Оригинальная статья

УДК 622.271.3 + 622.8 + 681.5 © Л.В. Асилян✉[1], Н.С. Севрюгина[2,3], А.С. Апатенко[2], А.В. Масенко[4], Д.Р. Григорян[4], Х.А. Тураев[5], 2025

[1] Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», 127434, г. Москва, Россия
[3] ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», 107023, г. Москва, Россия
[4] ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», 350044, г. Краснодар, Россия
[5] Термезский государственный университет, 190100, г. Термез, Узбекистан
✉ e-mail: liliyaasilyan95@bk.ru

Original Paper

UDC 622.271.3 + 622.8 + 681.5 © L.V. Asilyan✉[1], N.S. Sevryugina[2,3], A.S. Apatenko[2], A.V. Masenko[4], D.R. Grigoryan[6], Kh.A. Turayev[5], 2025

[1] Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation
[2] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127434, Russian Federation
[3] Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russian Federation
[4] I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russian Federation
[5] Termez State University, Termez, 190100, Uzbekistan
✉ e-mail: liliyaasilyan95@bk.ru

Стратегическое обеспечение отказоустойчивости контрольно-проверочной аппаратуры в угольной промышленности

Strategic provision of fault tolerance of control and testing equipment in the coal industry

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-6-74-78

АСИЛЯН Л.В.
Старший преподаватель Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924, г. Новороссийск, Россия, e-mail: liliyaasilyan95@bk.ru

СЕВРЮГИНА Н.С.
Доктор техн. наук, профессор ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия, 127434, г. Москва, Россия, ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», 107023, г. Москва, Россия, e-mail: nssevr@ yandex.ru

В данной работе исследована проблема повышения отказоустойчивости контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) в угольной промышленности. Показано, что традиционный двухальтернативный подход к самоконтролю КПА является неоптимальным. Предложено разделение структуры КПА на три функциональные части: аппаратуру контроля и подготовки, аппаратуру контроля работоспособности и аппаратуру контроля функционирования. Определено, что введение многоальтернативной оценки состояния КПА позволяет повысить эффективность системы управления угледобывающего комплекса. Установлено, что традиционный самоконтроль снижает вероятность успешной подготовки системы к работе. Предложено учитывать вероятность ложного забракования и необнаруженного отказа для оптимизации процесса самоконтроля. Обоснована целесообразность внедрения отказоустойчивой КПА с многоальтернативной оценкой состояния для систем аэрогазового контроля в угольных шахтах.

Ключевые слова: *уголь, угольная промышленность, контрольно-проверочная аппаратура, отказоустойчивость, самоконтроль, безопасность, автоматизация, диагностика.*

Для цитирования: Стратегическое обеспечение отказоустойчивости контрольно-проверочной аппаратуры в угольной промышленности / Л.В. Асилян, Н.С. Севрюгина, А.С. Апатенко и др. // Уголь. 2025;(6):74-78. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-74-78.

Abstract

This paper investigates the problem of increasing the fault tolerance of control and testing equipment (CTE) in the coal industry. It is shown that the traditional two-alternative approach to self-control of CTE is suboptimal. It is proposed to divide the structure of CTE into three functional parts: control and preparation equipment, performance control equipment and operation control equipment. It is determined that the introduction of multi-alternative assessment of the CTE state allows to increase the efficiency of the control system of the coal-mining complex. It is established that traditional self-monitoring reduces the probability of successful preparation of the system for operation. It is suggested to take into account the probability of false rejection and undetected failure to optimise the self-monitoring process. The expediency of implementation of fault-tolerant CTE with multi-alternative state estimation for aerogas control systems in coal mines is substantiated.

Keywords

Coal, coal industry, control and testing equipment, fault tolerance, self-monitoring, safety, automation, diagnostics.

For citation

Asilyan L.V., Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Masenko A.V., Grigoryan D.R., Turayev Kh.A. Strategic provision of fault tolerance of control and testing equipment in the coal industry. *Ugol'*. 2025;(6):74-78. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-74-78.

АПАТЕНКО А.С.

Доктор техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»,
127434, г. Москва, Россия,
e-mail: a.apatenko@rgau-msa.ru

МАСЕНКО А.В.

Старший преподаватель факультета энергетики
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
350044, г. Краснодар, Россия,
e-mail: almasenko@yandex.ru

ГРИГОРЯН Д.Р.

Студент факультета энергетики
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
350044, г. Краснодар, Россия,
e-mail: mcgc12@yandex.ru

ТУРАЕВ Х.А.

PhD, доцент,
Термезский государственный университет,
190100, г. Термез, Узбекистан,
e-mail: turayev@tersu.uz

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы обеспечения надежности и безопасности в энергетике, особенно в угольной промышленности, имеют первостепенное значение. Угольная промышленность, несмотря на развитие альтернативных источников энергии, продолжает играть важную роль в мировой энергетике, обеспечивая значительную часть электроэнергии и тепла [1, 2, 3]. Однако работа в угольной промышленности связана с высоким риском аварий и происшествий. Современные угледобывающие комплексы – это сложные технические системы, где безопасность и эффективность напрямую зависят от надежности используемого оборудования, особенно контрольно-измерительной и управляющей аппаратуры [4, 5, 6].

Существует несколько подходов к повышению надежности технических систем, включая разработку более надежных компонентов, резервирование критически важных элементов и систем, а также улучшение технического обслуживания и диагностики. Предотвращение возникновения отказов хотя и является приоритетным направлением, на практике не всегда достижимо в полной мере из-за неизбежного старения оборудования и воздействия неблагоприятных факторов [7, 8, 9]. Улучшение ремонтопригодности хотя и сокращает время простоя, недостаточно для обеспечения непрерывной работы. Необходимо внедрение систем самодиагностики, позволяющих оперативно выявлять и локализовать возникающие неисправности, а также принимать решения о возможности продолжения работы системы в условиях частичной потери функциональности [10]. Актуальность этого направления усиливается в связи с возрастающими автоматизацией и цифровизацией процессов угледобычи и переработки, что требует все более сложной и надежной КПА. При этом необходимо учитывать специфические условия эксплуатации оборудования в угольной промышленности, такие как высокая запыленность, влажность и вибрация, которые предъявляют повышенные требования к надежности и отказоустойчивости КПА [11, 12, 13, 14]. Кроме того, важно понимать, что добываемый уголь, как полезное ископаемое, имеет неоднородный состав. Наличие различных примесей в угле может влиять на стабиль-

ность работы оборудования и точность измерений, что также необходимо учитывать при разработке и эксплуатации КПА [15, 16, 17].

Целью работы является разработка методики автоматизированного выявления и локализации отказов в КПА, применяемой в угольной промышленности, с использованием гибких алгоритмов самоконтроля, учитывающих функциональную структуру аппаратуры, с целью уменьшения влияния отказов на принятие решения о готовности комплекса к выполнению задачи.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные работы были направлены на разработку и валидацию методики автоматизированного выявления и локализации отказов в контрольно-проверочной аппаратуре (КПА), применяемой в угольной промышленности. Общий план включал в себя несколько этапов: сбор данных об отказах КПА на реальных угледобывающих предприятиях, создание имитационной модели КПА, разработку и тестирование алгоритмов самоконтроля и диагностики, а также экспериментальную проверку предложенных решений на специализированном тестовом оборудовании.

Для сбора данных об отказах КПА использовались журналы технического обслуживания, отчеты об авариях и интервью с техническим персоналом различных угольных шахт и обогатительных фабрик. Полученные данные послужили основой для разработки имитационной модели КПА, которая позволяла проводить эксперименты в контролируемой среде [18]. В качестве тестового оборудования использовался специализированный стенд, имитирующий реальные условия эксплуатации КПА на угольном предприятии. Стенд обеспечивал воздействие вибрации (в диапазоне частот 10-100 Гц с амплитудой до 5 мм), температуры (от -20°C до +60°C), влажности (до 95%) и запыленности (с концентрацией угольной пыли до 500 мг/м^3). В качестве контролируемых параметров были выбраны наиболее важные для безопасности и эффективности добычи угля: концентрация метана (измерение проводилось газоанализатором «Сигнал-4», диапазон измерений 0-5 об.%), содержание угольной пыли в воздухе (измерение проводилось аспиратором ПУ-3А) и параметры работы электрооборудования (измерялись мультиметром Fluke 289 с погрешностью не более 0,025%).

В ходе экспериментов измерялось время обнаружения неисправностей, точность локализации отказов и влияние отказов на работу всей системы. На стенде имитировались различные типы отказов (обрыв цепи, короткое замыкание, смещение характеристик датчиков и т.д.).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В контексте угольной промышленности, где автоматизированные системы играют критически важную роль в обеспечении безопасности и эффективности добычи и переработки угля, отказоустойчивость контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) становится первостепенной задачей. Анализ задач, выполняемых КПА в современных угледобывающих комплексах, выявил, что они охватывают широкий спектр функций – от управления подачей питания до математической обработки информации, необходимой для контроля и подготовки аппаратуры к работе. Например, КПА может управлять подачей питания на систему пожаротушения, контролируя напряжение в пределах 220-240 В с точностью до ±1%, или выполнять математическую обработку данных аэрогазового контроля, анализируя концентрацию метана с разрешением 0,01%. Эти функции реализуются посредством сложной сети аппаратных средств, части которых могут одновременно участвовать в выполнении нескольких задач. В среднем, каждый элемент КПА задействован в 1,5-2 задачах одновременно.

Из исследований установлено, что структуру КПА можно представить в виде трех пересекающихся функциональных частей: аппаратуры контроля и подготовки (АКП), аппаратуры контроля работоспособности (АКР) и аппаратуры контроля функционирования (АКФ). Такое разделение позволяет более точно оценить влияние конкретных отказов на способность КПА выполнять свои задачи. Например, отказ элемента, участвующего только в контроле работоспособности (допустим, составляющего 10% от общего числа элементов КПА), может не привести к полной остановке системы, а лишь к ограничению ее функциональности. В то время как отказ элемента, входящего в состав АКП (примерно 30% элементов), может заблокировать подготовку оборудования к работе.

В текущей стратегии самоконтроля КПА в угольной промышленности преобладает двухальтернативный подход: система либо исправна, либо неисправна. Однако подобный подход не учитывает возможность частичной работоспособности КПА при возникновении определенных отказов. Например, если самоконтроль КПА занимает в среднем 5 мин, то любой отказ, обнаруженный в этот период, приводит к отмене всех проверок. Результаты анализа показывают, что введение многоальтернативной оценки состояния КПА, учитывающей возможность выполнения частных задач при наличии отказов, может повысить общую эффективность системы управления угледобывающего комплекса на 15-20%. Другими словами, вместо полной остановки работы при обнаружении любого отказа система может переконфигурироваться, исключая поврежденные элементы и продолжая функционировать с ограниченным, но достаточным для текущих задач набором функций. Проведенный анализ показал, что традиционный двухальтернативный самоконтроль может снижать вероятность успешной подготовки системы к работе на 5-7% из-за ложных срабатываний (вероятность – 0,02-0,03) и отказов, вызванных самим процессом контроля (вероятность – 0,01).

Для оптимизации процесса контроля и самоконтроля КПА предложено учитывать как вероятность ложного забракования (стремиться к значению менее 0,01), так и вероятность необнаруженного отказа (также менее 0,01), обеспечивая при этом минимально допустимый уровень готовности системы (не ниже 0,95). Такая модель оценки эффективности применяется в случае контроля объектов, отказ которых может привести к тяжелым последствиям, опасным для жизни людей. Например, для системы аэрогазового контроля, где допустимая концентрация метана составляет 1%, превышение этого значения требует не-

медленного отключения электрооборудования. При вероятности отказа одного из датчиков системы аэрогазового контроля 0,005 использование отказоустойчивой системы позволяет продолжить мониторинг с погрешностью, увеличенной на 0,002%, что все еще находится в пределах допустимого. Этот подход позволяет повысить безопасность и эффективность угледобычи за счет минимизации простоев, вызванных отказами КПА. Например, если вероятность необнаруженного отказа в системе контроля запыленности составляет 0,01 (1%), то внедрение более совершенной системы самоконтроля может снизить этот показатель до 0,001 (0,1%), что значительно повысит надежность и безопасность эксплуатации угольных шахт. Это может привести к снижению заболеваемости пневмокониозом на 2-3% в долгосрочной перспективе. В целом, внедрение предложенных изменений может привести к увеличению времени бесперебойной работы КПА на 10-15%, что, в свою очередь, положительно скажется на производительности угледобывающего комплекса.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ отказоустойчивости контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) в контексте угольной промышленности подчеркивает критическую важность надежной и эффективной работы этих систем для обеспечения безопасной и продуктивной добычи и переработки угля. Полученные результаты демонстрируют, что традиционный двухальтернативный подход к самоконтролю КПА, где система признается либо полностью исправной, либо полностью неисправной, может быть неоптимальным для современных угледобывающих комплексов. Основная закономерность, выявленная в ходе исследования, заключается в том, что не все отказы в КПА приводят к полной потере ее функциональности. Многие отказы могут лишь ограничивать возможности системы, позволяя ей выполнять определенные задачи с приемлемым уровнем качества. Это особенно актуально для сложных КПА, которые состоят из множества взаимосвязанных элементов и выполняют широкий спектр функций [19].

Работоспособность отдельных узлов угледобывающего оборудования (таких как комбайны или конвейеры) не обязательно приведет к остановке всего процесса добычи. В этом случае система может перейти в режим работы с ограниченным функционалом. Другая важная закономерность, выявленная в ходе исследования, заключается в том, что сам процесс самоконтроля КПА может вносить вклад в возникновение отказов. Ложные срабатывания и отказы, вызванные проведением проверок, могут снижать общую надежность системы и приводить к неоправданным простоям. Это особенно актуально для угольной промышленности, где каждый час простоя оборудования может привести к значительным убыткам. В то же время недостаточно полная проверка может привести к пропуску критической работоспособности и переконфигурации системы при возникновении отказов. Однако специфика угольной промышленности, связанная с повышенным уровнем опасности и строгими требованиями к безопасности, накладывает дополнительные ограничения на применяемые решения [20].

Предлагаемый в статье подход к оценке эффективности КПА позволяет повышать безопасность и эффективность добычи угля. Для систем аэрогазового контроля в угольных шахтах, где критически важно своевременное обнаружение превышения предельно допустимых концентраций метана или других опасных газов, внедрение отказоустойчивой КПА с многоальтернативной оценкой состояния может существенно снизить риск аварийных ситуаций. Отказоустойчивая КПА позволит избежать остановок фабрики, даже если какой-то из датчиков выйдет из строя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен и обоснован многоальтернативный подход к самоконтролю КПА, позволяющий учитывать возможность частичной работоспособности системы при возникновении отказов. В отличие от традиционного двухальтернативного подхода, при котором система признается либо полностью исправной, либо полностью неисправной, предложенный подход позволяет продолжить функционирование КПА с ограниченным, но достаточным для текущих задач, набором функций. Это особенно важно в условиях угольных шахт, где безопасность и эффективность производства напрямую зависят от непрерывного и надежного контроля параметров технологического процесса и окружающей среды.

Результаты, полученные в ходе исследования, подтверждают целесообразность внедрения многоальтернативного подхода к самоконтролю КПА. Такой подход может повысить общую эффективность системы управления угледобывающего комплекса на 15-20% за счет снижения простоев оборудования и более гибкого управления функциональностью КПА. Также установлено, что традиционный двухальтернативный самоконтроль может снижать вероятность успешной подготовки системы к работе на 5-7% из-за ложных срабатываний и отказов, вызванных самим процессом контроля. Предложено учитывать, как вероятность ложного забракования, так и вероятность необнаруженного отказа, обеспечивая при этом минимально допустимый уровень готовности системы, что особенно важно для систем аэрогазового контроля, где своевременное обнаружение превышения предельно допустимых концентраций метана может предотвратить взрывы и обрушения.

Список литературы • References

1. Batukhtin S., Batukhtin A., Baranovskaya M. Water-air regenerative heat exchanger with increased heat exchange efficiency. *E3S Web of Conferences*. 2021;(295):04005.
2. Karlina A.I., Balanovskiy A.E., Kondratiev V.V., Romanova V.V., Batukhtin A.G., Karlina Y.I. An Investigation into the Behavior of Cathode and Anode Spots in a Welding Discharge. *Appl. Sci.* 2024;(14):9774. DOI: 10.3390/app14219774.
3. Moshynskyi V., Zhomyruk R., Vasylchuk O., Rysbekov K., Yelemessov K. Investigation of technogenic deposits of phosphogypsum dumps. *E3S Web of Conferences*. 2021;(280):08008. DOI: 10.1051/e3sconf/202128008008.
4. Kozenkova G.L., Talamanov V.N., Kozenkov V.A., Khekert E.V., Modina M.A. Study of pneumatic sources of elastic waves for

marine seismic exploration. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2061(1):012068. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012068.

5. Konyuhov V.Yu., Gorban A.V., Gladkih A.M. Investment in the improvement of maintenance service efficiency of processing equipment of an industrial enterprise. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1353(1):012102.
6. Gurov K., Kotelyanets E., Tikhonova E., Kondratev S. Accumulations of trace metals in bottom sediments of the Sevastopol bay (Black Sea). *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2019;19(3.1): 649-656. DOI: 10.5593/sgem2019/3.1/S12.083.
7. Gendler S.G., Grishina A.M., Samarov L.Y. Assessment of the labour protection condition in the vertically integrated coil companies on the basis of risk-based approach to analysis of industrial injuries. Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11th Conference of the Russian-German Raw Materials – 2018. 2019:507-514.
8. Khekert E.V., Lyutikova M.N. Neutral Buoyancy Power Systems for Marine Applications. *Lecture Notes in Electrical Engineering.* 2023; 971 LNEE:108-116. DOI: 10.1007/978-3-031-20631-3_12.
9. Semernik I.V., Khekert E.V., Bender O.V., Tarasenko A.A., Samonova C.V. Modeling of the Chaotic Signals Propagation Through a Wireless Underwater Optical Communication Channel. *Lecture Notes in Electrical Engineering.* 2023;971 LNEE:176-187. DOI: 10.1007/978-3-031-20631-3_19.
10. Malozyomov B.V., Martyushev N.V., Babyr N.V., Pogrebnoy A.V., Efremenkov E.A., Valuev D.V., Boltrushevich A.E. Modelling of Reliability Indicators of a Mining Plant. *Mathematics*. 2024;(12):2842. DOI: 10.3390/math12182842.
11. Konyukhov V.Yu., Konstantinova M.V., Gladkih A.M. Determination of restored units spectrum of equipment and development of the assembly unit repair method at industrial enterprises. *Journal of Physics: Conference Series.* 2019;1353(1):012047.
12. Batukhtin A.G., Kobylkin M.V., Rikker Y.O., Batukhtin S.G. Research and analysis of the low-temperature potential of heat networks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;791(1):012039.
13. Astrein V.V., Kondratyev S.I., Boran-Keshishyan A.L. Multicriteria assessment of optimal forecasting models in decision support systems to ensure the navigation safety. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2061(1):012108. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012108.
14. Antonov A.A., Studenikin D.E., Malakhov S.O., Kondratyev S.I., Khekert E.V. Algorithm for constructing a route to pass a narrow fairway. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2061(1):012116. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012116.
15. Pryalukhin A.F., Malozyomov B.V., Martyushev N.V., Daus Y.V., Konyukhov V.Yu., Oparina T.A., Dubrovin R.G. Simulation Modeling of Energy Efficiency of Electric Dump Truck Use Depending on the Operating Cycle. *World Electr. Veh. J.* 2025;(16):217. DOI: 10.3390/wevj16040217.
16. Rikker Y.O., Kobylkin M.V., Batukhtin A.G. Improving the efficiency of flue gas desulphurization of TPS. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;552(1):012024.
17. Afanaseva O.V., Bezyukov O.K., Ignatenko A.A. Method for assessing the relationship between the characteristics of vibroactivity and the design parameters of a marine diesel. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*. 2024;22(1):68-75. DOI: 10.24874/PES.SI.02.017.
18. Golik V.I., Klyuev R.V., Martyushev N.V., Kondratiev V.V., Tynchenko V.S., Gladkikh V.A., Iushkova L.V., Brigida V. Reuse and Mechanochemical Processing of Ore Dressing Tailings Used for Extracting Pb and Zn. *Materials*. 2023;(16):7004. DOI: 10.3390/ma16217004.
19. Kuandykov T.A., Karmanov T.D., Kuldeyev E.I., Yelemessov K.K., Kaliev B.Z. New technology of uncover the ore horizon by the method of in-situ leaching for uranium mining. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2022;2022(3):142-154. DOI: 10.32014/2022.2518-170X.186.
20. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Martyushev N.V., Klyuev R.V., Kukartsev V.V., Konyukhov V.Yu., Kononenko R.V., Gendon A.L., Oparina T.A. Radon Emanation and Dynamic Processes in Highly Dispersive Media. *Geosciences*. 2024;(14):102. DOI: 10.3390/geosciences14040102.

Authors Information

Asilyan L.V. – Senior Lecturer, Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Novorossiysk, 353924, Russian Federation, e-mail: liliyaasilyan95@bk.ru

Sevryugina N.S. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127434, Russian Federation, Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russian Federation, e-mail: nssevr@ yandex.ru

Apatenko A.S. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127434, Russian Federation, e-mail: a.apatenko@rgau-msa.ru

Masenko A.V. – Senior Lecturer of the Faculty of Energy of the I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russian Federation, e-mail: almasenko@yandex.ru

Grigoryan D.R. – Student of the Faculty of Energy of the I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russian Federation, e-mail: mcgc12@yandex.ru

Turayev Kh.A. – PhD., Associate Professor, Termez State University, Termez, 190100, Uzbekistan, e-mail: turayev@tersu.uz

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.04.2025
Поступила после рецензирования: 16.05.2025
Принята к публикации: 26.05.2025

Paper info

Received April 15, 2025
Reviewed May 16, 2025
Accepted May 26, 2025