

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург
2020

Работа выполнена на кафедре промышленного транспорта «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова»

Научный руководитель: **Тюрин Николай Александрович**
кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет», профессор кафедры промышленного транспорта

Официальные оппоненты: **Ковалев Рудольф Николаевич**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», профессор кафедры интеллектуальных систем;

Левушкин Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана», доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет»

Защита диссертации состоится **«01» октября 2020 г. в 10.00** на заседании диссертационного совета Д.212.281.02 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, к. 401

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (www.usfeu.ru).

Автореферат разослан «_____» _____ 2020г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



Шишкина Елена Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Процессы лесопользования осуществляются на обширных территориях, носят ярко выраженный собирательный характер, требующий развитой транспортной сети лесных дорог. Для ежегодной заготовки более 200 мил. м. куб. древесины в РФ требуется ежегодное строительство более десяти тысяч километров лесовозных автомобильных дорог, в том числе, более пяти тысяч километров 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.

Современное лесное дорожное строительство характеризуется высокой степенью механизированного исполнения отдельных видов работ. Особую актуальность и значимость для лесной отрасли имеют вопросы снижения стоимости земляных работ за счет рационального распределения земляных масс и повышения эффективности работы машин для производства земляных работ в лесном дорожном строительстве. 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 и системы машин для выполнения этих операций. 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, 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 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, С.И. Сушкова, О.Н. Бурмистровой, А.В. Скрыпникова, Д.Н. Афоничева, С.В. Дорохина, А.А. Камусина, В.Г. Козлова, Е.В. Кондрашовой, Р.Н. Ковалева, Д.М. Левушкина, В.П. Подольского, С.И. Булдакова, В.С. Сюнева, М.Ю. Смирнова, М.Т. Насковец, Э.О. Салминена и др. Несмотря на значительный объем выполненных исследований, ряд вопросов не получил законченного научного описания.

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.

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.

Публикации. Результаты исследований отражены в 4 научных работах, из них 2 в изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России.

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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** приведена информация об актуальности темы данного исследования, изложена цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В **главе 1** рассмотрено современное состояние теории и практики организации производства земляных работ при строительстве лесовозных автомобильных дорог, представлен обзор научных работ по теме диссертации, обоснована актуальность исследования, сформулирована его цель и осуществлена постановка задач.

В **главе 2** приведены теоретические основы методики проектирования производства земляных работ в лесном дорожном строительстве.

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. В общем случае выбор наиболее целесообразных источников грунта, определение рациональной зоны их действия с учетом возможных путей перемещений грунта и ограничений на его пригодность, представляют собой многовариантную задачу, для решения которой целесообразно применение математических методов и ЭВМ.

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

$$\sum_{ij} c_{ji} v_{ji} \rightarrow \min \quad (1)$$

где c_{ji} - затраты на перемещение 1 м³ грунта j -ой машиной на i -ом объекте, руб./м³; v_{ji} - объем перемещаемого грунта машиной j -ого типоразмера на i -ом объекте, м³.

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

$$c_{ji} = a(T_i) + b(T_i)l_{ji} \quad (2)$$

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.

На начальном этапе предлагаемого алгоритма создается рабочий массив элементарных рабочих объемов земляных работ, представляющий собой копию исходного профильного объема ведомости 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.

Весь алгоритм распределения земляных масс (рисунок 1) последовательно разбивается на четыре этапа, рассчитывающих распределение земляных масс соответственно:

- 1) из полувыемки в полунасыпь;
- 2) из выемки в насыпь или кавальер;

3) из продольных притрассовых резервов поперечным перемещением грунта в насыпь;

4) из сосредоточенных резервов и карьера продольным перемещением грунта в насыпь.

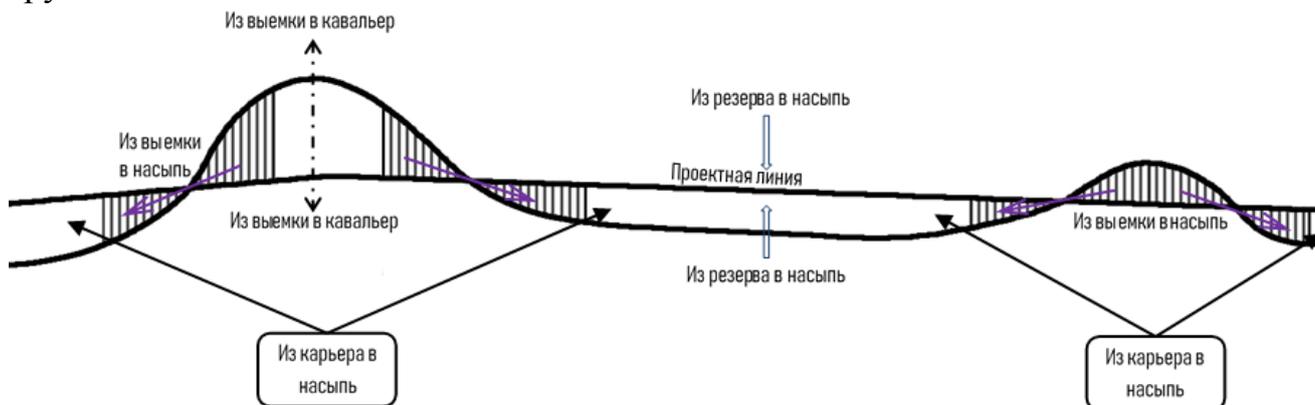


Рисунок 1 – Схема к распределению земляных масс

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

Если объем насыпи на участке $Q_i \neq 0$, объем выемки на этом же участке $W_i \neq 0$ и вид местного грунта Γ_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 Γ_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 Γ_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 Γ_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 Γ_i соответствует техническим условиям для сооружения земляного полотна, то он распределяется сначала в соседние ближайшие 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:

$$Z_{вн} = Z_{вк} + Z_{рн}; \quad (3)$$

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

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

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

На основании сметных норм на строительные земляные работы при разработке и перемещении грунта бульдозером в развернутом виде имеем:

$$l_3 = \frac{0.1b(T_i)l_k + a(T_j) + 0.1b(T_j)l_r}{0.1b(T_i)} + 10; \quad (4)$$

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;

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

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

$$|y_i - y_j|/2 \leq l_3; \quad (5)$$

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 (5), то распределение земляных масс будет выполняться по следующим правилам:

Если $Q_j \neq 0$, $W_i \neq 0$, вид местного грунта выемки G_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 G_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 (5), 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 оставшихся участков насыпей из продольных боковых притрассовых резервов по следующим правилам:

если $Q_i \neq 0$, вид местного грунта резерва G_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 бокового 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 G_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 только 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

$$g_i = 0.5(y_{j+1}^k - y_j^k - p_j + p_{j+1}); \quad (6)$$

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:

$$D_{ij} = |y_j - y_i| + p_j. \quad (7)$$

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.

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 притрассовых резервов в i -ую насыпь на расстояние l ;

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

В реальных условиях каждый леспромхоз или подрядная дорожно-

строительная организация, как правило, располагают своими парками дорожно-строительных машин и необходимо их рациональное распределение по объектам строительства, полученным на этапе распределения земляных масс. В качестве критерия оптимизации используем минимум приведенных затрат. 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.

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

$$P_{iqj} = \frac{8.2V}{t_{iqj}} \quad (8)$$

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

$$C_{jq_i} = \frac{M_j}{P_{jq_i}} \quad (9)$$

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

Исходные данные задачи могут быть представлены в виде матрицы, число столбцов которой равно числу имеющихся комплектов дорожно-строительных машин, строки же отражают объекты дорожно-строительных работ в м³ разработки грунтов по трассе строящейся лесовозной дороги, 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 м³ 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

$$N_{rj} = \frac{x_j^r}{T_{oj}} \quad (10)$$

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

$$N_{dj} = \frac{x_j^d}{T_{oj}} \quad (11)$$

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

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{q=1}^n \sum_{j=1}^k C_{iqj}^r t_{iqj} X_{qi} + \sum_{j=1}^k (C_j^p X_j^r + \sum_{j=1}^{k-1} C_j^p X_j^d) \rightarrow \min \quad (12)$$

При ограничениях:

$$\sum_{i=1}^m t_{iqj} X_{qi} + X_j^r - X_j^d = N_j T_{oj}; \quad (q = 1, n; j = 1 \dots k) \quad (13)$$

$$\sum_{q=1}^n X_{qi} = Q_i; \quad (i = 1, m) \quad (14)$$

$$X_{qi} \geq 0; \quad X_j^r \geq 0; \quad X_j^d \geq 0; \quad (15)$$

В уравнении целевой функции (12) 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_j^r) и за дефицит фонда рабочего времени машины j в комплекте (X_j^d), что влечет за собой вынужденный простой остальных машин $k-1$, входящих в комплект.

Смысл ограничения (13) 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_0 составит

$$T_{oj} = T_o(1 - K_j) \quad (16)$$

где K_j - коэффициент ремонтов j -ой машины.

Коэффициент ремонтов в свою очередь может быть определен по выражению

$$K_j = \frac{1}{T_c} (T_{об}t_{об} + T_{рем}t_{рем})S \quad (17)$$

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

$$T_o = (T_k - T_B - T_M)S K_{см} \frac{l}{L} \quad (18)$$

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 (14) полученной математической модели позволяет обеспечить выполнение всех видов работ в требуемом объеме, а тривиальные ограничения (15) - 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_{dq} , обозначающей дефицит рабочего времени j -ой машины. В этом случае ограничение (13) будет выглядеть как

$$\sum_{i=1}^m t_{jq_i} X_{q_i} + X_j^r \leq M_j T_{oj} \quad (19)$$

Разработанная математическая модель является линейной. Для ее реализации на ЭВМ может быть использован симплекс-метод линейного программирования.

В главе 3 рассматривается предлагаемая методика проектирования производства земляных работ в лесном дорожном строительстве. Методика состоит из этапов, представленных на рисунке 2.



Рисунок 2- Общий алгоритм проектирования производства земляных работ

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.

Укрупненная блок-схема алгоритма распределения земляных масс приведена на рисунке 3. 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.

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.

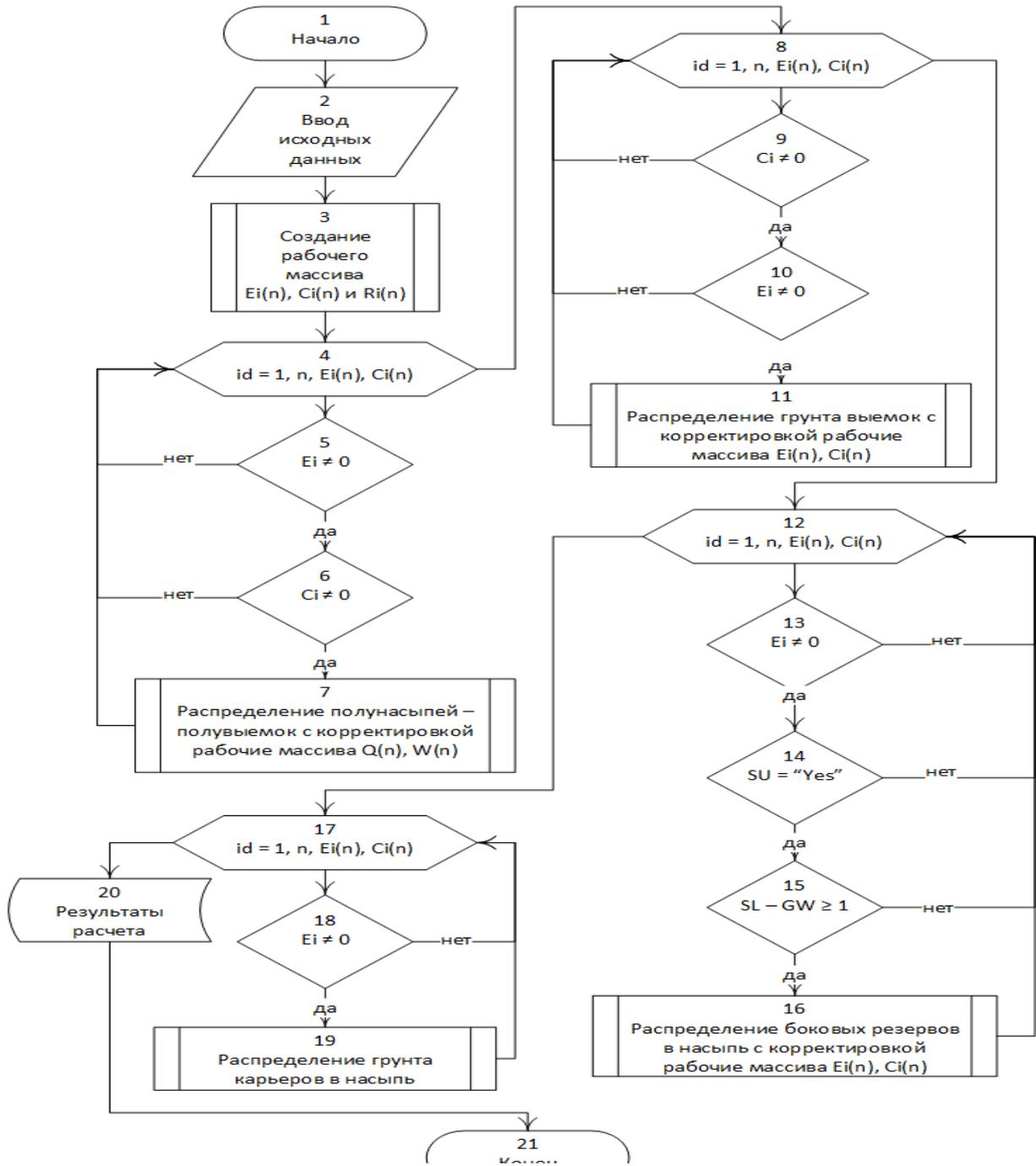


Рисунок 3 – Общая укрупненная схема алгоритма распределению земляных масс

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

1. из выемки в кавальер на расстояние l ;
2. из j -ой выемки в i -ую насыпь на расстояние l ;
3. из продольных боковых притрассовых резервов в i -ую насыпь на расстояние l ;
4. из j -ого сосредоточенного притрассового резерва или карьера в i -ую насыпь на расстояние l .

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.

В главе 4 изложены экспериментальные исследования предлагаемой методики проектирования производства земляных работ, состоящей из двух этапов.

На первом этапе производится перераспределение земляных масс проекта организации строительства с учетом наличного парка машин дорожно-строительной организации. На втором обеспечивается оптимальное распределение этих машин по объектам с учетом нормативных сроков выполнения работ, предусмотренных договором.

Рассмотрим применение разработанной методики на практических задачах организации земляных дорожно-строительных работ

Задача 1. Требуется возвести земляное полотно лесовозной дороги, общая длина 2 км, ширина земляного полотна 10 м. Имеется только один карьер, который находится в 2 км от начала участка. Задан имеющийся состав машин 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 получены в результате расчета системы оптимизации распределения земляных масс на участке и представлены в исходной матрице (таблица 1). Заполненными в матрице являются клетки технически осуществимых способов работ, полученные путем расчета графика распределения земляных масс строящейся лесовозной дороги.

Таблица 1 - Матрица исходных данных

Объекты работ по трассе дороги	Машины комплекта			Объем работ, м 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	1207,83 2,03 0,28 0,43 X ₁	2138,58 3,29 0,02 0,28 0,43 X ₂	2979,52 3,10 0,02 0,28 0,43 X ₃	4232
Разработка выемки в кавальер	834,33 2,03 X ₄	942,72 1,75 0,02 X ₅	-	1225
Возведение насыпи из карьера	-	3441,87 5,84 0,11 0,43 0,08 X ₆	3884,81 4,25 0,11 0,43 0,08 X ₇	1736

		952,8		1217,43		
Возведение насыпи из бокового резерва	1,63	X ₈	1,55	X ₉	-	7335
	0,43		0,26			
	0,09		0,43			
			0,09			

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) определен на основании ЕНиР на земляные работы и приведенных затрат по каждой машине (таблица 2).

Таблица 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 (см. таблицу 1) приведенные затраты определяются следующим образом

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

Суммарные приведенные затраты в соответствии с целевой функцией (12) определяются из выражения

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

Решение поставленной задачи на ЭВМ выполнено в подсистеме «Поиск решения» в электронных таблицах MS Excel. В результате решения поставленной задачи на ЭВМ получены данные, представленные в таблице 3.

Указанное решение получено при возможности приобретения или аренды любых дорожно-строительных машин. Приведенные затраты по целевой функции составляют 2459681,22 руб. Оптимальное количество бульдозеров ДЗ-171 – 1 шт., скреперов ДЗ-74 – 1 шт., катков ДУ-37 – 1 шт., автогрейдеров ДЗ-31 – 1 шт. При этом высвобождается и может быть использован на других работах или объектах 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.

Таблица 3 - Матрица результатов решения

Объекты работ по трассе дороги	Машины комплекта и объем работы			Объем работ м 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

Задача 2. Требуется построить участок лесной дороги длиной 3.9 км, шириной на земполотна 12 м. Имеются два грунтовых карьера. Первый карьер находится в 3 км от начала участка, а второй в 2,6 км от пикета 70+00. 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 и их объемы получены в результате расчета в системе распределения земляных масс и представлены в исходной матрице (таблица 4). Заполненными в матрице являются клетки технически осуществимых способов работ, полученные путем оптимизации графика распределения земляных масс строящейся лесовозной дороги.

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) определен на основании государственных элементных сметных норм ГЭСН 81-02-01 на земляные работы в маш-час/1000м³ и приведенных затрат по каждой машине.

Таблица 4 - Матрица исходных данных

Объекты земляных работ по трассе дороги	Машины комплекта				Объем земляных работ, м ³
	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	77,38 17,78 2,38 15,10 4,00	X ₁ 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	–	33,04 50,14 15,73 15,10 4,00	X_4	184,20	1353
Возведение насыпи из карьера с перемещением до 1900 м	–	587,23 203,18 2,38 X_5 15,10 4,00	–	33,04 133,96 15,73 15,10 4,00	X_6	318,31	34722
Возведение насыпи из боковых резервов с перемещением до 30 м	52,10 22,06 15,10 4,00	X_7	66,62 22,77 15,10 4,00	X_8	–	–	6858

Решение поставленной задачи на ЭВМ выполнено в подсистеме «Поиск решения» в электронных таблицах MS Excel (таблица 5).

Таблица 5 - Матрица результатов решения

Объекты работ по трассе дороги	Машины комплекта				Объем работ м ³
	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, $l=250$	–	$X_3=1353$	–	$X_4=0$	1353
Возведение насыпи из карьера $l=1900$	–	$X_5=0$	–	$X_6=34722$	34722
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 8441899.33 руб. 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 высвобождаются и могут быть использованы на других работах или сданы в аренду другим организациям 3 бульдозера ДЗ-171, не использованный фонд рабочего времени которых составляет $X_9=1436$ маш- ч., 2 скрепера ДЗ-74, не использованный фонд рабочего времени которых составляет $X_{10}=1094$ маш- ч., 2 экскаватора ЭО-3223, не использованный фонд рабочего времени которых составляет $X_{11}=1083$ маш-ч., 4 автомобиля самосвала КамАЗ-65115, не использованный фонд рабочего времени которых составляет $X_{12}=1796$ маш-ч.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 участка строительства 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. Выполнение экспериментальных расчетов и апробирование предлагаемой методики на примере производственных задач показали эффективность, работоспособность и непротиворечивость полученных результатов проектирования производства земляных работ.

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, аренды техники, прогнозировании продолжительности и стоимости ведения механизированных работ.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из списка ВАК:

1. Мохамед А.Х. Оптимизация организации лесного дорожного строительства / А.Х. Мохамед, Н.А. Тюрин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2019. – Т. 227. – С. 199–208.
2. Мохамед А.Х. Рациональный алгоритм распределения земляных масс в лесном дорожном строительстве / А.Х. Мохамед, Н.А. Тюрин // Resources and Technology. – 2019. – Т. 2. – № 16. – С. 131–140.

Прочие публикации:

3. Мохамед А.Х. Выбор эффективных технологий земляных работ и использование парка машин в лесном дорожном строительстве Мохамед / А.Х. Мохамед, Н.А. Тюрин, Т.С. Антонова // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018 года / ред. В.А. Соколова. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – С. 169–176.
4. Тюрин Н.А. Оптимизация состава дорожно-строительного комплекса методом динамического программирования. / Н.А. Тюрин, А.Х. Мохамед, Е.М. Потапов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2018. – С. 264–268.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

5. Мохамед А.Х. Forest Road Construction // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2020614775 дата 24.04.2020.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенной подписью и указанием фамилии, имени, отчества, почтового адреса, наименования организации, должности и ученой степени (с указанием шифра специальности, по которой была защищена диссертация) лица, составившего отзыв, просим направлять по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, диссертационный совет Д.212.281.02, e-mail: d21228102@yandex.ru