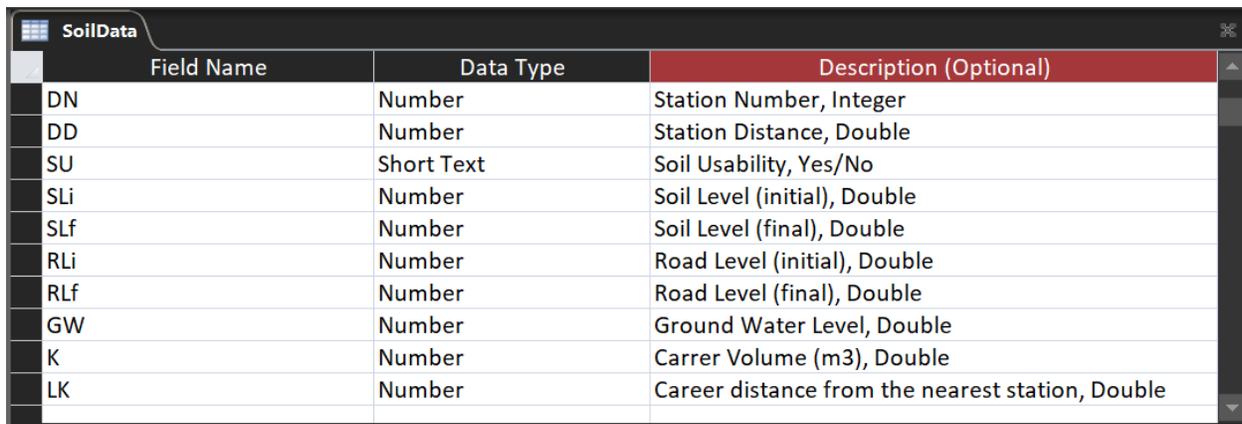
Программа написана на языке программирования C # и называется "Forest Road Construction (FRC.)" [84]. Установлено связь данных между C # в средстве программирования Visual Studio 2017 и Access (2010 / 32bit).

Следующие шаги показывают рабочие процедуры:

#### 3.2.1. База данных

База данных автоматизированной системы была создана средствами MS Access. Она состоит из четырех таблиц:

- I. Первая таблица "SoilData" содержит основные исходные данные: DN, DD, SU, SLi, SLf, RLi, RLf, GW, K и Lk. На следующем рисунке (рисунок 3.8) показаны структура таблицы.



Field Name	Data Type	Description (Optional)
DN	Number	Station Number, Integer
DD	Number	Station Distance, Double
SU	Short Text	Soil Usability, Yes/No
SLi	Number	Soil Level (initial), Double
SLf	Number	Soil Level (final), Double
RLi	Number	Road Level (initial), Double
RLf	Number	Road Level (final), Double
GW	Number	Ground Water Level, Double
K	Number	Carrer Volume (m3), Double
LK	Number	Career distance from the nearest station, Double

Рисунок 3.8 - Основные исходные данные таблицы "SoilData"

II. Вторая таблица «Result1», эта таблица используется для сохранения исходных данных, как показано на (рисунок 3.9).

Field Name	Data Type	Description (Optional)
DN	Number	Station Number, Integer
DD	Number	Station Distance, Integer
SU	Short Text	Soil Usability, Yes/No
r	Number	Reserve Cutting Depth, Double
K	Number	Pile Volume, Double
LK	Number	Pile Distance, Double
Vd	Number	Ditch Volume, Double
Ci	Number	Cutting Volume, Double
Ei	Number	Embankment Volume, Double
Ri	Number	Roadside Reserve Volume, Double

Рисунок 3.9 - Таблица результатов вступительного этапа “Result1”.

III. Третья таблица «FinalOutput», которая содержит результаты расчета основных четырех этапов алгоритма, как показано на (рисунок 3.10).

Field Name	Data Type	Description (Optional)
SourceDN	Number	The Source Of The Moved Soil, Integer
DestDN	Number	The Destenation Of The Moved Soil, Integer
Quantity	Number	The Moved Soil Quantity [m3], Double
Distance	Number	The Moving Distance [m], Long Integer
TransactionKind	Short Text	The Kind Of Transaction, Text
SourceStage	Short Text	Stage Name, Text

Рисунок 3.10 - Таблица результатов основных четырех этапов “FinalOutput”.

Таблица “FinalOutput” содержит следующие поля:

SourceDN: Номер пикета, из которого грунт перемешается.

DestDN: Номер пикета в который грунт перемешается.

Quantity: Переданный объем грунта [м<sup>3</sup>].

Distance: Переданное расстояние [м]

TransactionKind: Описание процесса — это описание источника грунта и направление транспортировки

SourceStage: включает в себя исходный этап для транзакции, для описания того, с какого этапа была выполнена эта транзакция.

IV. Четвертая таблица «OverAll», которая содержит окончательные поэлементные результаты распределения земляных масс. Структура таблицы представлена на (рисунок 3.11).

Field Name	Data Type	Description (Optional)
TDis	Number	The Total Moved Distance, Long Integer
P1	Number	Soil Quantity [m3] Which Moved Distance Less Than 30m, Double
P2	Number	Soil Quantity [m3] Which Moved Distance Between 30 And 100m, Double
P3	Number	Soil Quantity [m3] Which Moved Distance Between 100 And 250m, Double
P4	Number	Soil Quantity [m3] Which Moved Distance More Than 250m, Double
S0	Number	Soil Moved Quantity [m3] Thow To The Roadside, Double
S1	Number	Soil Moved Quantity [m3] From The 1st Stage, Double
S2	Number	Soil Moved Quantity [m3] From The 2nd Stage, Double
S3	Number	Soil Moved Quantity [m3] From The 3rd Stage, Double
S4	Number	Soil Moved Quantity [m3] From The 4th Stage, Double

Рисунок 3.11 - Таблица поэлементных результатов распределения земляных масс «OverAll».

где:

TDis: это общее расстояние [м].

P1: объем перемещения грунта на расстоянии менее 30 метров [м<sup>3</sup>].

P2: объем перемещения грунта на расстоянии 30-100 метров [м<sup>3</sup>].

P3: объем перемещения грунта на расстоянии 100-250 метров [м<sup>3</sup>].

P4: объем перемещения грунта на расстоянии больше 250 метров [м<sup>3</sup>].

S0: объем перемещения грунта из выемки в кавальер [м<sup>3</sup>].

S1: объем перемещения грунта из полувыемки в полунасыпи [м<sup>3</sup>].

S2: объем перемещения грунта из выемки в насыпи [м<sup>3</sup>].

S3: объем перемещения грунта из резерва в насыпи [м<sup>3</sup>].

S4: объем перемещения грунта из карьера в насыпи [м<sup>3</sup>].

### 3.2.2. Программирование и отладка:

Как упоминалось ранее, программа была написана в M.S. Visual Studio 2017, язык программирования C# (Windows Form Application). Где был создан интерфейс пользователя.

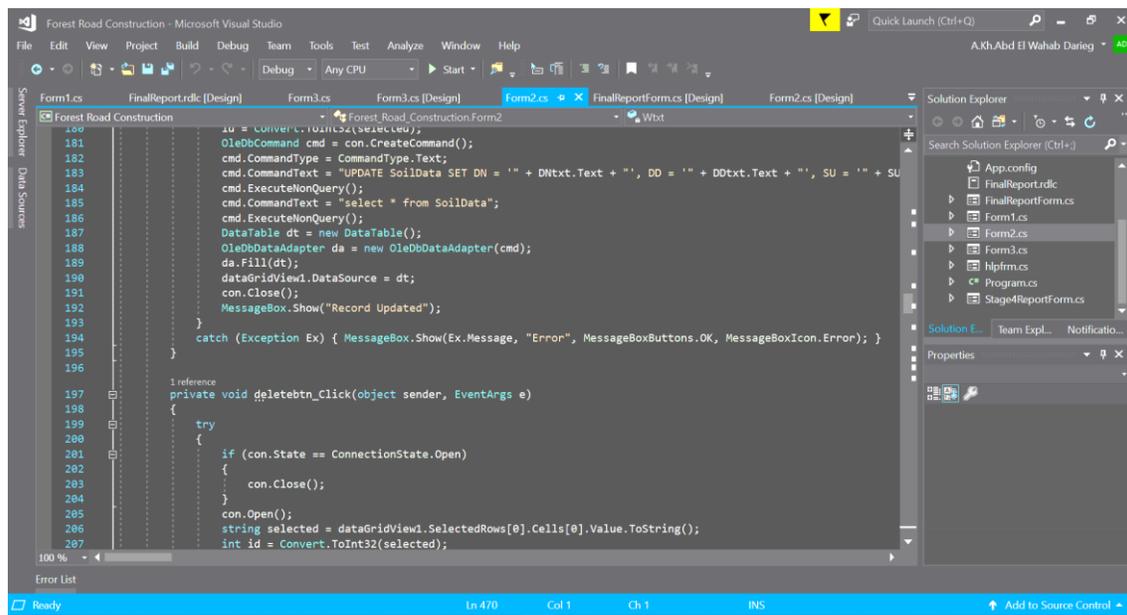


Рисунок 3.12 - M.S. Visual Studio 2017.

**Главный экран:** главный экран содержит описание программы, а также пять основных функций программы, и они описываются в (таблица 3.1).

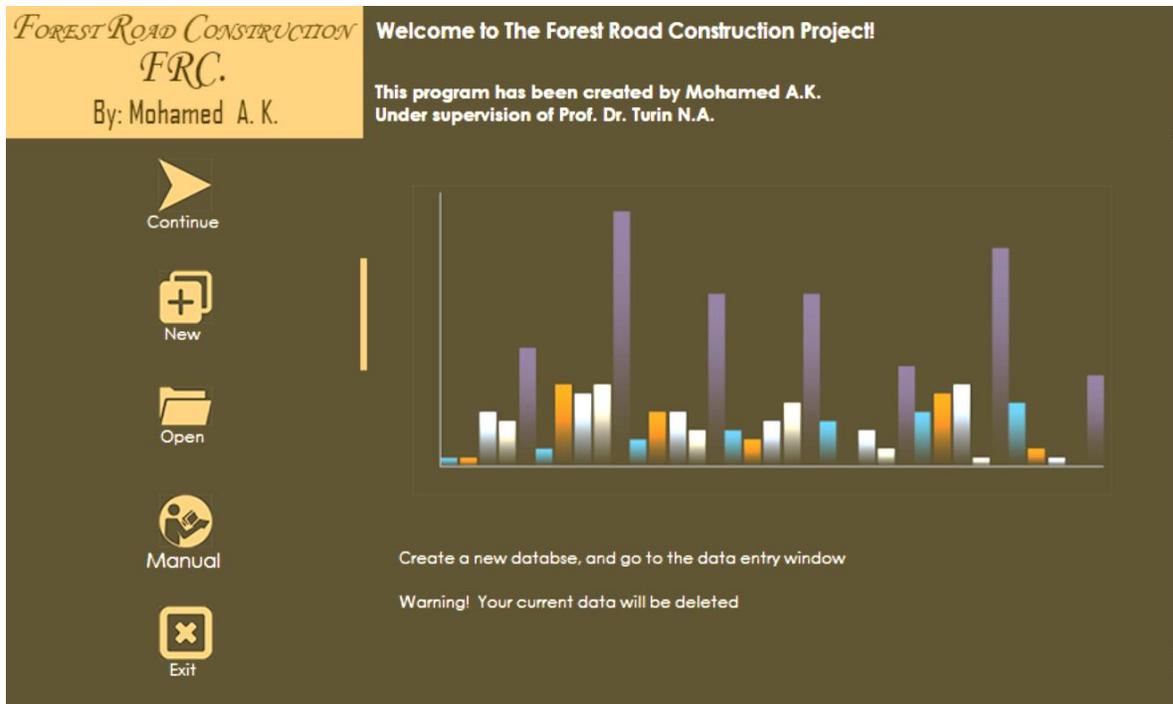


Рисунок 3.13 - FRC. - Главный экран.

Таблица 3.1 - Кнопки первого экрана.

Название кнопки	Функция	Имя в коде
Continue	Продолжить: открывает файл базы данных по умолчанию. Этот файл содержит предыдущие данные, которые были ранее введены, и программа обрабатывала их.	contbtn
New	Открыть: чтобы открыть внешнюю базу данных от внешнего пути, который отличается от пути программы, при нажатии этой кнопки откроется внешнее окно, в котором будет указан файл, через который следует вводить (.accdb). Эта кнопка содержит предупреждение о потере любых данных, которые могли быть введены ранее, поскольку она удалит базу данных о существовании, как в (рисунок 3.13).	newbtn



Open	Новый: для открытия нового проекта с пустой базой данных без данных. Эта кнопка содержит предупреждение о потере любых данных, которые могли быть введены ранее, поскольку она удалит базу данных.	opbtn
Manual	Руководство: эта кнопка откроет текстовый файл, который включает в себя информацию о программе, как ее можно использовать, каковы основные характеристики использования программы и контактную информацию для технической поддержки в случае возникновения проблем в будущем.	helpbtn
Exit	Выход.	exitbtn

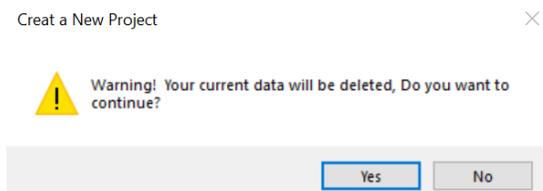


Рисунок 3.14 - FRC. - предупреждение о потере любых данных.

В соответствии с кнопкой (Открыть), необходимо выбрать базу данных, которая имеет свойства, аналогичные упомянутым в предыдущем пункте, по этой причине в папке программы создана пустая база данных для использования при вводе. Эта база данных называется (RodCons.accdb). Также было добавлено еще одно дублирование базы данных по другому пути в программе, свернутой в сжатую версию (RodCons.zip), эта версия может быть использована для замены пустой базы данных, если она отсутствует или неправильно изменена. В случае запроса на реформирование базы данных

пользователь может извлечь базу данных из сжатой версии и переместить ее в основную папку. Код главного экрана в приложении №1.

**Второй экран:** на этом экране реализованы основные функции системы. Он содержит форму ввода и изменения, полный просмотр данных, кнопки для сохранения и обработки данных и вывода. Этот экран содержит также основной код для начальной стадии и стадии основного проекта DLL. Весь код второго экрана приведен в приложении №2.

**Road Parameters**

Road Width [m]:

Type of Side Inclination:  A

Shape of The Roadside Drain:

Drain Width [m]:  Drain Depth [m]:

Drain Side Inclination:

**Proceed to Data**

**Leveling Parameters**

Division Number:  Division Distance [m]:

Soil Level (initial) [m]:  Soil Level (final) [m]:  Б

Road Level (initial) [m]:  Road Level (final) [m]:

Ground Water Level [m]:  Soil Usability:

Career Volume [m<sup>3</sup>]:  Career Distance [m]:

Backup Delete All Soil Data Save Record Edit Record Delete Record

ID	DN	DD	SU	SLf	RLf
4	4080	20	No	81.47	81.47
5	4100	50	No	81.19	81.85
6	4150	50	Yes	82.03	82.7
7	4200	20	Yes	82.21	82.85
8	4220	15	Yes	82.45	82.27
9	4235	20	Yes	81.18	81.83
10	4255	25	No	80.91	81.67
11	4280	20	No	80.67	81.47

Back To Main Screen Process

Save And Exit Overall Report

Created by MOHAMED, A.KH. Exit Application

Рисунок 3.15 - FRC – второй экран. А) основные параметры дороги, Б) параметры пикета и В) таблица данных

**Road Parameters**

Road Width [m]:

Type of Side Inclination:

Shape of The Roadside Drain:

Drain Width [m]:  Drain Depth [m]:

Drain Side Inclination:

**Leveling Parameters**

Division Number:  Division Distance [m]:

Soil Level (initial) [m]:  Soil Level (final) [m]:

Road Level (initial) [m]:  Road Level (final) [m]:

Ground Water Level [m]:  Soil Usability:

Career Volume [m3]:  Career Distance [m]:

**1 Proceed to Data**

**2 Backup** **3 Delete All Soil Data** **4 Save Record** **5 Edit Record** **6 Delete Record**

ID	DN	DD	SU	SLi	SLf	RU
4	4080	20	No	81.47	81.19	81.47
5	4100	50	No	81.19	82.03	81.85
6	4150	50	Yes	82.03	82.21	82.7
7	4200	20	Yes	82.21	82.45	82.85
8	4220	15	Yes	82.45	81.18	82.27
9	4235	20	Yes	81.18	80.91	81.83
10	4255	25	No	80.91	80.67	81.67
11	4280	20	No	80.67	80.72	81.47

**7 Back To Main Screen** **9 Process**

**8 Save And Exit** **10 Overall Report**

Created by MOHAMED, A.KH. **11 Exit Application**

Рисунок 3.16 - FRC – второй экран.

На (рисунок 3.16.) определения текстовых полей совпадают с определениями в пункте 3.1. Значение S будет выбрано из выпадающего списка заложения откосов земляного полотна, форма канавы (кювета) будет выбрана из меню либо прямоугольная либо трапециевидная.

Таблица 3.2 - Кнопки второго экрана.

Номер	Функция	Имя в коде
1	Эта кнопка была добавлена, чтобы убедиться, что пользователь должен ввести основные параметры дороги, которые установлены в поле А (рисунок 3.15). после ввода этих данных пользователь должен нажать на эту кнопку, чтобы включить остальные параметры.	button1
2	Для быстрого сохранения базы данных после ввода данных она будет сохранена в специальной папке (Backup). Быстрое имя базы данных будет включать дату и время для облегчения поиска.	backupbtn

3	Эта кнопка может быть использована для очистки всех данных из первой таблицы	deleteallbtn
4	При вводе данных пользователь должен нажать «сохранить», чтобы сохранить данные текущей строки и очистить текстовые поля для новой входящей записи	savebtn
5	Эту кнопку можно использовать для редактирования введенной записи. Пользователь должен выбрать нужную запись из таблицы данных (поле в рисунке 3.15), затем изменить данные и нажмите "изменить"	editbtn
6	При вводе данных пользователю может потребоваться удалить одну или несколько строк в таблице данных. Эта кнопка позволяет пользователю выбрать нужную запись в сетке данных (поле в рисунке 3.15) и затем щелкнуть по ней, чтобы удалить ее.	deletebtn
7	В любой момент пользователь может вернуться к главному экрану, нажав эту кнопку. Это может привести к потере данных, поэтому пользователь должен получить предупреждение	mainwinbtn
8	При нажатии этой кнопки откроется новый экран для сохранения изменений для сохранения всей базы данных.	exitbtn
9	Это основная кнопка процесса, при нажатии этой кнопки все расчеты и обработки будут запущены и выполнены, согласно алгоритма. Этапы с первого по четвертый будут вызываться из библиотеки программирования под названием (RoadLibrary.dll). После завершения всех процессов отчет будет автоматически открыт, чтобы показать все транзакции, и результаты будут сохранены во второй третьей и четвертой таблицах (Result1, FinalOutput и OverAll) в базе данных	nextbtn
10	Эта кнопка покажет данные из четвертой таблицы (OverAll)	RepAllbtn
11	Эта кнопка обеспечивает выход из системы без каких-либо предупреждений	ExitAppbtn

Сначала пользователь должен ввести основные параметры дороги в (рисунок 3.15, поле А), затем нажать кнопку № 1. Это приведет к включению

всех функций экрана. Затем пользователь может использовать поле Б для ввода параметров каждого пикета. После ввода всех данных пользователь должен нажать на кнопку 9 и процессы начнутся со вступительного этапа. Результаты будут сохранены во второй таблице (Result1), и это будут основные исходные данные для основных расчетов. После этого начнет работать библиотека программирования. Она содержит основные четыре подпрограммы, коды которых приведены в приложении 4...6. После обработки этапов (Stage1, Stage2, Stage3 и Stage4\_Part1), новый экран появится, чтобы показать распределение грунта карьеров в насыпи, а также потребность в материалах, если это требуется, как показано на (рис 3.17.)

Stage4ReportForm

Stage4 - Part1 - Output

DN	K	B
4000	0	79.6550071655
4020	0	883.8000319799...
4060	0	0
4080	0	61.70751662075...
4100	0	252.9503856202...
4150	0	0
4200	0	0
4220	0	0

Stage4 - Part2 - Input

Edit

DN	K	B	Lk
4000	0	79.6550071655	0
4020	0	883.8000319799...	0
4060	0	0	0
4080	0	61.70751662075...	0
4100	0	252.9503856202...	0
4150	0	0	0
4200	0	0	0
4220	0	0	0

OK Cancel **30388.5471950753**

Рисунок 3.17 - FRC. переходный экран от Stage4\_Part1 к Stage4\_Part2, для корректировки параметров карьеров

Красное число в правом нижнем углу экрана, означает недостаток запаса грунта в имеющихся карьерах и указывает требуемый дополнительный объем карьерных грунтов. Необходимо выполнить добавление новых карьеров или

откорректировать данные по объема существующих карьеров для продолжения работы. Чтобы добавить или отредактировать карьер, пользователь должен дважды щелкнуть по выбранному пикету примыкания карьерной дороги к строящемуся участку, затем ввести запас грунта в карьере и длину карьерной дороги, как показано на (рисунок 3.18) и затем нажать «Сохранить» (Save).

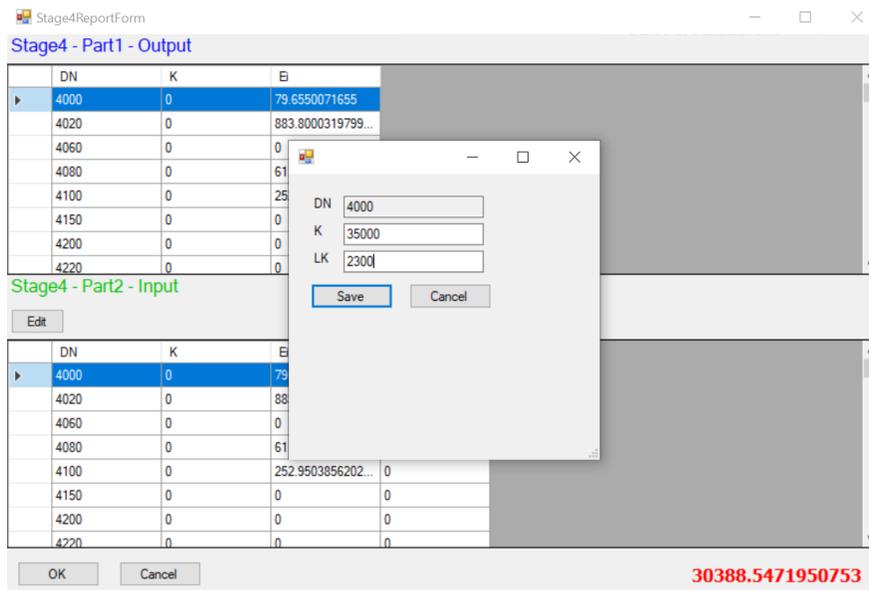


Рисунок 3.18 - FRC. Корректировка карьерный источников грунта.

Если пользователь добавил достаточный объем карьерных источников грунта для возведения всех оставшихся насыпей, то красное число будет преобразовано в зеленый ноль, как показано на (рисунок 3.19.)

The screenshot shows a software window titled "Stage4ReportForm" with standard Windows window controls. It contains two data tables. The first table, "Stage4 - Part1 - Output", has columns DN, K, and E. The second table, "Stage4 - Part2 - Input", has columns DN, K, E, and Lk. Both tables have a scrollable area to the right. At the bottom, there are "OK" and "Cancel" buttons and a green "0" indicator.

DN	K	E
4000	0	79.6550071655
4020	0	883.8000319799...
4060	0	0
4080	0	61.70751662075...
4100	0	252.9503856202...
4150	0	0
4200	0	0
4220	0	0

DN	K	E	Lk
4000	35000	79.6550071655	2000
4020	0	883.8000319799...	0
4060	0	0	0
4080	0	61.70751662075...	0
4100	0	252.9503856202...	0
4150	0	0	0
4200	0	0	0
4220	0	0	0

Рисунок 3.19 - FRC. переходный экран после добавления достаточного объема карьеры

После успешного завершения расчетов появится итоговый отчет с указанием источника грунта и его назначения, объема перемещаемого грунта и вида транспортировки, как показано на (рисунок 3.20.). Отчет можно распечатать напрямую из программы, или сохранить в предпочтительной форме (PDF, Word или Excel).

Source DN	Dest DN	Quantity	Distance	Transaction Kind Text
4220	4220		48.65	18 FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4220	4255		131.35	53 FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4235	4235		199.2	18 FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4235	4255		40.8	38 FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4330	4330		1.06	18 THROW_ROAD_SIDE
4340	4340		3.79	18 THROW_ROAD_SIDE
4375	4375		0.09	5 FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
4380	4380		0.1	15 FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
4425	4425		321.3	18 FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4470	4470		10.93	18 THROW_ROAD_SIDE
4480	4480		44.4	18 THROW_ROAD_SIDE
4550	4550		138	18 FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4830	4830		47.81	18 THROW_ROAD_SIDE
4845	4845		497.26	18 THROW_ROAD_SIDE
4860	4860		138.82	40 FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
4860	4830		172.87	30 FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
4860	4860		138.25	40 FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR

Рисунок 3.20 - FRC. отчет о транзакциях

Где:

THROW\_ROAD\_SIDE – Из выемки в кавальер;

FROM\_SECTOR\_TO\_SAME\_SECTOR - Из полувыемки в полунасыпи;

FROM\_SECTOR\_TO\_ANOTHER\_SECTOR – Из выемки в насыпи;

FROM\_ROAD\_SIDE\_TO\_SECTOR – Из резерва в насыпи;

FROM\_ROAD\_SIDE\_PILE\_TO\_SECTOR - Из карьера в насыпи.

В окончании пользователь нажимает на кнопку № 10, которая покажет окончательные результаты распределения грунтов по источникам, объемам, назначению и расстоянию, как показано на (рисунок 3.21.)



Final Quantities x

	Total Moving Distance	Quantity For Distance Less Than 30m	Quantity For Distance From 30 To 100m	Quantity For Distance From 100 To 250m	Quantity For Distance More Than 250m
▶	313736	6858	2803	1354	34723
*					

Рисунок 3.21 - FRC. окончательные результаты.

### **3.4. Выбор вычислительного метода и программных средств модели оптимизации использования парка машин в лесном дорожном строительстве.**

Разработанная математическая модель выбора эффективных технологий земляных работ и использование парка машин в лесном дорожном строительстве, изложенная в главе 2 является линейной. Для отдельных задач оптимизации существует решение в аналитической форме, но это является скорее исключением из общего правила. Сколько-нибудь интересные практические задачи оптимизации, встречающиеся в современных производственных системах, как правило, не имеют аналитического решения в форме расчетных формул или номограмм. Именно поэтому становится актуальным выбор вычислительного метода и программного средства для их практического решения.

На выбор метода и средства оказывает влияние характер математической модели и математические свойства множества допустимых альтернатив. На выбор программного средства для решения задач оптимизации оказывают влияние следующие соображения. На рынке программ существуют математические пакеты, например, MATLAB и Mathcad, которые специально ориентированы на решение математических задач. Их основное достоинство заключается в наличии сотен и тысяч встроенных математических функций и десятков вычислительных алгоритмов для выполнения практических

расчетов. Очевидный недостаток - дополнительные финансовые затраты на их приобретение и время на изучение и освоение.

Наряду с этим на компьютерах практически всех пользователей присутствует программа электронных таблиц MS Excel, которая, устанавливается в составе офисного пакета, как правило, сразу после инсталляции ОС от Microsoft. Вполне очевидно желание воспользоваться возможностями этой программы для решения задач оптимизации. В пользу выбора MS Excel в качестве программного средства служит наличие встроенных функций и нескольких алгоритмов поиска оптимизационных решений. При этом никаких дополнительных затрат от пользователя не требуется. Недостаток связан с отсутствием возможности решения некоторых классов задач оптимизации [45].

В отличие от линейного программирования (ЛП), где разработан универсальный метод (симплекс-метод), позволяющий решить, любую задачу ЛП, в нелинейном программировании пока не существует метода решения в общем виде. К настоящему времени определенный успех достигнут в работе по созданию эффективных методов и программного обеспечения для хорошо исследованных классов задач и специализированных методов для узких классов задач. Методы нелинейного программирования можно разделить на следующие группы:

- 1) *аналитические методы* (основаны на классических методах дифференциального и интегрального исчисления);
- 2) *численные методы* (используют предшествующую информацию для построения улучшенного решения при помощи итерационных процедур);
- 3) *графические методы* (применяются в задачах с одной или с двумя переменными);
- 4) *экспериментальные методы* [82].

Кроме того, методы различают по постановке задачи (с ограничениями или нет, по виду целевой функции) и по характерным чертам (например, используется или нет информация о поведении производных от целевой функции).

Если число переменных в задаче нелинейного программирования не превышает двух, то в простейших случаях для их решения можно применить графический метод.

Среди распространенных аналитических методов различают классический метод, метод нахождения интервала, содержащего точку минимума, метод дихотомии, метод золотого сечения.

В численных методах применяются итерационные процедуры, основанные на вычислении значений целевой функции и ее производных. Различают *методы нулевого порядка*, использующие информацию только о значениях целевой функции; *методы первого порядка*, использующие также информацию о значениях первых производных; *методы второго порядка*, в которых используется информация еще и о значениях вторых производных. Выбор метода зависит от многих факторов (от вида целевой функции, от размерности задачи, от наличия программной реализации метода и т. д.).

Самым простым методом минимизации функции  $f(x_1, x_2, x_3 \dots, x_n)$ , не требующим вычисления частных производных, является *метод по координатного спуска* [82].

Значительное внимание уделено методам минимизации – *градиентному методу и методу Ньютона*. Эти методы имеют большое значение в идейном отношении. Оба они явным образом основаны на идее замены минимизируемой функции в окрестности очередной точки  $x_k$  первыми членами ее разложения в ряд Тейлора. В градиентном методе берут линейную ее часть, в методе Ньютона – квадратическую часть.

Ввиду того, что в поставленной задаче число переменных больше двух и целевая функция сложна относительно неизвестных, применение аналитических и численных методов становится затруднительным и невозможным. Для реализации рассматриваемой задачи оптимизации выбора эффективных технологий земляных работ и использования парка машин была выбрана программа Excel MS, как наиболее доступная и известная всем пользователям персональных компьютеров. Задачи линейного и нелинейного программирования в Excel решаются с помощью опции **Сервис – Поиск решения**. Данный модуль осуществляет численную оптимизацию путем проведения серии итераций. В Excel поиск оптимального решения задачи нелинейного типа можно решить двумя методами – **квазиньютоновским методом и методом сопряженных градиентов**.

Схема реализации задачи оптимизации выбора эффективных технологий земляных работ и использования парка машин следующая. Перед использованием модуля «Поиск решения» необходимо реализовать математическую модель оптимизации в среде MS Excel, содержание которой отражено в главе 2 настоящей работы. С этой целью создаются таблицы, в ячейках которых задаются математические зависимости из указанной модели оптимизации в виде соответствующих формул MS Excel. После ее реализации в соответствующие ячейки таблицы вносятся исходные данные, которыми являются значения факторов из математической модели оптимизации. Фрагмент таблицы, с исходными значениями факторов, приведен на рисунке 3.22.

марки машин	всего, шт	резерв. шт	дефицит, шт	оптималь но, шт	коэффиц иент ремонтов	Фонд рабочего времени	Стоимост ь маш- смены в работе, руб/м-см	Стоимост ь маш- смены в простое, руб/м-см	
бульдозер ДЗ-171		2	0	2	4	0,119	394,688	3288	2656
скрепер ДЗ-74		6	0	0	6	0,085	409,92	4272	3568
скрепер ДЗ-115		6	0	1	7	0,109	399,168	6704	4424
каток ДУ-37		3	1	0	2	0,095	405,44	4464	3168
автогрейдер ДЗ-31		1	0	0	1	0,12	394,24	3816	2520
Продолжительность строительного сезона, дней	150								
Простои по метеоусловиям, дни	2								
Количество выходных и праздничных дней за период	43								
Число часов работы машины в сутки	8,0								
Длина участка строительства дороги, км	16								
Общая длина трассы, км	30								
Коэффициент сменности	1								
Продолжительность смены, ч	8								

Рисунок 3.22 - Фрагмент модели оптимизации использования парка машин, реализованной в MS Excel, с исходными данными оптимизации

Вводятся начальные значения искомых переменных. Через адреса ячеек, в которых присвоены начальные значения искомых переменных, вводятся целевая функция и ограничения. Целевая функция в начальной точке не должна быть равна нулю. Из меню **Сервис** необходимо вызвать диалоговое окно **Поиск решения** (рисунок 3.23). В нем в поле **установить целевую ячейку** ввести адрес ячейки, где записана целевая функция, далее установить флажок по цели решения – на минимум.

Solver Parameters ×

Set Objective:

To:  Max  Min  Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

\$U\$4:\$U\$12 = \$V\$4:\$V\$12  
 \$B\$2:\$T\$2 >= 0

Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:

Solving Method

Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Рисунок 3.23 - Диалоговое окно Поиск решения

В поле области **Изменяя ячейки** ввести адреса ячеек, где установлены начальные значения переменных, и в поле области **Ограничения** ввести ограничения модели. Нажать кнопку **Параметры**. В открывшемся диалогом окне **Параметры поиска решения** (рисунок 3.24) установить требуемые параметры.

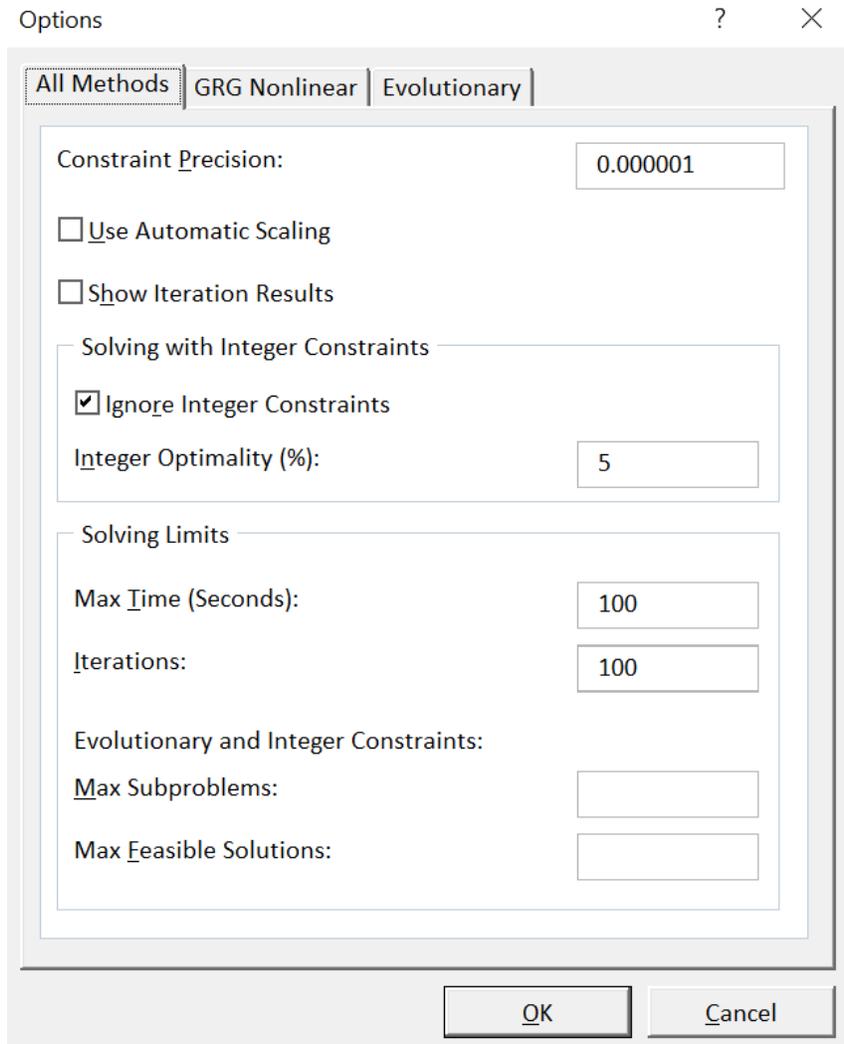


Рисунок 3.24 - Диалоговое окно Параметры поиска решения

Выбор метода **оценки** – *линейный* или *квадратичный*. Квадратичный метод имеет смысл использовать, если зависимости в модели сильно отличаются от линейных. **Разности** служат для указания метода численного дифференцирования (прямые или центральные), которые используются для вычисления частных производных целевых и ограничивающих функций. *Прямые* разности обычно используются для гладких непрерывных функций, *центральные* разности – для функций, имеющих разрывную производную. **Метод поиска** служит для выбора алгоритма оптимизации (метод Ньютона

или метод сопряженных градиентов) для указания направления поиска. При *методе Ньютона* запрашивается больше памяти, но выполняется меньше итераций, чем в методе сопряженных градиентов. *Метод сопряженных градиентов* следует использовать, если задача достаточно велика и необходимо экономить память, а также, если итерации дают слишком малое отличие в последовательных приближениях.

Выполнение численных расчетов в контексте методологии системного моделирования означает выполнение серии экспериментов с программной моделью системы на той или иной вычислительной платформе. В нашем случае, это решение конкретной задачи оптимизации для фиксированной совокупности исходных данных средствами программы электронных таблиц MS Excel. При этом возможна следующая последовательность действий, отражающая содержание собственно процесса планирования эксперимента:

- формирование конкретных значений исходных данных (значений коэффициентов ограничений и целевой функции) и их ввод в специальном формате на отдельный рабочий лист MS Excel;
- задание свойств алгоритма расчета и параметров поиска решения MS Excel;
- выполнение расчетов с целью получения решения в форме конкретных значений переменных модели.

### **3.5 Выводы по главе 3**

1. Проектирование производства земляных работ в лесном дорожном строительстве должно осуществляться на базе системного подхода с использованием соответствующей методики. Основой проектирования должны служить автоматизированные системы рационального распределения



земляных масс и использования парка дорожных машин строительной организации.

2. Основными этапами методики производства земляных работ в лесном дорожном строительстве являются: сбор, обработка и анализ исходной информации, оптимизация распределения земляных масс строящегося участка дороги, распределения дорожно-строительных машин строительной организации по видам земляных работ с учетом возможности аренды техники, оформление документации проекта производства земляных работ.

3. Особенностью методики является использование автоматизированной системы распределения земляных масс в комплексе с выбором технологий земляных работ и рациональным использованием парка машин строительной организации. Это позволяет учесть возможности передачи или получения техники в аренду и тем самым улучшить технико-экономические показатели эксплуатации парка машин.

4. Созданная автоматизированная система распределения земляных масс для каждого элементарного участка лесовозной дороги позволяет определить рациональный источник грунта и расстояние транспортировки в виде поэлементной таблицы распределения земляных масс, которая затем обобщается по источникам и расстояниям транспортировки грунта на весь строящийся участок.

5. Основной этап проектирования производства земляных работ предусматривает выполнение оптимизационных расчетов в среде MS Excel распределения дорожно-строительных машин строительной организации по видам земляных работ с учетом возможности аренды техники. В результате решения оптимизационной задачи определяются объемы земляных работ по видам на имеющиеся системы машин, недоиспользованный фонд времени

(резерв) каждой машины и недостаток (дефицит) фонда времени каждой машины в машино-часах.

6. Результаты работы могут быть востребованы лесозаготовительными и дорожно-строительными предприятиями в период проектирования производства земляных работ, обновления машинных парков, а также при выборе наилучшего варианта использования имеющегося парка, прогнозировании продолжительности и стоимости ведения механизированных работ.

## **4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДИКИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В ЛЕСНОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **4.1. Цели и задачи экспериментальных исследований**

Земляные дорожно-строительные работы - это сложный технологический процесс с возможностью применения широкой номенклатуры машин, разнообразных организационных и технологических решений [2, 3, 9, 24, 85]. Эффективность использования тех или иных технологий, кроме машин, в значительной мере определяется рациональностью распределения земляных масс при организации производства работ. Оптимизация способов организации земляных работ и применяемых технологий является технико-экономической задачей, решение которой позволяет обеспечить качественное выполнение работ в заданные сроки с наибольшей экономической эффективностью использования всех ресурсов предприятия, включая технические. Данные возможности раскрывает предлагаемая методика проектирования производства земляных работ в лесном дорожном строительстве, основанная на рациональном распределении земляных масс и использовании материально-технических ресурсов дорожно-строительной организации.

Разработанную математическую модель распределения земляных масс и полученную на ее основе автоматизированную систему необходимо всесторонне апробировать для большого числа различных ситуаций, встречающихся на лесозаготовительном предприятии, т.е. выполнить достаточно полный объем исследований по обоснованию корректности математической модели как на абстрактных идеальных, так и на реальных строительных объектах лесного предприятия [2, 3, 9, 82].

Прежде всего, необходимо ответить на основной вопрос машинного эксперимента: способна ли модель прогнозировать поведение изучаемой системы. Степень совпадения результатов модельного эксперимента с наблюдаемыми данными можно исследовать двумя способами [82]:

1. по прошлым данным (ретроспективное планирование),
2. по проверке прогнозов модели (перспективное планирование).

Косвенным методом проверки модели может быть так же сравнение текущих результатов использования некоторой стратегии с соответствующим прогнозом модели.

Основной целью проведения вычислительных экспериментов является опытная проверка разработанной методологии планирования распределения земляных масс, рационального размещения имеющихся машин по объектам строительства в реальных природно-производственных условиях действующих предприятий, а также на теоретических моделях для оценки адекватности разработанной математической модели и полученной на ее основе системы.

В соответствии с целью экспериментов ставятся следующие задачи:

- проверка методики ввода и редактирования исходных данных;
- проверка работоспособности рассматриваемой автоматизированной системы на запланированных наборах исходных данных;
- оценка эффективности использования системы проектирования организации земляных работ.

При выполнении эксперимента выполнялись следующие этапы [12, 82]:

1. Планирование машинного эксперимента. Перед выполнением рабочих расчетов на ЭВМ должен быть составлен план проведения эксперимента с указанием комбинаций переменных и параметров, для которых проводится моделирование системы. Планирование машинного

эксперимента призвано дать в итоге максимальный объем необходимой информации об объекте моделирования. При этом различают стратегическое и тактическое планирование машинного эксперимента. При стратегическом планировании мы ставим задачу построения оптимального плана эксперимента для достижения цели, поставленной перед моделированием. Тактическое планирование машинного эксперимента преследует частные цели оптимальной реализации каждого конкретного опыта.

2. Определение требований к техническому обеспечению разработанной автоматизированной системы. Составляется график работы одной или нескольких ЭВМ с разработанным программным средством.

3. Проведение рабочих расчетов. Сюда включается подготовка наборов исходных данных, проведение расчетов на ЭВМ, получение выходных данных, то есть результатов моделирования. Проведение машинного моделирования целесообразно выполнять в два этапа: контрольные, а затем рабочие расчеты. Контрольные расчеты выполняются для проверки машинной модели и определения чувствительности результатов к изменению исходных данных.

4. Анализ результатов моделирования. Необходимо, чтобы в качестве выходных данных выдавались только те результаты, которые представляют интерес для дальнейшего анализа. Результаты моделирования должны быть представлены в наиболее наглядном виде и интуитивно понятны пользователю.

5. Представление результатов моделирования. В каждом конкретном случае необходимо выбрать наиболее подходящую форму выдачи результатов. В большинстве случаев наиболее универсальной формой являются эмпирические модели, графическое представление, картография.

6. Интерпретация результатов моделирования. Результаты моделирования должны быть интерпретированы по отношению к моделируемому объекту.

7. Подведение итогов и выдача рекомендаций. При подведении итогов моделирования должны быть отмечены главные особенности результатов, полученных в соответствии с планом эксперимента над моделью. Это позволяет сформулировать рекомендации по практическому использованию результатов моделирования.

8. Составление технической документации. Документация включает в себя: план проведения машинного эксперимента, наборы исходных данных для моделирования, результаты моделирования системы, анализ и оценку результатов моделирования, выводы по полученным результатам моделирования.

Данная последовательность этапов отражает наиболее общий подход к построению и реализации модели системы.

#### **4.2. Выбор эффективных технологий земляных работ и использования парка машин**

Синтез машин в комплексы должен базироваться на максимальном использовании потенциальных возможностей машин, их образующих, учитывая при этом, что эксплуатационная производительность дорожно-строительных машин, объединенных в комплекты, зависит от физико-механических свойств грунтов, уровня организации работ и уровня оптимального сочетания производительности машин, составляющих комплект; во-вторых, объединение машин в комплекты и комплексы должен осуществляться параллельно с решением вопросов выбора технологии

строительства земляного полотна, средств механизации с учетом возможности аренды техники и сроков строительства дороги.

Рассмотрим применение разработанной модели на практических задачах организации дорожно-строительных работ.

**Задача1.** Требуется построить участок лесовозной автомобильной дороги общей длиной 2 км (начальный пикет 20+00), ширина земляного полотна 10 м, среднее значение откоса насыпи 1:3, канавы (кюветы) имеют трапециевидную форму, значение откоса канав 1:1, ширина канавы по низу 0,4 м, а средняя глубина 0,6 м. Имеется только один грунтовый карьер, который находится в 2 км от первого пикета. Данные продольного профиля дороги отображены в таблице (Приложении 7). Данные продольного профиля перенесены в базу данных (RData.acscdb) в таблицу (SoilData), которая размещена в FRC.

При запуске программы FRC получены поэлементные результаты распределения земляных масс на строящийся участок, приведенные в приложении 9 и обобщенные объемы земляных работ по источникам грунтов и расстояниям транспортировки, представленные на (рисунок 4.1)

Final Quantities x

	Total Moving Distance	Quantity For Distance Less Than 30m	Quantity For Distance From 30 To 100m	Quantity For Distance From 100 To 250m	Quantity For Distance More Than 250m
▶	30161	7335	4232	1226	1736
•					

Рисунок 4.1 - Обобщенные результаты распределения земных масс на строящийся участок

Полученное оптимальное распределение земляных масс по источникам грунтов, назначению и расстояниям транспортировки формирует следующие виды земляных работ на строящемся участке:

возведение насыпи из выемки с перемещением до 100м	4232м <sup>3</sup> ;
возведение насыпи в кавальер с перемещением от 100 до 250м	1225м <sup>3</sup> ;
возведение насыпи из карьера или сосредоточенного резервов с перемещением от 250м	1736м <sup>3</sup> ;
возведение насыпи из боковых резервов с перемещением до 30м	7335м <sup>3</sup> .

В Приложении 11 приведены подробные попикетные результаты распределения земляных масс на этом участке.

Задан имеющийся состав машин на строительной организации: бульдозеры ДЗ-171 – 2 шт., прицепные скреперы ДЗ-74 с трактором Т-100 – 6 шт., самоходные скреперы ДЗ-115 -6 шт., катки ДУ-37 – 3 шт., автогрейдеры ДЗ-31 – 1 шт.

Директивный срок земляных работ на объекте задан и составляет  $T_0=330$  ч. Разновидности земляных работ на объекте и их объемы представлены в исходной матрице (таблица 4.1). Заполненными в матрице являются клетки технически осуществимых способов работ, полученные путем анализа полученного распределения земляных масс строящейся лесовозной дороги [18, 20].

Таблица 4.1 - Матрица исходных данных

Объекты работ по трассе дороги	Машины комплекта			Объем работ м <sup>3</sup>
	ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-31	ДЗ-74, ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-31	ДЗ-115, ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-31	



Возведение насыпи из выемки	2,03	1207,83	3,29	2138,58	3,10	2979,52	4232
	0,28	X <sub>1</sub>	0,02		0,02	X <sub>3</sub>	
	0,43		0,28	X <sub>2</sub>	0,28		
			0,43		0,43		
Разработка выемки в кавальер	2,03	834,33	1,75	942,72	-		1225
		X <sub>4</sub>	0,02	X <sub>5</sub>			
Возведение насыпи из карьера	-		5,84	3441,87	4,25	3884,81	1736
			0,11		0,11		
			0,43	X <sub>6</sub>	0,43	X <sub>7</sub>	
			0,08		0,08		
Возведение насыпи из бокового резерва	1,63	952,8	1,55	1217,43	-		7335
	0,43	X <sub>8</sub>	0,26	X <sub>9</sub>			
	0,09		0,43				
			0,09				

Определение приведенных затрат по каждому комплекту машин (правый верхний угол матрицы исходных данных) определен на основании ЕНиР на земляные работы [86] и приведенных затрат по каждой машине (таблица 4.2).

Таблица 4.2 - Приведенные затраты и фонд рабочего времени по дорожно-строительным машинам

Марка машины	Фонд рабочего времени, час.	Приведенные затраты, руб./маш.смена.	
		В работе	В простое
Бульдозеры ДЗ-171	290	3288	2656
Скреперы ДЗ-74	302	4272	3568
Скреперы ДЗ-115	294	6704	4424

Катки ДУ-37	298	4464	3168
Автогрейдеры ДЗ-31	290	3816	2520

Например, для верхней левой клетки матрицы (таблица 4.2) приведенные затраты определяются следующим образом

$$C_{11} = 3288/8 * 2,03 + 4464/8 * 0,43 + 3816/8 * 0,28 = 1207,83 \text{ руб./маш.ч.}$$

Суммарные приведенные затраты в соответствии с целевой функцией (2.13) определяться из выражения

$$C = 1207.83 X_1 + 2138.58 X_2 + 2979.52 X_3 + 834.33 X_4 + 942.72 X_5 + 3441.87 X_6 + 3884.81 X_7 + 952.80 X_8 + 1217.43 X_9 + 332 X_{10} + 446 X_{11} + 553 X_{12} + 396 X_{13} + 315 X_{14} + 1710 X_{15} + 1596 X_{16} + 1489 X_{17} + 1646 X_{18} + 1727 X_{19} \rightarrow \min$$

Директивный срок проведения строительных работ

$$T_0 = (T_k - T_B - T_M) SK_{CM} \frac{1}{L} = (150 - 43 - 4) * 8 * 1 * \frac{2}{5} = 330 \text{ ч}$$

Полезный фонд рабочего времени, рассчитанный на одну дорожную машину в соответствии с (2.7) и (2.8) приведен в (таблица 4.2). Тогда ограничения модели по ресурсам на всю номенклатуру дорожных машин в соответствии с (2.14) составят

$$\text{Бульдозеры ДЗ-171: } 2,03 X_1 + 0,02 X_2 + 0,02 X_3 + 2,03 X_4 + 0,02 X_5 + 0,11 X_6 + 0,11 X_7 + 1,63 X_8 + 0,26 X_9 + X_{10} - X_{15} = 581$$

$$\text{Скреперы ДЗ-74: } 3,29 X_2 + 1,75 X_5 + 5,84 X_6 + 1,55 X_9 + X_{11} - X_{16} = 1810$$

$$\text{Скреперы ДЗ-115: } 3,1 X_3 + 4,25 X_7 + X_{12} - X_{17} = 1762$$

$$\text{Катки ДУ-37: } 0,43 X_1 + 0,43 X_2 + 0,43 X_3 + 0,43 X_6 + 0,43 X_7 + 0,43 X_8 + 0,43 X_9 + X_{13} - X_{18} = 895$$

$$\text{Автогрейдеры ДЗ-31: } 0,28 X_1 + 0,28 X_2 + 0,28 X_3 + 0,08 X_6 + 0,08 X_7 + 0,09 X_8 + 0,09 X_9 + X_{14} - X_{19} = 290$$

Ограничения модели по объемам в соответствии с (2.15) составят

$$X_1 + X_2 + X_3 = 4232$$

$$X_4 + X_5 = 1225$$

$$X_6 + X_7 = 1736$$

$$X_8 + X_9 = 7335$$

Решение поставленной задачи на ЭВМ выполнено в подсистеме «Поиск решения» в электронных таблицах MS Excel (рисунок 4.5).



Получены результаты решения представлены в (таблица 4.3).

Таблица 4.3 - Матрица результатов решения

Объекты работ по трассе дороги	Машины комплекта и объем работы			Объем работ $m^3$
	ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-31	ДЗ-74, ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-31	ДЗ-115, ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-31	
Возведение насыпи из выемки	$X_1 = 4232$	$X_2 = 0$	$X_3 = 0$	4232
Разработка выемки в кавальер	$X_4 = 0$	$X_5 = 1225$	-	1225
Возведение насыпи из карьера	-	$X_6 = 1736$	$X_7 = 0$	1736
Возведение насыпи из бокового резерва	$X_8 = 7335$	$X_9 = 0$	-	7335

Указанное решение получено при возможности приобретения или аренды любых дорожно-строительных машин (рисунок 4.6).

	всего, шт	резерв. шт	дефицит, шт	оптималь но, шт	коэффиц иент ремонтов	Фонд рабочего времени	Стоимост ь маш- смены в работе, руб/м-см	Стоимост ь маш- смены в простое, руб/м-см
бульдозер ДЗ-171	2	1	0	1	0.119	290.3776	3288	2656
скрепер ДЗ-74	6	5	0	1	0.085	301.584	4272	3568
скрепер ДЗ-115	6	6	0	0	0.109	293.6736	6704	4424
каток ДУ-37	3	2	0	1	0.095	298.288	4464	3168
автогрейдер ДЗ-31	1	0	0	1	0.12	290.048	3816	2520
Продолжительность строительного сезона, дней	150							
Простои по метеоусловиям, дни	4							
Количество выходных и праздничных дней за период	43							
Число часов работы машины в сутки	8.0							
Длина участка строительства дороги, км	2							
Общая длина трассы, км	5							
Коэффициент сменности	1							
Продолжительность смены, ч	8							

Рисунок 4.6 - Требуемые ресурсы дорожных машин

Приведенные затраты по целевой функции составляют 2,459,681.22 руб. Оптимальное количество бульдозеров ДЗ-171 - 1 шт., скреперов ДЗ-74 – 1 шт., катков ДУ-37 - 1 автогрейдеров ДЗ-31 - 1 шт. При этом высвобождается и может быть использован на других работах или сданы в аренду один бульдозер ДЗ-171, не использованный фонд рабочего времени, которого составляет  $X_{10} = 373$  ч., 5 скреперов ДЗ-74, не использованный фонд рабочего времени которых составляет  $X_{11} = 1687$  ч., 6 скреперов ДЗ-115, не использованный фонд рабочего времени которых составляет  $X_{12} = 1762$  ч. и 2 катка ДУ-37, не использованный фонд рабочего времени которых составляет  $X_{13} = 838$  ч.

**Задача 2.** Требуется построить участок лесовозной магистрали протяженностью 3.9 км (начальный пикет 40+00). Ширина земляного полотна 12 м, среднее значение откоса насыпи 1:3, поперечное сечение канавы (кювета) трапецидальное, заложение откоса канавы 1:1, ширина канавы по

дну 0,4 м, а средняя глубина 0,6 м. На строящемся участке есть два притрассовых грунтовых карьера. Первый карьер находится в 3 км от первого пикета, а второй в 2,6 км от пикета 70+00. Данные продольного профиля строящегося участка сведены в таблицу (Приложении 8). Попикетные объемы земляных работ были преобразованы в базу данных (RData.accdb) в таблице (SoilData).

При запуске программы FRC получены поэлементные результаты распределения земляных масс на строящийся участок, приведенные в приложении 10 и обобщенные объемы земляных работ по источникам грунтов и расстояниям транспортировки, представленные на (рисунок 4.7)

Final Quantities x

	Total Moving Distance	Quantity For Distance Less Than 30m	Quantity For Distance From 30 To 100m	Quantity For Distance From 100 To 250m	Quantity For Distance More Than 250m
▶	313736	6858	2803	1354	34723
•					

Рисунок 4.7 - Обобщенные результаты распределения земляных работ участка задачи

2

Полученное оптимальное распределение земляных масс по источникам грунтов, назначению и расстояниям транспортировки формирует следующие виды земляных работ на строящемся участке:

возведение насыпи из выемки с перемещением до 100м	2803м <sup>3</sup> ;
возведение насыпи из выемки с перемещением от 100 до 250м	1354м <sup>3</sup> ;
возведение насыпи из карьеров с перемещением до 1900 м	34723м <sup>3</sup> ;
возведение насыпи из боковых резервов с перемещением до 30м	6858м <sup>3</sup> .

В Приложении 12 приведены подробные попикетные результаты распределения земляных масс на данном участке.

Задан имеющийся в строительной организации состав дорожно-строительных машин: бульдозеры ДЗ-171 – 4 шт., прицепные скреперы ДЗ-74 с трактором К-702 – 3 шт., экскаваторы ЭО-3223 – 3 шт., катки ДУ-37 – 1 шт., автогрейдеры ДЗ-122 – 1 шт., автомобили-самосвалы КамАЗ 6115 – 5 шт.

Директивный срок земляных работ на объекте задан и составляет  $T_0=410$  ч. Разновидности земляных работ на объекте, их объемы и нормативы представлены в исходной матрице, (таблица 4.4). Заполненными в матрице являются клетки технически осуществимых способов работ, полученные путем анализа полученного графика распределения земляных масс строящейся лесовозной дороги.

Таблица 4.4 - Матрица исходных данных

Объекты земляных работ по трассе дороги	Машины комплекта				Объем земляных работ, м <sup>3</sup>
	ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-122	ДЗ-74 +К-702 ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-122	Экскаватор ЭО-3223 ДУ-37, ДЗ-122	Экскаватор ЭО-3223 Автосамосвал КамАЗ-65115 ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-122	
Возведение насыпи из выемки с перемещением до 100 м	105,27 66,37 15,10 4,00 $X_1$	77,38 17,78 2,38 15,10 4,00 $X_2$	–	–	2803
Возведение насыпи из выемки с перемещением от 100 до 250 м	–	119,87 33,23 2,38 $X_3$ 15,10 4,00	–	184,20 33,04 50,14 $X_4$ 15,73 15,10 4,00	1354
Возведение насыпи из карьера с	–	587,23 203,18 2,38 $X_5$ 15,10	–	318,31 33,04 133,96 $X_6$ 15,73	34723



перемещением до 1900 м		4,00		15,10 4,00	
Возведение насыпи из боковых резервов с перемещением до 30 м	52,10 22,06 15,10 X <sub>7</sub> 4,00	–	66,62 22,77 15,10 X <sub>8</sub> 4,00	–	6858

Требуется распределить дорожные машины по объектам строительства по критерию минимума приведенных расходов с учетом возможности аренды отсутствующих в строительной организации машин и окончания строительных работ в запланированные сроки.

Определение приведенных затрат по каждому комплекту машин (правый верхний угол матрицы исходных данных (таблица 4.4)) определен на основании государственных элементных сметных норм ГЭСН 81-02-01 на земляные работы [76] в маш.ч/1000м<sup>3</sup> и приведенных затрат по каждой машине (таблица 4.5).

Таблица 4.5 - Приведенные затраты и фонд рабочего времени по дорожно-строительным машинам

Марка машины	Фонд рабочего времени, маш-час.	Приведенные затраты, руб./маш-час.	
		В работе	В простое
Бульдозеры ДЗ-171	361	1200	969
Скреперы ДЗ-74	365	2750	2297
Экскаватор ЭО-3223	365	1800	1188

Катки ДУ-37	371	1300	922
Автогрейдеры ДЗ-122	360	1500	990
Автосамосвалы КамАЗ-65115	369	1600	1360

Например, для верхней левой клетки матрицы (таблица 4.4) приведенные затраты определяются следующим образом

$$C_{11}=(66,37*1200+15,1*1300+4,00*1500)/1000 = 105,27 \text{ руб./м куб.}$$

Суммарные приведенные затраты в соответствии с целевой функцией (2.13) определяться из выражения

$$C=105,27 X_1 + 77,38 X_2 + 119,87 X_3 + 184,20 X_4 + 587,23 X_5 + 318,31 X_6 + 52,10 X_7 + 66,52 X_8 + 969,34 X_9 + 2296,82 X_{10} + 1187,83 X_{11} + 1360,0 X_{12} + 922,58 X_{13} + 990,57 X_{14} - 6757,79 X_{15} - 2282,49 X_{16} - 4242,49 X_{17} - 4070,32 X_{18} - 5179,31 X_{19} - 4188 X_{20} \rightarrow \min$$

Ограничения модели по ресурсам на всю номенклатуру дорожных машин в соответствии с (2.14) составят:

Бульдозеры ДЗ-171:

$$66,37 X_1 + 2,38 X_2 + 2,38 X_3 + 15,73 X_4 + 2,38 X_5 + 15,73 X_6 + 22,06 X_7 + X_9 - X_{15} = 1443.08$$

Скреперы ДЗ-74:

$$17,78 X_2 + 33,23 X_3 + 203,18 X_5 + X_{10} - X_{16} = 1094.59$$

Экскаваторы ЭО-3223:

$$33,04 X_4 + 33,04 X_6 + 22,77 X_8 + X_{11} - X_{17} = 1094.59$$

Катки ДУ-37:

$$15,10 X_1 + 15,10 X_2 + 15,10 X_3 + 15,10 X_4 + 15,10 X_5 + 15,10 X_6 + 15,10 X_7 + 15,10 X_8 + X_{13} - X_{19} = 370.60.$$

Автогрейдеры ДЗ-122:

$$4.00 X_1 + 4.00 X_2 + 4.00 X_3 + 4.00 X_4 + 4.00 X_5 + 4.00 X_6 + 4.00 X_7 + 4.00 X_8 + X_{14} - X_{20} = 360.36.$$

Автомобили –самосвалы КамАЗ 65115:

$$50,14 X_4 = 133.96 X_6 + X_{12} - X_{18} = 1842.75$$

Ограничения модели по объемам земляных работ на объектах в соответствии с (2.15) составят:

$$X_1 + X_2 = 2803$$

$$X_3 + X_4 = 1353$$

$$X_4 + X_5 = 34722$$

$$X_7 + X_8 = 6858$$

В результате решения поставленной задачи в системе «Поиск решения» MS Excel получены данные, представленные на (рисунок 4.8) и в (таблица 4.6).



Таблица 4.6 - Матрица результатов решения

Объекты работ по трассе дороги	Машины комплекта				Объем работ м <sup>3</sup>
	ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-122	ДЗ-74 +К-702 ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-122	Экскаватор ЭО-3223 ДУ-37, ДЗ-122	Экскаватор ЭО-3223 Автосамосвал КамАЗ-65115 ДЗ-171, ДУ-37, ДЗ-122	
Возведение насыпи из выемки, $l=100$	$X_1=0$	$X_2=2803$	–	–	2803
Возведение насыпи из выемки, $l=250$	–	$X_3=1354$	–	$X_4=0$	1354
Возведение насыпи из карьера $l=1900$	–	$X_5=0$	–	$X_6=34723$	34723
Возведение насыпи из боковых резервов $l=30$	$X_7= 6858$	–	$X_8=0$	–	6858

Указанное решение получено при возможности приобретения или аренды любых дорожно-строительных машин. Приведенные затраты по целевой функции составляют 8441900.20 руб.

всего, шт	резерв. шт	аренда, шт	оптимально, шт	коэффициент ремонтов	Фонд рабочего времени	Стоимость маш-часа в работе, руб/м-ч	Стоимость маш-часа в простое, руб/м-ч	Кoeff переходя от соим в работе к стоимости в простое
4	3	0	1	0.119	360.7695	1200	969.34	0.80778589
3	2	0	1	0.109	364.8645	2750	2296.82	0.83520599
3	2	0	1	0.109	364.8645	1800	1187.83	0.65990453
1	0	0	1	0.095	370.5975	1300	922.58	0.70967742
1	0	0	1	0.12	360.36	1500	990.57	0.66037736
5	4	0	1	0.1	368.55	1600	1360.00	0.85
150								
45								
8								
3.9								
8								

Рисунок 4.9 - Потребные ресурсы дорожных машин для выполнения земляных работ в намеченные сроки

Оптимальное количество бульдозеров ДЗ-171 - 1 шт., скреперов ДЗ-74 – 1 шт., экскаваторов ЭО-3223 – 1 шт., катков ДУ-37 -1 шт., автогрейдеров ДЗ-122 - 1 шт., автомобилей самосвалов КамАЗ-65115 – 1 шт. При этом высвобождается и может быть использован на других работах или сданы в аренду другим организациям 3 бульдозера ДЗ-171, не использованный фонд рабочего времени которого составляет  $X_9=1436$  маш-ч., 2 скрепера ДЗ-74, не использованный фонд рабочего времени которого составляет  $X_{10}=1094$  маш-ч., 2 экскаватора ЭО-3223, не использованный фонд рабочего времени которого составляет  $X_{11}=1083$  маш-ч., 4 автомобилей самосвала КамАЗ-65115, не использованный фонд рабочего времени которого составляет  $X_{12}=1796$  маш-ч.

### 4.3. Выводы по главе 4

Ввиду сложности объекта исследования, невозможности проведения натурного эксперимента из-за больших затрат на организацию земляных работ и их исследование в производственных условиях, был выполнен эксперимент над математической моделью, т.е. машинный (*вычислительный, компьютерный*) эксперимент, по результатам которого можно сделать следующие выводы:

- Результаты машинных экспериментов не противоречат сложившейся практике организации проведения земляных работ в лесном дорожном строительстве.
- Основными ведущими машинами для проведения земляных работ при расстоянии транспортировки грунта до 100 м являются бульдозеры, от 100 до 250 м – скреперы, а при большем расстоянии – экскаваторы с автосамосвалами.
- Предлагаемая методика позволяет определить дефицит ресурсов дорожных машин для выполнения запланированного объема земляных работ в требуемые сроки и предусмотреть возможные объемы их аренды.
- Разработанная методика позволяет определить резерв ресурсов дорожных машин в строительной организации и предотвратить их простой, предусмотрев возможные объемы сдачи их в аренду сторонним пользователям.
- Рациональное распределение земляных масс в лесном дорожном строительстве и дорожных машин по объектам строительства, способствует повышению качества решений, принимаемых в процессе планирования и управления дорожно-строительным производством,

эффективному использованию всех имеющихся на предприятии дорожно-строительных машин и механизмов

- Выполненные экспериментальные расчеты и апробирование предлагаемой методики на примере производственных задач показали эффективность, работоспособность и непротиворечивость полученных результатов проектирования производства земляных работ.



## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В результате выполненных в диссертационной работе исследований обоснована и разработана методика проектирования производства земляных работ в лесном дорожном строительстве. Предложенная методика на основе разработанных математических моделей, алгоритмов и программных средств позволяет формировать рациональные схемы распределения земляных масс при сооружении земляного полотна лесовозных дорог, выбирать оптимальное распределение дорожных машин по объектам строительства с учетом возможности аренды машин, что позволяет получить существенный экономический эффект.

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Исследованы особенности технологического процесса производства земляных работ в лесном дорожном строительстве. На объектах подобного типа применяется поточный метод ведения работ с разбиением протяженного участка сооружения на технологические захватки, количество которых зависит от сложности сооружения, технологии ведения работ и мощности средств механизации.

2. Проведен анализ существующих подходов и методик в сфере повышения эффективности выполнения земляных работ в лесном дорожном строительстве. Определены основные группы факторов, оказывающих влияние на эффективность земляных работ среди которых определяющими являются распределение земляных масс и выбор машин и технологий выполнения земляных работ. Оптимизация способов организации земляных работ и применяемых технологий является технико-экономической задачей, решение которой позволяет обеспечить качественное выполнение работ в

заданные сроки с наибольшей экономической эффективностью использования всех ресурсов предприятия, включая технические.

3. Разработана автоматизированная система, обеспечивающая оптимизацию распределения земляных масс строящейся дороги на этапе проекта производства земляных работ с учетом наличного парка дорожно-строительных машин. Функционал системы содержит основные результаты научного исследования. Составлено руководство пользователя, разработаны рекомендации по внедрению автоматизированной системы на производстве.

4. Разработано математическое и программное обеспечение для автоматизированного выбора технологии производства земляных работ и рациональной структуры парка машин с учетом возможности их аренды.

5. Разработанная методика позволяет определить резерв ресурсов дорожных машин в строительной организации и предотвратить их простой, предусмотрев возможные объемы сдачи их в аренду сторонним пользователям.

6. Предлагаемая методика позволяет определить дефицит ресурсов дорожных машин для выполнения запланированного объема земляных работ в требуемые сроки и предусмотреть возможные объемы их аренды.

7. Выполненные экспериментальные расчеты и апробирование предлагаемой методики на примере производственных задач показали эффективность, работоспособность и непротиворечивость полученных результатов проектирования производства земляных работ.

8. Результаты работы могут быть востребованы лесозаготовительными и дорожно-строительными предприятиями в период проектирования

производства земляных работ, обновления машинных парков, а также при выборе наилучшего варианта использования имеющегося парка, прогнозировании продолжительности и стоимости ведения механизированных работ

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Бурмистрова О.Н. Методика определения влияния некоторых природных факторов на стоимость строительства земляного полотна ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА / Бурмистрова О.Н., Арутюнян А.Ю. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований – 2015. – Т. 12 – № 4 – С.577–580.
2. Подольский В.П. Строительство автомобильных дорог. Земляное полотно / В. П. Подольский, А. В. Глагольев, П. И. Поспелов – Москва: Академия, 2013.
3. Першин М.Н. Возведение земляного полотна автомобильных дорог: учебное пособие / М. Н. Першин, Г. И. Артюхина – Санкт-Петербург: ГаСУ, 2007.
4. Цупиков С.Г. Справочник дорожного мастера. Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог: учебно-практическое пособие / С. Г. Цупиков, А. Д. Гриценко, А. М. Борцов, И. М. Гуряева, Т. В. Москвитина, Н. С. Казачек, В. В. Кузьмин, О. А. Иванова – Москва: Инфра-Инженерия, 2005.
5. Строительство автомобильных дорог: учебник // под ред. В.В. Ушакова, В.М. Ольховикова. – Москва: КНОРУС, 2013.
6. Васильев А.П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. I / А. П. Васильев, Б. С. Марышев, В. В. и др. Силкин / под ред. А.П. Васильева. – Москва: Информавтодор, 2005.
7. Баловнев В.И. Оптимизация и выбор инновационных систем и процессов транспортно-технологических машин: учеб. пособие / В. И. Баловнев – Москва: ТЕХПОЛНГРАФЦЕНТР, 2014.
8. Зеленин А.И. Машины для земляных работ / А. И. Зеленин, В. Н. Баловнев – Москва: Машиностроение, 1975.
9. Курьянов В.К. Технология и организация строительства лесовозных автомобильных дорог.: Учеб. Пособие.- Воронеж / В. К. Курьянов, В. Н. Макеев – Из-во ВГУ, 1995.

10. Руководств по сооружению земляного полотна автомобильных дорог // под ред. К.М. Ивановская. – Москва: Транспорт, 1982.
11. Салминен Э.О. Транспорт леса. В двух томах. Том 1. Сухопутный транспорт: Учебник для высш. учеб. заведений / Э. О. Салминен, Г. Ф. Грехов, Н. А. Тюрин, Н. А. Тюрин / под ред. Э.О. Салминен. – Москва: Издательский центр «Академия», 2009.
12. Подольский В.П. Технология и организация строительства автомобильных дорог. - Т. 1. Земляное полотно: учебное пособие / В. П. Подольский, А. В. Глагольев, П. И. Пospelов / под ред. В.П. Подольского. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005.
13. Иванов В.Н. Концепция эффективного использования парка машин дорожно-строительных организаций, дис. д-ра техн. наук. / Иванов В.Н. – 2005.
14. Левушкин Д.М. Выбор оптимальных компоновок систем машин для строительства лесовозных дорог / Левушкин Д.М. // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник – 2005. – Т. 2 – С.120–121.
15. Пермяков В.Б. Технологические машины и комплексы в дорожном строительстве (производственная и техническая эксплуатация): учебное пособие / В. Б. Пермяков, В. И. Иванов, С. В. Мельник, А. В. Захаренко, В. Н. Кузнецова, Р. Ф. Салихов, Ю. С. Сачук, В. Н. Иванов, А. В. Шапошников, А. И. Злобин, В. В. Дубков, Р. А. Мартюков, С. В. Савельев, К. В. Беляев / под ред. В.Б. Пермякова. – Москва: БАСТЕТ, 2014.
16. Тюрин Н.А. Оптимизация состава дорожно-строительного комплекса методом динамического программирования СПбГЛТУ, 2018. – 264–268с.
17. Сушков С.И. Техническая эксплуатация и технология ремонта машин лесопромышленного комплекса. допущено УМО по образованию в области лесного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированного бакалавров и магист / С. И. Сушков, О. Н. Бурмистрова, В. Т. Жуков, А. С. Сушков – Воронеж: Министерство образования и науки Российской Федерации, Воронежская государственная лесотехническая академия, 2013.

18. Мохамед А.Х. Выбор эффективных технологий земляных работ и использование парка машин в лесном дорожном строительстве / под ред. В.А. Соколова. СПбГЛТУ, 2019. – 169–176с.
19. Мохамед А.Х. Рациональный алгоритм распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве / Мохамед А.Х., Тюрин Н.А. // Resources and Technology – 2019. – Т. 2 – № 16 – С.131–140.
20. Мохамед А.Х. Оптимизация организации лесного дорожного строительства / Мохамед А.Х., Тюрин Н.А. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии – 2019. – Т. 227 – С.199–208.
21. Громская Л.Я. Автомобильные дороги лесозаготовительных предприятий : Структура и методика размещения / Л. Я. Громская, Н. А. Тюрин – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012.
22. Лесные дороги. Справочник / / под ред. Э.О. Салминена. – – Санкт-Петербург: Издательство «Лань» Вып. Учебное по.
23. Лесные запасы, дорожная сеть / .
24. Грехов Г.Ф. Организация строительства лесных дорог: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. Ф. Грехов, Г. А. Бессараб, Б. П. Мотовилов, В. Н. Язов – Санкт-Петербург: СПб ГЛТУ, 2012.
25. Насковец М.Т. Организация строительства лесовозных дорог : учеб, пособие / М. Т. Насковец, Г. С. Корин – Минск: БГТУ, 2005.
26. Добронравов С.С. Строительные машины и основы автоматизации / С. С. Добронравов, В. Г. Дронов – Москва: Высшая школа, 2006.
27. Евтюков С.А. Эффективность применения строительно-дорожных машин. Учебное пособие / С. А. Евтюков / под ред. С.М. Грущевский, Я.В. Васильев. – – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2009.
28. Заикин А.Н. Автоматизация расчёта режимов работы комплексов машин [Текст] / А. Н. Заикин / под ред. А.П. Заикин, Е.А. Памфилов, Е.Г. Изюмова. – – Вестник Брянского технического университета, 2009. Вып. 1.

29. Баловнев В.И. Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины: Учебное пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины» для специальностей 170900, 230100, 150600 и 291800 / В. И. Баловнев – Москва: Омск -Москва: ОАО «Омский дом печати», 2006.
30. Иванов В.Н. Концепция эффективного использования парка машин дорожно-строительных организаций [Текст] / В. Н. Иванов / под ред. В.Б. науч. коне. Пермяков. – – СибАДИ, 2004.
31. Иванов В.Н. Оптимизация структуры парка, проведения технического обслуживания и ремонта дорожно-строительных машин / Иванов В.Н., Салихов Р.Ф. // Известия Высших Учебных Заведений. Строительство – 2002. – Т. 12 – С.70–74.
32. Исаков АЛ. Оптимизация работы комплекса машин при строительстве объектов / Исаков АЛ., Кузнецова К.С., Кузнецов С.М. // Известия Высших Учебных Заведений. Строительство – 2012. – Т. 1 – № 637 – С.52–57.
33. Ким Б.Г. Повышение уровня готовности парков строительных машин путем совершенствования системы технической эксплуатации: авторсф. дис. д-ра. техн. наук / Ким Б.Г. – 1996.
34. Пермяков В.Б. Эффективность использования средств механизации в строительном производстве [Текст] монография / В. Б. Пермяков, В. Н. Иванов – Омск: СибАДИ, 2002.
35. Кузнецова К.С. Формирование ресурсосберегающего парка машин / Кузнецова К.С., Кузнецов С.М. // Путь и путевое хозяйство – 2006. – Т. 8.
36. Кузнецов С.М. Единая методика обоснования выбора машин для строительства зданий и сооружений / Кузнецов С.М. // Строительные и дорожные машины – 2005. – Т. 1 – С.7–8.
37. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация строительства: Учебник / Е. М. Кудрявцев – Москва: Издательство АСВ, 2010. Вып. 3.
38. Кудрявцев Е.М. Оптимизация комплектов ДСМ в условиях не полной определенности / Кудрявцев Е.М. // Механизация строительства – 2011. – Т. 8 – С.5–7.

39. Кудрявцев Е.М. Оптимизация структуры многоканального комплекта строительных и дорожных машин / Кудрявцев Е.М. // Механизация строительства – 2012. – Т. 2 – С.12–15.
40. Кудрявцев Е.М. Оптимизация комплекта ДСМ при наличии априорной и апостериорной информации / Кудрявцев Е.М. // Механизация строительства – 2012. – Т. 3 – С.24–27.
41. Булдаков С.И. Транспорт леса. Т. 1. Автомобильные дороги. Учебное пособие / С. И. Булдаков, М. В. Савсюк – Екатеринбург: УГЛУ, 2016.
42. Бурмистров Д.В. Методика определения влияния природных факторов на стоимость строительства земляного полотна лесовозных дорог / Бурмистров Д.В., Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Арутюнян А.Ю. // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – Т. 2 – № 30 – С.179–184.
43. Вакулин А.И. Влияние производственных факторов на ресурсопотребление при строительстве лесных автомобильных дорог / Вакулин А.И., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Логачев В.Н. // Воронежский научно-технический Вестник – 2012. – Т. 1 – № 2 – С.59–77.
44. Смирнов М.Ю. Методы, модели, алгоритмы управления процессом строительства, ремонта и содержания лесных автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов / М. Ю. Смирнов, А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, С. В. Дорохин, Т. В. Скворцова – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014.
45. Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения / В. Г. Козлов – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2017.
46. Козлов В.Г. Методика определения влияния природных факторов на стоимость строительства земляного полотна лесовозных дорог / Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Ломакин Д.В., Логойда В.С. // Современные наукоемкие технологии – 2016. – Т. 11 – № 2 – С.305–309.
47. Кондрашова Е.В. Модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов в условиях вероятностного характера дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог /



Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В. // *Фундаментальные исследования* – 2011. – Т. 8 – № 2 – С.379–385.

48. Кондрашова Е.В. Модель оптимизации стратегии пополнения, обновления, модернизации и ремонта парка сельскохозяйственных машин / Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В. // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета* – 2012. – Т. 2 – С.163–168.
49. Кондрашова Е.В. Ресурсное обеспечение технологических процессов в дорожном строительстве лесовозных автомобильных дорог / Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В. // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета* – 2012. – Т. 12 – С.148–152.
50. Кондрашова Е.В. Модель графика поставки дорожно-строительных материалов при строительстве лесовозных автомобильных дорог / Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В. // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета* – 2013. – Т. 1 – С.122–125.
51. Скрыпников А.В. Стратегия пополнения, обновления, модернизации и ремонта парка лесозаготовительных машин как фактор ресурсосбережения Министерство образования Российской Федерации, 2007. – 85–98с.
52. Смирнов М.Ю. Машины для строительства лесовозных дорог. Учеб. Пособие / М. Ю. Смирнов – Йошкар-Ола: МГТУ, 2006.
53. Сушков С.И. Выбор стратегии поставок дорожно-строительных материалов с учётом рисков при строительстве лесовозной дороги / Сушков С.И., Бурмистрова О.Н., Сушков А.С. // *Строительные и дорожные машины* – 2014. – Т. 6 – С.26–29.
54. Дорохин С.В. Методы, модели, алгоритмы управления процессом строительства, ремонта и содержания лесных автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов / Дорохин С.В., Смирнов М.Ю., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований* – 2014. – Т. 6.
55. Зорин В.А. Формирование комплектов дорожных машин для ремонта асфальтобетонных покрытий с учетом условий эксплуатации. Третий

Всероссийский Дорожный Конгресс ТехПолиграфЦентр, 2013. – 243–252с.

56. Зорин В.А. Критерии оптимизации состава комплекта машин для строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий / Зорин В.А., Косенко Е.А. // Наука и техника в дорожной отрасли – 2014. – Т. 4 – № 70 – С.36–38.
57. Brilon W. Queueing model of two-lane rural traffic / Brilon W. // Transportation Research – 1977. – Т. 11 – № 2 – С.95–107.
58. Claffey P.J. Running costs of motor vehicles as affected by road design and traffic / Claffey P.J. // Highway Research Board of the Division of Engineering and Industrial Research, National Academy of Sciences, National Research Council – 1971. – № 111 – С.97.
59. Dunne M.C. A Discrete Markov Model of Vehicular Traffic / Dunne M.C., Rothery R.W., Potts R.B. // Transportation Science – 1968. – Т. 2 – № 3 – С.233–251.
60. S.B. Donald. Highway capacity manual / Donald. S.B., J. B. McMorran, G. W. Edward, D. G. Mickle, W. N. Carey – Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1965.
61. Kallberg H. Overtakings and platoons on two-lane rural roads / Kallberg H. // Technical Research Centre of Finland – 1980. – Т. Report 61 – С.104.
62. Skrypnikov A.V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision / Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences – 2017. – Т. 12 – № 2 – С.511–515.
63. Mori M. Characteristics of Roads under Mixed Traffic conditions / Mori M. // Traffic Eng. – 1959. – С.23–28.
64. Stott J.P. Broad band route selection by program Brutus: test on a section of motorway / Stott J.P., Calogero V., Hickman D., Roumeliotis P. // Transport and Road Research Laboratory (TRRL) – 1981. – № Report – С.29.
65. Phillips W.F. A kinetic model for traffic flow with continuum implications / Phillips W.F. // A kinetic model for traffic flow with continuum implications – 2007. – Т. 5 – № 3 – С.131–138.

66. Лизунов Е.В. Формирование парка машин для гидромеханизации земляных работ / Лизунов Е.В., Щербаков А.В., Кузнецов С.М., Кузнецова К.С. // Механизация строительства – 2008. – Т. 7 – С.17–20.
67. Локшин Е.С. Эксплуатация подъемно-транспортных строительных и дорожных машин. Учебник для высш. учеб. заведений / Е. С. Локшин, А. В. Рубайлов, Ф. Ю. Керимов, В. Я. Дворковой / под ред. Е.С. Локшин. – Москва: Издат. центр «Академия», 2007.
68. Максименко А.Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин : учеб, пособие / А. Н. Максименко – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006.
69. Максимычев О.И. Автоматизация управления машинами на линейных земляных работах / Максимычев О.И. // Известия высших учебных заведений Строительство – 2005. – Т. 2 – С.91–98.
70. Сизиков С.А. Оптимизация комплексно-механизированных работ в строительстве [Электронный ресурс]: курс лекций / С. А. Сизиков, С. А. Евтюков, А. П. Скрипилов – Санкт-Петербург: ЭБС «IPRbooks», 2011.
71. Эймер В. Перемещение грунтов / В. Эймер, С. Опперман, Р. Редлих, М. Шюманн – Москва: Изд-во Kirschbaum Verlag GmbH, 1990.
72. Илиополов С.К. Технологические карты на устройство земляного полотна и дорожной одежды / С. К. Илиополов, В. П. Матуа, Е. М. Баранова, А. Х. Аннабердиев, В. И. Дружинин, М. Н. Ярмов, Ю. Л. Тимофеев, А. М. Игнатенко, И. А. Рудое, А. Ю. Токарев – Москва: Министерство Транспорта Российской Федерации Государственная Служба Дорожного Хозяйства (Росавтодор), 2004.
73. Макуев В.А. Критерии формирования парка лесосечных машин / Макуев В.А. // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник – 2010. – Т. 1 – С.82–84.
74. Тюрин Н.А. Дорожно-строительные материалы и машины: учебник для студ. высш. уч. зав. / Н. А. Тюрин, Г. А. Бессараб, В. Н. Язов – Москва: Академия, 2009.
75. Akay A.E. Applying the Decision Support System , TRACER , to Forest Road Design / Akay A.E., Sessions J. // Western Journal of Applied Forestry – 2005. – Т. 3 – № 20 – С.184–191.

76. ГЭСН 81-02-01-2017Сборник 1. Земляные работы / 81-02-01-2017 ГЭСН – Москва: Государственные элементные сметные нормы на строительные и специальные строительные работы, 2017. Вып. (редакция).
77. ЕНиРСборник Е2. Земляные работы. Вып. 1. Механизированные и ручные земляные работы / ЕНиР / под ред. Госстрой СССР. – Москва: Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы, 1989.
78. Fu J. A Microscopic Simulation Model for Earthmoving Operations / Fu J. // Journal of Civil and Environmental Engineering – 2012. – Т. 6 – № 7 – С.419–424.
79. Hare W.L. Models and algorithms to improve earthwork operations in road design using mixed integer linear programming / Hare W.L., Koch V.R., Lucet Y. // European Journal of Operational Research – 2011. – Т. 215 – № 2 – С.470–480.
80. Agüera F.A.G. Minimising the Earthwork Cost in the Construction of Irrigation Offstream Reservoirs / Agüera F.A.G., Aguilar F.J., Aguilar M.A., Carvajal F. – 2007. – С.375–397.
81. Салминен Э.О.Лесопромышленная логистика / Э. О. Салминен, А. А. Борозна, Н. А. Тюрин – Москва: Профи-информ, 2005.
82. Перегудов В.И.Основы системного анализа / В. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко – Томск: Изд-во НТЛ, 1997.
83. Hayes T.G. Using dozers to remove coal overburden / Hayes T.G. // Mining Engineering – 1997. – Т. 49 – № 1 – С.35–38.
84. Мохамед А.Х. Forest Road Construction / Мохамед А.Х. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2020614775 – 2020. – Т. 1.
85. Uren Z. Development of dozer push optimisation software for commodore coal mine / Uren Z., Nehring M. // Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology – 2015. – Т. 124 – № 4 – С.231–238.

86. ЕНиРСборник 17. Дорожные работы / ЕНиР – Москва: Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы, 1979.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Приложение 1

Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве.

Код подпрограммы ввода исходных данных.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.IO;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace Forest_Road_Construction
{
    public partial class Main : Form
    {
        public Main()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            Shadow.Height = 0;
            Shadow.Top = 0;
        }
        private void newbtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            try
            {
                if (MessageBox.Show("Warning! Your current data will be deleted, Do
you want to continue?", "Creat a New Project", MessageBoxButtons.YesNo,
MessageBoxIcon.Warning) == DialogResult.Yes)
                {
                    string Path = Application.StartupPath + @"\RodCons.accdb";
                    string WPth = Application.StartupPath + @"\RDatat.accdb";
                    File.Copy(Path, WPth, true);
                    Form2 Frm2 = new Form2();
                    Frm2.Show();
                    this.Visible = false;
                }
            }
            catch (Exception Ex) { MessageBox.Show(Ex.Message, "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); }
        }
        private void opbtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            try
            {
                if (MessageBox.Show("Warning! Your current data will be deleted, Do
you want to continue?", "Creat a New Project", MessageBoxButtons.YesNo,
MessageBoxIcon.Warning) == DialogResult.Yes)
                {

```

```

OpenFileDialog FBr = new OpenFileDialog();
FBr.Title = "Open Database";
FBr.Filter = "MsAccess_Database |*.accdb";
if (FBr.ShowDialog() == System.Windows.Forms.DialogResult.OK)
{
    string OPath = FBr.FileName;
    string WPth = Application.StartupPath + @"\RData\accdb";
    File.Copy(OPath, WPth, true);
    Form2 Frm2 = new Form2();
    Frm2.Show();
    this.Visible = false;
}
}
}
catch (Exception Ex) { MessageBox.Show(Ex.Message, "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); }
}
private void contbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (MessageBox.Show("You are going to work with existing data, you
can modify or continue the processing on this data, Do
you want to continue?", "Creat a New Project", MessageBoxButtons.YesNo,
MessageBoxIcon.Asterisk) == DialogResult.Yes)
        {
            Form2 Frm2 = new Form2();
            Frm2.Show();
            this.Visible = false;
        }
    }
    catch (Exception Ex) { MessageBox.Show(Ex.Message, "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); }
}
private void exitbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Application.Exit();
}
private void helpbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    hlpfrm hlp = new hlpfrm();
    hlp.Show();
}
private void newbtn_MouseMove(object sender, MouseEventArgs e)
{
    label3.Text = "Create a new database, and go to the data entry window";
    label4.Text = "Warning! Your current data will be deleted";
    Shadow.Height = newbtn.Height;
    Shadow.Top = newbtn.Top;
}
private void contbtn_MouseMove(object sender, MouseEventArgs e)
{
    label3.Text = "Continue Working With The Current Data";
    label4.Text = "You are going to work with existing data, you can modify
or continue the processing on this data";
    Shadow.Height = contbtn.Height;
    Shadow.Top = contbtn.Top;
}
}

```





## Приложение 2

Код подпрограммы определения объемов земляных работ при строительстве  
лесных дорог

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using RoadLibrary;
using System.Data.OleDb;
using System.IO;
namespace Forest_Road_Construction
{
    public partial class Form2 : Form
    {
        OleDbConnection con = new
OleDbConnection(@"Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data Source= RDatat.accdb");
        int id;
        int W;
        string M;
        string Ms;
        float Ss;
        float Sd;
        double Ts;
        double Ad;
        double Wc;
        public Form2()
        {
            InitializeComponent();
        }
        protected override CreateParams CreateParams
        {
            get
            {
                CreateParams parms = base.CreateParams;
                parms.ClassStyle |= 0x200;
                return parms;
            }
        }
        private void Form2_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            try
            {
                WindowState = FormWindowState.Maximized;

                if (con.State == ConnectionState.Open)
                {
                    con.Close();
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    con.Open();
    OleDbCommand cmd = con.CreateCommand();
    cmd.CommandType = CommandType.Text;
    cmd.CommandText = "select * from SoilData";
    cmd.ExecuteNonQuery();
    DataTable dt = new DataTable();
    OleDbDataAdapter da = new OleDbDataAdapter(cmd);
    da.Fill(dt);
    dataGridView1.DataSource = dt;
    con.Close();
}
catch (Exception Ex) { MessageBox.Show(Ex.Message, "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); }

this.reportViewer1.RefreshReport();
}
public void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (Wtxt.Text != "" & Rstxt.Text != "" & Tstxt.Text !=
""&Wdtxt.Text!=""&drdtxt.Text!=""&Sdtxt.Text!="")
    {
        groupBox2.Enabled = true;
        groupBox1.Enabled = false;
        Process.Enabled = true;
        groupBox3.Enabled = true;
        mainpan.Enabled = true;
        mpan.Enabled = true;
    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Error: One or more parameters from (Road Parameters)
are missing"+ Environment.NewLine+"Please check them and enter the required data then try
again", "Error", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
    }
}
private void savebtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (con.State == ConnectionState.Open)
        {
            con.Close();
        }
        con.Open();
        OleDbCommand cmd = con.CreateCommand();
        cmd.CommandType = CommandType.Text;
        cmd.CommandText = "insert into SoilData (DN, DD, SU, SLi, SLf, RLi,
RLf, GW, K, LK) values ('" + DNtxt.Text + "','" + DDtxt.Text + "','" + SUTxt.Text + "','"
+ SLitxt.Text + "','" + SLftxt.Text + "','" + RLitxt.Text + "','" + RLftxt.Text + "','" +
GWLtxt.Text + "','" + Ktxt.Text + "','" + Lktxt.Text + "')";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        cmd.CommandType = CommandType.Text;
        cmd.CommandText = "select * from SoilData";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        DataTable Dt = new DataTable();
        OleDbDataAdapter Da = new OleDbDataAdapter(cmd);
        Da.Fill(Dt);

```

```

        dataGridView1.DataSource = Dt;
        con.Close();
        MessageBox.Show("Record Saved");
        DNtxt.Text = ("");
        DDtxt.Text = ("");
        SUtxt.Text = null;
        SLitxt.Text = ("");
        SLftxt.Text = ("");
        RLitxt.Text = ("");
        RLftxt.Text = ("");
        GWLtxt.Text = ("");
        Ktxt.Text = ("");
        Lktxt.Text = ("");
    }
    catch (Exception Ex) { MessageBox.Show(Ex.Message, "Error",
    MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); }
}
private void dataGridView1_CellClick(object sender, DataGridViewCellEventArgs
e)
{
    if (dataGridView1.ColumnCount == 11)
    {
        DNtxt.Text = ("");
        DDtxt.Text = ("");
        SUtxt.Text = null;
        SLitxt.Text = ("");
        SLftxt.Text = ("");
        RLitxt.Text = ("");
        RLftxt.Text = ("");
        GWLtxt.Text = ("");
        Ktxt.Text = ("");
        Lktxt.Text = ("");
        if (con.State == ConnectionState.Open)
        {
            con.Close();
        }
        con.Open();
        id =
        Convert.ToInt32(dataGridView1.Rows[e.RowIndex].Cells["ID"].Value.ToString());
        OleDbCommand cmd = con.CreateCommand();
        cmd.CommandType = CommandType.Text;
        cmd.CommandText = "select * from SoilData where ID=" + id + "";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        DataTable dt = new DataTable();
        OleDbDataAdapter da = new OleDbDataAdapter(cmd);
        da.Fill(dt);
        foreach (DataRow dr in dt.Rows)
        {
            DNtxt.Text = dr["DN"].ToString();
            DDtxt.Text = dr["DD"].ToString();
            SUtxt.Text = dr["SU"].ToString();
            SLitxt.Text = dr["SLi"].ToString();
            SLftxt.Text = dr["SLf"].ToString();
            RLitxt.Text = dr["RLi"].ToString();
            RLftxt.Text = dr["RLf"].ToString();
            GWLtxt.Text = dr["GW"].ToString();
            Ktxt.Text = dr["K"].ToString();
            Lktxt.Text = dr["LK"].ToString();
        }
    }
}

```

```

    }
    con.Close();
}
}
private void editbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (con.State == ConnectionState.Open)
        {
            con.Close();
        }
        con.Open();
        string selected =
dataGridView1.SelectedRows[0].Cells[0].Value.ToString();
        int id = Convert.ToInt32(selected);
        OleDbCommand cmd = con.CreateCommand();
        cmd.CommandType = CommandType.Text;
        cmd.CommandText = "UPDATE SoilData SET DN = '" + DNtxt.Text + "', DD
= '" + DDtxt.Text + "', SU = '" + SUTxt.Text + "', SLi = '" + SLitxt.Text + "', SLf = '" +
SLftxt.Text + "', RLi = '" + RLitxt.Text + "', RLf = '" + RLftxt.Text + "', GW =
'" + GWLtxt.Text + "', K = '" + Ktxt.Text + "', LK = '" + Lktxt.Text + "' where ID=" + id + " ";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        cmd.CommandText = "select * from SoilData";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        DataTable dt = new DataTable();
        OleDbDataAdapter da = new OleDbDataAdapter(cmd);
        da.Fill(dt);
        dataGridView1.DataSource = dt;
        con.Close();
        MessageBox.Show("Record Updated");
    }
    catch (Exception Ex) { MessageBox.Show(Ex.Message, "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); }
}
private void deletebtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (con.State == ConnectionState.Open)
        {
            con.Close();
        }
        con.Open();
        string selected =
dataGridView1.SelectedRows[0].Cells[0].Value.ToString();
        int id = Convert.ToInt32(selected);
        OleDbCommand cmd = con.CreateCommand();
        cmd.CommandType = CommandType.Text;
        cmd.CommandText = "delete from SoilData where ID= " + id + " ";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        cmd.CommandText = "select * from SoilData";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        DataTable dt = new DataTable();
        OleDbDataAdapter da = new OleDbDataAdapter(cmd);
        da.Fill(dt);
        dataGridView1.DataSource = dt;
        con.Close();
    }
}

```

```

        MessageBox.Show("Record Deleted");
    }
    catch (Exception Ex) { MessageBox.Show(Ex.Message, "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); }
}
private void deleteallbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (MessageBox.Show("Are you sure want to delete all existance data?",
"WARNING!", MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Warning) == DialogResult.Yes)
        {
            if (con.State == ConnectionState.Open)
            {
                con.Close();
            }
            con.Open();
            OleDbCommand cmd = con.CreateCommand();
            cmd.CommandType = CommandType.Text;
            cmd.CommandText = "delete * from SoilData";
            cmd.ExecuteNonQuery();
            cmd.CommandText = "select * from SoilData";
            cmd.ExecuteNonQuery();
            DataTable dt = new DataTable();
            OleDbDataAdapter da = new OleDbDataAdapter(cmd);
            da.Fill(dt);
            dataGridView1.DataSource = dt;
            con.Close();
        }
    }
    catch (Exception Ex) { MessageBox.Show(Ex.Message, "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); }
}
private void backupbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    DateTime DAT = DateTime.Now;
    string Bckup = DAT.ToString("dd-MM-yyyy;hh-mm-ss,ffff");
    string Bckfile = @"\" + Bckup + "EarthMovingDB.accdb";
    string SFileName = Bckup + "EarthMovingDB.accdb";
    string BckPth = Application.StartupPath + @"\Backup" + Bckfile;
    string WPth = Application.StartupPath + @"\RDatat.accdb";
    File.Copy(WPth, BckPth, true);
    MessageBox.Show("DataBase Successfully Saved undr name (" + SFileName +
"");
}
private void mainwinbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (MessageBox.Show("You are going back to the main screen, better to
save your work firs."+Environment.NewLine+" Do you want to continue?", "Back to main
screen", MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Warning) == DialogResult.Yes)
    {
        this.Close();
        Main Main = new Main();
        Main.Show();
    }
}
private void exitbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{

```

```

SaveFileDialog sfd = new SaveFileDialog();
sfd.Title = "Save Database";
sfd.Filter= "MsAccess_Database |*.accdb";
if (sfd.ShowDialog() == System.Windows.Forms.DialogResult.OK)
{
    string WPth = Application.StartupPath + @"\RData.accdb";
    string NPth = sfd.FileName;
    File.Copy(WPth, NPth, true);
    MessageBox.Show("Database successfully saved");
    Application.Exit();
}
}
private void nextbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        double W = Convert.ToInt32(Wtxt.Text);
        M = Rstxt.Text;
        if (M == "1:2") { Ss = 1 / 2f; } else if (M == "1:3") { Ss = 1 / 3f;
    } else if (M == "1:4") { Ss = 1 / 4f; } else if (M == "1:5") { Ss = 1 / 5f; } else if (M
== "1:6") { Ss = 1 / 6f; }
        Ms = Sdtxt.Text;
        if (Ms == "1:1") { Sd = 1 / 1f; } else if (Ms == "1:2") { Sd = 1 /
2f; }

        double dd = Convert.ToDouble(drdtxt.Text);
        double Wd = Convert.ToDouble(Wdtxt.Text);
        Ad = 2 * dd * (Wd + (dd / Sd));
        Wc = W + 2 * (Wd + (2 * dd / Sd));
        double Y = (2 / Ss) + W;
        if (con.State == ConnectionState.Open)
        {
            con.Close();
        }
        con.Open();
        OleDbCommand cmd = con.CreateCommand();
        cmd.CommandType = CommandType.Text;
        cmd.CommandText = "delete * from Result1";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        cmd = con.CreateCommand();
        cmd.CommandType = CommandType.Text;
        cmd.CommandText = "SELECT DN, DD, SU, SLi, SLf, ((SLi + SLf) / 2) as
SL, RLi, RLf, GW, (SL - GW - 1) as r, K, LK, (" + Ad + " * DD) as Vd, iif((SLi - RLi) >= 0
and(SLf - RLf) >= 0, (((Abs(SLi - RLi) * (" + Wc + " + (Abs(SLi - RLi) / " + Ss + "))) +
(Abs(SLf - RLf) * (" + Wc + " + (Abs(SLf - RLf) / " + Ss + ")))) / 2) * DD), iif((SLi -
RLi) >= 0 and(SLf - RLf) < 0, (((Abs(SLi - RLi) * (" + Wc + " + (Abs(SLi - RLi) / " + Ss
+ ")))) / 2) * (DD * (Abs(SLi - RLi) / (Abs(SLi - RLi) + Abs(SLf - RLf))))) , iif((SLi -
RLi) < 0 and(SLf - RLf) >= 0, (((Abs(SLf - RLf) * (" + Wc + " + (Abs(SLf - RLf) / " + Ss
+ ")))) / 2) * (DD * (Abs(SLf - RLf) / (Abs(SLi - RLi) + Abs(SLf - RLf))))) , 0))) AS Ci,
iif((SLi - RLi) < 0 and(SLf - RLf) < 0, (((Abs(SLi - RLi) * (" + W + " + (Abs(SLi - RLi)
/ " + Ss + "))) + (Abs(SLf - RLf) * (" + W + " + (Abs(SLf - RLf) / " + Ss + ")))) / 2) *
DD), iif((SLi - RLi) >= 0 and(SLf - RLf) < 0, (((Abs(SLf - RLf) * (" + W + " + (Abs(SLf -
RLf) / " + Ss + ")))) / 2) * (DD * (Abs(SLf - RLf) / (Abs(SLf - RLf) + Abs(SLi - RLi))))) ,
iif((SLi - RLi) < 0 and(SLf - RLf) >= 0, (((Abs(SLi - RLi) * (" + W + " + (Abs(SLi - RLi)
/ " + Ss + ")))) / 2) * (DD * (Abs(SLi - RLi) / (Abs(SLf - RLf) + Abs(SLi - RLi))))) , 0)))
AS Ei, iif(r <= 0, 0, iif(SU <> 'Yes', 0, iif(r >= 1, DD * " + W + " , DD * r * " + W + ")))
AS Ri FROM SoilData ORDER BY DN";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        DataTable dt = new DataTable();
    }
}

```

```

OleDbDataAdapter da = new OleDbDataAdapter(cmd);
da.Fill(dt);
dataGridView1.DataSource = dt;
for (int i = 0; i < dataGridView1.Rows.Count - 1; i++)
{
    cmd.CommandText = "insert into Result1 (DN, DD, SU, r, K, LK, Vd,
Ci, Ei, Ri)values('" + dataGridView1.Rows[i].Cells[0].Value + "','" +
dataGridView1.Rows[i].Cells[1].Value + "','" + dataGridView1.Rows[i].Cells[2].Value + "','" +
dataGridView1.Rows[i].Cells[9].Value + "','" + dataGridView1.Rows[i].Cells[10].Value +
 "','" +
dataGridView1.Rows[i].Cells[11].Value + "','" +
dataGridView1.Rows[i].Cells[12].Value + "','" + dataGridView1.Rows[i].Cells[13].Value +
 "','" +
dataGridView1.Rows[i].Cells[14].Value + "','" +
dataGridView1.Rows[i].Cells[15].Value + "')";
    cmd.ExecuteNonQuery();
}
var command = con.CreateCommand();
command.CommandText = "select * from Result1 order by dn";
var reader = command.ExecuteReader();
var dataTable = new DataTable();
dataTable.Load(reader);
Report report = new Report();
Stage1.Operate(dataTable, Y, report);
Stage2.Operate(dataTable, Y, report);
Stage3.Operate(dataTable, Y, report);
Stage4.Operate_Part1(dataTable, Y, report);
RoadLibDemo.Stage4ReportForm stage4ReportForm = new
RoadLibDemo.Stage4ReportForm();
var dialog_result = stage4ReportForm.EditDataTable(dataTable);
if (dialog_result == DialogResult.Cancel) return;
Stage4.Operate_Part2(dataTable, report);
var trans = report.GetAllTransactions();
cmd = con.CreateCommand();
cmd.CommandType = CommandType.Text;
cmd.CommandText = "DELETE FROM FinalOutput";
cmd.ExecuteNonQuery();
foreach (var item in trans)
{
    string tmp = string.Format("INSERT INTO FinalOutput(SourceDN,
DestDN, Quantity, Distance, TransactionKind, SourceStage) VALUES({0}, {1}, {2}, {3}, '{4}',
'{5}')",
        item.SourceDN, item.DestDN, item.Quantity, item.Distance,
item.TransactionKind.ToString(), item.SourceStage.ToString());
    cmd.CommandText = tmp;
    cmd.ExecuteNonQuery();
}
cmd.CommandText = "DELETE FROM OverAll";
cmd.ExecuteNonQuery();
// getting total distance
var totalDistance = report.GetTotalDistance();
FinalReportForm finalReportForm = new FinalReportForm();
//display the final report.
finalReportForm.ShowReport(trans);
var P1 = trans.Where(transaction => transaction.Distance <= 30)
    .Select(transaction => transaction.Quantity)
    .Sum();
var P2 = trans.Where(transaction => (transaction.Distance > 30 &&
transaction.Distance <= 100))
    .Select(transaction => transaction.Quantity)

```



```

        .Sum();
        var P3 = trans.Where(transaction => (transaction.Distance > 100 &&
transaction.Distance <= 250))
        .Select(transaction => transaction.Quantity)
        .Sum();
        var P4 = trans.Where(transaction => transaction.Distance > 250)
        .Select(transaction => transaction.Quantity)
        .Sum();
        var S0 = trans.Where(transaction => transaction.TransactionKind ==
TransactionKindsEnum.THROW_ROAD_SIDE)
        .Select(transaction => transaction.Quantity)
        .Sum();
        var S1 = trans.Where(transaction => transaction.TransactionKind ==
TransactionKindsEnum.FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR)
        .Select(transaction => transaction.Quantity)
        .Sum();
        var S2 = trans.Where(transaction => transaction.TransactionKind ==
TransactionKindsEnum.FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR)
        .Select(transaction => transaction.Quantity)
        .Sum();
        var S3 = trans.Where(transaction => transaction.TransactionKind ==
TransactionKindsEnum.FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR)
        .Select(transaction => transaction.Quantity)
        .Sum();
        var S4 = trans.Where(transaction => transaction.TransactionKind ==
TransactionKindsEnum.FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR)
        .Select(transaction => transaction.Quantity)
        .Sum();
        cmd.CommandText = "INSERT INTO OverAll (TDis, P1, P2, P3, P4, S0, S1,
S2, S3, S4) VALUES('" + totalDistance + "', '" + P1 + "', '" + P2 + "', '" + P3 + "', '" +
P4 + "', '" + S0 + "', '" + S1 + "', '" + S2 + "', '" + S3 + "', '" + S4 + "')";
        cmd.ExecuteNonQuery();
        if (con.State == ConnectionState.Open)
        {
            con.Close();
        }
        MessageBox.Show("Finish", "Forest Road Construction",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
    }
    catch (Exception Ex) { MessageBox.Show(Ex.Message, "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error); }
}
private void ExitAppbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Application.Exit();
}
private void RepAllbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Form3 f3 = new Form3();
    f3.Show();
}
}
}
}

```

### Приложение 3

Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве.

Код подпрограммы первого этапа распределения земляных масс.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Data;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
namespace RoadLibrary
{
    public class Stage1
    {
        public static void Operate(DataTable dataTable, double W, Report report)
        {
            double quantity_to_transfer = 0;
            for (int id = 0; id < dataTable.Rows.Count; id++)
            {
                if (((string)dataTable.Rows[id][Constants.SU]).ToUpper() ==
                "\"YES\"") || ((string)dataTable.Rows[id][Constants.SU]).ToUpper() == "YES")
                {
                    if (((double)dataTable.Rows[id][Constants.CI]) != 0 &&
                    ((double)dataTable.Rows[id][Constants.EI]) != 0)
                    {
                        if (((double)dataTable.Rows[id][Constants.CI]) >
                    ((double)dataTable.Rows[id][Constants.EI]))
                        {
                            quantity_to_transfer =
                    ((double)dataTable.Rows[id][Constants.EI]);
                            dataTable.Rows[id][Constants.CI] =
                    (double)dataTable.Rows[id][Constants.CI] - quantity_to_transfer;
                            dataTable.Rows[id][Constants.EI] = 0;
                        }
                        else
                        {
                            quantity_to_transfer =
                    ((double)dataTable.Rows[id][Constants.CI]);
                            dataTable.Rows[id][Constants.EI] =
                    (double)dataTable.Rows[id][Constants.EI] - quantity_to_transfer;
                            dataTable.Rows[id][Constants.CI] = 0;
                        }
                    }
                    report.AddTransaction(new Transaction()
                    {
                        SourceDN = (int)dataTable.Rows[id][Constants.DN],
                        DestDN = (int)dataTable.Rows[id][Constants.DN],
                        Quantity = quantity_to_transfer,
                        Distance = (double)dataTable.Rows[id][Constants.DD], //0,
                        TransactionKind =
                    TransactionKindsEnum.FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR,
                        SourceStage = StagesEnum.STAGE1
                    });
                }
            }
        }
    }
}

```

```
    }  
    else  
    {  
        if (((double)dataTable.Rows[id][Constants.CI]) != 0)  
        {  
            report.AddTransaction(new Transaction()  
            {  
                SourceDN = (int)dataTable.Rows[id][Constants.DN],  
                DestDN = (int)dataTable.Rows[id][Constants.DN],  
                Quantity = ((double)dataTable.Rows[id][Constants.CI]),  
                Distance = W,  
                TransactionKind = TransactionKindsEnum.THROW_ROAD_SIDE,  
                SourceStage = StagesEnum.STAGE1  
            });  
            dataTable.Rows[id][Constants.CI] = 0;  
        }  
    }  
} } } } }
```

## Приложение 4

Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве.

Код подпрограммы второго этапа распределения земляных масс.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Data;
namespace RoadLibrary
{
    public class Stage2
    {
        public static void Operate(DataTable dataTable, double W, Report report)
        {
            double quantity_to_transfer = 0;

            for (int id = 0; id < dataTable.Rows.Count; id++)
            {
                if (
                    (((string)dataTable.Rows[id][Constants.SU]).ToUpper() ==
                    "\"NO\"") || ((string)dataTable.Rows[id][Constants.SU]).ToUpper() == "NO"
                    && ((double)dataTable.Rows[id][Constants.CI]) != 0 &&
                    ((double)dataTable.Rows[id][Constants.EI]) == 0)
                {
                    report.AddTransaction(new Transaction()
                    {
                        SourceDN = (int)dataTable.Rows[id][Constants.DN],
                        DestDN = (int)dataTable.Rows[id][Constants.DN],
                        Quantity = ((double)dataTable.Rows[id][Constants.CI]),
                        Distance = W,
                        TransactionKind = TransactionKindsEnum.THROW_ROAD_SIDE,
                        SourceStage = StagesEnum.STAGE2
                    });
                    continue;
                }
                if (
                    (((string)dataTable.Rows[id][Constants.SU]).ToUpper() ==
                    "\"YES\"") || ((string)dataTable.Rows[id][Constants.SU]).ToUpper() == "YES"
                    && ((double)dataTable.Rows[id][Constants.CI]) != 0 &&
                    ((double)dataTable.Rows[id][Constants.EI]) == 0)
                {
                    List<IdDistancePair> sortedIds = ExploringAndSorting(dataTable,
                    id);

                    if (sortedIds.Count == 1)
                    {
                        report.AddTransaction(new Transaction()
                        {
                            SourceDN = (int)
                            dataTable.Rows[sortedIds[0].Id][Constants.DN],
                            DestDN = (int)dataTable.Rows[id][Constants.DN],
                            Quantity = ((double)dataTable.Rows[id][Constants.CI]),
                            Distance = W,
                            TransactionKind = TransactionKindsEnum.THROW_ROAD_SIDE,
                            SourceStage = StagesEnum.STAGE2
                        });
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    });
    dataTable.Rows[id][Constants.CI] = 0;
    continue;
}
for (int i = 1; i < sortedIds.Count; i++)
{
    if (((double)dataTable.Rows[sortedIds[0].Id][Constants.CI])
>= ((double)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.EI]))
    {
        quantity_to_transfer =
((double)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.EI]);
    }
    else
    {
        quantity_to_transfer =
(double)dataTable.Rows[sortedIds[0].Id][Constants.CI];
    }
    if (quantity_to_transfer == 0)
    {
        break;
    }
    report.AddTransaction(new Transaction()
    {
        SourceDN = (int) dataTable.Rows[
sortedIds[0].Id][Constants.DN],
        DestDN =
(int)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.DN],
        Quantity = quantity_to_transfer,
        Distance = sortedIds[i].Distance,
        TransactionKind =
TransactionKindsEnum.FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR,
        SourceStage = StagesEnum.STAGE2
    });
    dataTable.Rows[sortedIds[0].Id][Constants.CI] =
(double)dataTable.Rows[sortedIds[0].Id][Constants.CI] - quantity_to_transfer;
    dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.EI] =
(double)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.EI] - quantity_to_transfer;
    }
}
}
private static List<IdDistancePair> ExploringAndSorting(DataTable dataTable,
int refIndex)
{
    double distance = 0;
    List<IdDistancePair> IdsList = new List<IdDistancePair>();
    IdsList.Add(new IdDistancePair() { Id = refIndex, Distance = 0 });
    for (int i = refIndex + 1; i < dataTable.Rows.Count; i++)
    {
        distance = Math.Abs(((int)dataTable.Rows[refIndex][Constants.DN]) -
((int)dataTable.Rows[i][Constants.DN]));
        if (distance <= 100)
        {
            if (((double)dataTable.Rows[i][Constants.EI]) != 0 &&
((double)dataTable.Rows[i][Constants.CI]) == 0)
            {
                IdsList.Add(new IdDistancePair() { Id = i, Distance = distance
});
            }
        }
    }
}

```



## Приложение 5

Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве.

Код подпрограммы третьего этапа распределения земляных масс.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Data;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
namespace RoadLibrary
{
    public class Stage3
    {
        public static void Operate(DataTable dataTable, double W, Report report)
        {
            double R;
            double quantity_to_transfer;
            for (int currentId = 0; currentId < dataTable.Rows.Count; currentId++)
            {
                if (((double)dataTable.Rows[currentId][Constants.CI]) == 0 &&
                    ((double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI]) != 0)
                {
                    R = (double)dataTable.Rows[currentId][Constants.Ri];

                    if (R != 0)
                    {
                        if (((double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI]) <= R)
                        {
                            quantity_to_transfer =
                                ((double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI]);
                        }
                        else
                        {
                            quantity_to_transfer = R;
                        }
                        report.AddTransaction(new Transaction()
                        {
                            SourceDN = (int)dataTable.Rows[currentId][Constants.DN],
                            DestDN = (int)dataTable.Rows[currentId][Constants.DN],
                            Quantity = quantity_to_transfer,
                            Distance = W,
                            TransactionKind =
                                TransactionKindsEnum.FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR,
                            SourceStage = StagesEnum.STAGE3
                        });
                        dataTable.Rows[currentId][Constants.Ri] =
                            (double)dataTable.Rows[currentId][Constants.Ri] - quantity_to_transfer;
                        dataTable.Rows[currentId][Constants.EI] =
                            ((double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI]) - quantity_to_transfer;
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

## Приложение 6

Программа распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве.

Код подпрограммы четвертого этапа распределения земляных масс.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Data;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
namespace RoadLibrary
{
    public class Stage4
    {
        public static void Operate_Part2(DataTable dataTable, Report report)
        {
            double quantity_to_transfer = 0;
            for (int currentId = 0; currentId < dataTable.Rows.Count; currentId++)
            {
                if (((double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI]) != 0)
                {
                    List<IdDistancePair> sortedIds =
ExploringAndSorting_Part2(dataTable, currentId);
                    for (int i = 0; i < sortedIds.Count; i++)
                    {
                        if (((double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI]) >=
((double)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.K]))
                        {
                            quantity_to_transfer =
((double)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.K]);
                        }
                        else
                        {
                            quantity_to_transfer =
(double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI];
                        }
                        if (quantity_to_transfer == 0)
                        {
                            break;
                        }
                        report.AddTransaction(new Transaction()
                        {
                            SourceDN =
(int)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.DN],
                            DestDN = (int)dataTable.Rows[currentId][Constants.DN],
                            Quantity = quantity_to_transfer,
                            Distance = sortedIds[i].Distance,
                            TransactionKind =
TransactionKindsEnum.FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR,
                            SourceStage = StagesEnum.STAGE4_P2
                        });
                        dataTable.Rows[currentId][Constants.EI] =
(double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI] - quantity_to_transfer;
                        dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.K] =
((double)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.K]) - quantity_to_transfer;
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```



```

    }
}
}
public static void Operate_Part1(DataTable dataTable, double W, Report report)
{
    double quantity_to_transfer = 0;
    int current_distance = 0;
    int max_distance;
    max_distance = ((int)dataTable.Rows[dataTable.Rows.Count -
1][Constants.DN]);

    while (current_distance <= max_distance)
    {
        for (int currentId = 0; currentId < dataTable.Rows.Count; currentId++)
        {
            if (((double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI]) != 0)
            {
                List<IdDistancePair> sortedIds =
ExploringAndSorting_Part1(dataTable, currentId,W, current_distance, current_distance + 100);
                for (int i = 0; i < sortedIds.Count; i++)
                {
                    if (((double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI]) >=
((double)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.Ri]))
                    {
                        quantity_to_transfer =
((double)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.Ri]);
                    }
                    else
                    {
                        quantity_to_transfer =
(double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI];
                    }
                    if (quantity_to_transfer == 0)
                    {
                        break;
                    }
                    report.AddTransaction(new Transaction()
                    {
                        SourceDN =
(int)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.DN],
                        DestDN = (int)dataTable.Rows[currentId][Constants.DN],
                        Quantity = quantity_to_transfer,
                        Distance = sortedIds[i].Distance,
                        TransactionKind =
TransactionKindsEnum.FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR,
                        SourceStage = StagesEnum.STAGE4_P1
                    });
                    dataTable.Rows[currentId][Constants.EI] =
(double)dataTable.Rows[currentId][Constants.EI] - quantity_to_transfer;
                    dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.Ri] =
((double)dataTable.Rows[sortedIds[i].Id][Constants.Ri]) - quantity_to_transfer;
                }
            }
        }
        current_distance += 100;
    }
}
private static List<IdDistancePair> ExploringAndSorting_Part1(DataTable
dataTable, int refIndex,double W, int from_distance, int to_distance)

```

```

    {
        double distance = 0;
        List<IdDistancePair> IdsList = new List<IdDistancePair>();
        for (int i = refIndex + 1; i < dataTable.Rows.Count; i++)
        {
            distance = Math.Abs(((int)dataTable.Rows[refIndex][Constants.DN]) -
                ((int)dataTable.Rows[i][Constants.DN]));

            if (distance >= from_distance && distance <= to_distance)
            {
                if (((double)dataTable.Rows[i][Constants.Ri]) != 0)
                {
                    IdsList.Add(new IdDistancePair() { Id = i, Distance = distance
+ W });
                }
            }
        }
        for (int i = refIndex - 1; i >= 0; i--)
        {
            distance = Math.Abs(((int)dataTable.Rows[refIndex][Constants.DN]) -
                ((int)dataTable.Rows[i][Constants.DN]));
            if (distance >= from_distance && distance <= to_distance)
            {
                if (((double)dataTable.Rows[i][Constants.Ri]) != 0)
                {
                    IdsList.Add(new IdDistancePair() { Id = i, Distance = distance
+ W });
                }
            }
        }

        IdsList.Sort();
        return IdsList;
    }
    private static List<IdDistancePair> ExploringAndSorting_Part2(DataTable
dataTable, int refIndex)
    {
        double distance = 0;
        List<IdDistancePair> IdsList = new List<IdDistancePair>();
        for (int i = refIndex; i < dataTable.Rows.Count; i++)
        {
            if (((double)dataTable.Rows[i][Constants.K]) > 0)
            {
                distance = ((double)dataTable.Rows[i][Constants.Lk]) +
                    Math.Abs(((int)dataTable.Rows[refIndex][Constants.DN]) -
                        ((int)dataTable.Rows[i][Constants.DN]));
                IdsList.Add(new IdDistancePair() { Id = i, Distance = distance });
            }
        }
        for (int i = refIndex - 1; i >= 0; i--)
        {
            if (((double)dataTable.Rows[i][Constants.K]) > 0)
            {
                distance = ((double)dataTable.Rows[i][Constants.Lk]) +
                    Math.Abs(((int)dataTable.Rows[refIndex][Constants.DN]) -
                        ((int)dataTable.Rows[i][Constants.DN]));
                IdsList.Add(new IdDistancePair() { Id = i, Distance = distance });
            }
        }
    }
}

```

```
        IdsList.Sort();  
        return IdsList;  
    }
```

## Приложение 7

Табличные данные продольного профиля участка лесовозной автомобильной  
дороги №1

DN	DD	SU	SLi	SLf	RLi	RLf	GW
2000	35	Yes	54.2	54	54.41	54.76	52.5
2035	12	Yes	54	53.5	54.76	54.88	52.12
2047	12	Yes	53.5	54	54.88	55	52.1
2059	41	Yes	54	54.8	55	55.41	52.74
2100	38	Yes	54.8	54	55.41	55.41	52.7
2138	31	Yes	54	57	55.41	57.55	53.9
2169	7	Yes	57	57.5	57.55	58.03	55.73
2176	12	Yes	57.5	57	58.03	57.43	55.75
2188	12	Yes	57	58.5	57.43	56.83	56.28
2200	5	Yes	58.5	56	56.83	56.58	55.81
2205	20	Yes	56	55	56.58	55.58	54.07
2225	30	No	55	54	55.58	54.08	53.12
2255	10	No	54	52.84	54.08	53.58	52.12
2265	20	Yes	52.84	51.49	53.58	52.58	50.86
2285	15	Yes	51.49	52.5	52.58	52.49	50.69
2300	20	Yes	52.5	52.7	52.49	52.46	51.29
2320	20	Yes	52.7	50.89	52.46	52.34	50.48
2340	20	Yes	50.89	52.24	52.34	52.22	50.24
2360	10	Yes	52.24	54.6	52.22	52.98	52.09
2370	10	Yes	54.6	54.72	52.98	53.62	53.33
2380	20	Yes	54.72	54.31	53.62	55.02	53.18
2400	20	Yes	54.31	54.28	55.02	55.18	52.95
2420	25	Yes	54.28	55.98	55.18	55.38	53.78
2445	14	Yes	55.98	55.9	55.38	55.49	54.59
2459	21	Yes	55.9	54.58	55.49	55.66	53.88
2480	15	Yes	54.58	54.95	55.66	55.78	53.4
2495	5	Yes	54.95	55.45	55.78	55.82	53.83
2500	20	Yes	55.45	56.46	55.82	55.92	54.59
2520	45	Yes	56.46	53.62	55.92	54.3	53.67
2565	5	Yes	53.62	52.64	54.3	54.5	51.74
2570	10	Yes	52.64	54.17	54.5	54.9	52.02
2580	15	Yes	54.17	54.8	54.9	55.5	53.09
2595	5	Yes	54.8	55.31	55.5	55.78	53.66
2600	10	Yes	55.31	56.8	55.78	56.34	54.66
2610	20	No	56.8	56.87	56.34	57.46	55.44
2630	35	Yes	56.87	58.58	57.46	59.42	56.18
2665	19	No	58.58	59.26	59.42	59.61	57.12
2684	16	Yes	59.26	60.85	59.61	59.77	58.32
2700	18	Yes	60.85	59.58	59.77	59.95	58.53
2718	2	Yes	59.58	59.73	59.95	59.02	58.03
2720	7	Yes	59.73	60.05	59.02	59.04	58.27
2727	13	No	60.05	58.89	59.04	59.87	57.87
2740	15	No	58.89	58.88	59.87	59.68	57.26
2755	35	Yes	58.88	58.55	59.68	59.7	57.07
2790	10	No	58.55	58.79	59.7	59.89	56.97

2800	20	No	58.79	61.08	59.89	60.27	58.24
2820	30	No	61.08	61.77	60.27	60.84	59.73
2850	11	Yes	61.77	61.31	60.84	61.05	60
2861	8	Yes	61.31	61	61.05	61.34	59.67
2869	19	Yes	61	62	61.34	62.02	60.06
2888	12	Yes	62	61.7	62.02	62.45	60.51
2900	7	Yes	61.7	62	62.45	62.7	60.57
2907	24	Yes	62	63	62.7	63.57	61.26
2931	42	Yes	63	63.6	63.57	64.12	62.19
2973	13	Yes	63.6	64	64.12	64.29	62.91
2986	14	Yes	64	63.5	64.29	63.45	62.93
3000	5	Yes	63.5	63	63.45	63.15	62.51
3005	9	Yes	63	62	63.15	62.61	61.78
3014	14	Yes	62	62	62.61	61.77	61.33
3028	21	Yes	62	63	61.77	60.51	61.9
3049	5	Yes	63	63	60.51	60.21	62.52
3054	11	Yes	63	56	60.21	59.55	59.04
3065	14	No	56	60	59.55	58.71	56
3079	3	Yes	60	55.7	58.71	58.3	57.38
3082	3	Yes	55.7	59	58.3	58.69	55
3085	15	Yes	59	59	58.69	59.5	58.5
3100	4	Yes	59	60	59.5	59.82	58.93
3104	6	Yes	60	61	59.82	60.15	59.91
3110	8	Yes	61	62	60.15	60.58	60.88
3118	8	Yes	62	63	60.58	61.01	61.84
3126	13	Yes	63	63	61.01	61.27	62.3
3139	8	Yes	63	62	61.27	61.43	61.73
3147	3	Yes	62	61	61.43	61.49	60.69
3150	5	Yes	61	60	61.49	62.55	59.68
3155	12	Yes	60	60	62.55	62.01	59.15
3167	11	Yes	60	61	62.01	61.3	59.59
3178	22	Yes	61	62	61.3	63.55	60.54
3200	40	Yes	62	66	63.55	66.35	61.93
3240	25	Yes	66	67	66.35	67.25	65.23
3265	35	No	67	68	67.25	68.51	66.1
3300	32	Yes	68	68	68.51	68.13	65.76
3332	12	Yes	68	67	68.13	67.98	64.49
3344	30	No	67	66.5	67.98	67.63	63.45
3374	12	No	66.5	66.7	67.63	67.75	63.3
3386	4	No	66.7	67	67.75	67.75	63.55
3390	10	No	67	68	67.75	67.89	64.2
3400	13	Yes	68	69	67.89	68.02	65.31
3413	18	Yes	69	69.13	68.02	68.02	66.02
3431	10	Yes	69.13	68.7	68.02	68.3	66.07
3441	35	Yes	68.7	66.94	68.3	68.65	65.09
3476	24	Yes	66.94	70.05	68.65	70.33	66.15
3500	50	Yes	70.05	73.15	70.33	72.15	69.52
3550	20	Yes	73.15	74.54	72.15	73.55	72.32
3570	30	No	74.54	73.57	73.55	73.64	72.76
3600	50	Yes	73.57	73.18	73.64	73.79	71.9
3650	50	Yes	73.18	74.81	73.79	74.84	72.23
3700	50	Yes	74.81	74.57	74.84	74.99	72.63
3750	10	No	74.57	73.8	74.99	75.01	71.84

3760	40	No	73.8	74.07	75.01	75.09	71.66
3800	50	Yes	74.07	77.23	75.09	77.89	73.68
3850	30	No	77.23	77.09	77.89	77.89	75.56
3880	20	Yes	77.09	77.33	77.89	77.89	75.63
3900	50	Yes	77.33	78.54	77.89	79.29	76.37
3950	50	Yes	78.54	79.82	79.29	79.95	77.65
4000	20	Yes	79.82	78.79	79.95	80.33	77.81

## Приложение 8

Табличные данные продольного профиля участка лесовозной автомобильной  
дороги №2

DN	DD	SU	SLi	SLf	RLi	RLf	GW
4000	20	Yes	79.82	78.79	79.95	80.33	77.51
4020	40	Yes	78.79	79.37	80.33	81.09	77.86
4060	20	Yes	79.37	81.47	81.09	81.47	78.57
4080	20	No	81.47	81.19	81.47	81.85	78.52
4100	50	No	81.19	82.03	81.85	82.7	78.48
4150	50	Yes	82.03	82.21	82.7	82.85	78.36
4200	20	Yes	82.21	82.45	82.85	82.27	78.24
4220	15	Yes	82.45	81.18	82.27	81.83	78.19
4235	20	Yes	81.18	80.91	81.83	81.67	78.16
4255	25	No	80.91	80.67	81.67	81.47	78.11
4280	20	No	80.67	80.72	81.47	81.05	78.05
4300	30	No	80.72	78.91	81.05	80.42	78.01
4330	10	No	78.91	80.36	80.42	80.21	77.94
4340	20	No	80.36	79.01	80.21	79.79	78.03
4360	15	Yes	79.01	78.85	79.79	79.47	78.22
4375	5	Yes	78.85	79.41	79.47	79.37	78.36
4380	15	Yes	79.41	77.96	79.37	79.77	78.4
4395	5	Yes	77.96	78.42	79.77	79.91	77.95
4400	25	Yes	78.42	80.53	79.91	80.59	78.59
4425	45	Yes	80.53	80.32	80.59	81.8	78.83
4470	10	No	80.32	82.58	81.8	82.07	79.27
4480	20	No	82.58	82.14	82.07	82.61	79.36
4500	50	No	82.14	81.39	82.61	82.11	79.56
4550	50	Yes	81.39	81.17	82.11	81.86	80.05
4600	55	Yes	81.17	79.98	81.86	81.2	80.54
4655	45	No	79.98	80.33	81.2	82.16	80.08
4700	50	No	80.33	84.79	82.16	85.31	81.52
4750	30	No	84.79	82.92	85.31	83.6	82.01
4780	20	No	82.92	82.76	83.6	83.9	82.54
4800	30	Yes	82.76	82.39	83.9	84.35	81.89
4830	15	No	82.39	85.59	84.35	84.57	83.42
4845	15	No	85.59	86.99	84.57	84.8	83.69
4860	40	Yes	86.99	82.53	84.8	83.76	83.03
4900	5	No	82.53	81.63	83.76	83.63	81.26
4905	11	Yes	81.63	81.31	83.63	83.34	81.04
4916	14	Yes	81.31	83	83.34	82.98	80.56
4930	15	No	83	81.81	82.98	82.59	80.91
4945	55	No	81.81	81.82	82.59	82.33	80.82
5000	100	No	81.82	81.78	82.33	82.33	80.5
5100	100	No	81.78	81.65	82.33	82.33	79.12
5200	40	No	81.65	81.3	82.33	82.29	78.63
5240	10	No	81.3	82.14	82.29	82.28	79.97
5250	10	No	82.14	81.27	82.28	82.27	80.31
5260	40	No	81.27	81.48	82.27	82.69	79.88
5300	25	No	81.48	83.45	82.69	83.24	79.9
5325	25	No	83.45	83.56	83.24	83.79	79.91
5350	40	Yes	83.56	81.41	83.79	82.59	79.92
5390	10	No	81.41	81.43	82.59	82.55	79.95
5400	50	No	81.43	81.79	82.55	82.35	79.95

5450	50	No	81.79	81.93	82.35	82.05	79.98
5500	30	No	81.93	81.08	82.05	80.85	80.01
5530	10	No	81.08	79.82	80.85	80.45	78.97
5540	60	Yes	79.82	79.45	80.45	80.09	78.62
5600	35	Yes	79.45	79.01	80.09	78.51	76.55
5635	15	Yes	79.01	76.65	78.51	77.84	75.34
5650	50	No	76.65	76.59	77.84	77.47	74.82
5700	70	No	76.59	76.79	77.47	77.61	74.92
5770	30	No	76.79	79.36	77.61	79.71	75.05
5800	20	No	79.36	80.02	79.71	78.51	75.11
5820	19	No	80.02	76.07	78.51	77.37	75.15
5839	6	No	76.07	75.57	77.37	77.01	72.92
5845	55	No	75.57	74.52	77.01	75.95	72.91
5900	55	No	74.52	75.13	75.95	75.73	72.86
5955	11	No	75.13	75.16	75.73	75.69	72.8
5966	34	Yes	75.16	74.83	75.69	75.55	72.79
6000	20	No	74.83	73.88	75.55	75.17	72.76
6020	45	No	73.88	73.66	75.17	74.32	72.39
6065	25	Yes	73.66	72.93	74.32	73.7	71.56
6090	10	No	72.93	72.9	73.7	73.45	71.1
6100	50	No	72.9	72.58	73.45	73.1	70.91
6150	50	No	72.58	72.2	73.1	72.75	69.99
6200	50	No	72.2	72.64	72.75	72.85	69.44
6250	50	No	72.64	71.45	72.85	72.75	68.89
6300	50	No	71.45	71.84	72.75	72.62	68.35
6350	50	No	71.84	71.92	72.62	72.45	68.94
6400	50	No	71.92	71.54	72.45	72.25	69.53
6450	10	No	71.54	72.56	72.25	72.21	69.18
6460	15	No	72.56	71.39	72.21	72.15	69.11
6475	25	No	71.39	71.2	72.15	72.05	69.01
6500	53	No	71.2	72.27	72.05	73.06	68.84
6553	14	No	72.27	73.64	73.06	73.33	70.9
6567	33	No	73.64	72.85	73.33	73.95	71.45
6600	100	No	72.85	73.13	73.95	73.95	71.14
6700	50	No	73.13	72.96	73.95	73.95	70.22
6750	50	No	72.96	72.55	73.95	73.95	69.76
6800	10	No	72.55	72.62	73.95	73.95	72.29
6810	23	No	72.62	76.03	73.95	75.56	72.8
6833	67	No	76.03	76.1	75.56	76.85	73.97
6900	100	No	76.1	76.74	76.85	77.45	74.15
7000	55	Yes	76.74	77.46	77.45	77.81	74.43
7055	15	Yes	77.46	75.71	77.81	76.94	74.59
7070	29	No	75.71	74.37	76.94	76.26	74.02
7099	1	No	74.37	74.7	76.26	75.2	72.94
7100	50	Yes	74.7	73.66	75.2	74.3	72.9
7150	28	Yes	73.66	73.11	74.3	72.9	71.04
7178	7	Yes	73.11	72.98	72.9	72.55	69.99
7185	15	Yes	72.98	70.3	72.55	71.8	69.73
7200	10	No	70.3	69.5	71.8	71.3	69.17
7210	15	No	69.5	69.25	71.3	71	68.8
7225	75	No	69.25	69.82	71	70.46	68.24
7300	25	No	69.82	69.75	70.46	70.56	69.12
7325	25	No	69.75	72.54	70.56	71.21	69.41
7350	30	Yes	72.54	72.53	71.21	71.99	69.7
7380	20	No	72.53	71.67	71.99	72.51	70.06
7400	25	No	71.67	71.71	72.51	73.91	70.29
7425	25	No	71.71	77.24	73.91	75.31	72.24



7450	20	No	77.24	75.92	75.31	76.43	74.18
7470	30	Yes	75.92	75.58	76.43	76.31	74.18
7500	100	Yes	75.58	75.31	76.31	75.91	74.19
7600	50	Yes	75.31	74.41	75.91	75.91	74.21
7650	50	Yes	74.41	75.36	75.91	75.91	74.23
7700	60	Yes	75.36	76.7	75.91	76.15	74.24
7760	12	No	76.7	75	76.15	75.91	74.25
7772	28	No	75	74.02	75.91	75.35	73.54
7800	50	No	74.02	74.54	75.35	75.25	71.88
7850	30	No	74.54	73.87	75.25	75.61	72.35
7880	10	No	73.87	75.05	75.61	75.73	72.64
7890	10	Yes	75.05	75.21	75.73	75.85	72.73

## Приложение 9

Результаты попикетного распределения земляных масс лесовозной  
дороги №1

### Forest Road Construction

Soil Distribution Report

Source DN	Dest DN	Quantity	Distance	Transaction Kind Text
2000	2000	202.39	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2000	2035	7.61	51	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2000	2035	89.87	2035	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
2000	2047	117.08	2047	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
2000	2059	143.83	2059	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
2000	2100	29.38	2100	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
2000	2138	149.3	2138	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
2000	2169	7.53	2169	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
2035	2035	75.6	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2047	2047	78	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2059	2059	270.6	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2100	2100	266	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2138	2138	186	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2169	2169	36.4	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2176	2100	60	92	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2188	2188	5.96	12	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2188	2176	65.98	12	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2188	2205	73.15	17	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2188	2100	56.4	104	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2200	2200	4.39	5	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2200	2205	52.04	5	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2200	2100	22	116	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2205	2205	10.99	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2205	2138	75.01	83	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2265	2265	61	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2285	2285	0.01	15	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2285	2285	45.75	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2300	2285	34.73	15	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2300	2225	62	91	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2320	2320	4.74	20	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2320	2320	63	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR

2340	2340	0.04	20	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2340	2255	49.31	101	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2340	2265	15.69	91	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2360	2340	147.61	20	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2360	2265	33	111	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2370	2400	200.42	30	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2370	2340	36.61	30	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2370	2285	27.01	101	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2370	2320	5.99	66	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2380	2380	33.78	20	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2380	2420	40.73	40	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2380	2340	20.98	40	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2380	2320	14.81	60	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2380	2320	67	76	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2400	2320	22.97	96	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2400	2225	46.03	191	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2420	2420	45	25	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2420	2225	6.4	211	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2420	2265	81.1	171	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2445	2459	91.73	14	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2445	2480	12.68	35	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2445	2265	44.28	196	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2445	2580	4.72	151	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2459	2459	17.09	21	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2459	2480	31.48	37	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2459	2570	41.28	127	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2459	2580	2.84	137	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2480	2480	54.75	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2495	2495	5.42	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2495	2480	13.08	31	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2500	2500	16.71	20	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2500	2495	30.78	5	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2500	2480	73	36	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2520	2520	79.7	45	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2520	2520	22.98	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2520	2565	33.92	61	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2520	2570	109.61	66	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2565	2565	19.5	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2570	2570	38.5	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2580	2580	59.25	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2595	2595	19.75	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2600	2600	13.55	10	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2600	2595	3.04	5	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR

2600	2565	39.5	51	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2610	2610	29.38	16	THROW_ROAD_SIDE
2630	2630	190.75	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2684	2684	7.57	16	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2684	2665	99.7	19	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2684	2595	11.8	105	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2684	2610	39.02	90	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2684	2630	66.78	70	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2700	2700	9.44	18	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2700	2727	40.59	27	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2700	2665	36.95	35	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2700	2740	32.04	40	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2700	2630	48.04	86	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2700	2755	75.26	71	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2718	2718	1.41	2	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2718	2740	5.75	22	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2718	2755	12.5	53	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2720	2740	95.47	20	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2720	2740	36.25	36	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2720	2755	7.15	51	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2727	2727	54.08	16	THROW_ROAD_SIDE
2755	2755	225.75	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2800	2800	53.69	16	THROW_ROAD_SIDE
2820	2820	412.97	16	THROW_ROAD_SIDE
2850	2861	2.19	11	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2850	2869	37.51	19	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2850	2888	56.33	38	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2850	2900	5.75	50	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
2850	2755	59.4	111	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2861	2861	6.3	8	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
2861	2790	38.8	87	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2869	2790	83.6	95	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2888	2790	28.09	114	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2888	2800	12.71	104	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2900	2900	19.6	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2907	2907	57.6	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2931	2931	46.2	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
2986	2986	0.69	14	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3000	3000	0.42	5	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3014	3014	6.12	14	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3028	3014	30.56	14	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3028	3005	39.53	23	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3028	3054	80.1	26	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR

3028	3000	2.52	28	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3028	3065	376.38	37	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3028	2986	18.13	42	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3028	3079	26.73	51	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3049	3079	8.71	30	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3049	3082	61.32	33	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3049	3085	14.05	36	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3049	3100	7.15	51	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3049	2973	59.56	76	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3054	3054	145.66	11	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3065	3065	41.08	16	THROW_ROAD_SIDE
3079	3079	10.95	3	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3082	3082	0.7	3	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3082	2900	30	198	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3085	3085	12.57	15	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3100	3100	1.31	4	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3104	3150	47.58	46	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3110	3150	78.99	40	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3110	3155	73.74	45	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3118	3155	251.77	37	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3126	3155	137.87	29	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3126	3167	195.2	41	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3126	3178	121.7	52	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3139	3178	161.25	39	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3147	3147	3.9	3	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3147	3178	2.8	31	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3147	3200	0.16	53	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3200	3200	400	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3240	3240	67.5	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3300	3300	115.7	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3300	3200	131.34	116	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3300	3240	14.44	76	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3300	3265	58.52	51	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3332	3332	84.19	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3332	3265	35.81	83	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3390	3390	0.95	16	THROW_ROAD_SIDE
3400	3390	40.06	10	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3400	3386	45.99	14	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3400	3374	26.43	26	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3400	3344	130	72	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3413	3441	307.49	28	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3413	3344	180	85	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3431	3441	40.33	10	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR

3431	3476	80.21	45	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3431	3344	100	103	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3441	3441	19.11	35	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3441	3344	7.18	113	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3441	3374	147.2	83	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3441	3265	55.6	192	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3441	2900	6.45	557	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3441	2907	124.14	550	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3441	2931	9.43	526	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3476	2931	210.77	561	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3476	2800	29.23	692	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3500	3500	16.6	50	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
3500	3476	266.68	24	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3500	3570	0.71	70	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3500	3600	32.42	100	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3500	3900	105.8	416	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3500	4000	139.66	516	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3500	2800	42.31	716	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3500	2755	64.22	761	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3500	2580	63.46	936	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3500	2100	84.56	1416	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3550	3600	165.86	50	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3550	3650	156.22	100	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
3550	3850	51.48	316	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3550	3880	48.61	346	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3550	3900	4.91	366	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3570	3570	224.27	16	THROW_ROAD_SIDE
3600	3800	23.13	216	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3600	3850	214.37	266	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3650	3650	31.75	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3650	3760	328.18	126	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3650	3800	22.57	166	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3700	3700	125.8	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3700	3750	106.11	66	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3700	3760	268.09	76	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3800	3800	485	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3880	3880	116	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3900	3900	282.5	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3950	3950	263.46	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
3950	3850	1.54	116	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4000	4000	99	16	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR

## Приложение 10

Результаты попикетного распределения земляных масс лесовозной  
дороги №2

### Forest Road Construction

Soil Distribution Report

Source DN	Dest DN	Quantity	Distance	Transaction Kind Text
4000	4000	190.8	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4000	4000	81.26	3000	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4020	996.6	3020	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4080	40.81	3080	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4100	288.65	3100	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4255	107.51	3255	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4280	158.07	3280	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4300	438.71	3300	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4330	113.52	3330	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4340	93.81	3340	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4360	148.34	3360	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4375	20.09	3375	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4380	231.4	3380	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4395	140.22	3395	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4400	315.89	3400	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4425	242.6	3425	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4470	90.48	3470	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4480	30.23	3480	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4500	412.45	3500	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4550	359.59	3550	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4600	792.37	3600	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4655	1150.02	3655	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4700	976.45	3700	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4750	248.98	3750	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4800	710.21	3800	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4905	239.32	3905	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4916	154.57	3916	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4930	81.79	3930	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	4945	497.35	3945	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	5000	720.39	4000	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	5100	852.74	4100	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR

4000	5200	487.35	4200	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	5240	82.8	4240	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	5250	28.81	4250	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4000	5260	678.25	4260	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
4020	4020	105.6	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4060	4060	204	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4150	4150	457.39	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4150	4060	91.15	108	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4150	4080	51.46	88	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4200	4200	6.22	20	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
4200	4200	63.31	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4200	4100	176.69	118	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4220	4220	4.61	15	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
4220	4220	48.65	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4220	4255	131.35	53	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4235	4235	199.2	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4235	4255	40.8	38	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4330	4330	1.06	18	THROW_ROAD_SIDE
4340	4340	3.79	18	THROW_ROAD_SIDE
4375	4375	0.09	5	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
4380	4380	0.1	15	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
4425	4425	321.3	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4470	4470	10.93	18	THROW_ROAD_SIDE
4480	4480	44.4	18	THROW_ROAD_SIDE
4550	4550	138	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4830	4830	47.81	18	THROW_ROAD_SIDE
4845	4845	497.26	18	THROW_ROAD_SIDE
4860	4860	138.82	40	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
4860	4830	172.87	30	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
4860	4900	138.25	40	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
4860	4905	160.66	45	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
4860	4780	271.26	98	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4860	4800	79.14	78	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4916	4916	0.02	14	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
4916	4916	99.96	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
4930	4930	0.06	18	THROW_ROAD_SIDE
5300	5300	6.15	18	THROW_ROAD_SIDE
5325	5325	19.83	18	THROW_ROAD_SIDE
5350	5350	425.12	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
5350	5250	54.88	118	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
5500	5500	36.02	18	THROW_ROAD_SIDE
5530	5530	4.89	18	THROW_ROAD_SIDE
5540	5540	10.8	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR



5600	5600	64.09	35	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
5600	5600	23.44	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
5600	5500	7.63	118	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
5600	5530	32.05	88	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
5600	5540	356.88	78	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
5635	5635	18.53	15	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
5635	5635	79.32	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
5635	5540	100.68	113	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
5800	5800	241.86	18	THROW_ROAD_SIDE
5820	5820	152.09	18	THROW_ROAD_SIDE
5966	5966	295.76	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
5966	5900	112.24	84	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
6065	6065	220.5	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
6450	6450	9.39	18	THROW_ROAD_SIDE
6460	6460	13.45	18	THROW_ROAD_SIDE
6553	6553	9.86	18	THROW_ROAD_SIDE
6567	6567	18.14	18	THROW_ROAD_SIDE
6810	6810	23.44	18	THROW_ROAD_SIDE
6833	6833	100.75	18	THROW_ROAD_SIDE
7000	7000	401.49	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7000	6900	258.51	118	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7000	5300	201.44	4300	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5325	19.07	4275	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5390	177.7	4210	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5400	621.6	4200	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5450	228.6	4150	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5540	61.42	4060	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5650	785.29	3950	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5700	865.91	3900	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5770	246.37	3830	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5800	8.59	3800	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5820	90.85	3780	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5839	132.51	3761	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5845	1286.88	3755	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5900	756.07	3700	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	5955	85.15	3645	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6000	306.68	3600	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6020	668.23	3580	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6065	32.57	3535	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6090	92.63	3510	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6100	363.97	3500	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6150	363.97	3450	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6200	254	3400	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR

7000	6250	583.06	3350	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6300	796.38	3300	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6350	459.7	3250	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6400	430.88	3200	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6450	33.6	3150	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6460	55.73	3140	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6475	290.25	3125	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6500	628.57	3100	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6553	57.07	3047	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6567	216.64	3033	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6600	1434.36	3000	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6700	666.94	2900	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6750	937.51	2850	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6800	219.73	2800	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6810	180.71	2790	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6833	220.1	2767	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	6900	777.48	2700	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7070	510.39	2670	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7100	91.71	2700	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7200	280.35	2800	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7210	461.31	2810	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7225	1466.11	2825	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7400	171.88	3000	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7425	272.47	3025	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7450	14.42	3050	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7470	53.69	3070	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7500	625.94	3100	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7600	256.95	3200	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7650	780.04	3250	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7760	50.13	3360	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7772	485.39	3372	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7800	754.76	3400	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7850	599.93	3450	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7000	7880	197.55	3480	FROM_ROAD_SIDE_PILE_TO_SECTOR
7055	7055	179	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7055	7070	0.1	33	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7100	7100	168	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7150	7150	11.5	28	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
7150	7150	82.41	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7150	7070	253.59	98	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7178	7185	36.45	7	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
7178	7099	20.07	97	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7178	7100	63.93	96	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR

7185	7185	11.85	15	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
7185	7185	95.97	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7185	7100	67.83	103	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7325	7325	198.28	18	THROW_ROAD_SIDE
7350	7325	55.3	25	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
7350	7380	74.24	30	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
7350	7400	389.54	50	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
7350	7300	257.46	68	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7350	7400	102.54	68	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7380	7380	35.54	18	THROW_ROAD_SIDE
7425	7425	236.64	18	THROW_ROAD_SIDE
7450	7450	320.43	18	THROW_ROAD_SIDE
7470	7470	205.2	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7500	7500	306	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7700	7700	112.61	60	FROM_SECTOR_TO_SAME_SECTOR
7700	7650	26.4	50	FROM_SECTOR_TO_ANOTHER_SECTOR
7700	7600	568.8	118	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7760	7760	20.95	18	THROW_ROAD_SIDE
7890	7890	92.28	18	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR
7890	7800	27.72	108	FROM_ROAD_SIDE_TO_SECTOR

## Приложения 11

### Распределения земляных масс дороги №1

Sum of Объем [м3]	Column Labels	Из выемки в насыпь	Из карьера в насыпь	Из полувыемки в полунасыпь	Из резерва в насыпь	Grand Total
Row Labels	Из выемки в кавальер					
<b>2000</b>					<b>202.39</b>	<b>202.39</b>
2000					202.39	202.39
<b>2035</b>			<b>89.87</b>		<b>83.21</b>	<b>173.08</b>
2000			89.87		7.61	97.48
2035					75.6	75.6
<b>2047</b>			<b>117.08</b>		<b>78</b>	<b>195.08</b>
2000			117.08			117.08
2047					78	78
<b>2059</b>			<b>143.83</b>		<b>270.6</b>	<b>414.43</b>
2000			143.83			143.83
2059					270.6	270.6
<b>2100</b>			<b>29.38</b>		<b>488.96</b>	<b>518.34</b>
2000			29.38			29.38
2100					266	266
2176					60	60
2188					56.4	56.4
2200					22	22
3500					84.56	84.56
<b>2138</b>			<b>149.3</b>		<b>261.01</b>	<b>410.31</b>
2000			149.3			149.3
2138					186	186
2205					75.01	75.01
<b>2169</b>			<b>7.53</b>		<b>36.4</b>	<b>43.93</b>
2000			7.53			7.53
2169					36.4	36.4
<b>2176</b>		<b>65.98</b>				<b>65.98</b>
2188		65.98				65.98
<b>2188</b>				<b>5.96</b>		<b>5.96</b>
2188				5.96		5.96
<b>2200</b>				<b>4.39</b>		<b>4.39</b>
2200				4.39		4.39
<b>2205</b>		<b>125.19</b>			<b>10.99</b>	<b>136.18</b>
2188		73.15				73.15
2200		52.04				52.04
2205					10.99	10.99
<b>2225</b>					<b>114.43</b>	<b>114.43</b>
2300					62	62
2400					46.03	46.03

2420			6.4	6.4
<b>2255</b>			<b>49.31</b>	<b>49.31</b>
2340			49.31	49.31
<b>2265</b>			<b>235.07</b>	<b>235.07</b>
2265			61	61
2340			15.69	15.69
2360			33	33
2420			81.1	81.1
2445			44.28	44.28
<b>2285</b>	<b>34.73</b>	<b>0.01</b>	<b>72.76</b>	<b>107.5</b>
2285		0.01	45.75	45.76
2300	34.73			34.73
2370			27.01	27.01
<b>2320</b>	<b>14.81</b>	<b>4.74</b>	<b>158.96</b>	<b>178.51</b>
2320		4.74	63	67.74
2370			5.99	5.99
2380	14.81		67	81.81
2400			22.97	22.97
<b>2340</b>	<b>205.2</b>	<b>0.04</b>		<b>205.24</b>
2340		0.04		0.04
2360	147.61			147.61
2370	36.61			36.61
2380	20.98			20.98
<b>2380</b>		<b>33.78</b>		<b>33.78</b>
2380		33.78		33.78
<b>2400</b>	<b>200.42</b>			<b>200.42</b>
2370	200.42			200.42
<b>2420</b>	<b>40.73</b>	<b>45</b>		<b>85.73</b>
2380	40.73			40.73
2420		45		45
<b>2459</b>	<b>91.73</b>	<b>17.09</b>		<b>108.82</b>
2445	91.73			91.73
2459		17.09		17.09
<b>2480</b>	<b>12.68</b>		<b>172.31</b>	<b>184.99</b>
2445	12.68			12.68
2459			31.48	31.48
2480			54.75	54.75
2495			13.08	13.08
2500			73	73
<b>2495</b>	<b>30.78</b>		<b>5.42</b>	<b>36.2</b>
2495			5.42	5.42
2500	30.78			30.78
<b>2500</b>		<b>16.71</b>		<b>16.71</b>
2500		16.71		16.71
<b>2520</b>		<b>79.7</b>	<b>22.98</b>	<b>102.68</b>
2520		79.7	22.98	102.68

<b>2565</b>			<b>92.92</b>	<b>92.92</b>
2520			33.92	33.92
2565			19.5	19.5
2600			39.5	39.5
<b>2570</b>			<b>189.39</b>	<b>189.39</b>
2459			41.28	41.28
2520			109.61	109.61
2570			38.5	38.5
<b>2580</b>			<b>130.27</b>	<b>130.27</b>
2445			4.72	4.72
2459			2.84	2.84
2580			59.25	59.25
3500			63.46	63.46
<b>2595</b>		<b>3.04</b>	<b>31.55</b>	<b>34.59</b>
2595			19.75	19.75
2600		3.04		3.04
2684			11.8	11.8
<b>2600</b>			<b>13.55</b>	<b>13.55</b>
2600			13.55	13.55
<b>2610</b>	<b>29.38</b>		<b>39.02</b>	<b>68.4</b>
2610	29.38			29.38
2684			39.02	39.02
<b>2630</b>			<b>305.57</b>	<b>305.57</b>
2630			190.75	190.75
2684			66.78	66.78
2700			48.04	48.04
<b>2665</b>		<b>136.65</b>		<b>136.65</b>
2684		99.7		99.7
2700		36.95		36.95
<b>2684</b>			<b>7.57</b>	<b>7.57</b>
2684			7.57	7.57
<b>2700</b>			<b>9.44</b>	<b>9.44</b>
2700			9.44	9.44
<b>2718</b>			<b>1.41</b>	<b>1.41</b>
2718			1.41	1.41
<b>2727</b>	<b>54.08</b>	<b>40.59</b>		<b>94.67</b>
2700		40.59		40.59
2727	54.08			54.08
<b>2740</b>		<b>133.26</b>	<b>36.25</b>	<b>169.51</b>
2700		32.04		32.04
2718		5.75		5.75
2720		95.47	36.25	131.72
<b>2755</b>			<b>444.28</b>	<b>444.28</b>
2700			75.26	75.26
2718			12.5	12.5
2720			7.15	7.15

2755			225.75	225.75
2850			59.4	59.4
3500			64.22	64.22
<b>2790</b>			<b>150.49</b>	<b>150.49</b>
2861			38.8	38.8
2869			83.6	83.6
2888			28.09	28.09
<b>2800</b>	<b>53.69</b>		<b>84.25</b>	<b>137.94</b>
2800	53.69			53.69
2888			12.71	12.71
3476			29.23	29.23
3500			42.31	42.31
<b>2820</b>	<b>412.97</b>			<b>412.97</b>
2820	412.97			412.97
<b>2861</b>		<b>2.19</b>	<b>6.3</b>	<b>8.49</b>
2850		2.19		2.19
2861			6.3	6.3
<b>2869</b>		<b>37.51</b>		<b>37.51</b>
2850		37.51		37.51
<b>2888</b>		<b>56.33</b>		<b>56.33</b>
2850		56.33		56.33
<b>2900</b>		<b>5.75</b>	<b>56.05</b>	<b>61.8</b>
2850		5.75		5.75
2900			19.6	19.6
3082			30	30
3441			6.45	6.45
<b>2907</b>			<b>181.74</b>	<b>181.74</b>
2907			57.6	57.6
3441			124.14	124.14
<b>2931</b>			<b>266.4</b>	<b>266.4</b>
2931			46.2	46.2
3441			9.43	9.43
3476			210.77	210.77
<b>2973</b>		<b>59.56</b>		<b>59.56</b>
3049		59.56		59.56
<b>2986</b>		<b>18.13</b>	<b>0.69</b>	<b>18.82</b>
2986			0.69	0.69
3028		18.13		18.13
<b>3000</b>		<b>2.52</b>	<b>0.42</b>	<b>2.94</b>
3000			0.42	0.42
3028		2.52		2.52
<b>3005</b>		<b>39.53</b>		<b>39.53</b>
3028		39.53		39.53
<b>3014</b>		<b>30.56</b>	<b>6.12</b>	<b>36.68</b>
3014			6.12	6.12
3028		30.56		30.56

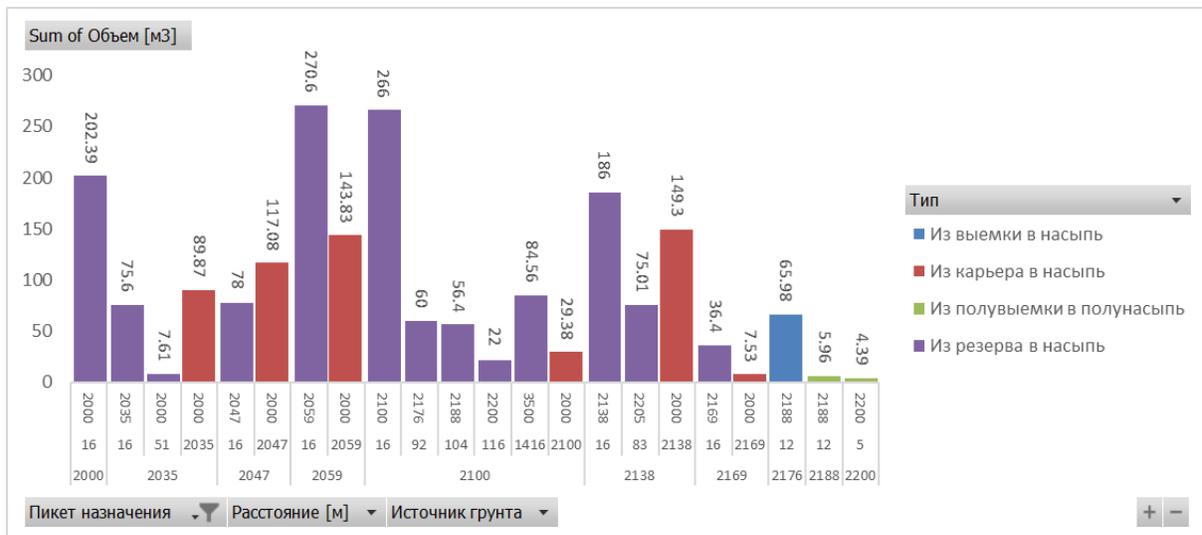
<b>3054</b>		<b>80.1</b>	<b>145.66</b>	<b>225.76</b>
3028		80.1		80.1
3054			145.66	145.66
<b>3065</b>	<b>41.08</b>	<b>376.38</b>		<b>417.46</b>
3028		376.38		376.38
3065	41.08			41.08
<b>3079</b>		<b>35.44</b>	<b>10.95</b>	<b>46.39</b>
3028		26.73		26.73
3049		8.71		8.71
3079			10.95	10.95
<b>3082</b>		<b>61.32</b>	<b>0.7</b>	<b>62.02</b>
3049		61.32		61.32
3082			0.7	0.7
<b>3085</b>		<b>14.05</b>	<b>12.57</b>	<b>26.62</b>
3049		14.05		14.05
3085			12.57	12.57
<b>3100</b>		<b>7.15</b>	<b>1.31</b>	<b>8.46</b>
3049		7.15		7.15
3100			1.31	1.31
<b>3147</b>			<b>3.9</b>	<b>3.9</b>
3147			3.9	3.9
<b>3150</b>		<b>126.57</b>		<b>126.57</b>
3104		47.58		47.58
3110		78.99		78.99
<b>3155</b>		<b>463.38</b>		<b>463.38</b>
3110		73.74		73.74
3118		251.77		251.77
3126		137.87		137.87
<b>3167</b>		<b>195.2</b>		<b>195.2</b>
3126		195.2		195.2
<b>3178</b>		<b>285.75</b>		<b>285.75</b>
3126		121.7		121.7
3139		161.25		161.25
3147		2.8		2.8
<b>3200</b>		<b>0.16</b>	<b>531.34</b>	<b>531.5</b>
3147		0.16		0.16
3200			400	400
3300			131.34	131.34
<b>3240</b>			<b>81.94</b>	<b>81.94</b>
3240			67.5	67.5
3300			14.44	14.44
<b>3265</b>			<b>149.93</b>	<b>149.93</b>
3300			58.52	58.52
3332			35.81	35.81
3441			55.6	55.6
<b>3300</b>			<b>115.7</b>	<b>115.7</b>

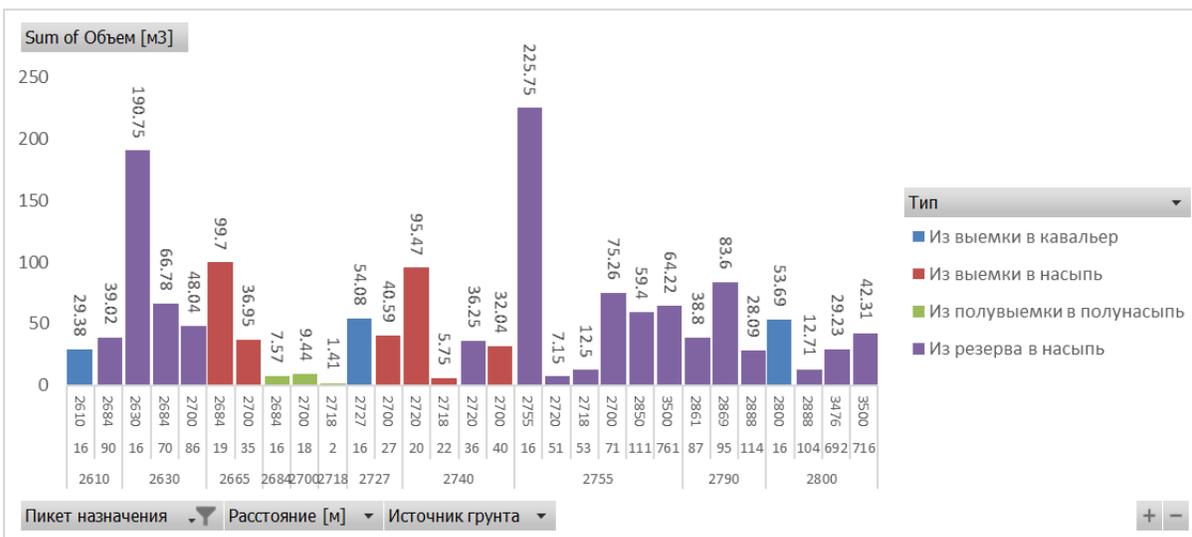
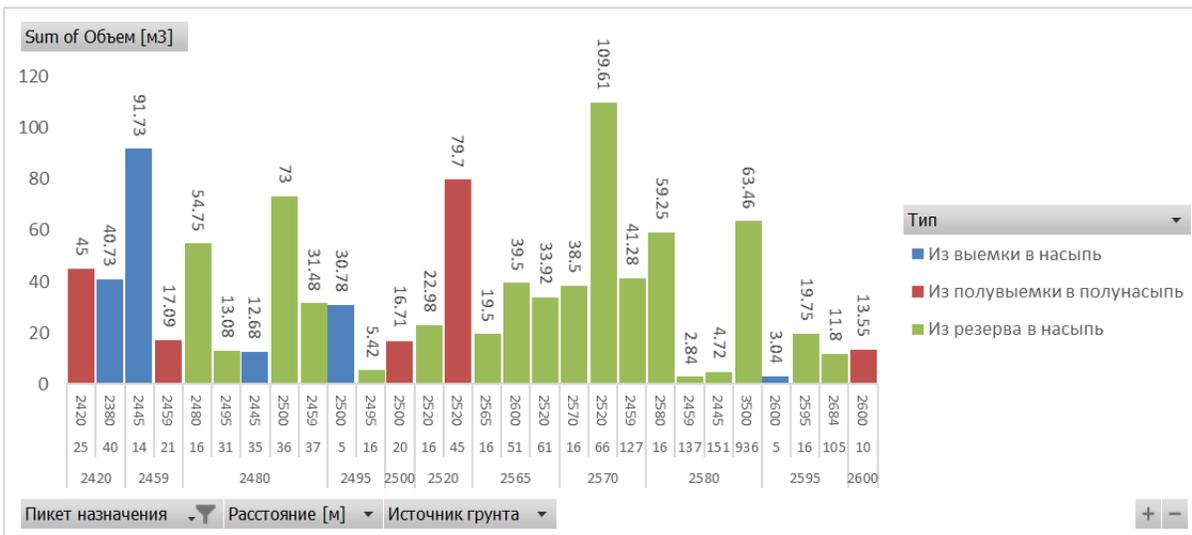
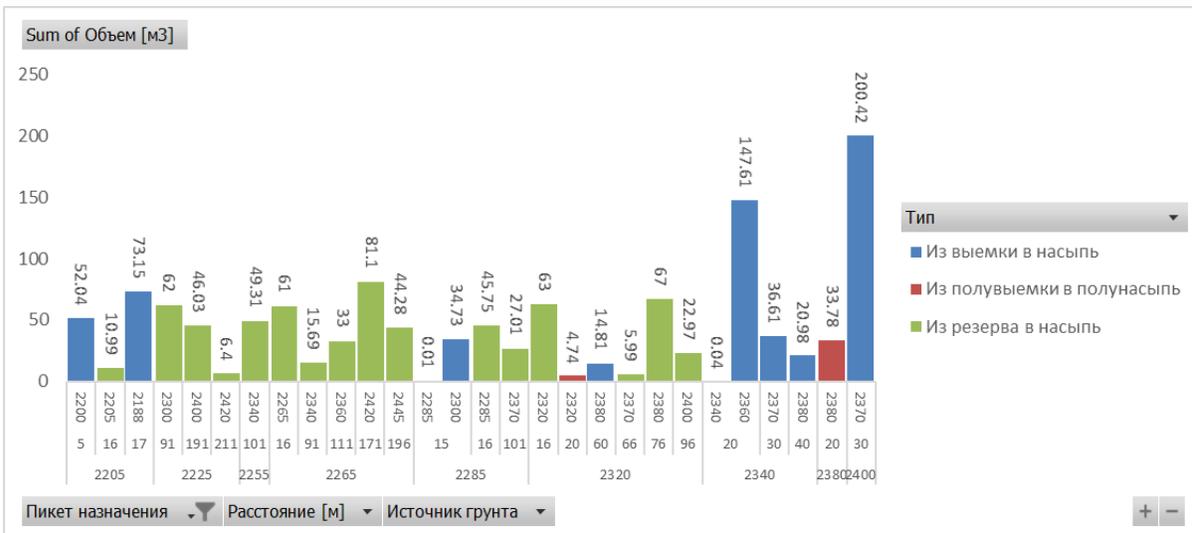


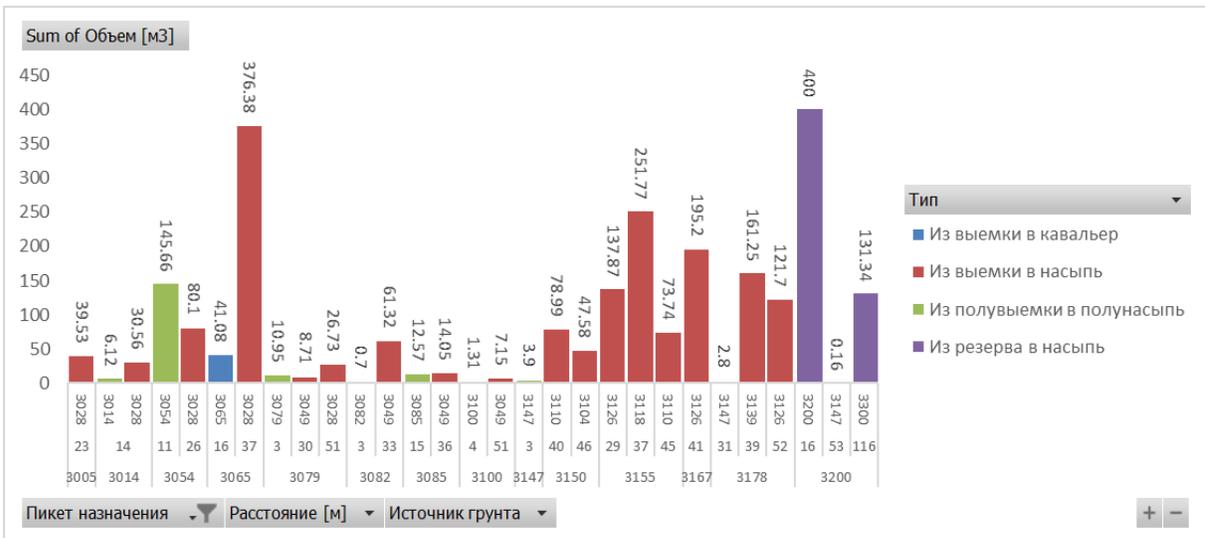
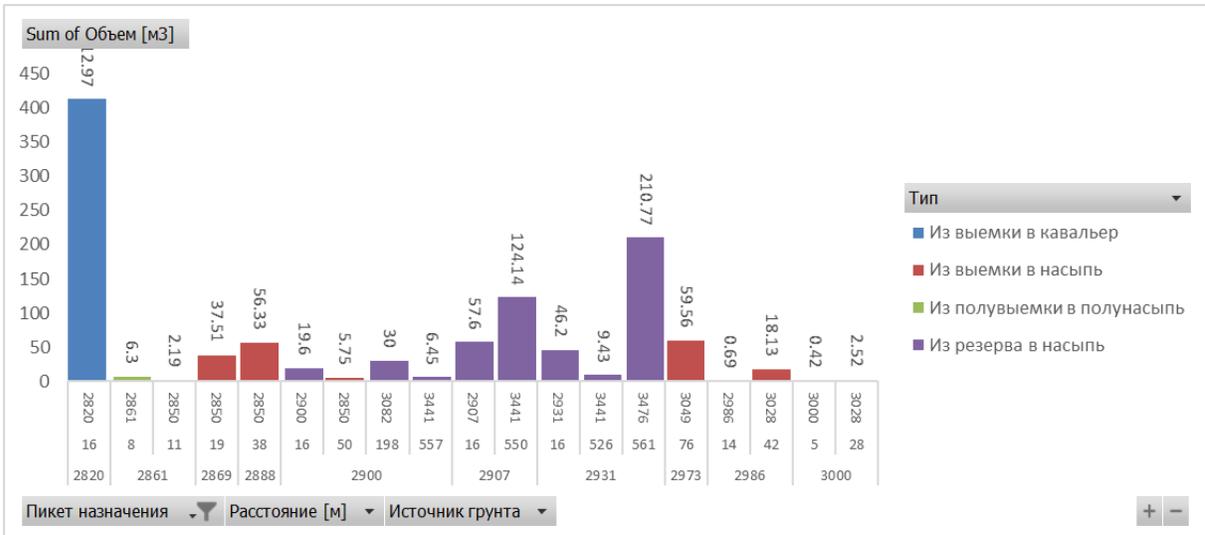
3300			115.7	115.7
<b>3332</b>			<b>84.19</b>	<b>84.19</b>
3332			84.19	84.19
<b>3344</b>			<b>417.18</b>	<b>417.18</b>
3400			130	130
3413			180	180
3431			100	100
3441			7.18	7.18
<b>3374</b>		<b>26.43</b>	<b>147.2</b>	<b>173.63</b>
3400		26.43		26.43
3441			147.2	147.2
<b>3386</b>		<b>45.99</b>		<b>45.99</b>
3400		45.99		45.99
<b>3390</b>	<b>0.95</b>	<b>40.06</b>		<b>41.01</b>
3390	0.95			0.95
3400		40.06		40.06
<b>3441</b>		<b>347.82</b>	<b>19.11</b>	<b>366.93</b>
3413		307.49		307.49
3431		40.33		40.33
3441			19.11	19.11
<b>3476</b>		<b>346.89</b>		<b>346.89</b>
3431		80.21		80.21
3500		266.68		266.68
<b>3500</b>			<b>16.6</b>	<b>16.6</b>
3500			16.6	16.6
<b>3570</b>	<b>224.27</b>	<b>0.71</b>		<b>224.98</b>
3500		0.71		0.71
3570	224.27			224.27
<b>3600</b>		<b>198.28</b>		<b>198.28</b>
3500		32.42		32.42
3550		165.86		165.86
<b>3650</b>		<b>156.22</b>	<b>31.75</b>	<b>187.97</b>
3550		156.22		156.22
3650			31.75	31.75
<b>3700</b>			<b>125.8</b>	<b>125.8</b>
3700			125.8	125.8
<b>3750</b>			<b>106.11</b>	<b>106.11</b>
3700			106.11	106.11
<b>3760</b>			<b>596.27</b>	<b>596.27</b>
3650			328.18	328.18
3700			268.09	268.09
<b>3800</b>			<b>530.7</b>	<b>530.7</b>
3600			23.13	23.13
3650			22.57	22.57
3800			485	485
<b>3850</b>			<b>267.39</b>	<b>267.39</b>

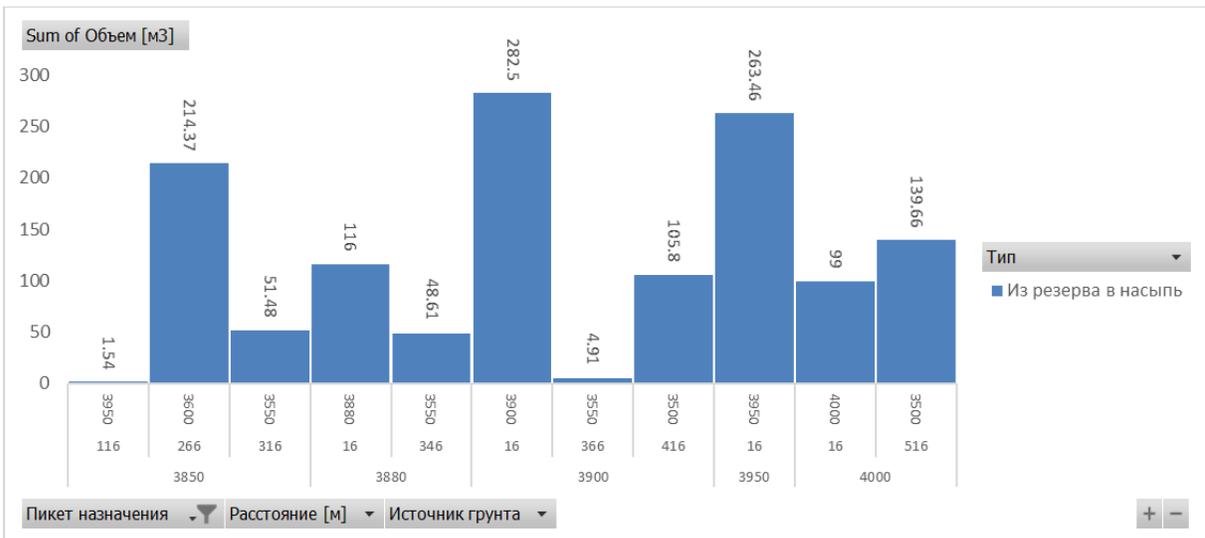
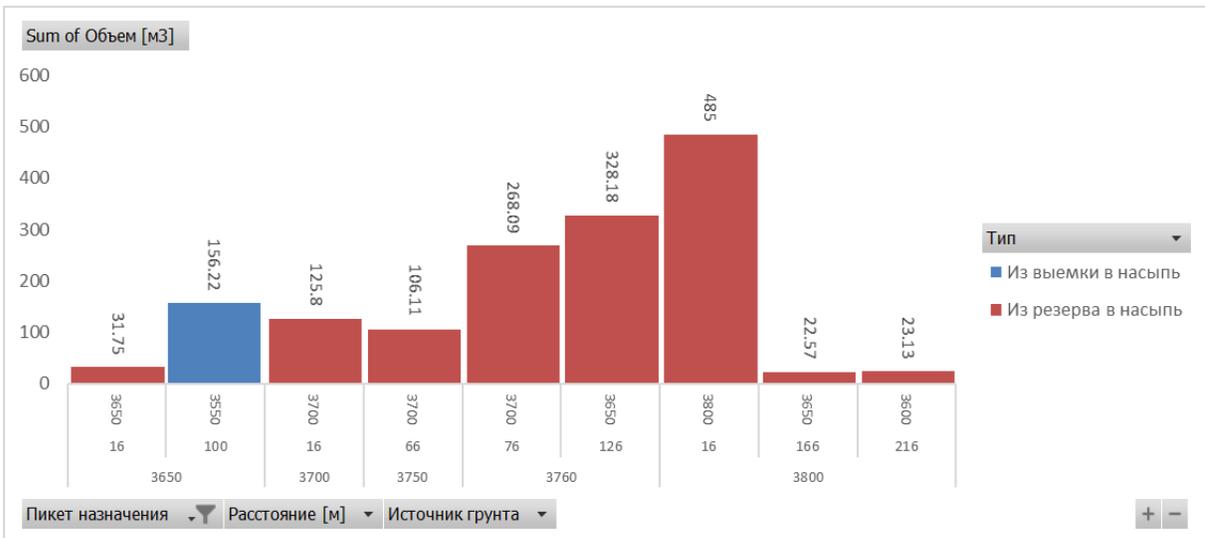
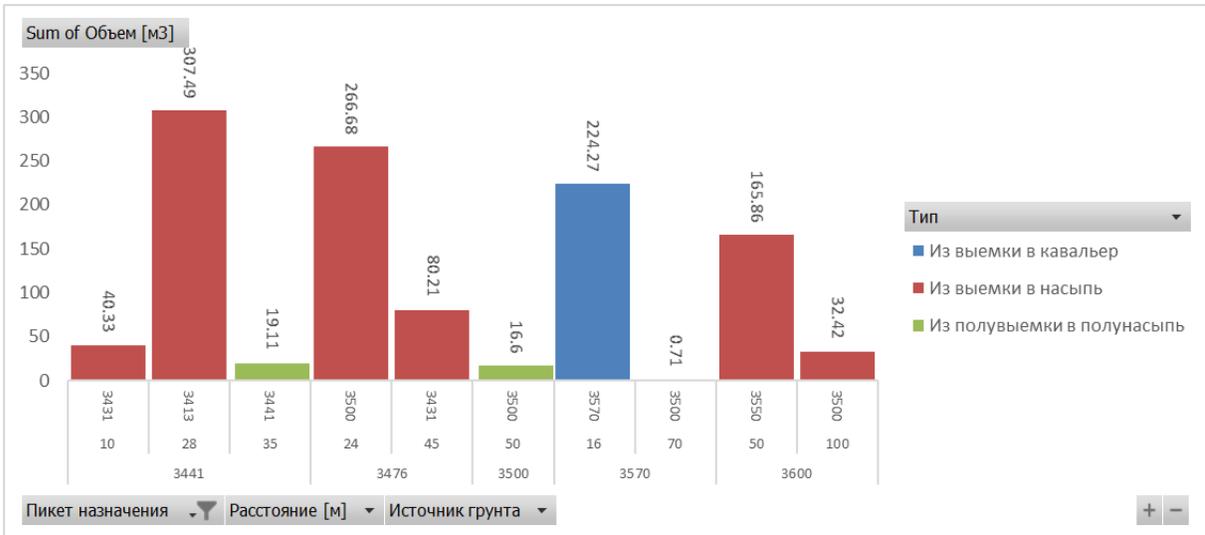
3550					51.48	51.48
3600					214.37	214.37
3950					1.54	1.54
<b>3880</b>					<b>164.61</b>	<b>164.61</b>
3550					48.61	48.61
3880					116	116
<b>3900</b>					<b>393.21</b>	<b>393.21</b>
3500					105.8	105.8
3550					4.91	4.91
3900					282.5	282.5
<b>3950</b>					<b>263.46</b>	<b>263.46</b>
3950					263.46	263.46
<b>4000</b>					<b>238.66</b>	<b>238.66</b>
3500					139.66	139.66
4000					99	99
<b>Grand Total</b>	<b>816.42</b>	<b>4195.77</b>	<b>536.99</b>	<b>463.72</b>	<b>8516.42</b>	<b>14529.32</b>

### Графики распределения земляных масс









## Приложения 12

## Распределение земляных масс дороги №2

Sum of Объем [м3]	Column Labels					
Row Labels	Из выемки в кавальер	Из выемки в насыпь	Из карьера в насыпь	Из полувыемки в полунасыпь	Из резерва в насыпь	Grand Total
<b>4000</b>			<b>81.26</b>		<b>190.8</b>	<b>272.06</b>
4000					190.8	190.8
7000			81.26			81.26
<b>4020</b>			<b>996.6</b>		<b>105.6</b>	<b>1102.2</b>
4000			996.6			996.6
4020					105.6	105.6
<b>4060</b>					<b>295.15</b>	<b>295.15</b>
4060					204	204
4150					91.15	91.15
<b>4080</b>			<b>40.81</b>		<b>51.46</b>	<b>92.27</b>
4000			40.81			40.81
4150					51.46	51.46
<b>4100</b>			<b>288.65</b>		<b>176.69</b>	<b>465.34</b>
4000			288.65			288.65
4200					176.69	176.69
<b>4150</b>					<b>457.39</b>	<b>457.39</b>
4150					457.39	457.39
<b>4200</b>				<b>6.22</b>	<b>63.31</b>	<b>69.53</b>
4200				6.22	63.31	69.53
<b>4220</b>				<b>4.61</b>	<b>48.65</b>	<b>53.26</b>
4220				4.61	48.65	53.26
<b>4235</b>					<b>199.2</b>	<b>199.2</b>
4235					199.2	199.2
<b>4255</b>			<b>107.51</b>		<b>172.15</b>	<b>279.66</b>
4000			107.51			107.51
4220					131.35	131.35
4235					40.8	40.8
<b>4280</b>			<b>158.07</b>			<b>158.07</b>
4000			158.07			158.07
<b>4300</b>			<b>438.71</b>			<b>438.71</b>
4000			438.71			438.71
<b>4330</b>	<b>1.06</b>		<b>113.52</b>			<b>114.58</b>
4000			113.52			113.52
4330	1.06					1.06
<b>4340</b>	<b>3.79</b>		<b>93.81</b>			<b>97.6</b>
4000			93.81			93.81
4340	3.79					3.79

<b>4360</b>		<b>148.34</b>		<b>148.34</b>
4000		148.34		148.34
<b>4375</b>		<b>20.09</b>	<b>0.09</b>	<b>20.18</b>
4000		20.09		20.09
4375			0.09	0.09
<b>4380</b>		<b>231.4</b>	<b>0.1</b>	<b>231.5</b>
4000		231.4		231.4
4380			0.1	0.1
<b>4395</b>		<b>140.22</b>		<b>140.22</b>
4000		140.22		140.22
<b>4400</b>		<b>315.89</b>		<b>315.89</b>
4000		315.89		315.89
<b>4425</b>		<b>242.6</b>	<b>321.3</b>	<b>563.9</b>
4000		242.6		242.6
4425			321.3	321.3
<b>4470</b>	<b>10.93</b>	<b>90.48</b>		<b>101.41</b>
4000		90.48		90.48
4470	10.93			10.93
<b>4480</b>	<b>44.4</b>	<b>30.23</b>		<b>74.63</b>
4000		30.23		30.23
4480	44.4			44.4
<b>4500</b>		<b>412.45</b>		<b>412.45</b>
4000		412.45		412.45
<b>4550</b>		<b>359.59</b>	<b>138</b>	<b>497.59</b>
4000		359.59		359.59
4550			138	138
<b>4600</b>		<b>792.37</b>		<b>792.37</b>
4000		792.37		792.37
<b>4655</b>		<b>1150.02</b>		<b>1150.02</b>
4000		1150.02		1150.02
<b>4700</b>		<b>976.45</b>		<b>976.45</b>
4000		976.45		976.45
<b>4750</b>		<b>248.98</b>		<b>248.98</b>
4000		248.98		248.98
<b>4780</b>			<b>271.26</b>	<b>271.26</b>
4860			271.26	271.26
<b>4800</b>		<b>710.21</b>	<b>79.14</b>	<b>789.35</b>
4000		710.21		710.21
4860			79.14	79.14
<b>4830</b>	<b>47.81</b>	<b>172.87</b>		<b>220.68</b>
4830	47.81			47.81
4860		172.87		172.87
<b>4845</b>	<b>497.26</b>			<b>497.26</b>
4845	497.26			497.26

<b>4860</b>			<b>138.82</b>		<b>138.82</b>
4860			138.82		138.82
<b>4900</b>	<b>138.25</b>				<b>138.25</b>
4860	138.25				138.25
<b>4905</b>	<b>160.66</b>	<b>239.32</b>			<b>399.98</b>
4000		239.32			239.32
4860	160.66				160.66
<b>4916</b>		<b>154.57</b>	<b>0.02</b>	<b>99.96</b>	<b>254.55</b>
4000		154.57			154.57
4916			0.02	99.96	99.98
<b>4930</b>	<b>0.06</b>	<b>81.79</b>			<b>81.85</b>
4000		81.79			81.79
4930	0.06				0.06
<b>4945</b>		<b>497.35</b>			<b>497.35</b>
4000		497.35			497.35
<b>5000</b>		<b>720.39</b>			<b>720.39</b>
4000		720.39			720.39
<b>5100</b>		<b>852.74</b>			<b>852.74</b>
4000		852.74			852.74
<b>5200</b>		<b>487.35</b>			<b>487.35</b>
4000		487.35			487.35
<b>5240</b>		<b>82.8</b>			<b>82.8</b>
4000		82.8			82.8
<b>5250</b>		<b>28.81</b>		<b>54.88</b>	<b>83.69</b>
4000		28.81			28.81
5350				54.88	54.88
<b>5260</b>		<b>678.25</b>			<b>678.25</b>
4000		678.25			678.25
<b>5300</b>	<b>6.15</b>	<b>201.44</b>			<b>207.59</b>
4000		201.44			201.44
5300	6.15				6.15
<b>5325</b>	<b>19.83</b>	<b>19.07</b>			<b>38.9</b>
4000		19.07			19.07
5325	19.83				19.83
<b>5350</b>				<b>425.12</b>	<b>425.12</b>
5350				425.12	425.12
<b>5390</b>		<b>177.7</b>			<b>177.7</b>
4000		177.7			177.7
<b>5400</b>		<b>621.6</b>			<b>621.6</b>
7000		621.6			621.6
<b>5450</b>		<b>228.6</b>			<b>228.6</b>
7000		228.6			228.6
<b>5500</b>	<b>36.02</b>			<b>7.63</b>	<b>43.65</b>
5500	36.02				36.02



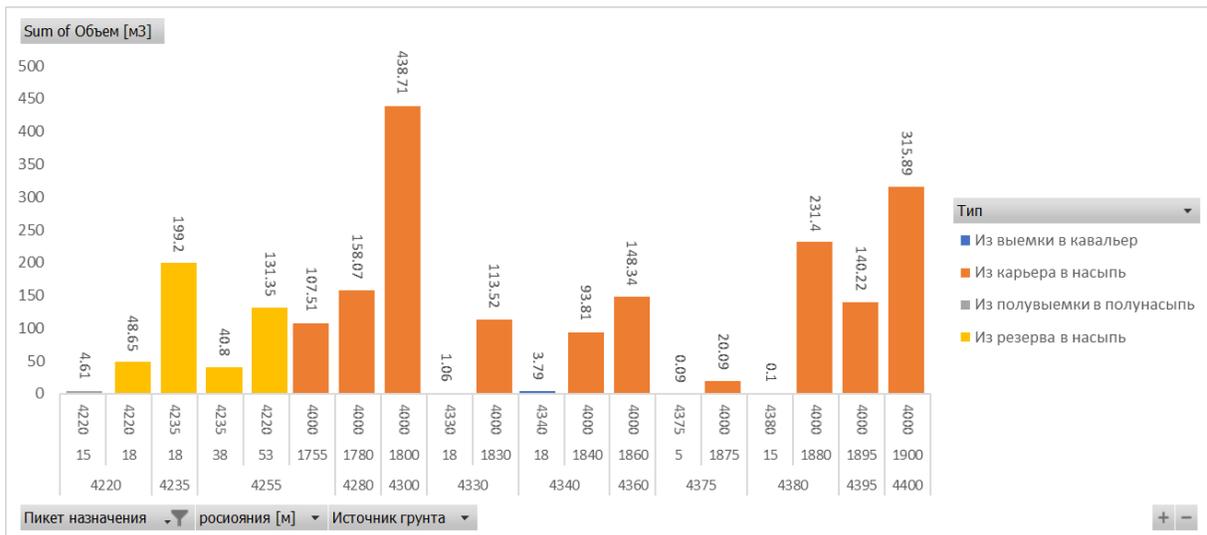
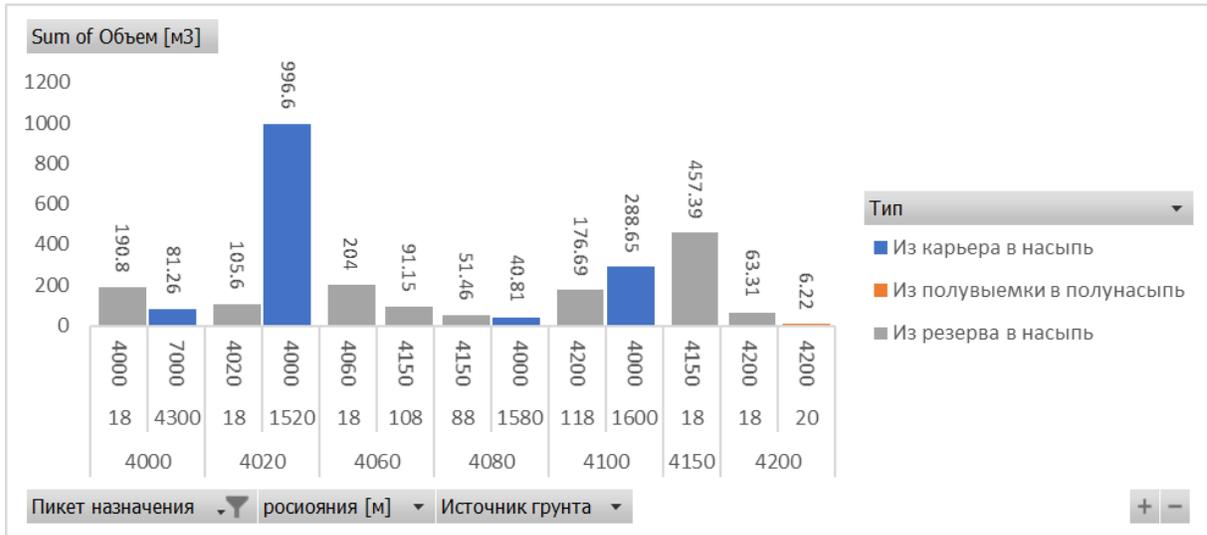
5600			7.63	7.63
<b>5530</b>	<b>4.89</b>		<b>32.05</b>	<b>36.94</b>
5530	4.89			4.89
5600			32.05	32.05
<b>5540</b>		<b>61.42</b>	<b>468.36</b>	<b>529.78</b>
5540			10.8	10.8
5600			356.88	356.88
5635			100.68	100.68
7000		61.42		61.42
<b>5600</b>			<b>64.09</b>	<b>23.44</b>
5600			64.09	23.44
<b>5635</b>			<b>18.53</b>	<b>79.32</b>
5635			18.53	79.32
<b>5650</b>		<b>785.29</b>		<b>785.29</b>
7000		785.29		785.29
<b>5700</b>		<b>865.91</b>		<b>865.91</b>
7000		865.91		865.91
<b>5770</b>		<b>246.37</b>		<b>246.37</b>
7000		246.37		246.37
<b>5800</b>	<b>241.86</b>	<b>8.59</b>		<b>250.45</b>
5800	241.86			241.86
7000		8.59		8.59
<b>5820</b>	<b>152.09</b>	<b>90.85</b>		<b>242.94</b>
5820	152.09			152.09
7000		90.85		90.85
<b>5839</b>		<b>132.51</b>		<b>132.51</b>
7000		132.51		132.51
<b>5845</b>		<b>1286.88</b>		<b>1286.88</b>
7000		1286.88		1286.88
<b>5900</b>		<b>756.07</b>	<b>112.24</b>	<b>868.31</b>
5966			112.24	112.24
7000		756.07		756.07
<b>5955</b>		<b>85.15</b>		<b>85.15</b>
7000		85.15		85.15
<b>5966</b>			<b>295.76</b>	<b>295.76</b>
5966			295.76	295.76
<b>6000</b>		<b>306.68</b>		<b>306.68</b>
7000		306.68		306.68
<b>6020</b>		<b>668.23</b>		<b>668.23</b>
7000		668.23		668.23
<b>6065</b>		<b>32.57</b>	<b>220.5</b>	<b>253.07</b>
6065			220.5	220.5
7000		32.57		32.57
<b>6090</b>		<b>92.63</b>		<b>92.63</b>

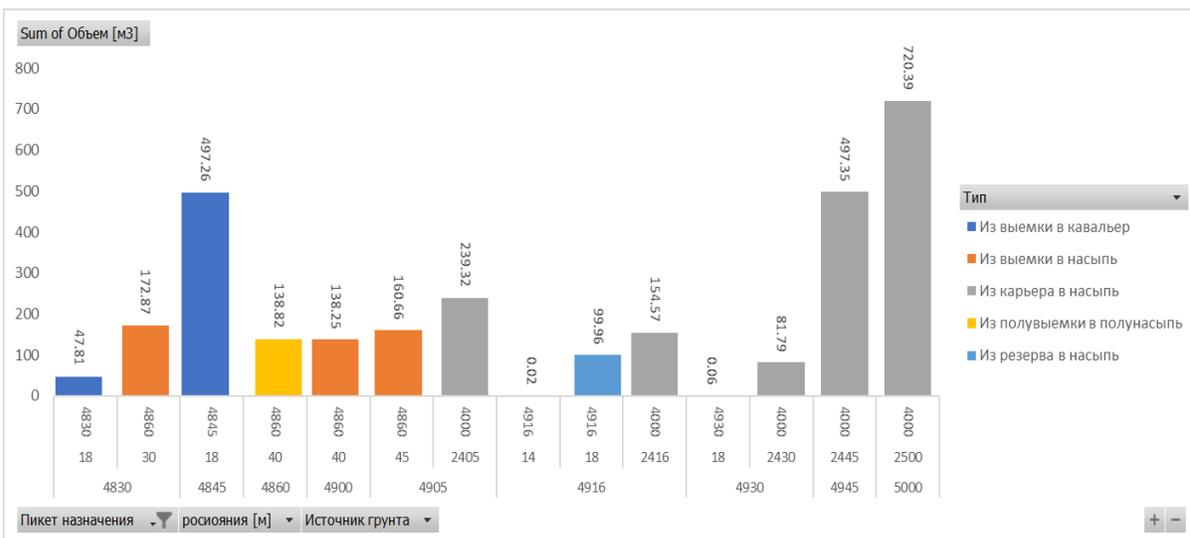
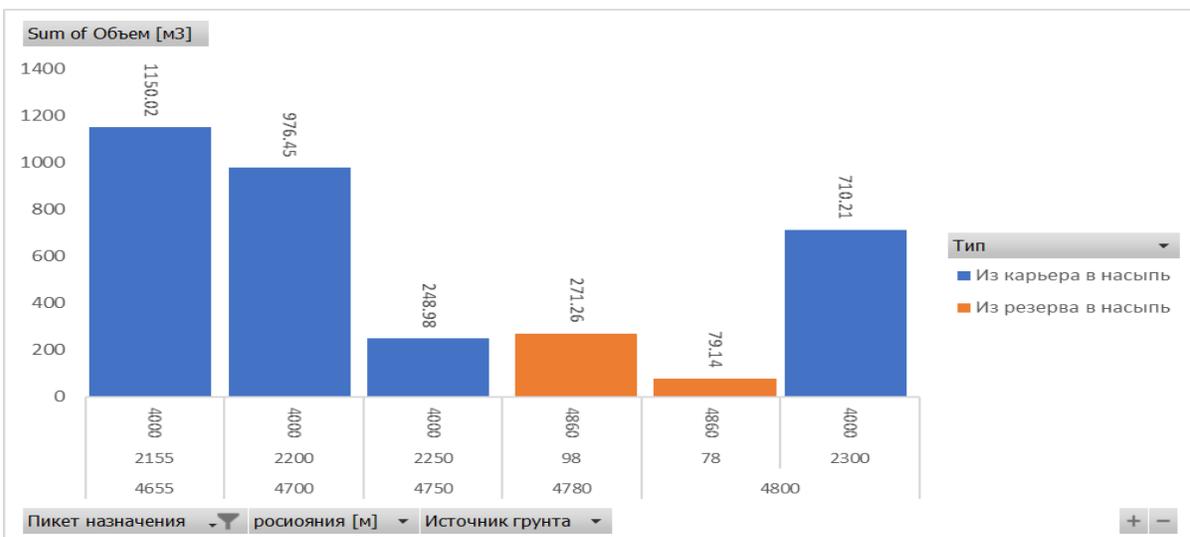
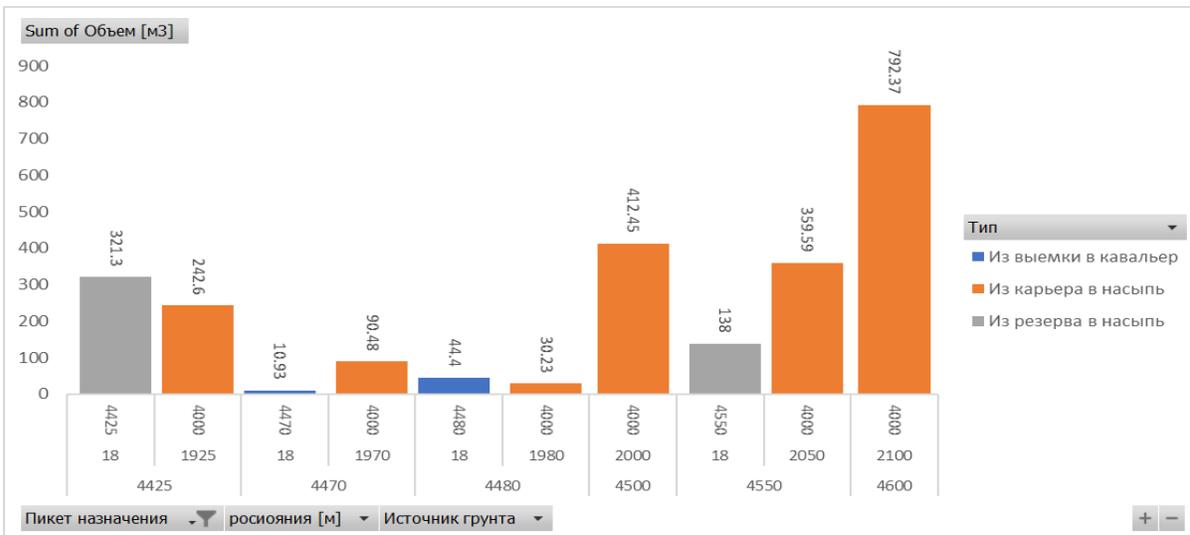
7000		92.63	92.63
<b>6100</b>		<b>363.97</b>	<b>363.97</b>
7000		363.97	363.97
<b>6150</b>		<b>363.97</b>	<b>363.97</b>
7000		363.97	363.97
<b>6200</b>		<b>254</b>	<b>254</b>
7000		254	254
<b>6250</b>		<b>583.06</b>	<b>583.06</b>
7000		583.06	583.06
<b>6300</b>		<b>796.38</b>	<b>796.38</b>
7000		796.38	796.38
<b>6350</b>		<b>459.7</b>	<b>459.7</b>
7000		459.7	459.7
<b>6400</b>		<b>430.88</b>	<b>430.88</b>
7000		430.88	430.88
<b>6450</b>	<b>9.39</b>	<b>33.6</b>	<b>42.99</b>
6450	9.39		9.39
7000		33.6	33.6
<b>6460</b>	<b>13.45</b>	<b>55.73</b>	<b>69.18</b>
6460	13.45		13.45
7000		55.73	55.73
<b>6475</b>		<b>290.25</b>	<b>290.25</b>
7000		290.25	290.25
<b>6500</b>		<b>628.57</b>	<b>628.57</b>
7000		628.57	628.57
<b>6553</b>	<b>9.86</b>	<b>57.07</b>	<b>66.93</b>
6553	9.86		9.86
7000		57.07	57.07
<b>6567</b>	<b>18.14</b>	<b>216.64</b>	<b>234.78</b>
6567	18.14		18.14
7000		216.64	216.64
<b>6600</b>		<b>1434.36</b>	<b>1434.36</b>
7000		1434.36	1434.36
<b>6700</b>		<b>666.94</b>	<b>666.94</b>
7000		666.94	666.94
<b>6750</b>		<b>937.51</b>	<b>937.51</b>
7000		937.51	937.51
<b>6800</b>		<b>219.73</b>	<b>219.73</b>
7000		219.73	219.73
<b>6810</b>	<b>23.44</b>	<b>180.71</b>	<b>204.15</b>
6810	23.44		23.44
7000		180.71	180.71
<b>6833</b>	<b>100.75</b>	<b>220.1</b>	<b>320.85</b>
6833	100.75		100.75

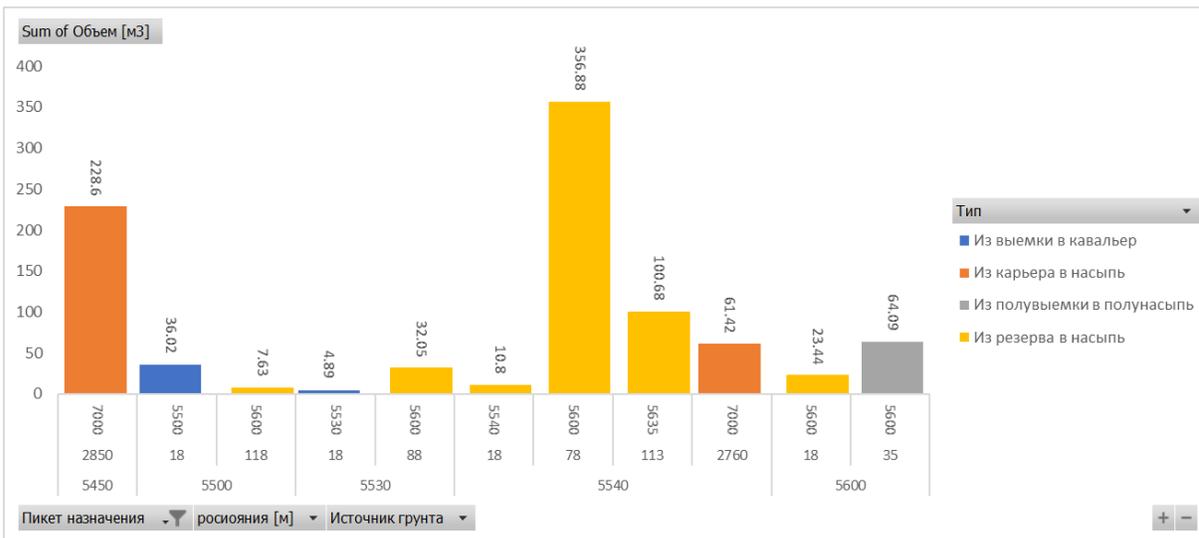
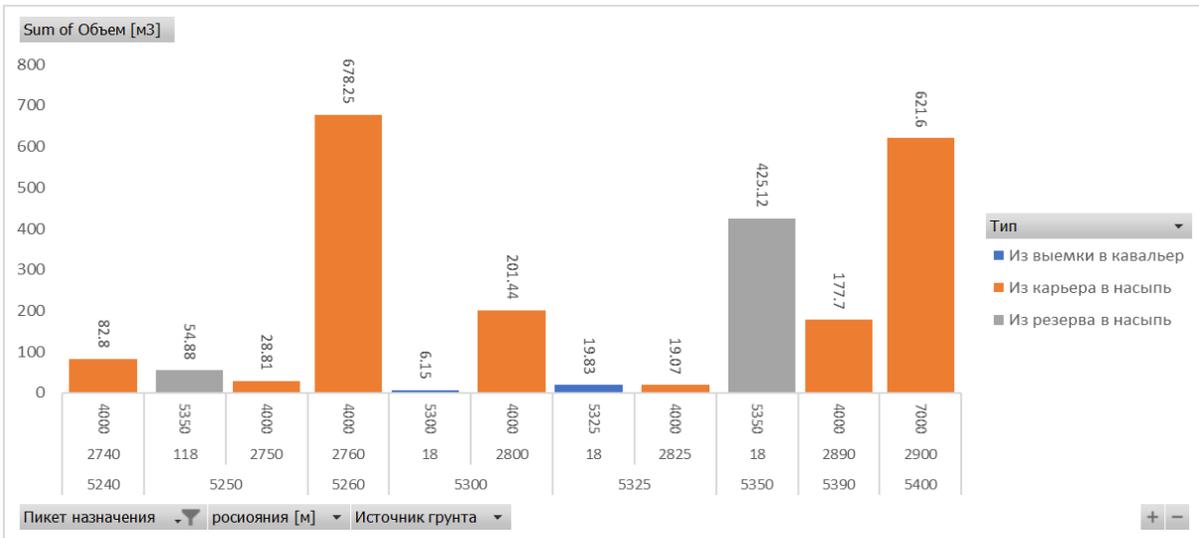
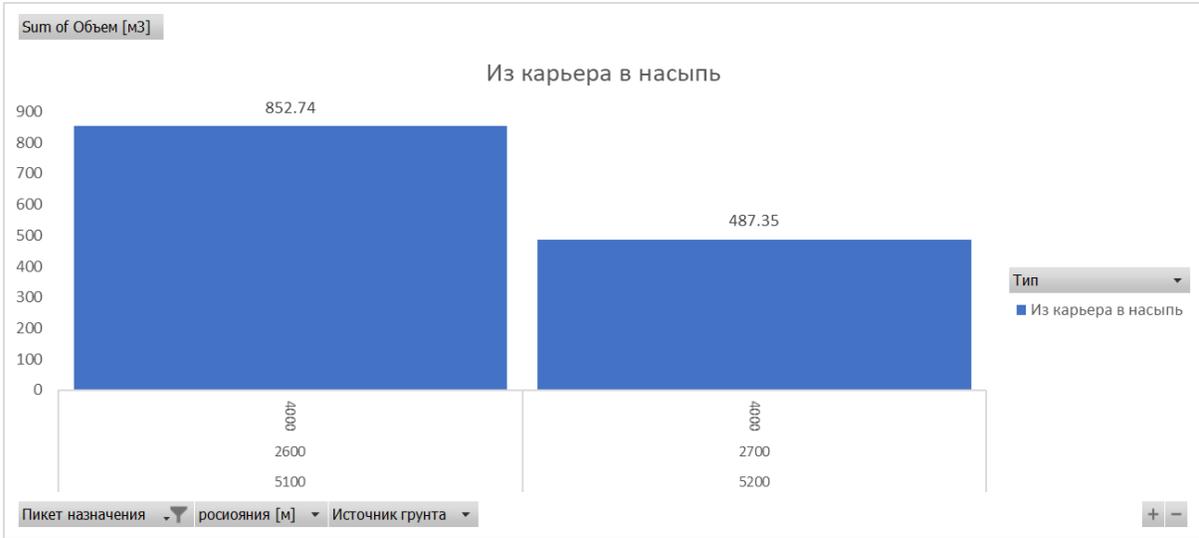
7000			220.1		220.1
<b>6900</b>			<b>777.48</b>		<b>1035.99</b>
7000			777.48	258.51	1035.99
<b>7000</b>				<b>401.49</b>	<b>401.49</b>
7000				401.49	401.49
<b>7055</b>				<b>179</b>	<b>179</b>
7055				179	179
<b>7070</b>			<b>510.39</b>	<b>253.69</b>	<b>764.08</b>
7000			510.39		510.39
7055				0.1	0.1
7150				253.59	253.59
<b>7099</b>				<b>20.07</b>	<b>20.07</b>
7178				20.07	20.07
<b>7100</b>			<b>91.71</b>	<b>299.76</b>	<b>391.47</b>
7000			91.71		91.71
7100				168	168
7178				63.93	63.93
7185				67.83	67.83
<b>7150</b>				<b>11.5</b>	<b>82.41</b>
7150				11.5	82.41
<b>7185</b>		<b>36.45</b>		<b>11.85</b>	<b>95.97</b>
7178		36.45			36.45
7185				11.85	107.82
<b>7200</b>			<b>280.35</b>		<b>280.35</b>
7000			280.35		280.35
<b>7210</b>			<b>461.31</b>		<b>461.31</b>
7000			461.31		461.31
<b>7225</b>			<b>1466.11</b>		<b>1466.11</b>
7000			1466.11		1466.11
<b>7300</b>				<b>257.46</b>	<b>257.46</b>
7350				257.46	257.46
<b>7325</b>	<b>198.28</b>	<b>55.3</b>			<b>253.58</b>
7325	198.28				198.28
7350		55.3			55.3
<b>7380</b>	<b>35.54</b>	<b>74.24</b>			<b>109.78</b>
7350		74.24			74.24
7380	35.54				35.54
<b>7400</b>		<b>389.54</b>	<b>171.88</b>	<b>102.54</b>	<b>663.96</b>
7000			171.88		171.88
7350		389.54		102.54	492.08
<b>7425</b>	<b>236.64</b>		<b>272.47</b>		<b>509.11</b>
7000			272.47		272.47
7425	236.64				236.64
<b>7450</b>	<b>320.43</b>		<b>14.42</b>		<b>334.85</b>

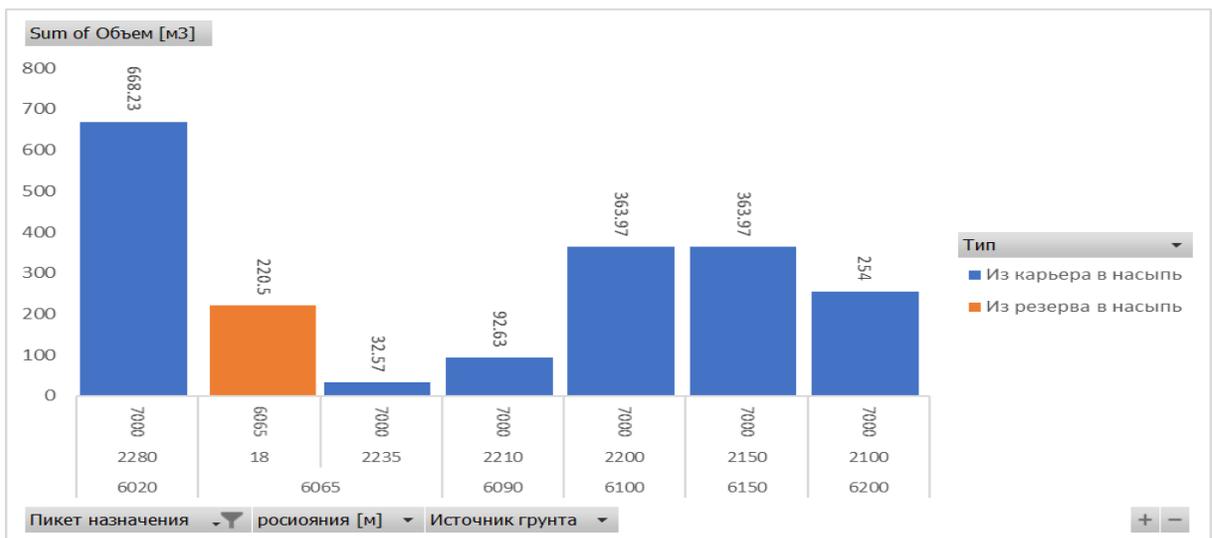
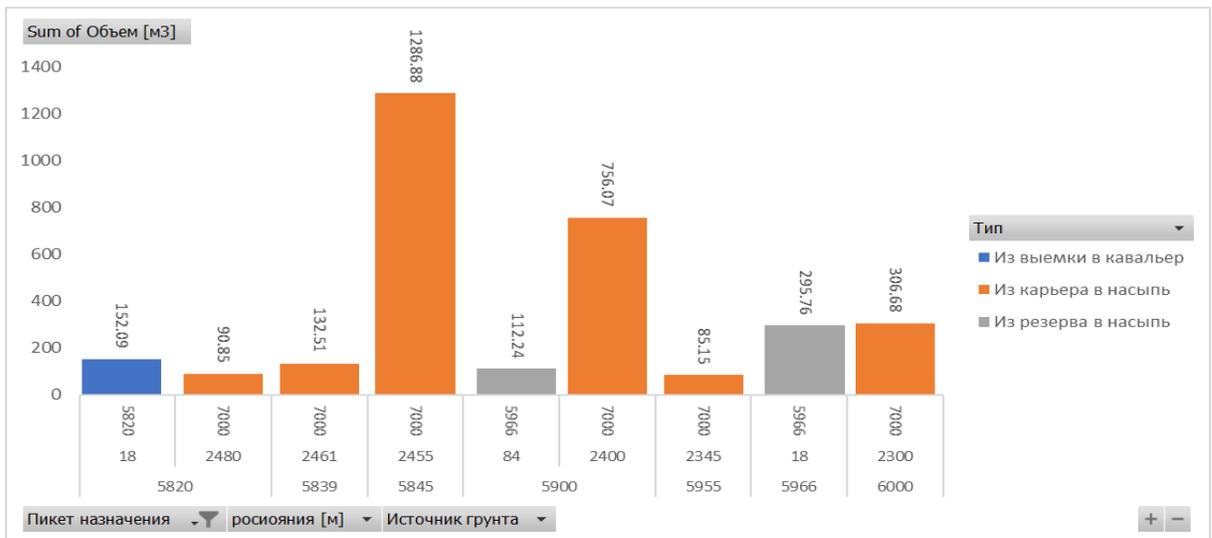
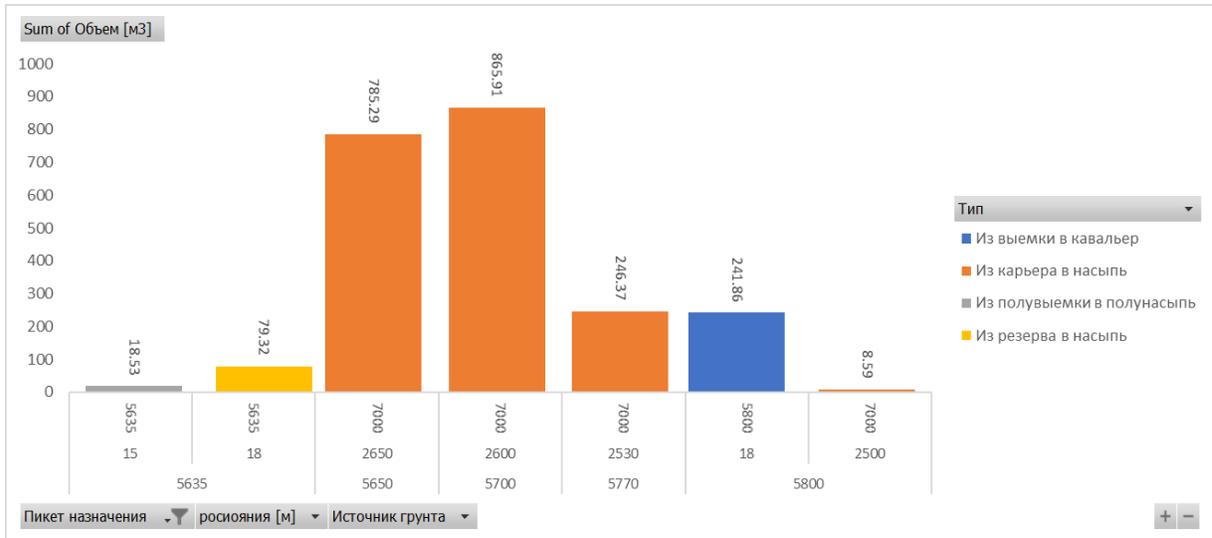
7000			14.42		14.42
7450	320.43				320.43
<b>7470</b>			<b>53.69</b>	<b>205.2</b>	<b>258.89</b>
7000			53.69		53.69
7470				205.2	205.2
<b>7500</b>			<b>625.94</b>	<b>306</b>	<b>931.94</b>
7000			625.94		625.94
7500				306	306
<b>7600</b>			<b>256.95</b>	<b>568.8</b>	<b>825.75</b>
7000			256.95		256.95
7700				568.8	568.8
<b>7650</b>		<b>26.4</b>	<b>780.04</b>		<b>806.44</b>
7000			780.04		780.04
7700		26.4			26.4
<b>7700</b>				<b>112.61</b>	<b>112.61</b>
7700				112.61	112.61
<b>7760</b>	<b>20.95</b>		<b>50.13</b>		<b>71.08</b>
7000			50.13		50.13
7760	20.95				20.95
<b>7772</b>			<b>485.39</b>		<b>485.39</b>
7000			485.39		485.39
<b>7800</b>			<b>754.76</b>	<b>27.72</b>	<b>782.48</b>
7000			754.76		754.76
7890				27.72	27.72
<b>7850</b>			<b>599.93</b>		<b>599.93</b>
7000			599.93		599.93
<b>7880</b>			<b>197.55</b>		<b>197.55</b>
7000			197.55		197.55
<b>7890</b>				<b>92.28</b>	<b>92.28</b>
7890				92.28	92.28
<b>Grand Total</b>	<b>2053.02</b>	<b>1053.71</b>	<b>34722.86</b>	<b>368.44</b>	<b>7540.26</b>
				<b>7540.26</b>	<b>45738.29</b>

## Графики распределения земляных масс

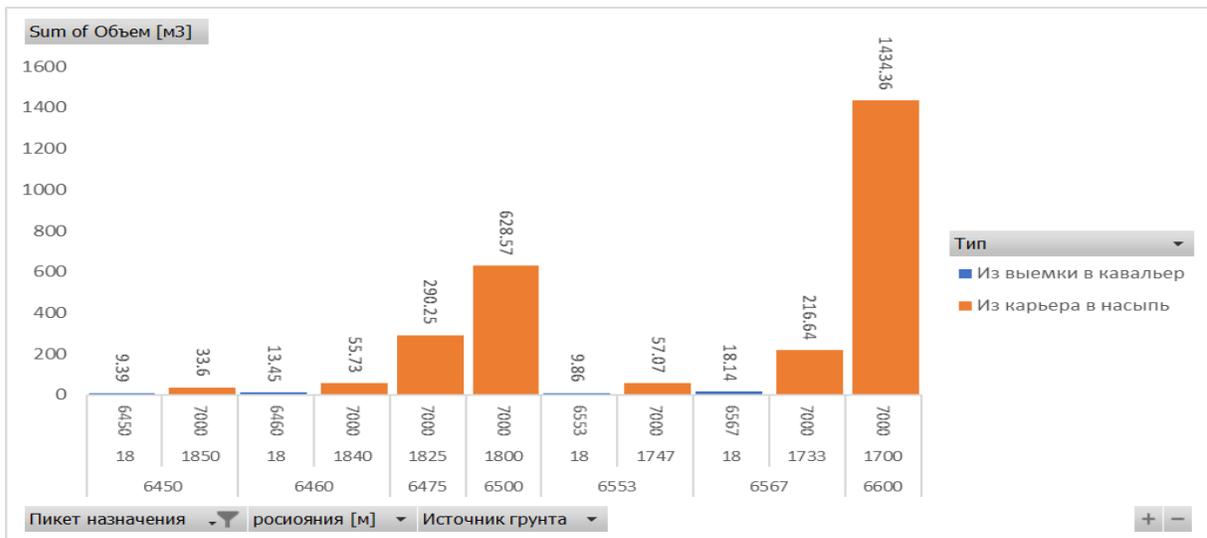


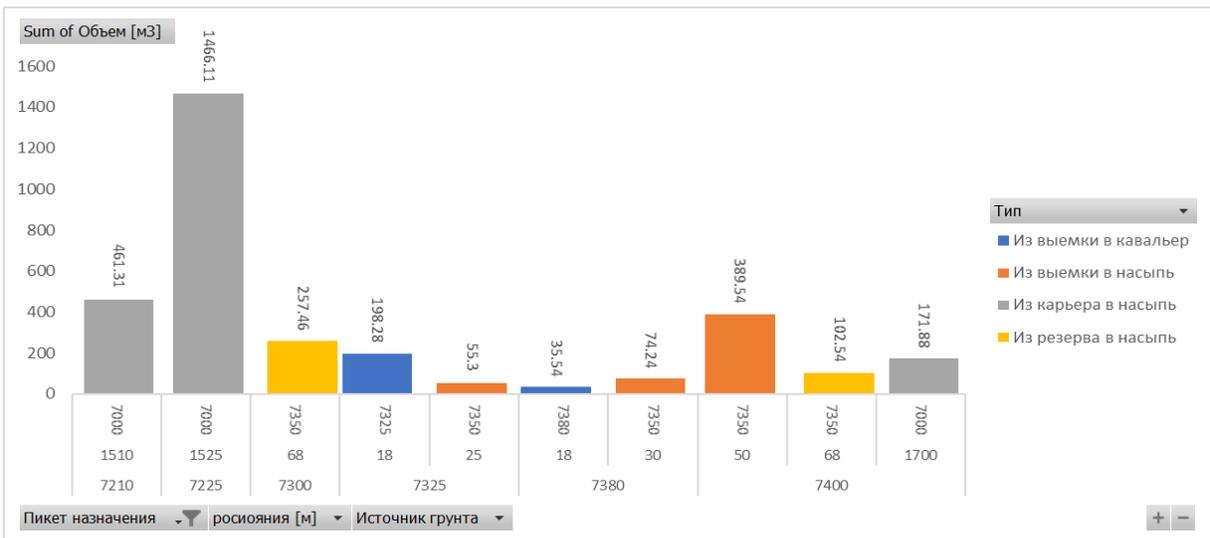
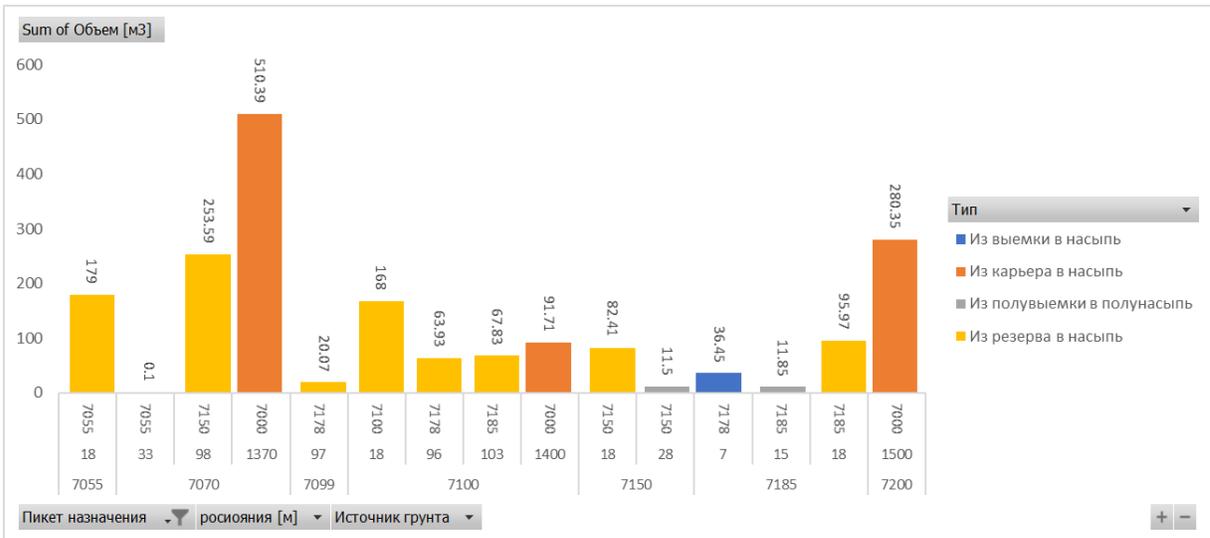
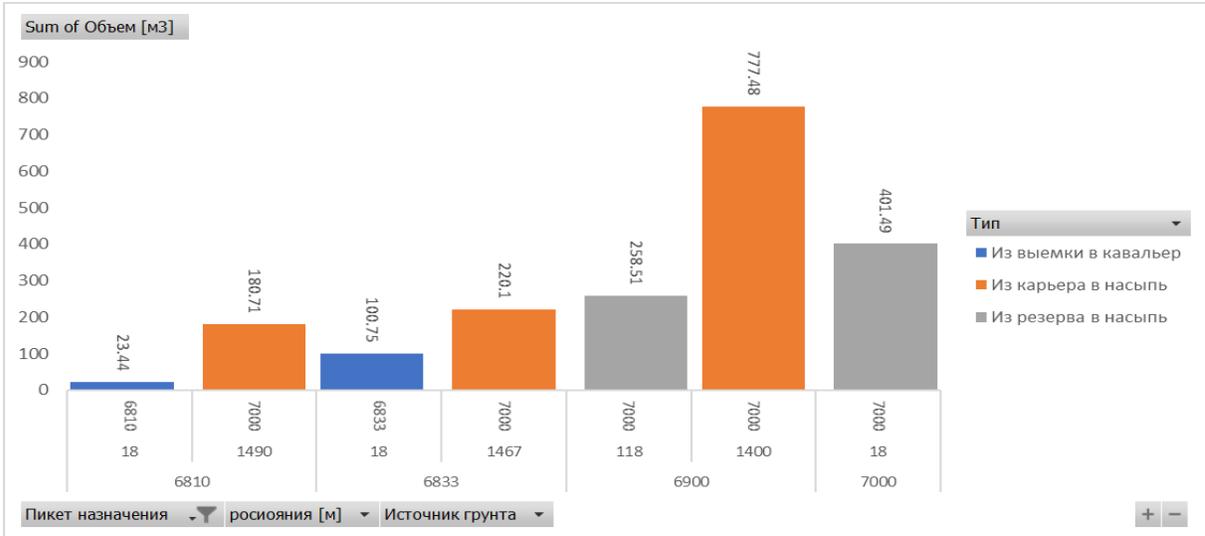


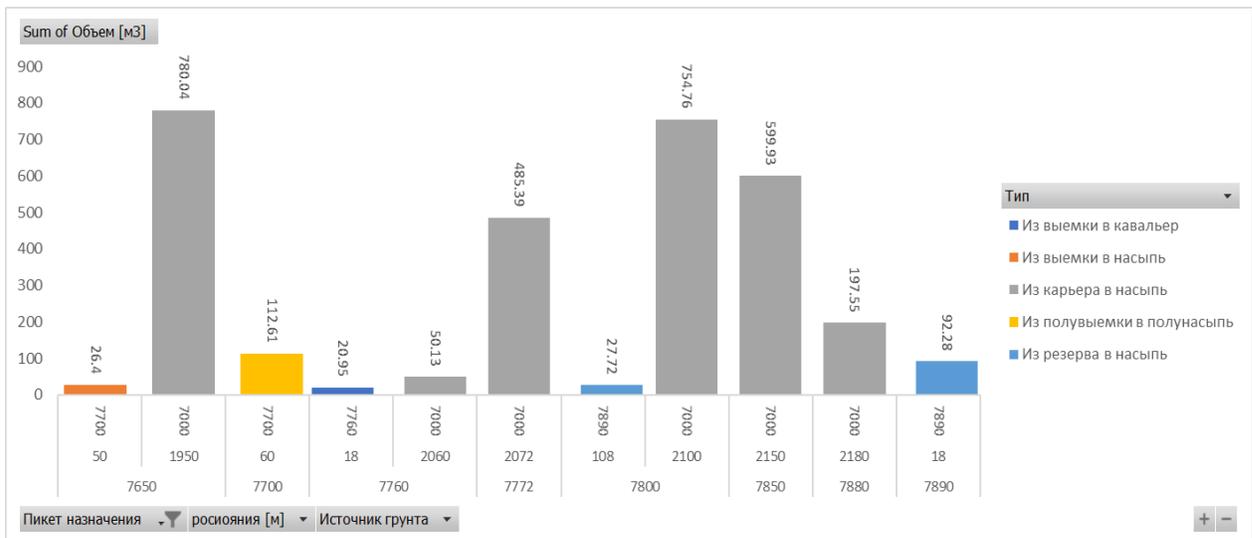
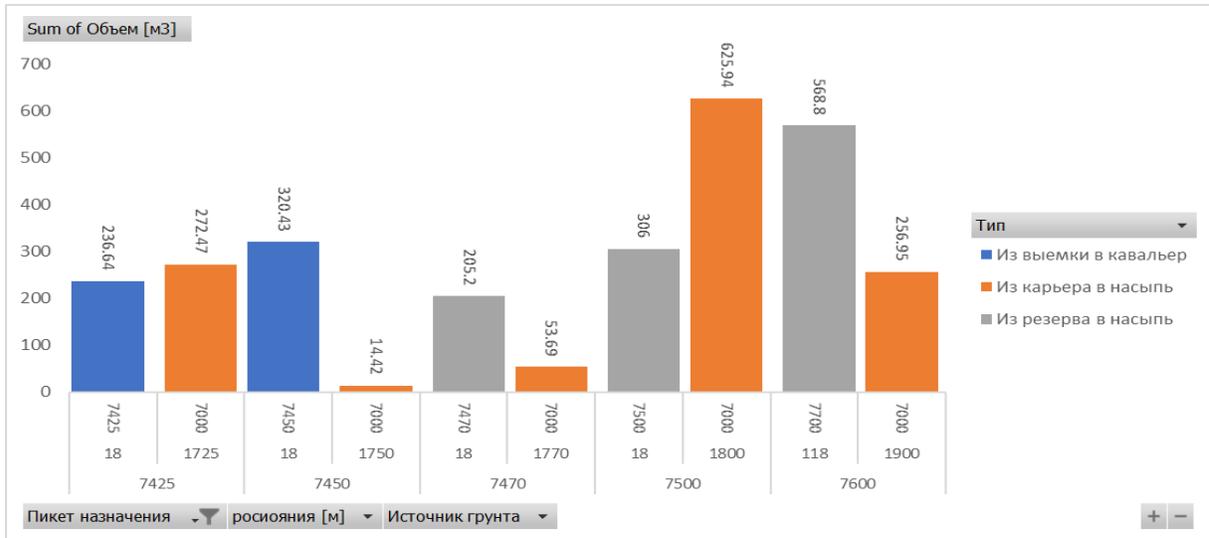












## Приложения 13

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020614775

Forest Road Construction

Правообладатель: *Мохамед Ахмед Халед Абдельвахаб (RU)*Автор: *Мохамед Ахмед Халед Абдельвахаб (RU)*

Заявка № 2020612282

Дата поступления 02 марта 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 24 апреля 2020 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев