1. Карьерный транспорт является одним важнейших звеньев технологической цепи открытых горных разработок. транспортирование горной массы затрачивается около половины стоимостных трудовых ресурсов отрасли. ростом глубины карьеров возрастает роль автомобильного транспорта, наиболее гибкого маневренного. Транспортная сеть карьере является сложной системой, состоящей значительного числа активных элементов - автосамосвалов экскаваторов. Эта система характеризуется быстрым изменением параметров транспортного потока пространстве времени, также случайными значениями времени протекания отдельных процессов. Оптимальное оперативное планирование управление карьерным транспортом позволяет повысить производительность 20% [5].

2. Данная статья является одним этапов разработки автоматизированной системы управления горно-транспортными работами (АСУ ГТР) предназначенной решения задач оперативного планирования управления работой традиционных, роботизированных транспортных средств.

3. Целью работы является повышение эффективности управления технологическим транспортом учетом текущего территориального распределения, состояния загрузки путем использования имитационного моделирования транспортных процессов прикладных информационных технологий планирования, прогнозирования управления.

4. работе [2] рассматривалось решение задачи автоматизированного управления контроля роботизированными транспортными средствами маневрах площадках ограниченного размера, таких, разгрузочные перегрузочные площадки карьеров. Описываемая данной статье имитационная модель интегрируется системой контроля маршрутизации роботизированных традиционных транспортных средств, выполняющих маневры разгрузочных перегрузочных площадках.

5. Имитационная модель также предназначена исследования эффективности различных вариантов оперативного управления горно-транспортными работами. Разработка моделей алгоритмов планирования оперативного управления горно-транспортными работами связана многочисленными экспериментами, которые практически невозможно осуществить натурных условиях. Необходимой частью автоматизированной системы управления стадии разработки отладки, стадии внедрения эксплуатации является имитационная модель, позволяющая ускоренном масштабе времени воспроизвести различные режимы работы транспортного комплекса, оценить качество планирования управления.

6. Метод имитационного моделирования впервые применен решения задач организации производственных процессов карьере работе [3]. История дальнейшего развития имитационного моделирования горном деле изложена [4].

7. Разработанная имитационная модель базируется принципах: агрегативности, горно-транспортный комплекс рассматривается совокупность относительно обособленных агрегатов (самосвалов, экскаваторов, пунктов контроля управления) четко определенными функциями, событийности – состояние системы рассматривается моделью «критические» моменты времени, системе происходят те иные изменения.

8. Описываемая имитационная модель является управляемой. Это означает, её работу вмешаться внести коррективы, так, это делает диспетчер ГТР, принимающий решения смене заданий отдельных автосамосвалов основе анализа текущей ситуации выбранных критериев качества транспортного процесса.

## Определение закономерностей функционирования исследуемой производственной системы

9. Процесс транспортирования горной массы на открытых горных разработках включает перемещение вскрышных пород руд погрузочного оборудования, расположенного внутри карьера, пункты разгрузки (перегрузочный пункт, бункер дробильной установки, отвал). карьерного автотранспорта характерны небольшие расстояния перевозок (от 1,5 5 км), постоянные маршруты движения дорогам переменным продольным профилем значительным числом поворотов.

10 Транспортный цикл работе автосамосвалов карьере включает следующие операции: погрузку горной массы самосвал, движение грузом, маневры пункте разгрузки, разгрузку, возвращение автосамосвала порожняком маневры очередной погрузкой. транспортном цикле наибольший удельный вес составляет время движения автосамосвала груженом порожнем состоянии. Продолжительность погрузки автосамосвала зависит модели вместимости ковша экскаватора, характера разрабатываемого грунта параметров забоя, схемы подъезда погрузку, грузоподъемности автосамосвала, угла поворота экскаватора погрузке других факторов.

11. сравнительно небольшом числе автосамосвалов, работающих карьере (15—20 шт.), закрепляются смену экскаваторами. системе организации работ, носящей название закрытого цикла, могут возникать неизбежные простои экскаваторов автосамосвалов вследствие неисправности одного этих механизмов задержки автосамосвалов.

12. большем числе автосамосвалов экскаваторов возникают простои экскаваторов из-за недостатка автосамосвалов, вызванного поломками, задержками пути разгрузке. полного использования экскаваторов автомобилей многих предприятиях применяется распределение автомобилей экскаваторы про­цессе работы. Диспетчер карьера, пользуясь световым табло радиостанцией, направляет автомобили туда, могут данный момент быстрее загружены. Диспетчерский пункт оборудован таким расчетом, пределах видимости диспетчера находился весь карьер. дорогах карьера установлена световая сигнализация. высвечивается номер свободного экскаватора, которому диспетчер направляет автосамосвал. Такая система оперативного распределения автосамосвалов карьере, носящая наименование работы открытому циклу, повышает производи­тельность работы погрузочно-транспортного оборудования счет сокращения простоев.

13. Усредненные временные параметры транспортного цикла одного карьеров приведены таблице (автосамосвал БелАЗ-7519).

Таблица 1. Продолжительность операций транспортного цикла с.

|  |  |
| --- | --- |
| О п е р ц и и | В р е м я, с |
| Ожидание погрузки | 105,0 |
| Маневрирование установке погрузку | 41,0 |
| Погрузка | 210,0 |
| Транспортировка горной массы: | 800,7 |
| Движение порожнего спуск | 236,3 |
| Движение груженого подъём | 420,0 |
| Установившееся движение | 144,4 |
| Ожидание разгрузки | 10,0 |
| Маневрирование установке разгрузку | 44,1 |
| Разгрузка | 50,0 |
| Продолжительность транспортного цикла | 1259,4 |

#### Принципы построения модели формализация моделируемой

#### системы

14. Состояние транспортного комплекса системы любой момент времени рассматривать вектор состояний составляющих элементов. Задачей моделирования является построение последовательности этих состояний учетом начальных условий.

15. основу модели положен принцип «особых состояний», заключающийся том, что контроль модели происходит те моменты времени, изменяется состояние какого-либо элемента (происходит событие). соответствии заданным алгоритмом момент вре­мени происходит корректирование состояния элемента анализ модели новом состоянии. Преимущество указанного способа заключается значительном сокращении времени работы машинной программы, также то, события рассматриваются одновременные случае, состояние соответствующих элементов изменяется одном цикле пересчета модели.

16 качестве основных рабочих параметров модели приняты следующие величины:

Количество экскаваторов (1…10);

Диапазон вместимости ковша экскаватора, м3 (4…22);

Количество пунктов разгрузки (1…10);

Количество автосамосвалов (1…40);

Диапазон грузоподъёмности автосамосвалов, т (40…180);

Диапазон скоростей движения автосамосвалов, км/ч (0…40);

Коэффициент использования машинного времени экскаваторов, %;

Коэффициент использования машинного времени автосамосвалов %;

Средняя длина очереди автосамосвалов экскаватору, шт;

Максимальная длина очереди автосамосвалов экскаватору, шт;

Производительность карьера, т/ч.

17. Относительная производительность карьера (текущая производительность, отнесенная теоретической производительности, которой экскаваторы автосамосвалы работают простоев), %.

###### 18 Кроме того, должны заданы:

Матрица закрепления автосамосвалов экскаваторами;

Матрица закрепления автосамосвалов пунктами разгрузки;

Матрица смежности графа транспортной сети карьера;

19 Основным рабочим элементом модели является автосамосвал. модели рассматриваются следующие состояния автосамосвала карьере:

- движение порожнем состоянии;

- ожидание пункте погрузки;

- маневры пункте погрузки;

- погрузка;

- движение пункту учета управления (открытый цикл);

- движение груженом состоянии;

- ожидание пункте разгрузки;

- маневры пункте разгрузки;

- разгрузка;

20 Длительность каждой перечисленной операции общем случае является случайной величиной. повышения адекватности модели кроме основных временных интервалов (времена движения, погрузки, разгрузки нахождения автосамосвала очередях) учтены простои поворотах выбора безопасной дистанции въезде транспортный поток, задержки снижении скорости на кривых соблюдении безопасной дистанции следования учетом плотности потока машин. Анализ гистограмм, полученных результате наблюдения работой автосамосвалов карьере, позволяет принять большинстве случаев нормальный пуассоновский законы распределения длительностей рассмотренных операций.

21. Вектор параметров каждого автосамосвала содержит номер i (i=1…N), грузоподъемность, принадлежность определенному маршруту m, загруженность *li* (*li*=1 – груза, *li*=2 – грузом), дислокацию Zi, текущую скорость направление движения, продолжительность нахождения автосамосвала работе.

22. Множество технологически возможных маршрутов движения, автосамосвалов карьере у(k,j) k-го пункта погрузки j-му пункту разгрузки выразить совокупность последовательностей вершин графа Вm = {Zm**1**, Zm**2**,…Zm**b-1**, Zm**b**} b - число вершин маршруте m. Таким образом Zm**1∈Р,** Zm**b∈R** {Zm**2**..Zm**b-1**,}∈{Q∪D} Р – множество пунктов погрузки, R – множество пунктов разгрузки, Q – множество пунктов промежуточных транспортных задержек D - пункт управления. Каждая дуга K**kj** графа соответствует элементарному участку транспортной сети карьера характеризуется протяженностью L**ki** и уклоном U**ij**. Математическая запись графа транспортной сети карьера имеет вид

G = (K, B), (1)

где – матрица смежности графа маршрутов;**,** М – число допустимых маршрутов.

23. Граф G должен односвязным. Вершинам графа Р, R, D модели ставится соответствие четыре величины: *τ1l,τ2l,τ3l,τ4l .* Для пунктов погрузки, разгрузки управления *τ1l* *τ2l* означает время поступления автосамосвалов указанные пункты начало выполнения соответствующих видов работ. Величины *τ3l,τ4l* означают время окончания работы время отбытия автосамосвала. Применение данных величин позволяет однозначно определить процесс формирования транспортного потока распределение автосамосвалов движении транспортной сети.

24. Таким образом, описание транспортной сети карьера помощью ориентированного графа позволяет удобном моделирования виде задавать маршруты движения автосамосвалов карьере.

###### Описание алгоритма имитационного моделирования

25. Имитационная модель работы автотранспорта карьере удобства разбита подсистемы, цели функционирования которых подчинены цели функционирования всей системы. Процесс работы автотранспорта карьере разделен следующие основные подсистемы: 1- погрузка, 2- транспортировка, 3 - разгрузка. учетом вышесказанного описании данной модели применен блочный принцип.

26. Укрупненная блок-схема алгоритма имитационной модели работы автотранспорта карьере представлена рис.1.

Блок 2. Служит ввода данных, характеризующих транспортную сеть погрузочно-транспортное оборудование.

Блок 3. Задаются начальное конечное события – фиксация модельного времени.

Блок 4. Работа блока состоит нахождении ближайшего времени модельного события si. параметры события входят дислокация автосамосвала, погрузка, разгрузка, изменение направления движения.

Блок 5. Фиксируется время наступления события формирования протокола работы модели.

Блок 6. Проверяется условие ti≥Тмод, которое означает конец моделирования. случае управление передается блоку 11.

Блок 7. Учитывается местоположение автосамосвала определяется выполняемая операция (разгрузка, погрузка, движение участку трассы, проезд примыкание автодорог, получение адреса экскаватора работе автосамосвала открытому циклу) т.п.

Блок 8. Объекту присваивается новое состояние, которое должно повлечь наступление нового события заданное время.

Блоки 9 10 осуществляют интерфейс системой оперативного управления, которой фактически производится анализ состояния модели. Анализ состояния модели происходить различным критериям зависимости цели проводимого эксперимента. Система оперативного управления должна принимать решение направлении конкретного автосамосвала конкретному месту разгрузки перераспределении автосамосвалов забоями.

Блок 11. окончании процесса моделирования формируется протокол, отражающий динамику событий изменение контрольных параметров.

На рис.2 показана укрупненная схема алгоритма моделирования работы отдельного автосамосвала.

Блок 2. Инициализация объекта заключается присваивании конкретных значений вектора параметров (дислокация, закрепление маршрутом, скорость, текущая операция). учетом правил поддержки безопасного расстояния автосамосвалами определяется начало работы каждого автосамосвала формуле:

 условии , (2)

где N - количество автосамосвалов модели; tбез – время, полученное условия безопасности расстояния максимально возможной скорости движения автосамосвалов транспортном потоке; *r* - равномерно распределенная случайная величина интервале 0…1.

Блок 3. учетом направления движения выделенной дуги графа транспортной сети определяется время *τi* движения элементарному участку трассы. Время движения груженом состоянии (мин) определяется формуле [5]

 , (3)

где *Sгр* - длина отдельных участков дороги грузовом направлении, км; *kc* - 0,75..0.9 - коэффициент снижения скорости различным причинам; *vгр*- техническая скорость движения автомобиля отдельным участкам дороги груженом состоянии, км/ч.

Время движения порожнем состоянии определяется аналогично формуле

 , (4)

где *Sпор* - длина отдельных участков дороги порожнего состояния, км; *vпор* - техническая скорость движения автомобиля отдельным участкам дороги порожнем состоянии, км/ч;

27. Допустимая техническая скорость движения автомобиля (км/ч) любом направлении учетом правил безопасного движения карьере должна превышать скорость движения, рассчитанную условию торможения формуле [6]

 , (5)

где аз - замедление автомобиля торможении, м/с2; S - заданный остановочный путь, м; tСТ - время срабатывания тормозной системы, с.

Замедление автомобиля торможении аз (м/с2) определить формуле [6]

 , (6)

где *Ксц= mс/mа* - коэффициент сцепной массы; *mс* - сцепная масса автомобиля, т; *mа* - масса автомобиля, т; ω0 - основное удельное сопротивление, н/т; i - уклон автодороги, %; γ - коэффициент, учитывающий энергию вращающихся масс; Ψ-коэффициент сцепления. определения средних значений указанных физических параметров карьерных автосамосвалов (Белаз-7519, Белаз-7521, ND-1200), определен диапазон замедлений аз= (0,5…1,75) м/с2, из которого конкретные значения выбираются случайным образом.

Блок 4 определяет момент смены состояния объекта.

Блок 5 изменяет состояние объекта согласно алгоритму функционирования (остановка, маневры т.п.).

Блок 6 учитывает правила безопасного движения автосамосвала транспортном потоке. Интервал следования машин S, м должен *lбез* м, которое определяется формуле [7]

 , (7)

где Δ - допустимое расстояние автосамосвалами остановке, м; *tpв* – время реакции водителя, с; tСТ – время срабатывания тормозной системы, с; *vн* - скорость движения автосамосвала, км/ч; S*д* - длина действительного тормозного пути, м.

28. Кроме того, блоке 6 генерируется значение времени маневрирование автосамосвала при погрузке разгрузке, определяется продолжительность простоя автосамосвала очереди погрузку разгрузку, также формируется время погрузки разгрузки.

Блок 7 Блок 8 являются частью общего алгоритма отслеживают модельное время.

Блок 9 фиксирует конечное состояние объекта.

29. получения достоверных данных использовании предложенной имитационной модели необходимо осуществлять многократный прогон программы ЭВМ. учесть переходные процессы, возникающие начале конце смены, количество задействованных машин растет убывает, необходимо устанавливать длину реализации модели равной одной смене.

30. Оптимальное число прогонов модели определяется методом последовательных испытаний [8]. использовании метода объем выборки Nв, оценки математического ожидания исследуемого параметра заранее фиксируется, определяется основе информации, полученной определенному количеству предварительных реализаций модели N0 (обычно равном 40..50). предварительным реализациям определяют σх2 – выборочную дисперсию. требуемое количество реализаций заданном уровне доверия *р* точности *ε* равно

 . (8)

На практике обычных исследованиях принимают р =0,95, соответствует значение квантиля *Uа* = 1,96. ε - длина доверительного интервала оцениваемого параметра.

###### Проверка адекватности модели

31. адекватностью имитационной модели понимается соответствие реакций модели реакциям реальной системы заданной совокупности свойств системы, учтенных модели. проверки адекватности имитационной модели производились испытания модели описанной выше методике. сравнения взяты статистические производственные показатели одного ГОКов Украины. Усредненные результаты испытаний приведены таблице 2.

32. Программная реализация модели выполнена универсальном языке программирования. Это позволяет использовать стандартные средства ввода-вывода редактирования информации, числе построения графиков анимации, библиотеки подпрограмм численных методов статистического анализа, позволяет встраивать модель контур любого алгоритма оптимизации, свободно выбирать определяемые показатели.

##### **Выводы**

33. Разработана испытана управляемая имитационная модель работы технологического автотранспорта железорудных карьерах, позволяющая оценить эффективность моделей планирования оперативного управления работой традиционного роботизированного карьерного автотранспорта. Программа позволяет задавать граф маршрутов, затем следить работой транспорта течение смены. Визуальный интерфейс ввода маршрутов, параметров моделирования отображения движения транспортных средств обеспечивает простоту использования наглядность.