

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.2, 004.94

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-117-124

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ВНЕПЛАНОВЫХ ПРОСТОЕВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСКАВАТОРНО - АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Зиновьев Василий Валентинович^{1,2}, Кузнецов Игорь Сергеевич^{1,2},
Николаев Петр Игоревич^{1,2}, Кузнецова Алла Валериевна²

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: is150794@mail.ru

Аннотация.

В статье обозначена необходимость выявления наиболее значимых внеплановых простоев экскаваторов и автосамосвалов при ведении открытых горных работ с целью упрощения процесса оптимизации параметров горных машин и планирования мероприятий по минимизации простоев за счет исключения множества простоев, оказывающих незначительное влияние на эксплуатационную производительность экскаваторно-автомобильного комплекса.

Для решения поставленной задачи предложен подход, заключающийся в ранжировании внеплановых простоев на основании разработанного критерия, учитывающего влияние периодичности и продолжительности простоев на эксплуатационную производительность экскаваторно-автомобильного комплекса.

Для оценки эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильного комплекса с учетом внеплановых простоев и взаимодействия экскаваторов и автосамосвалов во времени и пространстве разработана имитационная модель. Она создана на основе теории массового обслуживания с программной реализацией на языке имитационного моделирования GPSS World-Core в специализированной среде имитационного моделирования GPSS Studio. Модель состоит из сегментов, отображающих работу автосамосвалов и экскаватора в забое, функционирование автосамосвалов при транспортировании горной массы в пункт разгрузки и их возвращение к закрепленному экскаватору, работу автосамосвалов в пункте разгрузки, возникновение плановых и внеплановых простоев экскаватора и автосамосвалов по организационным и техническим причинам.

В качестве примера использования предложенного подхода приведена оценка степени влияния внеплановых простоев при функционировании экскаваторно-автомобильного комплекса, действующего в условиях Кедровско-Крохалева месторождения и включающего в себя экскаватор типа обратная гидравлическая лопата Hitachi EX-1900 с вместимостью ковша 11 м³ и четыре автосамосвала марки БелАЗ-75131 грузоподъемностью 130 тонн.



Информация о статье

Поступила:

18 мая 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

25 июля 2024 г.

Принята к публикации:

29 августа 2024 г.

Опубликована:

26 сентября 2024 г.

Ключевые слова:

экскаваторно-автомобильный комплекс, эксплуатационная производительность, внеплановые простои, имитационное моделирование, дисперсионный анализ

Для цитирования: Зиновьев В.В., Кузнецов И.С., Николаев П.И., Кузнецова А.В. Определение степени влияния внеплановых простоев на эксплуатационную производительность экскаваторно - автомобильного комплекса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4 (164). С. 117-124. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-117-124, EDN: NVPYOD

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», проект FWEZ-2021-0002 «Разработка эффективных технологий добычи угля роботизированными горнодобывающими комплексами без постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ, систем управления и методов оценки технического состояния и диагностики их ресурса и обоснование обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы» (рег. № АААА-А21-121012290021-1).

Введение. Вскрышные и добычные работы на разрезах выполняются преимущественно с использованием экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК). Важной проблемой остается повышение эксплуатационной производительности ЭАК, которая зависит от множества рабочих технологических и конструктивно-технологических параметров горных машин, а также параметров их взаимодействия в конкретных горнотехнических условиях при разработке подготовленной горной массы, обладающей определенными физико-механическими свойствами. Также на эффективность ЭАК в значительной мере влияют внеплановые простои (ВП), которые могут возникать по организационным и аварийным причинам. К организационным простоям относятся ожидание погрузки горной массы экскаватором в автосамосвалы, простои в результате удаления негабарита и т.д. К аварийным – поломка, ремонт или замена оборудования горных машин. В совокупности доля таких простоев может составлять более 50% времени работы ЭАК, что негативно влияет на его эксплуатационную производительность [1-4]. Путем анализа хронометражных данных с шести разрезов Кузбасса выявлен 151 вид простоев горных машин, которые классифицированы на плановые, аварийные и организационные [5-7].

Известные методики и подходы не позволяют учесть совместное влияние полного множества ВП на эксплуатационную производительность ЭАК при оптимизации его параметров, что приводит к несоответствию расчетной (плановой) и фактической величин производительности.

Для минимизации простоев на разрезах вводят специальные мероприятия, направленные на сокращение внутрисменных перегонов автосамосвалов, контроль соблюдения скоростного режима, организацию работы экскаваторов на два подъезда и др. Применение мероприятий по минимизации всех ВП, которые могут возникнуть при функционировании ЭАК с целью увеличения его эксплуатационной производительности, потребует огромных затрат. В связи с этим актуальной является задача определения в полном множестве ВП наиболее влияющих на эксплуатационную производительность ЭАК с целью первоочередной разработки для них мероприятий по предупреждению и минимизации.

Основная часть. Для решения обозначенной задачи использован двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями, который является формальным методом определения степени влияния группы факторов на отклик [8,9]. При функционировании ЭАК факторами являются продолжительность простоя (фактор А) и периодичность его появления (фактор Б) (Рис. 1).

Степень влияния k -го фактора определяется по значению выборочного коэффициента детерминации [8,9]:

$$R_k^2 = \frac{\sigma_k^2}{\sigma_Y^2}, \quad (1)$$

где σ_k^2 – дисперсия групповых средних по k -ому фактору; σ_Y^2 – общая выборочная дисперсия.

Периодичность возникновения каждого ВП и его продолжительность оказывают разное влияние на эксплуатационную

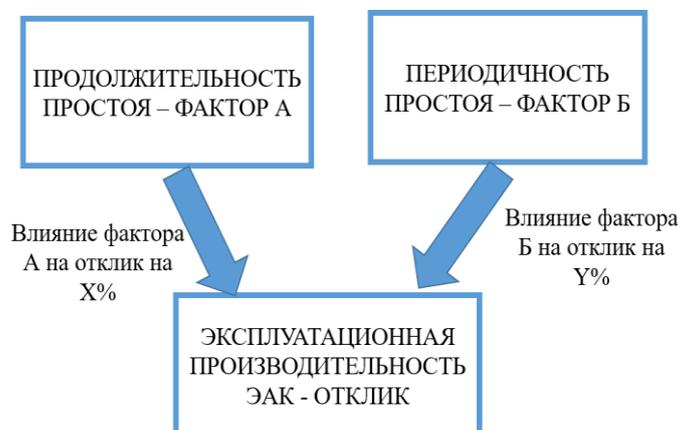


Рис. 1. Принцип двухфакторного дисперсионного анализа ВП
Fig. 1. The principle of two-factor variance analysis of unscheduled downtime

производительность ЭАК. Например, исходя из хронометражных данных диспетчерских отчетов автоколонн, продолжительность ремонта двигателя внутреннего сгорания (ДВС) автосамосвала может в среднем занимать от 3 до 392 часов, но необходимость такого ремонта возникает достаточно редко – от 1632 до 19295 часов, что нивелирует значимость влияния продолжительности ремонта на производительность ЭАК. С целью учета обоих факторов при определении значимости влияния ВП на эксплуатационную производительность ЭАК предложен критерий:

$$K_i = \frac{\sum_{k=1}^N R_k^2}{N} = \frac{R_A^2 + R_B^2}{2}, \quad (2)$$

с ограничениями:

$$R_A^2 \neq 0; R_B^2 \neq 0, \quad (3)$$

где N – общее количество факторов; R_A^2 – выборочный коэффициент детерминации фактора – продолжительность простоя; R_B^2 – выборочный коэффициент детерминации фактора – периодичность простоя.

Для оценки суточной эксплуатационной производительности ЭАК с учетом ВП и взаимодействия экскаваторов и автосамосвалов во времени и пространстве разработана имитационная модель функционирования горных машин в составе ЭАК. Модель создана в имитационной среде GPSS Studio и состоит из 7 сегментов, наименование и назначение которых представлены в Таблице 1 [10-13].

На Рис. 2 для примера показан сегмент модели в GPSS Studio, имитирующей работу автосамосвалов в пунктах разгрузки, на примере «Внешнего отвала 1».

Работа сегмента начинается с момента поступления динамических элементов модели транзактов, которые отображают автосамосвалы в блок QUEUE. Этот блок начинает сбор статистики об очереди в пунктах разгрузки. Математическое ожидание интервалов поступления автосамосвалов в пункт разгрузки ($\mu_{транс}$) определяется как среднее время движения в груженом направлении от забоя в пункт

Таблица 1. Сегменты разработанной модели взаимодействия экскаваторов и автосамосвалов в составе ЭАК с учетом ВП

Table 1. Segments of developed model interaction excavators and dump trucks as part of the EAC, taking into account unscheduled downtime

№ сегмента	Наименование	Назначение
1	Прибытие автосамосвалов	Ввод автосамосвалов в модель. Присвоение значений характеристик автосамосвалов (емкость кузова «с шапкой», грузоподъемность, минимальный радиус поворота, габариты, номер шасси, номер закрепляемого экскаватора, пункт разгрузки и т.д.).
2	Работа экскаватора и автосамосвалов в забое	Моделирование процессов ожидания на погрузке, выполнения автосамосвалами маневровых работ перед погрузкой в зависимости от принятой схемы (тупиковая, сквозная, петлевая), погрузка. Фиксация остатка горной массы в развале после каждого цикла погрузки экскаватором.
3	Груженный и порожний ход	Отображение транспортирования горной массы автосамосвалами в закрепленный пункт разгрузки и возвращение порожних автосамосвалов к закрепленному экскаватору.
4	Работа автосамосвалов в пунктах разгрузки	Моделирование процессов ожидания автосамосвалами разгрузки, выполнение маневровых работ перед разгрузкой, разгрузка. Фиксация числа совершенных рейсов автосамосвалов и объема доставленной горной массы в закрепленный пункт разгрузки.
5	Простои экскаваторов	Моделирование возникновения и продолжительности плановых и внеплановых простоев экскаватора по организационным и аварийным причинам (с прерыванием или без прерывания работы экскаватора).
6	Простои автосамосвалов	Моделирование возникновения и продолжительности плановых и внеплановых простоев автосамосвалов по организационным и аварийным причинам (с прерыванием или без прерывания работы автосамосвалов).
7	Расчет объема подготовленной вскрышной породы в развале	Расчет объема подготовленной вскрышной породы в развале, подлежащий разработке в зависимости от длины, ширины блока, высоты уступа, коэффициента разрыхления и плотности вскрышной породы. Определяется число заходов экскаватора в зависимости от ширины его заходки.

Таблица 2. Результаты модельных экспериментов и дисперсионного анализа

Table 2. Results of model experiments and ANOVA

Вид внепланового простоя	Фактор	Влияния на эксплуатационную производительность, %
Ожидание автосамосвалами погрузки	А	21,9
	Б	34,5
Отказ и восстановление двигателя внутреннего сгорания автосамосвалов	А	26,5
	Б	34,6
Отказ и восстановление системы управления автосамосвалов	А	36,7
	Б	40,6
Ремонт / замена автошин	А	26,2
	Б	52,3
Отказ и восстановление электрооборудования автосамосвалов	А	27,6
	Б	41,4
Отказ и восстановление гидросистемы автосамосвалов	А	24,5
	Б	35,3
Отсутствие автосамосвалов для погрузки	А	69,2
	Б	25,2
Отказ и восстановление рабочего оборудования экскаватора	А	80,1
	Б	12,4
Отказ и восстановление гидравлического оборудования экскаватора	А	46,2
	Б	45,3
Отказ и восстановление ходового и механического оборудования экскаватора	А	72,9
	Б	15,1
Отказ и восстановление электрооборудования экскаватора	А	70,9
	Б	12,9

разгрузки ($t_{транс}$):

$$t_{транс} = \frac{S}{\tilde{V}_{ср}}, \quad (4)$$

где S – расстояние транспортирования, м; $\tilde{V}_{ср}$ – средняя техническая скорость движения автосамосвалов, м/с.

В блоках ADVANCE осуществляется задержка транзактов на время, равное времени выполнения автосамосвалами маневровых работ перед разгрузкой, и разгрузка. Математическое ожидание продолжительности выполнения маневровых операций автосамосвалами перед разгрузкой ($\mu_{ман.разг}$) определяется как среднее время выполнения маневровых работ перед разгрузкой ($t_{ман.разг}$) по формуле [14,15]:

$$t_{ман.разг} = \frac{4 \cdot l_{ac} + \pi \cdot (1,45 \cdot r_{AC}) + L_{ос.дор}}{\tilde{V}_{ср.разг}}, \quad (5)$$

а математическое ожидание продолжительности выполнения разгрузки ($\mu_{разг}$) определяется как среднее время выполнения разгрузки по формуле ($t_{разг}$) [14]:

$$t_{разг} = 1,5 \cdot (t_{под.куз} + t_{опуск.куз}), \quad (6)$$

где $t_{под.куз}$ – время подъема кузова автосамосвала, сек; $t_{опуск.куз}$ – время опускания кузова автосамосвала, сек; l_{ac} – длина автосамосвала, м; r_{AC} – минимальный радиус поворота автосамосвала, м; $L_{ос.дор}$ – расстояние между осевыми линиями дорог, м; $\tilde{V}_{ср.разг}$ – средняя скорость маневрирования автосамосвалов при выполнении маневровых операций перед разгрузкой.

Скорость автосамосвалов при выполнении маневровых операций в пунктах разгрузки ($\tilde{V}_{ср.разг}$) принимается 9 км/ч, согласно рекомендациям [14].

Значение среднеквадратического отклонения продолжительности процессов в данном сегменте (σ_i) определяется, согласно правилу 3-х сигм, по формуле:

$$\sigma_i = \frac{t_i}{3}, \quad (7)$$

где i – номер процесса в сегменте работы автосамосвалов в пункте разгрузки (маневрирование, разгрузка).

Таблица 3. Внеплановые простои, ранжирование по степени влияния на суточную эксплуатационную производительность ЭАК
 Table 3. Unscheduled downtime ranking according to the degree of influence on the daily operational performance of the EAC

Вид внепланового простоя	Критерий значимости K_i , %
Отсутствие автосамосвалов для погрузки	47,2
Отказ и восстановление рабочего оборудования экскаватора	46,2
Отказ и восстановление гидравлического оборудования экскаватора	45,8
Отказ и восстановление ходового и механического оборудования экскаватора	44,0
Отказ и восстановление электрооборудования экскаватора	41,9
Отказ и восстановление / замена автошин	39,2
Отказ и восстановление системы управления автосамосвалом	38,7
Отказ и восстановление электрооборудования автосамосвала	34,5
Отказ и восстановление двигателя внутреннего сгорания автосамосвала	30,6
Отказ и восстановление гидросистемы автосамосвала	29,9
Ожидание автосамосвалами погрузки	28,2

Ввод временных характеристик по выполнению каждой операции в блоках ADVANCE осуществляется с помощью настройки соответствующего типового элементарного блока (ТЭБа). Для этого в характеристике настраиваемого блока – «среднее время» – выполняется переход к окну «выбор закона распределения», куда вводятся номер генератора случайных чисел, величина сдвига, величина сжатия (параметр β гамма-распределения) и семейство форм (параметр α гамма-распределения). После ввода всех необходимых параметров формируется результат, который будет использоваться в модели.

Для описания мест одновременной установки автосамосвалов на разгрузку используются блоки ENTER – LEAVE. При входе транзакта-автосамосвала в блок ENTER происходит занятие им одного из m мест. Если свободных мест нет, то поступившие транзакты не могут их занять. Освобождение места происходит при прохождении одним из транзактов блока LEAVE и занятие его следующим транзактом. Те же транзакты, которые не могут попасть в какой-либо блок, встают в очередь перед соответствующим блоком. Обслуживание их происходит по дисциплине FIFO («раньше пришел – раньше обслужился»). Количество мест для одновременной разгрузки автосамосвалов задается оператором STORAGE. Блоки ASSIGN служат для определения месторасположения транзакта-автосамосвала в пункте разгрузки (в очереди, на разгрузке, за пределами пункта разгрузки), это необходимо для имитации внеплановых простоев автосамосвалов. Для фиксации доставленного объема горных пород и совершенного рейса в пункт разгрузки используются блоки SAVEVALUE. Количество блоков соответствует количеству пунктов разгрузки.

С использованием разработанной имитационной модели исследована работа ЭАК, состоящего из одного экскаватора Hitachi EX-1900 вместимостью ковша $E = 11 \text{ м}^3$ и четырех закрепленных за ним автосамосвалов марки БелАЗ-75131 грузоподъемностью $q = 130$ тонн. При выполнении маневровых работ перед погрузкой организована тупиковая схема подъезда к экскаватору. Ширина заходки экскаватора – нормальная. Средний угол поворота экскаватора 90 град. Транспортирование вскрышной породы III категории ($\rho = 2 \text{ т/м}^3$; $k_p = 1,35$; $k_s = 0,70$) автосамосвалами на внешний отвал после их погрузки осуществляется со средней технической скоростью 6,1 м/с. Расстояние транспортировки 2680 м. Схема подъезда автосамосвалов под погрузку к экскаватору одиночная, а под разгрузку на «Внешнем отвале» – спаренная. После разгрузки порожние автосамосвалы возвращались к экскаватору со средней технической скоростью 6,9 м/с.

При проведении модельных экспериментов поочередно изменялись значения математических ожиданий периодичности возникновения и продолжительности ВП. На выходе оценивалась суточная эксплуатационная производительность ЭАК, т/сут. Период моделирования задавался 2,4 года. В качестве средства программной реализации для проведения двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями использован MS Excel. Виды внеплановых простоев, которые учитывались при моделировании, а также результаты модельных экспериментов и дисперсионного анализа представлены в Таблице 2.

На основании критерия значимости (формула 2) проведено ранжирование ВП по убыванию степени их влияния на суточную

эксплуатационную производительность ЭАК (Таблица 3).

В результате установлено, что наиболее влияющими ВП на эксплуатационную производительность ЭАК являются организационный простой, связанный с отсутствием автосамосвалов для погрузки (47,2%), а также аварийные простои вследствие отказа и восстановления рабочего оборудования экскаватора (46,2%), гидравлического оборудования экскаватора (45,8%), ходовой и механической частей экскаватора (44,0%).

Заключение. Таким образом, определение степени влияния ВП на эксплуатационную производительность ЭАК путем имитационного моделирования взаимодействия горных машин и двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями позволяет выделять из всего множества ВП наиболее значимые. Уменьшение количества ВП за счет исключения множества ВП, оказывающих незначительное влияние на эксплуатационную производительность ЭАК, способствует упрощению процессов оптимизации параметров горных машин и разработки мероприятий по минимизации простоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курганов В. М., Грязнов М. В., Колобанов С. В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов на карьере // Записки горного института. 2020. Т. 241. С. 10–21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10.
2. Квагинидзе В. С. Диагностика, техническое обслуживание и ремонт карьерного горнотранспортного оборудования в условиях низких температур: дис. ... доктора тех. наук: 05.05.06. / Квагинидзе Валентин Суликоевич. КузГТУ. Кемерово, 2003. 313 с.
3. Герике П. Б. О едином диагностическом критерии для выявления дефектов электрических машин по параметрам механических колебаний // Известия Уральского государственного горного университета. 2019. № 2(54). С. 100–106. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-100-106.
4. 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.
5. Кузнецов И. С., Зиновьев, В. В. Стародубов А. Н. Исследование влияния внеплановых простоев горных машин на добычу угля открыто-подземным способом методом имитационного моделирования // Уголь. 2020. № 9. С. 10–13. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2020-9-10-13>.
6. Кузнецов И. С., Зиновьев, В. В., Кузнецова А. В. Повышение точности и достоверности идентификации законов распределения хронометражных данных при моделировании экскаваторно-автомобильного комплекса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 3. С. 113–119. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-113-119.
7. Орлов А. И. Теория принятия решений: учебное пособие. М.: Издательство «Экзамен», 2005. 656 с.
8. Тынкевич М. А., Пимонов А. Г., Славолубова Я. В. Введение в статистический анализ данных (Теория и практика): учеб. Пособие. Кемерово: КузГТУ, 2021. 157 с.
9. Осетрова И. С., Осипов Н. А. Microsoft Excel 2010 для аналитиков. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 65 с.
10. Кузнецов И. С., Зиновьев В. В., Николаев П. И., Стародубов А. Н. Компьютерная система имитационного моделирования для оптимизации параметров экскаваторно-автомобильных комплексов // ГИАБ. 2022. № 6-1. С. 304-316. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_304.
11. Официальный сайт программы GPSS Studio: [Электронный ресурс]. –URL:<http://www.elina-computer.ru> (дата обращения: 25.11.2022).
12. Алиев Т. И. Основы моделирования дискретных систем. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.
13. Стародубов А. Н. Разработка комплекса программ имитационного моделирования при проектировании автоматизированных производственных систем: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.18. / Стародубов Алексей Николаевич. Новокузнецк: КузГТУ, 2010. 171 с.
14. Фурман А. С. Оценка эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на технологических трассах разрезов Кузбасса: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06 / Фурман Андрей Сергеевич. Кемерово: КузГТУ, 2018. 137 с.
15. 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. Кемерово: КузГТУ, 2008. 125 с.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Зиновьев Василий Валентинович, канд. тех. наук, доц., старший научный сотрудник, доцент, e-mail: zv150671@gmail.com, Россия, Кемерово, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Кузнецов Игорь Сергеевич, канд. тех. наук, старший научный сотрудник, доцент, e-mail: is150794@mail.ru, Россия, Кемерово, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Николаев Петр Игоревич, канд. тех. наук, старший научный сотрудник, доцент, e-mail:

mnnikolaev@mail.ru, Россия, Кемерово, Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты
Сибирского отделения Российской академии наук, Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева

Кузнецова Алла Валериевна, канд. тех. наук, доцент, e-mail: cherednichenkoav@kuzstu.ru, Россия,
Кемерово, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Заявленный вклад авторов:

Зиновьев Василий Валентинович – постановка задачи исследования, разработка концепции имитационной модели, разработка критерия значимости, формулировка аннотации и выводов.

Кузнецов Игорь Сергеевич – обзор соответствующей литературы, программная реализация имитационной модели, проведение вычислительных экспериментов, анализ полученных результатов.

Николаев Петр Игоревич – обзор соответствующей литературы, анализ данных, корректировка и редактирование материала.

Кузнецова Алла Валериевна – корректировка и редактирование материала.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DEFINING THE DEGREE OF INFLUENCE OF UNPLANNED DOWNTIMES ON EXCAVATOR-DUMP TRUCK COMPLEXES OPERATIONAL PERFORMANCE

Vasily V. Sinoviev^{1,2}, Igor S. Kuznetsov^{1,2},
Petr I. Nikolaev^{1,2}, Alla V. Kuznetsova²

¹Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: is150794@mail.ru



Article info

Received:

18 May 2024

Accepted for publication:

25 July 2024

Accepted:

29 August 2024

Published:

26 September 2024

Keywords: excavator-dump truck complexes, operational performance, unplanned downtime, simulation modelling, analysis of variance

Abstract.

The article outlines the need to identify the most significant unscheduled downtime of excavators and dump trucks during open-pit mining in order to simplify the process of optimizing the parameters of mining machines and planning measures to minimize downtime by eliminating many downtimes that have a minor impact on the operational performance of the excavator-vehicle complex. To solve the problem, an approach has been proposed that consists of ranking unscheduled downtime based on a developed criterion that takes into account the influence of the frequency and duration of downtime on the operational performance of the excavator-vehicle complex. To assess the operational performance of the excavator-vehicle complex, taking into account unscheduled downtime and the interaction of excavators and dump trucks in time and space, a simulation model was developed. It was created on the basis of queuing theory with software implementation in the GPSS World-Core simulation language in the specialized GPSS Studio simulation environment. The model consists of segments depicting the operation of dump trucks and an excavator in the face, the functioning of dump trucks when transporting rock mass to the unloading point and their return to the attached excavator, the operation of dump trucks at the unloading point, the occurrence of planned and unscheduled downtime of the excavator and dump trucks according to organizational and technical reasons. As an example of using the proposed approach, an assessment is given of the degree of influence of unscheduled downtime during the operation of an excavator-vehicle complex operating in the conditions of the Kedrovsko-Krokhalevsky field, and including a Hitachi EX-1900 hydraulic backhoe excavator with a bucket capacity of 11 m³ and four BelAZ-75131 dump trucks with a lifting capacity of 130 tons.

For citation: Sinoviev V.V., Kuznetsov I.S., Nikolaev P.I., Kuznetsova A.V. Defining the degree of influence of unplanned downtimes on excavator-dump truck complexes operational performance. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 4(164):117-124. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-117-124, EDN: NVPYOD

REFERENCES

1. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*. 2020; 241:10–21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10.
2. Kvaginizhe V.S. Diagnostics, maintenance and repair of open-pit mining and conveyor equipment under the low temperatures: diss.... Doctor of Engineering Sciences: 05.05.06. / Kvaginizhe Valentin Sulikoyevich. Kemerovo: Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2003. 313 p. (in Russ.)
3. Gerike P.B. About a single diagnostic criterion for detecting defects of electric machines by the parameters of vibrations. *News of the Ural State Mining University*. 2019; 2(54):100–106. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-100-106.
4. Voronov A.Yu. Optimization of operational performance of excavator-automobile complexes of sections: diss. ... PhD (Engineering), 05.05.06., 05.13.18 / Voronov Artem Yurievich. Kemerovo: Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2015. 195 p. (in Russ.)
5. Kuznetsov I.S., Sinoviev V.V. & Starodubov A.N. Investigation of the impact of unplanned downtime of mining machines on coal mining by surface and underground method using simulation modeling. *Ugol' – Russian Coal Journal*. 2020; 9:10–13. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-10-13.
6. Kuznetsov I.S., Sinoviev V.V., Kuznetsova A.V. Increase of accuracy and reliability of cumulative distribution functions identification of timing data for cave-auto complex simulation. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2021; 3(145):113–119.
7. Orlov A.I. The Theory of Taking Solutions: study guide. Moscow: Izdatel'stvo "Examen"; 2005. - 656 p. (in Russ.)
8. Tynkevich M.A., Pimonov A.G., Slavolyubova Ya.V. Introduction to statistical data analysis (theory and Practice): study guide. Kemerovo: KuzSTU; 2021. 157 p.
9. Ossetrova I.S., Ossipov N.A. Microsoft Excel 2010 for analysts. Saint-Petersburg: NIU ITMO; 2013. 65 p. (in Russ.)
10. Kuznetsov I. S., Sinoviev V. V., Nikolayev P. I., Starodubov A. N. Simulation modeling computer-based system for optimizing the parameters of open-pit excavator-dump truck complexes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6-1):304–316. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_304.
11. Official website of the program GPSS Studio: [Electronic resource]. URL:<http://www.elina-computer.ru> (date of application: 25.11.2022).
12. Aliyev T.I. Sampling simulation basis. Saint-Petersburg: SPBGU ITMO; 2009. 363 p. (in Russ.)
13. Starodubov A.N. Development of a set of simulation modeling programs for the design of automated production systems: dis. ... PhD (Engineering), 05.13.18. / Starodubov Alexey Nikolaevich. Novokuznetsk: Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2010. 171 p. (in Russ.)
14. Furman A.C. Evaluation of the efficiency of operation of excavator-automobile complexes on technological routes of Kuzbass sections: dis. ... PhD (Engineering), 05.05.06 / Furman Andrey Sergeevich. Kemerovo: Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2018. 137 p. (in Russ.)
15. Stenin D.V. Justification of the influence of the service life of load-bearing systems and the degree of loading on the performance of mining dump trucks: dis. ... PhD (Engineering), 05.05.06. Stenin Dmitry Vladimirovich. Kemerovo: Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2008. 125 p. (in Russ.)

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Vasily V. Sinoviev, Candidate of Engineering Sciences, docent, senior researcher, docent, zv150671@gmail.com, Russia, Kemerovo, Federal State Budget Scientific Centre «The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

Igor S. Kuznetsov, Candidate of Engineering Sciences, research associate, senior lecturer, is150794@mail.ru, Russia, Kemerovo, Federal State Budget Scientific Centre «The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

Petr I. Nikolaev, Candidate of Engineering Sciences, research associate, senior lecturer, mnikolaev@mail.ru, Russia, Kemerovo, Federal State Budget Scientific Centre «The Federal Research Center of Coal and Coal-Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

Alla V. Kuznetsova, Candidate of Engineering Sciences, docent, cherednichenkoav@kuzstu.ru, Russia, Kemerovo, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

Contribution of the authors:

Vasily V. Sinoviev – formulation of the research problem, development of the concept of the simulation model, development of a significance criterion, formulation of the abstract and conclusions.

Igor S. Kuznetsov – review of relevant literature, software implementation of the simulation model, conducting computational experiments, analyzing the results obtained.

Petr I. Nikolaev – review of relevant literature, data analysis, correction and editing of material.

Alla V. Kuznetsova – correction and editing of material.

All authors have read and approved the final manuscript.

