

Бутстрэп-метод мониторинга безопасности систем управления движением высокоавтоматизированных горных машин

Р.Н. Сафиуллин¹, Ю.Н. Кацуба¹, А.А. Унгефук¹, Э.Л. Хисамутдинова², А.В. Хохлов¹✉

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ lehasport98@mail.ru

Резюме: В статье предложен комплексный подход мониторинга безопасности систем управления высокоавтоматизированных горных машин, включающий в себя структурную модель формирования этого подхода, на основе которой были уточнены критерии безопасности транспортных средств. Для анализа ограниченных и нерепрезентативных выборок данных мониторинга безопасности технических систем управления горных машин был применен современный метод статистического анализа – бутстрэп-метод. Бутстрэп-метод позволяет эффективно работать с ограниченными и нерепрезентативными выборками, что особенно актуально в условиях сложных эксплуатационных сценариев. Интеграция данного подхода в процессы мониторинга и анализа данных может значительно улучшить прогнозирование рисков, своевременное выявление неисправностей и принятие управленческих решений при использовании высокоавтоматизированных горных машин. Предложен алгоритм мониторинга безопасности систем управления движением высокоавтоматизированных горных машин на основе бутстрэп-метода. Этот алгоритм позволяет проводить исследование статистики вероятностных распределений параметров систем управления высокоавтоматизированных горных машин, основанный на многократной генерации выборок.

Ключевые слова: бутстрэп-метод, высокоавтоматизированные горные машины, безопасность движения, мониторинг безопасности, критерий согласия, автоматизированные системы управления

Для цитирования: Сафиуллин Р.Н., Кацуба Ю.Н., Унгефук А.А., Хисамутдинова Э.Л., Хохлов А.В. Бутстрэп-метод мониторинга безопасности систем управления движением высокоавтоматизированных горных машин. *Горная промышленность*. 2025;(1S):73–80. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-73-80>

Bootstrap method for monitoring the safety of traffic control systems of highly automated mining machines

R.N. Safiullin¹, Yu.N. Katsuba¹, A.A. Ungefuk¹, E.L. Khisamutdinova², A.V. Khokhlov¹✉

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,

² Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ lehasport98@mail.ru

Abstract: The paper proposes an integrated approach of monitoring the safety of control systems of highly automated mining machines, including the structural model for the formation of this approach, which was used as a basis for specifying the vehicle safety criteria. A modern method of statistical analysis, i.e. the bootstrap method, was applied to analyze limited and non-representative data samples on monitoring the safety of technical control systems of mining machines. The bootstrap method allows to efficiently work with limited and non-representative samples, which is especially relevant in the conditions of complex operational scenarios. Integration of this approach into monitoring and data analysis processes can significantly improve risk prediction, timely fault detection, and making management decisions when using highly automated mining machines. An algorithm for monitoring the safety of traffic control systems of highly automated mining machines is proposed based on the bootstrap method. This algorithm makes it possible to study the statistics of probability distributions for the control system parameters of highly automated mining machines based on multiple sample generation.

Keywords: bootstrap method, highly automated mining machines, traffic safety, safety monitoring, fitting criterion, automated control systems

For citation: Safiullin R.N., Katsuba Yu.N., Ungefuk A.A., Khisamutdinova E.L., Khokhlov A.V. Bootstrap method for monitoring the safety of traffic control systems of highly automated mining machines. *Russian Mining Industry*. 2025;(1):73–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-73-80>

Введение

Одной из приоритетных целей любого государства является сохранение жизни и здоровья граждан. Для её достижения реализуются различные федеральные проекты, направленные на развитие дорожно-транспортной инфраструктуры, обеспечения безопасности дорожного движения и транспортных средств, а также разрабатывается нормативно-правовая документация. Согласно Транспортной стратегии РФ до 2030 г. одним из целевых показателей является критерий нулевой смертности, достижение которого подразумевает отсутствие раненых и погибших в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП). Однако, по данным Государственной автомобильной инспекции количество ДТП, а также раненых и погибших в них людей за 2024 год превышает отметку в 100 тыс., что показывает необходимость дальнейшей целенаправленной работы в направлении повышения безопасности на транспорте. В этой связи эффективное управление безопасностью высокоавтоматизированных горных машин требует системного подхода к взаимодействию всех участников дорожного движения, который включает в себя высокоавтоматизированные горные машины, а также транспортную инфраструктуру. Помимо этого, должны быть оценены экологический эффект, безопасность дорожного движения и транспортных средств. Необходимым условием должно быть развитие программного-аппаратного комплекса информационного отображения высокоавтоматизированной горной машины, а также совершенствование системы контроля, разработка нормативной базы по административным правонарушениям с участием данных транспортных средств (рис. 1).

Традиционные методы мониторинга безопасности основываются на фиксированных критериях оценки или моделях, которые часто не адаптируются к изменению внешних факторов и техническому состоянию системы. В условиях горнодобывающей среды с её динамической природой такие подходы теряют эффективность. Это подчёркивает необходимость разработки методов, обеспечивающих адаптивный и устойчивый мониторинг.

В целях снижения количества ДТП и числа пострадавших в них людей совершенствуется конструкция транспортных средств, в том числе за счёт внедрения различных автоматизированных систем, облегчающих работу водителя. С их помощью при управлении транспортным средством снижается утомляемость водителя, а также время его реакции.

В этой связи для оценки безопасности высокоавтоматизированных горных машин может применяться удельный показатель безопасности R_{Bi} по пробегу, представленный в формуле (1). Комплексный показатель безопасности высокоавтоматизированной горной машины должен стремиться к минимальному значению:

$$R_{Bi} = \frac{\sum N_i \cdot \omega \cdot P}{L \cdot n}, \tag{1}$$

где N_i – количественный показатель безопасности высокоавтоматизированных горных машин; ω – показатель учитывающий степень влияния на БДД при управлении в автоматическом режиме; L – пробег, км; P – средневзвешенный показатель количества автоматизированных систем; n – количество высокоавтоматизированных горных машин.



Рис. 1
 Структурная модель формирования комплексного подхода к безопасности систем управления движением высокоавтоматизированной горной машины

Fig. 1
 A structural model of forming an integrated approach to the safety of the traffic control systems for a highly automated mining machine

Тогда показатель безопасности $R_{БДТП}$ по числу ДТП примет вид:

$$R_{БДТП} = \frac{\sum N_{ДТП} \cdot \omega \cdot P}{L \cdot n} \quad (2)$$

Показатель безопасности $R_{Бр}$ по числу раненых примет вид:

$$R_{Бр} = \frac{\sum N_{р} \cdot \omega \cdot P}{L \cdot n} \quad (3)$$

Показатель безопасности $R_{Бп}$ по числу погибших примет вид:

$$R_{Бп} = \frac{\sum N_{п} \cdot \omega \cdot P}{L \cdot n} \quad (4)$$

Таким образом, комплексный показатель безопасности высокоавтоматизированной горной машины можно определить по формуле:

$$R_{Б} = f(N_{ДТП}, N_{р}, N_{п}, \omega, L, P) = \left\{ \begin{array}{l} R_{БДТП} = \frac{\sum N_{ДТП} \cdot \omega \cdot P}{L \cdot n} \\ R_{Бр} = \frac{\sum N_{р} \cdot \omega \cdot P}{L \cdot n} \\ R_{Бп} = \frac{\sum N_{п} \cdot \omega \cdot P}{L \cdot n} \end{array} \right\} \quad (5)$$

В то же время современные горнодобывающие предприятия все чаще внедряют в производственные процессы высокоавтоматизированные машины, которые играют ключевую роль в повышении производительности, снижении эксплуатационных затрат и обеспечении безопасности работы в сложных и потенциально опасных условиях [1–3]. Однако высокая степень автоматизации в сочетании с многообразием и изменчивостью рабочих сценариев создает значительные вызовы в области обеспечения безопасности систем управления движением таких машин [4–6]. Основными проблемами являются риски столкновений, связанные с ограниченной видимостью, сложным рельефом местности, а также взаимодействием с другими машинами и пешеходами [7–9]. Кроме того, экстремальные климатические условия, такие как перепады температур, запылённость и вибрации, негативно влияют на работу сенсоров и надёжность систем управления [10–12].

Одним из перспективных подходов является использование бутстрэп-метода, широко применяемого в статистике и машинном обучении для анализа данных и оценки их достоверности. Бутстрэп-метод обладает способностью генерировать устойчивые оценки даже при ограниченном объёме данных или в условиях высокой изменчивости параметров.

Методы

В определённых условиях нельзя вести сплошное статистическое исследование процесса управления. Более того, получение даже выборочной статистической совокупности представляет большую проблему, поскольку отсутствуют средства автоматизации сбора и систематизации первичной информации о времени разработки управленческих решений. Всё это приводит к тому, что в практике статистического анализа материалов, чаще всего приходится сталкиваться с выборками, характеризующимися значительной ограниченностью и нерепре-

зентативностью. Именно поэтому не было и нет до настоящего времени приближенных аппроксимаций временных закономерностей, характеризующих процесс организации и управления, теоретическими законами (нормальным, логнормальным, биномиальным и т.д.).

В то же время резко выросла производительность вычислительных средств, позволяющая использовать для анализа ограниченных и нерепрезентативных выборок современный метод статистического анализа – бутстрэп-метод.

Пусть имеется выборка $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n$ независимых одинаково распределённых случайных величин. И пусть $f_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – некоторая статистика, свойства которой необходимо идентифицировать. Сгенерируем n выборок объёмом $(n - 1)$ каждая:

$$\begin{array}{l} x_2, x_3, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n \\ x_1, x_3, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n \\ x_1, x_2, x_4, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ x_1, x_2, x_3, \dots, x_{k-1}, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ x_1, x_2, x_3, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-2}, x_n \\ x_1, x_2, x_3, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1} \end{array}$$

По каждой уменьшенной на 1 сгенерированной выборке рассчитаем значение $f_n(\omega)$:

$$\begin{array}{l} f_{n-1,1}(\omega) = f_{n-1}(x_2, x_3, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n) \\ f_{n-1,2}(\omega) = f_{n-1}(x_1, x_3, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n) \\ f_{n-1,3}(\omega) = f_{n-1}(x_1, x_2, x_4, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n) \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ f_{n-1,k}(\omega) = f_{n-1}(x_1, x_2, x_4, \dots, x_{k-1}, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}, x_n) \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ f_{n-1,n-1}(\omega) = f_{n-1}(x_1, x_2, x_4, \dots, x_{k-1}, x_{k+1}, \dots, x_{n-2}, x_n) \\ f_{n-1,n}(\omega) = f_{n-1}(x_1, x_2, x_4, \dots, x_{k-1}, x_{k+1}, \dots, x_{n-1}) \end{array}$$

Рассчитанные значения $f_n(\omega)$ позволяют судить о статистических характеристиках сгенерированных распределений, но статистики не являются независимыми. Тем не менее при росте объёма выборок влияние зависимости может ослабевать и со значениями статистик типа $f_{n-1,k}(\omega)$, $k = 1, 2, \dots, n$ можно обращаться как с независимыми случайными величинами. В этой связи бутстрэп-метод возможно использовать для генерации статистических данных, характеризующих основные показатели системы управления. Для этого скопируем имеющиеся статистические выборки 1000 раз, тщательно перемешаем, затем извлечем 99 выборок того же объёма, что и исходная выборка, и определим статистические характеристики распределения. Анализ полученных результатов позволяет постулировать о нормальном распределении основных показателей системы управления при подготовке и принятии решений специалистами. Поскольку на временной

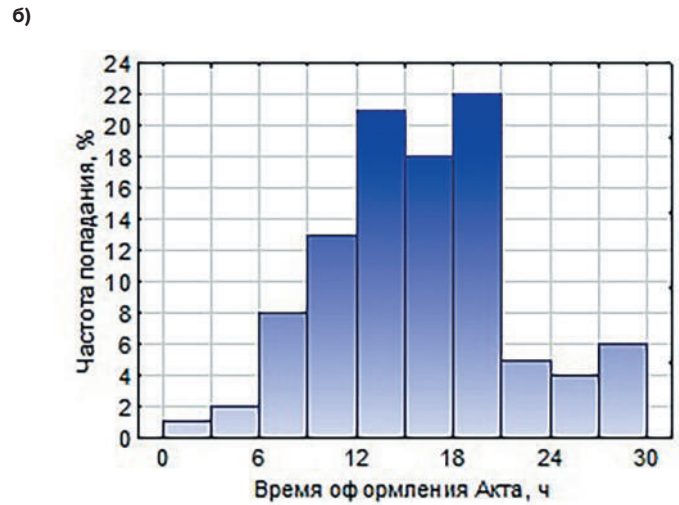
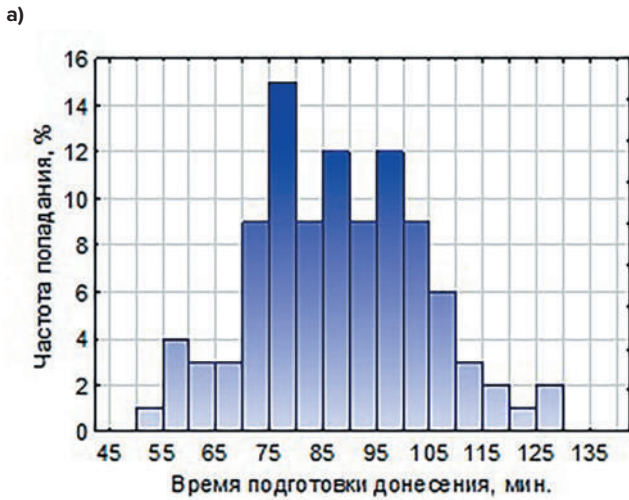


Рис. 2
 Частота попадания $f_n(\omega)$
 в интервал времени:
 а – подготовка донесения о проведении опытной эксплуатации;
 б – оформление акта о проведении опытной эксплуатации

Fig. 2
 The frequency of $f_n(\omega)$
 falling within the time interval:
 а - preparation of the report on pilot operation;
 б - execution of the protocol on pilot operation

процесс подготовки управленческого решения в условиях влияет совокупное аддитивное и независимое действие многих малых факторов [13], то в силу Центральной предельной теоремы такое распределение основных показателей должно приближаться к нормальному закону [14].

Для проверки правильности выдвинутой гипотезы воспользуемся критерием согласия χ^2 , который позволяет ответить на вопрос о том, с какой доверительной вероятностью отклонение эмпирического распределения от предполагаемого распределения может объясняться лишь случайным разбросом и с какой вероятностью предположение о распределении должно быть отвергнуто [15].

Результаты

Выполненные расчёты значений критерия согласия χ^2 с одной стороны показали удовлетворительную сходимость эмпирического распределения с нормальным законом по всем рассмотренным вариантам, а с другой – значение $p \leq 0,5$ подразумевает возможность возникновения ошибки в 5%. Согласно позиции исследователей [16–18] значения на уровне $p \leq 0,01$, обычно рассматриваются как статистически значимые, а результаты с уровнем $p \leq 0,001$ как высоко значимые. Однако, важно учитывать, что это субъективные мнения авторов, основанные на практическом опыте [19].

Поскольку на результат критерия χ^2 и, следовательно, на уровень значимости p очень сильное влияние оказывает способ группировки эмпирической выборки, то для уточнения сделанного вывода о сходимости эмпирического распределения с нормальным законом воспользуемся критерием Колмогорова–Смирнова, основанным на максимуме разности между кумулятивным распределением выборки и предполагаемым кумулятивным распределением. Если D-статистика Колмогорова-Смирнова значима, то гипотеза о том, что соответствующее распределение нормально, должна быть отвергнута. Выполненные расчёты статистики Колмогорова-Смирнова по методике [20] показывают, что по всем расчётным вариантам D-статистика не

значима, то есть все эмпирические распределения имеют удовлетворительную сходимость с нормальным распределением.

Отсутствие средств автоматизации в области обеспечения БДД, а также не всегда достаточный уровень компьютерной грамотности специалистов ИТС, осуществляющих управление процессами, не позволяют исключить влияние человеческого фактора при выполнении рутинных монотонных операций и ускорить выполнение сложных инженерно-оперативных расчётов, а также разработку мероприятий.

На рис. 2 показаны частоты попадания $f_n(\omega)$, характеризующие время подготовки донесений и оформления актов о проведении опытной эксплуатации новых высокоавтоматизированных горных машин, а в табл. 1 приведены статистические характеристики распределений.

Опытная эксплуатация новейших высокоавтоматизированных горных машин в процессе их движения позволяет собрать дополнительные сведения не только о функциональных возможностях по обнаружению и предотвращению столкновения с препятствием, но и по оценке надёжности конструкции транспортного средства. В этой связи в процессе внедрения систем управления высокоавтоматизированной горной машиной для обеспечения безопасности должны быть проведены испытания транспортного средства. Для этого необходимо собрать и проанализировать статистические данные об опытной эксплуатации.

Относительные показатели вариации используются для анализа степени изменчивости признака или для сопоставления уровня вариации между различными группами. Коэффициент вариации представляет собой отношение среднего квадратического отклонения к среднему арифметическому, выраженное в процентах. Этот показатель позволяет оценить степень однородности совокупности: если коэффициент вариации меньше 33%, совокупность считается количественно однородной. В то же время значение коэффициента вариации свыше 40% указывает на значительную изменчивость признака

Таблица 1
 Статистические характеристики сгенерированных распределений времени подготовки документов о проведении опытной эксплуатации

Table 1
 Statistical characteristics of the generated distributions of the time for preparation of the documents on pilot operation

№ п/п	Показатель статистического распределения	Среднее время подготовки:			
		Донесения о проведении ОЭ, мин	Акта о проведении ОЭ, ч	Заключения, ч	Донесения по модернизации ТСД, мин
1	Среднее арифметическое	88,42	16,57	24,74	60,22
2	Доверительная граница среднего арифметического нижняя – 95%	85,29	15,39	22,63	58,04
	верхняя + 95%	91,55	17,34	26,84	62,4
3	Медиана	88	16	24	59
4	Мода	15	20	28	52
5	Минимум	55	1	7	32
6	Максимум	130	31	59	86
7	Нижняя квартиль	77,5	13	16	52
8	Верхняя квартиль	99	20	32	68,5
9	Процентиль 10	69,5	9	11,5	47
10	Процентиль 90	106,5	25	38	76
11	Размах	75	30	52	54
12	Квартиль размаха	21,5	7	16	16,5
13	Дисперсия	248,6	35,02	112,5	121
14	Стандартное отклонение	15,77	5,917	10,61	11,01
15	Доверительный интервал стандартного отклонения: -95%	13,84	5,195	9,312	9,658
16	Доверительный интервал стандартного отклонения: +95%	18,31	6,874	12,32	12,78
17	Коэффициент вариации	17,83	35,71	42,87	18,27
18	Коэффициент асимметрии	0,199	0,261	0,571	0,231
19	Коэффициент эксцесса	-0,169	0,162	0,181	-0,406
20	Критерий согласия χ^2	5,736	6,389	5,791	10,92
21	Количество степеней свободы	8	4	5	5
22	Уровень значимости p	0,677	0,172	0,327	0,053
23	Критерий Колмогорова	0,071	0,091	0,078	0,072
24	D статистика Колмогорова	Не значима	Не значима	Не значима	Не значима

среди элементов группы, что может свидетельствовать о низкой надёжности средней. Таким образом, совокупность является количественно однородной, а средняя достаточно надёжной при критериях Колмогорова равных 0,071 и 0,072. На основании вышеизложенного разработан алгоритм бутстрэп-метода мониторинга безопасности систем управления движением высокоавтоматизированных горных машин (рис. 3).

Заключение

Анализ функциональной деятельности интеллектуальных транспортных систем показал, что назрела необходимость совершенствования информационной составляющей высокоавтоматизированных горных машин. Важной проблемой, сдерживающей развитие информационной

составляющей, является отсутствие единой интегрированной информационной среды. Данная проблема стимулирует к созданию технологии, позволяющей на единой информационной платформе, построенной на отечественных программных и технических средствах, объединить разрозненные информационные ресурсы в единое информационное пространство, предоставляющее возможность управления техническим состоянием высокоавтоматизированных горных машин на всех стадиях их жизненного цикла.

Вместе с тем использование современных статистических методов, таких как бутстрэп-метод, открывает новые возможности для повышения точности анализа данных и надёжности оценки функциональных характеристик автоматизированных систем. Бутстрэп-метод позволяет

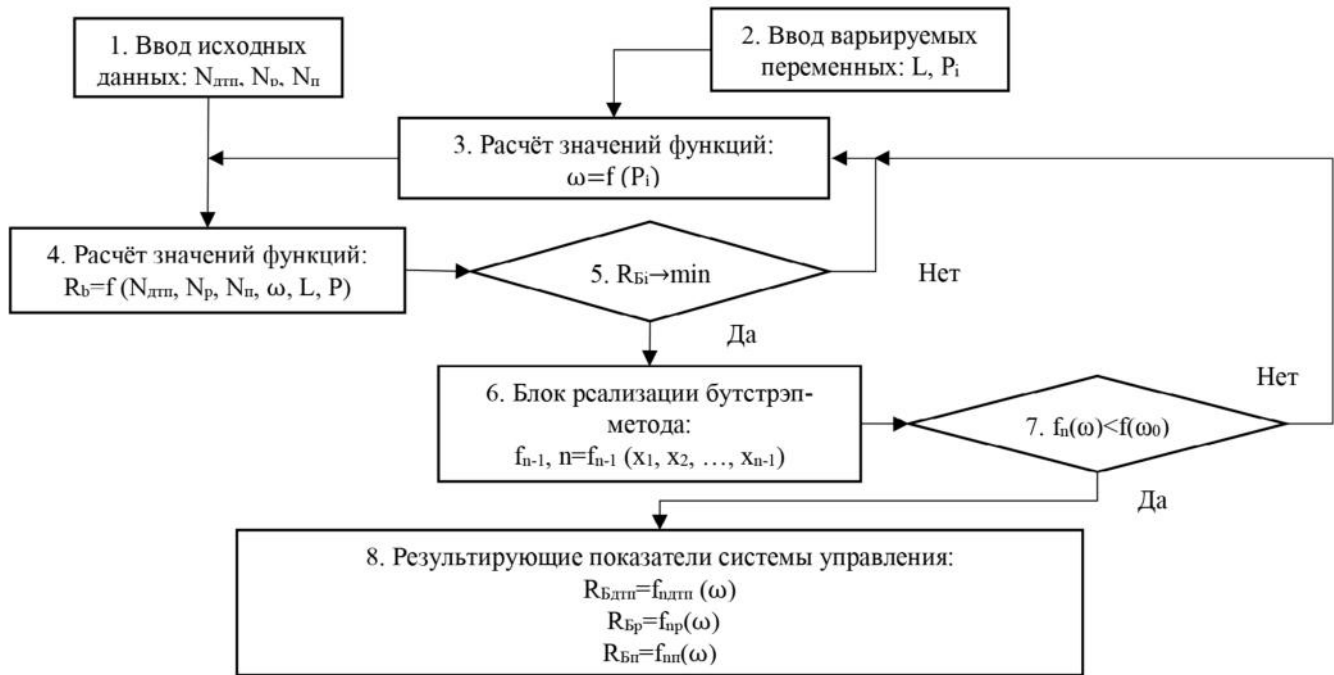


Рис. 3
 Алгоритм мониторинга безопасности систем управления движением высокоавтоматизированных горных машин на основе бутстрэп-метода:
 ω – показатель, учитывающий степень влияния на БДД при управлении в автоматическом режиме;
 L – пробег, км;
 P_i – средневзвешенный показатель по количеству автоматизированных систем;
 ω – коэффициент, учитывающий влияние уровня автоматизации системы на безопасность ВАГМ,
 R_b – комплексный показатель безопасности ВАГМ
 [Составлено авторами]

Fig. 3
 An algorithm for monitoring the safety of traffic control systems of highly automated mining machines based on the bootstrap method:
 ω – indicator that accounts for the degree of impact on the traffic safety when controlling in the automatic mode;
 L – mileage, km;
 P_i – the weighted average indicator for the number of automated systems;
 ω – the coefficient that accounts for the impact of the system's automation level on the safety of highly automated mining machines,
 R_b – a complex index of the safety of highly automated mining machines

эффективно работать с ограниченными и нерепрезентативными выборками, что особенно актуально в условиях сложных эксплуатационных сценариев. Интеграция данного подхода в процессы мониторинга и анализа данных может значительно улучшить прогнозирование рисков, своевременное выявление неисправностей и принятие управленческих решений при использовании высокоавтоматизированных горных машин.

Таким образом, проведённый анализ информационно-го обеспечения основных мероприятий по эксплуатации

и мониторингу безопасности движения высокоавтоматизированных горных машин выявил необходимость перехода к новому этапу развития информационной среды, основанной на интеграции современных технологий. Это позволит создать устойчивую и безопасную экосистему эксплуатации высокоавтоматизированных горных машин, что, в свою очередь, повысит их эффективность и безопасность в долгосрочной перспективе.

Вклад авторов

- Р.Н. Сафиуллин* – разработка методологии исследования.
- Ю.Н. Кацуба* – разработка алгоритма.
- А.А. Унгефук* – применение статистических методов для анализа данных.
- Э.Л. Хисамутдинова* – интерпретация результатов исследования.
- А.В. Хохлов* – разработка обобщенной модели.

Authors' contribution

- R.N. Safiullin* – development of the research methodology.
- Yu.N. Katsuba* – development of the algorithm.
- A.A. Ungefuk* – application of statistical methods for data analysis.
- E.L. Khisamutdinova* – interpretation of the research results.
- A.V. Khokhlov* – development of a generalized model.

Список литературы / References

1. Barjoe S.S., Rodionov V.A. Respirable dust in ceramic industries (Iran) and its health risk assessment using deterministic and probabilistic approaches. *Pollution*. 2024;10(4):1206–1226. <https://doi.org/10.22059/poll.2024.376043.2360>
2. Гендлер С.Г., Братских А.С. Актуальные проблемы возгорания угольных скоплений в породных отвалах. *Горная промышленность*. 2024;(5S):71–77. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77>
Gendler S.G., Bratskih A.S. Actual problems of coal accumulations ignition in rock dumps. *Russian Mining Industry*. 2024;(5S):71–77. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77>
3. Жуковский Ю.Л., Сусликов П.К. Оценка потенциального эффекта применения технологии управления спросом на горных предприятиях. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024;16(3):895–908. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-895-908>
Zhukovsky Yu.L., Suslikov P.K. Assessment of the potential effect of applying demand management technology at mining enterprises. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024;16(3):895–908. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-3-895-908>
4. Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом. *Горная промышленность*. 2024;(2):97–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>
Salimov A.E., Shibanov D.A., Ivanov S.L. Failure risks of mine excavator associated with its maintenance and repair. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):97–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-97-102>
5. Хамидов О.У., Шибанов Д.А., Шишкин П.В., Колпаков В.О. Эффективность применения экскаваторов на карьерах Узбекистана. *Горная промышленность*. 2024;(5):135–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-135-142>
Khamidov O.U., Shibanov D.A., Shishkin P.V., Kolpakov V.O. Efficiency of excavators application in open pit mines of Uzbekistan. *Russian Mining Industry*. 2024;(5):135–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5-135-142>
6. Safullin R., Arias Z.P. Comprehensive assessment of the effectiveness of passenger transportation processes using intelligent technologies. *The Open Transportation Journal*. 2024;18:e26671212320514. <https://doi.org/10.2174/0126671212320514240611100437>
7. Safullin R., Efremova V., Ivanov B. The method of multi-criteria evaluation of the effectiveness of the integrated control system of a highly automated vehicle. *The Open Transportation Journal*. 2024;18:e18744478309909. <https://doi.org/10.2174/0118744478309909240807051315>
8. Литвинова Т.Е., Герасёв С.А. Поведение фосфата церия (III) в карбонатно-щелочной среде. *Записки Горного института*. 2024;1–8. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16416> (дата обращения: 15.11.2024).
Litvinova T.E., Gerasev S.A. Behaviour of cerium (III) phosphate in a carbonate-alkaline medium. *Journal of Mining Institute*. 2024;1–8. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16416> (accessed: 15.11.2024).
9. Пашкевич Н.В., Хлопонина В.С., Поздняков Н.А., Аверичева А.А. Анализ проблем воспроизводства минерально-сырьевой базы дефицитных стратегических полезных ископаемых. *Записки Горного института*. 2024;270:1004–1023. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16430> (дата обращения: 15.11.2024).
Pashkevich N.V., Khloponina V.S., Pozdnyakov N.A., Avericheva A.A. Analysing the problems of reproducing the mineral resource base of scarce strategic minerals. *Journal of Mining Institute*. 2024;270:1004–1023. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16430> (accessed: 15.11.2024).
10. Назарычев А.Н., Дяченко Г.В., Сычев Ю.А. Исследование надежности тягового электропривода карьерных самосвалов на основе анализа отказов его функциональных узлов. *Записки Горного института*. 2023;261:363–373. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16189> (дата обращения: 15.11.2024).
Nazarychev A.N., Dyachenok G.V., Sychev Y.A. A reliability study of the traction drive system in haul trucks based on failure analysis of their functional parts. *Journal of Mining Institute*. 2023;261:363–373. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16189> (accessed: 15.11.2024).
11. Петраков Д.Г., Пеньков Г.М., Золотухин А.Б. Экспериментальное исследование влияния горного давления на проницаемость песчаника. *Записки Горного института*. 2022;254:244–251. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.24>
Petraikov D.G., Penkov G.M., Zolotukhin A.B. Experimental study on the effect of rock pressure on sandstone permeability. *Journal of Mining Institute*. 2022;254:244–251. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.24>
12. Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами. *Записки Горного института*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
Litvinenko V.S., Petrov E.I., Vasilevskaya D.V., Yakovenko A.V., Naumov I.A., Ratnikov M.A. Assessment of the role of the state in the management of mineral resources. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:95–111. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.100>
13. Tengilimoglu O., Carsten O., Wadud Z. The effects of infrastructure quality on the usefulness of automated vehicles: A case study for Leeds, UK. *Journal of Transport Geography*. 2024;121:104042. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.104042>
14. Kim S.B., Kim H.-M. Series form of the characteristic functions of scale mixtures of multivariate skew-normal distributions. *Mathematics and Computers in Simulation*. 2022;198:172–187. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2022.02.033>
15. Ley C. When the score function is the identity function – A tale of characterizations of the normal distribution. *Econometrics and Statistics*. 2023;26:153–160. <https://doi.org/10.1016/j.ecosta.2020.10.001>

16. Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Safiullin R.R. The software adaptive system for managing the heavy cargo transportation process based on the automated vehicle weight and size control system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1753:012063. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1753/1/012063>
17. Nasiri P., Kheirazar R., Rasouli A., Shadrokh A. Hazard rate estimation when the measurement error has a normal or logistic distribution. *Heliyon* 2024;10(6):e27730. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27730>
18. Safiullin R., Epishkin A., Safiullin R., Haotian T. Method of forming an integrated automated control system for intelligent objects. In: *Ceur workshop proceedings: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems" (ITIDMS-II-2021)*. Aachen, Germany; 2021, pp. 17–26.
19. Chakraborty R., Javed S.A., Das S., Kutela B., Khan M.N. Impact of level 2 automation on driver behavior: A study using association rules mining. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2024;107:937–950. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.10.016>
20. Moscovich A. Fast calculation of p-values for one-sided Kolmogorov-Smirnov type statistics. *Computational Statistics & Data Analysis*. 2023;185:107769. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2023.107769>

Информация об авторах

Сафиуллин Равилл Нуруллович – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8765-6461>; e-mail: safravi@mail.ru

Кацуба Юрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-2698-491X>; e-mail: katsuba60@mail.ru

Унгефук Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-1473-9095>; e-mail: ungefuk_alex@mail.ru

Хисамутдинова Эльмира Линаровна – заведующая учебной практикой Колледжа технологии, моделирования и управления, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: elmirada79@yandex.ru

Хохлов Алексей Владимирович – аспирант кафедры транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: lehasport98@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 26.12.2024

Поступила после рецензирования: 04.02.2025

Принята к публикации: 06.02.2025

Information about the authors

Ravill N. Safiullin – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8765-6461>; e-mail: safravi@mail.ru

Yurii N. Katsuba – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-2698-491X>; e-mail: katsuba60@mail.ru

Aleksandr A. Ungefuk – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-1473-9095>; e-mail: ungefuk_alex@mail.ru

Elmira L. Khisamutdinova – Chief of Educational Practice, College of Technology, Modelling and Management, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: elmirada79@yandex.ru

Aleksey V. Khokhlov – Postgraduate Student of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: lehasport98@mail.ru

Article info

Received: 26.12.2024

Revised: 04.02.2025

Accepted: 06.02.2025