

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

На правах рукописи

КОЗЛОВА ОЛЬГА ЮРЬЕВНА

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ
ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность 25.00.21 – «Теоретические основы проектирования
горнотехнических систем»

Научный руководитель – профессор, доктор технических наук

Агафонов Валерий Владимирович

Москва 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4-7
<u>ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРАКТИЧЕСКИХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ</u>	
1.1. Ретроспектива и перспективы реализации имитационного моделирования в горном деле.....	8-22
1.2. Концептуальные подходы к имитационному моделированию.....	23-28
1.3. Цель, идея и задачи исследований.....	29
<u>Выводы</u>	30
<u>ГЛАВА 2. КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ</u>	
2.1. Объекты моделируемой предметной области (система транспорта подземного рудника).....	31-35
2.2. Концептуальное описание системы имитационного моделирования и имитационных моделей.....	36-42
2.3. Разработка функционала планирования горных работ в системе имитационного моделирования рудников.....	43-65
<u>Выводы</u>	66
<u>ГЛАВА 3. МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</u>	
3.1. Разработка структуры имитационной модели на базе высокоуровневой схемы моделируемых процессов подземного рудника.....	67-82
3.2. Концептуальное описание интерфейса пользователя системы имитационного моделирования.....	83-92
3.3. Описание структуры имитационной модели.....	93-98
<u>Выводы</u>	99

ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ (ВЫЯВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ)

4.1. Описание объекта моделирования.....	100-105
4.2. Дискретно-событийное моделирование транспортных потоков рудника «Скалистый».....	106-117
4.3. Выявление «узких мест» дорожно-транспортных потоков и оптимизация парка самоходного оборудования.....	118-129
<u>Выводы</u>	130
<u>Заключение</u>	131-134
<u>Список использованной литературы</u>	135-151
<u>Приложения</u>	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В современных условиях недропользования основная технологическая задача 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 логистическую 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 течение 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. Вопросам организации, планирования и моделирования работы отдельных звеньев горного производства посвящены работы отечественных и зарубежных учёных и специалистов, 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. С решением этих задач в отдельные годы связаны такие организации, как: Гипроруда, НИИКМА, ИПКОН РАН, НИГРИ, ИГД СО АН СССР, ИГД Кольского НЦ АН СССР, МГГУ, НИИОГР, УГГА (УГГУ), КузГТУ, ННЦ ГП им. А.А.Скочинского, 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).

Научная новизна работы заключается в следующем:

- в критерии принятия решений по распределению погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов по пунктам погрузки впервые учтён предложенный в работе принцип приоритетности маршрутов;
- разработана имитационная программа для численного моделирования процессов внутришахтного транспорта рудника, отличающаяся тем, что минимизирует потери от простоев оборудования для различного количества работающей техники, а также итерационно формирует набор 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 с учётом специфики конкретных горных предприятий. Внедрение разработанного программного комплекса даёт возможность повысить эксплуатационную производительность ВШТ за счёт снижения простоев оборудования, а также может являться основой создания отечественной автоматизированной системы диспетчеризации (АСД) рудничного автотранспорта как продукта импортозамещения.

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

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Для минимизации простоев и повышения эксплуатационной производительности, 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 соответствующих им маршрутов транспортирования горной массы.
2. Имитационная программа для численного моделирования процессов в внутришахтном транспорте, учитывающего совокупность всех влияющих факторов – мощность и производительность погрузочно-доставочных машин, соответствие ПДМ и шахтных автосамосвалов друг другу, скоростные характеристики самосвалов, закономерности отказов и восстановления работоспособности оборудования, показатели внешней горной среды, – минимизирует потери от простоев оборудования и формирует набор оптимальных значений параметров приоритетности ПДМ (маршрутов).
3. Работу внутришахтного транспорта целесообразно организовывать по комбинированному открыто-закрытому циклу с разделением действующих ПДМ и шахтных автосамосвалов на группы диспетчеризации, формирование которых производится по принципу расположения ПДМ на одном участке

горных работ, однородности парка работающих с ними самосвалов с вывозом горной массы на один рудоспуск.

Достоверность научных результатов подтверждается корректным выбором и обоснованием критериев эффективности оптимизации, использованием апробированных методов имитационного моделирования, сходимостью результатов моделирования с фактическими показателями работы внутришахтного транспорта на действующем руднике в одинаковых условиях.

Личный вклад автора заключается в выполнении теоретических и натурных исследований; в разработке имитационной модели ВШТ рудника, алгоритма оптимального распределения ПДМ и шахтных автосамосвалов по пунктам погрузки и его программной реализации; в подготовке публикаций по теме исследований.

Реализация результатов работы. Основные научные результаты диссертационной работы внедрены в ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель», а также в учебном процессе Горного института ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»».

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и одобрены на международных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 2017-2018 гг.) и семинарах кафедры «Геотехнология освоения недр» Горного института НИТУ МИСиС (2017-2019 гг.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 5 работ рекомендованных ВАК.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа изложена на 151 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы из 170 наименований, Приложения, содержит 66 рисунков и 88 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРАКТИЧЕСКИХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ

1.1. Ретроспектива и перспективы реализации имитационного моделирования в горном деле

Сложившиеся макроэкономические условия и отдельные составляющие условий функционирования горнодобывающих предприятий с колоссальнейшим диапазоном изменения горно-геологических и горнотехнических условий залегания пластов и рудных тел, огромной капиталоемкостью и материалоемкостью добычи полезных ископаемых на базе альтернативных вариантов организационных, технологических и технических решений определяют выбор и обоснование оптимальных проектных решений с использованием программных продуктов горного назначения. Только на базе использования моделирования горных работ можно свести к минимуму риск принятия неправильных решений в области проектирования и развития предприятий горнодобывающей отрасли. И здесь на первое место выходит имитационное моделирование [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 120, 150, 170].

Точкой отсчета его использования в горном деле принято считать 1958 г., когда оно было впервые использовано для оптимизации буровзрывных работ на угольных шахтах. Надо отметить узкую область его использования в те годы, неприглядный интерфейс и очень ограниченные функциональные возможности с трудным в освоении языком программирования. В 60-х – 70-х годах область его применения расширилась до оптимизации логистических сетей, процессов очистной выемки, совместной работы экскаваторов и автосамосвалов и т.д. В основном использовался язык программирования Фортран, который требовал реализации 50–70 тысяч команд, отличался высокими трудозатратами и большим временным интервалом реализации. Дальнейшее развитие имитационного моделирования связано с появлением специализированных языков программирования, в частности, GPSS/H. В основе методических положений этих исследований лежали труды [28, 29,

30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103].

В качестве первого международного симпозиума по моделированию горных работ заявлен (MINESIM 96), организационно проведенный Афинским национальным техническим университетом и университетом Айдахо посредством сети Интернет в 1996 году.

В СССР, а потом и в России с 60-х годов область имитационного моделирования горных работ стала прерогативой институтов Гипроруда, НИИКМА, ИПКОН, НИГРИ, ИГД СО АН СССР, ИГД Кольского НЦ АН СССР и уже в 1988 г. в рамках Всесоюзной конференции «Имитационное моделирование в горном деле», были представлены 30-ть работ, посвященных решению различных задач горного производства.

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.

Основные приложения имитационного моделирования в горном деле описаны ниже.

В работе **«ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ РУДНИКА ПО ДОБЫЧЕ МЕДИ»** автором Гусевой Е.Н. предложена имитационная модель рудника по добыче меди с путями оптимизации транспортных потоков. ИМ разработана в программной среде Arena версии 12.0 (компания Rockwell Automation). В составе данного программного продукта имеются в наличии функции, обеспечивающие возможность прослеживания динамики работы транспортной системы рудника в

представленных необходимых временных трендах (месяц, неделя, сутки). Также имеется функция, предоставляющая возможность изменять количество транспортных машин в целях оптимизации технико-экономической эффективности горнодобывающего производства. В качестве входных данных для ИМ используются основные технические характеристики используемого транспорта, дневной (месячный) объем добычи, грузоподъемность транспортных единиц, скорость перемещения груза, сменное количество рейсов, объем вскрыши, усредненное время выполнения производственных операций. Параметры экскаваторов представлены емкостью ковша, средними темпами ведения горных работ, средним временем загрузки автосамосвала.

В качестве выходных данных представлены минимальная, максимальная и средняя производительность автосамосвалов, число рейсов за смену, объем породы, перевозимый самосвалами за смену, время всех простоев, продолжительность выполнения каждой производственной операции. Результаты экспортировались и интерпретировались в Microsoft Excel. С привлечением экономико-математического моделирования предложен ряд альтернативных вариантов осуществления производственно-хозяйственной деятельности карьера на базе различных вариантов задействования резервных единиц транспортной техники.

В работе **«РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ»** авторами Кравчуком С.В. и Стародубовым А.Н. предложены имитационные эксперименты на базе проблемно-ориентированного имитатора сетей Петри NETSTAR (модули сетей Петри), которые позволяют осуществлять синтез динамических моделей взаимной работы очистного оборудования комплексно-механизированного забоя. Были предложены 4 новых критерия, учитывающих многовариантность анализа технико-организационных решений; возможность учета стохастичности выполнения производственных технологических операций; возможность моделирования взаимодействия

компонентов очистного оборудования в пространстве и времени; возможность анализа и выявления “узких мест” в технологии угледобычи. Предложенная структурная схема системы моделирования представлена на (рис.1.1).

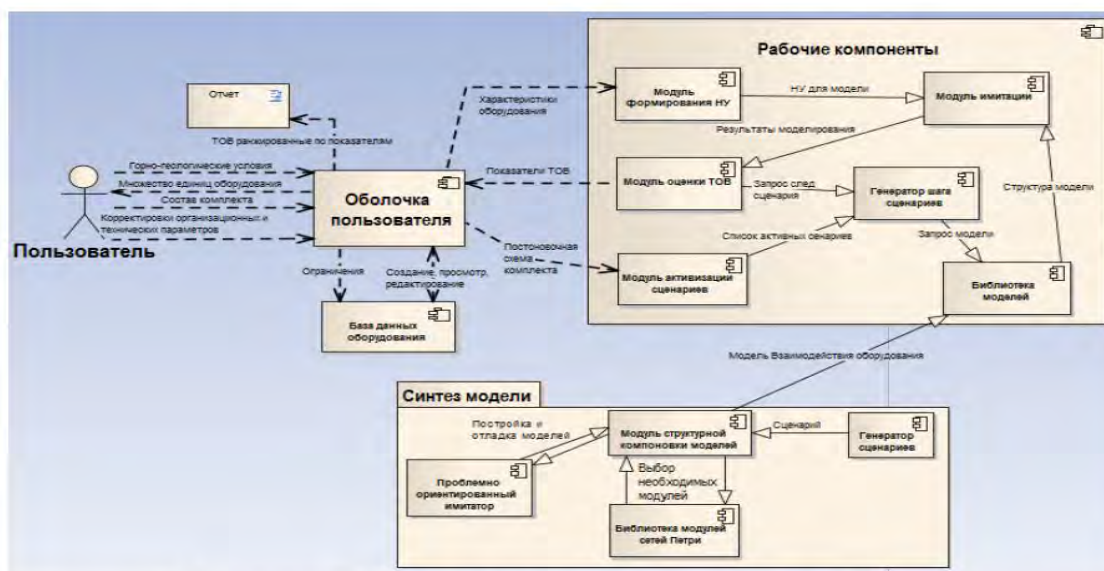


Рисунок 1.1 - Имитационная структурно-функциональная схема СИМОГР

В качестве исходных данных вводятся характеристики горно-геологических условий, на их базе в автоматизированном режиме формируется список выбранного горнодобывающего оборудования. Из него компонуется очистной механизированный комплекс со значениями основных временных характеристик. Затем активируется модуль активизации различных сценариев ведения очистных работ, в соответствии с которым формируется список альтернативных вариантов организации работ в очистном забое при выбранном горнодобывающем оборудовании, которые затем поочередно загружаются в модуль имитации. Затем модуль формирования комплекса начальных условий формирует все параметры для каждого варианта имитационной модели. В модуле оценки альтернативных вариантов производится расчет среднецикловой производительности очистного комплекса с формированием итогового отчёта, где представлены

результаты ранжирования вариантов очистного оборудования по убыванию их производительности.

В работе **«ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРНОЙ ДОБЫЧИ В ПОДЗЕМНОМ КАЛИЙНОМ РУДНИКЕ»** авторами В.Е Черненко и А.А.Малыхановым предложена имитационная модель добычи руды в подземном калийном руднике. Главной целью ее создания являлось обеспечение максимальной производительности при заданной последовательности выполнения производственных процессов и операций. Моделируются процессы извлечения руды из очистных камер комбайнами, транспортирования руды самоходными вагонами к рудоспускам, транспортировка руды по системе конвейеров до скипового подъемника, цикл горно-подготовительных работ и вспомогательных операций, ремонт оборудования и др.

ИМ была разработана с использованием многоподходной среды имитационного моделирования AnyLogic с моделированием непрерывных процессов на базе дискретно-событийного подхода. Процесс маршрутизации моделировался алгоритмически на взвешенных графах, а организационно-управленческие процессы моделировались с использованием динамических событий. Пример фрагмента моделируемой технологической системы приведен на рис. 1.2.

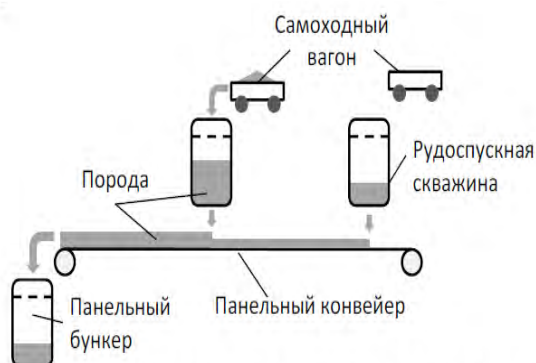


Рис. 1.2 – Фрагмент моделируемой технологической системы

В работе Конюха В., Давиденко В., Бекера Н., Кольцова С. предложена имитационная модель работы конвейерной линии ш. Распадская с учетом

случайных грузопотоков. Цель создания ИМ заключалась в выборе промежуточных бункеров и обосновании приемной способности конвейерной линии главного наклонного ствола. В ходе реализации модели оценивалась максимальная степень заполнения промежуточных бункеров и динамическая составляющая их заполнения при незапланированной остановке (рис.1.3). Оптимизировались время простоя конвейерной линии, скорость разгрузки промежуточных бункеров и расписание работы очистных забоев. При разработке имитационной модели были использованы специализированные языки программирования GPSS/H[□], Proof Animation[□] и имитатор сетей Петри NetStar 2.01.

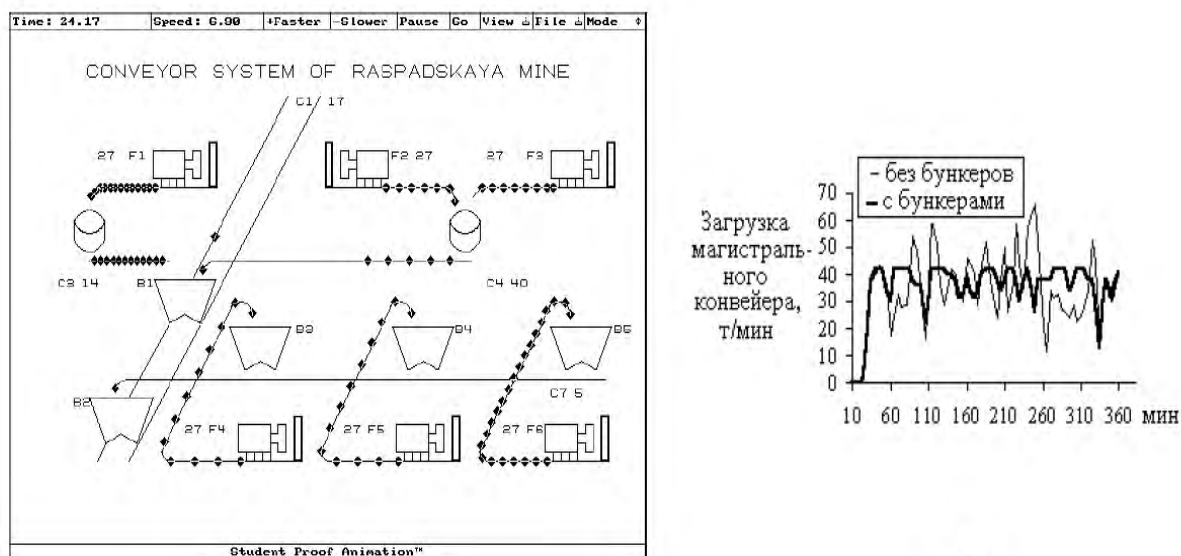


Рис. 1.3 – Графический фрагмент имитационной модели конвейерной сети ш.Распадская

В работе Конюха В.Л. предложена имитационная модель работы транспортной системы ш. Комсомолец, позволяющая осуществлять прогноз решений шахтного диспетчера в режиме ускоренного времени. Имитируется работа очистных забоев, транспорт угля, объем угля в промежуточных бункерах, движение локомотивов в соответствии с режимом работы светофоров. Оптимальное решение диспетчера связано с направлением поезда под бункер, степень заполнения которого максимальна (рис.1.4). При

разработке имитационной модели были использованы специализированные языки программирования GPSS/H^[1], Proof Animation^[2] и имитатор сетей Петри NetStar 2.01.

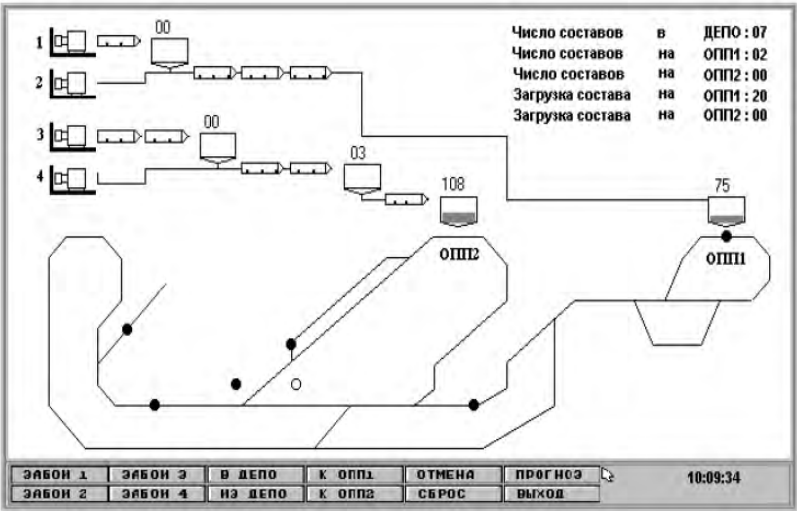


Рис.1.4 – Графический фрагмент имитационной модели конвейерно-локомотивной сети ш. Комсомолец

В работе Стургула Д. и Конюха В. Л. предложена имитационная модель разреза «Кедровский», позволяющая производить оценку степени использования экскаваторов и очереди задействования автосамосвалов с разной грузоподъемностью с учетом места погрузки и разгрузки при случайных сбоях времени очередного рейса и места погрузки (рис. 1.5). При разработке имитационной модели были использованы специализированные языки программирования GPSS/H^[1], Proof Animation^[2] и имитатор сетей Петри NetStar 2.01.

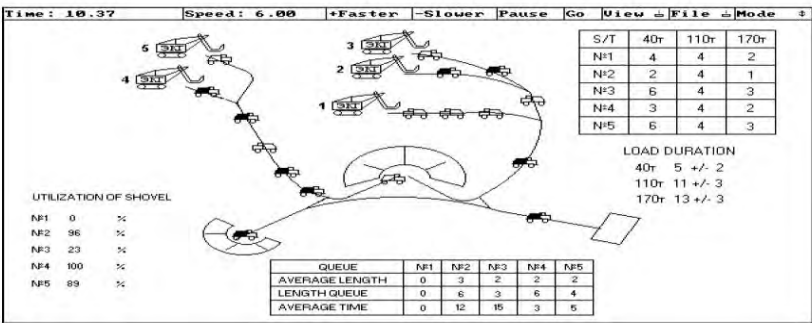


Рис.1.5 – Фрагмент имитационной модели разреза «Кедровский»

В работе Стургула Д. предложена имитационная модель производственных процессов и операций технологии ведения подготовительных работ с использованием комбайнового и буровзрывного способов (рис.1.6). Моделировалось и варьировалось продолжительность выполнения технологических операций, изменялась длина подготовительной выработки, емкость основных средств доставки горной массы. Оптимизировались продолжительность и трудоемкость проходческих работ, коэффициент использования проходческого оборудования. При разработке имитационной модели были использованы специализированные языки программирования GPSS/H[□], Proof Animation[□] и имитатор сетей Петри NetStar 2.01.

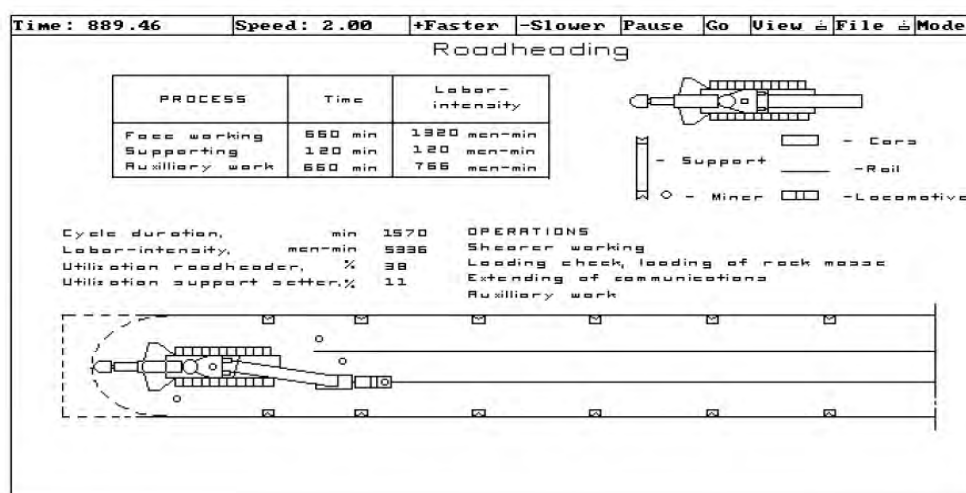


Рис.1.6 – Фрагмент имитационной модели проведения горной выработки

В работе Конюха В. и Давиденко В. предложена имитационная модель многозабойной технологии ведения горных работ, связанной с работой самоходных вагонов, которые обслуживают несколько забоев. Оптимизировалось соотношение самоходных вагонов и забоев для минимизации времени простоев (рис. 1.7). При разработке имитационной модели были использованы специализированные языки программирования GPSS/H[□], Proof Animation[□] и имитатор сетей Петри NetStar 2.01.

В области высокопрофессиональных программных продуктов можно отметить следующие.

МАЙНФРЭЙМ ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ 8.0

Метод имитационного моделирования позволяет моделировать в системе выемочные поля и комплекс подземных горных выработок с различными сечениями. Возможна реализация подсистемы формирования разрезов и профилей горных выработок. Модуль анализа горнотехнических условий эксплуатации позволяет определять оптимальные параметры производительности, потери и разубоживание полезного ископаемого, производить оценку использования различных альтернативных вариантов развития подземных горных работ, и в соответствии с этим осуществлять выбор необходимого горнодобывающего оборудования и регулировать величину нагрузки на очистной забой (рис.1.9).

Система «МАЙНФРЭЙМ ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ» также наделена возможностями обеспечения автоматизированной технологии обеспечения выполнения закладочных работ.

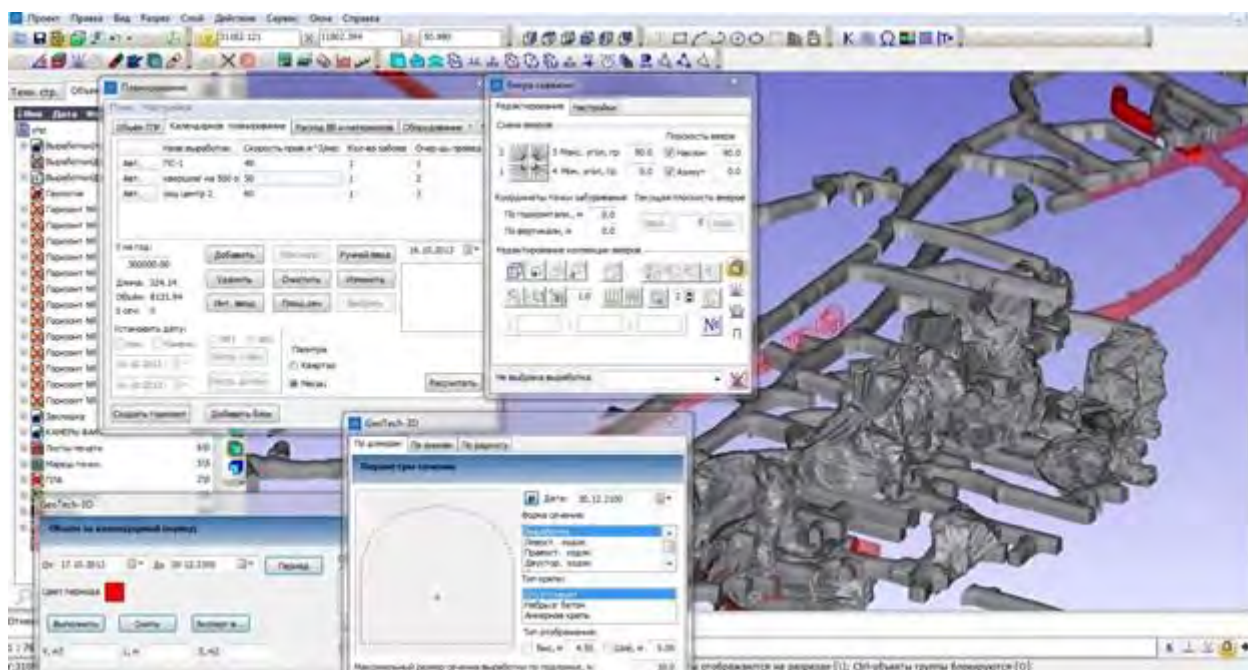


Рис. 1.9 - Фрагмент функциональных возможностей программы МАЙНФРЕЙМ при моделировании ведения подземных горных работ

Системе также доступен функционал вычисления объемных и качественных показателей рудных тел и выемочных полей, дифференцированных по различным геологическим телам. Модуль БВР позволяет создавать и редактировать модели массового взрыва с моделированием секции спроектированной системы вееров скважин.

SURPAC 2019

В представленной версии GEOVIA Surpac 2019 появился новый функционал "Оптимизация очистной выемки", который позволяет в автоматизированном режиме имитации создавать альтернативные варианты очистной выемки для различных способов подземной разработки месторождений полезных ископаемых. Система наделена новым пользовательским интерфейсом и более 30-ю усовершенствованных добавленных пользовательских функций, направленных на оптимизацию параметров (рис.1.10).

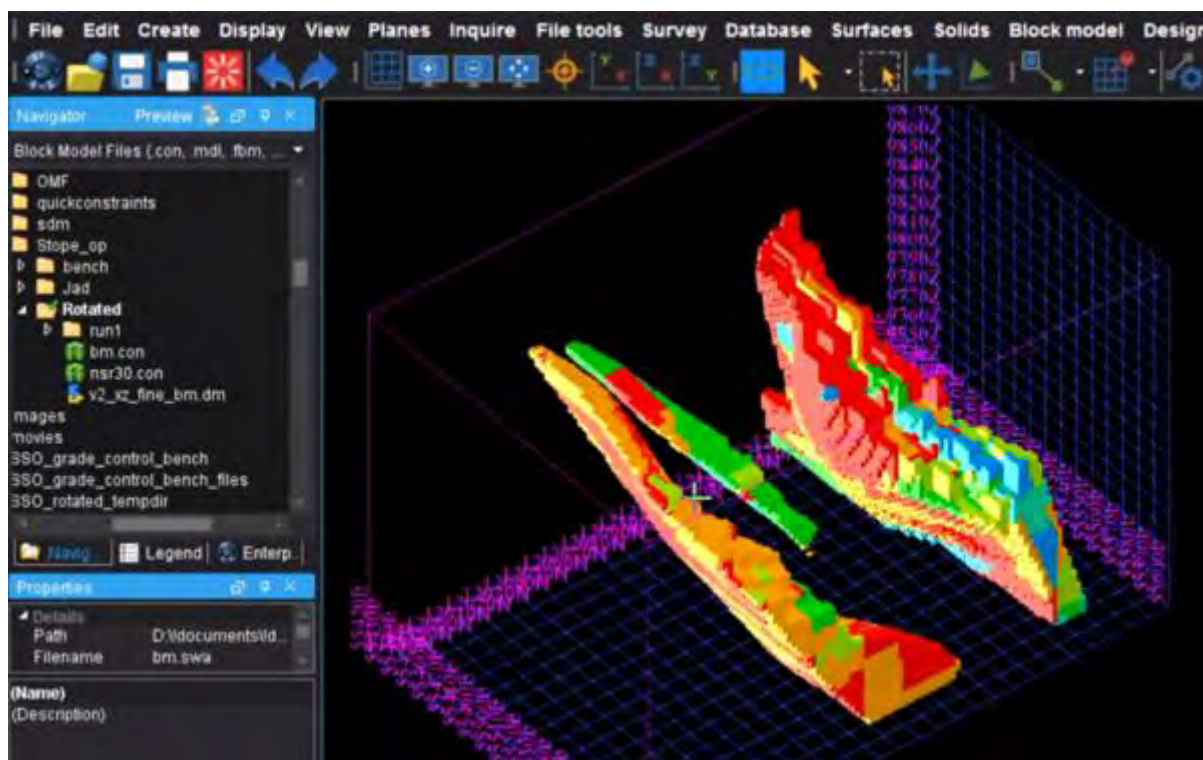


Рис.1.10 – Фрагмент имитационной модели GEOVIA Surpac 2019

DESWIK

Программное обеспечение Deswik имеет в своем функциональном назначении имитационный инструментарий, необходимый для проработки достаточного для оптимизации количества сценариев извлечения полезного ископаемого с целью снижения эксплуатационных издержек на основе диаграмм Ганта.

Deswik также используется для разработки планов развития горных работ во всех подсистемах горнодобывающей промышленности (добыча всех полезных ископаемых при помощи ОГР и ПГР), так как большинство модулей универсальны. Использование данного программного обеспечения позволяет заменить до восьми отдельных программных продуктов и интегрирована с источниками данных ГИС Datamine, Surpac, Vulkan, AutoCAD и т.д. (рис.1.11).

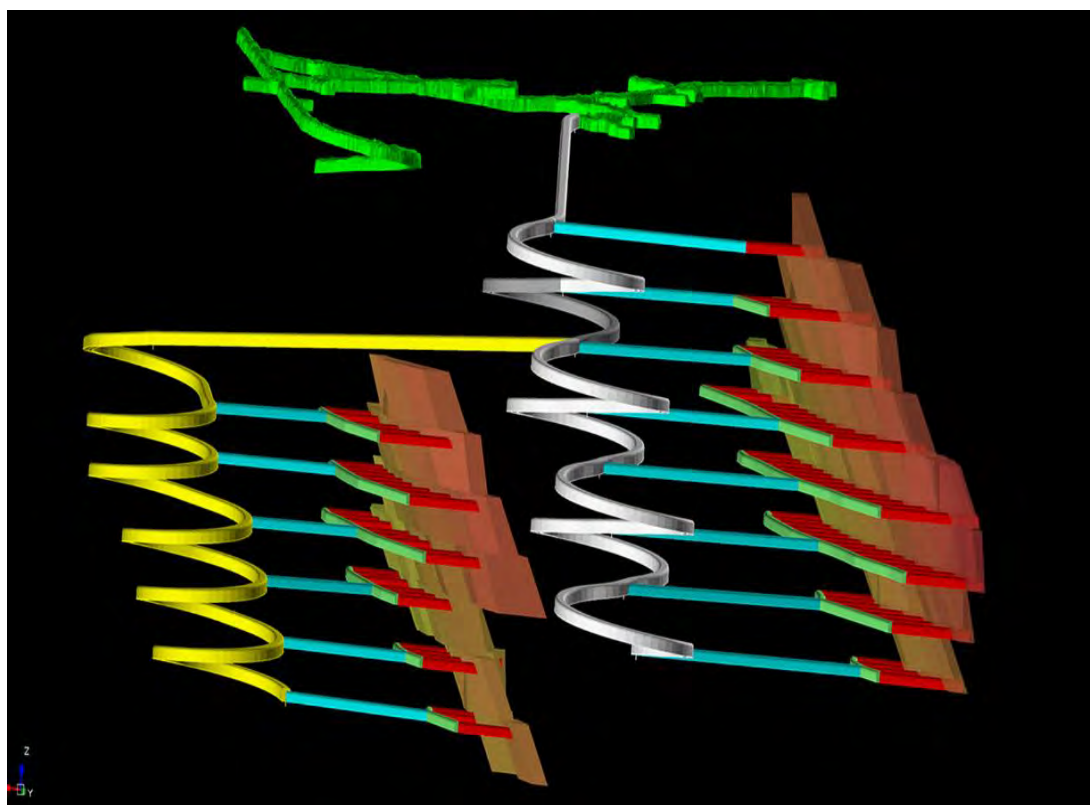


Рис. 1.11 – Фрагмент имитационной модели Deswik

По данным официального сайта «Национального общества имитационного моделирования» сейчас в мире насчитывается около 500 программных продуктов. Обобщающая информация и сравнительная характеристика наиболее популярных современных систем имитационного моделирования представлена в таблице 1.3.

Для оценки возможностей использования прикладных аспектов пакетов имитационного моделирования необходимо учитывать следующие составляющие: простота разработки и архитектурное исполнение 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.

Таблица 1.3 - Сравнение пакетов имитационного моделирования

Система	Производитель	Приложения	Графическая конструкция ИМ	Программирование моделей
EXTEND	Imagine That, Inc. Сан-Хосе, шт. Калифорния	Стратегическое планирование, бизнес моделирование	Компоновочные блоки, дискретное и непрерывное моделирование	+ Язык программирования Modl
ITHINK	High Performance System, Inc Ганновер, шт. Нью-Хэмпшир	Управление финансовыми потоками, реинжиниринг предприятий	CASE-средства, потоковые диаграммы	-
VENSIM	Ventana Systems	Модели системной динамики	Потоковые диаграммы	-
POWERSIM	Powersim Co Берген, Норвегия	Непрерывное моделирование	Потоковые диаграммы	+
PILGRIM	МЭСИ, Россия	Модели динамических систем	CASE-средства, компоновочные блоки	+ Язык программирования C++
PROCESS CHARTER	Scitor Менло-Парк,	Дискретное моделирование	Блок-схемы	-

	шт. Калифорния			
ANYLOGIC	Санкт-Петербург, Россия	Системная динамика Дискретно-событийное моделирование; Агентное моделирование	Платформа Eclipse Каталог шаблонов	+ Язык программирования Java
DELMIA	Dassault Systemes, Франция	ППР-модели данных	Интерактивные производственные приложения для электронно-цифрового предприятия	+
TECHNOMATICS PLANT SIMULATION	-	Объектно-ориентированное программирование	Потоковые диаграммы	+ Язык программирования SimTalk
ARENA	Rockwell Automation	Дискретное моделирование	Потоковые диаграммы	+ SIMAN
AGNES (AGENT NETWORK SIMULATOR)	Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Россия	Дискретное моделирование	Кросс-платформа	+ Язык программирования Java
AWESIM	Symix Systems Inc., США	Дискретное и непрерывное моделирование	Сетевые модели	+ C/C++ или Visual Basic
FLEXSIM	FlexSim Software Products Inc. (FSP), Orem, Юта, США	Дискретное и непрерывное моделирование	Симуляционные и графические библиотеки	+ C++
GPSS WORLD	Minuteman Software Corp., США	Дискретное и непрерывное моделирование	GP55-программы	+ Plus
MTSS (MANUFACTURING AND TRANSPORTATION SIMULATION SYSTEM)	Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН, Россия	Дискретное и непрерывное моделирование	Предметные библиотеки элементарных программ	+ Язык программирования Java
MVSTUDIUM	Санкт-Петербург, Россия	Дискретное, непрерывное и гибридное моделирование	Модели с математическим уровнем абстракции	+ Язык программирования Java
SIMSCRIPT III	CACI Advanced Simulation Lab, Сан-Диего,	Дискретное и непрерывное моделирование	Специализированные библиотеки,	+ Язык программирования

	Канада		базы данных и пакеты, подобные <i>HLA RTI (High Level Architecture Run-Time Infrastructure)</i>	Java, C/C ⁺⁺
RDO-STUDIO	МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия	Объектно-ориентированное моделирование	Интеллектуальная интегрированная среда имитационного моделирования	- РДО

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.

1.2. Концептуальные подходы к имитационному моделированию

Основные методы имитационного моделирования. Различают 3 основных вида имитационного моделирования [104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130].

1. Дискретно-событийное моделирование ([англ. discrete-event simulation, DES](#)). В данной среде функционирование моделируемой технологической системы представляется в виде хронологической последовательности событий. Реализация каждого события характеризуется определенным промежутком времени и характеризует изменение состояния технологической системы.

В качестве основных компонентов среды дискретно-событийного моделирования заявляются переменные, отражающие состояние технологической системы, и переменные логики, отражающие суть происходящего, как реакция на какое-то событие. Кроме этого, не менее важными являются часы, список событий, генераторы случайных чисел (при этом стохастические дискретно-событийные модели отличаются от моделей Монте-Карло наличием компонента «часы»), статистика, условия завершения, реализация.

Системы дискретно-событийного моделирования реализуются, в основном, в среде проблемно-ориентированных языков программирования или с привлечением библиотеки для высокоуровневых языков ([GPSS](#), Arena, SIMSCRIPT, [AnyLogic](#), SIMAN, SLAM, AweSim). Процессное моделирование используется, в основном, на уровне низкой и средней абстракции (каждый входящий в систему объект проходит индивидуальный процесс моделирования с игнорированием большого числа составляющих физического уровня).

2. Агентное моделирование. Агентное моделирование ([англ. agent-based model \(ABM\)](#)) исследует поведение так называемых децентрализованных агентов технологической системы и влияние их поведения на поведение всей технологической системы в целом. При этом

определяется поведение всех агентов на индивидуальном уровне, а общее поведение формируется исходя из деятельности всего множества агентов.

В качестве составных компонентов агентного моделирования заявляются элементы теории игр, клеточные автоматы, элементы мультиагентных систем, сложных систем и эволюционного программирования, метод Монте-Карло, использующие случайные числа, позволяющих производить симуляцию реальных процессов.

В основе агент-ориентированного моделирования лежат три основных постулата:

- постулат объектной ориентированности;
- постулат эволюции агентов ;
- постулат сложности вычислений.

В качестве доминирующего методологического подхода заявлен тот, при реализации которого соблюдается равновесие (псевдоравновесие) системы (множество агентов).

Агенты характеризуется следующими основными свойствами:

- *интеллектуальность,*
- *наличие жизненной цели.*

Идеальным моментом реализации АОМ являются процедуры идентификации критических моментов времени, после наступления которых стратегические последствия негативного характера имеют необратимый характер.

Программным обеспечением АОМ являются приложения NetLogo, StarLogo, Swarm с языком программирования Objective-C , MASON, Repast (используется Java), EcoLab (используется C++), Cormas (используется SmallTalk).

3. Системная динамика. Системная динамика – способ моделирования для изучения сложных технологических систем, позволяющий исследовать их поведение во временном тренде и определить зависимости от структуры элементов системы с учетом взаимодействия между ними.

Учету подлежат: причинно-следственные связи, петли обратных связей, задержки реакции, влияние среды и др.

Создателем и датой создания системной динамики принято считать Джея Форрестера из МТИ (середина 1950-х годов). В 1958 году Ричард Беннет разработал SIMPLE (Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations), первый язык моделирования системной динамики, а в 1959 году Филлис Фокс и Александр Пух разработали улучшенную версию SIMPLE (DYNAMO (DYNAmic MOdels)).

Системно-динамическая модель состоит из следующих типов абстрактных элементов:

- *Первый элемент – уровни*, которые обозначают накопленные значения величин внутри технологической системы (уровни осведомленности, уровни удовлетворения, оптимизма и негативных ожиданий и т.д.). – представляют значения всех переменных, сьаккумуляированных в результате учета разности между входящими и исходящими потоками. На диаграммах системно-динамической модели отображаются в виде прямоугольников.
- *Второй элемент – потоки*, которые обозначают скорости изменения уровней (материалов, оборудования, информации). На диаграммах системно-динамической модели отображаются сплошными стрелками.
- *Третий элемент – вентили (функции решений)*, - представляют функции зависимости потоков от уровней (простые и сложные уравнения). На диаграммах системно-динамической модели отображаются двумя треугольниками в виде бабочки.
- *Четвертый элемент - каналы информации*, - представляют соединения вентилях с уровнями. На диаграммах системно-динамической модели отображаются штриховыми стрелками.
- *Пятый элемент - запаздывания (линии задержки)*, - представляют имитацию задержки потоков (среднее запаздывание и тип

неустановившейся реакции, - динамический отклик элемента на изменение входного сигнала).

- *Шестой элемент - вспомогательные переменные*, дислоцируются в каналах информации, отображают уровни и функции решений. На диаграммах системно-динамической модели отображаются кружком.

С учетом этих типов абстрактных элементов любая сложная динамическая система может быть формально описана множеством системно-динамических моделей. Следует отметить, что разброс числа переменных может составлять от 30 до 3000. Особое внимание уделяется таким аспектам системы, как:

- аспект временных зависимостей,
- аспект усиления,
- аспект искажения информации.

В обязательном порядке необходимо учитывать тот факт, что при построении модели все переменные, характеризующие ее, должны по своей структуре соответствовать переменным моделируемой системы и иметь одинаковые единицы измерения при этом сама системно-динамическая модель может быть и неустойчивой.

Таким образом, системная динамика – это один из подходов имитационного моделирования, при наличии своих методов и инструментов позволяющий понять функциональную структуру и динамику изменения сложных технологических систем, что предопределяет ее использование в стратегических долгосрочных моделях с высоким уровнем абстракции. Она имеет прерогативу при моделировании непрерывных во времени процессов и обладает явными преимуществами перед дискретно-событийным и агентным методами, но в силу очевидных ограничений иногда оптимальным выступает сочетание всех способов моделирования в рамках решения одной задачи.

Далее представлена сравнительная таблица способов имитационного моделирования (см. таблицу 1.4), причем уровень детализации моделей напрямую показывает масштабность всех объектов моделируемой

технологической системы. На рис.1.12 – представлено сопоставление способов имитационного моделирования. Для реализации агентного и системно-динамического методов в качестве объектов моделирования и исследований рационально привлекать масштабные полноценные системы, а для реализации дискретно-событийного - системы мелкого и среднего масштабов. В таблице для каждого способа представлены наиболее подходящие варианты реализации с подходящими наборами инструментов).

Таблица 1.4 - Сравнительная характеристика способов имитационного моделирования

Метод	Дискретно-событийное моделирование	Агентное моделирование	Системная динамика
Уровень детализации	Низкий, Средний	Низкий, Средний, Высокий	Средний, Высокий
Основные величины	Дискретные	Дискретные	Непрерывные
Область применения	Производство, Логистика, Цепочки поставок, Дорожное движение, Обслуживание клиентов	Рынок и конкуренция, боевые действия, Уличное движение, Поведение людей и животных	Рынок и конкуренция, Полноценные системы
Инструменты	GPSS, SYMULA, Arena, AutoMod, Enterprise Dynamics, FlexSim, SLAM, AnyLogic	NetLogo, Swarm, Repast, ASCAPE, StarLogo, AnyLogic	VenSim, PowerSim, iSink, AnyLogic

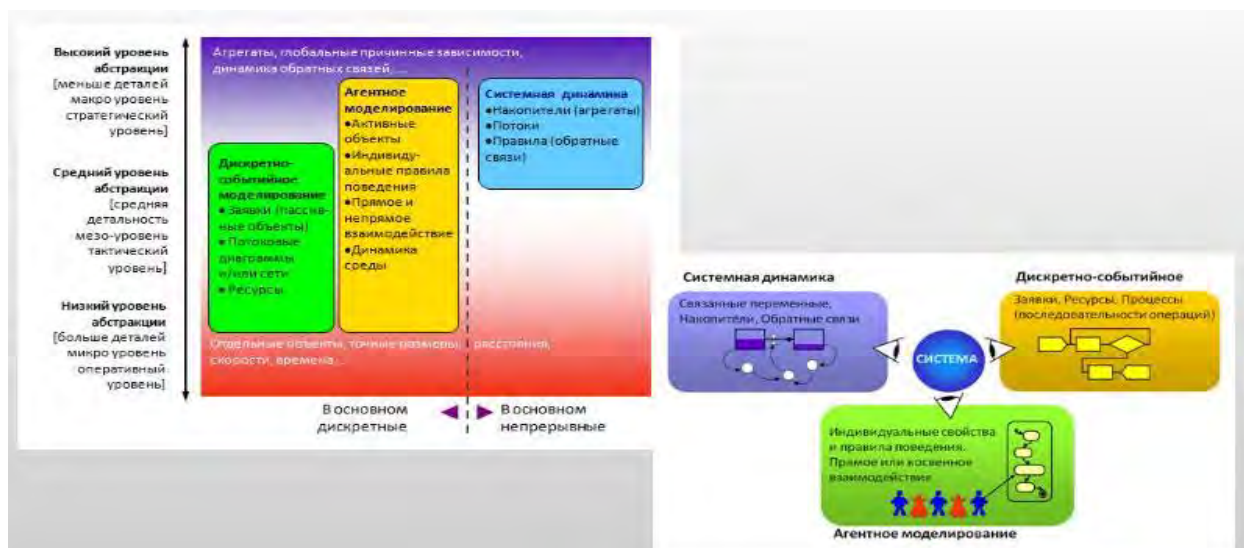


Рис. 1.12 – Сопоставление способов имитационного моделирования

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.

Вопросы стратегического планирования и долгосрочного стратегического развития горнодобывающих предприятий с динамической реконфигурацией, обеспечения устойчивого их функционирования в условиях турбулентности внешней и внутренней сред и с учетом организационных изменений, внедрения современных оптимальных логистических концепций и технологий: - такой спектр разноплановых организационных, технических и технологических задач стратегического характера предстоит решать проектировщикам и технологам, стремящимся к формированию и достижению конкурентных преимуществ в условиях динамичных рыночных изменений.

В рамках решаемой задачи отдельно следует отметить принцип интеграции в подсистеме управления логистическими цепями подземного рудника, что требует минимизации суммарных логистических издержек при учете противоречивых целей, что обосновывает необходимость привлечения многокритериальных оптимизационных процедур с заданием целевых ориентиров и эвристических методик. Главной особенностью подобного рода задач в логистике является присутствие параметров, формирующих случайные продолжительности логистических операций.

1.3. Цель, идея и задачи исследований

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

Идея работы состоит в максимальном учёте стохастического характера погрузочно-транспортных процессов внутришахтного транспорта и

использовании имитационного моделирования для их описания и оптимизации.

Поставленная цель определяет следующие основные **задачи работы**:

1. Провести анализ и сравнительную оценку теоретических и практических исследований в области существующих методов диспетчеризации рудничного внутришахтного автотранспорта для выявления перспективных направлений их совершенствования.
2. Разработать оптимальную диспетчерскую модель внутришахтного рудничного транспорта на основе анализа существующих методов диспетчеризации.
3. Разработать имитационную модель и алгоритм оптимизации распределения погрузочно-доставочных машин и шахтных автосамосвалов на оптимальном уровне диспетчерской модели, и создать на их базе программный комплекс.
4. Произвести апробацию и верификацию программного комплекса и оценить влияние корректировочных решений на эксплуатационную производительность внутришахтного транспорта рудника.

ВЫВОДЫ

1. Сложившиеся макроэкономические условия и отдельные составляющие условий функционирования горнодобывающих предприятий с колоссальнейшим диапазоном изменения горно-геологических и горнотехнических условий залегания пластов и рудных тел, огромной капиталоемкостью и материалоемкостью добычи полезных ископаемых на базе альтернативных вариантов организационных, технологических и технических решений предопределяют выбор и обоснование оптимальных проектных решений с использованием программных продуктов горного назначения. Только на базе использования имитационного моделирования горных работ можно свести к минимуму риск принятия неправильных решений в области проектирования и развития предприятий горнодобывающей отрасли.

2. 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;
- обеспечивают оптимальную среду для создания моделей на базе основных адаптивных моделирующих конструкций, что обеспечивает возможность их модификации и трансформации;
- имеют в наличии более совершенные процедуры выявления и обнаружения системных ошибок, поскольку они автоматизированы. Таким образом минимизируется риск принятия неправильных и неоптимальных решений.

ГЛАВА 2. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

2.1. Объекты моделируемой предметной области

РОН-гlossарий, основные термины и обозначения, сокращения, принятые в работе приведены в Приложении.

Основные предположения, принимаемые при моделировании

- 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) Не рассматриваются горно-подготовительные работы (ГПР) не связанные с добычей руды. Например, проходка полевых штреков.

Шахтное поле

Рудник

Рудник содержит все данные, относящиеся к моделируемому руднику в целом. Рудник не содержит информации о каком-либо оборудовании или внутренней структуре шахтного поля.

Рудник обладает набором свойств, представленных в таблице 2.1 Приложения.

Уровень

Уровень соответствует горизонту во внутренней структуре рудника. Уровень обладает набором свойств, указанным в таблице 2.2 Приложения.

Сценарий

Сценарий является контейнером для транспортных средств, оборудования, структуры шахтного поля, а также других объектов. Сценарий обладает набором свойств, указанным в таблице 2.3 Приложения.

Эксперимент

Каждый сценарий может содержать один или несколько экспериментов. Каждый эксперимент работает со списком оборудования, определенным для сценария, и содержит список расписаний и задач по управлению оборудованием. Эксперимент содержит всю информацию, необходимую для проведения имитационного эксперимента. Эксперимент обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.4 Приложения.

Участок

Участок – множество сегментов выработки, используемое для указания возможных мест работы ПДМ, ШАС и СБУ. Участок обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.5 Приложения.

Сегмент выработки

Сегмент выработки – базовый элемент моделируемой транспортной сети шахтного поля, по которому передвигаются СБУ, ПДМ и ШАС. Сегмент выработки задается ломаной линией в трехмерном пространстве. Сегмент выработки обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.6 Приложения.

Узел шахтного поля

Узлы шахтного поля – технические сущности, являющиеся точками соединения сегментов выработки или точками их начала/окончания. Необходимы для поддержания связности графа путей по сегментам выработки. Узлы шахтного поля обладают набором свойств, приведенным в таблице 2.7 Приложения.

Маршрут

Маршрут является объединением одного или нескольких сегментов шахтного поля и используется для более удобного задания маршрутов следования транспортных средств. Маршрут обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.8 Приложения.

Транспортные средства

Погрузочно-доставочная машина

Погрузочно-доставочная машина используется для погрузки добытой руды и доставки ее к рудоспускам или загрузки руды в шахтные самосвалы. ПДМ обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.9 Приложения.

Шахтный автосамосвал (ШАС)

Шахтный автосамосвал используется для доставки добытой руды от ПДМ к бункерам. ШАС обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.10 Приложения.

Самоходная буровая установка

Самоходная буровая установка используется для выполнения работ по подготовке сегмента выработки к взрывным работам - бурение шпуров для зарядов. СБУ обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.11 Приложения.

Подземный поезд

Подземный поезд объединяет в себе свойства подземного локомотива и вагонеток, используемых для транспортировки руды между бункерами. Может передвигаться только по сегментам шахтного рельсового пути. Подземный поезд обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.12 Приложения.

Оборудование

Подъемная машина

Подъемная машина – это оборудование, обеспечивающее подъем руды из бункера на поверхность земли. Подъемные машины используют скипы в качестве транспортировочной емкости для подъема руды на поверхность. Подъемная машина использует пару скипов. В процессе подъема руды поочередно выполняется загрузка руды в один скип и его транспортировка вверх. Во время подъема одного скипа другой скип опускается. Подъемная машина обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.13 Приложения.

На некоторых рудниках для подъема руды может применяться клетевой подъемник (таблица 2.14 Приложения).

Рудоспуск

Рудоспуск – часть транспортной системы рудника. Рудоспуск предназначен для транспортировки руды под собственным весом с горизонта подсечки, на расположенный ниже транспортный горизонт ВШТ. Рудоспуск представляет собой объем, заполняемый рудой, для дальнейшей погрузки в вагонетки либо пересыпки руды на нижний уровень. Рудоспуск обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.15 Приложения.

Бункер

Бункер – часть транспортной системы рудника. Бункер обеспечивает попадание руды в бункерно-конвейерную систему рудника. Бункер обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.16 Приложения.

Конвейер

Конвейер – механизм, обеспечивающий непрерывную транспортировку руды по горной выработке. Руда поступает на конвейер в точках погрузки из рудоспуска и транспортируется с установленной скоростью к конечной точке. Конвейер состоит из набора сегментов конвейера. Конвейер обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.17 Приложения.

Сегмент конвейера

Конвейер может состоять из одного или нескольких сегментов. Сегмент конвейера – часть конвейера, соединяющая два бункера. Сегмент конвейера обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.18 Приложения.

Сегмент шахтного рельсового пути

Сегмент шахтного рельсового пути – участок рельсового пути, по которому возможно движение подземных поездов. Сегмент шахтного рельсового пути обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.19 Приложения.

Узел шахтного рельсового пути

Узлы шахтного рельсового пути – технические сущности, являющиеся точками соединения сегментов шахтного рельсового пути или точками их начала/окончания. Необходимы для поддержания связности графа рельсовых путей. Узлы шахтного рельсового пути обладают набором свойств, приведенным в таблице 2.20 Приложения.

Вагоноопрокидыватель

Вагоноопрокидыватель – единица оборудования, предназначенная для разгрузки вагонов путем опрокидывания. Оборудование, расположенное под вагоноопрокидывателем (виброгрохот, дробилка и бункер), моделируются

одним бункером. Вагоноопрокидыватель обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.21 Приложения.

Донная разгрузка

Донная разгрузка – часть транспортной системы рудника, предназначенная для разгрузки вагонеток и транспортировки руды под собственным весом с горизонта железнодорожной откатки на оборудование, расположенное ниже (виброгрохот, дробилка и бункер подъемной машины скипа). Донная разгрузка, в частности, применяется на руднике «Северный».

Объект транспортной системы «Донная разгрузка» обладает набором свойств, приведенным в таблице 2.22 Приложения.

2.2. Концептуальное описание системы имитационного моделирования и имитационных моделей

Система имитационного моделирования (СИМ)

В этом параграфе 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 [131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169].

Описание работ по этапам и результаты работ по проекту приведены в таблицах 2.23 и 2.24 Приложения.

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.

Цель и задачи СИМ

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.

ИМ подлежат процедурам верификации, калибровки и после выполнения данных этапов, на этапе внедрения устанавливаются на объектах вместе с СИМ.

Концептуальная схема работы СИМ

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 2.1 приведена концептуальная схема работы системы имитационного моделирования на горизонте планирования год. На рисунке 2.2 соответственно – на декаду, сутки.



Рисунок 2.1 – Концептуальная схема системы имитационного моделирования, при горизонте планирования 1 год



Рисунок 2.2 – Концептуальная схема системы имитационного моделирования, при горизонте планирования декада

Пользовательское приложение СИМ

Пользовательское приложение СИМ – Java-приложение, содержащее основную логику СИМ и устанавливаемое на рабочем месте пользователя. Приложение разработано на основе платформы Eclipse RCP. Пользовательский интерфейс приложения основан на библиотеках JFace/SWT. Приложение обращается к базе данных и предоставляет пользователю следующие возможности:

- Управление сценариями – создание, просмотр и удаление сценариев, а также разграничение прав доступа к отдельным элементам сценария в зависимости от полномочий пользователя.
- Редактирование сценариев – просмотр, изменение и дополнение сценариев. Импорт данных об оборудовании и геометрии шахтного поля из внешних информационных систем.
- Проведение имитационных экспериментов – запуск имитационного моделирование и просмотр интерактивной анимации, показывающей ход имитационных экспериментов.
- Просмотр и экспорт результатов моделирования во внешние информационные системы.

Все взаимодействие пользователей с СИМ осуществляется при помощи пользовательского приложения, прямой доступ к базе данных СИМ не предусмотрен. Частью пользовательского интерфейса является графический редактор, позволяющий просматривать и редактировать эксперименты в графическом режиме.

Взаимодействие с другими информационными системами

Пользователь СИМ имеет возможность импортировать из внешних информационных систем, в том числе ГГИС следующую информацию:

Данные о геометрии планируемых выработок и их горно-геологические параметры: качественный состав руды, плотность породы, сложность выработки, плановые показатели объемов руды.

Данные о контурах выработок для формирования графического изображения карты выработки.

Данные о составе и характеристиках оборудования СДО, а также конвейерах и бункерах, обеспечивающих перемещение руды по шахтному полю.

Обмен данными с внешними системами реализуется с помощью web-сервисов. Использование web-сервисов позволяет унифицировать формат обмена данными и обеспечить независимость СИМ от изменений внешних информационных систем.

При импорте данных в СИМ из внешних систем данные сначала загружаются в пользовательское приложение СИМ, в котором производится проверка корректности и целостности загружаемых данных и сохранение их в базе данных СИМ.

Выполнение моделирования

Выполнение имитационного эксперимента – основной процесс СИМ, схема которого показана на рисунке 2.3.

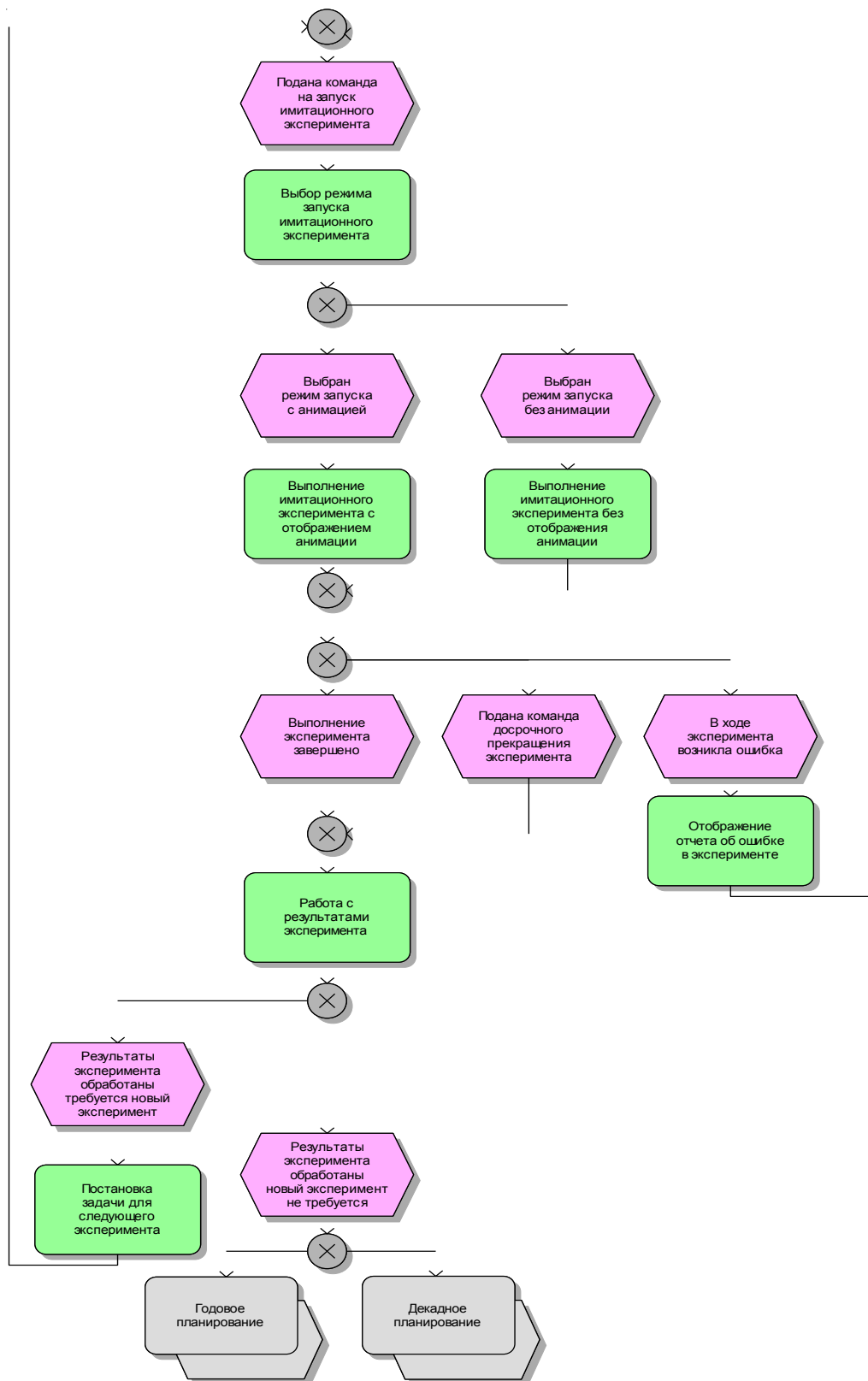


Рисунок 2.3 - Схема процесса выполнения имитационного эксперимента

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.

Требования к СИМ и условия функционирования системы

Системные требования

Для функционирования базы данных СИМ необходима установленная на сервере СУБД.

Компьютер, используемый для запуска пользовательского приложения СИМ, должен соответствовать следующим минимальным системным требованиям:

- операционная система Windows XP, Windows Vista, Windows 7 или Windows 8;

- 64-х битная операционная система;

- установленное программное обеспечение MS Office 2007 (в частности, приложение MS Excel) или более новой версии;

- установленное программное обеспечение Java 8 JRE.

Программное обеспечение Java 8 JRE является платформой, необходимой для запуска и исполнения моделей и не является самостоятельным исполняемым приложением. Данное программное обеспечение распространяется бесплатно и не требует специального лицензирования, производитель данного ПО – компания Oracle. ПО Java 8 JRE устанавливается из дистрибутива, который можно загрузить на сайте компании Oracle.

Для изменения алгоритмов, добавления новых логик в систему имитационного моделирования, необходимо программное обеспечение AnyLogic Professional v 7.2.

Технические требования

Компьютер, используемый для запуска пользовательского приложения СИМ, должен соответствовать следующим минимальным техническим требованиям:

- процессор с тактовой частотой 1,5 ГГц и выше;
- 2 Гб оперативной памяти;
- 6 Гб свободного дискового пространства.

Рекомендуемые технические требования:

✓ Наличие твердотельного (SSD) – накопителя. Существенно ускоряет процесс проведения экспериментов на модели.

✓ Процессор уровня Intel Core i7. Использование более мощных процессоров, с большим количеством ядер, типа Xeon не придадут значительного увеличения производительности расчета, но существенно отличаются по стоимости.

✓ Оперативная память – от 8 Гб.

2.3 Описание функционала планирования горных работ в системе имитационного моделирования рудников

Исходные данные по плановым выработкам

Система ИМ обеспечивает возможность моделирования работы рудника на следующих горизонтах:

- 3 года;
- год;
- квартал;
- месяц;
- декада.

В качестве целевых горизонтов верификации планов определены периоды: год и декада. Основная цель моделирования горного плана на год – расчет парка СДО, на декаду – оптимизация режимов работы рудника.

Для проведения экспериментов по верификации плана горных выработок и расчета требуемого парка СДО на год пользователям системы (Оператору СИМ и Планировщику СИМ) необходимо иметь следующие исходные данные по плановым выработкам:

- Актуальная осевая модель горных выработок;
- Позабойный план горных работ по руднику на год в графическом виде (рисунок 2.4);

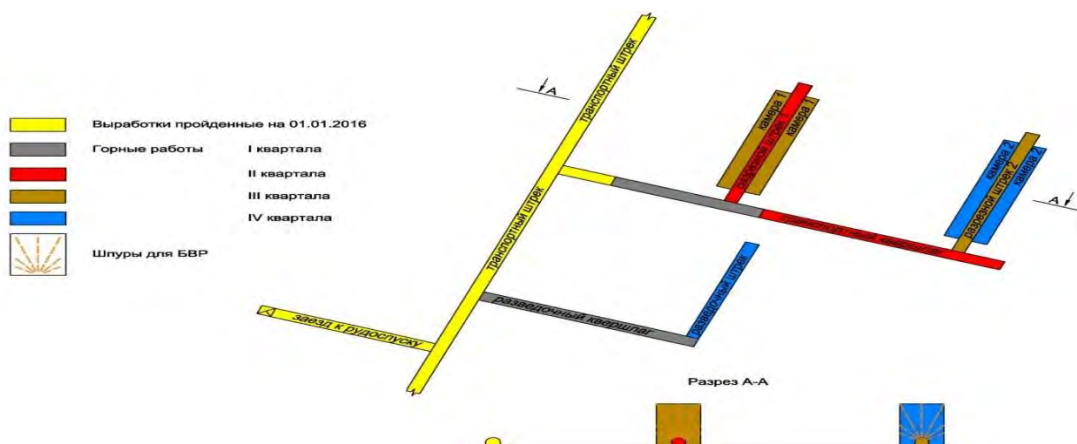


Рисунок 2.4 – Пример графического представления плана ведения горных работ

- Позабойный план в табличном виде с указанием погонных метров и объемов проходки (таблица 2.23).

Таблица 2.23 – Пример позабойного плана

Участок	Панель	Наименование выработок	Ед. изм.	год	в том числе по кварталам			
					I	II	III	IV
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Эксплуатационная проходка								
Участок 1	1	Разведочный квершлаг	п.м.	62	62			
			м ³	930	930			
	1	Разведочный штрек	п.м.	47				47
			м ³	705				705
Итого Эксплуатационная проходка			<i>п.м.</i>	<i>109</i>	<i>62</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>47</i>
			<i>м³</i>	<i>1635</i>	<i>930</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>705</i>
Подготовительная проходка								
Участок 1	1	Транспортный квершлаг	п.м.	117	43	74		
			м ³	1755	645	1110		
Итого Подготовительная проходка			<i>п.м.</i>	<i>117</i>	<i>43</i>	<i>74</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

			<i>м³</i>	<i>1755</i>	<i>645</i>	<i>1110</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Нарезная проходка								
Участок 1	1	Разрезной штрек 1	п.м.	58		58		
			м ³	870		870		
Участок 1	1	Разрезной штрек 2	п.м.	58			58	
			м ³	870			870	
Итого Нарезная проходка			<i>п.м.</i>	<i>116</i>	<i>0</i>	<i>58</i>	<i>58</i>	<i>0</i>
			<i>м³</i>	<i>1740</i>	<i>0</i>	<i>870</i>	<i>870</i>	<i>0</i>
Очистные работы								
Участок 1	1	Камера 1	п.м.	0			0	
			м ³	8000			8000	
Участок 1	1	Камера 2	п.м.	0				0
			м ³	8000				8000
Итого Очистные работы			<i>п.м.</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
			<i>м³</i>	<i>16000</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>8000</i>	<i>8000</i>
Всего по руднику			п.м.	342	105	132	58	47
			м ³	21130	1575	1980	8870	8705

Типы планируемых выработок

Все планируемые горные работы классифицируются на следующие группы:

1. Эксплуатационная проходка;
2. Подготовительная проходка;
3. Нарезная проходка;
4. Очистные работы.

Последовательность задания плановых выработок в системе

В первую очередь Оператор СИМ проверяет актуальность состояния горных работ. В систему должны быть заведены все пройденные выработки, актуальные на момент расчета.

Следующим шагом является задание в системе первых трех групп планируемых горных работ.

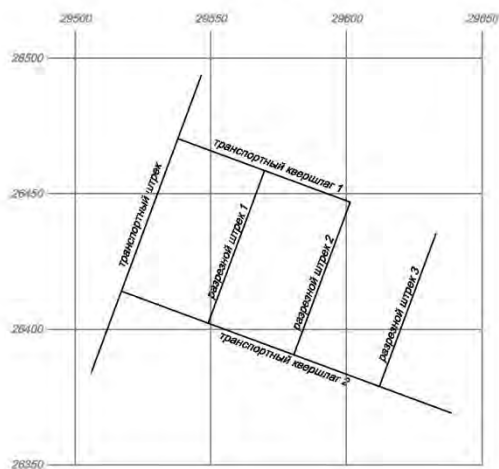
На вход поступает файл формата dxf с осями планируемых выработок. Для облегчения дальнейшей работы желательно поместить оси каждой выработки в отдельный слой, предварительно присвоив ему корректное название выработки. Далее оси планируемых выработок импортируются в систему.

Очистные работы задаются в последнюю очередь. Предлагается следующий способ задания очистных камер. Оператор вызывает команду «Создать камеру» и выбирает в графическом поле системы разрезные штреки, принадлежащие задаваемой камере. В соответствии с возможными вариантами типов системы разработки разрезной штрек может быть один, два или три. Пример реализации данной операции представлен на рисунках 2.5 и 2.6.

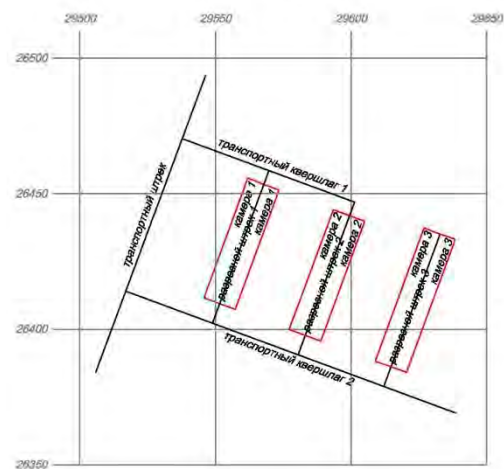
ДО СОЗДАНИЯ КАМЕРЫ

ПОСЛЕ СОЗДАНИЯ КАМЕРЫ

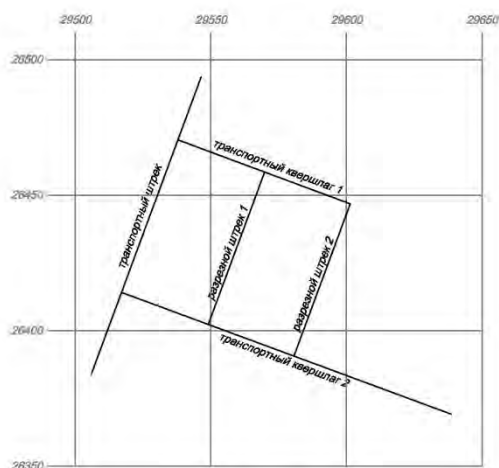
Горизонт 100



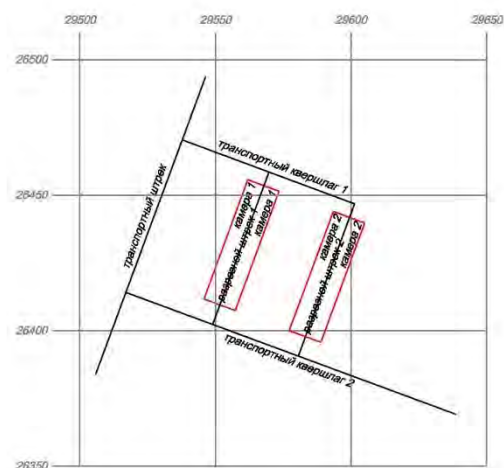
Горизонт 100



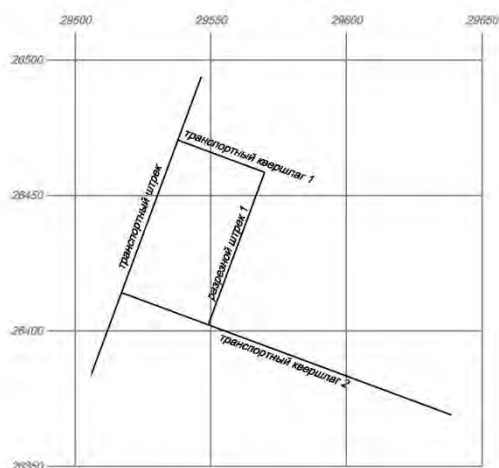
Горизонт 150



Горизонт 150



Горизонт 200



Горизонт 200

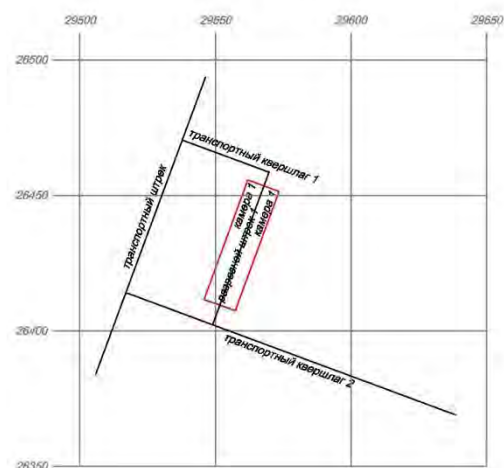


Рисунок 2.5 – Задание очистных работ в системе

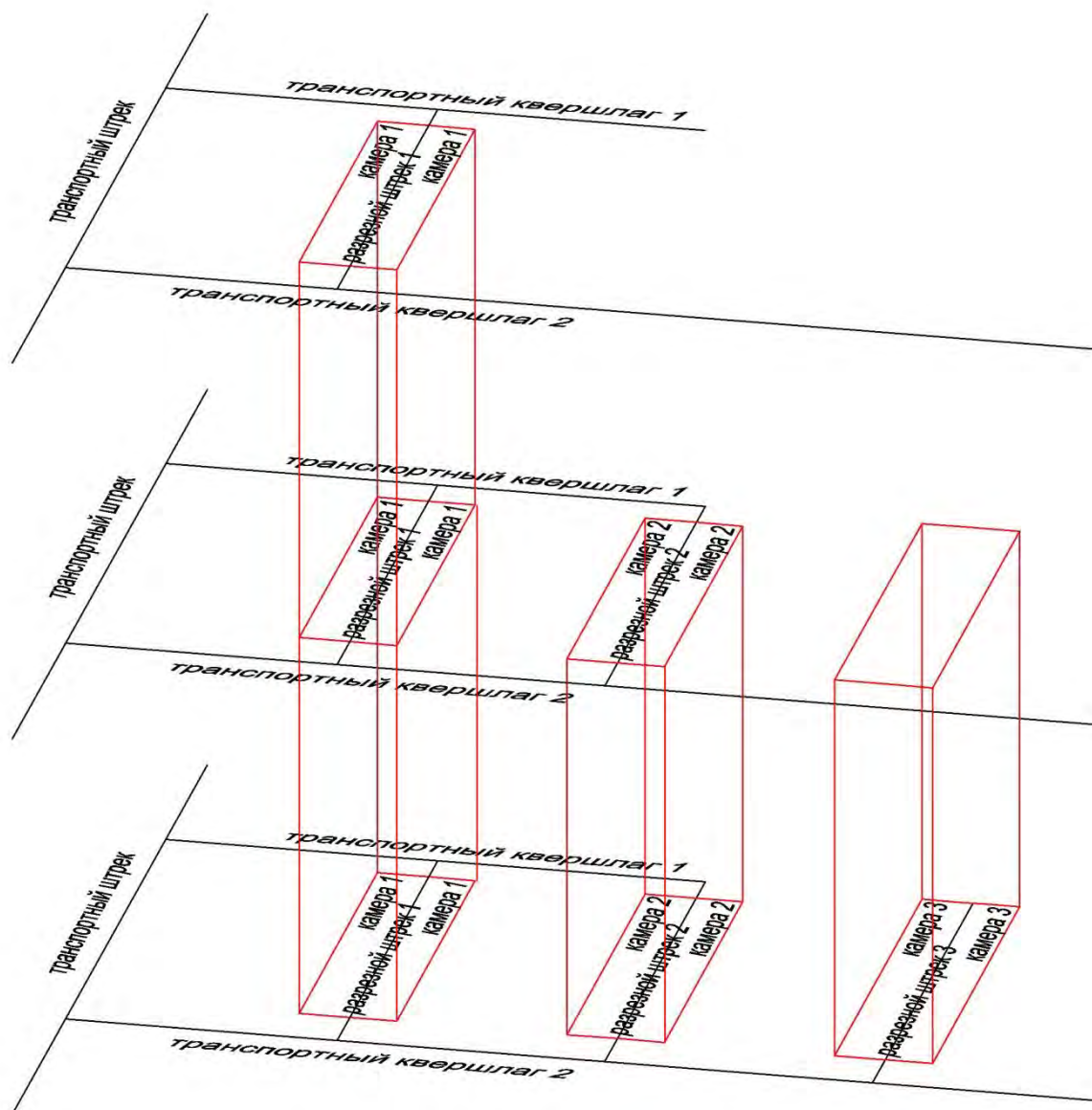


Рисунок 2.6 – Схематичное представление процесса определения камер в системе ИМ

После создания камеры система предлагает пользователю выбрать тип шаблона обустройства камеры для того, чтобы определить на каком разрезном штреке будет происходить бурение, а на каком откатка руды.

После того как все планируемые горные работы будут заведены в систему необходимо определить порядок отработки (таблица 2.24).

Таблица 2.24 – Задание порядка отработки

Квартал	Наименование горной выработки	Порядок отработки
I	Разведочный квершлаг	2
	Транспортный квершлаг	1
II	Транспортный квершлаг	4
	Разрезной штрек 1	3
III	Разрезной штрек 2	5
	Камера 1	6
IV	Разведочный штрек	7
	Камера 2	8

Задание параметров производственного цикла для плановых выработок

Для достижения целевых функций – верификации планов, и расчета количества необходимого парка СДО путем проведения расчетов на имитационной модели рудника, необходимо обеспечить функционал по заданию плановых выработок на год, или более длительные интервалы планирования.

На данных горизонтах планирования, отсутствуют локальные проекты, и соответственно отсутствуют точные данные по проходческой выработке или камере: пока еще не разработаны проекты с количеством вееров, или паспорта буровзрывных работ на очистные работы.

Таким образом, в системе имитационного моделирования предусмотрена возможность ввода и корректировки аналитических зависимостей, позволяющих укрупненно определить для выработки параметры производственного цикла, влияющие на последовательность ее отработки и временные затраты рабочих циклов оборудования, задействованного при ее отработке.

В разделе приведены решения, позволяющие определить параметры горных выработок, необходимые для проведения расчетов на имитационной модели.

Описание производственного цикла проходческих работ

При моделировании отработки плановых позиций в СИМ были реализован функционал определения/задания следующих типов проходки:

- Эксплуатационная проходка;
- Подготовительная проходка;
- Нарезная проходка.

В таблице 2.25 представлена последовательность выполнения производственного проходческих работ.

Таблица 2.25 – Последовательность производственного цикла для проходческих работ

№	Наименование ресурса	Наименование производственных циклов
1.	СБУ	Цикл бурения шпуров – основной цикл <i>Отсечка забоя</i>
2.	-	Заряжание шпуров
3.	-	Взрывные работы
4.	ПДМ (ПДМ и ШАС)	Цикл работы ПДМ по отгрузке горной массы
5.		Цикл бурения шпуров под анкерную крепь
6.	СБУ	Установка анкерной крепи
7.	СБУ	Цикл бурения шпуров – основной цикл
8.	-	Заряжание шпуров
9.	-	Взрывные работы
10.	ПДМ (ПДМ и ШАС)	Цикл работы ПДМ по отгрузке горной массы

Цикл бурения шпуров – основные параметры

Ниже приведено подробное описание производственных циклов, моделируемых в системе (в таблице выделены жирным шрифтом).

Цикл бурения шпуров

Параметры необходимые для задания цикла бурения шпуров на уход, схематично представлены на рисунке 2.7.

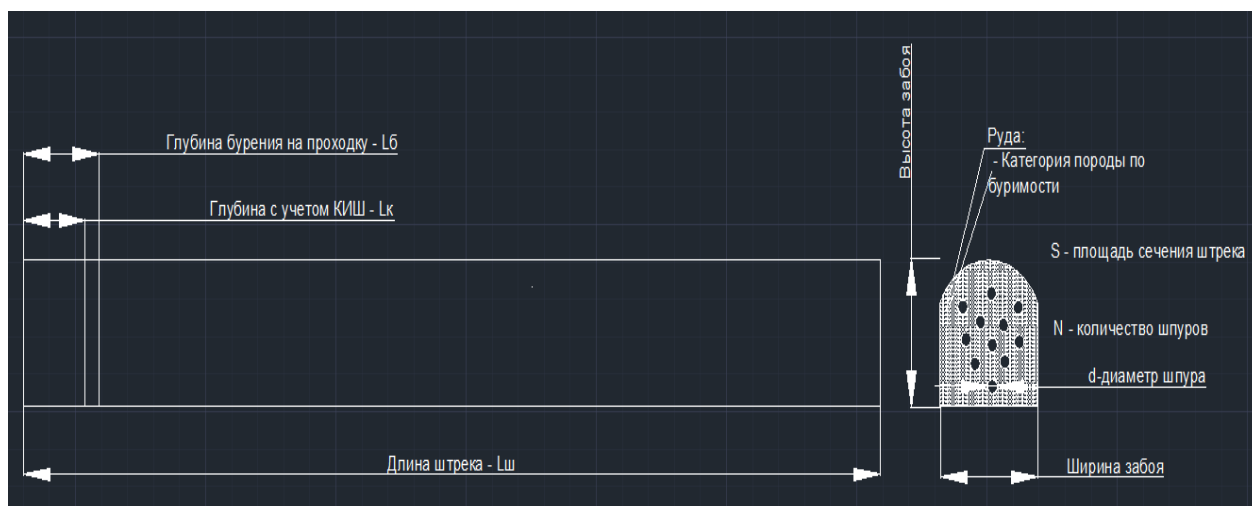


Рисунок 2.7 – Параметры забоя для проходки

В таблице 2.26 представлено развернутое описание параметров, необходимых для определения забоя в СИМ.

Таблица 2.26 – Описание параметров проходческой выработки

Наименование параметра	Описание параметра
Геометрические параметры штрека	Высота и ширина, или площадь сечения штрека
Глубина бурения забоя (длина шпуров)	Задается исходя из максимально возможной длины бурения у конкретного экземпляра СБУ, которому была назначена работа по обурированию этого забоя. В том случае, если при проведении последней итерации по обурированию выработки фактическая длина меньше чем максимальная длина, обурирование происходит фактическую длину
Количество шпуров	Задается зависимостью количества шпуров от сечения выработки. Возможен выбор из справочника паспортов БВР – в зависимости от геометрических характеристик сечения выработки выбирается значения количества шпуров для данного сечения
Коэффициент использования шпуров	Может задаваться как глобальный параметр, или как параметр конкретного экземпляра сегмента выработки
Диаметр шпура	Присваивается системой в зависимости от того, какому типу СБУ была назначена работа

Расчет производственного цикла работы СБУ при бурении шпуров при проходческих работах (по материалам ООО «Институт «Гипроникель»).

Время обурирования забоя для шпуров определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{заб}} = N_{\text{шп}} \times t_{\text{шп}} + T_{\text{вспм}}^{\text{опер}} \quad (2.1)$$

где: $N_{\text{шп}}$ – количество шпуров;

$t_{\text{шп}}$ – время на забуривание одного шпура.

$T_{\text{вспм}}^{\text{опер}}$ -оперативное время на вспомогательные операции на забой без учета разборки и сборки става для скважин (нормы выработки).

$$t_{\text{шп}} = \frac{l_{\text{шп}}}{v_{\text{шп_бур}}} + t_{\text{заб}} + t_{\text{ман}} \quad (2.2)$$

где: $l_{\text{шп}}$ - средневзвешенная по паспорту бурения (паспорту БВР или крепления) глубина шпура, м,

$t_{\text{заб}}$ – время на забуривание, мин (принимается на основании существующих на руднике норм выработки для категории пород по буримости),

$t_{\text{ман}}$ – время на манипуляции и прицеливание (принимается в соответствии с нормами выработки), мин.

$$v_{\text{шп_бур}} = \frac{409,81 \cdot \exp(-0,081 \cdot \sigma_{\text{раст}}) \cdot W \cdot K_{\text{КТГ}}^2}{\pi/4 \cdot d_{\text{шп}}^2 \cdot K_{\text{кр}}}, \text{ м/мин} \quad (2.3)$$

где: $\sigma_{\text{раст}}$ – предел прочности на растяжение, МПа.

W – мощность ударника СБУ, кВт;

$d_{\text{шп}}^2$ – диаметр шпура, мм;

$K_{\text{КТГ}}$ – коэффициент технической готовности СБУ;

$K_{\text{кр}}$ – коэффициент на бурение в кровлю и бока, по данным утвержденных норм выработки $K_{\text{кр}}=1,135$.

Примечание: Отсечка забоя. Первый этап буровых работ характеризуется тем, что СБУ не может повернуться перпендикулярно и работать двумя буровыми установками, она подходит сбоку и бурит в сторону одной установкой (рис.2.8). Лишь при достижении глубины штрека 10 метров, СБУ может бурить двумя буровыми установками одновременно.

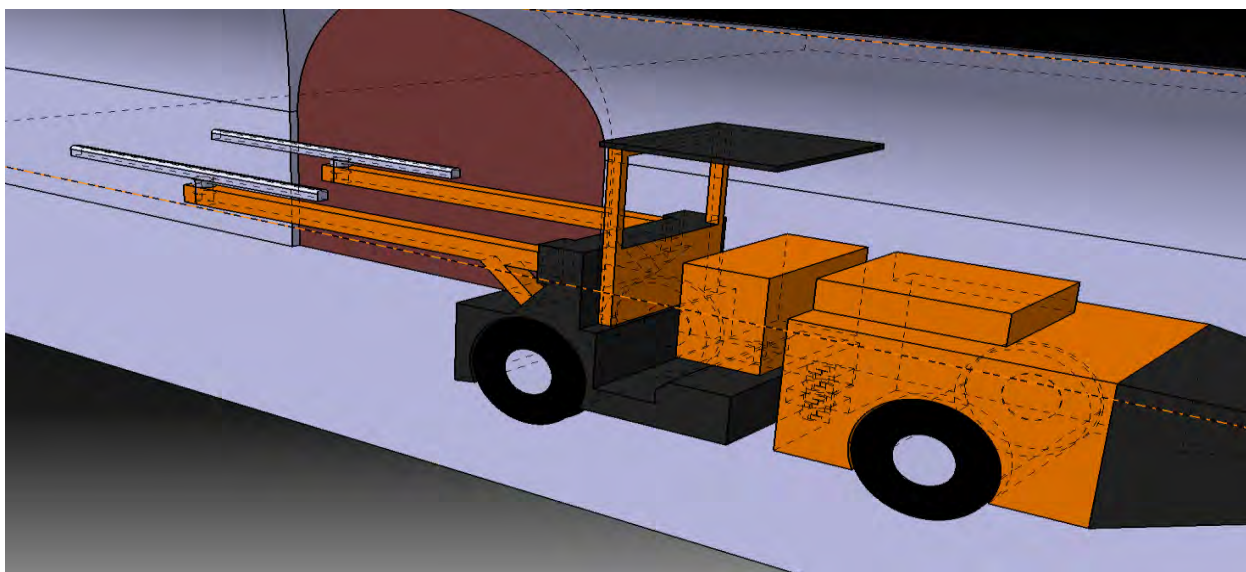


Рисунок 2.8 – СБУ в штреке перед отсечкой забоя в ограниченном пространстве для разворота

Заряжание шпуров – основные параметры

Процесс заряжания шпуров в СИМ не моделируется детально, но задается нормой времени.

Параметр «Норма времени на заряжание шпуров» задается для планируемой выработки из справочника и моделируется временной задержкой.

Взрывные работы – основные параметры

Начало и продолжительность взрывных работ задаются в СИМ расписанием. Если забой обурен и заряжен на момент проведения взрывных работ, то при моделировании после проведения взрывных работ в данной выработке образуется объем отбитой руды.

Расчет объема отбитой руды $V_n^{\text{прох}}$ в зависимости от глубины бурения $L_{\text{бурения}}$ и площади сечения штрека $S_{\text{штр}}$ проводится по формуле:

$$V_n^{\text{прох}} = S_{\text{штр}} \cdot L_{\text{бурения}} \cdot k_{\text{иш}}, \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

Объем оставшейся руды в штреке определяется по формуле:

$$V_{\text{ост}}^{\text{прох}} = V_{\text{выр}}^{\text{прох}} - V_n^{\text{прох}}, \text{ м}^3 \quad (2.5)$$

Цикл бурения шпуров под анкерную крепь – основные параметры

Бурение шпуров под анкерную крепь может произвести лишь та СБУ, длина штанги которой позволяет повернуть ее под определенным углом (60° - 90°) к кровле в той выработке, в которой она работает. Как правило, проектное сечение выработки рассчитывается таким образом, чтобы удовлетворить данным условиям и обеспечить возможность работы имеющихся видов техники.

Цикл работ по бурению под анкерную крепь начинается со 2-й итерации основного цикла проходки, так как при первом цикле бурения еще нечего крепить.

Проверка выполнения логического условия при моделировании:

– Если длина штанги СБУ меньше высоты штрека, то она остается работать над циклом бурения под анкерную крепь;

– Если нет, то СБУ освобождается для других работ, а в это место вызывается СБУ с подходящей длиной стрелы.

Для определения времени цикла обурирования забоя под крепь используются зависимости, с лишь той разницей, что в системе учитывается количество шпуров под крепь. В СИМ этот параметр задается зависимостью следующего типа:

$$N_{\text{крепь}}^{\text{шп}} = f(S_{\text{штр}}, L_{\text{бур}}) \quad (2.6)$$

где: $L_{\text{бурения}}$ – глубина бурения, м;

$S_{\text{штр}}$ – площади сечения штрека, м^2 .

Кроме этого в СИМ имеется возможность задать этот параметр нормативным значением из справочника, при условии, что применятся одно из типовых сечений штрека и типовое значение глубины бурения.

Установка анкерной крепи

Процесс установки анкерной крепи в СИМ не моделируется и задается задержкой по времени.

Значение нормы времени предлагается брать из справочника или назначать на конкретную выработку зависимостью вида:

$$t_{\text{уст.крепи}} = f(S_{\text{штр}}, L_{\text{бур}}) \quad (2.7)$$

Описание производственного цикла очистных работ

Для моделирования процессов очистной выемки в системе имитационного моделирования необходимо определить ряд параметров для выработки, которые позволят однозначно задать последовательность отработки и учесть возможность влияния различных параметров на производственный цикл.

Разбиение очистного пространства на веера

В системе имитационного моделирования предусмотрен инструментарий, позволяющий задавать разбиение очистного пространства камеры на веера.

При задании плановой выработки в системе Оператору СИМ известны ее основные геометрические характеристики: длина, высота и ширина. Таким образом, геометрически очистное пространство представляет собой «идеальный» параллелепипед.

Для моделирования проведения очистных работ объем камеры делится на веера, схема которых представлена на рисунке 3.18.

$$N_{\text{вееров}} = \frac{L_{\text{выр}}}{\omega_{\text{сл}}} \quad (2.8)$$

где:

$\omega_{\text{сл}}$ —

расстояние по горизонтали между веерами, линия наименьшего сопротивления (расстояние между веерами), м.

$L_{\text{выр}}$ — длина выработки, м.

При этом объем отбойки с одного веера в СИМ определяется по формуле:

$$V_{\text{веера}}^{\text{оч}} = \frac{V_{\text{выр}}}{N_{\text{вееров}}}, \text{ м}^3 \quad (2.9)$$

где $V_{\text{выр}}$ — плановый объем руды в камере, м³



Рисунок 2.9 – Разбиение очистного пространства на веера

Задание параметров веера

После того, как в системе определено количество вееров и объем отбойки, необходимо задать параметры обурирования веера (т.е. каждый веер на декаду и/или усредненный веер на год) для учета производственного цикла работы СБУ, а именно:

- количество скважин,
- средняя длина скважин.

Количество скважин определяется в соответствии с заданным пользователем параметром: расстояние между концами скважин в веере (РКС)

$$N_{\text{веера}}^{\text{СКВ}} = K_{\text{расп.штрека}} \frac{P_{\text{СКВ}}}{\text{РКС}} \quad (2.10)$$

где $P_{\text{СКВ}}$ – периметр веера.

$K_{\text{расп.штрека}}$ – коэффициент учитывающий расположение штрека (рисунок 2.10).

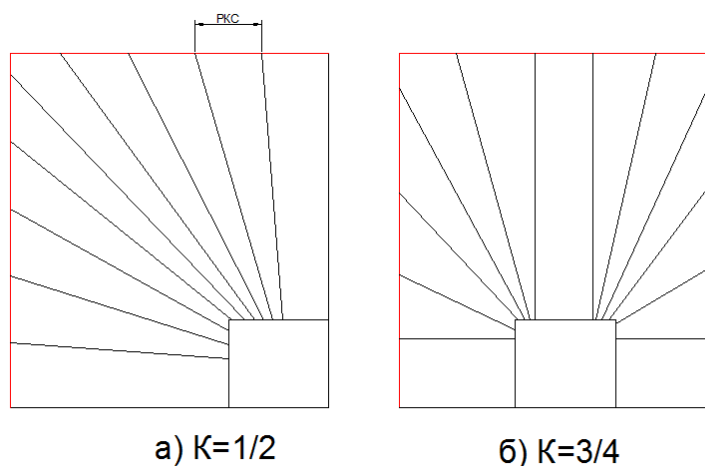


Рисунок 2.10 –Значения коэффициента, учитывающего расположения штрека в камере

Среднюю длину скважины в веере можно определить, как среднее арифметическое между максимальной и минимальной длиной скважины в веере. Максимальная длина – длина диагонали. Минимальная – ширина камеры. Также, необходимо учесть высоту и ширину штрека.

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{(H_{\text{выр}} - H_{\text{штр}})^2 + (B_{\text{выр}} - B_{\text{штр}})^2 + (B_{\text{выр}} - B_{\text{штр}})^2}}{2} \quad (2.11)$$

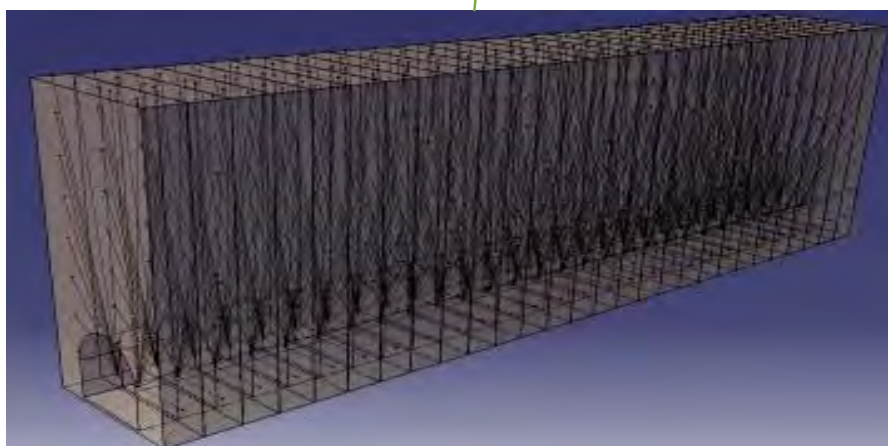
Задание типа обурирования камер

В СИМ реализован функционал, позволяющий моделировать следующие варианты обурирования камер:

- бурить на всю длину;
- бурить N вееров.

На рисунке 2.11 приведены рассматриваемые варианты обурирования камер.

Разбиение очистного пространства камеры на веера – Камера забурена полностью



Разбиение очистного пространства камеры на веера – камера забурена на N вееров

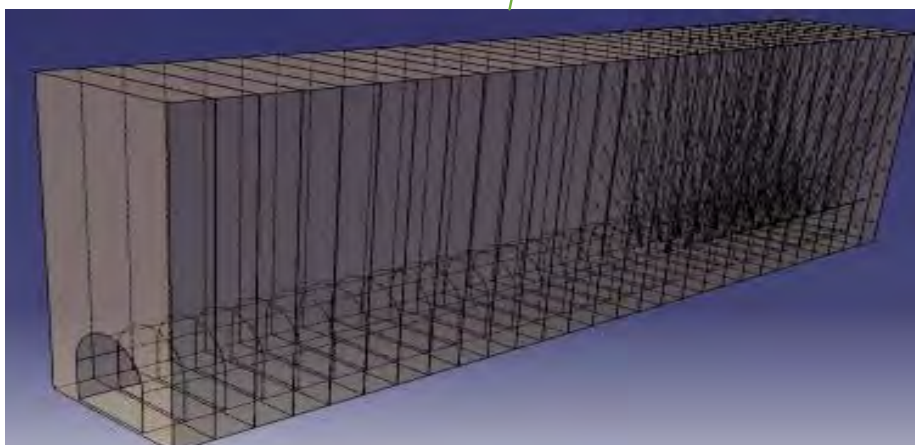


Рисунок 2.11 – Различные варианты обурирования камеры

Рассматриваемый функционал в СИМ реализован возможностью заполнения параметр «Тип обурирования». Во вкладке данного параметра, по умолчанию стоит значение *«Бурить на всю длину»*, но есть возможность выбрать *«Бурение на N вееров»* и задать значение N.

В зависимости от выбора пользователем того или иного варианта обурирования СБУ будет забуривать камеру на всю длину или забуривать определенное количество вееров и освобождаться для других работ.

Задание параметров взрывных работ

Задав в СИМ параметры, определяющие цикл буровых работ необходимо указать для очистной выемки параметр, характеризующий количество вееров в стадии взрыва.

На рисунке 2.12 показаны различные варианты значения параметра.

При моделировании в СИМ проведения взрывных работ отбивается объем руды, рассчитываемый по формуле:

$$V_{n \text{ ст.взрыва}}^{\text{отб}} = V_{\text{веера}}^{\text{отб}} \cdot N_{\text{вееров}}^{\text{ст.взрыва}}, \quad (2.12)$$

где $V_{\text{веера}}^{\text{отб}}$ – объем отбойки с одного веера.

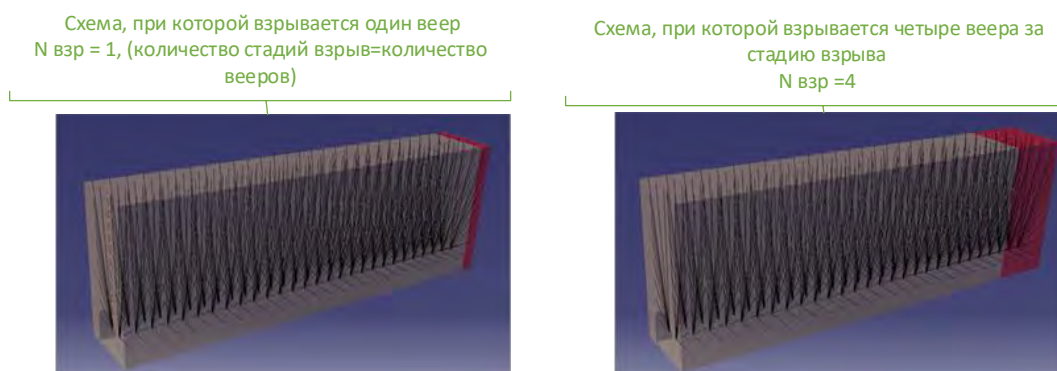


Рисунок 2.12 – Количество вееров в стадии взрыва

Последовательность работ

Укрупненный перечень работ, выполняемый при проведении очистных работ приведен в таблице 2.27.

Таблица 2.27 – Укрупненный перечень работ при очистной выемке

№	Ресурс	Наименование
1.	СБУ	Цикл бурения вееров
2.	-	Заряжание шпуров
3.	-	Взрывные работы
4.	ПДМ (ПДМ и ШАС)	Цикл работы ПДМ по отгрузке горной массы

На рисунке 2.13 приведена логическая схема взаимодействия элементов в СИМ при выполнении очистных работ.

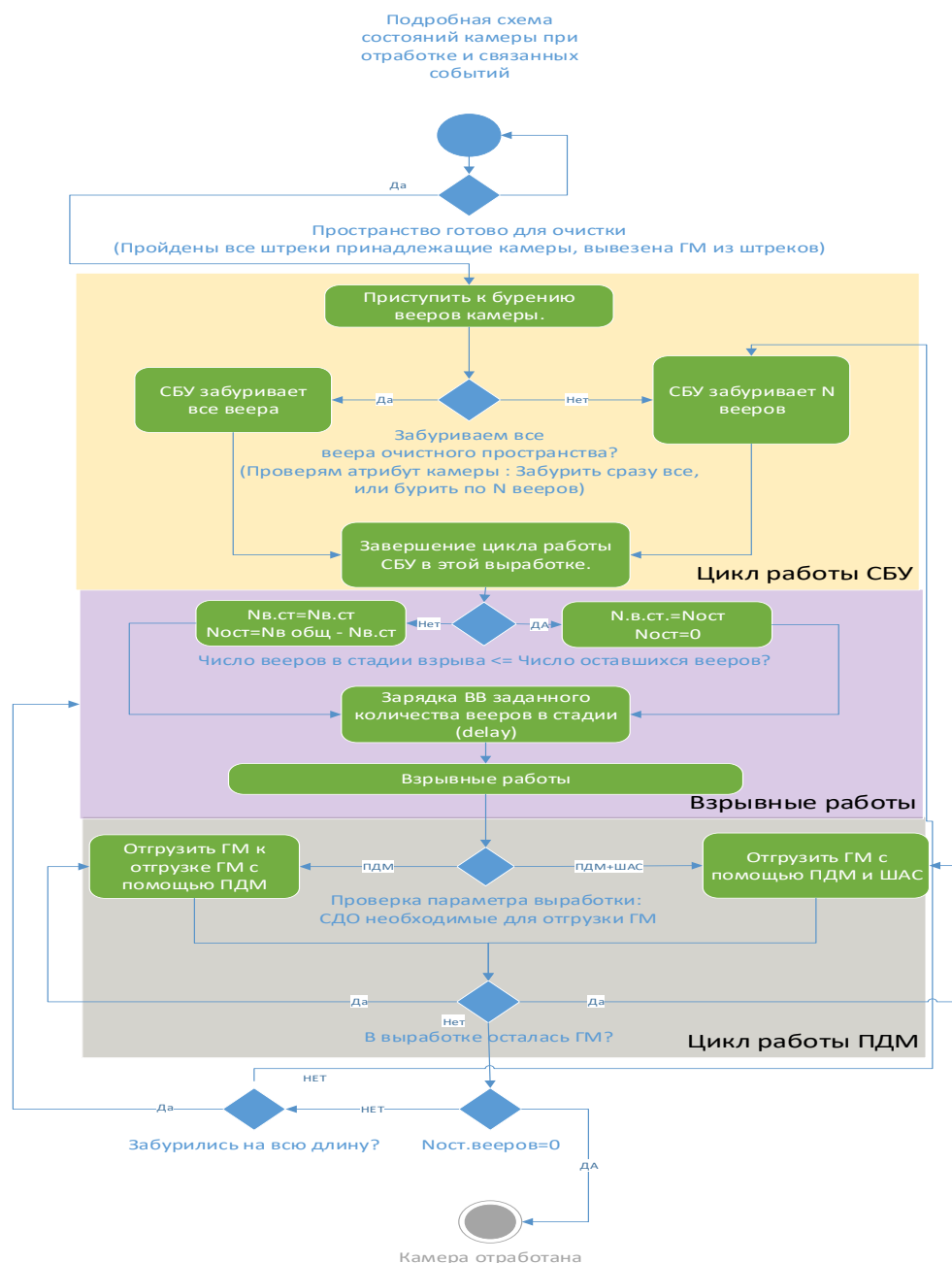


Рисунок 2.13 - Логическая схема взаимодействия элементов системы имитационного моделирования при выполнении очистных работ

Расчет скорости бурения скважин

Время обурирования забоя для скважин в СИМ определяется формулой:

$$t_{\text{заб}} = N_{\text{СКВ}} \times t_{\text{СКВ}} + T_{\text{ВСПМ}}^{\text{опер}} \quad (2.13)$$

Где $T_{\text{ВСПМ}}^{\text{опер}}$ – оперативное время на вспомогательные операции на забой, без учета разборки и сборки става для скважин (нормы выработки)

$$t_{\text{СКВ}} = \frac{l_{\text{СКВ}}}{v_{\text{бур}} \times k_{\text{зл}}} + t_{\text{заб}} + (t_{\text{нар}} + t_{\text{разб}}) \times \frac{l_{\text{СКВ}}}{l_{\text{шт}}} + t_{\text{ман}} \quad (2.14)$$

где: $l_{\text{СКВ}}$ – средневзвешенная по паспорту бурения (паспорту БВР) глубина скважины, м;

$t_{\text{нар}}$ – время на наращивание бурового става, мин. (принимается в соответствии с нормами выработки);

$t_{\text{заб}}$ – время на забуривание, мин. Значение параметра принимается на основании норм выработки для категории пород по буримости. На предприятиях категория пород принимается равным коэффициенту крепости;

$t_{\text{разб}}$ – время на разбор бурового става, мин. (принимается в соответствии с нормами выработки);

$l_{\text{шт}}$ – длина одной штанги, как правило $l_{\text{шт}}=1,5\text{м}$;

$t_{\text{ман}}$ – время на манипуляции и прицеливание (принимается в соответствии с нормами выработки).

Время обурирования забоя для скважин составит:

$$v_{\text{шп_бур}} = \frac{650 \cdot \exp(-0,077 \cdot \sigma_{\text{раст}}) \cdot W \cdot K_{\text{КТГ}}^2}{\pi/4 \cdot d_{\text{СКВ}}^2}, \text{ м/мин} \quad (2.15)$$

где: $\sigma_{\text{раст}}$ – предел прочности на растяжение, МПа.

W – мощность ударника СБУ, кВт;

$d_{\text{СКВ}}^2$ – диаметр скважины, мм;

$K_{КТГ}$ – коэффициент технической готовности СБУ.

Сводная таблица параметров для задания в СИМ очистных работ

Для того, чтобы однозначно задать камеру в системе имитационного моделирования, необходимо заполнить следующие параметры, представленные в таблице 2.28, 2.29.

Таблица 2.28 – Сводная таблица параметров для задания в системе очистных работ

П/п	Тип	№	ТИП	Обозначение	Параметр	Определяющий параметр	Источник данных при длительном горизонте планирования	Источник данных при ближнем горизонте планирования
1.	Геометрические характеристики камеры	1	Исходный	$L_{\text{выр}}$	Длина	-	Планы горных работ	Планы горных работ
		2	Исходный	$B_{\text{выр}}$	Ширина	-	Планы горных работ	Планы горных работ
		3	Исходный	$H_{\text{выр}}$	Высота	-	Планы горных работ	Планы горных работ
		4	Выбор оператора		Схема выработки		Системный справочник	Локальный проект
		5	Выбор оператора		Схема расположения штрека		Системный справочник	Локальный проект
2.	Плановые характеристики	1	Исходный	$V_{\text{выр}}$	Объем руды	-	Позабойный план	Позабойный план
3.	Характеристики руды	1	Исходный	$\gamma_{\text{уд}}$	Удельный вес	-	Задано геологией, выбирается из справочника	Задано геологией, выбирается из справочника
		2	Исходный	$K_{\text{раз}}$	Коэффициент разрыхления	-		
		3	Исходный	$\gamma_{\text{уд}}$	Характеристика буримости	-		
4.	Характеристики забоя	1	Расчетный	$N^{\text{вееров}}$	Количество вееров	Средняя толщина слоя (ЛНС)	Расчет!	Паспорт БВР
5.	Характеристики веера	1	Расчетный	$N^{\text{скв веера}}$	Число скважин	Схема расположения штрека	Расчет!	Паспорт БВР
						Расстояние между концами скважин в веере (РКС)	Расчет!	Паспорт БВР
		2	Расчетный	$l_{\text{ср}}$	Средняя длина скважины		Расчет!	Паспорт БВР
		3	Расчетный		Объем отбойки одного веера		Расчет!	Паспорт БВР
6.	Тип обурирования	1.	Выбор оператора		Бурить на всю длину, или бурить на N вееров		Задает оператор	Паспорт БВР
7.	Взрывные работы	1.	Выбор оператора		Количество вееров в стадии взрыва		Задает оператор	Паспорт БВР

Таблица 2.29 – Сводная таблица параметров для задания в системе проходческих работ

П/п	Тип	№	ТИП	Обозначение	Параметр	Определяющий параметр	Источник данных при длительном горизонте планирования	Источник данных при ближнем горизонте планирования
1.	Геометрические характеристики выработки	1	Исходный	$L_{\text{прох}}$	Длина	-	Планы горных работ	Планы горных работ
		2	Исходный	$B_{\text{штр}}$	Ширина	-	Планы горных работ	Планы горных работ
		3	Исходный	$H_{\text{штр}}$	Высота	-	Планы горных работ	Планы горных работ
2.	Плановые характеристики	1	Исходный	$V_{\text{выр}}$	Объем руды	-	Позабойный план	Позабойный план
3.	Характеристики руды	1	Исходный	$\gamma_{\text{уд}}$	Удельный вес	-	Задано геологией, выбирается из справочника	Задано геологией, выбирается из справочника
		2	Исходный	$K_{\text{раз}}$	Коэффициент разрыхления	-		
		3	Исходный	$\gamma_{\text{уд}}$	Характеристика буримости	-		
4.	Параметры БВР	1.	Выбор оператора	$N_{\text{шп}}$	Число шпуров		Задаёт оператор	Паспорт БВР
		2		$K_{\text{иш}}$	Коэффициент использования шпура			
		3		$L_{\text{бур}}$	Глубина бурения			

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Применяемые системы разработки

При проектировании СИМ были заложены следующие системы разработки месторождений на рудниках:

- Слоевая система разработки;
- Система подэтажного (этажного) принудительного обрушения с торцевым выпуском;
- Камерная система разработки.

В СИМ рассматриваемые системы разработки реализованы возможностью задавать любой из приведенных выше вариантов системы разработки, путем настройки в системе шаблонов. Выбирая определенный шаблон пользователь (Оператор СИМ) может варьировать количество подэтажей в камере, варианты проходки штреков.

Шаблоны схем обустройства камер

Для камерной системы разработки в СИМ реализованы следующие варианты (шаблоны) схем обустройства камеры (рисунок 2.14).

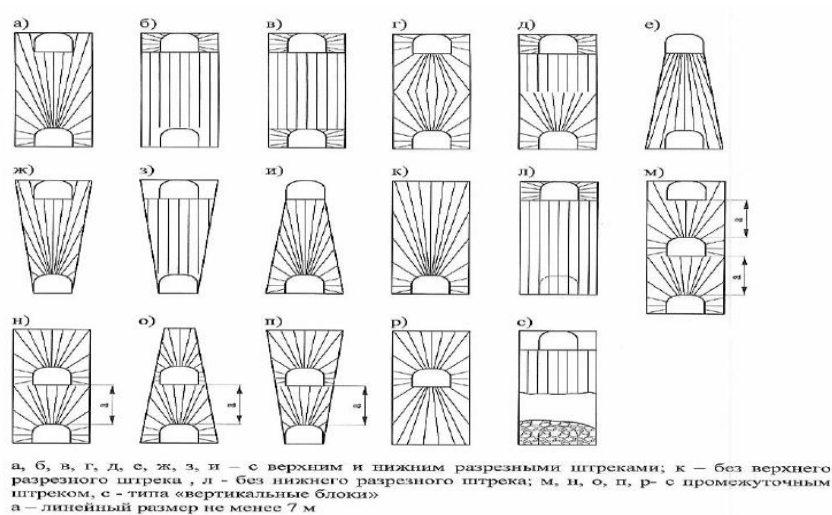


Рисунок 2.14 – Варианты схем обустройства камер

Расчет емкости ковша (кузова) ПДМ (ШАС)

Для учета влияния на емкость ковша(кузова) транспортного средства свойств перевозимой горной массы в СИМ реализован функционал задания параметров и расчета необходимых для эксперимента данных.

Расчет емкости ковша ПДМ, емкости кузова ШАС

Емкость ковша ПДМ или кузова ШАС рассчитывается по формуле

$$\omega_{\text{ковша/кузова}}^{\text{расч}} = \frac{r_{\text{пдм/шас}} * K_{\text{раз}}}{\gamma / \varphi_{\text{ков/шас}}}, \text{ м}^3 \quad (2.16)$$

где к свойствам конкретного экземпляра ПДМ или ШАС относятся:

$r_{\text{пдм/шас}}$ – грузоподъемность, т

$\varphi_{\text{ковша/кузова}}$ – коэффициент заполнения ковша

Свойства перевозимой горной массы:

γ – удельный вес, т/м³.

Далее в работе применяются следующие обозначения и сокращения (таблица 2.30):

Таблица 2.30 – Обозначения и сокращения

Обозначения и сокращения	Наименование
ИМ	Имитационная модель
ПДМ	Погрузочно-доставочная машина
СБУ	Самоходная буровая установка
СДО	Самоходно-движимое оборудование
БВР	Буровзрывные работы
ДУ	Дистанционное управление
ЛНС	Линия наименьшего сопротивления (расстояние между рядами)
РМК	Расстояние между концами скважин
СИМ	Система имитационного моделирования
ШАС	Шахтный автосамосвал
Hot seat Change	Смена операторов СДО прямо на рабочем месте

ВЫВОДЫ

1. Имитационную модель (ИМ) подземного рудника рационально представить в виде совокупности 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.

2. Моделируемую предметную область рационально представить в виде уровней, сценариев, экспериментов, сегментов, узлов и маршрутов с координатами X , Y , Z . Планирование добычи руды с помощью СИМ при этом 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.

3. Для достижения целевых функций – верификации планов, и расчета количества необходимого парка СДО путем проведения расчетов на имитационной модели рудника, необходимо обеспечить функционал по заданию плановых выработок на год, или более длительные интервалы планирования.

На данных горизонтах планирования, отсутствуют локальные проекты, и соответственно отсутствуют точные данные по проходческой выработке или камере: пока еще не разработаны проекты с количеством вееров, или паспорта буровзрывных работ на очистные работы.

Таким образом, в системе имитационного моделирования должна быть предусмотрена возможность ввода и корректировки аналитических зависимостей, позволяющих укрупненно определить для выработки параметры производственного цикла, влияющие на последовательность ее отработки и временные затраты рабочих циклов оборудования, задействованного при ее отработке.

ГЛАВА 3. МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1. Разработка структуры имитационной модели на базе высокоуровневой схемы моделируемых процессов подземного рудника

Общее описание и взаимосвязь моделируемых процессов

В имитационной модели рассматривается движение руды от отбойки до поднятия руды на поверхность подъемной машиной.

Движение руды определяется основными производственными процессами, а также вспомогательными процессами, существенно влияющими на пропускную способность внутришахтного транспорта и загруженность оборудования. Движение руды после опустошения скипа подъемной машины на поверхности не рассматривается.

Высокоуровневая схема моделируемых производственных процессов показана на Рисунок 3..

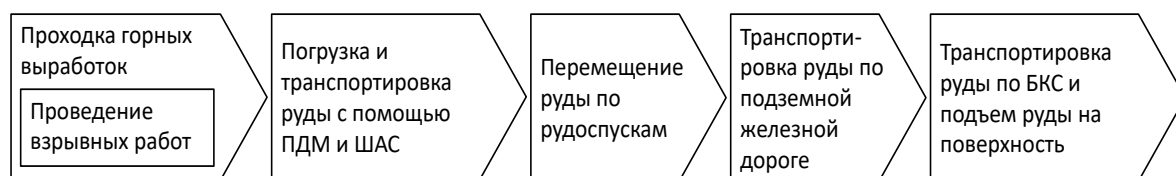


Рисунок 3.1. - Высокоуровневая схема моделируемых процессов

Проходка горных выработок ведется буровзрывным методом. Проходка может вестись одновременно на нескольких участках рудника. Проходка состоит из ряда последовательно сменяющих друг друга видов работ:

- бурение шпуров для зарядов;
- заряжание и взрывание забоев;
- подготовительные работы перед очисткой камеры (обезопасивание, проветривание);
- уборка горной массы (погрузка и транспортировка руды с помощью ПДМ и ШАС) – этот вид работ может выполняться одновременно на различных участках.

Взрывные работы проводятся одновременно на всех участках рудника по единому расписанию. СБУ, ПДМ и ШАС используют одни и те же выработки для перемещения. В модели рассматривается их приоритетный разезд при движении. Железнодорожный транспорт работает на более низком горизонте рудника и не пересекается с СБУ, ПДМ и ШАС. Ни железнодорожный, ни самоходный транспорт не пересекается при движении и не взаимодействует с конвейерным транспортом.

Подготовительные работы не связанные с перемещением руды моделируются укрупненно.

Работы по расширению штреков моделируются отдельно.

Горно-капитальные работы (ГКР) проводятся независимо от основных работ по добыче руды. При производстве этих работ используются отдельные ресурсы, поэтому выполнение ГКР в имитационной модели не рассматривается.

Для целей моделирования производительностей операций, грузоподъемностей оборудования и расчета объемов выработки в модели используется только масса руды. При необходимости индикативно может быть рассчитан объем руды, при этом плотность руды на всех этапах ее транспортировки считается одинаковой. Качество руды и итоговый процент содержания полезных веществ в руде в имитационной модели не рассчитывается.

Проходка горных выработок

В имитационной модели рассматривается только проходка по руде. Проходка по породе, например, полевых штреков, характерная для рудника не моделируется.

Проходка горных выработок – процесс отбойки руды, погрузки отбитых рудных масс и их вывоза с места отбойки. При выполнении проходки производятся следующие последовательно сменяющие друг друга операции:

1. бурение шпуров для зарядов,

2. установка зарядов и проведение взрывных работ,
 3. подготовительные работы перед очисткой камеры (обезопасивание, проветривание и др.),
- погрузка и транспортировка руды с помощью ПДМ и ШАС.

Режимы проходки

Проходка может проводиться в одном из двух режимов:

1. Проходка разрезного штрека, при которой выполняется обустройство выработки для проезда ПДМ (рисунок 3.2).

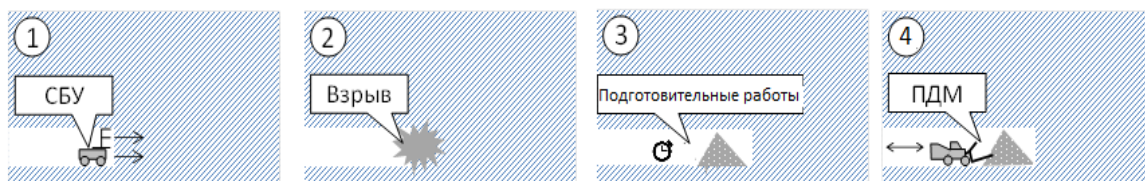


Рисунок 3.2 – Проходка разрезного штрека

2. Очистная выемка, при которой отбивается основной объем руды, которая подбирается с помощью ПДМ и транспортируется с помощью ПДМ или ШАС (рисунок 3.3).

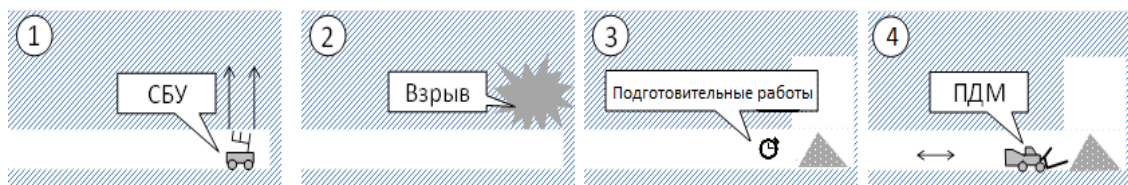


Рисунок 3.3 – Очистная выемка

Схемы очистной выемки

Схема проходки – последовательность выработки камеры. Для удобства вне зависимости от схемы проходки каждая полость, вырабатываемая с целью получения полезной руды, будет называться камерой.

В имитационной модели рассматриваются следующие схемы проходки камер:

1.Слоевая схема, представленная на рисунке 3.4. При данной схеме сначала выполняется проходка разрезного штрека на полную длину камеры, а затем – очистная выемка с закладыванием зарядов в свод выработки.

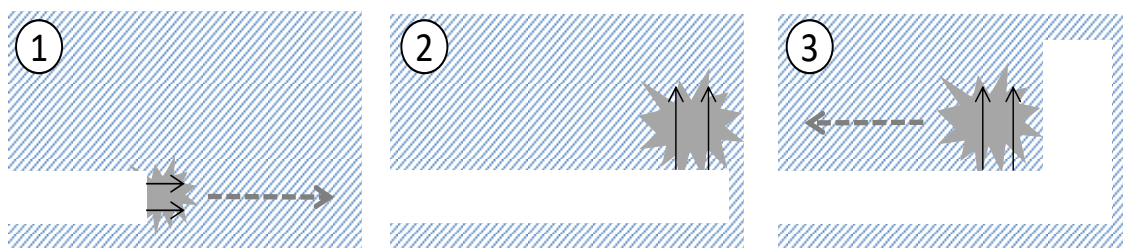


Рисунок 3.4. – Слоевая схема проходки камер

2.Схема отбойки для системы подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды (ПОТ)

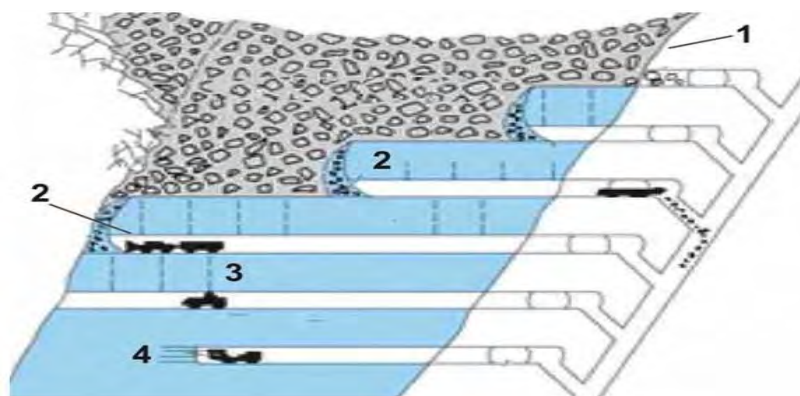


Рисунок 3.5 – Система подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды на базе самоходного оборудования 1 – верхний подэтаж отработан; 2 – отгрузка отбитой руды из торца выработки (ПДМ и ШАС); 3 – бурение вееров скважин (СБУ); 4 – проходка подэтажного штрека (СБУ).

Двухуровневая камерная схема, представлена на рисунке 3.6.

При данной схеме выполняются две проходки разрезных штреков одна под другой на полную длину камеры, а затем выполняется очистная выемка с закладыванием зарядов в основание верхней выработки и выемкой руды через нижнюю выработку.

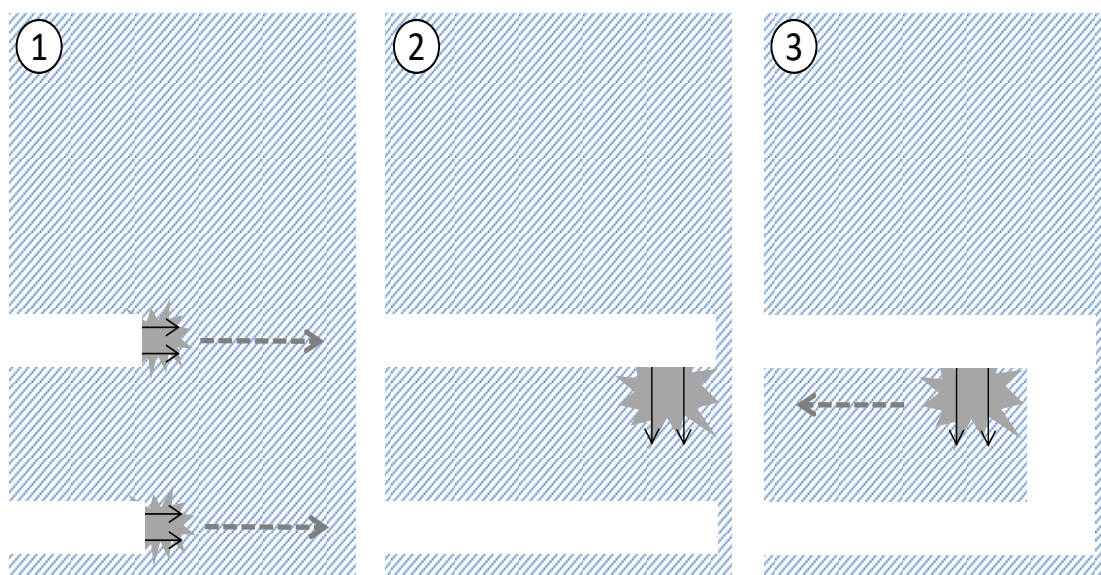


Рисунок 3.6 – Двухуровневая камерная схема проходки камер

Трехуровневая камерная схема, представленная на рисунке 3.7. Данная схема аналогична двухуровневой камерной схеме, но включает еще одну проходку разрезного штрека, служащую для выполнения второй очистной выемки. Выемка руды всегда выполняется через нижнюю выработку.

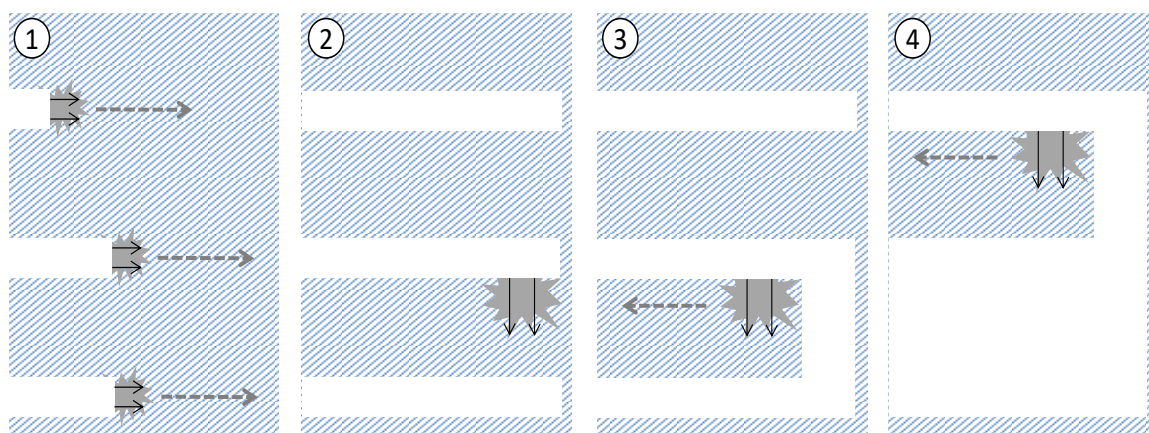


Рисунок 3.7 – Трехуровневая камерная схема проходки камер

Буровые работы для закладки зарядов

Выполнение бурения шпуров и скважин

На разных рудниках используются различные схемы проведения буровых работ для закладки зарядов.

Для рудников ЗФ ПАО ГМК «Норильский Никель» бурение шпуров производится при проходке и при очистке камер.

Для рудника «Северный» ОАО «Кольская ГМК» при проведении очистных работ производится бурение скважин, при проходке производится бурение шпуров.

С точки зрения имитационного моделирования эти отличия будут учитываться применением соответствующих СБУ и соответствующего времени выполнения работ.

Производительность бурения задается в свойствах СБУ.

На период каждой смены за каждым участком закрепляется одна или несколько СБУ. СБУ выполняют бурение, начиная с ближайшей точки, в которой необходимо бурение. По окончании бурения СБУ перемещаются к следующей точке, в которой проводится бурение. При этом в качестве следующей точки выбирается точка, расстояние до которой по сети выработок минимальное.

При моделировании длительных периодов СБУ могут перераспределяться между участками.

Операция бурения может быть прервана в конце смены. Завершение прерванной операции бурения имеет более высокий приоритет при распределении заданий СБУ на следующую смену.

Перемещение СБУ

СБУ перемещаются по сети горных выработок и при движении могут пересекаться с другими СБУ, а также с ПДМ и ШАС. При разъезде СБУ имеют более низкий приоритет по сравнению с ПДМ и ШАС.

Задержки при перемещении, вызванные разъездом с перемещающимися людьми, а также другим транспортом кроме ПДМ и ШАС, моделируются остановками, для которых задается частота и длительность.

Проведение взрывных работ

Взрывные работы проводятся по единому для всего рудника расписанию. В расписании задается момент начала подготовки к взрыву. При наступлении момента начала подготовки к взрыву выполняется последовательность действий, указанная на рисунке 3.8.

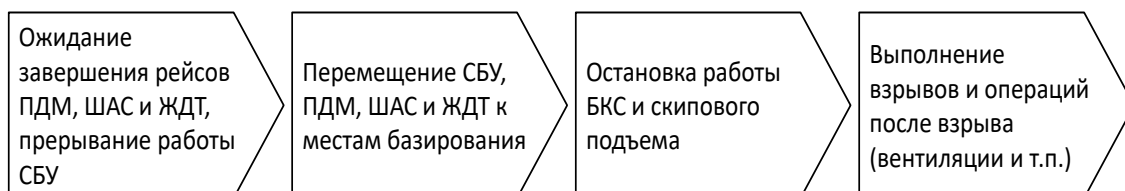


Рисунок 3.8 - Схема действий при проведении взрывных работ

После наступления момента начала подготовки к взрыву новые рейсы ПДМ, ШАС и ЖДТ не начинаются. При этом начатые рейсы завершаются. По завершении рейса ПДМ, ШАС и ЖДТ возвращаются к местам базирования.

После наступления момента начала подготовки к взрыву работа СБУ прерывается, и они возвращаются к местам базирования.

После того, как все СБУ, ПДМ, ШАС и ЖДТ вернулись к местам базирования, останавливается работа БКС и подъемной машины. Работа рудника полностью приостанавливается на время выполнения взрывов и всех необходимых операций после взрывов. Длительность приостановки работы рудника на время взрыва задается в расписании взрывов.

После окончания периода приостановки работы рудника вновь формируются задания на выполнение работ для СБУ, ПДМ и ШАС согласно их привязке к участкам, и они начинают движение к местам выполнения работ.

Погрузка и транспортировка руды с помощью ПДМ и ШАС

Погрузочно-доставочные машины (ПДМ) перевозят руду от точек погрузки руды к точкам выгрузки руды. Точки погрузки руды могут быть двух типов:

точка взрыва – место, в котором образуется руда в результате проведения взрывных работ;

точка под участковым рудоспуском – место, в которое поступает руда в результате ее выгрузки другим ПДМ или ШАС в рудоспуск на более высоком уровне.

Точка выгрузки руды всегда совпадает с рудоспуском.

Каждый рейс ПДМ, выгружающей руду в рудоспуск, выполняется в следующей последовательности:

1. следование к точке погрузки руды,
погрузка руды,
следование с рудой к точке выгрузки руды,
разгрузка руды.

Каждый рейс ПДМ, обслуживающей ШАС, выполняется в следующей последовательности:

2. следование к точке погрузки руды,
погрузка руды,
следование с рудой к ШАС,
разгрузка руды в ШАС.

Перед началом каждого рейса ПДМ определяется точка погрузки руды. Один рейс выполняется только к одной точке погрузки руды. Точка погрузки руды выбирается с учетом следующих факторов:

- принадлежность точки погрузки участку, за которым закреплена ПДМ;
- наличие достаточного количества руды в точке погрузки;
- отсутствие или недостаточное количества других ПДМ, совершающих рейс к данной точке погрузки;
- близость точки погрузки к текущему расположению ПДМ.

Задержки при перемещении ПДМ и ШАС, вызванные разездом с перемещающимися людьми, а также другим транспортом кроме СБУ, а также других ПДМ и ШАС, моделируются остановками, для которых задается частота и длительность.

Вероятность появления людей на трассах горных выработок будет задана как наступление случайного события с заданной интенсивностью (закон и параметры распределения случайной величины).

Погрузка руды ПДМ

Процесс погрузки руды моделируется задержкой, требуемой для заполнения ковша ПДМ. Скорость заполнения ковша рассчитывается с учетом следующих параметров:

- объем ковша ПДМ с учетом коэффициента заполнения,
- базовая производительность погрузки,
- способ управления ПДМ при погрузке (с помощью дистанционного управления или ручным способом).

Выбор точки разгрузки и построение пути к точке разгрузки

Для ПДМ может быть явно задана точка разгрузки и маршрут доставки руды. После окончания загрузки выбор точки разгрузки и построение пути до нее производится по следующему алгоритму:

- Если для ПДМ задан маршрут доставки руды, то для ПДМ строится путь, включающий явно заданный маршрут. Если такой путь построить невозможно, в системный лог записывается ошибка, а ПДМ продолжает движение по кратчайшему пути транспортной сети без учета заданного маршрута.
- Если для ПДМ явно задана точка разгрузки, строится кратчайший путь по транспортной сети до заданной точки разгрузки.

- Если точка разгрузки не задана, строится путь к точке разгрузки, расположенной ближе других по транспортной сети.

Разгрузка руды

По достижению точки разгрузки ПДМ или ШАС производят ссыпание руды на грохотную решетку над рудоспуском. Длительность разгрузки задается отдельно для ПДМ и ШАС. Одновременно в одной точке разгрузки может разгружаться только одна ПДМ или один ШАС.

Работа ПДМ с ШАС

Шахтные автосамосвалы (ШАС) могут использоваться как транспортные средства при транспортировке руды от точек погрузки до точек выгрузки. ШАС всегда работает совместно с ПДМ: ПДМ загружает ШАС, ШАС перевозит руду к точке выгрузки и выгружает ее.

Несколько ШАС могут работать с одним ПДМ. Перегрузка из ПДМ в ШАС выполняется в максимально близкой к ПДМ точке, в которой возможно выполнить загрузку. Для каждой камеры расположение таких точек задается явно. При отсутствии явно заданных точек погрузки ШАС, считается, что ШАС может загружаться на входе в камеру.

Для участков горных выработок задается возможность применения ПДМ вместе ШАС. При этом учитываются габаритные размеры горных выработок и наличие коммуникаций.

Выбор точки разгрузки и построение пути к точке разгрузки для ШАС осуществляется также как и для ПДМ.

Приоритетный разъезд самоходного транспорта

СБУ, ПДМ и ШАС (транспортные средства, ТС) передвигаются по одним и тем же выработкам, поэтому при моделировании могут возникать ситуации, при которых встречаются движущиеся по выработке ТС.

Обгон одним ТС другого, следующего в попутном направлении, запрещен. При достижении ТС, движущегося с более низкой скоростью, движущееся позади ТС снижает скорость до скорости первого ТС. Аналогичное правило действует при большем количестве «догнавших» друг друга ТС.

Для каждого сегмента выработки указывается, возможен ли на нем встречный разъезд движущихся друг навстречу другу ТС. Если два ТС движутся друг навстречу другу и встречаются на выработке, на которой возможен встречный разъезд, то происходит задержка на заданное в параметрах ТС время, после которой ТС продолжают движение по выработке каждое в своем направлении.

Если два ТС движутся друг навстречу другу и встречаются на выработке, на которой невозможен встречный разъезд, применяется правило приоритетного разъезда:

1. Определяется приоритет каждого ТС. Порядок приоритета ТС следующий (начиная с самого высокого):
 - a. ПДМ с грузом
 - b. ШАС с грузом
 - c. ПДМ без груза
 - d. ШАС без груза
 - e. СБУ
2. При равенстве приоритетов более приоритетное ТС выбирается случайно.
3. Оба ТС начинают движение со скоростью наименее быстрого ТС в направлении наиболее приоритетного ТС.
4. Движение продолжается, пока оба ТС не достигнут одного из следующих пунктов:
 - a. любого узла шахтного поля, к которому примыкает более 2 сегментов;
 - b. сегмента выработки, на котором возможен встречный разъезд;

с. специально определенного места разъезда.

5. По достижении одного из пунктов оба ТС задерживаются на время, заданное в параметрах ТС, после чего продолжают движение каждый в своем направлении.

Иллюстрация правила приоритетного разъезда на примере ПДМ с грузом и порожнего ПДМ приведена на рисунке 3.9.

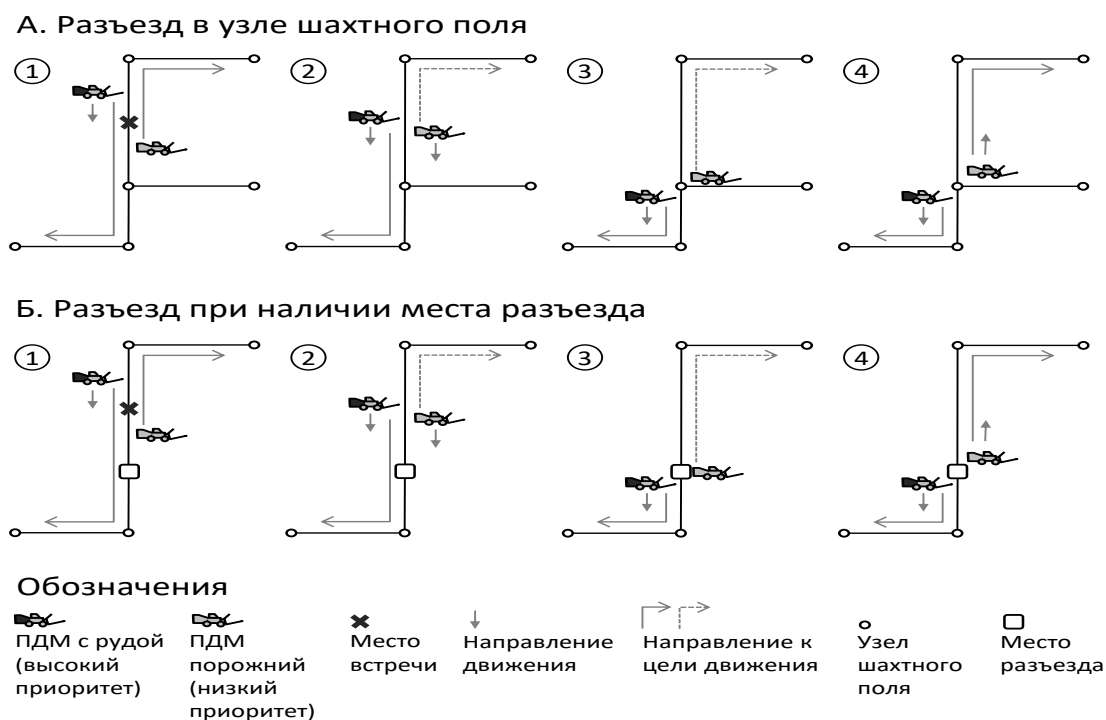


Рисунок 3.9 - Иллюстрация схем приоритетного разъезда

Приоритетный разъезд более двух ТС моделируется аналогично. Приоритет отдается той группе ТС, сумма приоритетов ТС в которой наибольшая. При этом считается, что в любом месте, в котором можно произвести встречный разъезд двух ТС, может разъехаться любое количество ТС. Время задержки при разъезде нескольких ТС пропорционально увеличивается по сравнению с задержкой при разъезде двух ТС.

Работа рудоспусков

В имитационной модели рассматриваются два вида рудоспусков:

Рудоспуски, используемые для ссыпания руды из ПДМ или ШАС с последующей выгрузкой в ЖД-вагоны на нижнем уровне. Такие рудоспуски являются точками разгрузки руды.

Рудоспуски, используемые при доставке руды в несколько этапов. Такие рудоспуски являются точками разгрузки руды на верхнем уровне и точками погрузки руды на нижнем уровне.

При разгрузке руды из ПДМ и ШАС с заданной интенсивностью образуются негабаритные рудные массы. При их накоплении больше заданной массы, работа рудоспуска приостанавливается на время его очистки.

Масса негабаритов задается как процент от общей доставленной руды к рудоспуску.

Для всех рудоспусков задается их максимальная вместимость. При заполнении рудоспуска его работа приостанавливается, ПДМ и ШАС не могут выгружать в него руду и направляются к другим рудоспускам для выгрузки руды.

Транспортировка руды по подземной железной дороге

Железнодорожный транспорт перевозит руду из рудоспусков к опрокидывателям или местам донной разгрузки вагонеток, откуда руда поступает на измельчители и далее транспортируется по бункерно-конвейерной системе к подъемной машине.

Все железнодорожные перевозки выполняются по кольцевым маршрутам. Движение по каждому сегменту шахтного рельсового пути осуществляется только в одну сторону, от начального к конечному узлу сегмента. Таким образом, при моделировании не возникают ситуации встречного разъезда ЖДТ.

В модели возможны ситуации приоритетного разъезда ЖДТ при слиянии двух сегментов пути в один. В таком случае приоритет отдается составу, следующего с грузом, а если оба состава с грузом или порожние – приоритет выбирается случайным образом.

В случае следования составов друг за другом в попутном направлении между составами сохраняется дистанция, указанная в параметрах сценария. При необходимости состав, следующий позади другого состава, останавливается для обеспечения заданной дистанции между составами.

Поломки состава моделируются остановками, частота и длительность которых задается в параметрах сценария.

В узлах шахтного рельсового пути может быть указана необходимость снижения скорости до заданного значения для моделирования перевода стрелок.

Рейс ЖДТ выполняется в следующей последовательности:
следование к рудоспуску,
загрузка руды,
следование к опрокидывателю или месту донной разгрузки,
разгрузка руды.

Перед началом каждого рейса определяется последовательность рудоспусков, к которым будет направлен состав. При определении последовательности рудоспусков учитывается количество руды в них и возможность последовательного проезда рудоспусков составом.

Загрузка состава у рудоспуска моделируется последовательной задержкой каждого вагона на время загрузки. Загрузка у каждого рудоспуска продолжается до тех пор, пока руда в рудоспуске не закончится, либо все вагоны состава не будут заполнены.

При подъезде к опрокидывателям для разгрузки выбирается свободный опрокидыватель (место донной разгрузки), а при отсутствии свободных опрокидывателей выбирается тот, очередь составов к которому минимальна.

Разгрузка вагонов выполняется одновременно для указанного в свойствах опрокидывателя количества вагонов состава. Длительность одного цикла работы указывается в параметрах опрокидывателя.

Транспортировка руды по БКС и подъем руды на поверхность

Точкой первичного попадания руды в бункерно-конвейерную систему является бункер под опрокидывателем (места донной разгрузки) ЖД вагонов. Руда пересыпается в бункер с максимально возможной скоростью, которая ограничена скоростью разгрузки опрокидывателя.

Из бункера руда сыпается на конвейер с максимально возможной скоростью, которая ограничена скоростью разгрузки бункера и скоростью ссыпания руды на конвейер. Скорость ссыпания руды на конвейер рассчитывается как разность между максимальной пропускной способностью конвейера и его текущей загруженностью, рисунок 3.10.

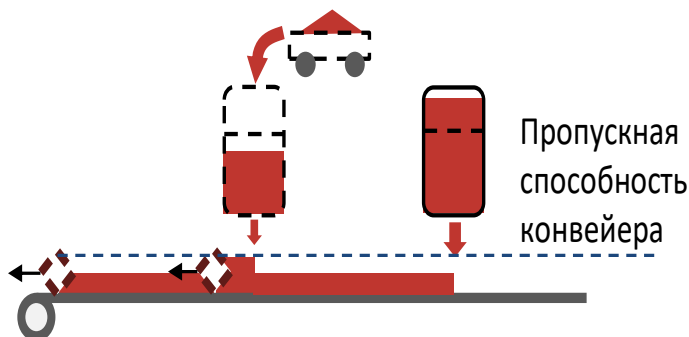


Рисунок 3.10 - Ограничения при разгрузке бункеров на конвейер

При снижении пропускной способности конвейера, на который сыпает руду бункер, он снижает скорость разгрузки, чтобы не допустить превышения допустимой нагрузки на конвейер.

В момент ссыпания руды из бункера на конвейер руда начинает двигаться в направлении движения конвейера с его скоростью. При достижении рудой конечного бункера, она сыпается в конечный бункер.

Работа конвейеров

Конвейер имеет два состояния: движение и остановка.

При остановке конвейера все бункеры, которые на нем располагаются, прекращают разгрузку. Остановка конвейера может вызываться двумя событиями:

переполнение бункера, в который сыпает руду конвейер;

остановка в соответствии с заданным расписанием событием (техническое обслуживание, выполнения взрывных работ).

Работа подъемной машины

Подъемная машина использует пару скипов. В течение всего времени работы модели, когда подъемная машина не находится в режиме обслуживания или остановки на период проведения взрывных работ, он производит циклические операции по подъему руды. В процессе подъема руды поочередно выполняются загрузка руды в один скип и его транспортировка вверх. Во время подъема одного скипа другой скип опускается. Подъемная машина обеспечивает дискретную транспортировку руды на поверхность.

Подъем руды на поверхность с помощью ШАС

Возможны сценарии, в которых точкой выгрузки руды для ШАС является не рудоспуск, а точка на поверхности.

В этом случае ШАС загружается ПДМ и перемещает руду на поверхность. Маршрут движения ШАС к точке разгрузки строится по кратчайшему пути.

3.2. Концептуальное описание интерфейса пользователя системы имитационного моделирования

В данном разделе приведены основные решения по пользовательскому интерфейсу системы имитационного моделирования.

Интерфейс системы имитационного моделирования представлен на рисунке 3.11. Он состоит из следующих объектов:

- Дерево объектов
- Список горизонтов
- Окно графического редактирования горизонтов
- Окно навигации
- Палитра с инструментами редактирования
- Панель свойств элементов
- Панель редактирования заданий

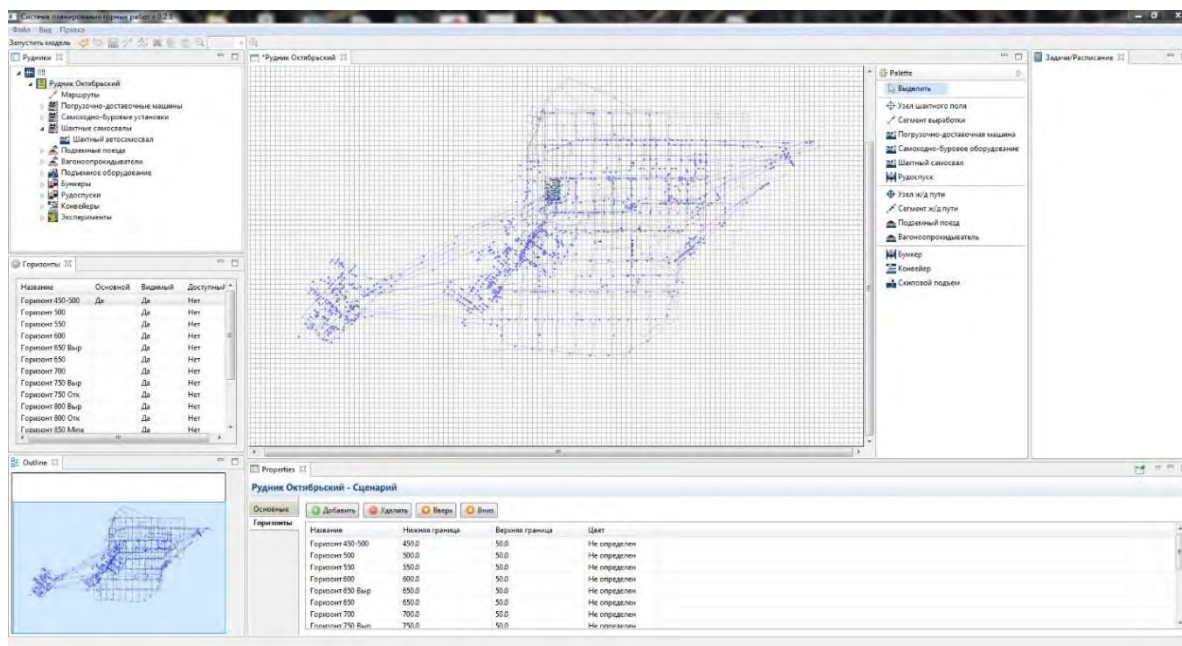


Рисунок 3.11 – Интерфейс системы имитационного моделирования

Древовидная структура рудника (рисунок 3.12) содержит в себе список всего оборудования рудника, транспортных систем, и прочих элементов входящих в моделируемую область и список экспериментов модели.

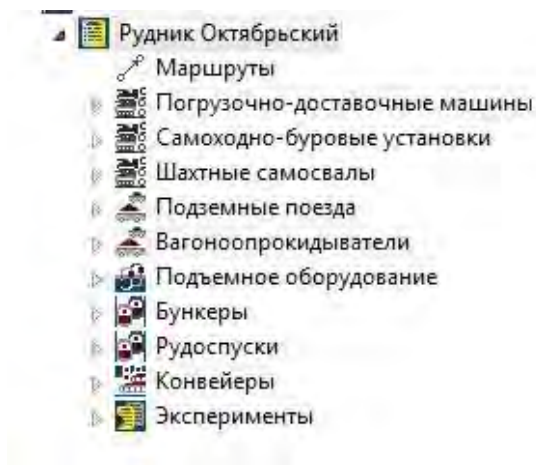


Рисунок 3.12 – Древоподобная структура рудника

Каждая группа элементов содержит в себе перечень оборудования этого типа (рисунок 3.13). Пользователь может добавлять новые элементы группы и удалять не нужные.

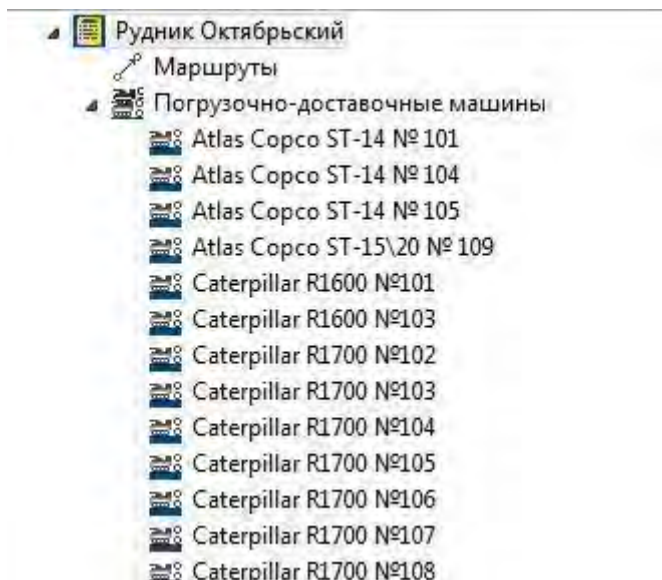


Рисунок 3.13 – Раскрытая группа древоподобной структуры

По нажатию на элемент группы в панели свойств отображаются параметры конкретного элемента, которые пользователь имеет возможность редактировать (рисунок 3.14), и в окне графического редактирования он выделяется рамкой и центрируется в окне (рисунок 3.15).

Скорость движения без груза, км/ч	8.9
Скорость движения с грузом, км/ч	8.7
Коэффициент снижения скорости на 1° наклона	0.49
Максимальная вместимость, т	15.0
Производительность погрузки без д/у, т/мин	3.4
Производительность погрузки с д/у, т/мин	7.2
Производительность ссыпания руды, т/мин	8.5
Производительность погрузки ШАС, т/мин	8.5
Расход топлива порожнего пробега, кг/км	29.0
Расход топлива пробега с полной загрузкой, кг/км	29.0
Базовое местоположение	Dest(гараж)

Рисунок 3.14 – Свойства элемента группы



Рисунок 3.15 – Выбранный элемент на окне графического редактирования

В списке горизонтов (рисунок 3.16) имеется возможность изменения отображения горизонта на окне графического редактирования. Параметр «Основной» выбирается для горизонта, с которым пользователь в данный момент хочет работать, параметр «Видимый» отображает или скрывает горизонт с холста графического редактора, и параметр «Доступный» разрешает редактирование горизонта в графическом окне или блокирует его.

Название	Основной	Видимый	Доступный
Горизонт 450-500		Нет	Нет
Горизонт 500		Да	Да
Горизонт 550		Нет	Нет
Горизонт 600		Нет	Нет
Горизонт 650 Выр		Нет	Нет
Горизонт 650		Нет	Нет
Горизонт 700		Нет	Нет
Горизонт 750 Выр	Да	Да	Да
Горизонт 750 Отк		Нет	Нет
Горизонт 800 Выр		Нет	Нет
Горизонт 800 Отк		Нет	Нет
Горизонт 850 Mine		Нет	Нет
Горизонт 850 Отка...		Да	Да
Горизонт 906 (Отк...		Нет	Нет
Горизонт 950 (Отк...		Нет	Нет
Слой Бкс		Нет	Нет

Рисунок 3.16 – Список горизонтов

На холсте графического редактора отображаются горизонты, отмеченные флагом «Видимый» (рисунок 3.17).



Рисунок 3.17 – Окно графического редактора

Добычные горизонты имеют черный цвет элементов. Сегменты выработки обозначаются черными линиями, а узлы шахтного поля кругами с черным контуром (рисунок 3.18).

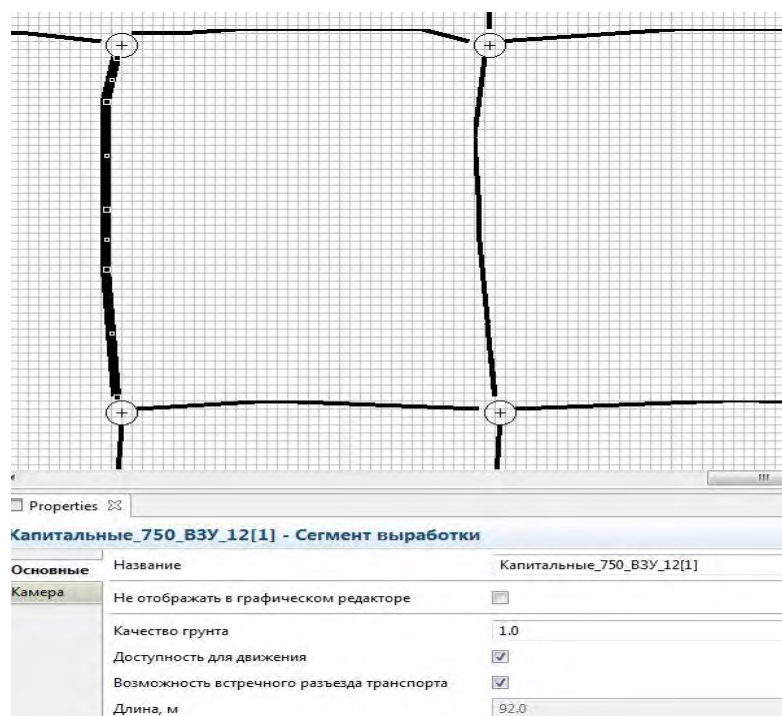


Рисунок 3.18 – Пример участка добычного горизонта

Транспортные выработки откаточных горизонтов отображаются синими линиями. Сегмент железнодорожного пути обозначается направленными (в отличие от сегментов выработки) синими линиями, а узлы железнодорожного пути синими кругами (рисунок 3.19).

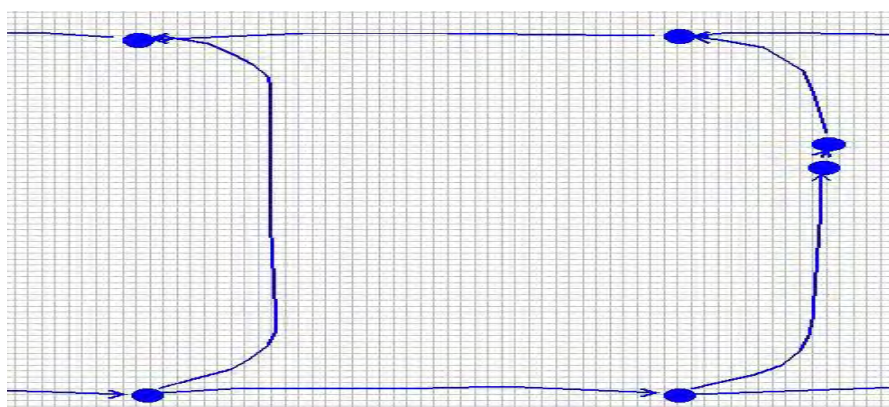


Рисунок 3.19 – Сегменты железнодорожного пути откаточного горизонта

У сегмента железнодорожного пути имеется возможность изменить направление (рисунок 3.20).

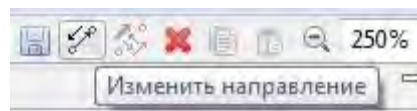


Рисунок 3.20 – кнопка «Изменить направление»

Оборудование привязывается к узлам шахтного поля или железнодорожного пути. (рисунок 3.21).

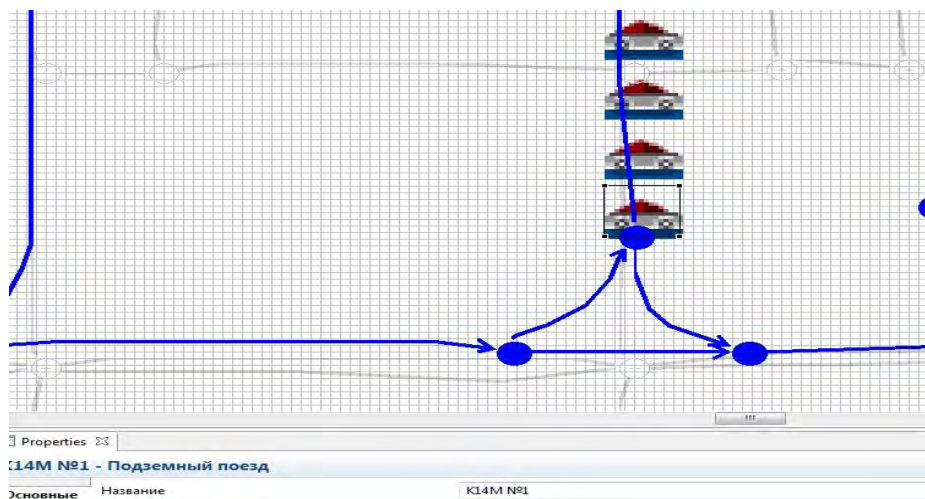


Рисунок 3.21 – Графическое представление расположения подземных поездов

При задании рудоспуска необходимо привязать его к узлу шахтного поля, откуда происходит загрузка руды, и к узлу железнодорожного пути или к узлу шахтного поля, откуда происходит выгрузка руды. При корректной привязке при выборе этого рудоспуска в окне графического редактирования или в древовидной структуре отображается цветовая индикация узлов, к которым рудоспуск привязан (рисунок 3.22).

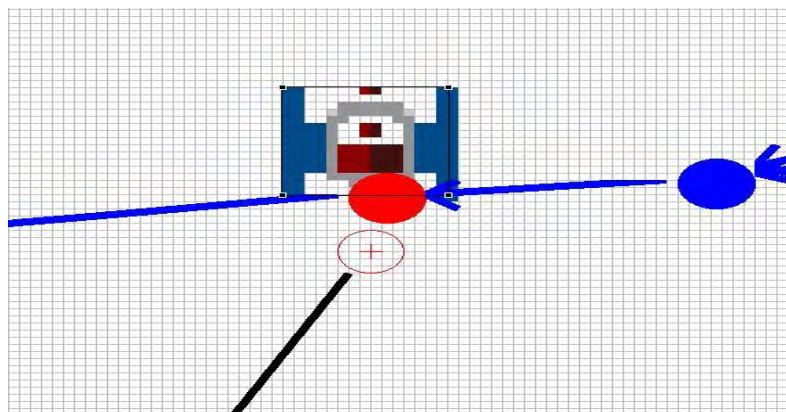


Рисунок 3.22 – Цветовая индикация узлов, связанных с рудоспуском

В свойствах сегмента выработки имеется вкладка «Камера» (рисунок 3.23), где при необходимости задается камера, в которой будут вестись проходческие и очистные работы. Камера имеет направление ведения работ и цветовую индикацию.

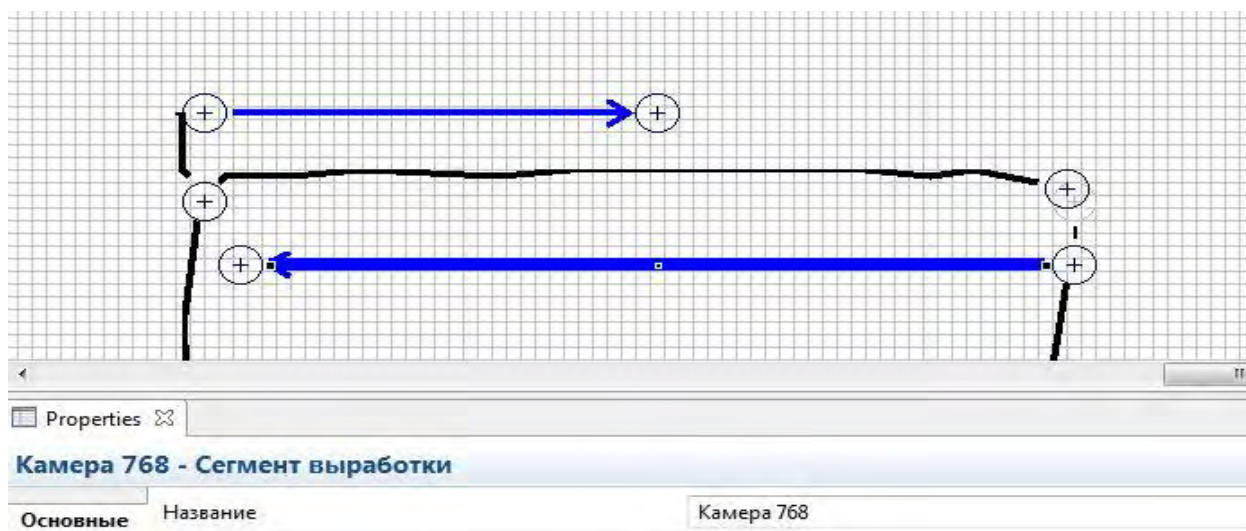


Рисунок 3.23 – пример камеры на участке выработки

Вагоноопрокидыватель логически привязывается к узлу железнодорожного пути, с которого происходит загрузка вагонов, и к бункеру, в который ссыпается руда (рисунок 3.24). Скиповый подъёмник соединяется конвейером с бункером.

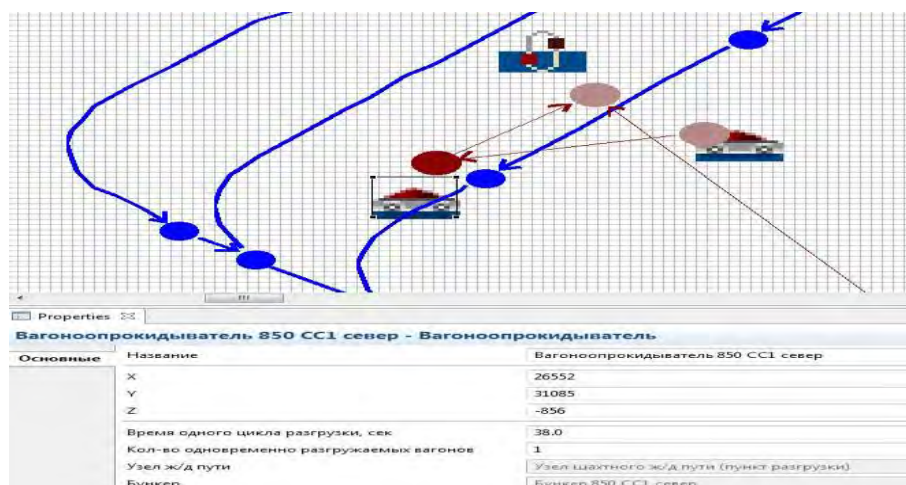
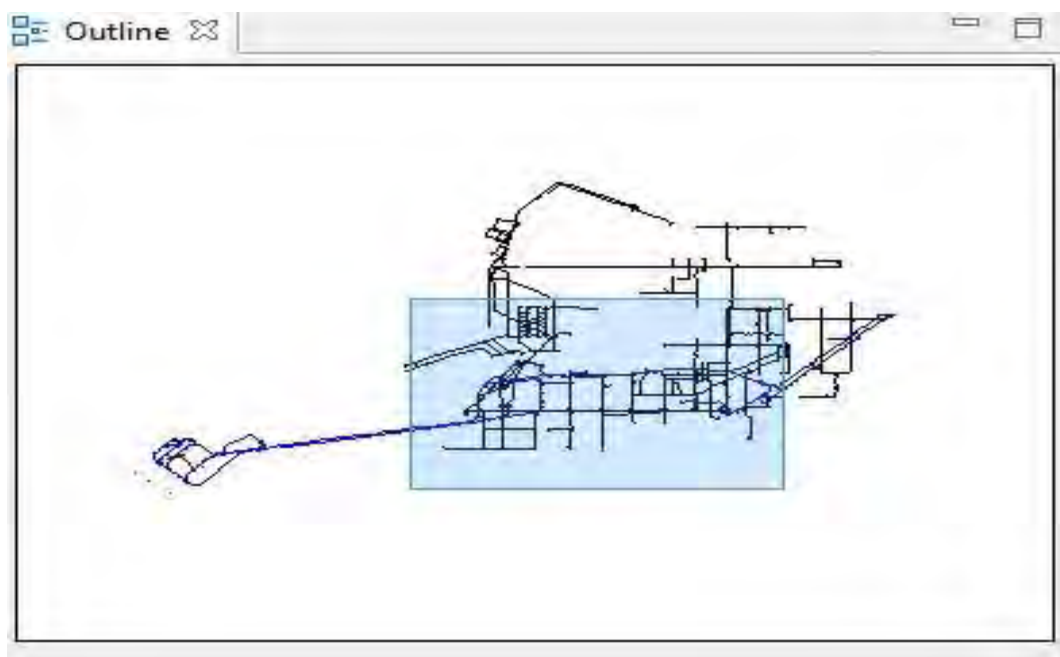


Рисунок 3.24 – Пример отображения связанных вагоноопрокидывателя, бункера, конвейера и скипового подъемника

Palette

-  **Выделить**
-  Узел шахтного поля
-  Сегмент выработки
-  Погрузочно-доставочная машина
-  Самоходно-буровое оборудование
-  Шахтный самосвал
-  Рудоспуск
-  Узел ж/д пути
-  Сегмент ж/д пути
-  Подземный поезд
-  Вагоноопрокидыватель
-  Бункер
-  Конвейер
-  Скиповой подъем

В окне навигации синим прямоугольником обозначается участок, отображаемый на окне графического редактирования (рисунок 3.26).



90

В древовидной структуре так же содержатся элементы редактирования проводимых экспериментов «Расписания» и «Производственные задания» (рисунок 3.27). Во вкладке «Расписания» задается расписание смен, взрывных работ и прочих временных регламентов. Во вкладке «Производственные задания» задаются камеры на которых должны вестись работы, тип работ (проходческие или очистные) и назначается конкретное оборудование, которое должно выполнять эти работы (рисунок 3.28).

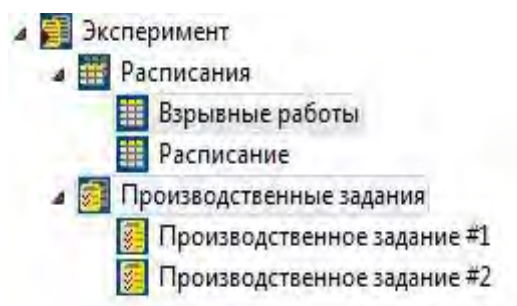


Рисунок 3.27 – вкладка «Эксперимент» древовидной структуры

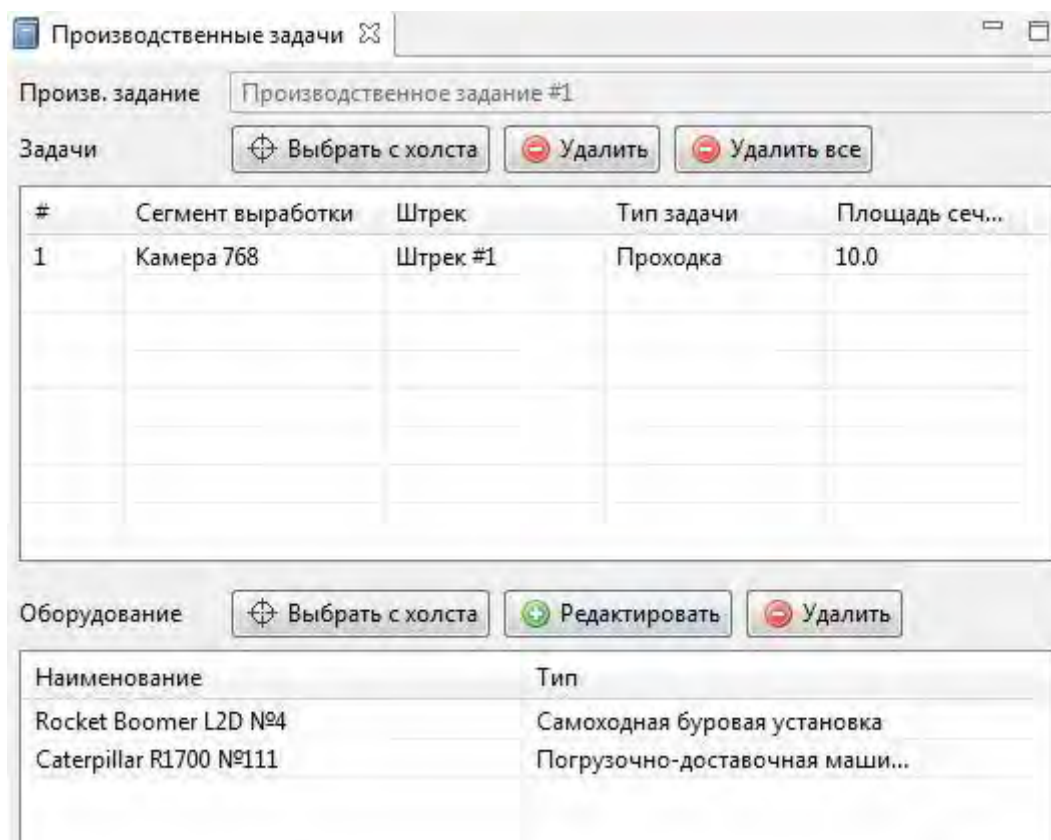


Рисунок 3.28 – Назначение производственных заданий

При запуске модели отображается модель рудника в 2D виде. На ней нанесены все заведенные пользователем элементы. Имеется возможность

отображать и скрывать необходимые горизонты. Горизонты выработки отображаются серыми линиями, горизонты откатки отображаются синим пунктиром. (рисунок 3.29).

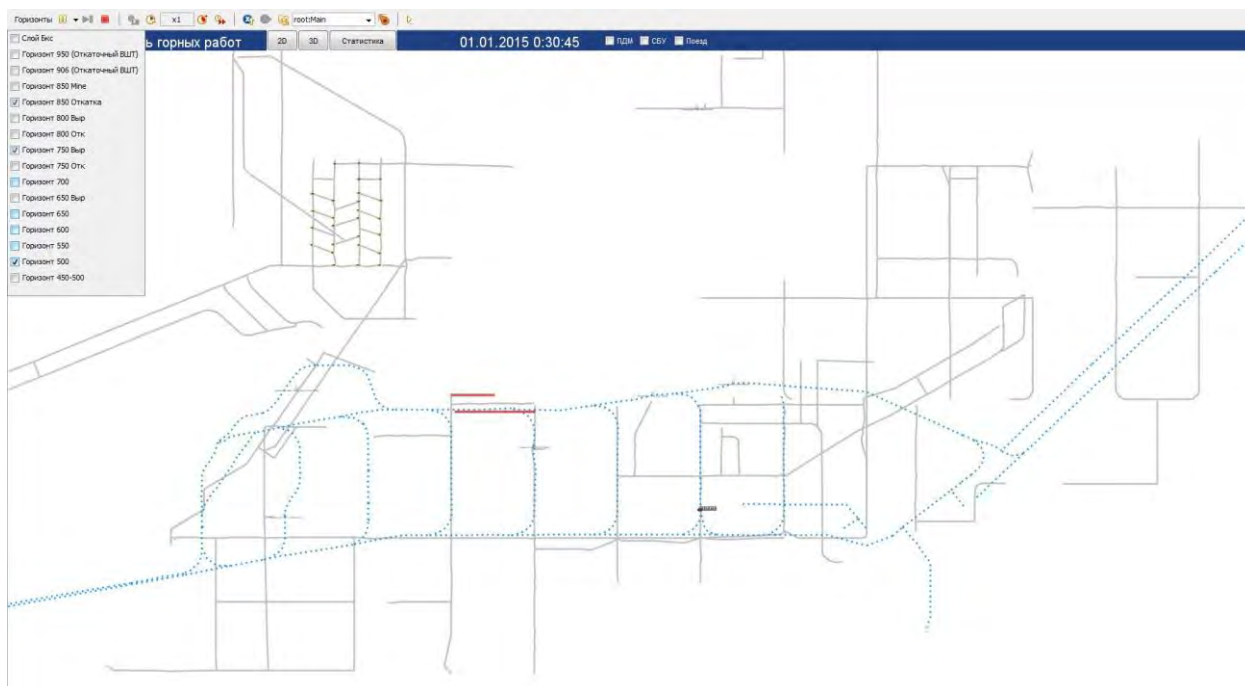


Рисунок 3.29 – 2D вид запущенной модели

Пользователь будет предоставлена возможность ускорять, замедлять, останавливать скорость работы модели, переключаться между 2D и 3D видами (рисунок 3.30), масштабировать и перемещать виды, просматривать статистику.

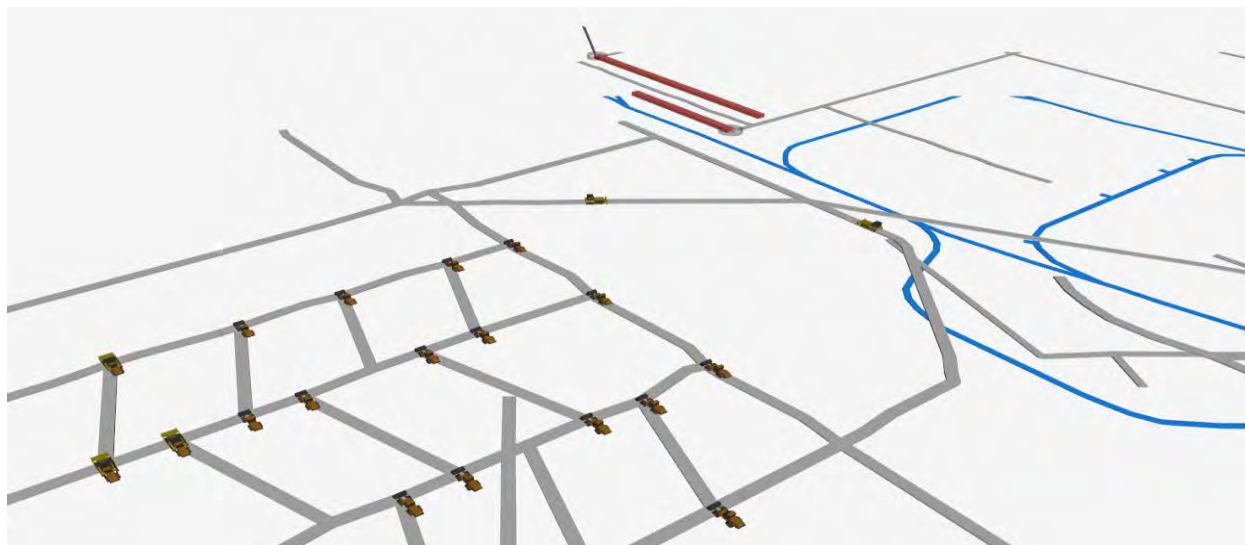


Рисунок 3.30 – 3D представление запущенной имитационной модели

3.3. Описание структуры имитационной модели

Основные предположения, принимаемые при моделировании

При разработке СИМ были 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.

Основные группы данных

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.

Основные группы данных, на основании которых формируются элементы имитационной модели рудника низшего уровня представлены на рисунке 3.31.

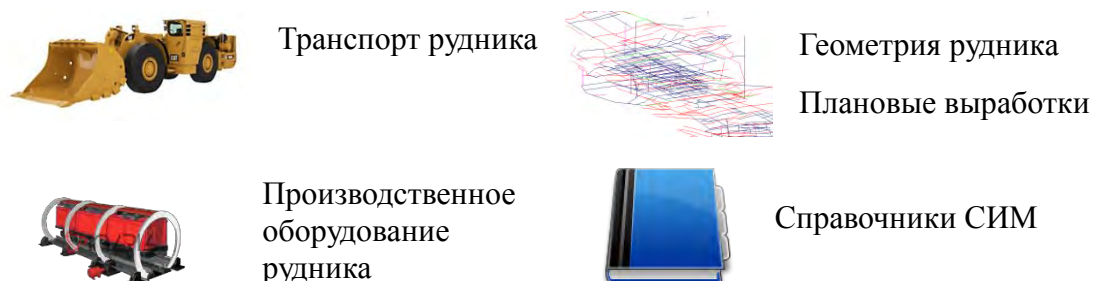


Рисунок 3.31 – Структура элементов имитационной модели

ТРАНСПОРТ РУДНИКА

В рамках создаваемой системы имитационного моделирования рассматривается работа основного оборудования, задействованного в процессе добычи и транспортировки горной массы.

В СИМ моделируется работа следующего основного транспортного оборудования:

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

Погрузочно-доставочная машина

Погрузочно-доставочная машина используется для погрузки добытой руды и доставки ее к рудоспускам или загрузки руды в шахтные самосвалы.

В СИМ ПДМ описывается двумя объектами:

- Тип погрузочно-доставочных машин;
- Экземпляр погрузочно-доставочной машины.

Шахтный автосамосвал (ШАС)

Шахтный автосамосвал используется для доставки добытой руды от ПДМ к бункерам. В СИМ ШАС описывается двумя объектами:

- Тип шахтного автосамосвала;
- Экземпляр шахтного автосамосвала.

Самоходная буровая установка

Самоходная буровая установка используется для выполнения работ по подготовке сегмента выработки к взрывным работам - бурение шпуров для зарядов. В СИМ СБУ описывается двумя объектами:

- Тип самоходной буровой установки;
- Экземпляр самоходной буровой установки.

Подземный поезд

Подземный поезд объединяет в себе свойства подземного локомотива и вагонеток, используемых для транспортировки руды между бункерами. Подземный поезд может передвигаться только по сегментам шахтного рельсового пути.

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РУДНИКА

В качестве основного Производственного оборудования рудника при моделировании в СИМ рассматриваются следующие объекты:

- Подъемная машина;
- Рудоспуск;
- Бункер;
- Конвейер;
- Сегмент конвейера;
- Сегмент шахтного рельсового пути;
- Узел шахтного рельсового пути;

- Вагоноопрокидыватель.

Подъемная машина

Подъемная машина – это оборудование, обеспечивающее подъем руды из бункера на поверхность земли. Подъемные машины используют скипы в качестве транспортировочной емкости для подъема руды на поверхность. Подъемная машина использует пару скипов. В процессе подъема руды поочередно выполняется загрузка руды в скипы и их транспортировка наверх. Во время подъема одного скипа другой скип опускается. На некоторых рудниках ЗФ ПАО ГМК «Норильский Никель» для подъема руды может также применяться клетьевой подъемник. Работа клетьевого подъемника в СИМ не моделируется.

Рудоспуск

Рудоспуск – производственное оборудование, предназначенное для транспортировки руды под собственным весом с горизонта подсечки на расположенный ниже транспортный горизонт ВШТ. Рудоспуск представляет собой объем, заполняемый рудой, для дальнейшей погрузки в вагонетки либо пересыпки руды на нижний уровень.

Бункер

Бункер – производственное оборудование, обеспечивающее попадание руды в бункерно-конвейерную систему рудника.

Конвейер

Конвейер – производственное оборудование, обеспечивающее непрерывную транспортировку руды по горной выработке. Руда поступает на конвейер в точках погрузки из рудоспуска и транспортируется с установленной скоростью к конечной точке. Конвейер состоит из набора сегментов конвейера.

Вагоноопрокидыватель

Вагоноопрокидыватель – производственное оборудования, предназначенная для разгрузки вагонов путем опрокидывания.

Оборудование, расположенное под вагоноопрокидывателем (виброгрохот, дробилка и бункер), моделируется одним бункером.

ГЕОМЕТРИЯ РУДНИКА

Для задания сети транспортных выработок в имитационной модели используется модель осевых линий выработок рудника (рисунок 3.32).

Модель осевых линий в виде файла формата dxf и загружается в СИМ путем использования конвертера.

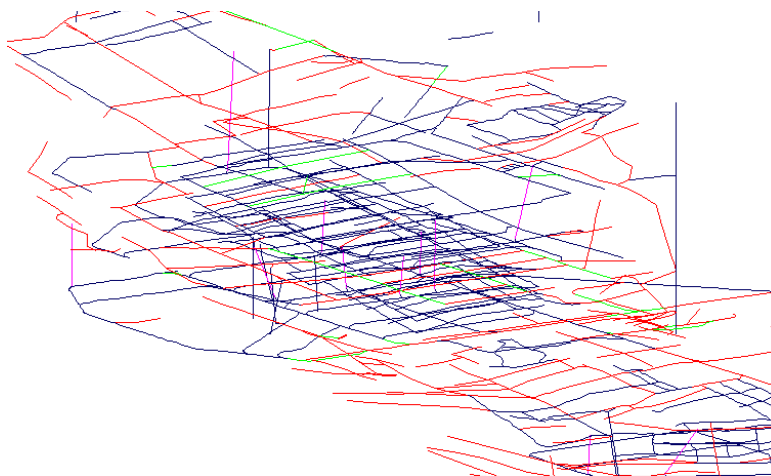


Рисунок 3.32– Осевая модель выработок рудника

Кроме осевых линий в СИМ содержится информация о расположении рудоспусков рудника и их основные свойства.

Модель осевых линий предоставлена в маркшейдерских координатах, таким образом все элементы системы располагаются в реальных координатах.

ПЛАНОВЫЕ ВЫРАБОТКИ

Информация о плановых выработках, передается в систему имитационного моделирования в формате dxf.

Пользователь системы имитационного моделирования (Оператор СИМ) должен ввести в модель информацию о геометрических характеристиках камер и выработок. Для корректного расчета режимов работы СБУ необходимо ввести информацию о параметрах бурения, параметрах взрывных работ.

СПРАВОЧНИКИ СИСТЕМЫ

Перечень основных справочников, используемых в системе, приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень справочников системы

№ п/п	Наименование справочника	Содержание справочника
1.	Типы руды, с указанием свойства	Перечень вырабатываемых типов руды с указанием их свойств: удельного веса, коэффициента разрыхления, категории буримости, и т.д.
2.	Справочник схем обурирования выработок	Схемы обурирования при принятых системах разработки, содержащие информацию о количестве штреков (ортов), направлении отбойки (из верхнего штрека, из нижнего штрека, из обоих) и т.п.
3.	Справочник норм времени на подготовительно-заключительные операции, обслуживание рабочего места и регламентированные перерывы	Справочник нормативов времени непродуктивного производственного цикла по СБУ, ПДМ и ШАС.
4.	Справочник нормативов времени на основные и вспомогательные операции	Справочник нормативов времени для СБУ, ПДМ и ШАС
5.	Справочник типовых паспортов БВР	Содержит перечень используемых на руднике паспортов БВР.
6.	Справочник производственного оборудования	Состав и технические характеристики оборудования
7.	Справочник типовых сечений горных выработок	Перечень используемых в работе сечений выработок, с указанием геометрических характеристик
8.	Справочник характеристик забоев рудников по сводным физико-механическим свойствам	Содержит данные для расчета цикла работы СБУ
9.	Справочник ТОиР	Содержит информацию по плановым ТОиР, даты начала, продолжительность

ВЫВОДЫ

1. 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.

2. 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.

3. 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.

ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ (ВЫЯВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ)

4.1. Описание объекта моделирования

В данной главе представлены результаты работ по моделированию плана развития горных работ рудника «Комсомольский» Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель».

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

Шахта «Комсомольская» ведет обработку 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 обработка 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.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Для рудника «Комсомольский» в целях моделирования плана развития горных работ были использованы следующие исходные данные (таблица 4.1):

Объемы добычи

Таблица 4.1 – Позабойный план горных работ по руднику

Участок	Панель	Наименование выработок	Ед. изм. .	год	в том числе по кварталам			
					I	II	III	IV
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Эксплуатационная проходка район "Запад" шахты "Комсомольская"								
Итого эксплуатационная проходка район "Запад" шахты "Комсомольская"			п.м	790	190	195	200	205
			м³	15 800	3 800	3 900	4 000	4 100
Эксплуатационная проходка район "Восток" шахты "Комсомольская"								
Итого эксплуатационная проходка район "Восток" шахты "Комсомольская"			п.м	670	160	165	175	170
			м³	13 400	3 200	3 300	3 500	3 400
Итого эксплуатационная проходка шахта "Комсомольская"			п.м	1 460	350	360	375	375
			м³	29 200	7 000	7 200	7 500	7 500
Эксплуатационная проходка шахта "Скалистая"								
Итого эксплуатационная проходка шахта "Скалистая"			п.м	460	115	115	115	115
			м³	9 200	2 300	2 300	2 300	2 300
Итого эксплуатационная проходка рудник "Комсомольский"			п.м	1 920	465	475	490	490
			м³	38 400	9 300	9 500	9 800	9 800
Подготовительная проходка район "Запад" шахты "Комсомольская"								
Итого подготовительная проходка район "Запад" шахты "Комсомольская"			п.м	1 770	430	445	460	435
			м³	35 400	8 600	8 900	9 200	8 700
Подготовительная проходка район "Восток" шахты "Комсомольская"								
Итого подготовительная проходка район "Восток" шахты			п.м	2 070	515	520	520	515
			м³	41 500	10 300	10 400	10 400	10 400

"Комсомольская"								
Итого подготовительная проходка шахта "Комсомольская"			п.м	3 840	945	965	980	950
			м³	76 900	18 900	19 300	19 600	19 100
Подготовительная проходка шахта "Скалистая"								
Итого подготовительная проходка шахты "Скалистая"			п.м	780	210	200	190	180
			м³	15 600	4 200	4 000	3 800	3 600
Итого подготовительная проходка рудник "Комсомольский"			п.м	4 620	1 155	1 165	1 170	1 130
			м³	92 500	23 100	23 300	23 400	22 700
Нарезная проходка район "Запад" шахты "Комсомольская"								
Итого нарезная проходка район "Запад" шахты "Комсомольская"			п.м	6 440	1 590	1 590	1 650	1 610
			м³	128 800	31 800	31 800	33 000	32 200
Нарезная проходка район "Восток" шахты "Комсомольская"								
Итого нарезная проходка район "Восток" шахты "Комсомольская"			п.м	7 870	1 975	1 985	1 985	1 925
			м³	187 000	46 900	47 200	47 200	45 700
Итого нарезная проходка шахта "Комсомольская"			п.м	14 310	3 565	3 575	3 635	3 535
			м³	315 800	78 700	79 000	80 200	77 900
Нарезная проходка шахта "Маяк"								
Итого нарезная проходка шахта "Маяк"			п.м					
			м³					
Нарезная проходка шахта "Скалистая"								
Итого нарезная проходка шахта "Скалистая"			п.м	5 390	1 290	1 360	1 370	1 370
			м³	129 100	31 000	32 600	32 700	32 800
в том числе штреки перекрытия			п.м	0	0	0	0	0
			м³	0	0	0	0	0
Итого нарезная проходка рудник "Комсомольский"			п.м	19 700	4 855	4 935	5 005	4 905
			м³	444 900	109 700	111 600	112 900	110 700
в том числе штреки перекрытия рудник "Комсомольский"			п.м	0	0	0	0	0
			м³	0	0	0	0	0
Итого проходка горных выработок рудник "Комсомольский"			п.м	26 240	6 475	6 575	6 665	6 525
			м³	575 800	142 100	144 400	146 100	143 200

Состав ПАРКА СДО

Таблица 4.2 - Перечень СДО шахты «Скалистая»

№ п.п.	Тип СДО	Фирма производитель	Марка СДО	Хоз.№ СДО	Инвент. №СДО	Наработка СДО, моточас + уд/час	Техническое состояние
1	ПДМ 14т	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	2	16468	19 782	в работе
2	ПДМ 14т	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	5	17109	16 346	в работе
3	ПДМ 14т	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	6	17404	15 495	в работе
4	ПДМ 14т	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	8	18012	11 095	в работе
5	ПДМ 14т	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	9	18384	6 830	в работе
6	ПДМ 14т	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	10	18868	3 263	в работе
7	ПДМ 10т	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH410	7	17406	14 813	ремонт
1	Шахтн.самосвал	Sandvik, Финляндия	TH-540	1	18866	532,00	в работе
2	Шахтн.самосвал	Sandvik, Финляндия	TH-540	2	18867	1 306,00	в работе
1	СБУ 2стр.	Atlas Copco, Швеция	Boomer L2D-1838 (4 м.)	7	16028	7 477,00	в работе
2	СБУ 2стр.	Atlas Copco, Швеция	Boomer L2D-1838 (4 м.)	8	16603	10 517,00	в работе
3	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	12	15772	24 242,00	в работе
4	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	16	16141	23 465,00	ремонт
5	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60 (4 м.)	19	16617	14 210,00	в работе
6	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60 (телескоп.)	25	19474	1 063,00	в работе
7	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60	27	19506	521,00	в работе
1	СБУ тросовое крепление	Sandvik, Финляндия	Sandvik DS421-60 (тросовое)	9	17570	2 366,00	в работе
2	СБУ веер.бурение	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 431-7(восходящее)	10		124,00	в работе

Таблица 4.3 - Перечень ПДМ шахты «Комсомольская»

№	Тип СДО	Фирма производитель	Марка СДО	Хоз.№ СДО	Инвент. №СДО	Возраст СДО	Наработка СДО, моточас
1	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	15	15520	7,7	35 461
2	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	16	15532	7,7	35 477
3	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700	17	15778	6,8	32 450
4	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	18	16030	5,9	29 113
5	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	19	16113	5,7	27 659
6	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	20	16120	5,3	27 354
7	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	21	16316	4,7	23 637
8	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	22	16618	4,2	23 382
9	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	23	16620	4,2	21 601
10	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	24	17487	3,3	18 032
11	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	25	17488	3,4	16 939
12	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	26	17489	3,4	17 538

13	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	27	18723	1,0	5 156
14	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	28	18724	1,0	5 144
15	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	29	18725	1,0	5 157
16	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	30	18860	0,7	3 846
17	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	31	18861	0,7	3 742
18	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	32	18862	0,7	3 507
19	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	33	18913	0,6	3 314
20	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	34	19500	0,2	799
21	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	35	19521	0,2	708
22	ПДМ 14т	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	588	ЗСК		28 677
1	Шахтн. самосвал	Atlas Copco, Швеция	MT-436B	1	15762	7,8	14 578
2	Шахтн. самосвал	Caterpillar, США	AD-30	1	40172	4,6	8 167

Таблица 4.4 – Перечень СБУ

№ п/п	Тип СДО	Фирма производитель	Марка СДО	Хоз.№ СДО	Наработка СДО, моточас + уд/час	Техническое состояние
1	СБУ 2стр.	Atlas Copco, Швеция	Boomer L2D-1838 (4,0 м)	9	6579	в работе
2	СБУ 2стр.	Atlas Copco, Швеция	Boomer L2C-1838 (4,0 м)	5	16973	в работе
3	СБУ 2стр.	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D (1 стрела)	2	26229	в работе (СПИСАНИЕ)
4	СБУ 2стр.	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D (5,0 м)	3	9113	в работе
5	СБУ 2стр.	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D	4	8730	в работе
6	СБУ 2стр.	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D (1 стрела)	5	9667	в работе: вторая стрела в ремонте
7	СБУ 2стр.	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D	6	9488	ремонт
8	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60 (4,0 м)	11	16980	ремонт (СПИСАНИЕ)
9	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	14	15443	в работе: требуется капитальный ремонт
10	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	15	15387	ремонт
11	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60 (4,0 м)	17	17101	в работе
12	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	18	14318	в работе
13	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60	20	11458	в работе
14	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60 (5,0 м)	21	11587	в работе
15	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60	22	10409	в работе

16	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60 (1 стрела)	23	4069	в работе
17	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60	24	496	в работе
18	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60	26	383	в работе
19	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60 (телескоп)	28		в работе
20	СБУ 2стр.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60 ЗСК	602	9172	в работе
№ п/п	Тип СДО	Фирма производитель	Марка СДО	Хоз.№ СДО	Наработка СДО, моточас + уд/час	Техническое состояние
1	СБУ веер.б.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 420-10 (низходящее)	3	10756	в работе
2	СБУ веер.б.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 420-10 (низходящее)	5	7612	в работе
3	СБУ веер.б.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 421-15 (низходящее)	7	352	в работе
4	СБУ веер.б.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 430-7 (восходящее)	4	6443	ремонт
5	СБУ веер.б.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 421-15 (восходящее)	6	4028	в работе
6	СБУ веер.б.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 421-15 (восходящее)	8		
7	СБУ веер.б.	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 431-7 (восходящее)	9		в работе

4.2. Дискретно-событийное моделирование транспортных потоков рудника «Комсомольский»

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

Описание программной среды *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.

Анимация в *AnyLogic* представляет динамическую совокупность всех графических образов учитываемых объектов, сформированную мнемосхему и т. п.), управляемой с помощью динамических параметров модели по законам распределения, определенным и задаваемым с помощью уравнений и логических вычислений функциональной среды моделируемого объекта.

В настоящее время существует три способа имитационного моделирования сложных динамических технологических систем,

представленных в *AnyLogic* (рис.), что делает его универсальным в использовании по сравнению с другими инструментами имитационного моделирования.

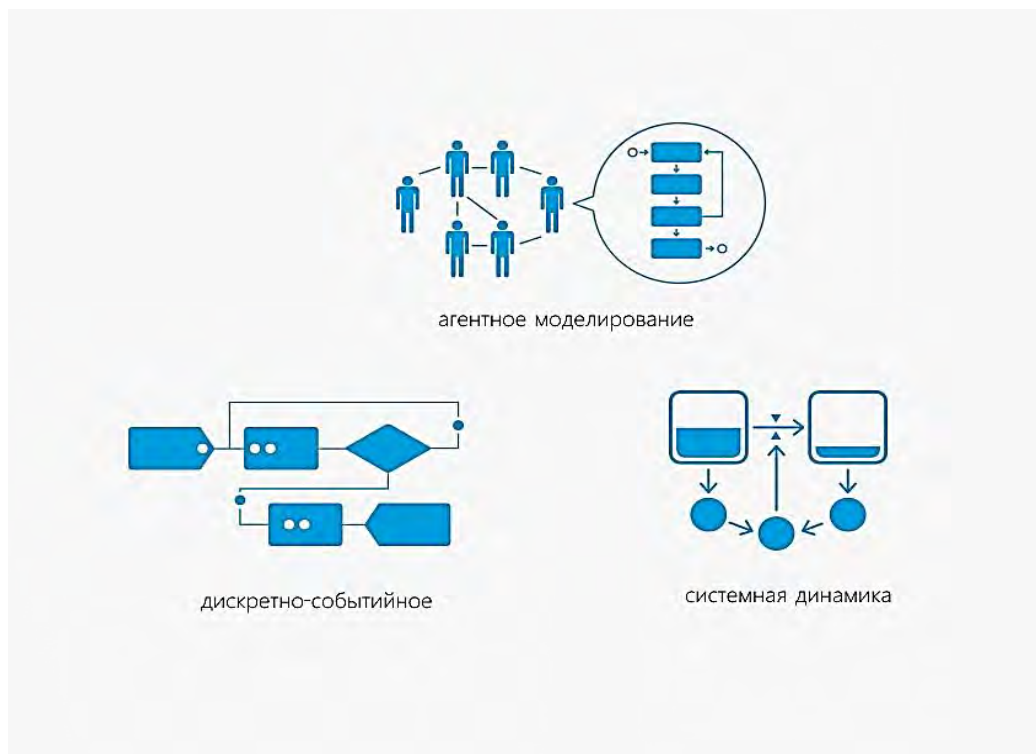


Рис. 4.1 – Способы имитационного моделирования *AnyLogic*

Моделирование технологических систем с дискретными событиями.

Моделирование технологических систем с дискретными событиями в программной среде *AnyLogic* базируется на процессах механизма, реализующего обмен сообщений между активными объектами системы через определенные порты, а внутриобъектный уровень использует таймеры и цепь событий с логикой очевидной семантики. Логика обработки сообщений функционирует графически с использованием карт состояний. Исходя из наличия данных компонентов в структуре *AnyLogic* имеются естественные аналоги всех представленных блоков и всех транзакций программных языков блочного моделирования: - при этом блок *GPSS* представляется активным

объектом, а транзакты реализуются в виде сообщений. Дополнительные объекты моделирования включены в библиотеку базовых средств (рис. 4.2).

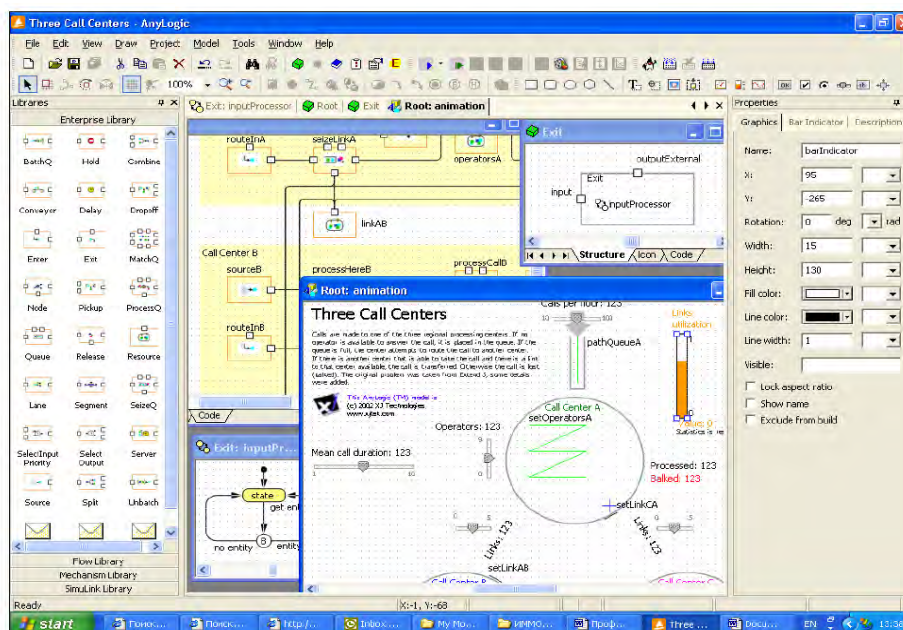


Рис.4.2 – Графическое окно редактора *AnyLogic* с дискретно-событийным моделированием

Процесс визуализации динамики производственных процессов и статистической обработки случайных параметров является встроенным и выполняется автоматически.

Агентное моделирование. В качестве интеллектуального агента в *AnyLogic* понимается объект с функциями внутреннего поведения и возможностью взаимодействия с другими аналогичными агентами, при этом каждый отдельно взятый агент характеризуется неполной и неточной исходной информацией и наделен ограниченными возможностями для реализации общей задачи, а при отсутствии централизованного управления должен реализовать ее в кооперации с другими необходимыми агентами. Все это реализуется посредством явно определенных интерфейсов.

Системная динамика. В процессе моделирования с помощью системной динамики поведение сложных динамических технологических систем описываются системами дифференциальных уравнений первого порядка с учетом графического представления зависимостей переменных в

виде «*stock and flow diagrams*». Решение простых задач при этом не представляет сложностей, а для решения сложных задач используются гибридные автоматы.

В моделируемой технологической системе подземного рудника выделены два типа производственных процессов:

- непрерывные производственные процессы (транспорт руды по конвейерной линии, наполнение и разгрузка промежуточных бункеров, выемка горной массы комбайнами и др.) – их моделирование осуществляется с помощью дискретно-событийного подхода;
- дискретные производственные процессы (транспортирование руды самоходными вагонами, обслуживание и ремонт горнодобывающей техники, выполнение регламентированных технологических производственных операций и др.) – их моделирование осуществляется посредством агентного и дискретно-событийного подходов.

Данный выбор обусловлен, в первую очередь, необходимостью обеспечения приемлемой скорости реализации программного обеспечения ANY LOGIC.

Параметры БВР

Так как годовой расчет, является приблизительным и выработки не задаются согласно паспортам БВР существующих локальных проектов – необходимо определить значения параметра ЛНС для расчета количества вееров камер, исходя из ее длины. В имитационной модели, при расчете объемов добычи значение ЛНС было принято равным 2.

Параметры руды

В системе имитационного моделирования для проведения расчетов на модели должны быть четко определены следующие значения у типов руды (по забоям):

Значение предела прочности на растяжение было взято из предоставленных материалов ООО «Институт ГИПРОНИКЕЛЬ».

Для забоев рудников Компании выполнено разделение по петрографическому признаку) и по сводным значениям физико-механических свойств с целью использования в расчетах по производительности и потребности в СБУ. В скобках указан предел прочности, на растяжение используемый в расчетах, в том числе средневзвешенный для нескольких разностей представленных в забое.

Таблица 4.5 – Предел прочности

Наименование рудника	Виды работ. Петрографическая характеристика разностей. (В скобках указан предел прочности, на растяжение используемый в расчетах)					
	<i>Горно-капитальные работы</i>		<i>Эксплуатационная разведка</i>		<i>Горно-подготовительные работы (нарезные) и очистные</i>	
	Проходка	Крепление	Проходка	Крепление	Проходка и очистные	Крепление
ШК	Габбро-долериты, роговик (12)	Габбро-долериты, роговик (12)	Вкрапленная руда, медистая (10)	Вкрапленная руда, медистая, роговик (10)	Вкрапленная руда, медистая (10)	Вкрапленная руда, медистая, роговик (10)
ШС	Габбро-долериты, роговик (12)	Габбро-долериты, роговик (12)	Богатая руда (6)	Богатая руда, роговик (9)	Богатая руда (6)	Богатая руда, роговик (9)

Коэффициент разрыхления

Удельный вес (плотность)

Коэффициент разрыхления в расчетах был принят равным 1.5

Удельный вес руды – 3,7 т/м³

Режим работы рудника

Для корректного расчета в модели циклов производственного процесса добычи руды, необходимо определить параметры расписания работы оборудования рудника.

Режим взрывания – один раз в сутки.

Продолжительность цикла взрывных работ с учетом проветривания – 3 часа.

Для самоходного оборудования используется следующее расписание (таблица 4.6):

Таблица 4.6 - Трехсменный режим

Регламент	Начало	Конец
1 смена	01:05	8:05
2 смена	8:05	15.20
3 смена	18:05	01:05

Плановые и аварийные ремонты

Проведение плановых регламентных ТО для ПДМ в имитационной модели рассчитывается по наработке. Для рудника были использованы данные, в виде таблицы, первый столбец который указывает количество моточасов до проведения планового регламентного обслуживания, а второй столбец указывает на продолжительность этого обслуживания в часах (таблица 4.8). Таким образом, в имитационной модели были заданы виды и продолжительность плановых работ по обслуживанию техники до 24000 часов наработки (таблицы 4.7, 4.8).

Таблица 4.7 – Продолжительность плановых работ по обслуживанию техники

Продолжительность работы оборудования в часах	Количество часов
125	8,00
250	16,00
375	8,00
500	27,00
625	8,00
750	16,00
875	8,00
1000	38,00
1125	8,00
1250	16,00
1375	8,00
1500	27,00
1625	8,00
1750	16,00
1875	8,00
2000	269,09
...	
24000	1318,08

Объем аварийных работ задавался на основе статистических данных за прошлые периоды, и не превышает 15% от плановых регламентных ТО.

<i>ТИП СДО крупно</i>	<i>Фирма производитель</i>	<i>Марка СДО</i>	<i>№ обор. Ellipse</i>	<i>ПНО (Ellipse)</i>	<i>год</i>	<i>Инвент. №СДО</i>	<i>Простой оборудования за 2015 год, в часах (Плановые работы)</i>	<i>Простой оборудования за 2015 год, в часах (Внеплановые работы)</i>
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700	19737	РУТ-R1700 -12 ПК	2008	15449	757,18	400,02
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	19888	РУТ-R1700 -14 ПК	2008	15499	788,83	334,17
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	20330	РУТ-R1700 -15 ПК	2008	15520	1 477,69	364,01
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	20381	РУТ-R1700 -16 ПК	2008	15532	491,83	190,57
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700	40630	РУТ-R1700 -17 ПК	2009	15778	188,21	84,39
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	42528	РУТ-R1700 -18 ПК	2010	16030	481,11	204,19
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	42593	РУТ-R1700 -19 ПК	2010	16113	1 040,99	346,21
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	43096	РУТ-R1700 -20 ПК	2011	16120	695,45	226,65
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	45634	РУТ-R1700 -21 ПК	2011	16316	380,71	94,89
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	46535	РУТ-R1700 -22 ПК	2012	16618	511,76	194,74
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	48363	РУТ-R1700 -23 ПК	2012	16620	287,36	94,74
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	50155	РУТ-R1700 -24 ПК	2013	17487	197,33	37,47
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	50156	РУТ-R1700 -25 ПК	2013	17488	180,97	52,53
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	50148	РУТ-R1700 -26 ПК	2013	17489	358,88	99,12
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	53487	РУТ-R1700 -27 ПК	2015	18723	49,29	6,31
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	53488	РУТ-R1700 -28 ПК	2015	18724	39,89	4,91
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	53489	РУТ-R1700 -29 ПК	2015	18725	70,84	9,36
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	53647	РУТ-R1700 -30 ПК	2015	18860	48,63	5,27
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	53648	РУТ-R1700 -31 ПК	2015	18861	6,25	0,75
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	53649	РУТ-R1700 -32 ПК	2015	18862	47,69	7,11
ПДМ	Caterpillar, США	R 1700 ДУ	54275	РУТ-R1700 -33 ПК	#Н/Д	18913	#Н/Д	#Н/Д
ПДМ	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	52377	РУТ-LH514 -8 PC	2014	18012	477,87	97,73
ПДМ	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	45958	РУТ-LH514 -2 PC	2012	16468	1 454,49	354,01
ПДМ	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	49589	РУТ-LH514 -5 PC	2012	17109	1 680,56	472,74
ПДМ	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	49660	РУТ-LH514 -6 PC	2013	17404	439,15	136,75
ПДМ	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	52992	РУТ-LH514 -9 PC	2015	18384	75,26	12,94
ПДМ	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH514 ДУ	54148	РУТ-LH514 -10 PC	2015	18868	87,47	13,03
ПДМ	Sandvik, Финляндия	Sandvik LH410	49699	РУТ-LH410 -7 PC	2013	17406	1 528,35	490,05
ШАС	Atlas Copco, Швеция	MT-436B	19670	РУТ-MT436 -1 ПК	2008	15762	577,22	321,28
ШАС	Caterpillar, США	AD-30	45733	РУТ-AD30 -1 ПК	2011	40172	255,25	83,15
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	Boomer L2D-1838	42355	РУТ-L2D -7 PC	2010	16028	1 176,82	272,38
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	Boomer L2D-1838	46965	РУТ-L2D -8 PC	2012	16603	746,13	308,49
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	Boomer L2D-1838	50674	РУТ-L2D -9 ПК	2013	17439	603,19	179,81

<i>ТИП СДО крупно</i>	<i>Фирма производитель</i>	<i>Марка СДО</i>	<i>№ обор. Ellipse</i>	<i>ПНО (Ellipse)</i>	<i>год</i>	<i>Инвент. №СДО</i>	<i>Простой оборудования за 2015 год, в часах (Плановые работы)</i>	<i>Простой оборудования за 2015 год, в часах (Внеплановые работы)</i>
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	Boomer L2C-1838	19529	РУТ-L2C -5 ПК	2008	15433	2 538,98	1 064,92
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D	6763	РУТ-M2D -1 ПК	2007	15045	893,95	378,65
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D	6762	РУТ-M2D -2 ПК	2007	15046	1 139,93	657,47
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D (5,0 м)	49732	РУТ-M2D -3 ПК	2013	17428	1 026,52	288,88
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D	50116	РУТ-M2D -4 ПК	2013	17393	1 570,55	386,75
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D	50117	РУТ-M2D -5 ПК	2013	17395	719,89	234,81
СБУ стрел	Atlas Copco, Швеция	BOOMER M2D	50316	РУТ-M2D -6 ПК	2013	17440	944,14	206,66
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Minimatik Axera D07-262	19738	РУТ-M07260-9 ПК	2008	15451	3 641,74	1 534,96
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	26707	РУТ-D42060-10 ПК	2009	15760	4 792,60	1 813,60
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	26849	РУТ-D42060-11 ПК	2009	15761	1 367,76	426,14
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	28260	РУТ-D42060-12 ПК	2009	15772	457,66	211,24
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	41507	РУТ-D42060-14 ПК	2010	15915	938,97	346,83
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	43849	РУТ-D42060-15 ПК	2011	16119	1 214,89	374,61
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	44228	РУТ-D42060-16 ПК	2011	16141	781,86	157,04
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	46324	РУТ-D42060-17 ПК	2012	16583	643,20	202,60
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	47783	РУТ-D42060-18 ПК	2012	16965	799,66	238,24
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD420-60	48583	РУТ-D42060-19 ПК	2012	16617	874,25	236,05
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60	49334	РУТ-D42061-20 ПК	2012	17041	1 236,99	364,11
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60	50533	РУТ-D42061-21 ПК	2013	17484	616,37	201,23
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60	50534	РУТ-D42061-22 ПК	2013	17486	775,79	229,01
СБУ стрел	Sandvik, Финляндия	Sandvik DD421-60	52996	РУТ-D42061-23 ПК	2015	18383	481,88	75,52
СБУ веерн	Atlas Copco, Швеция	SIMBA-H1254	6757	РУТ-SIMBA -6 ПК	2007	15036	1 843,52	850,88
СБУ веерн	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 420-10	41525	РУТ-D42010-3 ПК	2010	15916	894,05	341,75
СБУ веерн	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 430-7	47856	РУТ-DL4307-4 ПК	2012	16614	1 440,96	449,94
СБУ веерн	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 420-10	49019	РУТ-DL4207-5 ПК	2012	17040	861,31	280,69
СБУ веерн	Sandvik, Финляндия	Sandvik DL 421-15	52004	РУТ-DL4215-6 ПК	2014	18370	654,50	153,10

Таблица 4.8 – Простой оборудования

Учет других потерь времени

В модели учитывалось время на межсменные перерывы и ЕТО.

ЕТО – 25 минут в начале смены, 25 минут в конце смены.

РАБОТА СБУ

Формулы для расчета были использованы ООО «Институт ГИПРОНИКЕЛЬ», разработанные в результате выполнения работы «Методика расчёта длины доставки рудной массы, производительности самоходного оборудования и потребности в нём рудников ПАО «ГМК»».

Для определения чистой скорости бурения шпуров СБУ в алгоритме методики применяется формула:

$$v_{\text{шп_бур}} = \frac{361,73 \cdot \exp(-0,057 \cdot \sigma_{\text{раст}}) \cdot W}{\pi/4 \cdot d_{\text{шп}}^2 \cdot K_{\text{кр}}}, \text{ м/мин} \quad (4.1)$$

где: $\sigma_{\text{раст}}$ – предел прочности на растяжение, МПа.

W – мощность ударника СБУ, кВт;

$d_{\text{шп}}^2$ - диаметр шпура, мм;

$K_{\text{кр}}$ – коэффициент на бурение в кровлю и бока,

Для бурения скважин:

$$v_{\text{шп_бур}} = \frac{500 \cdot \exp(-0,077 \cdot \sigma_{\text{раст}}) \cdot W}{\pi/4 \cdot d_{\text{скв}}^2}, \text{ м/мин} \quad (4.2)$$

где: $\sigma_{\text{раст}}$ – предел прочности на растяжение, МПа.

W – мощность ударника СБУ, кВт;

$d_{\text{скв}}^2$ - диаметр скважины, мм;

Бурение шпуров

Время бурения одного шпура составит:

$$t_{\text{шп}} = \frac{l_{\text{шп}}}{v_{\text{бур}}} + t_{\text{заб}} + t_{\text{ман}} \quad (4.3)$$

где: $l_{\text{шп}}$ - средневзвешенная по паспорту бурения (паспорту БВР или крепления) глубина шпура, м;

$t_{\text{заб}}$ – время на забуривание, мин (принимается на основании норм выработки для категории пород по буримости);

$t_{\text{ман}}$ - время на манипуляции и прицеливание (принимается в соответствии с нормами выработки);

$v_{\text{шп_бур}}$ - чистая скорость бурения шпура, м/мин;

Количество пробуренных шпуров на один манипулятор составит:

$$N_{\text{шп1}} = \frac{T_{\text{опер_см}}}{t_{\text{шп}}} \quad (4.4)$$

где: $T_{\text{опер_см}}$ - оперативное время для СБУ (нормы выработки), различно для продолжительности смены и участка рудника. Определяется как время чистого бурения с учетом времени на забуривание, манипуляции и прицеливание.

Для скважины определенной глубины время бурения составит:

$$t_{\text{скв}} = \frac{l_{\text{скв}}}{v_{\text{бур}} \times k_{\text{зл}}} + t_{\text{заб}} + (t_{\text{нар}} + t_{\text{разб}}) \times N_{\text{шт}} + t_{\text{ман}} \quad (4.5)$$

где: $l_{\text{скв}}$ - средневзвешенная по паспорту бурения (паспорту БВР) глубина скважины, м;

$t_{\text{нар}}$ – время на наращивание бурового става, мин. (принимается в соответствии с нормами выработки);

$t_{\text{заб}}$ – время на забуривание, мин (принимается на основании норм выработки для категории пород по буримости, на предприятиях ГМК НН категория пород принимается равным коэффициенту крепости);

$t_{\text{разб}}$ – время на разбор бурового става, мин. (принимается в соответствии с нормами выработки);

$t_{\text{ман}}$ - время на манипуляции и прицеливание (принимается в соответствии с нормами выработки);

$N_{\text{шт}}$ – количество штанг на скважину, $N_{\text{шт}} = \frac{l_{\text{СКВ}}}{l_{\text{шт}}}$ (округляется в большую сторону до целого числа);

$l_{\text{шт}}$ – длина одной штанги, как правило $l_{\text{шт}}=1,5\text{м}$.

Количество пробуренных скважин СБУ составит:

$$N_{\text{СКВ}} = \frac{T_{\text{опер_см}}}{t_{\text{СКВ}}} \quad (4.6)$$

где: $T_{\text{опер_см}}$ - оперативное время для СБУ (нормы выработки), различно для продолжительности смены и участка рудника. Определяется как время чистого бурения с учетом времени на забуривание, манипуляции и прицеливание, разборку и сборку става.

В имитационную модель были включены следующие данные для расчета параметров работы СБУ (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Данные для расчета параметров работы СБУ

СБУ шпурь Atlas Copco Boomer L2 C - Тип самоходной буровой установки			
Основные	Название	СБУ шпурь Atlas Copco Boomer L2 C	
Состав	Интервал между задержками движения, мин	0	20.0 30.0
Ремонт	Длительность задержки движения, мин	10.0	20.0 30.0
	Длительность встречного разъезда, мин	10.0	
	Скорость передвижения, км/ч	6.0	
	Тип бурения	Горизонтальное	
	Мощность ударника, кВт	18.0	
	Коэффициент на бурение в кровлю и бока	1.185	
	Время на забуривание, мин	0.5	
	Время на манипуляции, мин	1.0	
	Коэффициент совместной работы	1.66	
	Время на вспомогательные операции, мин	0.0	
	Максимальная глубина бурения, м	3.9	
	Коэффициент снижения скорости бурения	0.85	
	Длина штанги, м	1.5	
	Время наращивания става, мин	0.45	
	Время разбора става, мин	0.612	

Параметры ВШТ

В расчете имитационной модели учитывается работа ВШТ горизонта, из расчета:

Количество составов: 17.

Среднее количество вагонов в партии: 10.

Эксперименты на имитационной модели

Граничные условия

Период моделирования – календарный год.

Таблица 4.10 - Состав Экспериментов

№	Наименование эксперимента	Краткое описание эксперимента
1	Базовый -	22 ПДМ 1 ШАС
2	Плохое состояние трассы движения	Базовый эксперимент со значительно ухудшенным качеством трассы движения
3	Хорошее состояние трассы движения	Базовый эксперимент со значительно улучшенным качеством дороги
4	21 ПДМ в работе	В работе 21 ПДМ и 1 ШАС
5	20 ПДМ в работе	В работе 20 ПДМ и 1 ШАС
6	Меньший фактический объем ковша	Базовый с нагрузкой на ковш Caterpillar R-1700 G не более 7 т.
7	1 – 5 вееров за цикл	Вариация вееров за стадию взрыва
8	Базовый Скалистая	Эксперимент показанный на демонстрации модели по шахте Скалистая

4.3. Выявление «узких мест» дорожно-транспортных потоков и оптимизация парка самоходного оборудования

Результаты экспериментов

ЭКСПЕРИМЕНТ – БАЗОВЫЙ

При прогоне имитационной модели рудника «Комсомольский» ш. «Комсомольская» на планах были получены следующие результаты.

Таблица 4.11 – Добыча

Плановый объем разрыхленный, [м3]	Плановая масса, [т]	Расчетный объем разрыхленный, [м3]	Расчетная масса, [т]
1 673 313,8	4 127 507,3	1 584 420,0	3 908 236,1

Таблица 4.12 - Статистика движения СДО

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14ПК] ушла 1.07)	10 106,00	5 152,00	10 506,00	46 407,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15ПК])	16 570,00	7 977,00	17 021,00	75 528,00	10,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16ПК])	17 203,00	7 490,00	15 104,00	66 915,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17ПК])	15 274,00	8 528,00	17 945,00	79 487,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18ПК])	16 640,00	7 958,00	14 393,00	63 496,00	10,88
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19ПК])	16 310,00	7 721,00	16 420,00	72 788,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20ПК])	15 896,00	8 073,00	16 911,00	74 947,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21ПК])	15 497,00	8 560,00	16 361,00	72 223,00	10,89
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22ПК])	10 961,00	5 786,00	13 014,00	57 746,00	10,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23ПК])	11 687,00	6 498,00	13 381,00	59 031,00	10,88

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	11 419,00	6 565,00	15 725,00	69 781,00	10,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	13 999,00	7 794,00	16 175,00	71 588,00	10,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	11 607,00	6 836,00	14 042,00	62 113,00	10,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	13 767,00	7 733,00	15 776,00	69 621,00	10,89
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	13 339,00	7 091,00	16 758,00	74 231,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	13 199,00	7 267,00	17 015,00	75 350,00	10,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	14 214,00	7 516,00	17 040,00	75 224,00	10,89
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	11 885,00	6 141,00	13 638,00	60 322,00	10,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	11 198,00	7 590,00	16 730,00	74 233,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	11 730,00	7 930,00	19 537,00	86 581,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	13 331,00	9 279,00	22 052,00	97 900,00	10,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	13 241,00	9 890,00	22 356,00	98 896,00	10,91
MT436 ([-1PK])	1 495,00	1 495,00	1 927,00	22 172,00	28,38

Таблица 4.13 - Продуктивное время работы ПДМ

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки и, [ч]	Время разгрузки и, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK]) ушла 1.07)	766,32	1 486,87	171,55	105,62	2 530,37	16 113 370,86
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	1 179,50	2 425,89	279,74	184,94	4 070,07	25 918 165,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 113,06	2 521,21	247,75	155,77	4 037,79	25 712 606,34
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 265,13	2 242,51	294,29	194,04	3 995,97	25 446 297,00
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 182,31	2 441,24	234,74	143,35	4 001,64	25 482 403,50
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 145,86	2 397,10	269,75	174,93	3 987,63	25 393 187,96

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузк и, [ч]	Время разгрузк и, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 200,15	2 338,58	277,21	171,39	3 987,33	25 391 277,57
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 270,22	2 277,34	267,02	168,95	3 983,53	25 367 079,20
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	875,64	1 608,20	213,88	133,26	2 830,98	18 027 652,33
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	963,52	1 720,42	218,31	139,76	3 042,01	19 371 489,26
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	972,71	1 681,87	258,21	168,90	3 081,70	19 624 234,78
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	1 156,48	2 059,23	265,97	169,17	3 650,85	23 248 576,29
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	1 016,02	1 706,63	229,67	142,27	3 094,59	19 706 318,17
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	1 149,24	2 026,94	257,90	168,71	3 602,79	22 942 530,69
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	1 054,43	1 966,93	274,94	186,18	3 482,48	22 176 397,82
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	1 075,84	1 934,19	279,31	176,21	3 465,55	22 068 587,74
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	1 113,27	2 086,16	278,80	179,05	3 657,28	23 289 522,47
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	911,79	1 754,98	223,30	154,75	3 044,82	19 389 383,31
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	1 122,99	1 653,60	275,08	183,02	3 234,70	20 598 537,25
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	1 173,79	1 735,68	320,33	208,28	3 438,08	21 893 659,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	1 373,37	1 966,02	362,62	233,83	3 935,83	25 063 326,08
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	1 463,05	1 948,98	366,60	226,20	4 004,83	25 502 717,39
МТ436 ([-1PK])	191,58	189,68	1 398,80	36,95	1 817,02	12 192 912,84
ИТОГО						509 920 232,99

Таблица 4.14 - Непродуктивное время работы ПДМ

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварий ные ситуаци и, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	500,50	11,62	50,47	12,67	318,50	78,00	227,50	593,36	62,60
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	1 006,50	14,47	207,65	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	81,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 006,50	15,25	239,16	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	90,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 003,75	19,46	281,44	12,67	639,33	156,00	456,67	2 127,13	89,52
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 006,50	15,97	274,58	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	93,00
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	929,50	14,90	465,51	12,67	592,67	143,00	423,75	2 127,13	93,76
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	913,00	18,93	497,55	12,67	582,17	143,00	416,25	2 127,13	97,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	913,00	18,39	1 005,62	12,67	580,42	143,00	415,00	809,06	92,84
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 006,50	11,52	1 723,96	12,67	640,50	156,00	457,50	1 852,87	79,32
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	1 006,50	13,06	1 320,11	12,67	640,50	156,00	457,50	2 044,15	72,52
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 006,50	14,24	1 765,49	12,67	640,50	156,00	457,50	1 557,90	71,81
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	1 006,50	15,89	1 909,49	12,67	640,50	156,00	457,50	843,11	86,10
ПДМ 14т Caterpillar R-1700	1 006,50	16,66	1 716,18	12,67	640,50	156,00	457,50	1 591,90	73,59

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварий ные ситуаци и, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
G (50148 [-26PK])									
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	1 006,50	18,54	914,34	12,67	640,50	156,00	457,50	1 883,66	88,54
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	1 006,50	18,09	2 055,93	12,67	640,50	156,00	457,50	862,83	88,07
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	1 006,50	16,05	2 074,90	12,67	640,50	156,00	457,50	862,83	71,30
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	1 006,50	16,55	2 021,24	12,67	640,50	156,00	457,50	724,26	79,52
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	1 006,50	14,83	1 708,25	12,67	640,50	156,00	457,50	1 651,43	78,75
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	1 006,50	12,79	2 404,91	12,67	213,50	156,00	-	1 651,43	76,65
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	1 006,50	16,12	2 174,20	12,67	213,50	156,00	-	1 675,43	84,44
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	1 006,50	18,01	1 783,39	12,67	213,50	156,00	-	1 566,61	90,03
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	1 006,50	18,65	1 713,75	12,67	213,50	156,00	-	1 566,61	87,04
MT436 ([-1PK])	-	1,94	6 952,37	12,67	-	-	-	-	7,47

Таблица 4.15 - Статистика работы откаточных горизонтов

Поезда	Количество вагонов в партии	Количество рейсов	Объем перевезенной руды, [м3]
K14M №1	10	1419	138438
K14M №2	10	287	27625
K14M №3	10	10	405
K14M №4	10	0	0,00
K14M №5	10	0	0,00
K14M №6	10	0	0,00
K14M №7	10	0	0,00
K14M №8	10	0	0,00
K14M №9	10	12	471
K14M №10	10	171	17039
K14M №11	10	780	71007
K14M №12	10	2191	210829
K14M №13	10	2887	267014
K14M №14	10	1684	178435
K14M №15	10	1445	159715
K14M №16	10	2091	233955
K14M №17	10	2885	279050
K14M №1	10	1419	138438

Данные остальных имитационных экспериментов приведены в таблицах 4.16-4.49 Приложения.

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 проведении экспериментов на ряде значений этого параметра (от 1 до 7) были установлены следующие зависимости (рисунки 4.3, 4.4, 4.5):

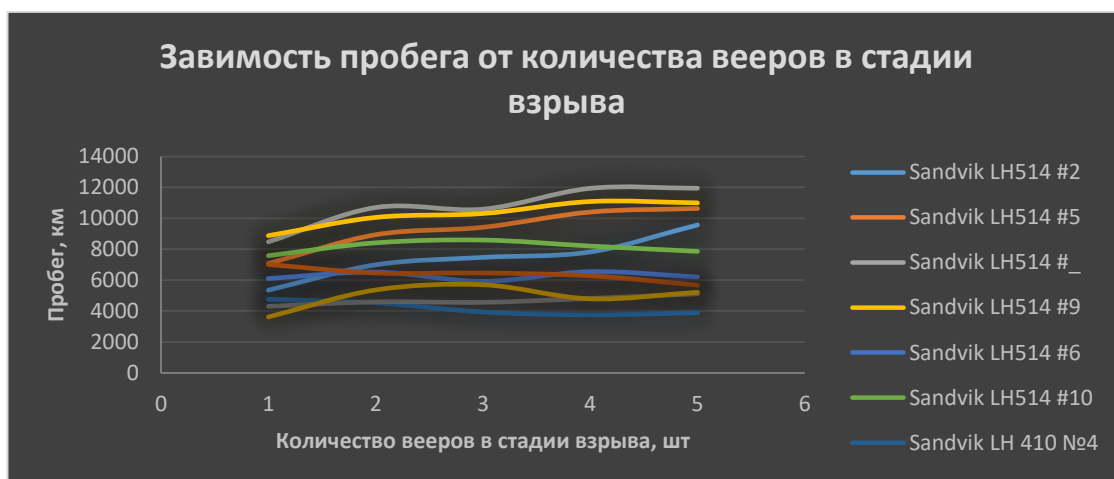


Рисунок 4.3 - Зависимость пробега от количества вееров в стадии взрыва



Рис.4.4 – Зависимость объема добычи от количества вееров

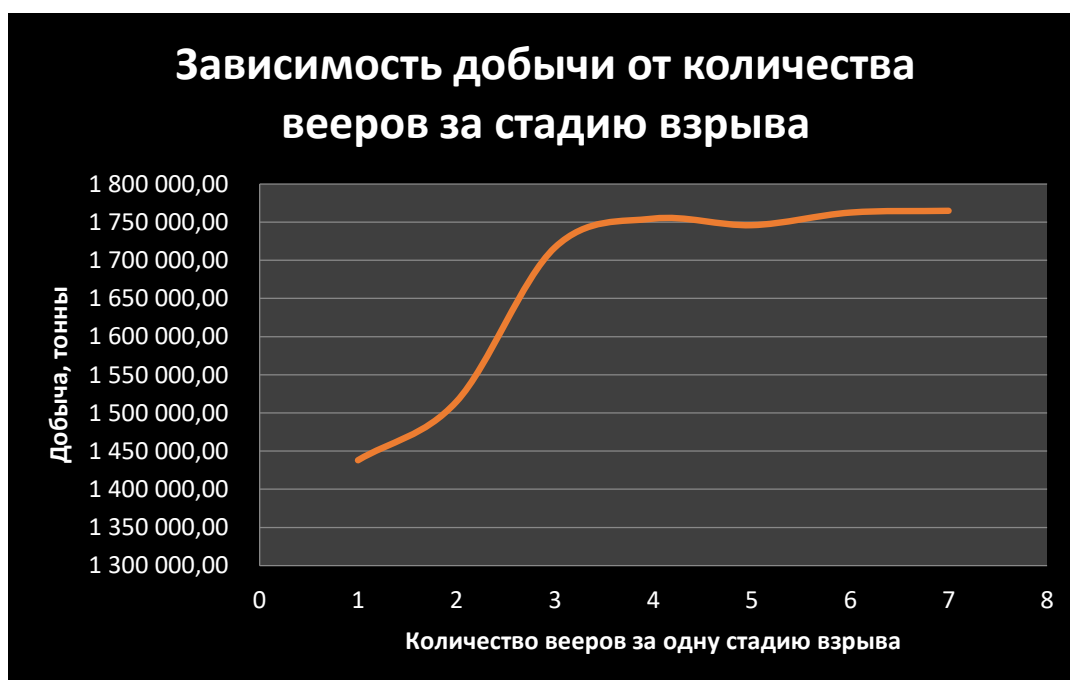


Рисунок 4.5 - Зависимость объема добычи от количества взрывааемых вееров

Таблица 4.50 – Значение добычи в зависимости от количества вееров

№	Добыча, тонны
1 веер	1 437 962,72
2 веера	1 514 739,90
3 веера	1 716 743,98
4 веера	1 754 588,67
5 вееров	1 746 010,81
6 вееров	1 762 514,03
7 вееров	1 764 829,00

Таблица 4.51 - Сводная статистика Пробег/Кол-во вееров

	Пробег без груза - ПДМ и ШАС				
	1 Веер	2 Веера	3 веера	4 Веера	5 Вееров
Sandvik LH514 #2	5347	6989	7468	7819	9570
Sandvik LH514 #5	7072	8937	9416	10402	10632
Sandvik LH514 #	8472	10696	10587	11935	11940
Sandvik LH514 #9	8874	10053	10306	11081	10995
Sandvik LH514 #6	6102	6520	5917	6546	6202
Sandvik LH514 #10	7579	8411	8590	8202	7858
Sandvik LH 410 №4	4765	4531	3936	3755	3894
Sandvik LH514 #8	7006	6460	6461	6275	5671
Sandvik LH 410 №7	4143	2731	2823	2923	2687

TH 540 №1	4300	4593	4564	4815	5111
TH 540 №2	3616	5362	5698	4787	5214
	Пробег с грузом				
Sandvik LH514 #2	3838	5308	5915	6196	7787
Sandvik LH514 #5	5190	7113	7397	8397	8773
Sandvik LH514 #	6787	8744	8937	9966	9885
Sandvik LH514 #9	6930	8156	8384	9120	8842
Sandvik LH514 #6	4790	5324	4634	5261	5067
Sandvik LH514 #10	5971	6812	6929	6573	6383
Sandvik LH 410 №4	3717	3629	3093	2997	3094
Sandvik LH514 #8	5565	5186	5210	5074	4591
Sandvik LH 410 №7	3276	2173	2279	2287	2099
TH 540 №1	2977	3261	3333	3565	3770
TH 540 №2	2471	3727	3876	3373	3563
	Количество циклов загрузки/разгрузки				
Sandvik LH514 #2	14752	20557	21584	22066	27283
Sandvik LH514 #5	18034	24186	25756	28194	27100
Sandvik LH514 #	20937	26162	25369	29358	31019
Sandvik LH514 #9	20638	23682	24250	27398	26815
Sandvik LH514 #6	14027	14743	14194	15231	14943
Sandvik LH514 #10	17343	19244	20085	18402	18170
Sandvik LH 410 №4	10607	10634	9948	8838	8757
Sandvik LH514 #8	15415	14549	14489	13705	12587
Sandvik LH 410 №7	9156	6062	6443	6263	6008
TH 540 №1	10042	10551	11248	11479	12255
TH 540 №2	7863	12667	12589	11072	12264

Из показанных выше зависимостей, видно, что в том случае если на производстве среднее значение параметра «Количество вееров в стадии взрыва» будет меньше 4, то существуют риски невыполнения производственного плана.

Работа Шахтных самосвалов

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

На рисунке 4.6 представлены диаграммы по загрузке ШАС.

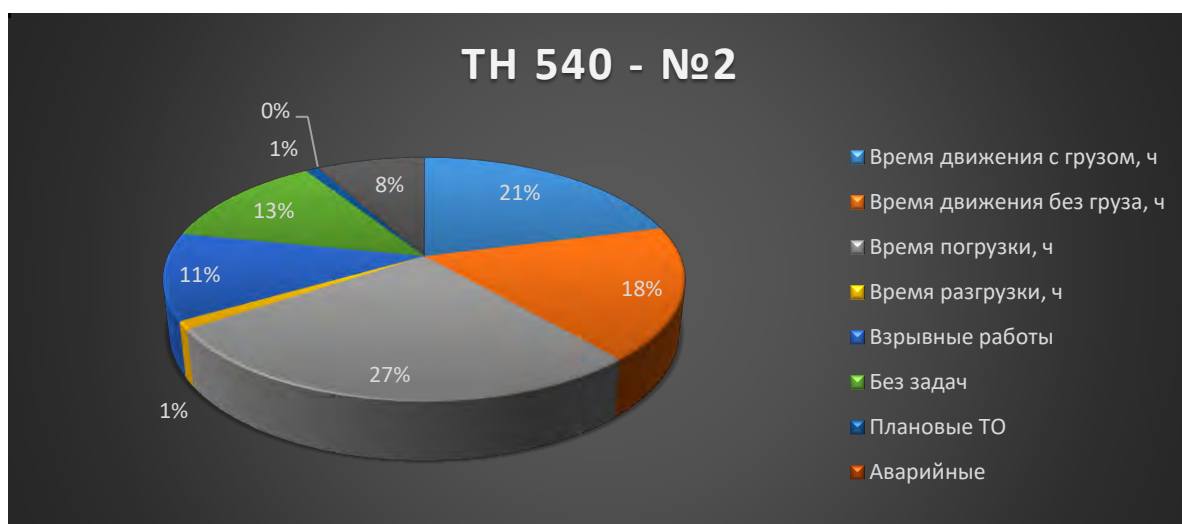
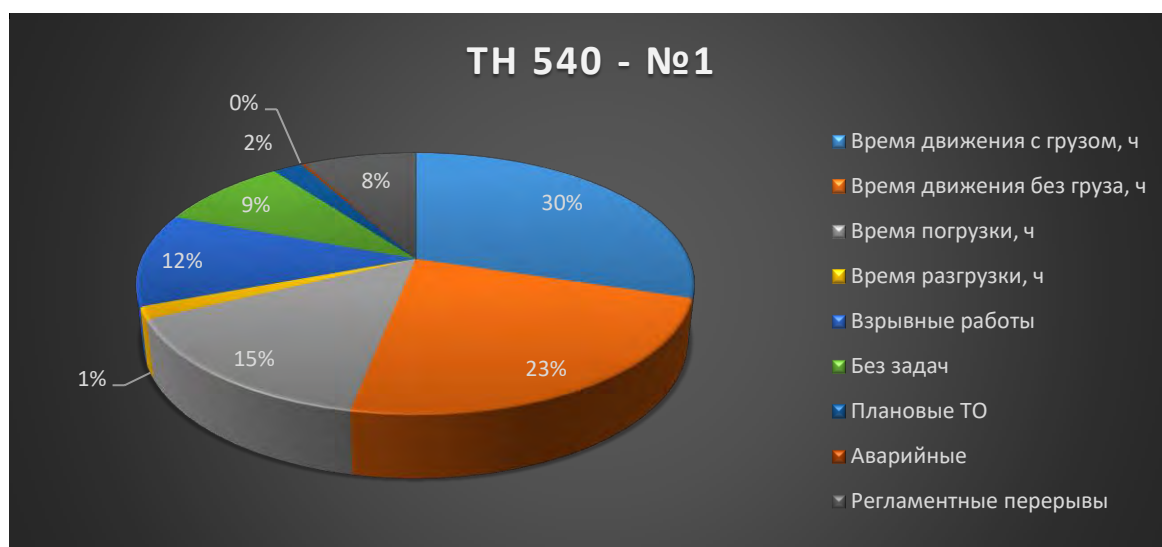


Рисунок 4.6 – Диаграммы по загрузке ШАС

В таблице 4.52 приведены расчетные значения КИО.

Таблица 4.52 – 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 4.53.

Таблица 4.53 – 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

Работа ШАС – вариант «как будет»

При прогоне эксперимента «как будет» у шахтного самосвала увеличивается процент времени на загрузку ПДМ. На диаграмме показано, что ШАС в данном случае используется неэффективно, рисунки 4.7, 4.8.



Рисунок 4.7 – Загрузка ШАС №1, вариант «как будет»

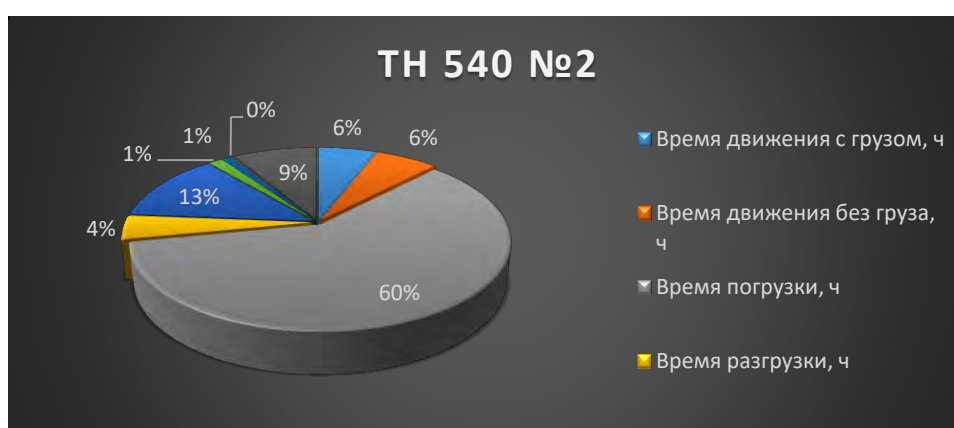


Рисунок 1.8 – Загрузка ШАС №2, вариант «как будет»

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. Фрагменты имитационного моделирования приведены на рис. 4.9, 4.10.

Исходя из этого, сравнение вариантов работы ВШТ показало, что комбинированный цикл способен дать экономический эффект не только за счёт сокращения потерь от простоев, но и за счёт сокращения числа работающих самосвалов. Ожидаемый экономический эффект от использования проектного варианта составит для условий рудника «Скалистый» в среднем 82,5 млн. рублей в год по сравнению с базовым вариантом.

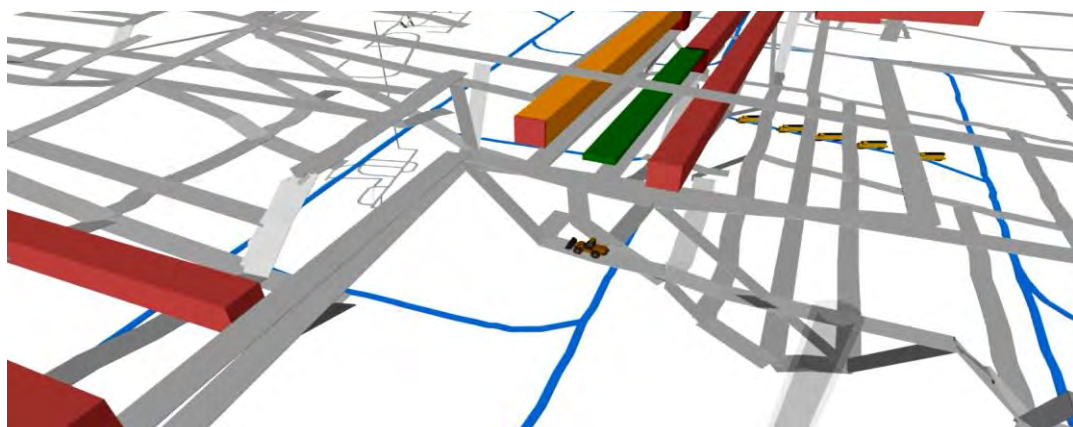


Рис. 4.9 – Фрагмент имитационной модели подземного рудника

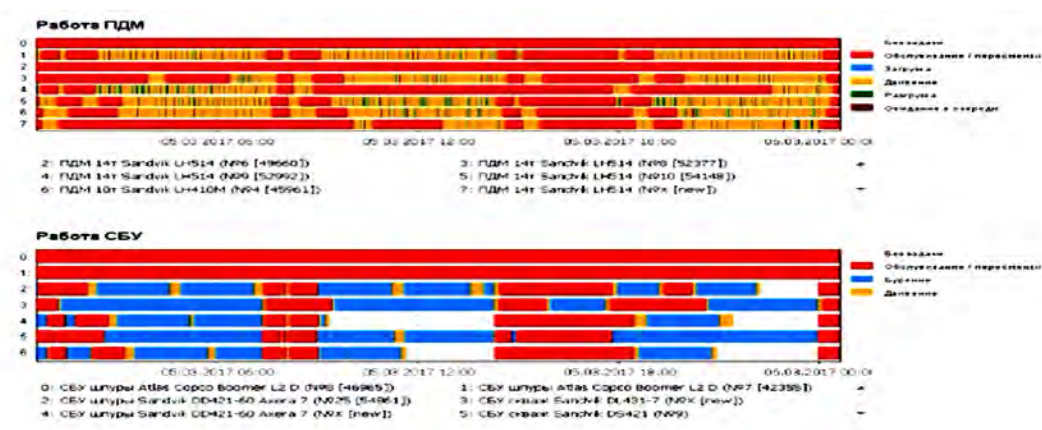


Рис. 4.10 – Фрагмент реализации имитационной модели подземного рудник

ВЫВОДЫ

1. В моделируемой технологической системе подземного рудника «Комсомольский» рационально выделить два типа производственных процессов:

- непрерывные производственные процессы (транспорт руды по конвейерной линии, наполнение и разгрузка промежуточных бункеров, выемка горной массы комбайнами и др.) – их моделирование осуществляется с помощью дискретно-событийного подхода;
- дискретные производственные процессы (транспортирование руды самоходными вагонами, обслуживание и ремонт горнодобывающей техники, выполнение регламентированных технологических производственных операций и др.) – их моделирование осуществляется посредством агентного и дискретно-событийного подходов.

Данный выбор обусловлен, в первую очередь, необходимостью обеспечения приемлемой скорости реализации программного обеспечения ANY LOGIC.

2. 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. Если на производстве среднее значение параметра «Количество вееров в стадии взрыва» будет меньше 4, то существуют риски невыполнения производственного плана.

3. Сравнение вариантов работы ВШТ показало, что комбинированный цикл способен дать экономический эффект не только за счёт сокращения потерь от простоев, но и за счёт сокращения числа работающих самосвалов. Ожидаемый экономический эффект от использования проектного варианта составит для условий рудника «Скалистый» в среднем 82,5 млн. рублей в год по сравнению с базовым вариантом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой дано новое решение актуальной научной задачи оптимизации распределения внутришахтного транспорта по пунктам погрузки, имеющей существенное значение для повышения эксплуатационной производительности ВШТ рудников.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований заключаются в следующем.

1. Установлено, что эксплуатационная производительность ВШТ современных рудников во многом зависит от эффективности использования погрузочно-доставочных машин и автосамосвалов, определяемой величиной их простоев в течение смены в ожидании работы. Основные резервы сокращения этих простоев заключены в повышении эффективности применяемой системы диспетчеризации 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. В качестве критерия принятия решений по распределению предложен комплексный критерий, учитывающий разную стоимость простоев внутришахтного оборудования, а также разную производительность и приоритетность ПДМ, шахтных автосамосвалов и соответствующих им маршрутов транспортирования горной массы до рудоспуска.
3. Обосновано, что традиционные детерминированные и марковские методы для исследования процессов в системе ВШТ рудника непригодны. Неадекватность этих методов устраняется использованием имитационного моделирования с учётом дискретно-событийного и вероятностного характера погрузочно-транспортного процесса, а также подчинённости вероятностных распределений временных характеристик этого процесса гамма-закону. На

основе имитационной модели разработан программный комплекс, который позволяет моделировать различные ситуации в работе ВШТ рудника, определять простои погрузочно-транспортного оборудования и приоритетность ПДМ (маршрутов), на основе чего оптимизировать распределение шахтных автосамосвалов по пунктам погрузки.

4. Для повышения точности принятия решений по текущему распределению ПДМ и шахтных автосамосвалов в работе предложены параметры приоритетности ПДМ (маршрутов), которые оказывают существенное влияние на распределение шахтных автосамосвалов по пунктам погрузки и определяются в результате многокритериального имитационного моделирования, учитывающего мощность и производительность ПДМ, соответствие ПДМ и шахтных автосамосвалов друг другу, расстояния транспортирования, скоростные характеристики самосвалов, возможность и закономерности отказов и восстановления работоспособности оборудования, показатели внешней горной среды.

5. Доказано, что работу ВШТ рудника целесообразно организовывать по комбинированному открыто-закрытому циклу с разделением погрузочно-транспортного оборудования на группы диспетчеризации по принципу расположения ПДМ на одном участке горных работ и однородности парка работающих с ними самосвалов – с вывозом горной массы на один рудоспуск. Установлено, что потери от простоев при работе ВШТ по комбинированному циклу в условиях рудника «Комсомольский» суммарно на 15,7% ниже, чем по закрытому, и на 3,7% – чем по открытому циклу. Эксплуатационная производительность при комбинированном цикле в сумме на 4,2% выше, чем при закрытом, что составляет около 2600 т/смену.

6. Сравнение вариантов работы ВШТ по комбинированному циклу с требуемым количеством самосвалов (8 и 14 машин по группам диспетчеризации; «проект»), а также закрытым циклом и фактическим количеством самосвалов (9 и 15 машин соответственно; «базовый»), показало, что комбинированный цикл способен дать экономический эффект

не только за счёт сокращения потерь от простоев, но и за счёт сокращения числа работающих самосвалов. Ожидаемый экономический эффект от использования проектного варианта составит для условий рудника «Комсомольский» в среднем 82,5 млн. рублей в год по сравнению с базовым вариантом.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

– расширить область применения имитационной диспетчерской модели за счёт введения в неё функции контроля качества горной массы.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

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».

Личный вклад автора в работах, выполненных в соавторстве, заключается в следующем:

[1] – разработка теоретических положений, выполнение расчётов, разработка моделей и алгоритмов, их программная реализация; проведение вычислительных экспериментов, обработка результатов, общий анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конюх, В.Л. Имитация горных работ на персональном компьютере / В.Л. Конюх // Уголь. - 2009. - № 9. - С. 33-35.
2. Потапов, В.Д. Имитационное моделирование производственных процессов в горной промышленности : учеб. пособие для горн. спец. вузов / В.Д. Потапов, А.Д. Яризов. - М. : Высш. шк., 2008. - 191 с.
3. Имитационное моделирование в горном деле : сб. тр. всесоюзн. конф. / ИГД Кольского НЦ АН СССР. - Апатиты, 2008.
4. Близнюк, Г.И. Имитационное моделирование горного производства / Г.И. Близнюк, Н.Н. Чаплыгин, О.Е. Чуркин. - Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР. - Апатиты, 2008.
5. Капутин, Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатика / Ю.Е. Капутин. - СПб. : Недра, 2009. - 400 с.
6. Конюх, В.Л. Компьютерное моделирование динамики горных работ / В.Л. Конюх // Горн. Журнал : изв. вузов. - 2007. - № 6. - С. 16.
7. Стругул, Д. Компьютерная имитация горных работ / Д. Стругул, В.Л. Конюх // Горный вестник. - 2008. - № 1. - С. 71-81.
8. Резниченко, С.С. Математические методы и моделирование в горной промышленности / С.С. Резниченко, А.А. Ашихмин. - М. : МГТУ, 2007. - 404 с.
9. Водяник, Г.М. Математическое моделирование технологических комплексов / Г.М. Водяник; Новочерк. гос. техн. ун-т. - Новочеркасск : НГТУ, 2010. - 256 с.
10. Доронин, С.В. Математические методы исследования горных машин : учеб. пособие / С.В. Доронин. - Красноярск : ГАЦМиЗ, 2008. - 80 с.
11. Плавский, А.А. Выбор рациональных технических решений при автоматизированном проектировании проходческой технологии / А.А. Плавский // Новая техника и технология проведения горных выработок: научн. сообщ. ; ИГД им. А.А. Скочинского. - М., 2006. - Вып. 298. - С. 64-68.

12. Конюх В.Л., Стургул Д. Компьютерное моделирование процессов добычи угля//Тр. Научно-практической конференции «Научно-технологические аспекты угледобычи и углепереработки», Кемерово, 6-9 октября 1998, С. 30-31.
13. Конюх В.Л., Тайлаков О.В. Имитационное моделирование шахтных робототехнических систем // 5 Всес. сов. по робототехническим системам, ч. 2. М.: Институт проблем механики АН СССР. -1990.- С. 240-242.
14. Конюх В.Л., Тайлаков О.В. Синтез и моделирование подземных роботизированных технологий // Электрификация машин и роботизация процессов добычи руд подземным способом. Тез. докл. респ. конф. Алма-Ата: ИГД АН КазССР. - 1990.- С. 36-37.
15. Baiden G.R. Combining Teleoperation with Vehicle Guidance for Improving LHD Productivity an INCO Limited//CIM Bulletin.-1994.- June.- Vol. 87.- No. 981.- pp.36-39.
16. Fedorin V.A., Tailakov O.V. Assessment of Methane-Air Mixture Reserves in Mine Goaf //Proc. of International Coalbed Methane Symposium. Alabama. 12-16 May 1997, pp.265-270.
17. Konjukh V.L. Tailakov O.V. A pre-project analysis of a robotics-based mining systems//Proceeding of 10 International Conference on Automation in Mine and Quarries, ICAMC 90, v. 1. - Czechoslovakia, Ostrava, 1990.- pp. 9299.
18. Konyukh V. At al. Computer Simulation of Mine-wide Conveyor Transport// Proc. of the 3-rd International Symposium on Computer Application in Mineral Industries (APCOM-26), USA: University Park. 1996. - pp. 457-460.
19. Konyukh V., Davidenko V. Simulation and Animation of Underground Transporting Technology.- Proc. of the International Mining Tech'97 Symposium.- China, Shanghai.- 1997.- pp. 629-636.
20. Konyukh V., Sinoviev V, Sturgul V. Selection of Driving Technologies for Robotization// Proc. of the 7th International Symposium on Mine Planning and equipment Selection.- 6-8 October.- 1998.- Calgary.

21. Konyukh V., Tailakov O. Dynamic Simulation of Mine Robotics System// Proc. of the Third International Symposium on Mine Mechanization and Automation. Golden, USA, 1995.- pp.17.25-18.1.
22. Ozsu M.T. Modelling and analysis of diistributed database concurrency control algorithms using an extended Petry nets formalism // IEEE Trans. Software Eng. - 1985. -Vol. SE-11, №10. -pp. 1225-1240.
23. Ozsu M.T., Weide B.W. Modelling of Distributed Database Concurrency Control Mechanisms Using an Extended Petry Nets Formalism //3rd Intern, conf. distrib. comput. syst. -Oct.18-20, -Miami Fl; Landendale, Fla, 1982. -pp. 660-665.
24. Tailakov O. Status of Coalbed Methane Recovery and Utilization in Former Soviet Union //World Coal. № 10.-1999.- pp. 12-16.
25. Tailakov O., Konyukh V. Petri nets: Applications for Underground Mining// Proc. of the Third International Symposium on Mine Mechanization and Automation. Golden, USA, 1995. - pp. 22.13-22.23.
26. Tailakov O.V., Konyukh V.L., Lavrov A.V., Chernov M.I. Imitating modeling of interaction between mining machines // Proc. of 2nd International Symposium on Mine Mechanization and Automation. Sweden. - 1993. - pp. 633639.
27. Valette R. Analysis of Petry nets by Stepwise Refinements// J.Computer and System Sciences.- 1979.- № 18 .- pp. 35-46.
28. Андрианов А.Н., Бычков С.Л., Хорошилов Д.И. Программирование на языке Симула-67. — М.: Наука, 1985. — 228 с.
29. Банда Б. Методы оптимизации. Вводный курс /пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1988. — 128 с.
30. Бартеньев О. В. Современный Фортран. — М.: Диалог-МИФИ, 1998. — 397 с.
31. Берсенев Г.Б., Шкатов П.Н., Морозов А.А. Построение и анализ моделей вычислительных систем аналитическими, имитационными и аналитико-имитационными методами. /Сб. научных трудов Тульского политехнического ин-та. — Тула: 1981. — С. 3-17.

32. Бутомо И.Д., Дробинцев Д.Ф., Котляров В.П. Методы имитационного моделирования вычислительных систем: учебн. пособие. — Л.: ЛПИ/1, 1979. — 72 с.
33. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. — СПб.: Наука, 2001. — 295 с.
34. Гультияев А.К. Имитационное моделирование в среде Windows. — СПб.: КОРОНА принт, 1999. — 288 с.
35. Дал У., Мюрхауг Б., Ньюгорд К. Симула-67. Универсальный язык программирования /пер. с англ. — М.: Мир, 1969. — 100 с.
36. Ермаков С. М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. — М.: Наука, 1975. — 471 с.
37. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. — М.: 1976.
38. Калашников В.В. Организация моделирования сложных систем. — М.: Знание, 1982. — 64 с.
39. Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и программное обеспечение /пер. с англ. — М.: Мир, 1998. — 575 с.
40. Кендалл М.Дж., Стьюарт А. Теория распределений /пер. с англ. — М.: Наука, 1966. — 587 с.
41. Киндлер Е. Языки моделирования /пер. с чешского. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 288 с.
42. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании /пер. с англ. — М.: Статистика, 1978. — Вып.1, 221 с; вып.2, 386 с.
43. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания /пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1979. — 432 с.
44. Коваленко И.Н., Кривуца В.Г., Кузнецов Н.Ю. Опыт практического применения методов статистического моделирования в теории надежности. // Кибернетика. — 1987, №5. — С. 111-117.

45. Кошелев В.П. Эффективный метод моделирования «редких» случайных событий на ЭВМ. //Алгоритмы и организация решения экономических задач, вып.7. — М.: Статистика, 1976. — С. 35-41.
46. Крейн М., Лемуан О. Введение в регенеративный анализ моделей /пер. с англ. — М.: Наука, 1982. — 104 с.
47. Круг Г.К., Сосулин И.А., Фатулев В.А.. Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции. — М.: 1977.
48. Литвинов В.В., Марьянович Т.П. Методы построения имитационных систем. — Киев: Наукова думка, 1991. — 117 с.
49. Лифшиц А.Л., Малыц Э.А. Статистическое моделирование систем массового обслуживания. — М.: Сов. радио, 1978. — 247 с.
50. Материалы 1-й Всероссийской научно-практической конференции "Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках", тт. 1-2. — СПб: ЦНИИ технологии судостроения, 2003.
51. Мину М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы /пер. с франц. — М.: Наука, 1990. — 488 с.
52. Пакет прикладных программ МОСТ для расчета стационарных режимов в системах массового обслуживания. — Эстонское НПИ ВТИ. — 1988. Вып.3. Описание применения. — 36 с. Вып.5. Руководство программиста. — 92 с. Вып.6. Теоретические основы, ч.1. — 116 с. Вып.7. Теоретические основы, ч.2. — 142 с.
53. Питерсон Дмс. Теория сетей Петри и моделирование систем /пер. с англ. М.: Мир, 1984.
54. Полляк И.Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. — М.: Сов.радио, 1971. — 400 с.
55. Поляк Д.Г., Розенталь Г. О. О повышении точности статистического моделирования систем массового обслуживания. //Автоматика и вычислительная техника. — 1972, №6. — с. 54-58.

56. Поттгоф Г. Теория массового обслуживания /пер. с нем. — М.: Транспорт, 1979. — 144 с.
57. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование систем массового обслуживания: учебн. пособие. — Л.; ВИККИ им. А.Ф.Можайского, 1991. — 111 с.
58. Рыжиков Ю.И. Программирование на Фортране PowerStation для инженеров: учебн. пособие. — СПб: КОРОНА принт, 1999. — 159 с.
59. Салеев В.М. Библиотека алгоритмов и программ генерации и статистической обработки последовательностей случайных чисел: материалы по программному обеспечению. — Минск: Ин-т математики АН БССР, 1986. — 138 с. М.: Высшая школа, 1998. — 320 с.
60. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры. — М.: Наука, Физматлит, 1997. — 320 с.
61. Советов В.Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. — М.: Высшая школа, 1998. — 320 с.
62. Томашевский В.Н., Жданова Е.Г. Имитационное моделирование в среде GPSS. — М.: Бестселлер, 2003. — 416 с.
63. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. — М.: ИНФРА-М, Финансы и статистика, 1995. — 384 с.
64. Фельдман Л.П., Слепцов А.И. Методы программного моделирования вычислительных систем: учебн. пособие. — Донецк, Донецкий политехнический ин-т, 1981. — 100 с.
65. Харин Ю.С. и др. Имитационное и статистическое моделирование: учебн. пособие. — Минск: Белорусский гос. ун-т, 1992. — 176 с.
66. Хемминг Р.В. Численные методы /пер. с англ. — М.: Наука, 1968. — 400 с.
67. Холстпед М.Х. Начала науки о программах /пер. с англ. — М.: Мир, 1981. — 128 с.
68. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука /пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 418 с.

69. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS /пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1980. — 592 с.
70. Яковлев Б.И. Машинная имитация. — М.: Наука, 1975. — 158 с.
71. Янбых Г.Ф., Столяров Б.А. Оптимизация информационно-вычислительных сетей. — М.: Радио и связь, 1987. — 232 с.
72. Anderson T. W. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. — New York: Wiley & Sons, 1958.
73. Becker- Jouvinroux, M. Validite des simulations de files d'attente: These presentee a l'Universite Pierre et Marie Curie pour l'obtention du doctorat d'Etat es sciences. Paris, 1976. — 284 pp.
74. Bobiller P. A., Kahan B. S., Probst A. R. Similation with GPSS and GPSS V. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1976. — 495 pp.
75. Bratley P., Fox B.L., Schrage L.E. A Guide to Simulation. — N.Y.: Springer Verlag, 1983. — 383 pp.
76. Carson J.S., Law A.M. Conservation Equations and Variance Reduction in Queuing Simulation. //Opns Res. — 1980. — v. 28, no. 3. — P. 535-546.
77. Computer Networks and Simulation. — Amsterdam: North-Holland, 1986. — 412 pp.
78. Cox D.R. A Use of Complex Probabilities in the Theory of Stochastic Processes. //Proc. of the Cambridge Phil. Soc. — 1955. — v.51. — P. 313.
79. Devroye L. Non-Uniform Random Variate Generation. — N.Y.: Springer Verlag, 1986. — 843 pp.
80. Fishman G.S. Accelerated Accuracy in the Simulation of Markov Chains. //Opns Res. — 1983. — v. 31, No. 3. — P. 466-487.
81. Francis N.D. Simulation of Operating Systems — a Functional Flow-Chart. //Simuleters. — 1981. — v. 12. — P. 86-91.
82. Geisler M.JI. The Use of Man-Machine Simulation for Support Planning. // Naval Research Logistics Quarterly. — 1960. — v. 7, No. 4.

83. Geisler M.A., Hayton W. W., Sieger W.A. Simulation and the Logistics Systems Laboratory. // Naval Research Logistics Quarterly. — 1963. — v. 10, No. 1, P. 23-54.
84. Gordon G. The Application of GPSS V to Discrete System Simulation. — Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. — 1975. — 389 pp.
85. Hammersley J.M., Handscomb D.C. Monte Carlo Methods. — N.Y.: Wiley, 1964. — 178 pp.
86. Heidelberger P. Variance Reduction Techniques for the Simulation of Markov Processes. I: Multiple Estimates. //IBM J. of Research and Dev. — 1980. — v. 24. — P. 570-581.
87. Iglehart D.L., Shedler G.S. Regenerative Simulation of Response Times in Networks of Queues. — Berlin; Springer Verlag, 1980. — 204 pp.
88. Izydorczyk J. Some Asymptotic Properties of Controlled Estimators Used in System Simulation. //Modelling Techniques and Tools for Performance Analysis: Proc. of the Internat. Conf. — Ed. by D. Potier. Amsterdam: North-Holland Publ., 1985. — P. 611-622.
89. Johnson M.E., Jackson J. Infinitesimal Perturbation Analysis: a Tool for Simulation. //J. of the Operational Res. Soc. — 1989. — v. 40, no. 3. — P. 243-254.
90. Lavenberg S.S., Moeller T.L., Sauer C.H. Concomitant Control Variables Applied to the Regenerative Simulation of Queuing Systems. //Opns Res. — 1979. — v. 27, no. 1. — P. 134-160.
91. Lavenberg S.S., Welch P.O. A Perspective on the Use of Control Variables to Increase the Efficiency of Monte Carlo Simulations. //Mgmt Science. — 1981. — v. 27, no. 3. — P.322-335.
92. Lavenberg S.S., Moeller T.L., Welch P.D. Statistical Results of Control Variables with Application to Queuing Network Simulation. //Opns Res. — 1982. — v. 30, no. 1. — P. 182-202.
93. Law A.M., Kelton W.-D. Simulation Modeling and Analysis. N.Y.: McGraw-Hill, 1982.

94. Lee A.M. Applied queuing theory. — London: McMillan, 1966. — 244 pp.
95. Nelson B.L. A Perspective on Variance Reduction in Dynamic Simulation Experiments. //Communications in Statistics, ser.B. — 1987. — v. 16, no. 2. P. 385-426.
96. Nelson B.L. Antithetic-Variable Splitting for Steady-State Simulations. //European J. of Operational Research. — 1988. v. 36. — P. 360-370.
97. Ripley D.B. Uses and Abuses of Statistical Simulation. //Math. Programming. — 1988. — v. 42, no. 1. — P. 53-68.
98. Roark L.M., Feldman J.K., Bexfield J. BI-B Avionics/Automatic Test Equipment: Maintenance Queuing Analysis. // Proc. of the 1984 Winter Simulation Conference. — Edited by S. Sheppard, U.Pooch, D.Pegden. — Piscataway (N.J.): North-Holland Publ. — P. 737-744.
99. Sharon P.A., Nelson B.L. Analytic and External Control Variates for Queuing Network Simulation. //J. of the Operational Res. Soc. — 1988. —v. 39, no. 6. P. 595-602.
100. Smith G.S. Multiplicative Pseudo-Random Number Generators with Prime Modulus // J. of ACM. — 1971. V. 18, No 4. — P. 586-593.
101. Sun R., Zazanis M. Perturbation Analysis Gives Strongly Consistent Sensitivity Estimates for the M/G/I Queue. //Mgmt Science. — 1988. — v. 34. — P. 39-64.
102. Tocher K.D. The Art of Simulation. — London: English Univ. Press, 1963. — 184 pp.
103. Walck Ch. Random Number Generation. //Univ. of Stockholm, Institute of Physics. — Rep. 87-15. — Dec. 1987. — 88 pp.
104. Толуев Ю.И. Кусочно-линейный агрегат как парадигма моделирования процессов в потоковых системах логистики. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
105. Литвин Ю.В. Разработка имитационно-аналитического комплекса, моделирующего работу газовых и газоконденсатных месторождений. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.

106. Лычкина Н.Н., Имитационное моделирование динамических цепей поставок. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
107. Долматов М.А., Плотников А.М., Федотов М.В., Девятков Т.В. К вопросу об имитационном моделировании судостроительных производств - универсальный подход к построению моделей и проведению экспериментов. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
108. Звягинцев Е.В., Липенков А.В. Деловая игра по логистике с использованием AnyLogic. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
109. Якимов В.Л. Способ обоснования требуемой периодичности диагностирования автоматических космических аппаратов на основе дискретно-событийной имитационной модели. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
110. Бадрызов В. А. Имитационное моделирование социальной сети на основе ретроспективных данных. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
111. Палей А.Г., Поллак Г.А. Анализ демографического состояния региона методами системной динамики. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
112. Егоров С.Г. Анализ, дизайн и оптимизация цепей поставок в программном обеспечении AnyLogistix. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
113. Лавенков В.С. Решение задачи моделирования потоков минерального вещества в горнотехнических системах и его миграции в окружающую среду с использованием среды AnyLogic. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
114. Топаж А.Г., Май Р.И., Смоляницкий В.М., Таровик О.В. Информационное метеорологическое обеспечение имитационных моделей арктических транспортных систем. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.

115. А.Г. Дёмин. Разработка имитационной модели пригородных пассажирских перевозок в Центральном федеральном округе. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
116. Ю.И. Толуев, Задачи имитационного моделирования при реализации концепции индустрия 4.0 в сфере производства и логистики. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
117. А.В. Борщев, Миграция имитационного моделирования в облако. ИММОД-2017, 18-20 октября, Санкт-Петербург.
118. Андрей Борщёв. Имитационное моделирование: состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз. компания AnyLogic, ИММОД-2015, Москва.
119. А. С. Бузаков, В. А. Рогозин, А. В. Догадин, М. А. Долматов, А. М. Плотников, Д. О. Федотов. Имитационное моделирование как инструмент анализа и оценки выполнимости перспективных производственных программ верфи по строительству и ремонту сложных технических изделий в условиях постоянно меняющегося рынка судостроительной продукции. (Санкт-Петербург), ИКМ МТМТС 2013.
120. В.Е. Черненко, А.А. Малыханов. Дискретно-событийное моделирование горной добычи в подземном калийном руднике. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
121. А.Ю. Холодов, Разработка имитационной модели однокомпонентной системы массового обслуживания с ограниченным временем пребывания в очереди. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
122. А.В. Фараонов. Имитационное моделирование планирования и оперативного управления выбором маршрута доставки на основе нечеткой ситуационной сети. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
123. А.В. Липенков, О.А. Липенкова, М.Е. Елисеев. Моделирование маршрутной сети городского пассажирского транспорта Нижнего Новгорода в AnyLogic. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.

124. М.В. Киселева, И.О. Гайдай. Моделирование адаптивного поведения социализированных агентов в AnyLogic. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября
125. В.Д. Боев, Р.А. Моисеев. Некоторые классы типовых объектов сетей связи в AnyLogic. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
126. Э.А. Асмаева. Моделирование систем поллинга. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
127. С.А. Андронов, Применение имитационного моделирования для планирования доставки в срок. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
128. Е.А. Ланцев. Верификация агентных имитационных моделей с применением process mining. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
129. Э.Б. Песиков, А.В. Дорогин. Комплекс мультиагентных моделей анализа и управления рисками виртуального предприятия. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
130. Е.А. Ланцев, М.Г. Доррер. Создание агентных имитационных моделей (process mining). ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
131. В.В. Киндинова, Е.О. Кринецкий, Е.В. Кузнецова, Ю.А. Шебеко. Имитация сложных систем и логистический реинжиниринг. ИММОД-2013, Казань, 16-18 октября.
132. Е.А. Ланцев, М.Г. Доррер. Получение агентной имитационной модели из дискретно-событийного описания бизнес-процесса. Научно-технические ведомости СПбГПУ 3' (174) 2013.
133. Андрей Борщев. Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем. Материалы конф. «Имитационное Моделирование. Теория и Практика» ИММОД 2013 Казань.
134. Ю. О. Тропина. Использование имитационного моделирования для обоснования выбора портового оборудования на примере внутрипортовой логистики. (Санкт-Петербург), ИКМ ММТС 2013.
135. С.А. Суслов. Имитационная модель — уже вполне обычная составная часть логистических проектов. Логистика, №2 2012.

136. Е.А. Гафарова, Е.В. Зеленова. Агентная модель для оценивания последствий управленческих решений в жилищно-коммунальной сфере (на примере г. Стерлитамак). Государственное управление, Электронный вестник № 29 декабрь 2011 г.
137. В. И. Закиров, В. В. Золотухин. Исследование надежности беспроводных сетей связи методом имитационного моделирования в среде AnyLogic. (Красноярск), ИММОД-2011.
138. Боев В. Д. Исследование адекватности GPSS World и AnyLogic при моделировании дискретно-событийных процессов. Военная Академия Связи, Санкт-Петербург, 2011.
139. М. А. Долматов, Р. С. Нисенбаум, А. М. Плотников, Д. О. Федотов. Имитационное моделирование как инструмент оценки инженерных решений при разработке проектов развития судостроительных и судоремонтных предприятий России. ИКМ МТМТС 2011, Санкт-Петербург, 29 июня - 3 июля 2011 г.
140. В. Глейм. Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем. – ИКМ МТМТС 2011, Санкт-Петербург, 29 июня - 3 июля 2011 г.
141. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели ЦЭМИ. ЦЭМИ, Агент-ориентированные модели, Москва, 20.04.11.
142. С.А. Суслов, М.А. Кондратьев, К.В. Сергеев. Агентное моделирование как средство анализа и прогноза спроса на энергоресурсы. Проблемы управления, 2010, № 2.
143. С.А. Суслов. Система поддержки принятия решений для планирования развития региональных сетей газоснабжения. Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом, (2009), 12, 34-38.
144. Э. Б. Песиков. Построение виртуального предприятия и управление рисками с помощью метода анализа иерархий и статистического моделирования. 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по

имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.

145. И. В. Макарова, Р. Г. Хабибуллин, К. А. Шубенкова. Совершенствование управления транспортными потоками города с использованием имитационного моделирования. 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.

146. С. А. Крол, В. Д. Алёшин. Идентификация вероятностных характеристик законов распределения для имитационной модели службы Service Desk. 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.

147. Е. О. Кринецкий, Ю. А. Шебеко. Об исследовании конкурентного поведения экономических агентов в условиях использования ограниченных объемов возобновляемых ресурсов. 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.

148. В. В. Киндинова, Е. В. Кузнецова. Системная динамика в задачах анализа поведения рынка олигополии. 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.

149. Е. А. Бессмертная, Д. М. Ершов, В. С. Скородумов, М. В. Федчин. Моделирование межфирменных взаимодействий при создании объектов новой техники. 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.

150. А. А. Малыханов, К. В. Кумунжиев, В. Е. Черненко. Среда имитационного моделирования транспортных систем. 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.

151. Тимофей Попков. В основе создания универсального инструмента имитационного моделирования лежат разработки российских ученых. Pricewaterhouse Coopers Технологический Прогноз 2010, Выпуск 1.
152. Марк Пейч. Использование инструментов имитационного моделирования для принятия стратегических решений. Pricewaterhouse Coopers Технологический Прогноз 2010, Выпуск 1.
153. В. П. Романов, Д. Н. Яковлев, А. В. Лельчук. Инвестиционные стратегии предприятия в виртуальной модели экономики. 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.
154. Т. В. Попков. Многоподходное моделирование: практика использования 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.
155. А. А. Кайгородцев, А. Н. Рахмангулов. Применение имитационного моделирования в предпроектной оценке варианта размещения распределительного центра продукции промышленного предприятия. 4-я Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию ИММОД 2009. Санкт-Петербург. 21-23 октября 2009 г.
156. Хромов-Борисов С. Н. Моделирование бизнеса: от описания к эксперименту. Стратегический менеджмент. Сентябрь 2009г.
157. Суслов С.А. Бизнес – это поле для экспериментов. Но проводить их лучше на имитационной модели. Rational Enterprise Management. 2009 (№4).
158. Лычкина Н.Н. Ретроспектива и перспектива системной динамики. Анализ динамики развития. Конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика». Санкт-Петербург. 2009 г.
159. Лычкина Н.Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах. Банковские технологии. 2000 г. (№ 9)

160. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Компьютерное моделирование искусственных миров. Междисциплинарный семинар "Философско-методологические проблемы искусственного интеллекта". 2005.
161. Паринов С.И. Новые возможности имитационного моделирования социально-экономических систем. Искусственные сообщества. 2007. №3-4.
162. Хромов-Борисов С.Н. Инструменты стратегического менеджмента. Часть I. Top-Manager. 2008. №3.
163. Толуев Ю.И. Имитационное моделирование логистических сетей. Логистика и управление цепями поставок. 2008 г., № 2/25.
164. Д.А. Иванов, Б. Соколов, А. Архипов, Й. Кэшель. Модель динамического структурно-функционального синтеза гибких цепей поставок на основе ключевых компетенций. Логистика и управление цепями поставок. №2(25), апрель 2008 г.
165. А. Борщев, Т. Попков. Мировой опыт оценки стратегических решений и рисков при управлении транспортно-логистической инфраструктурой. Петербургский транспортно-логистический форум. Июнь 2006г.
166. Т. Попков, М. Гарифуллин. Оптимизация цепочек поставок: транспортные сети. Конъюнктура Товарных Рынков. Маркетинг & Логистика. №1, 2006г.
167. А. Острогорский. Российские компании осваивают технологии имитационного моделирования. Ведомости. 17 мая 2007 г., №88 (1862).
168. А. Острогорский. Продаем решения. Клиенты не всегда понимают, что им нужно имитационное моделирование. Ведомости, 27 августа 2007 г., №159 (1933).
169. С.А. Суслов, М.А. Кондратьев, К.В. Сергеев. Агентное моделирование как средство анализа и прогноза спроса на энергоресурсы. Проблемы управления, 2010, № 2, 46–52.
170. Тайлаков О.В. Разработка компьютерных моделей для исследования технологических систем и процессов горного производства в стационарных

сетях горных выработок. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Кемерово, 1999 г.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОН-гlossарий, термины, определения, требования, сокращения

Адекватная модель	модель, которая с определенной степенью приближения на уровне понимания моделируемой системы разработчиком модели отражает процесс ее функционирования и поведения во внешней среде
ВШТ	внутришахтный транспорт
Динамическая модель	модель, которая рассматриваются отношения, изменяющиеся во времени, раскрываются основные бизнес–процессы на всех уровнях управления, позволяя оценивать влияние внешних воздействий на процессы
Имитационное моделирование	метод исследования, при котором изучаемый объект заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальный объект, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этом объекте
Имитационная модель	совокупность машинных кодов и алгоритмов, позволяющих имитировать на ЭВМ поведение отдельных элементов исследуемых объектов и связей между ними в течение заданного времени моделирования, а также производить измерения интересующих характеристик
Имитация	экспериментирование с ИМ, направленное на постижение сути явления/процессов не прибегая к экспериментам на реальном объекте
Имитационный эксперимент	эксперименты на ЭВМ с имитационной моделью, в ходе которого процесс функционирования объекта исследования представляется в виде определенного алгоритма, который реализуется в виртуальной среде
Модель	материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные его черты
Моделирование	представление объекта моделью для получения информации об этом объекте путем проведения экспериментов с его моделью

Система	настроенная, адаптированная под Заказчика система имитационного моделирования, которая позволяет работать с ИМ
Статическая модель	модель, отражающая одномоментный срез информации по объекту (результат одного обследования), т.е. описание объекта в конкретный момент времени
Содержательное описание объекта моделирования	включает основные вопросы о поведении системы, описание объектов имитации; границы и ограничения моделирования; показатели для сравнения эффективности вариантов системы
Стохастические характеристики	характеристики, которые носят случайный характер и тяжело прогнозируемы
Объект моделирования (или объект исследования)	транспортные потоки и связанные с ними производственные процессы рудников, входящих в организационный периметр проекта
Точность имитации	характеристика, оценивающая влияние стохастических элементов на функционирование модели сложного объекта
Устойчивость результатов моделирования	характеристика сходимости контролируемых параметров к определенным величинам при увеличении времени моделирования варианта сложной системы
Функциональные рамки	перечень базовых функций, которые должны быть исследованы и реализованы в рамках диссертации: • транспортные потоки; • операции погрузки – разгрузки; • работа скиповых подъемов
Результаты	верифицированные имитационные модели, созданные на основании исходных данных, в которых реализована работа самоходного оборудования, конвейерного оборудования, рельсового транспорта и скиповых

Функциональное назначение

подъемников;
рекомендации по оптимизации транспортных потоков (количество техники, периодичность, сроки, маршруты)

- выявление «узких мест» дорожно-транспортных потоков;
- определение скрытых резервов и тормозящих факторов в существующих процессах и транспортных операциях;
- оптимизация размеров парка оборудования;
- оптимизация графиков смен и часов работы;
- оптимизация технического обслуживания;
- разработка оптимизированных операционных КПЭ

Проектные требования

модели должны учитывать:

- схемы (позволяющие определить точные расстояния) транспортировки самоходной техники и электровозного транспорта;
- потребности в единицах самоходной техники в зависимости от производительности рудника;
- пункты перегрузки горной массы в виде схематических обозначений, но содержащих основные их характеристики;
- основные характеристики каждой единицы техники;
- влияние достижимых скоростей откатки;
- работу скиповых подъемников (скорость, грузоподъемность);
- перемещение горной массы с помощью транспортной и погрузочной техники;
- параметры работы основного

оборудование шахты. Параметры производительности оборудования включают в себя некоторые потери рабочего времени (отдельные виды простоев, связанные с организацией труда и производства; снижение производительности, связанное с особенностями технологии; снижение производительности, связанное с мелкими неисправностями, не приводящее к остановке; любые потери рабочего времени длительностью до получаса);

- взаимовлияние всех элементов технологической цепи, которые должны быть описаны логическими связями и зависимостями;

- различные варианты размещения/распределения оборудования по участкам;

- расписание работы участков;

- ввод и замена оборудования. Для модели могут быть взяты статистические данные в той систематизации, которая принята при учёте затрат труда и производительности оборудования на предприятиях Группы;

- организация работы транспорта;

- информация по рабочим циклам машин (время откатки, время погрузки, время опрокидывания ковша, время сбора, образования очереди и ожидания);

- влияние отказов на производительность;

- частота и продолжительность зависания и появления негабаритного материала на пунктах погрузки/разгрузки;

- скорость движения нагруженного и не нагруженного транспорта;

- параметры производственной

**Системо-
технические
требования**

программы и объемы добываемой руды;

- все основные погрузочно-разгрузочные операции;
- отсутствие проезда по выработке (ремонт выработки, ремонт различных коммуникаций)

имитационная модель должна:

- отображать и учитывать при расчете только существенные стороны объекта;

- содержать достаточную информацию о системе в рамках гипотез, подходов, принятых при построении модели;

- рассчитывать требуемую производительность оборудования для достижения текущей/планируемой производительности рудника с учетом КПЭ работы парка техники (КИО, КТГ и т.д.);

- определять оптимальное количество техники, ее характеристики и загрузки;

- прогнозировать сценарии развития событий, связанных с различными факторами (поломки, непредвиденные простои, аварии, отсутствие персонала и т.д.);

- планировать и составлять расписания работы транспортного оборудования;

- отрабатывать сценарии отказа технических средств (оборудования, техники) и влияния плановых остановок на работу рудника;

- отображать движение горной технике на трехмерной схеме, включая

перемещение от мест стоянки до забоя и от забоя до рудоспуска;

- проводить оценку эффективности инвестиций в развитие производства;

- определять наиболее эффективные комбинации ресурсов и процессов учитывая бюджеты, производительность оборудования, ограничения на рабочий день (рабочие смены, расписание работы оборудования и т.д.), действий по снижению количества материальных ресурсов;

- прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов и форм воздействия на объект;

- рассчитывать объемы добычи существующим и перспективным парком оборудования;

- проводить расчет расстояния и маршрутов транспортировки по существующей транспортной схеме;

- отображать/визуализировать работу забоев, движение транспорта, заполненность промежуточных (перегрузочных) площадок, движение поездов

создаваемая Система должна:

- обеспечить моделирование работы объекта на длительном периоде времени с учетом стохастических отклонений параметров и факторов, влияющих на характеристики функционирования объекта;

- обеспечивать надежное, контролируемое хранение и восстановление создаваемых данных;

- обеспечить возможность имитационного

Архитектурные требования

моделирования работы оборудования с требуемой степенью достоверности за исследуемый интервал времени;

- производить оценку существующего и планируемого в будущем парка оборудования;
- выявлять возможные «узкие места» в существующей схеме работы оборудования;
- визуализировать результаты моделирования (в форме анимации);
- позволять вводить исходные данные, менять критерии оптимизации без применения средств программирования в оперативном режиме на недельный/декадный горизонты;
- обладать интуитивно понятным пользовательским интерфейсом;
- при моделировании визуализировать объекты системы и транспортные потоки, их характеристики и текущее состояние;
- позволять модифицировать структуру логистической системы (добавление/удаление объектов, изменение характеристик);
- выполнять оптимизационные эксперименты для расчета наиболее подходящего варианта маршрута на основе входных данных;
- представлять результаты моделирования в текстовом, графическом и числовом виде;
- позволять варьировать требуемой степенью детализации в зависимости от поставленной задачи;
- решать вопросы адекватности модели, интерпретации и точности полученных результатов;
- определять текущую и прогнозируемую загрузку оборудования с учетом типа производства, технологии добычи и совокупности задействованных ресурсов, оборудования и т.д.;
- обеспечивать повторное использование накопленного опыта и информации с помощью

встроенных электронных таблиц и интерфейса со стандартными базами данных;

- отображать и сравнивать данные, собранные в процессе имитации. Запускать целую серию имитаций, а потом анализировать их результаты;

- проводить многократные эксперименты, с корректировкой выходных параметров согласно самым последним сведениям о работе рудника вплоть до смен, в условиях постоянно перемещающихся во времени и пространстве очистных работ;

- быть расширяемой и масштабируемой, совершенствоваться в соответствии с задачами времени;

- проводить многовариантные анализы для выбора правильного решения в условиях «что если»

основные наборы данных передаются в следующих форматах:

Требования к исходным данным

- Планы горных работ в формате AUTOCAD (.dxf или .00t).
- Данные по оборудованию в формате Excel (.csv)

Требования к модели рудника

- модель рудника должны быть выполнена в реальном масштабе (одна элементарная единица измерения должна равняться одному метру на местности), и направление координат совпадать с координатами данных по геологии;

- модель должна быть предоставлен в формате 3D (все объекты нанесенные на план должны иметь координаты X,Y,Z);

- в модели должны быть нанесены (или предоставлена таблица с координатами): действующие забои, действующие рудоспуски, гаражи (места пересменки операторов ПДМ), места погрузки в вагонетки, перегрузки в скиповой

Технологические данные

подъемник, и подачи руды на поверхность*;

- должны быть указаны пути движения ПДМ от места стоянки до забоя и от забоя до рудоспуска;

- должны быть указаны места складирования/перегрузки руды (промежуточные склады);

- должно быть указано плечо откатки железнодорожного транспорта от места погрузки до опрокидывателя;

- все предоставляемые планы горных работ должны быть выполнены в одних координатах;

- очистные забои, рудоспуски, места перегрузки оборудования можно предоставить в виде координат (X,Y,Z). Для забоев берется координата в центре забое или в начале выработок

- информация о технологиях работы на рудниках (используемая техника, виды работ);

- значение номинальной (скорректированной паспортной) производительности оборудования;

- характеристики имеющийся техники (тип, марка, количество, график ремонтов);

- правила и нормативы определения чистого рабочего времени оборудования, за вычетом обслуживания, запланированных и незапланированных простоев;

- информация о том какая ПДМ в каком забое работает и куда разгружается на выбранную дату;

- затраты на топливо, стоимость оборудования, стоимость обслуживания оборудования за час;

- схемы маршрутов движения ВШТ;

- информация о скиповом подъеме, высоте ствола, времени движения, грузоподъемности;

- информация о сменах (число, длительность)

Цели

Основными целями работы являются:

- Оптимизация транспортных потоков в рудниках;
- Оценка эффективности использования и определение оптимального количества техники;
- Обеспечение прозрачности и обоснованности планирования ресурсов, необходимых для выполнения транспортных операций

Задачи

- Анализ необходимой для создания ИМ исходной информации, ее доработка и верификация;
- Разработка концептуальных подходов к созданию ИМ, а также требований к критериям ее оптимизации;
- Создание имитационных моделей всех рудников, входящих в организационный периметр проекта;
- Проведение на созданной модели нескольких экспериментов с целью ее корректировки на основании наблюдаемых результатов и/или прогнозируемых результатов;
- Разработка документации, позволяющей интерпретировать и формализовать результаты работы ИМ;
- Формирование/уточнение критериев эффективности транспортных потоков

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей работе применяются следующие обозначения и сокращения:

Обозначение сокращения	Наименование
БП	Бизнес-процесс
ГИ	Главный инженер
ГМК	Горный-металлургический комплекс
ЗФ	Заполярный филиал
ИМ	Имитационное моделирование
ТО	Технический отдел
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт
ТОРО	Техническое обслуживание и ремонт оборудования
ПСО	Подземное самоходное оборудование
ПЭО	Планово-экономический отдел
ПЭУ	Планово-экономическое управление
ЦМР	Центр маркшейдерских работ
ЦГР	Центр геологических работ
ПУППГУ	Подземный участок прогнозирования и предупреждения горных ударов

Этапы выполнения работ

Работы по созданию и внедрению системы планируется выполнять в 4 этапа, перечисленные ниже. Переход с этапа на этап выполняется, только после завершения предыдущего. В ходе каждого этапа уточняются

требования к создаваемым ИМ и внедряемой Системе. Этап 1. Обследование. Этап 2. Разработка концепции имитационной модели. Этап 3. Разработка имитационной модели. Этап 4. Верификация, уточнение, сдача в ПЭ имитационной модели.

Используемые термины и сокращения

№ п/п	Термин или сокращение	Описание
1	ИМ	Имитационная модель
2	СБУ	Самоходная буровая установка
3	ПДМ	Погрузочно-доставочная машина
4	ШАС	Шахтный автосамосвал
5	ГПР	Горно-подготовительные работы
6	ГКР	Горно-капитальные работы
7	БКС	Бункерно-конвейерная система
8	ВШТ	Внутришахтный транспорт
9	ТС	Транспортное средство
10	ЖД	Железная дорога
11	ЖДТ	Железнодорожный транспорт

Таблица 2.1 – Описание свойств рудника

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование рудника
2	Х-координата	x	Целое число	Х-координата левого верхнего угла шахтного поля
3	У-координата	y	Целое число	У-координата левого верхнего угла шахтного поля
4	Ширина	width	Целое число	Ширина шахтного поля, м
5	Высота	height	Целое число	Высота шахтного поля, м

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
6	Список сценариев	scenarios	Список сценариев	Список сценариев, определенных в рамках рудника
7	Список уровней	levels	Список уровней	Список уровней (пластов), определенных в рамках рудника
8	Уровень бункерно-конвейерной системы	bksLevel	Ссылка на объект типа «Уровень»	Фиктивный уровень (пласт), используемый для отображения бункерно-конвейерной системы
9	Уровень шахтной рельсовой сети	trainLevel	Ссылка на объект типа «Уровень»	Фиктивный уровень (пласт), используемый для отображения шахтных рельсовых путей

Таблица 2.2 – Набор свойств объекта «Уровень»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование уровня
2	Рудник	mine	Ссылка на существующий объект типа «Рудник»	Информация о руднике, для которого определен пласт
3	Верхняя граница горизонта	topDepth	Числовое значение	Информация о расположении верхней границы горизонта, м
4	Нижняя граница горизонта	bottomDepth	Числовое значение	Информация о расположении нижней границы горизонта, м
5	Цвет	color	Цвет	Цвет холста презентации в графическом редакторе при выбранном текущем уровне

Таблица 2.3. - Набор свойств объекта «Сценарий»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование сценария
2	Начальная дата	beginDate	Дата	Дата начала периода моделирования

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
3	Конечная дата	endDate	Дата	Дата окончания периода моделирования
4	Рудник	mine	Ссылка на объект типа «Рудник»	Информация о руднике, для которого определен сценарий
5	Список экспериментов	experiments	Список экспериментов	Список экспериментов, определенных для сценария
6	Список участков	areas	Список участков	Список участков, определенных для сценария
7	Список сегментов выработки	mineSegments	Список сегментов выработки	Список сегментов выработки, определенных для сценария
8	Список узлов шахтного поля	mineNodes	Список узлов шахтного поля	Список узлов шахтного поля, определенных для сценария
9	Список маршрутов	routes	Список маршрутов	Список маршрутов, определенных для сценария
10	Список подъемных машин	skips	Список подъемных машин	Список подъемных машин, определенных для сценария
11	Список бункеров	bunkers	Список бункеров	Список бункеров, определенных для сценария
12	Список конвейеров	conveyors	Список конвейеров	Список конвейеров, определенных для сценария
13	Список сегментов шахтного рельсового пути	railWays	Список сегментов шахтного рельсового пути	Список сегментов шахтного рельсового пути, определенных для сценария
14	Список узлов шахтного рельсового пути	railNodes	Список узлов шахтного рельсового пути	Список узлов шахтного рельсового пути, определенных для сценария

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
15	Список погрузочно-доставочных машин	scooptrams	Список погрузочно-доставочных машин	Список погрузочно-доставочных машин, определенных для сценария
16	Список самоходных буровых установок	drillingEquipments	Список самоходных буровых установок	Список самоходных буровых установок, определенного для сценария
17	Список подземных поездов	trains	Список подземных поездов	Список подземных поездов, определенных для сценария
18	Список шахтных самосвалов	trucks	Список шахтных самосвалов	Список шахтных самосвалов, определенных для сценария
19	Список вагоно-опрокидывателей	carDumpers	Список вагоно-опрокидывателей	Список вагоно-опрокидывателей, определенных для сценария
20	Список мест донной разгрузки	carBottomUnloaders	Список мест донной разгрузки	Список мест донной разгрузки определенных для сценария
21	Список рудоспусков	millholes	Список рудоспусков	Список рудоспусков, определенных для сценария
22	Дистанция между ЖД-составами	distanceBetweenTrains	Числовое значение	Минимальная возможная дистанция между ЖД-составами, м

Таблица 2.4. – Набор свойств объекта «Эксперимент»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование сценария
2	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен эксперимент
3	Список наборов задач	taskSets	Список наборов задач	Список наборов задач, определенных для эксперимента
4	Список	schedules	Список	Список расписаний,

	расписаний		расписаний	определенных для эксперимента
--	------------	--	------------	-------------------------------

Таблица 2.5. – Набор свойств объекта «Участок»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование сегмента выработки
2	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен сегмент выработки

Таблица 2.6 – Набор свойств объекта «Сегмент выработки»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование сегмента выработки
2	Начальный узел шахтного поля	begin	Ссылка на объект типа «Узел шахтного поля»	Узел шахтного поля, являющийся начальной точкой сегмента выработки
3	Конечный узел шахтного поля	end	Ссылка на объект типа «Узел шахтного поля»	Узел шахтного поля, являющийся конечной точкой сегмента выработки
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен сегмент выработки
5	Качество грунта	groundQuality	Число в пределах от 0 до 1	Показатель качества грунта, влияющий на скорость движения транспортных средств и на скорость погрузочных работ ПДМ

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
6	Доступность для движения	movingAllowed	Логическое значение	Флаг доступности сегмента для движения по нему каких-либо транспортных средств
7	Список точек перегиба	bendpoints	Список точек перегиба	Список точек перегиба в структуре сегмента выработки
8	Участок	area	Ссылка на объект типа «Участок»	Ссылка на объект типа «Участок»
9	Возможен ли встречный разъезд транспорта	bypassingAllowed	Логическое значение	Флаг, указывающий, возможен ли встречный разъезд СБУ, ПДМ и ШАС на сегменте

Таблица 2.7. – Набор свойств объекта «Узел шахтного поля»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование узла шахтного поля
2	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, в котором находится УШП
3	Уровень	level	Ссылка на объект типа «Уровень»	Уровень, на котором находится УШП
4	X-координата	x	Целое число	X-координата местоположения УШП
5	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения УШП
5a	Z-координата	z	Целое число	Z-координата местоположения УШП
6	Список выходных сегментов шахтного поля	out	Список сегментов шахтного поля	Технический список, в котором содержатся все выходящие из УШП сегменты шахтного поля
7	Список входных сегментов шахтного поля	in	Список сегментов шахтного поля	Технический список, в котором содержатся все входящие в УШП сегменты шахтного поля

Таблица 2.8. – Набор свойств объекта «Маршрут»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
---	----------	----------------------	------------	----------

1	Наименование	name	Строка	Наименование маршрута
2	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, в котором находится маршрут
3	Список сегментов шахтного поля	mineSegments	Список сегментов шахтного поля	Список сегментов шахтного поля, составляющих маршрут

Таблица 2.9. – Набор свойств объекта «ПДМ»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование ПДМ
2	X-координата	x	Целое число	X-координата местоположения ПДМ на холсте графического редактора
3	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения ПДМ на холсте графического редактора
3а	Z-координата	z	Целое число	Z-координата местоположения ПДМ на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определена ПДМ
5	Узел базового расположения	baseMineNode	Ссылка на объект типа «Узел шахтного поля»	Информация о базовом местоположении ПДМ, в который ПДМ возвращается на время проведения взрывных работ и после окончания смены.
6	Скорость движения с грузом	velocityFull	Закон и параметры распределения	Скорость движения ПДМ с грузом, км/ч. Скорость определяется как случайная величина. Закон и параметры распределения зависят от качества грунта.
7	Скорость движения без груза	velocity	Закон и параметры распределения	Скорость движения порожнего ПДМ, км/ч. Скорость определяется как случайная величина. Закон и параметры распределения зависят от качества грунта.
8	Коэффициент снижения скорости	tiltVelocityDecreaseQuotient	Числовое значение	Коэффициент, отрицательно влияющий

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
	на 1 градус наклона			на скорость движения ПДМ по наклонным поверхностям
9	Максимальная вместимость, масса	capacity	Положительное числовое значение	Максимальная вместимость ковша ПДМ, т
9a	Максимальная вместимость, объем	capacityVolume	Положительное числовое значение	Максимальная вместимость ковша ПДМ, м3
9б	Коэффициент заполнения ковша	capacityValue	Положительное числовое значение	Коэффициент заполнения ковша. В дальнейшем будет применяться зависимость заполнения ковша от ряда параметров.
10	Производительность погрузочных работ при работе без дистанционного управления	directLoadingPerformance	Закон и параметры распределения	Производительность погрузочных работ при работе без дистанционного управления, т/мин. Производительность определяется как случайная величина. Закон и параметры распределения зависят от квалификации машинистов
11	Производительность погрузочных работ при работе с пультом дистанционного управления	remoteLoadingPerformance	Закон и параметры распределения	Производительность погрузочных работ при работе с пультом дистанционного управления, т/мин. Производительность определяется как случайная величина. Закон и параметры распределения зависят от квалификации машинистов
12	Производительность ссыпания руды в рудоспуск	bunkerUnloadingPerformance	Положительное числовое значение	Производительность ссыпания руды в рудоспуск, т/сек.
13	Производительность погрузки руды в ШАС	truckLoadingPerformance	Закон и параметры распределения	Производительность погрузки руды в ШАС, т/сек. Производительность определяется как случайная величина. Закон и параметры распределения зависят от квалификации машинистов

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
14	Интервал между задержками при движении	movingDelaysMTTF	Закон и параметры распределения	Интервал между задержками при движении, обусловленными разездом с людьми и вспомогательным транспортом, мин
15	Длительность задержки при движении	movingDelaysMTTR	Закон и параметры распределения	Длительность задержек, обусловленных разездом с людьми и вспомогательным транспортом, мин
15a	Длительность задержки при встречном разъезде	bypassDelayTime	Положительное числовое значение	Длительность задержки при выполнении встречного разъезда с другим ТС, мин
16	Удельный расход топлива на 1 км порожнего пробега	emptyFuelConsumptionRate	Положительное числовое значение	Удельный расход топлива на 1 км порожнего пробега, кг
17	Удельный расход топлива на 1 км пробега с полной загрузкой	fullFuelConsumptionRate	Положительное числовое значение	Удельный расход топлива на 1 км пробега с полной загрузкой, кг
18	Квалификационная группа машинистов	driverSkill	Положительное числовое значение	Параметр, определяющий соотношение машинистов разной квалификации.
19	Периодичность проведения ТОИР	delaysMTBR	Закон и параметры распределения или табличные значения	Интервал между задержками в работе ПДМ, обусловленными проведением ТОИР
20	Длительность проведения ТОИР	repairDuration	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек в работе ПДМ, обусловленных проведением ТОИР, мин
21	Периодичность наступления отказов	delaysMTTF	Закон и параметры распределения или табличные значения	Интервал между простоями ПДМ, обусловленными отказами, мин
22	Длительность проведения восстановительных работ	repairDurationMTTF	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек в работе ПДМ, обусловленных восстановлением, мин

Таблица 2.10. – Набор свойств объекта «ШАС»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование ШАС
2	X-координата	x	Целое число	X-координата местоположения ШАС на холсте графического редактора
3	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения ШАС на холсте графического редактора
3а	Z-координата	z	Целое число	Z-координата местоположения ШАС на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен ШАС
5	Начальное расположение	beginMineNode	Ссылка на объект типа «Узел шахтного поля»	Информация о базовом местоположении ШАС
6	Скорость движения с грузом	velocityFull	Закон и параметры распределения	Скорость движения ШАС при условии перевозки груза, км/ч. Скорость определяется как случайная величина. Закон и параметры распределения зависят от качества грунта.
7	Скорость движения без груза	velocity	Закон и параметры распределения	Скорость движения порожнего ШАС, км/ч. Скорость определяется как случайная величина. Закон и параметры распределения зависят от качества грунта.
8	Грузоподъемность	capacity	Положительное числовое значение	Грузоподъемность ШАС, т
9	Производительность ссыпания руды в рудоспуск	bunkerUnloadingPerformance	Положительное числовое значение	Производительность ссыпания руды в рудоспуск, т/мин
10	Интервал между задержками при движении	movingDelaysMTTF	Закон и параметры распределения	Интервал между задержками при движении, обусловленными разездом с людьми и ВШТ, мин
11	Длительность задержки при движении	movingDelaysMTTR	Закон и параметры распределения	Длительность задержек, обусловленных разездом с людьми и ВШТ, мин

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
12	Длительность задержки при встречном разъезде	bypassDelayTime	Положительное числовое значение	Длительность задержки при выполнении встречного разъезда с другим ТС, мин
13	Удельный расход топлива на 1 км порожнего пробега	emptyFuelConsumptionRate	Положительное числовое значение	Удельный расход топлива на 1 км порожнего пробега, кг
14	Удельный расход топлива на 1 км пробега с полной загрузкой	fullFuelConsumptionRate	Положительное числовое значение	Удельный расход топлива на 1 км пробега с полной загрузкой, кг
15	Периодичность проведения ТОИР	delaysMTBR	Закон и параметры распределения или табличные значения	Интервал между задержками в работе ШАС, обусловленными проведением ТОИР
16	Длительность проведения ТОИР	repairDuration	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек в работе ШАС, обусловленных проведением ТОИР
17	Периодичность наступления отказов	delaysMTTF	Закон и параметры распределения или табличные значения	Интервал между простоями ШАС, обусловленными отказами
18	Длительность проведения восстановительных работ	repairDurationMTTF	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек в работе ШАС, обусловленных восстановлением

Таблица 2.11. – Набор свойств объекта «СБУ»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование СБУ
2	Х-координата	x	Целое число	Х-координата местоположения СБУ на холсте графического редактора
3	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения СБУ на холсте графического редактора

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
3а	Z-координата	z	Целое число	Z-координата местоположения СБУ на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен СБУ
5	Узел базового расположения	baseMineNode	Ссылка на объект типа «Узел шахтного поля»	Информация о базовом местоположении СБУ, в который СБУ возвращается на время проведения взрывных работ
6	Скорость движения	velocity	Положительное числовое значение	Скорость движения СБУ, км/ч
7	Интервал между задержками при движении	movingDelaysMTTF	Треугольное распределение (мин., мода, макс. значения, положительные числовые значения)	Интервал между задержками при движении, обусловленными разездом с людьми и ВШТ, мин
8	Длительность задержки при движении	movingDelaysMTTR	Треугольное распределение (мин., мода, макс. значения, положительные числовые значения)	Длительность задержек, обусловленных разездом с людьми и ВШТ, мин
9	Длительность задержки при встречном разъезде	bypassDelayTime	Положительное числовое значение	Длительность задержки при выполнении встречного разъезда с другим ТС, мин
10	Производительность бурения шпуров или скважин при очистной выемке	mainDrillingPerformance	Положительное числовое значение	Производительность бурения шпуров или скважин при очистной выемке, м/мин. Производительность задается как среднее значение для

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
				каждого типа СБУ.
11	Производительность бурения шпуров при проходке разрезного штрека	auxDrillingPerformance	Положительное числовое значение	Производительность бурения шпуров при проходке разрезного штрека, м/мин. Производительность задается как среднее значение для каждого типа СБУ.
12	Периодичность проведения ТОИР	delaysMTBR	Закон и параметры распределения или табличные значения	Интервал между задержками в работе СБУ, обусловленными проведением ТОИР
13	Длительность проведения ТОИР	repairDuration	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек в работе СБУ, обусловленных проведением ТОИР
14	Периодичность наступления отказов	delaysMTTF	Закон и параметры распределения или табличные значения	Интервал между простоями СБУ, обусловленными отказами
15	Длительность проведения восстановительных работ	repairDurationMTTF	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек в работе СБУ, обусловленных восстановлением

Таблица 2.12 – Набор свойств объекта «Подземный поезд»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование подземного поезда
2	Х-координата	x	Целое число	Х-координата местоположения подземного поезда на холсте графического редактора
3	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения подземного поезда на холсте

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
				графического редактора
3a	Z-координата	z	Целое число	Z-координата местоположения подземного поезда на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен подземный поезд
5	Начальное расположение	beginMineNode	Ссылка на объект типа «Узел шахтного поля»	Информация о базовом местоположении подземного поезда
6	Скорость движения	velocity	Положительное числовое значение	Скорость движения подземного поезда, км/ч
7	Количество вагонов	carsQuantity	Положительное числовое значение	Количество вагонов, сцепленных с локомотивом
9	Грузоподъемность одного вагона, т	carCapacity	Положительное числовое значение	Грузоподъемность одного вагона, т
10	Задержка между погрузкой вагонеток	carsLoadingDelay	Положительное числовое значение	Время, требующееся локомотиву на отгон состава, достаточный для начала погрузки следующего вагона, сек
11	Интервал между поломками при движении	breakdownMTTF	Закон и параметры распределения или табличные значения	Интервал между поломками и сходами с рельсов при движении, мин
12	Длительность задержки при поломке	breakdownMTTR	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек, обусловленных поломками и сходами с рельсов, мин
13	Периодичность проведения ТОИР	delaysMTBR	Закон и параметры распределения	Интервал между задержками, обусловленными

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
			или табличные значения	проведением ТОИР
14	Длительность проведения ТОИР	repairDuration	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек, обусловленных проведением ТОИР

Таблица 2.13. – Набор свойств объекта «Подъемная машина»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование подъемной машины
2	X-координата	x	Целое число	X-координата местоположения подъемной машины на холсте графического редактора
3	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения подъемной машины на холсте графического редактора
3a	Z-координата	z	Целое число	Z-координата местоположения подъемной машины на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определена подъемная машина
5	Бункер	bunker	Ссылка на объект типа «Бункер»	Бункер, в сопряжении с которым работает подъемная машина
6	Вместимость скипа	capacity	Положительное числовое значение	Объем скипа, определяющий дискретность транспортировки руды, м3
7	Время цикла подъема скипа на поверхность	turnaroundTime	Положительное числовое значение	Время на совершение одного подъема скипа на поверхность, ч.
8	Периодичность проведения ТОИР	delaysMTBR	Закон и параметры распределения или табличные значения	Интервал между задержками, обусловленными проведением ТОИР

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
9	Длительность проведения ТОИР	repairDuration	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек, обусловленных проведением ТОИР

Таблица 2.14. – Набор свойств объекта «Клетевой подъемник»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование клетевой подъемной машины
2	Х-координата	x	Целое число	Х-координата местоположения подъемной машины на холсте графического редактора
3	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения подъемной машины на холсте графического редактора
3	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения клетьевого подъема на холсте графического редактора
3а	Z-координата	z	Целое число	Z-координата местоположения клетьевого подъемника на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определена подъемная машина
6	Вместимость клетки	numVagons	Положительное числовое значение	Количество вагонеток, которые может перевезти клеть
7	Время цикла подъема клетки на поверхность	turnaroundTime	Положительное числовое значение	Время на совершение одного подъема клетки на поверхность, ч.
8	Периодичность проведения ТОИР	delaysMTBR	Закон и параметры распределения или табличные значения	Интервал между задержками, обусловленными проведением ТОИР

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
9	Длительность проведения ТОИР	repairDuration	Закон и параметры распределения или табличные значения	Длительность задержек, обусловленных проведением ТОИР

Таблица 2.15 – Набор свойств объекта «Рудоспуск»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование рудоспуска
2	Х-координата	x	Целое число	Х-координата местоположения рудоспуска на холсте графического редактора
3	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения рудоспуска на холсте графического редактора
3а	Z-координата	z	Целое число	Z-координата местоположения рудоспуска на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен рудоспуск
5	Объем	volume	Положительное числовое значение	Вместимость рудоспуска, т
6	Список узлов шахтного поля	mineNodes	Список узлов шахтного поля	Список узлов шахтного поля, с которых возможно ссыпание руды в рудоспуск

Таблица 2.16. – Набор свойств объекта «Бункер»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
				бункера
2	X-координата	x	Целое число	X-координата местоположения бункера на холсте графического редактора
3	Y-координата	y	Целое число	Y-координата местоположения бункера на холсте графического редактора
3а	Z-координата	z	Целое число	Z-координата местоположения бункера на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен бункер
5	Объем	volume	Положительное числовое значение	Вместимость бункера, т
6	Скорость погрузки	loadingPerformance	Положительное числовое значение	Максимальная скорость погрузки руды в бункер, т/мин
7	Скорость разгрузки	unloadingPerformance	Положительное числовое значение	Максимальная скорость разгрузки руды из бункера, т/мин
8	Список входных сегментов конвейера	in	Список входных сегментов конвейера	Список сегментов конвейера, начинающихся из бункера
9	Список выходных сегментов конвейера	out	Список выходных сегментов конвейера	Список сегментов конвейера, заканчивающихся в бункере

Таблица 2.17. – Набор свойств объекта «Конвейер»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование конвейера

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
2	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен конвейер
3	Скорость движение ленты конвейера	speed	Положительное числовое значение	Скорость движения ленты конвейера (м/с)
4	Производительность	performance	Положительное числовое значение	Максимальная производительность конвейера (т/ч)
5	Список сегментов конвейера	conveyorSegments	Список сегментов конвейера	Список последовательно расположенных сегментов, объединенных в конвейер

Таблица 2.18. – Набор свойств объекта «Сегмент конвейера»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Индекс сегмента	index	Целое число	Индекс сегмента в цепочке сегментов конвейера
2	Начальный бункер	source	Ссылка на объект типа «Бункер»	Начальный бункер
3	Конечный бункер	dest	Ссылка на объект типа «Бункер»	Конечный бункер
4	Конвейер	conveyor	Ссылка на объект типа «Бункер»	Конвейер, которому принадлежит сегмент
5	Список точек перегиба	bendpoints	Список точек перегиба	Список точек перегиба в структуре сегмента конвейера

Таблица 2.19 – Набор свойств «Сегмент шахтного рельсового пути»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование СШРП
2	Начальный узел шахтного рельсового пути	begin	Ссылка на объект типа «Узел шахтного поля»	Узел шахтного рельсового пути, являющийся начальной точкой СШРП
3	Конечный узел	end	Ссылка на	Узел шахтного рельсового

	шахтного рельсового пути		объект типа «Узел шахтного поля»	пути, являющийся конечной точкой СШРП
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен СШРП
5	Список точек перегиба	bendpoints	Список точек перегиба	Список точек перегиба в структуре СШРП

Таблица 2.20. – Набор свойств объекта «Узел шахтного рельсового пути»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование УШРП
2	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен УШРП
3	Х-координата	x	Целое число	Х-координата местоположения УШРП
4	У-координата	y	Целое число	У-координата местоположения УШРП
5	Список выходных сегментов шахтного рельсового пути	out	Список сегментов шахтного рельсового пути	Список, в котором содержатся все выходящие из УШРП сегменты шахтного рельсового пути
6	Список входных сегментов шахтного рельсового пути	in	Список сегментов шахтного рельсового пути	Список, в котором содержатся все входящие в УШРП сегменты шахтного рельсового пути
7	Ограничение максимальной скорости прохождения узла	speedLimit	Положительное число	Ограничение максимальной скорости прохождения узла, км/ч

Таблица 2.21. – Набор свойств объекта «Вагоноопрокидыватель»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование подземного поезда
2	Х-координата	x	Целое число	Х-координата местоположения подземного поезда на холсте графического редактора
3	У-координата	y	Целое число	У-координата местоположения подземного поезда

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
				на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен подземный поезд
5	Время одного цикла разгрузки	unloadingDuration	Положительное числовое значение	Время одного цикла разгрузки вагонов, сек
6	Количество одновременно разгружаемых вагонов	carUnloadingCount	Целое число	Количество одновременно разгружаемых вагонов
7	Задержка между циклами разгрузки вагонов	carsUnloadingDelay	Положительное числовое значение	Время, требующееся на отгон состава, достаточный для начала разгрузки следующего набора вагонов, сек
8	Бункер	bunker	Ссылка на бункер расположенный под вагоно-опрокидывателем	Информация о бункере, в который попадает руда из вагоно-опрокидывателя

Таблица 2.22. – Набор свойств объекта «Донная разгрузка»

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
1	Наименование	name	Строка	Наименование подземного поезда
2	Х-координата	x	Целое число	Х-координата местоположения подземного поезда на холсте графического редактора
3	У-координата	y	Целое число	У-координата местоположения подземного поезда на холсте графического редактора
4	Сценарий	scenario	Ссылка на объект типа «Сценарий»	Информация о сценарии, для которого определен подземный поезд

№	Название	Техническое название	Тип данных	Описание
5	Время одного цикла разгрузки	unloadingDuration	Положительное числовое значение	Время одного цикла разгрузки вагонов, сек
6	Количество одновременно разгружаемых вагонеток	carUnloadingCount	Целое число	Количество одновременно разгружаемых вагонов
7	Задержка между циклами разгрузки вагонов	carsUnloadingDelay	Положительное числовое значение	Время, требующееся на отгон состава, достаточный для начала разгрузки следующего набора вагонов, сек
8	Бункер	bunker	Ссылка на бункер расположенный под донной разгрузкой	Информация о бункере, в который попадает руда из вагонеток, при донной разгрузке

Таблица 2.23 - Описание работ по этапам

№	Название этапа	Описание этапа
1	Обследование	- Исследование моделируемой системы (расположение, логистические и производственные процессы); - Сбор и уточнение требований к ИМ и Системе (критерии оптимизации, функциональность, уровень детализации, визуализация, интерактивность, расширяемость, входные и выходные данные); - Подготовка/уточнение исходных данных; - Формирование перечня моделируемых объектов/сущностей, формализованное описание каждого из них
2	Разработка концепции имитационной модели	- Адаптация шаблонов для ввода исходных данных в систему; - Обучение рабочей группы (специально разработанный базовый курс); - Импорт входных данных в систему, включая, при необходимости, интеграцию с IT-системами компании; - Формирование концептуальной имитационной модели, состоящей из уточненного описание объекта моделирования, списка параметров и переменных моделирования, критериев эффективности функционирования вариантов системы, списка используемых методов обработки результатов имитации и перечисление способов представления результатов моделирования, алгоритмов поведения компонентов объекта и отражение вопросов взаимодействия компонентов между собой.

3	Разработка имитационной модели и внедрение системы	• Разработка архитектуры системы • Разработка подходов к доказательству достоверности модели; • Программирование/описание и отладка модели, включающая разработку технической документации на программную реализацию ИМ; • Тестирование ИМ (покомпонентное, интеграционное); • Испытание и исследование ИМ (определение степени ее адекватности, устойчивости результатов моделирования; точность имитации) • Обработка результатов работы системы - статистика, графики, анализ, формализация результатов экспериментов; • Настройка и адаптация системы под требования Заказчика
4	Верификация, уточнение, сдача в ПЭ имитационной модели	• Обучение пользователей (специально разработанный расширенный курс); • Разработка программы экспериментов; • Тестирование системы на разных наборах входных данных и различных условиях (варьирование параметров модели и сбор статистики, оценка сходимости результатов); • Калибровка и валидация ИМ; • Анализ результатов моделирования с целью получения рекомендаций по проектированию системы или ее модификации; • Прием ИМ в ПЭ

Таблица 2.24 - Результаты работ по проекту

№	Этап/фаза работ	Результаты
1.	Обследование	• Отчет об обследовании транспортных потоков • Презентация по результатам обследования • Описание транспортных потоков в состоянии «Как есть» • Исходные данные (набор различных файлов)
2.	Разработка концепции имитационной модели	• Презентация, с описанием основных подходов, положений, методик к разработке ИМ • Концептуальная имитационная модель (тех. проект на ИМ и систему)
3.	Разработка имитационной модели и внедрение системы	• Имитационная модель, с описанием программной реализацией ИМ • Инструкции пользователей, администраторов • Положения по применению ИМ в производственных процессах предприятий • Рекомендации по необходимым трудовым ресурсам
4.	Верификация, уточнение, сдача ИМ в ПЭ	• Учебный курс, адаптированный или специально созданный для Заказчика (презентации, раздаточные материалы, задания) • Программа испытаний • Методика приемки работ • Прокол о сдаче ИМ в ПЭ • Рекомендации по совершенствованию и расширению ИМ

ЭКСПЕРИМЕНТ – ПЛОХОЕ СОСТОЯНИЕ ТРАССЫ ДВИЖЕНИЯ

При прогоне имитационной модели рудника «Комсомольский», ш. «Комсомольская» на планах были получены следующие результаты.

Таблица 4.16- Добыча

Плановый объем разрыхленный, [м3]	Плановая масса, [т]	Расчетный объем разрыхленный, [м3]	Расчетная масса, [т]
1 597 598,9	3 940 743,9	1 370 282,2	3 380 029,5

Таблица 4.17 - Статистика движения СДО

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разг рузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	8 642,00	3 583,00	7 105,00	31 322,00	10,87
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	14 261,00	5 490,00	14 125,00	62 858,00	10,98
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	14 390,00	5 456,00	13 194,00	58 459,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	13 664,00	5 843,00	15 795,00	70 251,00	10,97
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	13 975,00	6 095,00	12 670,00	55 995,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	13 447,00	6 191,00	15 953,00	70 828,00	10,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	13 882,00	5 924,00	13 012,00	57 677,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	13 788,00	6 032,00	14 744,00	65 263,00	10,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	15 474,00	5 686,00	11 621,00	51 345,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	14 998,00	5 312,00	11 199,00	49 534,00	10,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	15 897,00	5 742,00	11 822,00	52 406,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	15 872,00	5 837,00	13 634,00	60 322,00	10,91

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	15 386,00	6 202,00	12 508,00	55 258,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	15 186,00	5 375,00	12 985,00	57 532,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	14 847,00	5 543,00	13 765,00	60 885,00	10,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	14 534,00	6 292,00	13 487,00	59 473,00	10,88
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	16 932,00	5 170,00	10 732,00	47 439,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	15 666,00	5 566,00	10 752,00	47 470,00	10,89
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	14 863,00	9 127,00	19 595,00	86 748,00	10,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	14 891,00	8 785,00	20 342,00	90 171,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	15 346,00	9 156,00	19 968,00	88 532,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	15 248,00	9 129,00	20 350,00	90 483,00	10,97
MT436 ([-1PK])	1 476,00	1 476,00	1 904,00	20 580,00	26,66

Таблица 4.18 - Продуктивное время работы ПДМ

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	677,97	1 713,97	116,00	77,06	2 585,00	16 461 254,15
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	1 014,19	2 850,38	232,67	153,62	4 250,87	27 069 497,65
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 029,41	2 852,67	216,52	139,06	4 237,66	26 985 376,50
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 072,80	2 730,67	259,34	166,37	4 229,19	26 931 439,63
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 143,96	2 765,47	207,69	131,42	4 248,54	27 054 660,23
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 165,92	2 653,22	262,74	165,14	4 247,03	27 045 044,57
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 115,54	2 774,36	213,20	136,83	4 239,94	26 999 895,52

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 117,69	2 720,38	241,75	155,18	4 235,00	26 968 437,65
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 081,45	3 092,88	190,83	117,30	4 482,46	28 544 260,46
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	982,67	3 008,98	182,78	116,55	4 290,98	27 324 917,73
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 076,34	3 176,81	193,98	120,38	4 567,51	29 085 858,00
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	1 088,16	3 162,60	223,48	137,77	4 612,01	29 369 233,56
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	1 161,43	3 055,53	204,88	126,81	4 548,65	28 965 757,71
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	998,70	3 024,28	212,91	135,67	4 371,55	27 837 986,68
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	1 048,52	2 944,51	225,36	154,45	4 372,83	27 846 137,71
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	1 181,22	2 850,17	220,10	138,34	4 389,84	27 954 457,22
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	961,24	3 417,61	174,99	122,55	4 676,38	29 779 141,08
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	1 046,90	3 142,64	175,59	107,72	4 472,83	28 482 936,71
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	1 711,40	2 938,60	322,37	213,66	5 186,03	33 024 587,18
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	1 641,67	2 948,14	334,33	221,09	5 145,23	32 764 773,19
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	1 699,85	3 051,61	328,50	209,43	5 289,39	33 682 782,63
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	1 708,48	3 012,20	335,24	207,02	5 262,94	33 514 349,29
MT436 ([-1PK])	190,44	190,00	1 965,02	34,30	2 379,76	15 969 117,71
						639 661 902,77

Таблица 4.19 - Непродуктивное время работы ПДМ

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварий ные ситуаци и, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	500,50	7,26	-	12,67	318,50	78,00	227,50	593,36	95,46
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	1 006,50	10,15	30,90	12,67	639,92	156,00	457,50	2 127,13	139,80
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 006,50	11,11	43,32	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	138,98
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 006,50	10,80	52,12	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	132,18
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 006,50	12,86	30,78	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	154,46
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 006,50	12,09	33,06	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	139,14
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 006,50	11,44	40,65	12,67	639,92	156,00	457,50	2 127,13	146,76
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 006,50	12,57	44,64	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	140,14
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 006,50	9,05	74,94	12,67	640,50	156,00	457,50	1 852,87	161,11
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	1 006,50	8,63	75,55	12,67	640,50	156,00	457,50	2 044,15	156,15
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 003,75	9,39	48,02	12,67	638,75	156,00	456,25	1 773,17	151,88
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	1 006,50	10,72	62,73	12,67	640,50	156,00	457,50	1 733,87	154,34
ПДМ 14т Caterpillar R-1700	1 006,50	10,00	53,47	12,67	640,50	156,00	457,50	1 807,17	148,04

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварий ные ситуаци и, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
G (50148 [-26PK])									
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	1 006,50	10,46	70,68	12,67	640,50	156,00	457,50	1 966,65	158,82
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	1 006,50	10,63	69,14	12,67	640,50	156,00	457,50	1 966,65	146,50
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	1 006,50	11,27	51,57	12,67	640,50	156,00	457,50	1 966,65	148,63
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	1 001,00	9,91	54,95	12,67	638,17	156,00	456,25	1 684,68	179,30
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	1 006,50	10,57	113,53	12,67	640,50	156,00	457,50	1 822,41	166,78
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	1 006,50	11,67	224,50	12,67	213,50	156,00	-	1 881,40	143,09
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	1 006,50	11,38	265,83	12,67	213,50	156,00	-	1 881,40	131,04
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	1 006,50	10,76	271,01	12,67	213,50	156,00	-	1 732,67	153,37
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	1 006,50	9,59	298,63	12,67	213,50	156,00	-	1 732,67	142,02
MT436 ([-1PK])	-	0,97	6 390,60	12,67	-	-	-	-	9,92

Таблица 4.20 - Статистика работы откаточных горизонтов

Поезда	Количество вагонов в партии	Количество рейсов	Объем перевезенной руды, [м3]
K14M №1	10	1649	125446
K14M №2	10	241	18143
K14M №3	10	21	1515
K14M №4	10	0	0,00
K14M №5	10	0	0,00
K14M №6	10	0	0,00
K14M №7	10	0	0,00
K14M №8	10	0	0,00
K14M №9	10	0	0,00
K14M №10	10	75	8672
K14M №11	10	910	76237
K14M №12	10	2061	182387
K14M №13	10	2978	232147
K14M №14	10	1557	144663
K14M №15	10	1031	97364
K14M №16	10	2211	205028
K14M №17	10	3231	277983
K14M №1	10	1649	125446

ЭКСПЕРИМЕНТ – ХОРОШЕЕ СОСТОЯНИЕ ТРАССЫ ДВИЖЕНИЯ

При прогоне имитационной модели рудника «Комсомольский» ш. «Комсомольская» на планах в рамках данного эксперимента были получены следующие результаты.

Таблица 4.21 – Добыча

Плановый объем разрыхленный, [м3]	Плановая масса, [т]	Расчетный объем разрыхленный, [м3]	Расчетная масса, [т]
1 681 499,0	4 147 697,4	1 679 433,5	4 142 602,5

Таблица 4.22 - Статистика движения СДО

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	12 153,00	7 767,00	16 190,00	71 563,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	15 938,00	10 805,00	25 717,00	114 101,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	14 459,00	9 971,00	20 589,00	91 079,00	10,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	13 861,00	9 643,00	21 506,00	95 171,00	10,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	13 455,00	9 938,00	20 611,00	91 108,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	13 803,00	9 558,00	17 565,00	77 303,00	10,86
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	13 377,00	9 733,00	18 395,00	80 953,00	10,86
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	13 407,00	9 679,00	17 444,00	76 740,00	10,85
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	10 865,00	7 659,00	13 368,00	58 737,00	10,84
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	12 154,00	9 347,00	17 230,00	75 818,00	10,85
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	11 926,00	8 744,00	16 813,00	73 942,00	10,85

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	12 044,00	8 838,00	16 172,00	70 991,00	10,83
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	12 032,00	8 659,00	15 682,00	68 967,00	10,85
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	11 682,00	8 858,00	15 512,00	67 923,00	10,80
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	11 447,00	8 508,00	17 016,00	74 863,00	10,85
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	10 963,00	7 493,00	16 046,00	70 869,00	10,89
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	11 702,00	7 790,00	15 449,00	68 142,00	10,88
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	9 662,00	6 728,00	13 025,00	57 207,00	10,83
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	10 546,00	8 778,00	15 663,00	68 695,00	10,82
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	9 654,00	7 754,00	14 543,00	63 971,00	10,85
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	11 955,00	9 735,00	18 222,00	80 170,00	10,85
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	11 505,00	9 347,00	18 432,00	81 120,00	10,86
MT436 ([-1PK])	1 364,00	1 366,00	1 754,00	20 856,00	29,33

Таблица 4.23 - Продуктивное время работы ПДМ

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK]) ушла 1.07)	671,02	1 153,80	264,47	164,38	2 253,67	14 351 348,02
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	918,59	1 427,43	422,99	273,06	3 042,06	19 371 807,66
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	850,54	1 314,58	336,65	209,63	2 711,40	17 266 168,09
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	804,49	1 274,71	351,55	221,59	2 652,34	16 890 074,60
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	853,68	1 211,38	337,18	214,04	2 616,28	16 660 444,88
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	818,88	1 267,03	287,11	198,19	2 571,22	16 373 503,25

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	841,36	1 211,75	299,85	197,32	2 550,29	16 240 221,22
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	847,88	1 226,20	284,43	179,68	2 538,20	16 163 232,22
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	698,30	998,85	217,38	146,74	2 061,27	13 126 146,75
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	818,59	1 086,85	281,28	210,46	2 397,18	15 265 218,27
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	748,99	1 094,63	273,85	175,41	2 292,87	14 600 973,23
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	760,80	1 107,35	262,73	172,44	2 303,33	14 667 582,41
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	767,24	1 096,12	255,15	156,10	2 274,61	14 484 693,73
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	771,12	1 050,11	251,34	159,44	2 232,02	14 213 481,04
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	727,12	1 045,52	277,63	178,64	2 228,92	14 193 740,27
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	635,82	1 010,33	261,93	166,60	2 074,69	13 211 605,17
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	679,08	1 083,42	252,91	160,17	2 175,58	13 854 071,68
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	585,82	875,71	212,34	135,17	1 809,04	11 519 948,63
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	754,81	970,11	254,81	159,32	2 139,06	13 621 512,69
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	675,76	897,23	237,00	144,86	1 954,85	12 448 465,25
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	846,91	1 114,23	297,03	187,09	2 445,26	15 571 391,23
ПДМ 14Т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	801,82	1 065,94	300,12	181,71	2 349,59	14 962 165,62
МТ436 ([-1PK])	172,30	172,18	608,91	34,76	988,15	6 630 871,88
						335 688 667,78

Таблица 4.24 - Непродуктивное время работы ПДМ

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	500,50	27,59	345,85	12,67	318,50	78,00	227,50	558,36	59,33
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	1 006,50	28,22	2 622,97	12,67	640,50	156,00	457,50	726,07	63,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 006,50	30,22	3 084,35	12,67	640,50	156,00	457,50	593,36	62,67
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 006,50	28,95	3 144,69	12,67	640,50	156,00	457,50	593,36	59,73
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 006,50	30,23	3 179,47	12,67	640,50	156,00	457,50	593,36	59,52
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 006,50	32,89	3 221,87	12,67	640,50	156,00	457,50	593,36	67,28
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 006,50	33,13	3 242,56	12,67	640,50	156,00	457,50	593,36	65,74
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 006,50	33,48	3 254,30	12,67	640,50	156,00	457,50	593,36	69,03
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 006,50	23,70	2 481,49	12,67	640,50	156,00	457,50	1 852,87	76,02
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	1 006,50	27,98	3 327,09	12,67	640,50	156,00	457,50	667,08	58,36
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 006,50	32,18	3 403,16	12,67	640,50	156,00	457,50	691,13	56,57
ПДМ 14т Caterpillar R-	1 006,50	30,64	3 406,13	12,67	640,50	156,00	457,50	679,24	64,82

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
1700 G (50156 [-25PK])									
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (50148 [-26PK])	1 006,50	32,13	3 411,45	12,67	640,50	156,00	457,50	701,14	64,14
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (53487 [-27PK])	1 006,50	32,08	3 463,38	12,67	640,50	156,00	457,50	691,86	62,61
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (53488 [-28PK])	1 006,50	29,12	3 469,44	12,67	640,50	156,00	457,50	691,86	59,37
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (53489 [-29PK])	1 006,50	26,93	3 625,86	12,67	640,50	156,00	457,50	691,86	52,70
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (53647 [-30PK])	1 006,50	29,04	3 690,66	12,67	640,50	156,00	457,50	524,05	61,98
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (53648 [-31PK])	1 006,50	23,12	3 509,62	12,67	640,50	156,00	457,50	1 077,56	48,64
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (53649 [-32PK])	1 006,50	25,42	4 061,80	12,67	213,50	156,00	-	1 077,56	60,42
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (54275 [-33PK])	1 006,50	23,36	4 248,06	12,67	213,50	156,00	-	1 077,56	61,43
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (54969 [-34PK])	1 006,50	27,09	4 283,44	12,67	213,50	156,00	-	548,04	74,85
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (54970 [-35PK])	1 006,50	29,10	4 412,10	12,67	213,50	156,00	-	513,04	64,33
MT436 ([-1PK])	-	2,37	7 780,81	12,67	-	-	-	-	3,25

Таблица 4.25 - Статистика работы откаточных горизонтов

Поезда	Количество вагонов в партии	Количество рейсов	Объем перевезенной руды, [м3]
K14M №1	10	1257	139557
K14M №2	10	508	60379
K14M №3	10	60	6891
K14M №4	10	8	1020
K14M №5	10	0	0,00
K14M №6	10	0	0,00
K14M №7	10	0	0,00
K14M №8	10	7	865
K14M №9	10	219	25654
K14M №10	10	531	60916
K14M №11	10	1178	135738
K14M №12	10	1455	176403
K14M №13	10	2210	228958
K14M №14	10	1507	180800
K14M №15	10	1572	193785
K14M №16	10	1759	216417
K14M №17	10	2207	252049
K14M №1	10	1257	139557

ЭКСПЕРИМЕНТ – МЕНЬШИЙ РАБОЧИЙ ОБЪЕМ КОВША

При прогоне имитационной модели рудника «Комсомольский» ш. Комсомольская на планах при учете меньшего коэффициента заполнения ковша, были получены следующие результаты.

Таблица 4.26 – Добыча

Плановый объем разрыхленный, [м3]	Плановая масса, [т]	Расчетный объем разрыхленный, [м3]	Расчетная масса, [т]
1 591 076,9	3 924 656,3	1 371 997,4	3 384 260,2

Таблица 4.27 - Статистика движения СДО

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разг рузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14РК] ушла 1.07)	10 324,00	5 001,00	11 632,00	34 522,00	7,32
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15РК])	16 563,00	8 502,00	20 085,00	59 637,00	7,32
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16РК])	17 581,00	7 612,00	19 053,00	56 670,00	7,34
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17РК])	16 980,00	8 377,00	17 582,00	52 168,00	7,32
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18РК])	17 547,00	7 638,00	18 589,00	55 248,00	7,33
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19РК])	16 559,00	8 784,00	18 803,00	55 746,00	7,31
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20РК])	17 432,00	7 891,00	17 291,00	51 364,00	7,33
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21РК])	16 744,00	7 973,00	20 733,00	61 598,00	7,33
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22РК])	17 738,00	8 866,00	21 347,00	63 543,00	7,34
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23РК])	17 509,00	8 274,00	19 261,00	57 315,00	7,34

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	18 543,00	8 933,00	18 843,00	55 946,00	7,32
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	18 829,00	8 619,00	20 378,00	60 623,00	7,34
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	17 540,00	9 379,00	21 638,00	64 341,00	7,33
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	17 744,00	8 272,00	18 627,00	55 285,00	7,32
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	17 470,00	8 060,00	19 460,00	57 883,00	7,34
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	18 315,00	8 113,00	17 270,00	51 162,00	7,31
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	19 192,00	8 877,00	18 294,00	54 285,00	7,32
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	17 910,00	8 571,00	21 335,00	63 405,00	7,33
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	17 124,00	12 449,00	32 052,00	95 392,00	7,34
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	17 800,00	12 562,00	29 299,00	86 972,00	7,32
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	18 140,00	12 874,00	31 442,00	93 557,00	7,34
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	18 247,00	13 170,00	28 739,00	85 317,00	7,32
MT436 ([-1PK])	2 147,00	2 147,00	2 768,00	21 340,00	19,02

Таблица 4.28 - Продуктивное время работы ПДМ

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	745,88	1 522,11	191,66	120,51	2 580,16	16 430 433,08
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	1 263,58	2 441,84	331,77	213,47	4 250,66	27 068 160,37
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381	1 131,46	2 592,01	314,40	199,72	4 237,59	26 984 930,74

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
[-16PK])						
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 244,64	2 512,47	290,38	186,78	4 234,27	26 963 789,02
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 134,09	2 589,46	307,77	228,39	4 259,70	27 125 727,00
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 308,22	2 443,47	309,84	188,90	4 250,44	27 066 759,42
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 175,74	2 576,03	285,85	182,84	4 220,46	26 875 847,08
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 185,03	2 484,79	341,11	236,43	4 247,36	27 047 146,01
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 331,42	2 604,64	352,81	219,84	4 508,71	28 711 420,19
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	1 223,18	2 576,55	317,91	207,78	4 325,42	27 544 231,31
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 326,47	2 726,69	311,19	191,81	4 556,16	29 013 581,32
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	1 280,86	2 772,22	336,74	213,88	4 603,70	29 316 315,56
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	1 389,43	2 571,74	357,51	221,32	4 540,00	28 910 674,60
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	1 229,75	2 613,83	307,45	190,63	4 341,66	27 647 647,46
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	1 196,86	2 576,90	321,49	218,09	4 313,35	27 467 369,67
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	1 204,41	2 693,86	284,10	180,05	4 362,42	27 779 846,94

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	1 319,90	2 831,00	301,07	189,66	4 641,64	29 557 917,10
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	1 267,78	2 634,07	351,51	244,89	4 498,26	28 644 874,70
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	1 834,80	2 514,56	530,03	333,08	5 212,46	33 192 893,16
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	1 857,26	2 626,61	483,48	310,99	5 278,34	33 612 416,34
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	1 904,79	2 673,35	520,61	333,15	5 431,90	34 590 284,88
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	1 948,74	2 694,61	473,23	304,05	5 420,64	34 518 581,31
MT436 ([-1PK])	275,07	273,25	1 655,56	35,57	2 239,45	15 027 582,89
						641 098 430,13

Таблица 4.29 - Непродуктивное время работы ПДМ

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	500,50	12,05	-	12,67	318,50	78,00	227,50	593,36	68,20
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	1 006,50	19,49	22,05	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	106,86

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 006,50	18,96	35,56	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	108,57
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 006,50	19,69	38,20	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	117,20
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 006,50	18,45	13,98	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	109,64
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 006,50	22,21	19,55	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	112,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 006,50	17,24	54,41	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	117,70
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 006,50	19,74	25,07	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	122,05
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 006,50	15,37	42,35	12,67	640,50	156,00	457,50	1 852,87	117,02
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	1 006,50	12,47	37,21	12,67	640,50	156,00	457,50	2 044,15	99,12
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 006,50	20,01	69,95	12,67	640,50	156,00	457,50	1 773,17	109,33
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	1 006,50	18,85	62,90	12,67	640,50	156,00	457,50	1 733,87	114,00
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	1 006,50	17,44	54,70	12,67	640,50	156,00	457,50	1 807,17	96,00
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	1 006,50	18,12	92,84	12,67	640,50	156,00	457,50	1 966,65	109,78
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	1 006,50	16,93	146,40	12,67	640,50	156,00	457,50	1 942,65	109,80
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	1 006,50	17,04	73,18	12,67	640,50	156,00	457,50	1 966,65	105,75

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	1 006,50	20,39	131,68	12,67	640,50	156,00	457,50	1 625,60	122,47
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	1 003,75	15,87	66,44	12,67	638,75	156,00	456,67	1 822,41	100,98
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	995,50	19,84	116,35	12,67	211,75	156,00	-	1 881,40	98,86
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	1 006,50	22,30	97,80	12,67	213,50	156,00	-	1 905,39	120,37
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	1 006,50	25,22	79,03	12,67	213,50	156,00	-	1 767,67	120,79
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	1 006,50	22,71	127,81	12,67	213,50	156,00	-	1 732,67	127,91
MT436 ([-1PK])	-	2,25	6 529,63	12,67	-	-	-	-	11,43

Таблица 4.30 - Статистика работы откаточных горизонтов

Поезда	Количество вагонов в партии	Количество рейсов	Объем перевезенной руды, [м3]
К14М №1	10	1407	113292
К14М №2	10	264	26601
К14М №3	10	33	999
К14М №4	10	0	0,00
К14М №5	10	0	0,00
К14М №6	10	0	0,00
К14М №7	10	0	0,00

K14M №8	10	0	0,00
K14M №9	10	0	0,00
K14M №10	10	171	18025
K14M №11	10	1033	71311
K14M №12	10	2611	177621
K14M №13	10	3763	250715
K14M №14	10	1711	158098
K14M №15	10	1084	94038
K14M №16	10	2528	220674
K14M №17	10	3051	240228
K14M №1	10	1407	113292

ЭКСПЕРИМЕНТ – 21 ПДМ В РАБОТЕ

При прогоне имитационной модели рудника «Комсомольский» ш. Комсомольская на планах в рамках данного эксперимента были получены следующие результаты.

Таблица 4.31 – Добыча

Плановый объем разрыхленный, [м3]	Плановая масса, [т]	Расчетный объем разрыхленный, [м3]	Расчетная масса, [т]
1 676 845,4	4 136 218,6	1 661 856,0	4 099 244,8

Таблица 4.32 - Статистика движения СДО

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разг рузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK]) ушла 1.07)	9 603,00	5 353,00	12 076,00	53 343,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	16 345,00	8 344,00	17 409,00	77 144,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	16 729,00	8 276,00	18 292,00	81 120,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	16 174,00	8 199,00	17 211,00	76 321,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	16 118,00	8 181,00	18 030,00	79 815,00	10,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	15 336,00	8 822,00	18 037,00	79 771,00	10,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	16 031,00	7 954,00	17 713,00	78 589,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	17 697,00	7 785,00	15 240,00	67 758,00	10,97
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	14 864,00	8 089,00	21 007,00	93 309,00	10,96
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	14 577,00	8 412,00	19 772,00	87 678,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	15 193,00	9 042,00	19 640,00	86 916,00	10,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	14 198,00	7 868,00	16 826,00	74 309,00	10,89
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	14 920,00	7 704,00	14 911,00	65 792,00	10,88

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	14 059,00	7 627,00	18 252,00	80 911,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	14 320,00	7 288,00	14 517,00	64 149,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	14 865,00	8 026,00	17 179,00	75 704,00	10,87
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	12 821,00	6 891,00	15 651,00	69 195,00	10,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	12 231,00	9 070,00	22 692,00	100 811,00	10,96
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	12 118,00	8 795,00	19 392,00	85 988,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	13 568,00	9 356,00	20 810,00	92 314,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	13 363,00	9 875,00	20 567,00	90 910,00	10,90
MT436 ([-1PK])	1 470,00	1 470,00	1 898,00	21 800,00	28,33

Таблица 4.33 - Продуктивное время работы ПДМ

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	795,29	1 415,08	197,62	125,12	2 533,10	16 130 755,47
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 238,83	2 398,94	285,60	187,49	4 110,87	26 177 979,05
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 225,10	2 455,65	300,80	185,11	4 166,66	26 533 249,21
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 218,84	2 379,60	282,58	182,82	4 063,83	25 878 428,80
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 213,14	2 371,95	296,27	189,29	4 070,66	25 921 922,17
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 312,22	2 261,11	295,63	179,41	4 048,36	25 779 916,00
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 180,85	2 358,90	290,79	182,32	4 012,86	25 553 852,35
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 147,39	2 572,98	251,15	160,89	4 132,40	26 315 081,88
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	1 207,61	2 181,89	345,10	231,36	3 965,96	25 255 193,62

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 242,36	2 131,36	326,04	207,87	3 907,64	24 883 812,44
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	1 340,51	2 228,07	321,84	202,51	4 092,93	26 063 737,31
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	1 163,21	2 078,14	274,64	169,69	3 685,68	23 470 373,38
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	1 142,80	2 196,34	243,47	164,72	3 747,34	23 863 023,65
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	1 129,66	2 065,39	299,94	189,34	3 684,32	23 461 712,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	1 083,04	2 108,45	237,14	155,64	3 584,27	22 824 595,52
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	1 191,68	2 180,69	280,37	173,05	3 825,79	24 362 592,46
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	1 022,57	1 887,43	256,13	164,68	3 330,80	21 210 501,09
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	1 338,89	1 804,83	372,96	234,07	3 750,75	23 884 738,49
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	1 298,76	1 785,83	318,45	200,55	3 603,60	22 947 688,76
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	1 384,96	1 996,11	341,20	235,82	3 958,09	25 205 077,54
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	1 462,46	1 970,20	336,98	210,34	3 979,98	25 344 472,84
MT436 ([-1PK])	187,81	186,15	1 213,09	36,33	1 623,39	10 893 580,02
						521 962 284,98

Таблица 4.34 - Непродуктивное время работы ПДМ

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	500,50	15,12	44,74	12,67	318,50	78,00	227,50	593,36	62,58

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 006,50	18,64	161,93	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	93,33
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 006,50	16,54	108,98	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	91,43
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 006,50	18,91	209,31	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	99,45
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 006,50	18,72	202,80	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	96,67
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 006,50	21,51	222,33	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	103,59
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 006,50	17,39	261,95	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	96,77
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 006,50	12,00	422,07	12,67	640,50	156,00	457,50	1 852,87	63,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	1 006,50	13,30	395,92	12,67	640,50	156,00	457,50	2 044,15	93,62
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 006,50	17,68	779,84	12,67	640,50	156,00	457,50	1 714,18	72,05
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	1 006,50	21,08	630,44	12,67	640,50	156,00	457,50	1 674,88	87,62
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	1 006,50	15,59	1 067,18	12,67	640,50	156,00	457,50	1 650,89	72,66
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	1 006,50	15,76	772,58	12,67	640,50	156,00	457,50	1 883,66	91,04
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	1 006,50	17,42	833,92	12,67	640,50	156,00	457,50	1 883,66	81,06
ПДМ 14т Caterpillar R-	1 006,50	15,45	935,95	12,67	640,50	156,00	457,50	1 883,66	89,41

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
1700 G (53489 [-29PK])									
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (53647 [-30PK])	1 006,50	19,21	1 031,72	12,67	640,50	156,00	457,50	1 542,61	85,37
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (53648 [-31PK])	1 006,50	20,14	1 392,97	12,67	640,50	156,00	457,50	1 675,43	79,51
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (53649 [-32PK])	1 006,50	17,66	1 825,00	12,67	213,50	156,00	-	1 710,42	81,76
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (54275 [-33PK])	1 006,50	14,04	2 010,77	12,67	213,50	156,00	-	1 675,43	78,76
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (54969 [-34PK])	1 006,50	17,09	1 762,05	12,67	213,50	156,00	-	1 566,61	86,85
ПДМ 14т Caterpillar R- 1700 G (54970 [-35PK])	1 006,50	16,87	1 740,37	12,67	213,50	156,00	-	1 566,61	92,42
MT436 ([-1PK])	-	1,29	7 146,66	12,67	-	-	-	-	6,43

Таблица 4.35 - Статистика работы откаточных горизонтов

Поезда	Количество вагонов в партии	Количество рейсов	Объем перевезенной руды, [м3]
K14M №1	10	1440	134056
K14M №2	10	339	32222
K14M №3	10	55	5154
K14M №4	10	0	0,00
K14M №5	10	0	0,00

K14M №6	10	0	0,00
K14M №7	10	0	0,00
K14M №8	10	0	0,00
K14M №9	10	0	0,00
K14M №10	10	277	29285
K14M №11	10	825	76656
K14M №12	10	2553	232189
K14M №13	10	3479	299455
K14M №14	10	1650	161948
K14M №15	10	1506	156567
K14M №16	10	2251	238367
K14M №17	10	3231	295795

ЭКСПЕРИМЕНТ – 20 ПДМ В РАБОТЕ

При прогоне имитационной модели рудника «Комсомольский» ш. Комсомольская на планах были получены следующие результаты.

Таблица 4.36 – Добыча

Плановый объем разрыхленный, [м3]	Плановая масса, [т]	Расчетный объем разрыхленный, [м3]	Расчетная масса, [т]
1 681 499,0	4 147 697,4	1 629 235,1	4 018 779,8

Таблица 4.37 - Статистика движения СДО

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK] ушла 1.07)	10 427,00	5 042,00	10 588,00	46 786,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	16 526,00	8 191,00	19 306,00	85 697,00	10,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	16 764,00	8 596,00	18 019,00	79 853,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	17 028,00	8 306,00	16 069,00	71 102,00	10,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	16 567,00	8 269,00	18 708,00	82 916,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	16 501,00	8 557,00	18 215,00	80 699,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	16 772,00	8 171,00	17 119,00	75 719,00	10,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	15 334,00	8 782,00	20 218,00	89 754,00	10,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	14 838,00	7 776,00	18 312,00	81 300,00	10,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	15 326,00	8 177,00	20 218,00	89 604,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	16 254,00	8 013,00	18 412,00	81 478,00	10,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	15 018,00	7 326,00	17 187,00	76 113,00	10,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	14 474,00	7 379,00	17 649,00	78 224,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	15 014,00	7 019,00	14 506,00	64 111,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	14 847,00	7 930,00	18 041,00	79 717,00	10,90
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	13 968,00	7 417,00	16 040,00	71 086,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	14 030,00	10 259,00	24 374,00	108 161,00	10,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	13 092,00	9 417,00	22 506,00	99 761,00	10,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	13 419,00	9 472,00	21 295,00	94 459,00	10,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	13 535,00	9 774,00	20 938,00	92 676,00	10,92
MT436 ([-1PK])	1 558,00	1 558,00	2 009,00	23 156,00	28,43

Таблица 4.38 - Продуктивное время работы ПДМ

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14РК] ушла 1.07)	748,86	1 536,22	173,28	115,59	2 573,94	16 390 824,18
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16РК])	1 214,25	2 421,20	317,77	204,06	4 157,28	26 473 517,47
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17РК])	1 274,75	2 458,54	295,31	188,45	4 217,05	26 854 132,23
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18РК])	1 233,08	2 502,49	263,14	164,90	4 163,61	26 513 826,84
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19РК])	1 223,53	2 433,32	307,39	188,92	4 153,16	26 447 281,35
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20РК])	1 269,13	2 429,76	299,26	189,00	4 187,14	26 663 665,65
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21РК])	1 209,92	2 465,97	280,43	181,93	4 138,25	26 352 334,62
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22РК])	1 293,75	2 233,06	332,66	202,15	4 061,62	25 864 355,54
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23РК])	1 162,80	2 175,82	300,52	203,64	3 842,77	24 470 720,93
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24РК])	1 204,99	2 238,46	331,96	218,64	3 994,04	25 434 006,78
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25РК])	1 186,22	2 389,56	301,05	195,93	4 072,76	25 935 294,95
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27РК])	1 085,75	2 205,34	282,06	188,03	3 761,18	23 951 156,63

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28РК])	1 094,70	2 127,63	289,81	186,72	3 698,86	23 554 303,49
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29РК])	1 039,34	2 204,05	237,39	157,69	3 638,48	23 169 804,26
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30РК])	1 174,71	2 182,70	295,48	190,30	3 843,19	24 473 395,49
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31РК])	1 097,54	2 048,99	262,87	165,09	3 574,50	22 762 380,26
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32РК])	1 509,05	2 059,27	400,89	256,31	4 225,52	26 908 069,10
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33РК])	1 388,38	1 925,56	370,57	238,80	3 923,30	24 983 535,17
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34РК])	1 397,76	1 975,70	349,59	221,25	3 944,30	25 117 262,96
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35РК])	1 444,50	1 994,87	342,82	218,90	4 001,09	25 478 901,11
МТ436 ([-1РК])	199,07	197,20	1 250,42	38,59	1 685,28	11 308 886,06
						509 107 655,06

Таблица 4.39 - Непродуктивное время работы ПДМ

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14РК] ушла 1.07)	500,50	11,93	6,55	12,67	318,50	78,00	227,50	593,36	64,79

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 006,50	17,07	117,83	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	87,40
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 006,50	18,03	56,27	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	92,39
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 006,50	16,06	112,50	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	98,99
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 006,50	15,66	123,37	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	91,56
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 006,50	17,66	87,38	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	101,24
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 006,50	16,60	137,32	12,67	640,50	156,00	457,50	2 127,13	95,43
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 006,50	12,07	492,77	12,67	640,50	156,00	457,50	1 852,87	63,47
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	1 006,50	12,94	519,47	12,67	640,50	156,00	457,50	2 044,15	91,82
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 006,50	14,33	696,78	12,67	640,50	156,00	457,50	1 714,18	68,58
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	1 006,50	15,62	656,07	12,67	640,50	156,00	457,50	1 674,88	92,28
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	1 006,50	14,78	759,71	12,67	640,50	156,00	457,50	1 883,66	83,78
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	1 006,50	16,15	820,65	12,67	640,50	156,00	457,50	1 883,66	85,12
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	1 006,50	13,83	883,37	12,67	640,50	156,00	457,50	1 883,66	81,04
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	1 006,50	16,25	1 017,29	12,67	640,50	156,00	457,50	1 542,61	86,99

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	ЕТО 1, [ч]	Аварийные ситуации, [ч]	ЕТО 2, [ч]	Регламент ТО, [ч]	Ожидание разъезда, [ч]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	1 006,50	15,16	1 119,25	12,67	640,50	156,00	457,50	1 710,42	76,04
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	1 006,50	13,33	1 266,56	12,67	213,50	156,00	-	1 798,41	77,07
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	1 006,50	15,58	1 630,54	12,67	213,50	156,00	-	1 734,42	78,85
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	1 006,50	13,55	1 779,38	12,67	213,50	156,00	-	1 566,61	83,60
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	1 006,50	14,41	1 721,72	12,67	213,50	156,00	-	1 566,61	89,18
MT436 ([-1PK])	-	1,66	7 084,39	12,67	-	-	-	-	6,80

Таблица 4.40 - Статистика работы откаточных горизонтов

Поезда	Количество вагонов в партии	Количество рейсов	Объем перевезенной руды, [м3]
K14M №1	10	1197	112213
K14M №2	10	277	26843
K14M №3	10	76	8746
K14M №4	10	0	0,00
K14M №5	10	0	0,00
K14M №6	10	0	0,00
K14M №7	10	0	0,00
K14M №8	10	0	0,00
K14M №9	10	5	584

K14M №10	10	207	23011
K14M №11	10	973	95791
K14M №12	10	2209	199002
K14M №13	10	3783	317175
K14M №14	10	1892	190081
K14M №15	10	1499	157020
K14M №16	10	2050	218345
K14M №17	10	3008	279714
K14M №1	10	1197	112213

ЭКСПЕРИМЕНТ – 1-5 ВЕЕРОВ ЗА СТАДИЮ ВЗРЫВА

При прогоне имитационной модели рудника «Комсомольский» на планах были получены следующие результаты.

Таблица 4.41 – Добыча

Количество вееров за стадию взрыва	Плановый объем разрыхленный, [м3]	Плановая масса, [т]	Расчетный объем разрыхленный, [м3]	Расчетная масса, [т]
1	1 681 499,0	4 147 697,4	1 609 024,1	3 968 926,0
2	1 681 499,0	4 147 697,4	1 644 062,6	4 055 354,3
3	1 681 499,0	4 147 697,4	1 629 235,1	4 018 779,8
4	1 681 499,0	4 147 697,4	1 613 451,2	3 979 846,2
5	1 677 270,8	4 137 267,9	1 614 864,1	3 983 331,6

ЭКСПЕРИМЕНТ – БАЗОВЫЙ «СКАЛИСТАЯ»

При прогоне имитационной модели рудника «Комсомольский» шахта «Скалистая» на планах были получены следующие результаты.

Таблица 4.42 – Добыча

Плановый объем разрыхленный, [м3]	Плановая масса, [т]	Расчетный объем разрыхленный, [м3]	Расчетная масса, [т]
560 615,6	1 382 851,7	560 615,6	1 382 851,7

Таблица 4.43 - Статистика движения СДО

Наименование СДО, номер Ellipse	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Sandvik LH514 (45958[-PC2])	11 413,00	8 319,00	21 563,00	112 031,00	12,82
ПДМ 14т Sandvik LH514 (49589 [-PC5])	8 830,00	6 624,00	15 918,00	82 599,00	12,80
ПДМ 14т Sandvik LH514 (49660 [-PC6])	8 245,00	6 056,00	14 131,00	73 162,00	12,77
ПДМ 10т Sandvik LH410 (49699 [-PC7])	8 631,00	6 625,00	14 636,00	58 536,00	9,87
ПДМ 14т Sandvik LH514 (52377 [-PC8])	8 386,00	6 340,00	15 257,00	79 153,00	12,80
ПДМ 14т Sandvik LH514 (52992 [-PC9])	8 568,00	6 411,00	14 353,00	74 441,00	12,79
ПДМ 14т Sandvik LH514 (54148 [-PC10])	8 680,00	6 604,00	15 556,00	80 689,00	12,79

Таблица 4.44 - Продуктивное время работы ПДМ

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию , [руб.]
ПДМ 14т Sandvik LH514 (45958[-PC2])	1 214,90	1 653,39	356,26	214,89	3 439,44	26 353 883,53
ПДМ 14т Sandvik LH514 (49589 [-PC5])	968,18	1 275,89	263,92	158,43	2 666,43	20 430 879,93

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Затраты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Sandvik LH514 (49660 [-PC6])	886,66	1 196,24	233,76	139,93	2 456,59	18 823 031,29
ПДМ 10т Sandvik LH410 (49699 [-PC7])	966,38	1 249,10	240,65	144,54	2 600,66	14 518 548,54
ПДМ 14т Sandvik LH514 (52377 [-PC8])	927,26	1 213,60	252,40	151,57	2 544,84	19 499 225,74
ПДМ 14т Sandvik LH514 (52992 [-PC9])	938,57	1 235,77	238,43	142,64	2 555,41	19 580 215,83
ПДМ 14т Sandvik LH514 (54148 [-PC10])	965,52	1 256,54	257,38	154,53	2 633,97	20 182 162,97
						139 387 947,84

Таблица 4.45 - Непродуктивное время работы ПДМ

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	Аварийные ситуации, [ч]	Регламент ТО, [ч]	ЕТО2, [ч]	ЕТО1, [ч]	Пересменка, [ч]
ПДМ 14т Sandvik LH514 (45958[-PC2])	944,00	5,78	750,76	91,86	276,00	1 280,91	531,50	708,67	472,75
ПДМ 14т Sandvik LH514 (49589 [-PC5])	944,00	6,02	1 474,09	91,86	276,00	1 330,35	531,50	708,67	472,75
ПДМ 14т Sandvik LH514 (49660 [-PC6])	944,00	5,10	1 610,70	91,86	276,00	1 404,50	531,50	708,67	472,75
ПДМ 10т Sandvik LH410 (49699 [-PC7])	944,00	5,48	1 500,25	91,86	276,00	1 370,49	531,50	708,67	472,75
ПДМ 14т Sandvik LH514 (52377 [-PC8])	944,00	5,62	1 300,64	91,86	276,00	1 625,79	531,50	708,67	472,75
ПДМ 14т Sandvik LH514 (52992 [-PC9])	944,00	4,95	1 177,68	91,86	276,00	1 741,59	531,00	707,33	471,83

Наименование ПДМ, номер Ellipse	Не работает Взрывные работы [ч]	Время ожидания разгрузки в рудоспуск, [ч]	Ожидание без задач, [ч]	Ожидание - нет фронта работ[ч]	Аварийные ситуации, [ч]	Регламент ТО, [ч]	ЕТО2, [ч]	ЕТО1, [ч]	Перес менка, [ч]
ПДМ 14т Sandvik LH514 (54148 [-PC10])	944,00	6,09	1 446,19	91,86	253,00	1 413,64	531,50	708,67	472,75

Таблица 4.46 - Статистика работы откаточных горизонтов

Поезда	Количество вагонов в партии	Количество рейсов	Объем перевезенной руды, [м3]
К14М №1	8	0	0,00
К14М №2	8	125	11014
К14М №3	8	1252	101332
К14М №4	8	2323	182749
К14М №5	8	4235	265504

ЭКСПЕРИМЕНТ – СЦЕНАРИЙ HOT SEAT CHANGE

При прогоне имитационной модели рудника «Комсомольский», шахта «Комсомольская» на планах с учетом прогнозирования сценария смены операторов ПДМ на рабочем месте, были получены следующие результаты.

Таблица 4.47- Добыча

Плановый объем разрыхленный, [м3]	Плановая масса, [т]	Расчетный объем разрыхленный, [м3]	Расчетная масса, [т]
1 681 499,0	4 147 697,4	1 681 499,0	4 147 697,4

В данном сценарии, имитационная модель рудника завершила работу по добыче за 9 месяцев и 16 дней.

Таблица 4.48 - Статистика движения СДО

Наименование СДО хоз. номер	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14РК] ушла 1.07)	8 067,00	6 864,00	16 563,00	74 158,00	11,04
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15РК])	11 105,00	9 713,00	22 861,00	102 534,00	11,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16РК])	9 296,00	8 074,00	21 636,00	97 051,00	11,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17РК])	9 265,00	8 108,00	22 865,00	102 567,00	11,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18РК])	8 916,00	7 783,00	20 200,00	90 551,00	11,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19РК])	8 236,00	7 093,00	17 909,00	80 211,00	11,05
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20РК])	8 164,00	7 249,00	19 617,00	88 006,00	11,07
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21РК])	7 809,00	6 736,00	18 014,00	80 731,00	11,05
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22РК])	7 719,00	6 677,00	17 777,00	79 648,00	11,05
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23РК])	7 835,00	6 833,00	17 600,00	78 902,00	11,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24РК])	7 768,00	6 780,00	18 008,00	80 726,00	11,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25РК])	7 330,00	6 385,00	18 980,00	85 118,00	11,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26РК])	7 312,00	6 347,00	18 238,00	81 757,00	11,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27РК])	7 053,00	6 137,00	16 995,00	76 214,00	11,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28РК])	6 387,00	5 486,00	16 466,00	73 760,00	11,05
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29РК])	6 306,00	5 384,00	15 185,00	68 042,00	11,05
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30РК])	6 070,00	5 075,00	13 329,00	59 589,00	11,03
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31РК])	5 808,00	4 796,00	11 783,00	52 690,00	11,03
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32РК])	6 400,00	5 315,00	12 082,00	53 944,00	11,01
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33РК])	6 635,00	5 472,00	13 098,00	58 457,00	11,01

Наименование СДО хоз. номер	Пробег без груза, [км]	Пробег с грузом, [км]	Число циклов погрузки/разгрузки	Объем перевезенной руды, [м3]	Средний вес ковша, [т]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	6 280,00	5 277,00	12 770,00	57 063,00	11,02
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	6 171,00	5 168,00	13 380,00	59 776,00	11,02
MT436 ([-1PK])	1 375,00	1 376,00	1 774,00	23 033,00	32,03

Таблица 4.49 - Продуктивное время работы ПДМ

Наименование СДО, номер Ellipse	Время движения с грузом, [ч]	Время движения без груза, [ч]	Время погрузки и, [ч]	Время разгрузки, [ч]	Суммарное время работы, [ч]	Загрты на эксплуатацию, [руб.]
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (19888 [-14PK]) ушла 1.07)	1 025,14	1 185,05	274,90	167,53	2 652,62	16 891 857,63
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20330 [-15PK])	1 444,65	1 623,32	379,20	237,61	3 684,78	23 464 642,19
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (20381 [-16PK])	1 203,44	1 364,26	359,26	228,26	3 155,22	20 092 409,41
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (40630 [-17PK])	1 207,25	1 358,68	379,92	242,53	3 188,39	20 303 635,64
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42528 [-18PK])	1 162,23	1 310,19	335,33	218,48	3 026,24	19 271 066,06
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (42593 [-19PK])	1 062,99	1 213,49	297,52	194,20	2 768,20	17 627 869,92
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (43096 [-20PK])	1 084,89	1 201,02	325,70	199,04	2 810,65	17 898 191,09
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (45634 [-21PK])	1 011,79	1 152,16	299,32	191,03	2 654,30	16 902 555,86
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (46535 [-22PK])	1 027,26	1 137,34	294,73	185,44	2 644,77	16 841 868,91
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (48363 [-23PK])	1 026,52	1 159,91	291,88	183,86	2 662,17	16 952 671,94
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50155 [-24PK])	1 012,49	1 146,21	299,04	208,02	2 665,76	16 975 533,02
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50156 [-25PK])	956,58	1 079,88	314,74	205,80	2 556,99	16 282 886,75
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (50148 [-26PK])	947,78	1 074,52	302,72	189,31	2 514,33	16 011 228,30
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53487 [-27PK])	921,23	1 040,93	281,92	196,51	2 440,59	15 541 652,71
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53488 [-28PK])	823,07	941,51	273,38	174,21	2 212,17	14 087 076,44
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53489 [-29PK])	808,84	931,96	252,04	170,69	2 163,53	13 777 337,40

ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53647 [-30PK])	764,44	897,83	220,89	140,34	2 023,51	12 885 691,44
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53648 [-31PK])	721,87	857,72	194,46	129,21	1 903,25	12 119 876,97
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (53649 [-32PK])	801,22	947,21	199,80	126,92	2 075,14	13 214 470,77
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54275 [-33PK])	821,71	977,27	217,20	141,14	2 157,32	13 737 792,19
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54969 [-34PK])	792,61	928,36	211,46	134,66	2 067,09	13 163 208,45
ПДМ 14т Caterpillar R-1700 G (54970 [-35PK])	778,67	910,85	221,35	143,14	2 054,00	13 079 851,46
MT436 ([-1PK])	175,23	174,57	483,09	38,39	871,28	5 846 628,60
						362 970 003,15