УДК 621.879

РАЗРАБОТКА АНАЛИТИКО-ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА (ЭАК)

Зотиков Е.И., студент гр. АРм-241, Кузнецов И.С., доцент к.т.н.,
научный руководитель
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
Россия, г. Кемерово

Разработка аналитико-имитационной модели экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК) представляет собой ключевой этап в исследовании, направленном на оптимизацию параметров технологического процесса вскрышных работ. В рамках данной модели учитываются основные элементы системы: экскаваторы, автосамосвалы, технологические маршруты, циклы загрузки-разгрузки, а также переменные параметры, влияющие на эффективность взаимодействия между этими компонентами.

Модель позволяет воспроизводить производственный процесс в динамике, проводить множественные сценарные расчёты, выявлять узкие места и определять наиболее рациональные параметры функционирования комплекса. В отличие от статических расчётов, аналитико-имитационное моделирование позволяет учесть стохастическую природу процессов — вариативность времени операций, вероятность простоев, случайные отклонения и задержки, а также изменения в условиях эксплуатации.

Целью построения аналитико-имитационной модели является количественная оценка эффективности функционирования ЭАК при различных вариантах параметров и условий эксплуатации, а также поиск оптимального соотношения числа экскаваторов и автосамосвалов, обеспечивающего минимальные издержки и максимальную производительность при заданных ограничениях.

В рамках поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Формализация структуры ЭАК с учётом всех элементов и их взаимодействия.

2. Построение математических зависимостей, описывающих основные параметры работы (время цикла, коэффициенты загрузки, простоев и т.д).

3. Разработка алгоритма имитации производственного процесса.

4. Проведение многовариантных расчётов и анализ чувствительности модели.

5. Вывод оптимальных сочетаний параметров и интерпретация полученных результатов.

Основные элементы модели. Модель ЭАК включает в себя следующие ключевые компоненты:

Экскаватор – основной добычной агрегат, осуществляющий погрузку вскрышной породы. Описывается параметрами: тип, вместимость ковша, продолжительность цикла черпания, техническая производительность, коэффициенты надёжности и времени исправной работы.

Автосамосвал – транспортное средство, выполняющее вывоз породы от экскаватора к отвалу или перегрузочному пункту. Характеризуется грузоподъёмностью, объёмом кузова, временем движения по маршруту, временем разгрузки, временем ожидания под погрузку.

Маршрут транспортировки – путь от места погрузки до разгрузки, включающий параметры расстояния, профиля трассы, коэффициенты сопротивления и времени прохождения.

Цикл работы ЭАК – совокупность операций от момента прибытия самосвала к экскаватору до его возвращения после разгрузки.



Рисунок 1 — Цикл работы экскаваторно-автомобильного комплекса

Имитационная модель: логика и алгоритм. Имитационная модель строится по пошаговому алгоритму с дискретным шагом времени:

Инициализация параметров: задаются значения производительности техники, длины маршрутов, количества единиц техники, продолжительности операций и пр.

Размещение техники: создаются виртуальные экземпляры экскаваторов и самосвалов с уникальными идентификаторами и текущими статусами (ожидание, загрузка, транспортировка и т.д.).

Запуск моделирования: на каждом шаге времени обновляется статус каждого самосвала — в зависимости от того, завершена ли погрузка, достигнута ли точка разгрузки и т. д.

Учёт задержек: модель регистрирует случаи простоя техники (например, экскаватор без самосвала или очередь из самосвалов в ожидании погрузки).

Накопление статистики: собираются данные о загрузке техники, времени работы, простоях, количестве перевезённой породы.

Анализ результатов: рассчитываются обобщённые показатели эффективности, такие как коэффициент использования оборудования, производительность, транспортные затраты, количество простоев.

Имитация может проводиться на различных интервалах времени (от часов до смен), с возможностью внесения случайных возмущений (поломки, задержки, погодные отклонения и пр.).

Реализация модели. Модель может быть реализована в различных программных средах:

- MS Excel — для построения простых аналитических моделей с возможностью визуализации и расчёта оптимального количества техники;

- Arena, AnyLogic, FlexSim — для более сложного имитационного моделирования с визуализацией производственных процессов;

- Python (с использованием библиотек SimPy, NumPy, Pandas) — для построения кастомных имитационных моделей с гибкой логикой и возможностью многократного запуска сценариев;

MATLAB / Simulink — при необходимости точного численного моделирования и оптимизации.

Выбор платформы зависит от целей исследования, доступных ресурсов и уровня подготовки разработчика.

Преимущества аналитико-имитационного подхода. Использование аналитико-имитационной модели даёт следующие преимущества:

- возможность учёта большого количества переменных и условий;

- моделирование нестабильных и случайных процессов;

- определение чувствительности системы к изменению параметров;

- поддержка принятия решений на всех уровнях планирования (оперативном, тактическом, стратегическом);

- поддержка адаптации к изменяющимся производственным условиям.

Разработка аналитико-имитационной модели экскаваторно-автомобильного комплекса позволяет эффективно исследовать поведение технологической системы в различных условиях, выявить оптимальные параметры эксплуатации и минимизировать затраты при сохранении или повышении производительности. Модель служит как инструмент планирования, управления и обучения персонала, так и основой для цифровой трансформации горного производства.

Список литературы:

1. Седюкевич, В. Н., Богаченко, А. С., Мальгин, О. Н., Лысенко, Н. Е., Нозик, А. И., Тырыкин, А. Д. Оптимизация состава автомобильно-экскаваторного комплекса на основе имитационного моделирования / IX Международная научно-практическая конференция – Кемерово: КузГТУ, 2025. – (дата обращения 15.11.2025)