

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»**

Козлова Ольга Юрьевна

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ

25.00.21 – «Теоретические основы проектирования горнотехнических
систем»

Автореферат диссертации

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Геотехнологии освоения недр» ФГАОУ ВПО НИТУ
«МИСиС» Агафонов Валерий Владимирович

Москва, 2020

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современных условиях недропользования основные технологические задачи деятельности любого горнодобывающего предприятия, связанного с добычей различного типа руд – выемка, погрузка и вывоз горной массы – выполняется погрузочно-доставочными машинами (ПДМ и ШАС), представляющими собой единую транспортную систему с выполнением определенных производственных и логистических процессов.

Эффективность работы горнодобывающего предприятия во многом определяется эффективностью взаимодействия отдельных элементов этой производственной системы (погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов), характеризуемой величиной простоев оборудования в течении смены в ожидании работы, которые иногда достигают до 30% рабочего времени.

Общепризнанно, что основные резервы сокращения простоев погрузочно-транспортного оборудования связаны с повышением эффективности применяемой системы диспетчеризации шахтного автотранспорта в составе ВШТ горнодобывающего предприятия.

Следует отметить, что в настоящее время разработан ряд таких систем, реализующих задачу потенциального увеличения эксплуатационной производительности ВШТ и, как следствие, вытекающей из этого экономии ресурсов. Однако эффективность работы ВШТ в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях напрямую зависит от существующих парков погрузочно-транспортной техники, используемой стратегии развития диспетчеризации шахтного автотранспорта и множества внешних и внутренних ограничений функциональной среды подземных рудников.

В связи с вышеизложенным многие вопросы эффективности совместной работы погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов в составе ВШТ на сегодняшний день априори исследованы недостаточно, поэтому задача исследования и оптимизации функциональной структуры логистической системы подземных рудников посредством совершенствования системы распределения

шахтных автосамосвалов по пунктам погрузки и трассам следования представляется актуальной.

Степень разработанности. В работах следующих ученых, таких как К.Н. Трубецкой, А.А. Кулешов, И.В. Зырянов, Б.Л. Герике, А.Ф. Клебанов, Ю.В. Стенин, О.Н. Вуейкова, М.Е. Корягин, А.Б. Логов, Чудинов Г.В., Конюх В.Л., Потапов В.Д., Близнюк Г.И, Капутин Ю.Е., Стругул Д., Плавский А.А., Тайлаков О.В., а также S. Alarie, C. Burt, M. Gamache, Lei Xu, Sheng Yi, Zhen Zhang, Beiden G.R., Valette R. и многих других, рассматривались вопросы моделирования, планирования, организации и работы отдельных звеньев горного производства. С решением этих задач в отдельные годы связаны такие организации, как: Гипроруда, ИГД СО АН СССР, ИПКОН РАН, ИГД Кольского НЦ АН СССР, НИГРИ, МГГУ, НИИКМА, НИИОГР, УГГА (УГГУ), ННЦ ГП им. А.А.Скочинского, КузГТУ, ЮРГТУ (НПИ) и др. Анализ данных исследований, в конечном итоге, показал, что вероятностная природа погрузочно-транспортного процесса ВШТ при решении задачи распределения погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов учитывается в них опосредованно и недостаточно, затрагивая, в основном отдельные аспекты работы ВШТ (простои и пробег).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 5 работ рекомендованных ВАК.

Цель работы заключается в повышении эксплуатационной производительности внутришахтного транспорта посредством оптимизации распределения погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов по пунктам погрузки.

Идея работы заключается в том, чтобы максимально учитывался стохастический характер погрузочно-транспортных процессов внутришахтного транспорта, которые описываются и оптимизируются на основе использования имитационного моделирования.

Задачи работы в соответствии с поставленной целью:

1. Проанализировать и провести сравнительную оценку теоретических и практических исследований в области существующих методов диспетчеризации рудничного внутришахтного автотранспорта для определения наиболее перспективных направлений с последующим их совершенствованием.
2. Разработать оптимальную диспетчерскую модель внутришахтного рудничного транспорта, основываясь на аналитических данных о методах диспетчеризации.
3. Создать программный комплекс на базе разработанного алгоритма оптимизации распределения погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов на оптимальном уровне диспетчерской модели и на базе разработанной имитационной модели.
4. Произвести апробацию и верификацию программного комплекса и оценить влияние корректировочных решений на эксплуатационную производительность внутришахтного транспорта рудника.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложенный в работе принцип приоритетности маршрутов впервые учтён в критерии принятия решений по распределению погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов по пунктам погрузки;
- для численного моделирования процессов внутришахтного транспорта рудника разработана имитационная программа, отличающаяся минимизацией потерь за счет простоев оборудования при вариантном подборе числовой составляющей используемой техники, с итерационным формированием комплекта оптимальных значений параметров ведения горных работ;
- предложены новые принципы формирования диспетчеризации в составе внутришахтного транспорта рудника: расположение погрузочно-доставочных машин на одном участке ведения горных работ, однородность парка работающих с ними шахтных автосамосвалов, вывоз горной массы на один рудоспуск.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанная диспетчерская модель ВШТ рудника может использоваться для моделирования и оптимизации различных производственных ситуаций в ВШТ, учитывая специфические условия функционирования рассматриваемых горных

предприятий. Использование внедряемого программного комплекса позволит повысить эксплуатационную производительность ВШТ при минимизации простоев оборудования. При создании отечественной автоматизированной системы диспетчеризации (АСД) рудничного автотранспорта как продукта импортозамещения, данный программный комплекс может являться основой.

Методология и методы исследований: теории массового обслуживания, статистической обработки данных, методы линейного программирования, дискретно-событийное имитационное моделирование.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Для повышения эксплуатационной производительности и снижения простоев, оптимизации парка погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов в критерии принятия решений по распределению самосвалов на соответствующем уровне предложенной диспетчерской модели внутришахтного транспорта следует учитывать приоритетность погрузочно-доставочных машин и маршрутов доставки горной массы.
2. Программа имитации на основе численного моделирования процессов в внутришахтном транспорте, учитывающего совокупность всех влияющих факторов – показатели внешней горной среды, мощность и производительность погрузочно-доставочных машин, скоростные характеристики самосвалов, соответствие параметров ПДМ и шахтных автосамосвалов, восстановления работоспособности оборудования и закономерности отказов, показатели внешней горной среды, – снижает потери, сформированные простоями оборудования и создает комплект оптимизированных значений параметров приоритетности ПДМ (маршрутов).
3. Работу внутришахтного транспорта нужно организовывать, по причине целесообразности, согласно комбинированному циклу с разделением действующих ПДМ и шахтных автосамосвалов по группам диспетчеризации, которые формируются согласно принципу расположения ПДМ на одном участке горных работ, - также немаловажно учитывать однородность парка работающих с ними самосвалов для вывоза горной массы на один рудоспуск.

Достоверность научных результатов подтверждается корректным выбором и обоснованием критериев эффективности оптимизации на основе апробированных методов имитационного моделирования, тождеством результатов моделирования и фактических показателей работы внутришахтного транспорта на действующем руднике в тех же условиях.

Личный вклад автора характеризуется выполнением теоретических и практических исследований; разработкой имитационной модели ВШТ рудника, созданием алгоритма оптимального распределения ПДМ и шахтных автосамосвалов по местам погрузки и его программным обеспечением; публикациями по данной тематике исследований.

Реализация результатов работы. Внедрение основных научных результатов работы реализовано в ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель», а также в учебном процессе Горного института ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»».

Апробация работы. По основным результатам работы сформированы доклады, представленные и одобренные на международных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 2017-2018 гг.) и семинарах кафедры «Геотехнология освоения недр» Горного института НИТУ МИСиС (2017-2019 гг.).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** освещена актуальность тематики исследования, раскрыта научная новизна, сформулированы научные положения, определена теоретическая и практическая значимость работы на основе высокой степени проработанности вопроса.

Первая глава посвящена анализу практических и теоретических исследований в области оптимизации технологических структур подземных рудников, сформулированы идея, цель и задачи исследования.

Во **второй главе** разработана концепция построения системы имитационного моделирования и имитационных моделей, проведена разработка функционала планирования горных работ в системе имитационного моделирования рудников, дается определение системы имитационного моделирования и разрабатываемых

имитационных моделей, описывается цель и принципы функционирования системы, а также приводятся предположения, принимаемые при разработке системы, основанные на исследованиях.

В третьей главе разработана структура имитационной модели на базе высокоуровневой схемы моделируемых процессов подземного рудника, даны концептуальное описание интерфейса пользователя системы имитационного моделирования и описание структуры имитационной модели.

В четвертой главе приведено описание объекта моделирования, а также на основе результатов дискретно-событийного моделирования транспортных потоков рудника «Скалистый» разработаны и представлены рекомендации по оптимизации парка самоходного оборудования.

В настоящий период развития компьютерных и цифровых технологий горные инженеры-технологи и проектировщики, ведущий топ-менеджмент горных компаний активизировал свои усилия в области привлечения имитационного моделирования для оптимизации основных параметров горнодобывающих предприятий и выбора стратегий развития на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную перспективу, хотя конкретный практический задел их реализации еще далек от оптимального.

По данным официального сайта «Национального общества имитационного моделирования» сейчас в мире насчитывается около 500 программных продуктов.

Для оценки возможностей использования прикладных аспектов пакетов имитационного моделирования необходимо учитывать следующие составляющие: простота разработки и архитектурное исполнения модели, количество заранее сформированных программных компонентов, низкая трудоемкость ее реализации и присутствие необходимого набора форматов для вывода печатных и графических результатов с анимацией. Кроме того, нужно оценить возможность модификации и трансформации программного обеспечения со специальными системами управления к реальным задачам.

Выбор использования и перспективы развития пакета имитационного моделирования в сравнении с другими видами моделирования и оптимизации,

применением универсальных языков программирования связано со следующими обстоятельствами:

- современные пакеты имитационного моделирования в автоматическом режиме предоставляют необходимое количество функциональных возможностей для создания модели, что, в конечном итоге, позволяет существенно сократить трудозатраты и время, необходимые для осуществления процесса программирования, и сократить общие эксплуатационные издержки;

- программные продукты имитационного моделирования обеспечивают оптимальную среду для создания моделей на базе основных адаптивных моделирующих конструкций, что обеспечивает возможность их модификации и трансформации;

- современные пакеты имитационного моделирования имеют в наличии более совершенные процедуры выявления и обнаружения системных ошибок, поскольку они автоматизированы. Таким образом минимизируется риск принятия неправильных и неоптимальных решений.

К основным методам имитационного моделирования относят 3 основных вида: дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование, системная динамика.

Таким образом, все чаще процесс современных исследований сложных динамических процессов технологической системы основывается на использовании методологии многоагентного моделирования (имитационные модели). Под имитационной моделью (ИМ) при этом понимают компьютерную программу, которая способна описать функциональную структуру и воспроизвести поведение реальной оцениваемой системы во времени.

Система имитационного моделирования рудников (СИМ) – это автоматизированная система, позволяющая работать с имитационными моделями (ИМ).

Имитационная модель (ИМ) – является совокупностью машинных кодов и алгоритмов, позволяющих имитировать на ЭВМ поведение отдельных элементов

исследуемых объектов (рудников) и связей между ними в течение заданного времени моделирования, а также производить измерения целевых характеристик исследуемых объектов.

СИМ предназначена для моделирования работы рудника на длительном периоде времени и обеспечивает достижение следующих целей:

- оптимизация транспортных потоков в рудниках;
- оценка эффективности использования и определения оптимального количества техники (ПДМ);
- обеспечение прозрачности и обоснованности планирования ресурсов, необходимых для выполнения транспортных операций.

В основе функционирования СИМ лежит разработанная имитационная модель рудника, описывающая ряд процессов выполнения горных работ.

Планирование добычи руды с помощью СИМ выполняется посредством запуска имитационных экспериментов, воспроизводящих работы на рудниках на заданный интервал времени вперед. По результатам эксперимента в СИМ формируются отчеты о ходе моделирования и предоставляются пользователям данные, необходимые для решения поставленных при планировании задач.

В зависимости от выбранного горизонта планирования (времени моделирования эксперимента) концепция работы системы имитационного моделирования будет несколько различна.

На рисунке 1 приведена концептуальная схема работы системы имитационного моделирования на горизонте планирования год. На рисунке 2 соответственно – на декаду.

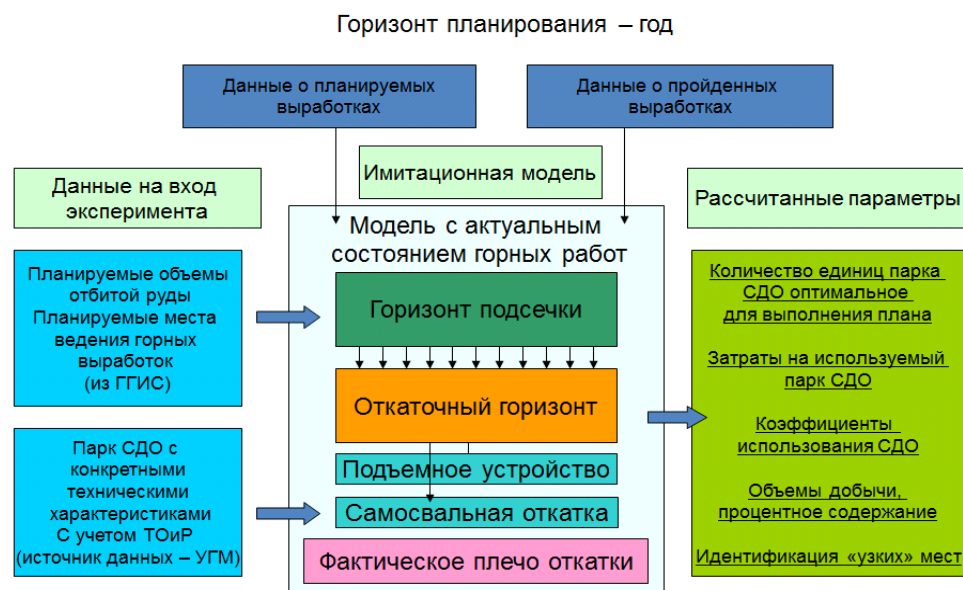


Рисунок 1 – Концептуальная схема системы имитационного моделирования, при горизонте планирования 1 год

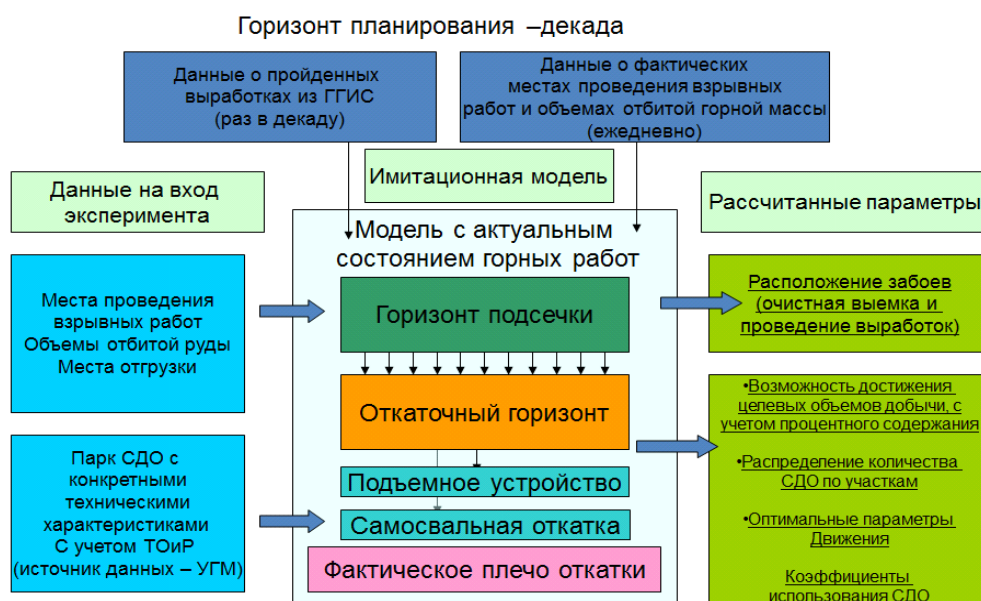


Рисунок 2 – Концептуальная схема системы имитационного моделирования, при горизонте планирования декада

Выполнение имитационного эксперимента – основной процесс СИМ, схема которого показана на рисунке 3.

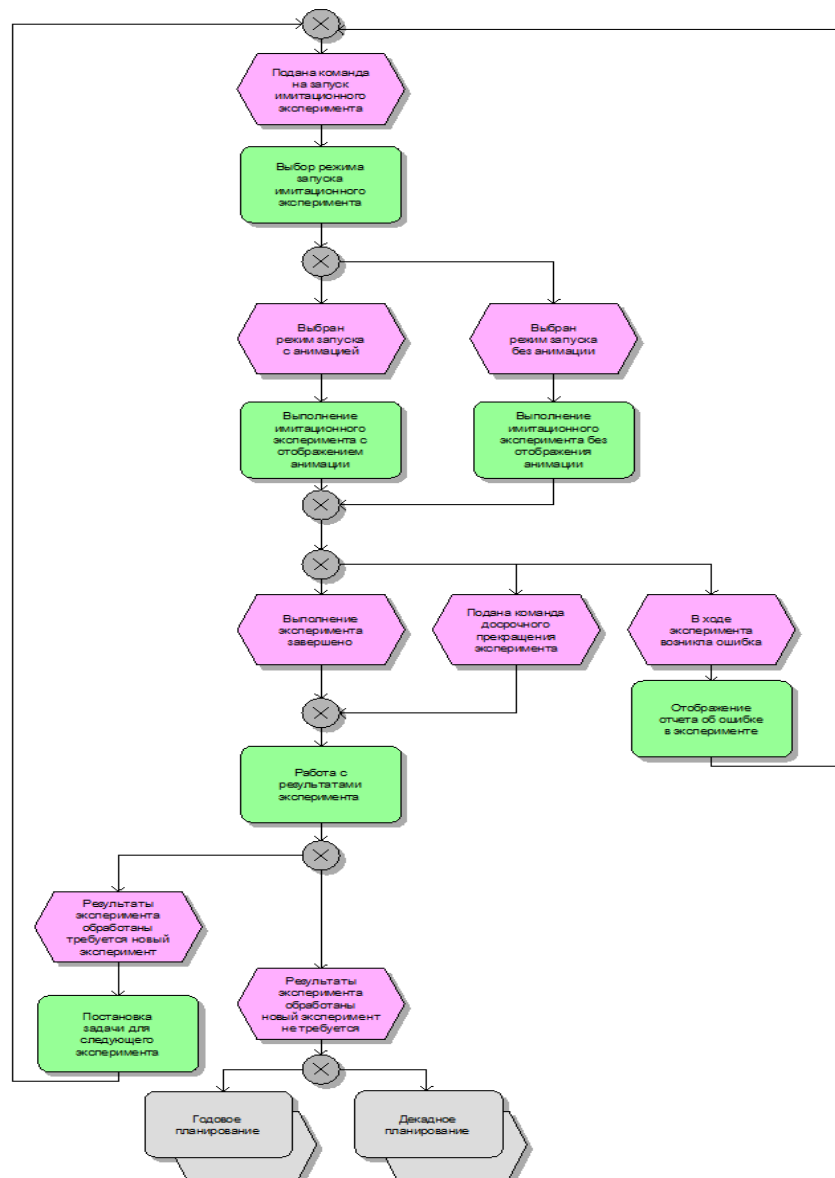


Рисунок 3 - Схема процесса выполнения имитационного эксперимента

Запуск эксперимента возможен в двух режимах:

С отображением анимации – этот режим дает возможность пользователю просматривать интерактивную анимацию, изменять масштаб модельного времени, а также приостанавливать выполнение эксперимента.

Без отображения анимации – в этом режиме эксперимент выполняется с максимально возможной скоростью, а пользователю показывается только прогресс его выполнения.

В основе функционирования Системы имитационного моделирования (СИМ) лежит настроенная и поддерживаемая в актуальном состоянии имитационная модель рудника. Структурно данная модель состоит из двух групп данных:

- 1) Группа данных/правил, определяющая логику функционирования и взаимодействия объектов.
- 2) Группа Основных данных для проведения экспериментов.

Разрабатываемые в рамках работы имитационные модели рудников строятся на основании предоставленных рудниками исходных данных и содержат в формализованном виде описание и параметры элементов системы, а также различные зависимости между этими элементами.

К основным группам данных, на основании которых формируются элементы имитационной модели рудника низшего уровня относятся: транспорт рудника, геометрия рудника и плановые выработки, производственное оборудование рудника, справочники СИМ.

Исходя из представления функциональной структуры подземного рудника в виде древовидного квазиупорядоченного графа при разработке СИМ должны быть приняты во внимание следующие ограничения и допущения:

- 1) Движение руды после опустошения скипа подъемной машины на поверхности не рассматривается.
- 2) Взрывные работы проводятся одновременно на всех участках рудника по единому расписанию.
- 3) Железнодорожный транспорт работает на более низком горизонте рудника и не пересекается с СБУ, ПДМ и ШАС.
- 4) Ни железнодорожный, ни самоходный транспорт не пересекается при движении и не взаимодействует с конвейерным транспортом.
- 5) Выполнение горно-капитальных работы (ГКР) в имитационной модели не рассматривается.
- 6) Работы вспомогательного транспорта и его влияние на СДО не рассматриваются.

В рамках создаваемой системы имитационного моделирования рационально рассматривать работу только основного оборудования, задействованного в процессе добычи и транспортировки горной массы:

- парк погрузочно-доставочных машин (ПДМ);
- парк самоходно-буровых установок (СБУ);
- парк шахтных автосамосвалов (ШАС);
- подземные поезда.

Для адекватной работы имитационной модели СИМ и задания реальной сети транспортных выработок в имитационной модели в обязательном порядке нужно использовать модель осевых линий выработок рудника в маркшейдерских координатах.

Апробация и верификация результатов исследований произведена на примере оптимизации процессов рудника «Комсомольский» Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель».

В состав рудника входит две шахты: «Комсомольская», «Скалистая».

Шахта «Комсомольская» ведет отработку запасов Талнахского и Октябрьского месторождений сульфидных медно-никелевых руд. На районе «Запад» горные работы ведутся по проходке горных выработок и очистной выемке богатых и медистых руд в залежах юго-восточного фланга Октябрьского месторождения. На районе «Восток» ведется отработка богатых и совместно залегающих медистых руд в залежах Талнахского месторождения. Параллельно ведется подготовка к отработке вкрапленных руд на фланговых участках Центральной основной залежи в лентах с совместным залеганием вкрапленных руд с богатыми и медистыми рудами. Вскрытие залежей шахты «Комсомольская» осуществлено семью вертикальными стволами и подземными горизонтами.

Шахта «Скалистая». В настоящее время руда выдается по стволу ВС-9. Горная масса из забоев доставляется самоходными погрузочно-доставочными машинами (ПМД) до рудоспусков. Из рудоспусков на откаточном горизонте -850 м горная масса загружается в железнодорожные вагонетки и доставляется в пункт разгрузки, расположенный в околоствольном дворе ВС-9 горизонта -850 м и далее

по рудоспуску спускается на горизонт -950 м. На горизонте -950 м руда поступает в дозаторную камеру для загрузки в скипы. На поверхность руда поднимается в скипах скиповой подъемной машиной (СПМ) типа МПБ-6,3х2,8х2,8Д. Отбиваемая при проходке порода доставляется к клетевой подъемной установке и в клетки поднимается на поверхность, затем автосамосвалами вывозится в породный отвал на площадке ВС-9. Горная масса из забоев будет транспортироваться к рудоспускам на откаточный горизонт -850 м, далее доставляться и разгружаться в камерах опрокидывателей на скиповой ветви №1 или №2, откуда будет поступать в дозаторную камеру для загрузки в скипы и выдачу на поверхность скиповой подъемной машиной.

Для реализации дискретно-событийного моделирования транспортных потоков подземного рудника принята базовая программная среда AnyLogic.

В основу графической среды создания моделей заложены все возможности современного объектно-ориентированного языка Java. При создании модели в AnyLogic создается иерархически увязанные Java-классы активных объектов моделирования и определяются сложившиеся отношения между ними. Сформированная модель может быть реализована локально, либо в режиме Java - апплет под управлением браузера.

Основной базовой сущностью при этом является активный объект со своей внутренней структурой и технологическим поведением, который, в свою очередь, может быть инкапсулирован как элемент других активных объектов. При этом автоматически определяется структура и связи активного и инкапсулированного объектов. Технологическое поведение, в свою очередь, определяет реакцию активного объекта на комплекс внешних событий – событийную логику его действий с учетом фактора времени.

Функциональная структура AnyLogic может реализовать произвольное число уровней иерархической структуры объекта моделирования и вложенности состояний, что позволяет адекватно отражать структурную и поведенческую стороны иерархии сложных технологических систем.

В настоящее время существует три способа имитационного моделирования сложных динамических технологических систем, представленных в AnyLogic, что делает его универсальным в использовании по сравнению с другими инструментами имитационного моделирования.

В результате проведения имитационных экспериментов по моделированию плана развития горных работ на шахте «Скалистая» было установлено, что: одним из узких мест является параметр «Количество вееров за стадию взрыва» который определяет среднее количество вееров, взрывааемых за один раз.

При моделировании эксперимента «как есть», шахтные автосамосвалы работают на длинных плечах откатки, так как возят руду на ш. Комсомольская.

На рисунке 4 представлены диаграммы по загрузке ШАС.

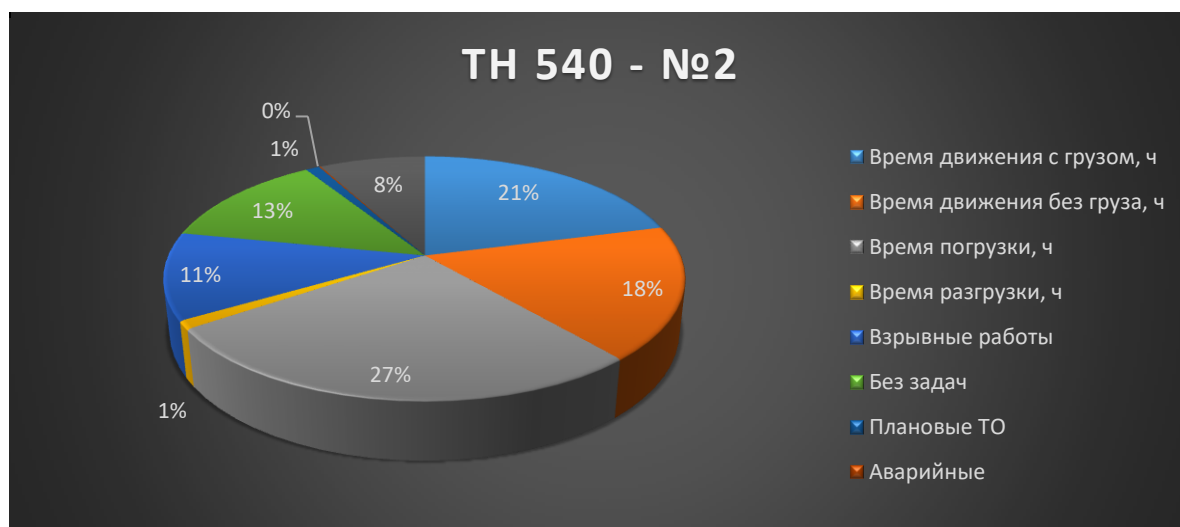
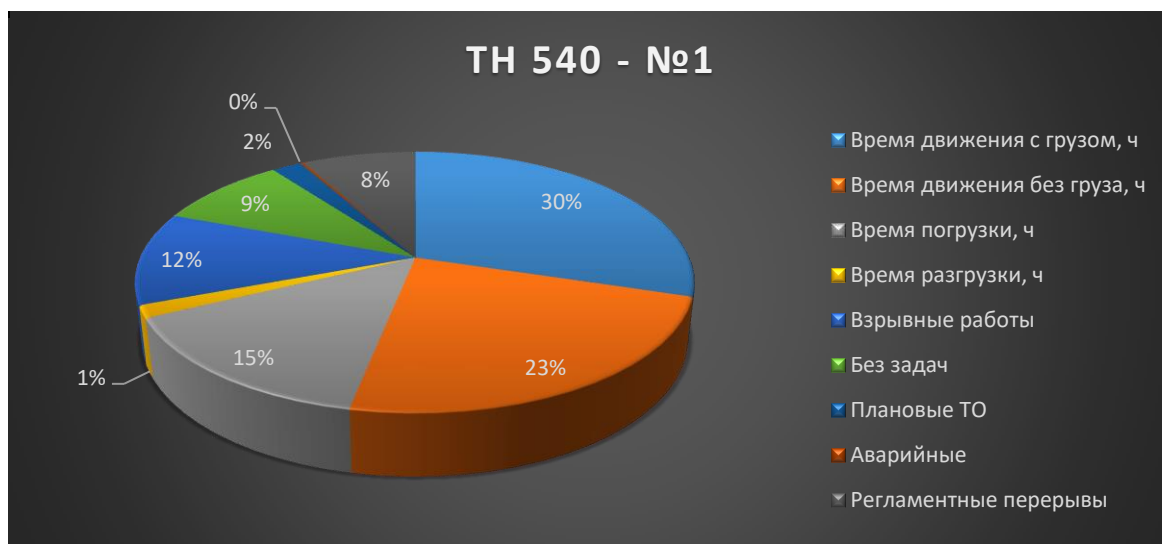


Рисунок 4 – Диаграммы по загрузке ШАС

В таблице 1 приведены расчетные значения КИО.

Таблица 1 – Расчетные значения КИО

СДО	Коэффициент использования
ТН 540 - №1	0,70
ТН 540 - №2	0,67

Статистика по работе ШАС, вариант «как-есть», приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Статистика по работе ШАС

ПДМ	Пробег без груза, км	Пробег с грузом, км	Количество циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды
ТН 540 № 1	16676	16571	5823	78989
ТН 540 № 2	12591	11687	4199	56288

При прогоне эксперимента «как будет» у шахтного самосвала увеличивается процент времени на загрузку ПДМ, по экспериментальным данным, полученным в результате реализации модели, установлено, что ШАС в данном случае используется неэффективно.

На диаграмме показано, что ШАС в данном случае используется неэффективно, рисунки 5, 6.



Рисунок 5 – Загрузка ШАС №1, вариант «как будет»

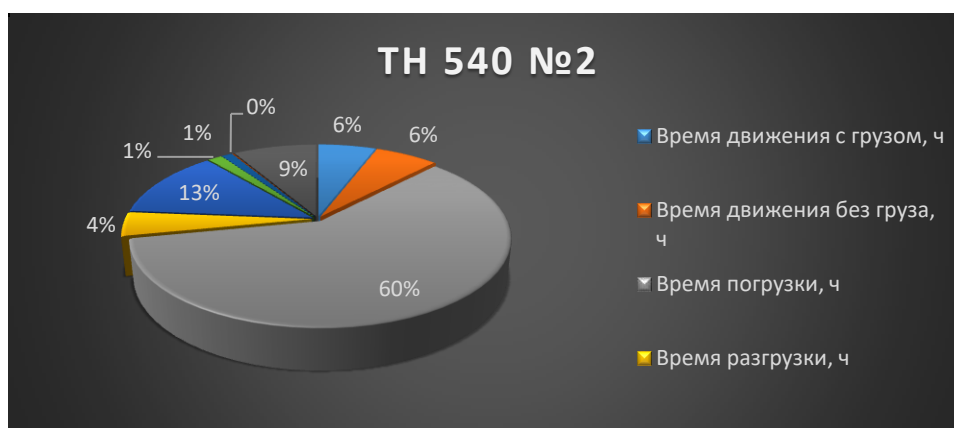


Рисунок 6 – Загрузка ШАС №2, вариант «как будет»

Таким образом, если исключить ШАСы из парка СДО при моделировании варианта «как будет», это не повлечет за собой снижения производительности ниже плановых показателей, а освобожденные ресурсы можно более эффективно использовать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В научно-квалификационной работе «Обоснование рациональной структуры и параметров логистической системы подземных рудников» предложено решение актуальной научной задачи по оптимизации распределения внутришахтного транспорта согласно пунктам погрузки, позволяющей повысить эксплуатационную производительности ВШТ рудников.

Установлены и получены следующие научные и практические результаты:

1. Эксплуатационная производительность ВШТ современных рудников во многом зависит от эффективности использования погрузочно-доставочных машин и автосамосвалов, определяется величиной их простоев за смену. Ликвидация простоев обеспечивает повышение эффективности системы диспетчерской поддержки в составе ВШТ рудника.

2. Разработана имитационная диспетчерская модель ВШТ рудника, в которой устанавливается оптимальный план погрузки и перевозок, являющийся общей целевой установкой. В модели применяется алгоритм оптимального распределения ПДМ и шахтных автосамосвалов для достижения целевых значений критериев оптимальности. Критерием принятия решений распределения является комплексный критерий, который учитывает стоимость простоев

внутришахтного оборудования, а также разную производительность и приоритетность ПДМ, шахтных автосамосвалов и соответствующих им маршрутов транспортирования горной массы до рудоспуска.

3. Установлено, что традиционные методы для исследования процессов в системе ВШТ рудника непригодны. Адекватность метода исследования процессов достигается за счет применения имитационного моделирования, основанного на учёте дискретно-событийного и вероятностного характера погрузочно-транспортного процесса, а также подчинённостью вероятностных распределений временных характеристик этого процесса гамма-закону. Разработанный, на основе имитационной модели, программный комплекс, позволяет имитировать различные ситуации в работе ВШТ рудника, выявлять возможные простои оборудования и определять приоритетность ПДМ (маршрутов), в результате чего проводить оптимизацию распределения шахтных автосамосвалов по местам погрузки.

4. Точность принятия решений по текущему распределению ПДМ и шахтных автосамосвалов обеспечивается предложенными параметрами приоритетности ПДМ (маршрутов), которые оказывают существенное влияние на перераспределение шахтных автосамосвалов по пунктам погрузки и определяются на основе решения многокритериальной задачи с помощью ИМ, с учетом мощности и производительности ПДМ, соответствия параметров ПДМ и шахтных автосамосвалов, длины участков транспортировки, технических характеристик самосвалов, учета вероятности отказов и проведение ремонтно-восстановительных работ оборудования, показателей внешней горной среды.

5. Работу внутришахтного транспорта нужно организовывать, по причине целесообразности, согласно комбинированному циклу с разделением действующих ПДМ и шахтных автосамосвалов по группам диспетчеризации, которые формируются согласно принципу расположения ПДМ на одном участке горных работ, также немаловажно учитывать однородность парка работающих с ними самосвалов для вывоза горной массы на один рудоспуск.

Определены суммарные потери от простоев в условиях рудника «Комсомольский» при работе ВШТ, которые снижаются на 15,7% при использовании комбинированного цикла по сравнению с закрытым циклом, также достигнуто снижение на 3,7% в сравнении с открытым циклом, при этом увеличение эксплуатационной производительности достигает 4,2%, что составляет около 2600 т/смену.

6. Комбинированный цикл работы ВШТ обеспечивает достижение экономического эффекта в размере 82,5 млн. рублей в год, за счет сокращения потерь от простоев и уменьшения числа работающих автосамосвалов. Также, последнее достигается путем создания рациональной структуры и обоснования параметров логистической системы подземных рудников на основе имитационного моделирования.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1.О.Ю. Козлова, В.В. Козлов, В. В. Агафонов. Разработка структуры имитационной модели на базе высокоуровневой схемы моделируемых процессов подземного рудника. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. - № 7 (специальный выпуск 24) - с. 3-7. – М.: Издательство «Горная книга».

2.О.Ю. Козлова. Разработка функционала планирования горных работ в системе имитационного моделирования рудников. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. - №7 (специальный выпуск 24) - с. 8 – 13. – М.: Издательство «Горная книга».

3.О.Ю. Козлова. Моделируемые процессы при использовании системы имитационного моделирования логистической системы подземного рудника. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. - № 7 (специальный выпуск 24) - с. 14 – 18. – М.: Издательство «Горная книга».

4.О.Ю. Козлова. Функциональные ограничения и требования к имитационной модели логистической системы подземных рудников. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. - № 7 (специальный выпуск 24) - с. 19 – 23. – М.: Издательство «Горная книга».

5.О.Ю. Козлова. Имитационная модель логистической системы подземных рудников. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. - № 7 (специальный выпуск 24) - с. 24-28. – М.: Издательство «Горная книга».