

УДК 004.942; 622

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО АЛГОРИТМА И
 АНАЛИТИКО-ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ
 ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАТОРНО-
 АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА С УЧЕТОМ ВНЕПЛАНОВЫХ
 ПРОСТОЕВ**

Кузнецов И.С.,^{1,2} к.т.н., научный сотрудник,
 ст. преподаватель кафедры ИиАПС

Кузнецова А.В.,² к.т.н., доцент кафедры Математики

Николаев П.И.,² к.т.н., ст. преподаватель кафедры ИиАПС

¹ ФИЦ УУХ СО РАН

² КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

Открытый способ добычи угля, занимает лидирующее положение по объемам добычи в России. Объемы составляют примерно 74% от общей добычи [1]. Для проведения погрузки и транспортирования подготовленной горной массы (вскрыша или уголь) на разрезах от забоя до пункта разгрузки, используют экскаваторы и автосамосвалы различных типоразмеров. Работая совместно они образуют сложную систему - экскаваторно-автомобильный комплекс (ЭАК).

Эффективность работы ЭАК зависит от множества параметров оборудования (рабочих технологических и конструкторско-технологических), а также их взаимодействия, при эксплуатации в конкретных горнотехнических условиях и разработке подготовленной горной массы, обладающей конкретными физико-механическими свойствами. Часть параметров представлена в таблице 1 [2-7].

Таблица 1. Параметры ЭАК

Параметр	Обозначение	Единица измерения
Параметры оборудования		
Вместимость ковша экскаватора	$E_{экс}$	$м^3$
Грузоподъемность автосамосвала	q_{max}	$т$
Минимальный радиус поворота	r_{min}	$м$
Вместимость кузова автосамосвала с «шапкой»	$E_{ас}$	$м^3$
...		
Параметры взаимодействия оборудования		
Продолжительность погрузки автосамосвала	$t_{погр}$	$с$
Коэффициент использования экскаватора	$k_э$	-
Коэффициент использования автосамосвалов	k_a	-
...		

Продолжение таблицы 1

<i>Параметры физико-механических свойств горной массы</i>		
Средний коэффициент разрыхления горной массы	k_p	-
Плотность горной массы	ρ	$т/м^3$
Коэффициент уплотнения горной массы	k_y	-
...		
<i>Параметры горнотехнических условий эксплуатации</i>		
Дальность транспортирования горной массы	S	$м$
Ширина рабочей площадки	$Ш_{pn}$	$м$
Средний диаметр куска взорванной горной массы	d_{cp}	$м$
...		

Поскольку оборудование ЭАК с одним и тем же набором параметров могут применяться для одних и тех же условий разработки. Современный рынок насчитывает множество моделей автосамосвалов (более 131) и экскаваторов (более 85). Это приводит к решению задачи с множеством вариантов сочетаний параметров ЭАК [11].

Для расчета параметров и планирования работы ЭАК используют аналитические формулы, учитывающие цикл экскаваторов, скорость движения автосамосвалов, коэффициент использования автосамосвалов, коэффициент технической готовности оборудования, средний диаметр куска взорванной горной массы, угол поворота экскаватора и т.д.. При этом формулы не учитывают динамику взаимодействия элементов между собой и вероятностную продолжительность процессов [6,8-12]. Кроме того, на эффективность ЭАК особенно влияют вероятностные внеплановые простои, возникающие по аварийным (техническим) и организационным причинам. И могут занимать от 3,39 до 57%, рабочего времени. Поэтому их учет необходим при исследовании и выборе параметров ЭАК [13,14].

Поскольку, перебор всех возможных значений параметров горных машин затрудняет использование традиционных аналитических методов для выбора их оптимальных значений. Более того, оптимизация осложняется наличием вероятностных внеплановых простоев и динамикой взаимодействия горных машин в составе ЭАК [6,12].

В результате, при выборе оптимальных параметров оборудования ЭАК с учетом ранее упомянутого, предлагается использовать методику основанную на совместном использовании аналитико-имитационного моделирования и эволюционного алгоритма для определения оптимальных параметров ЭАК обеспечивающий максимальную эксплуатационную производительность при минимальных удельных затрат на погрузку и транспортирование горной массы [15].

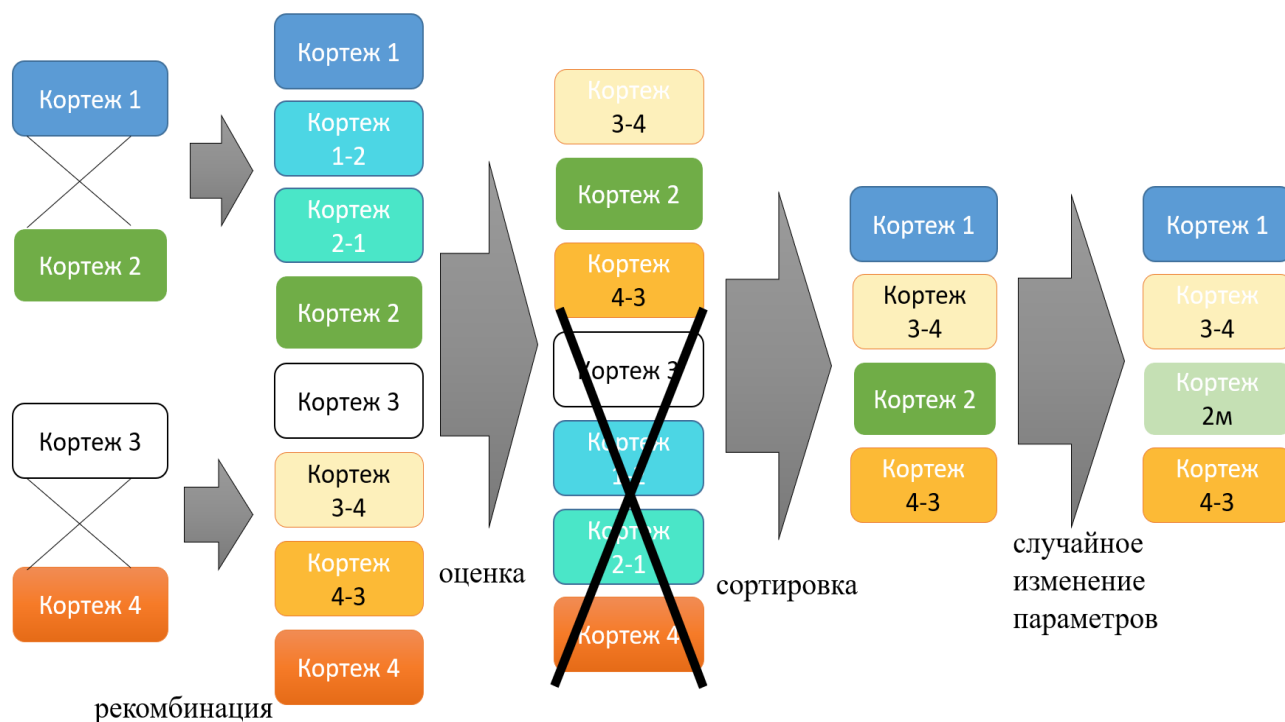


Рисунок 1 – Принцип определения оптимальных параметров ЭАК с помощью эволюционного алгоритма и аналитико-имитационного моделирования

На первом шаге, создаётся крупное число так называемых кортежей, т.е. сочетаний параметров ЭАК. Затем, происходит рекомбинация параметров. Число кортежей увеличивается в 2 раза, при этом новые кортежи генерируются как сочетание параметров уже существующих.

На третьем шаге для каждого сочетания параметров происходит оценка производительности с использованием аналитико-имитационной модели и удельных затрат.

На четвёртом шаге все кортежи сортируются по значению комплексного мультипликативного критерия оптимизации в агрегированном виде. Половина из них, обладающих наименьшими значениями критерия, удаляется.

На пятом шаге в некоторых кортежах происходит рекомбинация параметров: некоторым параметрам случайным образом присваиваются новые значения. Затем шаги 2-5 повторяются до тех пор, пока среднее значение критерия оптимизации всех сочетаний параметров не перестанет расти.

В результате на выходе выдаются оптимальные параметров ЭАК, а также значения показателей эффективности полученные при использовании выбранных параметров.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет определять оптимальные параметры ЭАК с учетом вышеуказанных особенностей.

Список литературы:

- 1) Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации: [сайт]. – Режим доступа. URL: <https://minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 09.03.2022).
- 2) Колесников, В.Ф. Выбор оптимальной структуры экскаваторно-автомобильного комплекса / В.Ф. Колесников, А.И. Корякин, А.В. Стрельников // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – №1. – С. 59 – 61.
- 3) Хмызников, К.П. Горные машины для открытых горных работ. Карьерные экскаваторы: учеб. пособие / К.П. Хмызников, Ю.И. Лыков. – Санкт-Петербург, СПГГИ им. Г.В. Плеханова, 1999. – 40 с.
- 4) Томаков, П.И. Технология, механизация и организация открытых горных работ: учебник для вузов / П.И. Томаков, И.К. Наумов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 312 с.
- 5) Астафьев, С.А. Оценка и обоснование рациональных дорожных условий эксплуатации карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности: дис. 152 ... канд. тех. наук: 25.00.22 / Астафьев Степан Александрович. УГГУ. – Екатеринбург, 2015. – 179 с.
- 6) Стенин, Д.В. Обоснование влияния ресурса несущих систем и степени загрузки на производительность карьерных автосамосвалов: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06 / Стенин Дмитрий Владимирович. – КузГТУ. – 125 с.
- 7) Курехин, Е.В. Процессы открытых горных работ: практикум, методические указания по выполнению курсового проекта, методические указания к самостоятельной работе [Электронный ресурс] для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», образовательная программа «Открытые горные работы», очная, заочной формы обучения / сост.: Е. В. Курехин, С. И. Протасов. – Кемерово: КузГТУ, 2021. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows XP; мышь. - Загл. с экрана.
- 8) Хорешок, А.А. Оценка степени взаимовлияния вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала / А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин, С.О. Марков, М.А. Тюленев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – №3. – С. 104-112
- 9) Дубинкин, Д.М. Исследование процесса транспортирования вскрышных пород и угля на разрезах / Д.М. Дубинкин, В.Ю. Садовец, Г.О. Котиев, А.В. Карташов // Техника и технология горного дела. – 2019. – №3. – С. 50-66.
- 10) Анистратов, К.Ю. Разработка метода формирования структуры комплексной механизации горных работ на карьерах: автореф. дис. ... доктора. тех. наук: 25.00.22 / Анистратов Константин Юрьевич. – ООО «Научно-производственная компания ГОРНОЕ ДЕЛО». – Апатиты, 2013. – 42 с.

- 11) Кузнецов И.С. О многовариантности выбора комплекта горных машин и организации работ в забое при открытой добыче угля / И.С. Кузнецов, В.В. Зиновьев, А.В. Кузнецова // Сборник ежегодной международной научно-практической конференция ИИТМА КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте - 2020». - С. 207 – 211
- 12) Фурман А.С. Оценка эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на технологических трассах разрезов Кузбасса: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06. / Фурман Андрей Сергеевич; КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева; науч. рук. Г.Д. Буялич. - Кемерово, 2018. - С. 137
- 13) Курганов, В.М. Оценка надёжности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов на карьере / В.М. Курганов, М.В. Грязнов, С.В. Колобанов // Записки горного института. – 2020. – Т.241. – С. 10 – 21.
- 14) Воронов, А.Ю. Оптимизация эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06, 05.13.18 / Воронов Артем Юрьевич. КузГТУ. Кемерово, 2015. –195 с.
- 15) Кузнецов И.С. Оптимизация параметров карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов с учетом внеплановых простоев: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06. / Кузнецов Игорь Сергеевич; ФИЦ УУХ СО РАН, КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева; науч. рук. В.В. Зиновьев - Кемерово, 2022. - С. 169