

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСКАВАТОРНО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ КОМПЛЕКСОМ ПРИ ВЕДЕНИЕ ДОБЫЧНЫХ РАБОТ

Ш.М. ХУДАЙБЕРДИЕВ, начальник сектора науки, к.т.н., доцент.

И.Х. НАСРИДДИНОВ, доцент кафедры, к.э.н., доцент.

*Филиал Национального исследовательского технологического университета
«МИСиС» в городе Алмалык, Алмалык, Узбекистан*

Аннотация

Рассматриваются вопросы автоматизации планирования и организация стабильной работы карьера по добыче полезного ископаемого, обеспечение задания по качеству руды, оптимальное распределение транспортных, вскрышных и добычных работ, моделирование зависимости вскрышных и добычных работ.

Ключевые слова: автоматизация, открытые горные разработки, планы горных работ, имитационное моделирование.

Введение. В карьере «Кальмакир» горная масса из карьера вывозится железнодорожным транспортом. Руда из забоя подается в думпкарах на обогатительную фабрику и частично на усреднительный склад. По структуре выделено три горных участка: Центральный, Восточный и Вскрышной карьер. На каждом из них функционируют буровой участок, геологическое и маркшейдерское бюро.

Как известно, разработка текущих планов горных работ на карьерах зависит от множества переменных факторов, таких как: количество работающих в смене экскаваторов, грузоподъемности и количества автомобильного транспорта, количества локомотивосоставов, содержания полезных ископаемых, принятой системой управления качеством или усреднением содержания полезных компонентов в горной массе и др. Необходимость ежесменного планирования горных работ с учетом значительного количества приведенных переменных факторов, порождает ряд задач связанных с выбором рациональной системы управления добычными работами, оперативным перераспределением горной техники при выходе из строя экскаватора, минимизацией расстояния транспортирования, порядком и объемом путепередвижных и ремонтных работ.

На сегодняшний день решение данной задачи позволит увеличить добычу горной массы и снизить себестоимость горных работ, а также позволит разработать рациональную автоматизированную систему управления добычными работами.

Анализ работ отечественных и зарубежных исследований показывает значительное количество работ в этом направлении. Имеющиеся задачи оперативно-календарных работ по автоматизации систем управления горно-транспортными работами входят в состав программного обеспечения десятки крупных интегрированных систем.

Из Российских разработчиков наиболее известными являются компания "ВИСТ Групп" которая занимается разработкой информационных технологий горного производства. Работы в этом направлении ведутся также в Москве (Интегра), Апатитах (Горный институт КНЦ РАН), Белгороде (ВИОГЕМ), Кривом Рогу и некоторых других местах.

Из зарубежных разработок выделяются работа австралийской компании KJRA Systems разработавший интегрированную систему «Vulkan», имеющую модуль по оптимизации календарного плана горного предприятия.

Компания Mineral Industry Computing Ltd разработала и внедрила интегрированную среду Дата Майн имеющую модули:

- проектирование и планирование открытых горных работ;
- календарное планирование горных работ;
- оптимизация процесса усреднения руды.

Американская компания Mintec Inc разработала пакеты имеющие модули

- планирование открытых и подземных горных работ;
- планирование работы транспортно-погрузочного оборудования.

Основная часть. Для решения задачи оперативно-календарного планирования горных работ в качестве основных методов исследования выбраны имитационно моделирование и динамический метод программирования[3].

Поскольку большинство технологических процессов горных работ протекает во времени, нами для оптимизации параметров горных работ выбран динамический метод. Кроме того, в связи с множеством неопределённостей природно-технологических систем, нами использован метод имитационного моделирования, с помощью которого можно решить задачи не поддающиеся традиционными методами. Решение задачи разделено на шаги, каждый следующий шаг зависит от предшествующего состояния системы. При решении задачи выбраны наиболее существенно влияющие, управляемые параметры на процесс работы экскаваторно-железнодорожного комплекса. Такими параметрами являются коэффициент вскрыши; расстояние транспортирования горной массы, перегон экскаваторов, непрерывный фронт работы и др. Технологическими критериями оптимальности принимаются; максимальная производительность оборудования, максимум вскрытых запасов, подготовленных в вышке, максимум путепередвижных работ и др.

Планомерная выемка полезных ископаемых в карьере обеспечивается регулированием технологических схем разработки уступов. Определяется расстановка горного оборудования, устанавливается взаимосвязь процессов, уточняется схемы путевого развития на уступах, рассчитывается графики плано-предупредительных ремонтов оборудования [5]. Изменяются местоположения и размеры обрабатываемых участков по фронту уступов, направления движения экскаваторов, порядок и объем путепередвижных и ремонтных работ. При составлении плана работ на карьере, целесообразно формировать группу вариантов работы для каждого экскаватора и выбирать оптимальные варианты по критерию управления.

В работе предлагается применение имитационно-оптимизационного метода планирования горных работ. Имитация позволит учесть сложно-реализуемые технологические схемы и связи в модели, увеличить количество исследуемых параметров, а также сложно-учитываемые связи в модели. Исходя из важности решения задач месячного планирования, в иерархии планирования горных работ данный этап рассматривается как наиболее важный и ответственный этап планирования горных работ[4].

В производственных системах с изменяющимися технологическими схемами работ, текущие планы предлагается обосновывать в два этапа:

- методом имитационного моделирования сформировать плано-варианты;
- выбрать рациональный план-вариант по схемам динамического программирования для отдельных управляемых параметров.

Как известно в динамических системах процесс управления проходит в несколько этапов. В основу динамического программирования положена оценка значений управляемого параметра на каждом шаге. Для управляемого параметра устанавливается диапазон возможного его изменения в рассчитанных интервалах. Полученные решения группируются по значениям управляемых функций. Составленные варианты объединяются в группы, соответствующие интервалу изменения управляемого параметра.

В связи с этим, планирование работы экскаватора на уступах целесообразно провести следующим образом:

- определение подготовленных участков и объемов работ на уступе для работы экскаватора без перегонов;
- подбор и подсчет вариантов работ при различных схемах обработки;
- учитывая взаимную зависимость работы экскаватора в смежных уступах определить зоны работ экскаваторов, где возможен максимум производительности горных оборудований.

Технологические задачи горных работ по существу многокритериальные. Режим оптимального функционирования технологии на каждом этапе предлагается устанавливать методом динамического планирования.

Как известно, в динамических системах процесс управления проходит поэтапно. Шаг за шагом определяется наилучший вариант развития оптимизации. Определяя параметры и показатели управления и оптимизации в динамике составим следующую таблицу целевых функций и управляемых параметров (таблица 1).

Таблица 1

Управляемый параметр	Целевая функция	Название целевой функции и управляемого параметра
$R_{\text{ср}}$	$Q_{\text{г}} \rightarrow \max$	$R_{\text{ср}}$ – среднее содержание металла в руде. $Q_{\text{г}}$ – объем руды (м^3)
$L_{\text{ср.тр.}}$	$Q_{\text{г}} \rightarrow \max$	$L_{\text{ср.тр.}}$ – Средневзвешенное расстояние транспортирования

$Q_{\text{г}}$	$V_{\text{тр.ч.}} \rightarrow \min$	$V_{\text{тр.ч.}}$ – объем транспортных работ (т.км)
$Q_{\text{г}}$	$V_{\text{пуч.ч.}} \rightarrow \min$	$V_{\text{пуч.ч.}}$ – объем путепередвижных работ для г-го ЭКГ
$Q_{\text{г}}$	$T_{\text{пер.ч.}} \rightarrow \min$	$T_{\text{пер.ч.}}$ – время перегона г-го ЭКГ

Таким образом критериями оптимального месячного планирования могут быть:

- максимум производительности экскаваторов;
- минимум колебания среднего расстояния транспортирования;
- минимум суммарных потерь времени экскаваторов на перегоны из-за путепередвижных работ;
- минимум затрат на выемочно-погрузочные работы и транспортные работы;
- максимум длины подготовленного фронта работ на конец планируемого месяца.

В процессе имитационного моделирования горных работ на карьере выявляются оптимальные варианты планов по заданным целевым функциям и управляющим параметрам.

Технология автоматизированного планирования предусматривает следующий регламент подготовки, передачи и обработки информации. К середине месяца, по завершению маркшейдерских замеров за предыдущий месяц и первую половину текущего месяца определяются ожидаемые местоположения экскаваторов, железнодорожных путей к концу месяца, в базе данных корректируется текущая информация. На рисунке 1 - приведена укрупненная блок-схема планирования горных работ экскаваторно-железнодорожного комплекса.

Ниже приводится формирование вариантов работы с обозначением конкретных видов работ:

Технологические варианты цепи блоков г-го экскаватора $iw(j,r,t,l,k)$ определяется по следующим образом:

- при $w = 1$ -определяется блок с необходимым составом металла в руде, где $J_{kr} = k^*$, для $M_{k^*} = \alpha_{ik}$, α_{ik} – содержание i – го металла в руде на k -м блоке;

- при $w = 2$ начальный блок принимает значение местоположение экскаваторов на начало месяца, то есть $J_{rn} = J_{rm}$, где $J_{rn} \leq J \leq J_{rk}$

J_{rm} , – номер блока, местонахождения r -го экскаватора на начало планирования;
 J_{rn} - номер блока принимаемого в качестве начального r -им экскаватором;
 J_{rk} - то же, в качестве конечной работы r -го экскаватора.
 в) при $w = 3$ – определяется блок на уступе с максимальной рабочей площадкой, где
 $J_{rn} = i^*$, для $j_m = i^*$ для $D_i = \max \sum (j + 1)^{kS_{ij}}$, где $k = k_{max} + j^*$,
 $j^* = 0, k_{rb} - k_{imax}$,
 где: k_{rb} – количество блоков, где технологически возможна работа r -го экскаватора;
 k_{imax} – максимально возможное количество блоков, включенных i -ю цепь для отработки за месяц;
 kS_{ij} - площадь j -го блока, m^2 .
 г) при $w = 4$ - определяется блок с минимальной шириной рабочей площадки на нижележащем горизонте. $J_m = i^*$ для $D_i = \min \sum (j + 1)^{kS_{ij}}$,
 где: $k = k_{max} + j^*$,
 $j^* = 0, k_{rb} - k_{imax}$ и $k_{max} + j^* \leq k_{rb}$
 д) при $w = 5$ – начальное значение отработки задается технологом, где:
 $J_{rn} = J_{rm}$,
 $J_{rn} \leq J_{rtex} \leq J_{rk}$, J_{rtex} - номер блока, характеризующий начало работы r -го экскаватора, по варианту, заданному технологом.

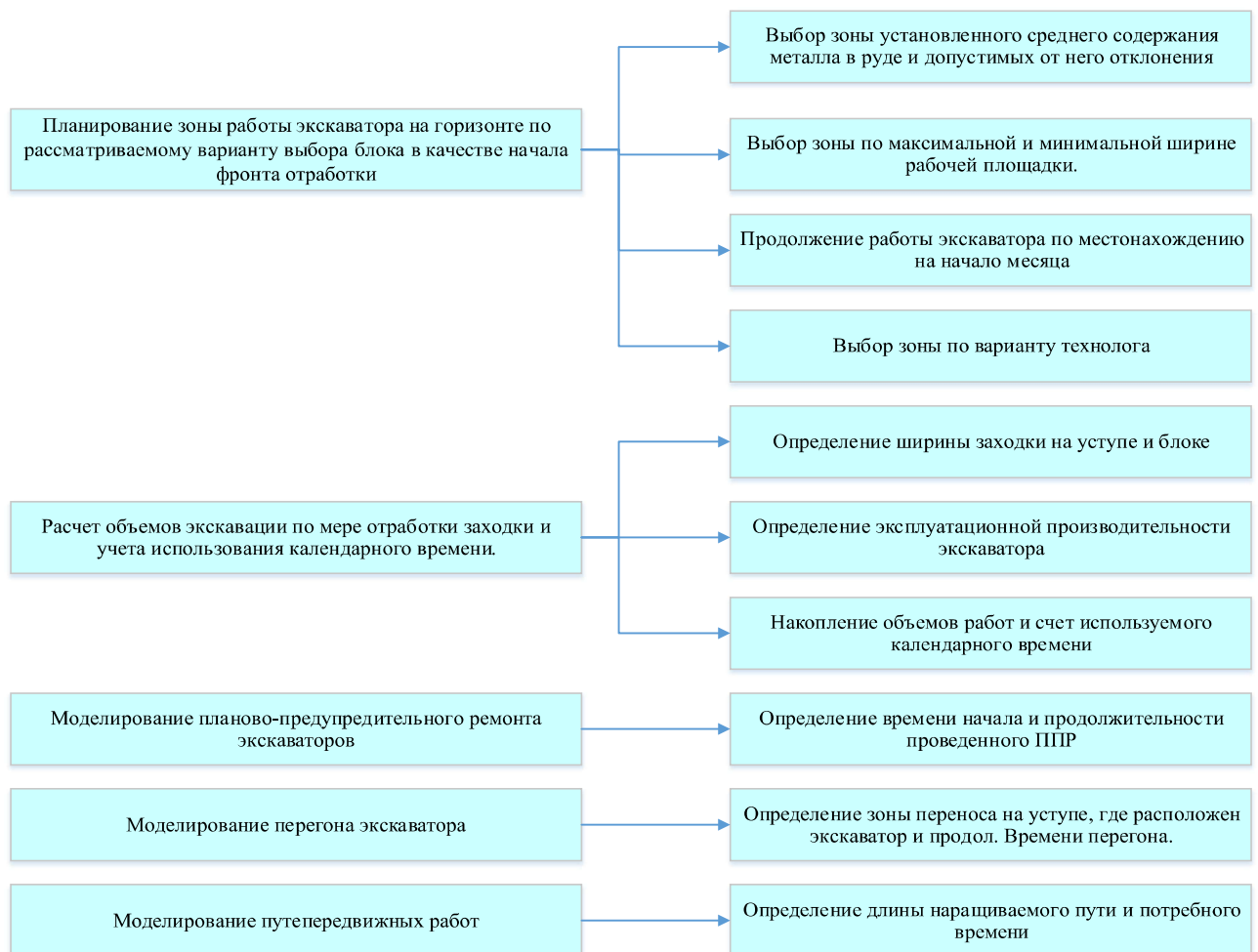


Рисунок 1. Укрупненная блок-схема планирования горных работ экскаваторно-железнодорожного комплекса

Рассмотрим алгоритм последовательного анализа вариантов, решений по нескольким критериям управления.

Сформируем варианты работ для двух экскаваторов по выбранному значению управляемого параметра. Составленные варианты объединяются в группу. Выбираем из каждой группы один по максимальному объему производительности экскаватора по добыче горной массы. В дальнейшем развиваются только выбранные варианты.

При динамической схеме определяем новые группы, исключив по критерию оценки худшие варианты.

Для наглядности рассмотрим графическую форму выбора и формирования вариантов. (Рисунок -2).

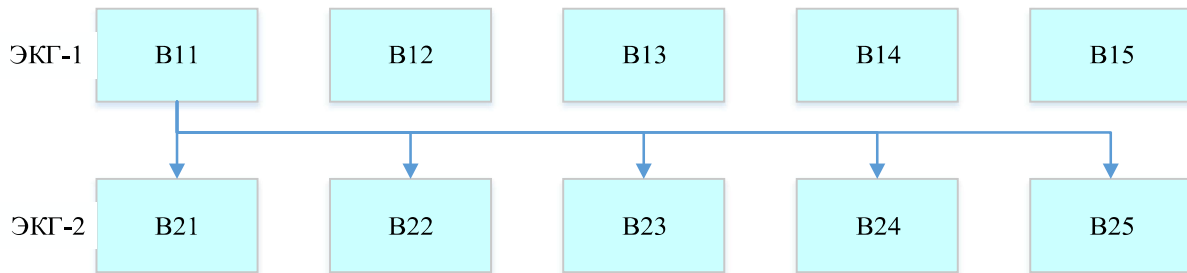


Рисунок 2. Блок-схема формирования вариантов для двух экскаваторов.

По первому варианту ЭКГ-1 формируются варианты работы с 2-м экскаватором. B11, B12, B13, B14, B15.

Для второго варианта ЭКГ-1 вновь формируем варианты: B21, B22, B23, B24, B25.

Таким образом для 5-ти вариантов 1-го и 2-го ЭКГ формируется 25 вариантов:

B11, B12, B13, ..., B24, B25

Из сформированных вариантов первого экскаватора со вторым экскаватором, по некоторому оценочному критерию, например, по максимуму объема транспортных работ создадим группу вариантов, выбирая наилучшую комбинацию их работ. Этот, же процесс продолжим для всех экскаваторов. Таким же образом начинаем моделирование и процесс оптимального выбора по второму критерию управления и т.д.

Разработанная математическая модель динамического планирования показала высокую степень сходимости с фактическими данными.

Разработанный алгоритм при решении задачи месячного планирования показал эффективность имитационной модели при решении задач горного производства (рисунок 3).

Как видно из блок-схемы для каждого управляемого параметра определяется диапазон его изменения. Получаемые значения группируются в интервалах, созданных исходя из значений вариантов работ экскаваторов. В дальнейшем из каждого интервала выбирается один, из которых создается группа. В дальнейшем развивается только выбранные планы работ.

Формула выбора наилучшего варианта.

$$Q_{Nm}^j = \max\{\sum_{r=1}^{N-1} Q_{ri}^j + Q_{Ni}^j(Q_{N-i,i}^j)\}$$

где Q_{Nm}^j - максимальная суммарная производительность;

Q_{ri}^j - производительность i -го экскаватора для i -го варианта по j -тому критерию управления;

$\sum_{r=1}^{N-1} Q_{ri}^j$ - максимальная производительность $N-1$ экскаваторов, по j -тому критерию;



Рисунок 3. Блок-схема динамического планирования горных работ

Разработанная математическая модель динамического программирования показала высокую степень сходимости планов с фактическими показателями горного производства;

Выводы. В результате решения данной задачи получены результаты которые показывают достоверность разработанных оптимизационных методов, полученных методом имитационного моделирования при проведении экспериментальных исследований и показала высокую степень сходимости планов с фактическими показателями горного производства.

- применен метод динамического программирования, использующий алгоритм деления на шаги и пошаговой оптимизации.
- разработан алгоритм выбора вариантов решения по динамической схеме.
- введены управляемые параметры, наиболее существенно влияющие на функционирование карьера: коэффициент вскрыши, расстояние транспортирования горной