

Воронова Элеонора Юрьевна¹, доктор техн. наук, доцент, **Хазанович Григорий Шнеерович²**, доктор техн. наук, профессор

¹ Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова, 346500, Россия, г. Шахты, пл. Ленина, 1

² Донской государственный технический университет, 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, Площадь Гагарина, 1

E-mail: eleonora_sam_ti@mail.ru

МЕТОДОЛОГИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ АГРЕГАТИРОВАННЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ СИСТЕМ

***Аннотация:** Для эффективного параметрического синтеза агрегатированных проходческих систем (АПС) необходимо формирование общих методических подходов к выбору их оптимальных параметров. Общая методология параметрического синтеза АПС определяет последовательность процедур постановки и решения задачи получения экстремума целевой функции с учетом многофункциональной структуры, характерной для агрегатированных вариантов проходческих систем. Последовательность процедур параметрического синтеза представлена в виде укрупненного алгоритма итеративного процесса выбора оптимальных параметров АПС с произвольной структурой. Сложность решаемой задачи заключается в том, что к подсистемам или элементам, используемым в нескольких процессах, могут предъявляться различные требования со стороны взаимодействующих с ними элементов. Целевые функции отдельных подсистем (модулей) не должны противоречить целевой функции всей АПС, даже при отличиях систем ограничений. АПС представлены как совокупность конструктивно-технологических модулей, объединенных в единую схему кинематического взаимодействия структурных элементов. Это обуславливает возможность учета технологических и конструктивных особенностей АПС, а также определения их базовых энергетических ограничений уже на начальных этапах итеративного процесса оптимизации. Представление АПС в таком виде дает возможность формализации целевых функций структурных элементов (модулей) АПС, обоснования геометрических, кинематических, энергетических и силовых ограничений, а также позволяет сформировать конкретный порядок процедур по оптимизации параметров каждого из модулей и АПС в целом.*

***Ключевые слова:** агрегатированная проходческая система, структурный синтез, параметрический синтез, оптимизация параметров, производительность, системный подход, методология исследования операций.*

***Информация о статье:** принята 12 октября 2020 г.*

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-16-21

Вводные положения

Разработка агрегатированных проходческих систем (АПС), называемых также комплексами, является одним из перспективных направлений развития горнопроходческого оборудования [1]. Однако, до настоящего времени методы определения их оптимальных параметров не получили достаточного развития. Тем не менее, задача выбора оптимальных параметров горнопроходческого оборудования, в том числе агрегатированного, является весьма актуальной для современного горного машиностроения. Для эффективного параметрического синтеза АПС необходимо формирование общих методических подходов к выбору их оптимальных параметров с апробацией на конкретных примерах.

Параметрическая оптимизация является одной из составных частей общей методологии структурно-параметрического синтеза технических решений. В исследованиях, посвященных оптимизации параметров горно-шахтного оборудования [2-12] и,

в том числе, горнопроходческого оборудования [13], в различной степени используется принцип системного подхода и математический аппарат исследования операций [14-16].

Цель исследования операций заключается в достижении оптимального решения, обеспечивающего получение экстремума целевой функции при научно-обоснованной системе ограничений. Методические особенности науки исследования операций, учитываемые при выборе параметров горнопроходческих комплексов, заключаются в следующем. Во-первых, в необходимости последовательного выполнения основных этапов исследования: выбор целевой функции; обоснование системы ограничений; разработка математических моделей рассматриваемого процесса с определением необходимой информации к ним; получение и анализ оптимального решения. Во-вторых, в обязательном применении основополагающих принципов системного подхода, заключающихся в необходимости учета

изменения работы системы при воздействии на ее элементы. Для этого нужно выявить существенные внутрисистемные связи, которые могут быть затронуты при выборе конкретного технического решения АПС.

Постановка и решение задач параметрического синтеза АПС

При выполнении приведенной последовательности основных этапов, оптимизация параметров АПС имеет характер типовой задачи. Однако при детальном рассмотрении выявляются существенные особенности:

1. Проектирование АПС выполняется для определенной области применения, без конкретизации которой невозможно выбрать оптимальные параметры. Противоречивость ситуации заключается в том, что для поиска оптимальных параметров АПС нужно знать область ее применения, которая, в свою очередь, зависит от параметров АПС. Для решения такой задачи целесообразно использовать метод последовательных приближений (итераций): назначаются требуемые условия применения АПС; выполняется оптимизация параметров (1-й цикл); для полученных параметров уточняются возможные условия применения; в случае их несоответствия требуемым, условия применения уточняются, и производится оптимизация в измененных условиях (2-й цикл) и так до тех пор, пока возможные условия не придут в соответствие требуемым условиям (рисунок 1).

2. Важнейшая особенность АПС заключается в их многофункциональной структуре. Любая АПС имеет несколько взаимосвязанных частей, выполняющих одну или несколько функций. АПС отличаются различными конструктивными исполнениями и условиями взаимодействия технологических модулей (подсистем). В отличие от индивидуальных горных машин (бурильных, погружных и т.д.), оптимизация параметров АПС должна осуществляться как для всей системы целиком, так и отдельно для каждого элемента – базового, промежуточного, функционального [1]. Следует отметить, что глобальная целевая

функция всей АПС должна показывать эффективность системы на выходе. При этом целевые функции отдельных подсистем не должны противоречить друг другу и АПС в целом. К подсистемам или элементам, используемым в нескольких процессах, могут предъявляться различные требования со стороны взаимодействующих с ними элементов. В качестве глобальной целевой функции АПС может быть принята производительность системы, удельные затраты или удельная энергоемкость. Аналогичными могут быть целевые функции отдельных подсистем (модулей), их экстремумы не будут противоречить глобальной функции цели, однако системы ограничений будут отличаться. Энерговооруженность модулей также будет различной.

Общий методический подход к постановке и решению задачи параметрического синтеза АПС

С учетом перечисленных особенностей разработан общий методический подход к постановке и решению задачи параметрического синтеза АПС. Он представлен в виде укрупненного алгоритма итеративного процесса выбора оптимальных параметров

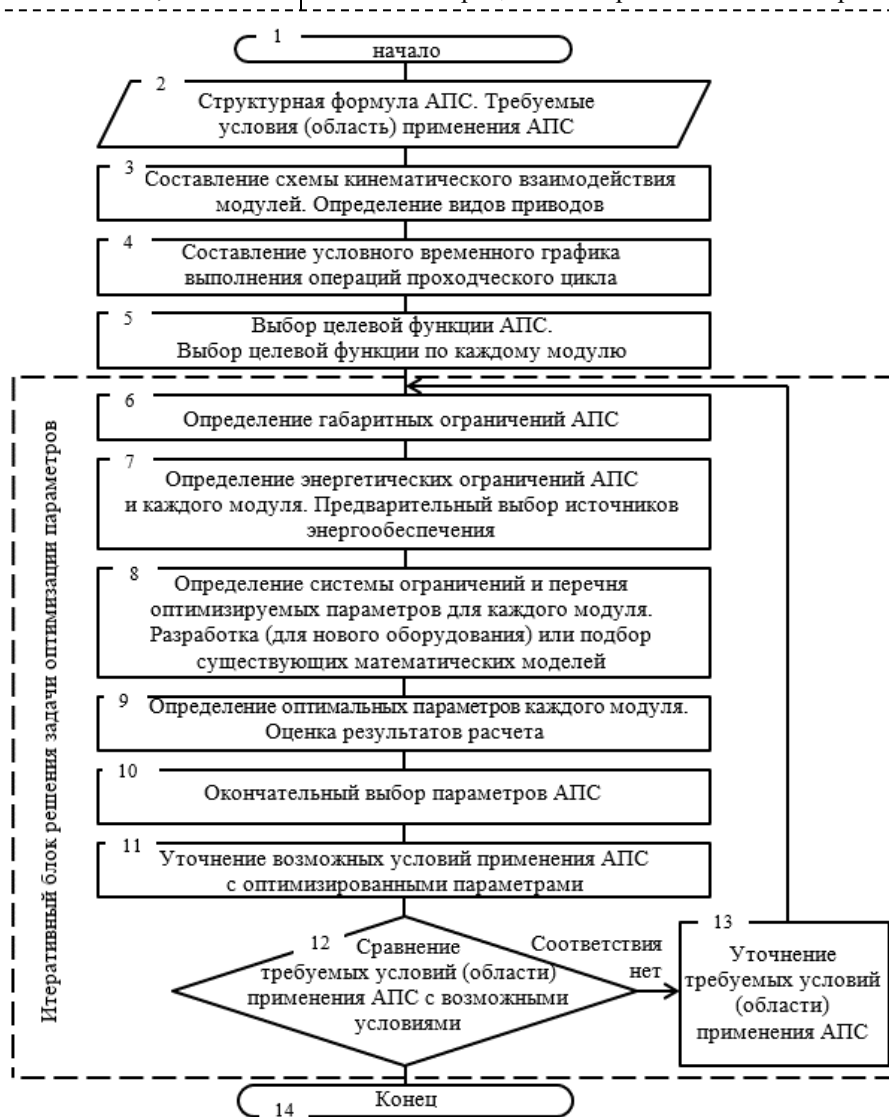


Рис. 1. Укрупненный алгоритм итеративного процесса выбора оптимальных параметров АПС с произвольной структурой
 Fig. 1. Algorithm of the iterative process of the selection of optimal parameters of ATS with free structure

АПС (рисунок 1). Далее рассмотрим содержание каждого блока алгоритма с необходимым обоснованием.

Блок 1. Начало процесса.

Блок 2. Ввод исходных данных: структурная формула АПС, выбранная на основе результатов структурного синтеза [1] и представляющая АПС как совокупность взаимосвязанных структурных элементов, выполняющих разрушение забоя, погрузку и транспортирование горной массы, временное и постоянное крепление выработки и технологические перемещения оборудования; требуемые условия (область) применения АПС, назначенные заказчиком.

Блок 3. Составление (на основе структурной формулы) схемы кинематического взаимодействия (СКВ) структурных элементов. В ней каждый структурный элемент представляется как конструктивно-технологический модуль, с указанием реализуемой им функции, исполнительного органа и вида привода его рабочих перемещений (единый привод, обеспечивающий энергией всю АПС; индивидуальный привод отдельных исполнительных органов; групповой привод нескольких исполнительных органов). СКВ необходима для конкретизации

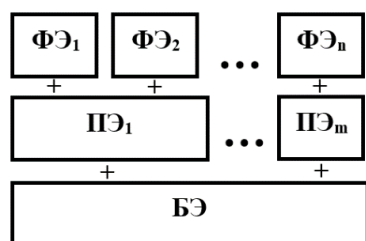


Рис. 2. Обобщенная структура АПС в виде структурной формулы при наличии кинематических связей: n – число видов ФЭ; m – число ПЭ; «+» – кинематическая связь

Fig. 2. Structure of ATS in the form of a structural formula in the presence of kinematic relations: n – the number of types of functional element; m – the number of an intermediate element; “+” – kinematic connection

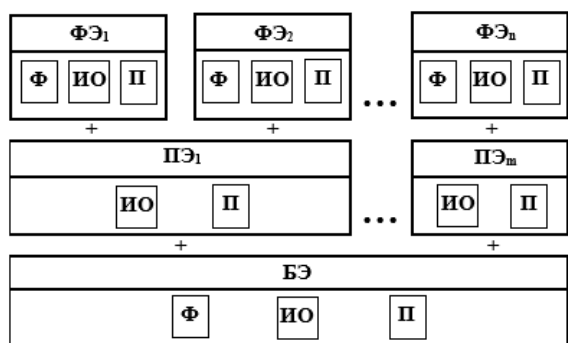


Рис. 3. Обобщенная схема кинематического взаимодействия модулей АПС: В – выполняемая функция; ИО – исполнительный орган; П – вид привода

Fig. 3. Generalized model of kinematic interaction of ATS modules: В – executing function; ИО – executing element; П – drive type

объектов параметрической оптимизации. На рисунке 2 показана обобщенная структурная формула АПС [1], а на рисунке 3 – обобщенная СКВ, основанная на обобщенной структурной формуле. В них под промежуточным элементом (ПЭ) понимается устройство, выполняющее единственную функцию – перемещение функциональных элементов (ФЭ) относительно базового элемента (БЭ), который, в свою очередь, перемещает всю АПС относительно выработки. Поэтому для ПЭ выполняемые ими функции в СКВ не указываются.

Блок 4. Составление условного временного графика выполнения операций проходческого цикла, отражающего последовательность и возможное совмещение операций. Это необходимо для установления условной доли производительности АПС, создаваемой каждым модулем, а также для выбора целевых функций каждого модуля.

Блок 5. Выбор глобальной целевой функции АПС и целевых функций конструктивно-технологических модулей. Об этом уже было сказано ранее, при описании второй особенности оптимизации параметров АПС.

Блоки с 6 по 14 относятся к итеративной части процесса, суть которой изложена при описании первой особенности параметрической оптимизации АПС.

Блок 6. Определение общих габаритных ограничений всей АПС, необходимых для беспрепятственного размещения комплекса в требуемом диапазоне поперечных сечений горных выработок.

Блок 7. Определение энергетических ограничений, т.е. предельной энерговооруженности всей АПС в целом и ее отдельных модулей на основе видов приводов, определенных ранее при составлении СКВ (блок 3). В этом же блоке осуществляется предварительный выбор источников энергообеспечения (двигателей, насосных станций) из выпускаемых промышленностью моделей, поскольку именно энерговооруженность в наибольшей степени обуславливает возможность достижения максимальных значений производительности и других показателей качества.

Блок 8. Исходя из конструктивно-технологических особенностей АПС, целевых функций и базовых ограничений, выбранных в блоках 5-7, для каждого модуля осуществляется определение ограничений следующих групп: геометрических, необходимых для беспрепятственного выполнения оборудованием своих функций, например, бурения шпуров, погрузки горной массы и т.д.; кинематических, лимитирующих, например, допустимые линейные скорости перемещения рабочих органов и других структурных элементов; силовых, устанавливающих предельные усилия, которые допустимо развивать в механизмах; энергетические, определяющие недопустимость превышения установленной мощности двигателей с учетом режима их работы.

Параметры, входящие в систему ограничений и оказывающие влияние на значение целевой функции, зачастую являются объектами оптимизации. Процедура определения перечня оптимизируемых параметров требует знания закономерностей

рабочих процессов, которые реализуются в каждом модуле. Поэтому подготовка к данной процедуре должна включать либо разработку математических моделей рабочих процессов (для нового оборудования), либо поиск и анализ известных математических моделей (для существующего оборудования) с определением необходимой информации к ним, в том числе пределов варьирования факторов, обоснования вариантов их сочетаний и т.д.

Блок 9. Процедура определения оптимальных параметров модулей включает: составление плана вычислительного эксперимента (если исследуется новое оборудование); разработка (использование существующей) программы расчета показателей работы по каждому модулю, например, производительности транспортирования горной массы, продолжительности работ по бурению шпуров, нагрузок, мощности и т.д.; выполнение расчета и оценка его результатов, определение остаточных ресурсов и, при необходимости, корректировка плана вычислительного эксперимента.

Блок 10. На основе полученных в блоке 9 оптимальных параметров модулей производится окончательный выбор параметров АПС в целом.

Блок 11. Для выбранных параметров уточняются возможные условия применения АПС. Они могут оказаться шире или уже требуемой области применения.

Блок 12. Сравнение требуемых условий (области) применения АПС с возможными условиями, соответствующими полученным оптимальным параметрам. В случае, когда полученные условия соответствуют требуемым, дополнительного итеративного цикла не требуется и решение задачи оптимизации завершается блоком 14.

Если такого соответствия нет, то переходят к блоку 13, в котором происходит уточнение требуемых условий (области) применения АПС. Лицом, принимающим решение, как правило, является заказчик. В случае, когда полученные возможные условия применения АПС устраивают заказчика, процесс оптимизации параметров завершен. В противном случае, заказчик либо корректирует требуемые условия, приближая их, по возможности, к полученным, либо оставляет их без изменений. И в том, и в другом случае, процесс возвращается к блоку 6 и повторяется до тех пор, пока условия применения комплекса не будут соответствовать требуемым

Вывод

1. На основе принципов системного подхода и математического аппарата исследования операций разработана общая методология синтеза параметров АПС, которая включает последовательность процедур по постановке и решению задачи достижения экстремального значения целевой функции с учетом многофункциональной структуры, характерной для агрегатированных вариантов проходческих систем.

2. АПС представлены как совокупность конструктивно-технологических модулей. Это обуславливает возможность учета их технологических и конструктивных особенностей, а также определения их базовых энергетических ограничений уже на

начальных этапах итеративного процесса оптимизации. Представление АПС в таком виде дает возможность формализации целевых функций структурных элементов (модулей) АПС, обоснования геометрических, кинематических, энергетических и силовых ограничений, а также позволяет сформировать конкретный порядок процедур по оптимизации параметров каждого из модулей и АПС в целом для любой возможной структуры АПС и конкретных заданных условий ее эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронова Э.Ю. Структурный синтез агрегатированных проходческих систем // Горное оборудование и электромеханика. 2013. №1. С. 32-39.
2. Вержанский А.П., Набатников Ю.Ф., Островский М.С., Радкевич Я.М. Влияние вибраций на надежность горных машин // Горный журнал. 2018. № 4. С. 66-71.
3. Набатников Ю.Ф. Связь ресурса гидравлических стоек механизированных крепей с точностью соединений и технологический метод их обеспечения // Горный журнал. 2018. № 6. С. 84-87.
4. Вартанов М.В., Мнацаканян В.У. Оценка технологичности горных машин: алгоритмическое и программное обеспечение // Горный журнал. 2018. № 1. С. 68-72.
5. Novoseltseva M.V., Masson I.A., Pashkov E.N. Investigation of input signal curve effect on formed pulse of hydraulic-powered pulse machine // Conf. Proc. of "International Scientific and Practical Conference on Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering". 2016. p. 012007.
6. Novoseltseva M.V., Pashkov E.N., Masson I.A. Mathematical simulation of hydraulic power pulse machine at Matlab // Key Engineering Materials. 2016. vol. 685. pp. 240-243.
7. Lyubchenko A., Maystrenko V.A., Shiler A., Kopytov E.Y. Computer-aided analysis of reliability and preventive maintenance optimization of radio communication equipment based on multivariate monte carlo simulation // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON 2017). 2017. p. 7998459.
8. Габов В.В., Нгуен К.Л., Нгуен В.С., Ле Т.Б., Задков Д.А. Обоснование геометрических и режимных параметров шнековых исполнительных органов, обеспечивающих эффективность погрузки угля на забойный конвейер // Уголь. 2018. №2. С.32-35.
9. Gabov V.V., Zadkov D.A., Stebnev A.V. Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control // Eurasian mining. 2016. №2. pp. 37 - 40.
10. Bao J.S., Yang S., Ge S.R., Han P.X., Yin Y. Dynamic performance of an underground trackless rubber tyred vehicle driven by flameproof diesel engine // Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette. 2017. Vol. 24. pp. 279-286.
11. Jiang S. B., Zeng Q. L., Wang G., Gao K. D., Wang Q. Y., Hidenori K. Contact Analysis of Chain Drive in Scraper Conveyor Based on Dynamic Meshing

Properties // International Journal of Simulation Modelling. 2018. №17(1). pp.81-91.

12. Herbuś K, Szwedra K, Świder J. Virtual prototyping of the suspended monorail in the aspect of increasing the permissible travel speed in hard coal mines // Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. 2020. №22(4), pp. 610–619.

13. Khazanovich G.S., Voronova E.Yu., Otrokov A.V. Simulation of the performance formation process of the loader with wedge-like working elements as a part of the blast and bulk tunneling complex // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. pp. 457-464.

14. Вентцель Е.С. Исследование операций: Задачи, принципы, методология. - М.: Изд-во «Дрофа», 2006. – 208 с.

15. Zwicky F. Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach. New York: McMillan, 1969. 276 p.

16. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. - М., 1969. // Электронная публикация: Центр гуманитарных технологий. URL: <https://gtmarket.ru/laboratory/basis/5775>

Eleonora Y. Voronova¹, Dr. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Gregory Sh. Khazanovich**², C. Sc. in Engineering, Professor

¹ Shakhty automobile and road construction institute (branch) of Platov SRSPU(NPI), 346500, Russia, Shakhty, Lenin Square 1

² Don State Technical University, 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square 1

METHODOLOGY FOR PARAMETRIC OPTIMIZATION OF AGGREGATED TUNNELING SYSTEMS

Abstract: For effective parametric synthesis of aggregated tunneling systems (ATS), it is necessary to form General methodological approaches to the selection of their optimal parameters. The General methodology of parametric synthesis of ATS determines the sequence of procedures for setting and solving the problem of obtaining the extremum of the objective function, taking into account the multifunctional structure characteristic of aggregated variants of tunneling systems. The sequence of parametric synthesis procedures is presented as an enlarged algorithm for the iterative process of selecting the optimal parameters of ATS with an arbitrary structure. The complexity of the problem is that subsystems or elements used in several processes may have different requirements from the elements interacting with them. The target functions of individual subsystems (modules) should not contradict the target function of the entire ATS, even if the restriction systems differ. ATS are presented as a set of structural and technological modules United in a single scheme of kinematic interaction of structural elements. This makes it possible to take into account the technological and design features of ATS, as well as to determine their basic energy limitations at the initial stages of the iterative optimization process. Representation of the ATS in this form makes it possible to formalize the objective functions of the structural elements (modules) of the ATS, substantiate geometric, kinematic, energy and force constraints, and allows you to form a specific order of procedures for optimizing the parameters of each of the modules and the ATS as a whole.

Keywords: aggregated tunneling system, structural synthesis; parametric synthesis, parameters parameter optimization, productivity, system approach, methodology of operations research.

Article info: received October 12, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-16-21

REFERENCES

1. Voronova E.Y. Structural synthesis the aggregated tunneling systems. Mining Equipment and Electromechanics, 2013, No.1, pp. 32-39.

2. Verzhansky A. P., Nabatnikov Yu. F., Ostrovsky M. S., Radkevich Ya. M. The influence of vibrations on the reliability of mining machines. Gornyi Zhurnal, 2018, No.4, pp. 66-71.

3. Nabatnikov Yu. F. The relation of a resource of hydraulic racks of the mechanized supports with accuracy of connections and a technological method of their provision. Gornyi Zhurnal, 2018, No.6, pp.84-87.

4. Vartanov M. V., Mnatsakanyan V. U. The evaluation of the manufacturability of mining machines: algorithmic and software. Gornyi Zhurnal, 2018, No.1, pp. 68-72.

5. Novoseltseva M. V., Masson I. A., Pashkov E. N. Investigation of input signal curve effect on formed pulse of hydraulic-powered pulse machine. Conf. Proc. of “International Scientific and Practical Conference on Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering”, 2016, p.012007.

6. Novoseltseva M.V., Pashkov E.N., Masson I.A. Mathematical simulation of hydraulic power pulse machine at Matlab. Key Engineering Materials, 2016, vol. 685. pp. 240-243.

7. Lyubchenko A., Maystrenko V.A., Shiler A., Kopytov E.Y. Computer-aided analysis of reliability and preventive maintenance optimization of radio communication equipment based on multivariate monte carlo simulation. Conf. Proc. of International Siberian

Conference on Control and Communications (SIBCON 2017), 2017, p. 7998459.

8. Gabov V.V., Nguyen K.L., Nguyen V.X., Le T.B., Zadkov D.A. The rationale of geometric and modal parameters of cutter drums ensuring the efficiency of coal loading onto a down hole conveyor. *Ugol'*, 2018, No.2, pp. 32-35.

9. Gabov V.V., Zadkov D.A., Stebnev A.V. Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control. *Eurasian mining*, 2016, No.2, pp. 37 - 40.

10. Bao J.S., Yang S., Ge S.R., Han P.X., Yin Y. Dynamic performance of an underground trackless rubber tyred vehicle driven by flameproof diesel engine. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 2017, Vol. 24, pp. 279-286.

11. Jiang S. B., Zeng Q. L., Wang G., Gao K. D., Wang Q. Y., Hidenori K. Contact analysis of chain drive in scraper conveyor based on dynamic meshing properties. *International Journal of Simulation Modelling*, 2018, No.17(1), pp.81-91.

Библиографическое описание статьи

Воронова Э.Ю., Хазанович Г.Ш. Методология параметрической оптимизации агрегированных проходческих систем // *Горное оборудование и электромеханика* – 2020. – № 5 (151). – С. 16-21.

12. Herbuś K, Szewerda K, Świder J. Virtual prototyping of the suspended monorail in the aspect of increasing the permissible travel speed in hard coal mines. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 2020, No.22 (4), pp. 610–619.

13. Khazanovich G.S., Voronova E.Yu., Otrokov A.V. Simulation of the performance formation process of the loader with wedge-like working elements as a part of the blast and bulk tunneling complex. *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 206, pp. 457-464.

14. Wentzel E. S. *Operations Research: Tasks, Principles, Methodology*. Moscow: Drofa publishing house, 2006, 208 p.

15. Zwicky F. *Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach*. New York: McMillan, 1969, 276 p.

16. Optner S. L. *System Analysis for Business and Industrial Problem Solving*. Moscow, Centre of humanitarian technologies, 1969, available at: <https://gtmarket.ru/laboratory/basis/5775>.

Reference to article

Voronova E.Y., Khazanovich G.Sh. Methodology for parametric optimization of aggregated tunneling systems. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2020, no.5 (151), pp. 16-21.