



ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 519.876.5

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-178-186

Методика обеспечения эффективности сети передачи данных горнодобывающего предприятия

Охрименко А.Г.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: okhrimenko@bsu.edu.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке методики обеспечения эффективности сети передачи данных горнодобывающего предприятия как методологической основы построения программно-технического комплекса научно-технической поддержки профильных подразделений горнодобывающего предприятия, ответственных за эксплуатацию сети передачи данных. Методика позволяет определить оптимальные режимы работы сети передачи данных для текущего состояния объекта автоматизации и для прогнозных изменений как объекта автоматизации, так и технологий (стандартов) построения сети передачи данных. Программно-техническая реализация предлагаемой методики может эксплуатироваться в профильных подразделениях горнодобывающего предприятия, ответственных за эксплуатацию сети передачи данных, учебных и научных коллективах, связанных с проблематикой построения и анализа телекоммуникационных сетей, а также для производителей автоматизированных систем для горнодобывающих предприятий в качестве испытательного полигона.

Ключевые слова: горнодобывающее предприятие, открытый карьер, автоматизированная система, сеть передачи данных, подвижные объекты, радиоканал, имитационная модель

Для цитирования: Охрименко А.Г. 2022. Методика обеспечения эффективности сети передачи данных горнодобывающего предприятия. Экономика. Информатика, 49(1): 178–186. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-178-186

Methodology for Providing the Efficiency of the Data Network of a Mining Enterprise

Aleksandr G. Okhrimenko

Belgorod State National Research University

85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: okhrimenko@bsu.edu.ru

Abstract. The article is aimed at developing a methodology to improve the efficiency of the data network of the mining enterprise as a methodological basis for the design of the software and hardware complex of scientific and technical support of the specialized departments of the mining enterprise, responsible for the operation of the data network. The methodology allows to determine the optimal modes of operation of the data network for the current state of the automation object and for predictable changes of both the automation object and the technology (standards) of the data network. The structure of the data network of the mining enterprise is given. The general structure of the simulation model is given. Considered use cases for the proposed methodology to optimize data network operation modes, for detection of "bottlenecks" and for the selection of technology for the building and modernization of the data network. Software and hardware implementation of the proposed methodology can be operated in the profile departments of the mining enterprise, responsible for operating the data network, educational and research teams associated with



the problems of construction and analysis of telecommunications networks, as well as for manufacturers of automated systems for mining enterprises as a testing ground.

Keywords: mining enterprise, open quarry, automated system, data network, moving objects, radio channel, simulation model

For citation: Okhrimenko A.G. 2022. Methodology for Providing the Efficiency of the Data Network of a Mining Enterprise. Information technologies, 49(1): 178–186 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-178-186

Введение

Одним из направлений автоматизации горно-металлургического комплекса является внедрение автоматизированных систем (АС) поддержки производственных процессов горнодобывающих предприятий (ГДП) с открытым способом добычи полезных ископаемых. Большегрузные машины, топливные заправщики, буровые станки, экскаваторы и другие подвижные объекты в открытых карьерах активно оснащаются системами видеонаблюдения и оповещения, средствами оперативной диагностики качества горной породы, мониторинга технического состояния оборудования и физиологического состояния сотрудников, задействованных в опасных производственных процессах. В последнее время в карьерах проводятся попытки запуска линий беспилотного транспорта [Клебанов, 2015]. Внедрение новых информационных и автоматизированных систем повышает требования к обмену данными с подвижными объектами, а следовательно требования к эффективности сети передачи данных (СПД) ГДП.

Как правило [Клебанов, 2015; Трубецкой и др., 2007; Клебанова, 2016], обмен данными с подвижными объектами в карьере организуется посредством УКВ и транкинговой радиосвязи, сетей стандартов GSM, WiFi (Mesh) и 4G LTE. Работа радиопередатчиков в карьере, как в закрытом горном ущелье, сопровождается явлениями переотражения и многолучевого распространения радиоволн, что создает в карьере неоднородное электромагнитное поле с ярко выраженными зонами интерференции. Указанные особенности приводят к искажению структуры радиосигналов, возникновению ошибок приема пакетов и, как следствие, к снижению показателей качества СПД.

С другой стороны, производственная деятельность в карьере связана с перемещением участков проведения взрывных работ и выработки горной массы, с изменением состава рабочих смен и, как следствие, с изменениями количества задействованных сил и средств, маршрутов движения горного транспорта, что сказывается на изменениях местоположения радиосредств подвижных объектов, а следовательно, на перераспределении электромагнитного поля в карьере по сравнению с таковым на момент развертывания СПД и проведения испытаний по контрольным примерам. Кроме того, на эффективность функционирования СПД в карьере оказывает влияние окружающая среда – климатический пояс, время года и погодные условия в районе расположения карьера, диэлектрические и магнитные свойства горной породы, наличие и расположение на горизонтах водных источников. Очевидно, что на коротком временном промежутке проведения приемо-сдаточных испытаний охватить всевозможные условия эксплуатации СПД затруднительно. Больше информации в этом плане дает опытная эксплуатация, но в большой длительности которой часто не заинтересован поставщик (интегратор) решения СПД. Фактически после периода опытной эксплуатации профильные подразделения ГДП полностью несут бремя поддержания эффективности СПД.

Анализ эффективности функционирования СПД в открытых карьерах показывает, что ГДП постоянно сталкиваются с вопросом обеспечения эффективности работы СПД и принимают усилия по улучшению работы развернутой СПД вплоть до модернизации СПД со сменой стандартов её построения, например, переходя с WiFi Mesh на стандарт 4G LTE. Однако, простая замена одного стандарта построения СПД на другой с более широкими возможностями не гарантирует эффективной работы СПД в условиях открытого карьера в силу вышеуказанного непрерывного перераспределения электромагнитного поля. В профильных



подразделениях ГДП, ответственных за эксплуатацию СПД, отсутствуют специалисты научно-технического уровня для разрешения проблем эффективности работы, внедренной СПД в условиях непрерывного перераспределения электромагнитного поля в карьере. С другой стороны, отсутствуют независимые специалисты по внедрению и модернизации СПД, так как обмен опытом о внедрениях СПД происходит либо по линии партнерских ГДП, либо по линии поставщиков (интеграторов) решения СПД. В первом случае, частный опыт одного ГДП не может быть основой для тиражирования решения СПД для конкретного карьера с его особенностями, а во втором случае, поставщик (интегратор) решения СПД заинтересован в продаже имеющегося у него решения, которое часто не адаптировано для использования применительно к особенностям конкретного карьера. Поэтому, как на этапе внедрения СПД, так и на этапе жизнедеятельности СПД на протяжении жизненного цикла карьера профильные подразделения ГДП, ответственные за эксплуатацию СПД, нуждаются в обоснованной независимой научно-технической поддержке в лице предприятий-непоставщиков решений СПД и/либо научно-технических коллективов профильных вузов. Такая научно-техническая поддержка может быть основана на совокупности моделей СПД (цифрового двойника СПД) и системы поддержки принятия решения, реализованных в виде программно-технического комплекса для применения в профильных подразделениях ГДП. Для решения проблемы обеспечения эффективности СПД ГДП предлагается следующая методика, которую можно положить в основу функционирования программно-технического решения.

Методика обеспечения эффективности сети передачи данных

Суть методики

Методика обеспечения эффективности СПД ГДП состоит в:

1. разработке модели СПД ГДП;
2. оценке показателей качества СПД для возможных диапазонов изменения эксплуатационных параметров действующей СПД и окружающей среды;
3. определении режимов работы СПД для непротиворечивых наборов эксплуатационных параметров и параметров окружающей среды;
4. выработке рекомендаций по применению режимов работы в действующей СПД.

Этапы методики

Эффективность СПД ГДП достигается за счёт выполнения следующих этапов:

1. Анализа текущего состояния объекта автоматизации:
 - 1.1 3D конфигурации открытого карьера;
 - 1.2 расположения участков проведения взрывных работ и выработки горной массы;
 - 1.3 маршрутов движения подвижных объектов;
 - 1.4 состава, диэлектрических и магнитных свойств горной породы;
 - 1.5 размещения водных источников;
 - 1.6 источников и характеристик естественных и промышленных помех радиоприему.
2. Анализа действующей СПД:
 - 2.1 технологии (стандарта) построения;
 - 2.2 состава и характеристик оборудования;
 - 2.3 структуры СПД;
 - 2.4 типовых режимов работы;
 - 2.5 источников и потребителей трафика;
 - 2.6 параметров трафика;
 - 2.7 показателей качества работы СПД.
3. Анализа факторов, влияющих на показатели качества работы СПД:
 - 3.1 определение множества возможных влияющих факторов;

- 3.2 оценка степени влияния факторов на показатели качества СПД;
- 3.3 определение подмножества факторов, оказывающих существенное влияние на показатели качества СПД.
- 4 Разработка модели СПД.
- 5 Оценка показателей качества модели СПД для типовых режимов работы СПД и параметров окружающей среды.
- 6 Калибровка модели СПД для типовых режимов работы СПД по критерию соответствия качества модели СПД качеству действующей СПД.
- 7 Определение оптимальных режимов работы на модели СПД.
- 8 Выработка рекомендаций по применению оптимальных режимов работы в действующей СПД.
- 9 Сравнительный анализ показателей качества модели и действующей СПД для оптимальных режимов работы.
- 10 Повторение п. 6–9 для достижения соответствия показателей качества модели СПД показателям качества действующей СПД.
- 11 Управление оптимальными режимами работы на действующей СПД.
- 12 Повторение п. 1–11 для прогнозных оценок:
 - 12.1 изменения 3D конфигурации карьера;
 - 12.2 изменения производственных участков;
 - 12.3 изменения привлекаемых сил и средств;
 - 12.4 изменения маршрутов движения горного транспорта;
 - 12.5 изменения параметров окружающей среды;
 - 12.6 технологий (стандартов), структуры, состава построения СПД.

Вышеприведенная методика представлена 2 частями: 1) для текущего состояния объекта автоматизации и 2) для прогнозного состояния этого объекта автоматизации, что позволяет организовать процесс адаптации СПД ГДП к изменениям, которые будут происходить на жизненном цикле открытого карьера. Производственные параметры объекта автоматизации имеют некое управляющее воздействие на электромагнитные параметры карьера, которое описывается сложной функцией, поэтому прямой расчёт электромагнитного поля, создаваемого радиопередатчиками в объеме карьера, представляет собой сложную задачу, решение которой целесообразно заменить учётом влияния объекта автоматизации на сигнально-помеховую обстановку в карьере, воздействующую на радиоприемные устройства СПД.

Структура сети передачи данных

В состав СПД ГДП входит бортовое оборудование подвижных объектов с передающей и приемной радиоаппаратурой, точки радиодоступа (базовые станции) сети доступа, собственно сеть доступа, пограничные маршрутизаторы сети предприятия и сама сеть предприятия, в которой размещены сервера АС и потребители данных от подвижных объектов (рис. 1). Обмен данными с подвижными объектами организуется посредством радиоканалов. Передача данных в сети доступа может быть организована как посредством радиоканалов, так и, частично, проводных (оптических) линий связи. Обмен данных в сети предприятия, как правило, организуется по проводным (оптическим) линиям связи.

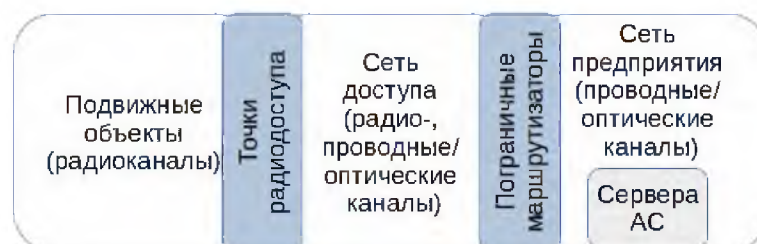


Рис. 1. Структура сети передачи данных горнодобывающего предприятия

Fig. 1. The structure of the data network of the mining enterprise



Анализ представленной структуры показывает, что неблагоприятному воздействию естественных и промышленных помех подвергаются радиоканалы подвижных объектов и узлов сети доступа, включая точки доступа (базовые станции). Неблагоприятное воздействие факторов, влияющее на изменение электромагнитного поля в объеме карьера, целесообразно учитывать в характеристиках сигнально-помеховой обстановки, воздействующих на радиоканалы, например, в уровнях битовых ошибок [Okhrimenko, 2021].

Модель сети передачи данных

Существенную трудность в реализации предложенной методики представляет разработка модели СПД. В [Okhrimenko, 2021] показано, что для открытого карьера разработка аналитической модели СПД представляет собой сложную научную задачу в силу сложности аналитического описания сигнально-помеховой обстановки в карьере и предлагается использовать метод имитационного моделирования [Шеннон, 1978] для построения имитационной модели СПД, учитывающей существенные факторы, влияющие на эффективность работы СПД. В [Okhrimenko, 2021] предложена простейшая имитационная модель СПД и проведена оценка показателей качества обмена данными с подвижными объектами и серверами АС ГДП для типового варианта рабочей смены.

Разработка имитационной модели СПД может быть начата с анализа существующей СПД ГДП, либо СПД иного ГДП со сходными параметрами объекта автоматизации. Для этого необходимо представить описание СПД ГДП ω в виде схем, таблиц экспериментальных и эксплуатационных данных, таблиц режимов работы и настроек $\theta^T = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L]$, данных окружающей среды $\zeta^T = [\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_K]$ в виде полной (начальной) моделью СПД $\mu(\alpha)$, где $\alpha^T = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N]$ – параметры модели. Начальная модель СПД $\mu(\alpha)$ при определенных условиях представима упрощенной моделью $\mu^*(\alpha^*)$, где $\alpha^{*T} = [\alpha^*_1, \alpha^*_2, \dots, \alpha^*_{N^*}]$ – параметры упрощенной модели, которая в свою очередь может быть представлена совокупность следующих моделей [Okhrimenko, 2021]:

1. модели подвижного объекта $\mu^*_{\text{по}}(\alpha^*_{\text{по}})$, где $\alpha^*_{\text{по}}$ – параметры модели подвижного объекта;
2. модели радиоканала $\mu^*_{\text{рк}}(\alpha^*_{\text{рк}})$, где $\alpha^*_{\text{рк}}$ – параметры модели радиоканала;
3. модели сигнально-помеховой обстановки $\mu^*_{\text{спо}}(\alpha^*_{\text{спо}})$, где $\alpha^*_{\text{спо}}$ – параметры модели сигнально-помеховой обстановки;
4. модели сети доступа $\mu^*_{\text{сд}}(\alpha^*_{\text{сд}})$, где $\alpha^*_{\text{сд}}$ – параметры модели сети доступа;
5. модели узла (сервера) АС $\mu^*_{\text{с}}(\alpha^*_{\text{с}})$, где $\alpha^*_{\text{с}}$ – параметры модели узла (сервера) АС;
6. модели сети предприятия $\mu^*_{\text{сп}}(\alpha^*_{\text{сп}})$, где $\alpha^*_{\text{сп}}$ – параметры модели сети предприятия.

Показано [Okhrimenko, 2021], что показатели качества функционирования СПД ГДП $Q_{\omega}(\theta, \zeta)$ представимы соответствующими показателями качества модели СПД $Q_{\mu^*}(\theta, \zeta)$, что позволяет применить рациональные предположения и допущения относительно СПД ГДП при разработке имитационной модели СПД и её упрощении.

Калибровка модели сети передачи данных

Для обеспечения непротиворечивости оценок показателей качества СПД необходима калибровка модели СПД, которая должна происходить на объекте автоматизации с учётом реальных производственных параметров и параметров окружающей среды. Схема калибровки модели СПД приведена на рис. 2.

Имитационная модель СПД будет считаться откалиброванной при условии соответствия показателей качества модели СПД $Q_{\mu^*}(\theta, \zeta)$ показателям качества действующей СПД $Q_{\omega}(\theta, \zeta)$ при условии равенности режимов работы и параметров окружающей среды как для модели, так и для реальной СПД. Возможна калибровка модели СПД для непересекающихся

подмножеств, на которые возможно разбить множество параметров СПД θ и параметров окружающей среды ζ .

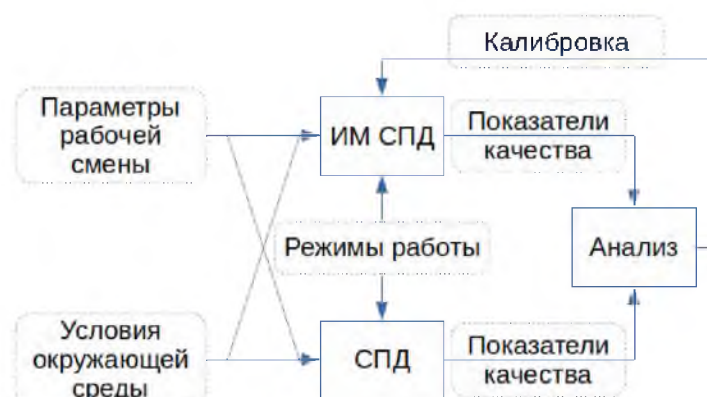


Рис. 2. Калибровка имитационной модели (ИМ) СПД
Fig. 2. Calibrating the data network simulation model

Варианты использования методики обеспечения эффективности СПД ГДП

В [Okhrimenko et al., 2021] предложены некоторые направления применения имитационной модели СПД как для профильных подразделений ГДП, так и для производителей АС для ГДП. Уточним предложенные направления в виде вариантов использования модели СПД в профильных подразделениях ГДП с учётом разработанной методики:

1. Вариант использования «Оптимизация режимов работы СПД» (рис. 3).



Рис. 3. Оптимизация режимов работы СПД с помощью имитационной модели (ИМ)
Fig. 3. Optimization of data network operation modes using a simulation model

В данном варианте использования определяются показатели качества имитационной модели СПД для различных комбинаций производственных параметров и параметров окружающей среды, типичных для данного ГДП. Производится анализ полученных показателей качества для каждого режима работы СПД и производится отбор наиболее подходящих режимов работы СПД по заданным критериям. Создается банк данных оптимальных параметров режимов работы СПД с инструкциями по действиям сотрудников профильных подразделений ГДП. Режимы работы СПД с оптимизированными параметрами фактически для заданных условий эксплуатации являются штатными режимами работы СПД.

2. Вариант использования «Обнаружение «узких мест» СПД» (рис. 4).

Представляет особый интерес определение поведения СПД в условиях внештатных режимов работы, которые могут возникать вследствие отказов узлов СПД, воздействия техногенных и природных факторов, которые не типичны для обычных условий эксплуатации СПД. Как правило, переход СПД во внештатный режим работы является неожиданным как для сотрудников эксплуатирующих СПД, так и для персонала и узлов АС, использующих СПД. Поэтому имитация работы СПД в аварийных ситуациях позволит оценить граничные

возможности СПД, повысить осведомленность и стрессоустойчивость сотрудников ГДП по действиям в нетипичных ситуациях.

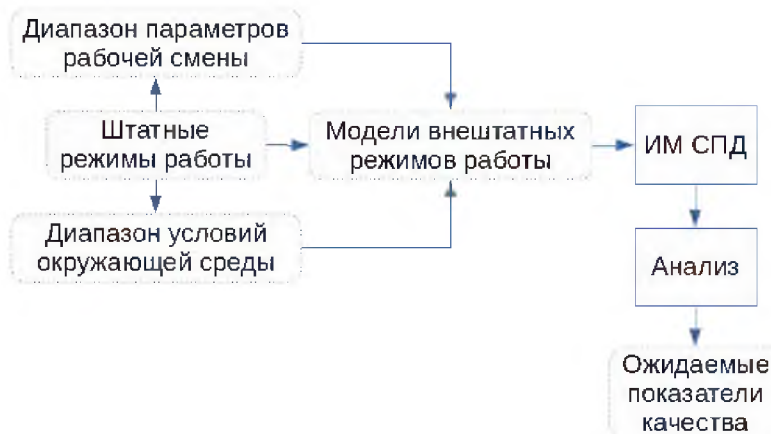


Рис. 4. Процесс обнаружения «узких мест» СПД
Fig. 4. Data network bottleneck detection process

3. Вариант использования «Подбор технологий построения/модернизации СПД» (рис. 5).

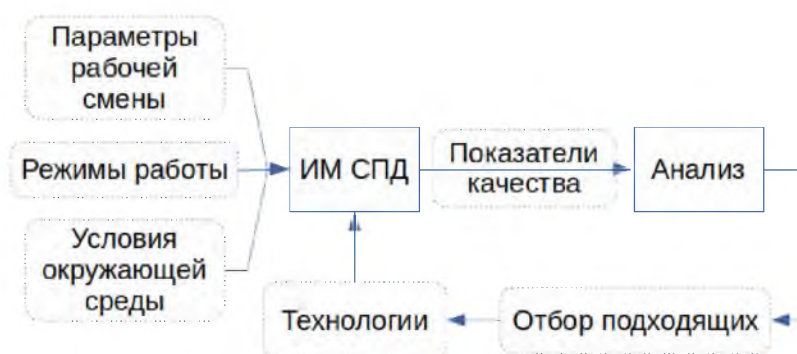


Рис. 5. Процесс подбора технологии построения/модернизации СПД
Fig. 5. The process of selecting technology for building and modernizing the data network

В данном варианте использования для прогнозируемых изменений параметров объекта автоматизации определяются показатели качества имитационных моделей СПД, соответствующих различным технологиям построения СПД, например, WiFi, WiFi Mesh, 4G LTE, Mobile Ad Hoc. На основе сравнительного анализа подбирается такая технология построения СПД, показатели качества которой будут обеспечивать эффективное функционирование информационных и автоматизированных систем объекта автоматизации. В результате такого использования методики сотрудники профильных подразделений СПД получают необходимые знания и ожидаемые оценки эффективности СПД для рационального выбора направлений построения/модернизации СПД.

Разработанная методика не ограничивается вышеприведенными вариантами использования и может использоваться учебными и научными коллективами, связанными с проблематикой построения и анализа телекоммуникационных сетей, для построения виртуальных лабораторий, а также производителями АС ГДП для построения испытательных полигонов для проведения интеграционных испытаний программно-технических комплексов. Вариант реализации имитационной модели СПД для ГДП с помощью дискретного имитатора NS-3 [NS-3, 2021] с вариацией типовых параметров рабочей смены приведен в [Охрименко, 2021].



Заключение

Обеспечение эффективности работы СПД ГДП является актуальной задачей на всем жизненном цикле объекта автоматизации – открытого карьера. Для решения задачи обеспечения эффективности работы СПД ГДП в постоянно меняющихся условиях работы радиоборудования подвижных объектов предложена методика обеспечения эффективности СПД ГДП, которая позволяет определить оптимальные режимы работы СПД как для текущего состояния объекта автоматизации, так и для прогнозных изменений и объекта автоматизации, и технологий (стандартов) построения СПД. Разработанная методика обеспечения эффективности работы СПД ГДП может стать основой построения программно-технического комплекса научно-технической поддержки профильных подразделений ГДП. Внедрение и эксплуатация такого программно-технического комплекса позволит профильным подразделениям ГДП обеспечить эффективную эксплуатацию СПД в постоянно изменяющихся условиях жизнедеятельности объекта автоматизации, повысить осведомленность сотрудников по действиям в штатных и внештатных случаях, а также изучить возможности различных технологий (стандартов) построения СПД (без покупки таковых), что снизит издержки ГДП при модернизации СПД. Указанный подход позволит научно обосновать требования к СПД для конкретного карьера, провести сравнительный анализ доступных на рынке технологий построения СПД (без покупки таковых) для типовых условий эксплуатации и внештатных случаев, подобрать приемлемые для построения/модернизации технологии, а также разработать и испытать новые технологий построения СПД; предоставить требования к СПД для предприятий-производителей СПД в виде апробированных моделей.

Список литературы

- Клебанов Д.А. 2015. Разработка технико-технологических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва: Институт проблем комплексного освоения недр российской академии наук, 145.
- Клебанова И.В. 2016. Применение систем радиосвязи для оперативного управления горнотранспортными комплексами в карьерах. Труды МАИ. Вып. № 89. Available at: http://trudymai.ru/upload/iblock/fb4/klebanova_rus.pdf (date of the application: 21.12.2021).
- Охрименко А.Г. 2021. Имитационная модель сети передачи данных горнодобывающего предприятия. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021680002, 06.12.2021. Заявка № 2021669660 от 03.12.2021 г.
- Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. 2007. Современные системы управления горнотранспортными комплексами / Под ред. акад. РАН К.Н. Трубецкого. СПб: Наука, 306.
- Шеннон Р. 1978. Имитационное моделирование систем – искусство и наука: Пер. с англ. Издательство «Мир», 424.
- NS-3. 2021. Available at: <https://www.nsnam.org/> (date of the application: 21.12.2021).
- Okhrimenko A.G. 2021. Data Network Simulation Model of a Mining Enterprise. 2021 IEEE 15th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), 13-15 October 2021, Baku, Azerbaijan. DOI: 10.1109/AICT52784.2021.9620267.
- Okhrimenko A.G., Lazarev S.A., Polshchykov K.A., Rubcov K.A., Kiselev V.E. 2021. Simulation model of the data transmission system as a means of increasing the efficiency of the automated control system of the mining and transportation complex. Semnan University International Journal of Nonlinear Analysis and Applications (IJNAA). Articles in Press. DOI: 10.22075/ijnaa.2021.25015.2885.

References

- Klebanov D.A. 2015. Development of technical and technological solutions for the creation and application of robotic cargo transportation systems in open-pit mining. Dissertations for the degree of Candidate of Technical Sciences. Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS. (In Russian)



- Klebanova I.V. 2016. Application of radio communication systems for operational management of mining and transport complexes in quarries. Proceedings of the MAI, 89. Available at: http://trudymai.ru/upload/iblock/fb4/klebanova_rus.pdf (date of the application: 21.12.2021). (In Russian)
- Okhrimenko A.G., Lazarev S.A., Polshchikov K.A., Rubcov K.A., Kiselev V.E. 2021. Simulation model of the data transmission system as a means of increasing the efficiency of the automated control system of the mining and transportation complex. Semnan University International Journal of Nonlinear Analysis and Applications (IJNAA). Articles in Press. DOI: 10.22075/ijnaa.2021.25015.2885. (In Russian)
- Trubetskoy K.N., Kuleshov A.A., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya. 2007. Modern management systems of mining and transport complexes. Saint Petersburg: Nauka, 306. (In Russian)
- Robert E. Shannon. 1978. Systems Simulation: The Art and Science. Trans. from English. Mir Publishing House. (In Russian)
- NS-3. 2021. Available at: <https://www.nsnam.org/> (date of the application: 21.12.2021).
- Okhrimenko A.G. 2021. Data Network Simulation Model of a Mining Enterprise. 2021 IEEE 15th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), 13-15 October 2021, Baku, Azerbaijan. DOI: 10.1109/AICT52784.2021.9620267.
- Okhrimenko A.G. 2021. Data Network Simulation Model of a Mining Enterprise. Registration certificate RU 2021680002, 06.12.2021. Application No. 2021669660 dated 03.12.2021.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Охрименко Александр Григорьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник учебно-научной лаборатории информационно-измерительных и управляющих комплексов и систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Alexander G. Okhrimenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Educational and Scientific Laboratory of Information-Measuring and Control Complexes and Systems, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia