

## РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ШАХТНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ РАЗВИТИЯ И НЕТРИВИАЛЬНЫХ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ

Князев А.С.<sup>1</sup>, Теремецкая В.А.<sup>2</sup>, Габов В.В.<sup>2</sup>, Николаев А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург;

<sup>3</sup>ООО «Шахта «Есаульская», Новокузнецк

**Ключевые слова:** добыча угля, очистной комплекс, механизированная крепь, секция крепи, адаптивность.

**Аннотация.** В связи с первоочередной отработкой запасов угля в благоприятных горно-геологических условиях процесс добычи смещается в более сложные условия, переменные по мере отработки выемочных участков. Высокая интенсивность добычи угля поддерживается использованием высокопроизводительных очистных механизированных комплексов с отработкой угольных пластов длинными очистными забоями. При этом следует отметить, что потенциальные возможности современных комплексов существенно превышают значения показателей эффективности, достигаемые ими в условиях эксплуатации. Создание новых конструкций механизированных крепей, обеспечивающих высокую жесткость конструкции, за счет рычажных элементов, необходимо для повышения интенсивности процессов добычи. Основная причина такой ситуации заключается в недостаточной приспособляемости комплексов и их секций механизированной крепи к переменным, по мере отработки участков, горно-геологическим условиям. В состав очистных комплексов входят выемочная машина, забойный конвейер, механизированная крепь. Механизированная крепь состоит из агрегатированных с забойным скребковым конвейером и кинематически связанных между собой секций механизированной крепи, которые поддерживают кровлю, управляют горным давлением и ограждают призабойное пространство, то есть обеспечивают эффективность и безопасность процесса добычи. Интенсификация процесса добычи актуализирует необходимость повышения адаптивности секций механизированной крепи к переменным горно-геологическим условиям.

## RATIONALIZATION OF THE STRUCTURES OF MINE MECHANIZED SUPPORTS BASED ON THE ANALYSIS OF THEIR DEVELOPMENT AND NON-TRIVIAL CIRCUIT SOLUTIONS

Knyazev A.S.<sup>1</sup>, Teremetskaya V.A.<sup>2</sup>, Gabov V.V.<sup>2</sup>, Nikolaev A.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Siberian State Industrial University, Novokuznetsk;

<sup>2</sup>Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg;

<sup>3</sup>LLC "Esaulskaya Mine", Novokuznetsk

**Keywords:** coal mining, treatment complex, mechanized support, support section, adaptability.

**Abstract.** Due to the priority development of coal reserves in favorable mining and geological conditions, the mining process shifts to more difficult conditions, variable as the excavation sites are worked out. The high intensity of coal mining is supported by the use of high-performance mechanized treatment complexes with the development of coal seams with long treatment faces. At the same time, it should be noted that the potential capabilities of modern complexes significantly exceed the values of efficiency indicators achieved by them under operating conditions. The creation of new structures of mechanized supports, providing high structural rigidity, due to lever elements, is necessary to increase the intensity of mining processes. The main reason for this situation lies in the insufficient adaptability of complexes and their sections of mechanized support to variable mining and geological conditions as the sites are worked out. The cleaning complexes include a dredging machine, a downhole conveyor, and a mechanized support. The mechanized support consists of sections of mechanized support aggregated with a downhole scraper conveyor and kinematically interconnected, which support the roof, control rock pressure and protect the bottomhole space, that is, ensure the efficiency and safety of the mining process. The intensification of the mining process actualizes the need to increase the adaptability of sections of mechanized support to variable mining and geological conditions.

### Введение

В связи с тем, что уголь является одним из основных видов стратегического сырья, развитие комплексов его добычи имеет богатую и длинную историю.

С каждым годом интенсивность добычи угля повышается. В связи с первоочередной отработкой запасов угля в благоприятных горно-геологических условиях процессы добычи все более смещаются на подземный способ в переменных, по мере отработки запасов, условиях эксплуатации. Интенсивность добычи угля обеспечивается отработкой длинными очистными забоями угольных пластов все более высокопроизводительными очистными механизированными комплексами [1]. В состав очистных комплексов входят выемочная машина, забойный конвейер и механизированная крепь. Механизированная крепь очистного забоя состоит из кинематически связанных с забойным конвейером и между собой унифицированных секций крепи [2]. Именно секции механизированной крепи, поддерживая кровлю, управляя горным давлением, ограждая призабойное пространство от проникновения в него обрушенных пород кровли, обеспечивают условия, в которых процесс добычи угля становится более эффективным и безопасным [3]. Но при этом следует отметить, что значения показателей эффективности потенциальных возможностей современных очистных комплексов существенно превышают значения показателей, достигаемых ими в условиях эксплуатации [4]. Основная причина такого положения заключается в недостаточной адаптивности, то есть недостаточной приспособляемости секций механизированной крепи очистных комплексов к переменным, по мере отработки участков, горно-геологическим и технологическим условиям. Поэтому повышение адаптивности секции механизированной крепи является, в настоящий момент, актуальной задачей [5-8].

### Общая структура устройства

Постепенное повышение спроса на уголь обуславливало большее освоение угольных месторождений, что, в свою очередь, наряду с широким разнообразием горно-геологических условий обусловило развитие типов механизированных крепей, их параметров и многообразие элементов. На рисунке 1 показаны широко распространенные конструкции механизированных крепей.

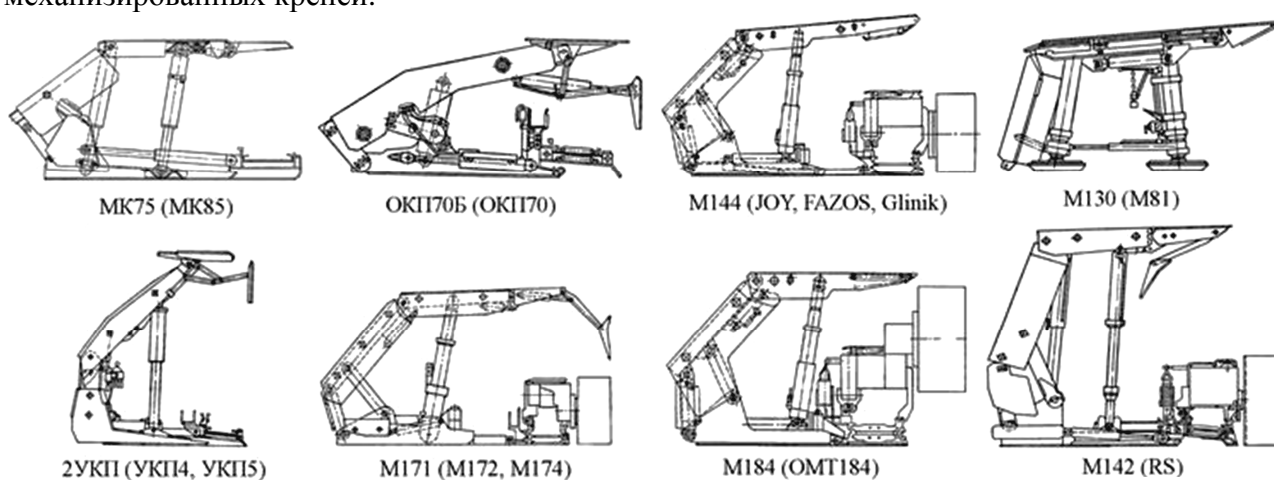


Рис. 1. Схемы линейных секций механизированных крепей

Каждый из элементов секции механизированной крепи по основным функциям выполнен соответствующим технологическому процессу и условиям эксплуатации [9]. Условия эксплуатации по мере отработки выемочных участков изменяются и могут существенно влиять на эффективность секций механизированной крепи. Адаптивность секций механизированной крепи и их элементов к этим переменным условиям изучена недостаточно.

### Адаптивность

В общем случае под адаптивностью будем понимать степень приспособленности технических устройств или систем к изменяющимся внешним условиям.

Недостаточная адаптивность к переменным условиям по мере отработки выемочного участка снижает эффективность использования секции механизированной крепи.

Рассматривая способы повышения адаптивностей секции механизированной крепи, необходимо анализировать их влияние отдельно (контактную, кинематическую и динамическую), потому что каждым конкретным способом может решаться какая-то конкретная задача, и совместное их действие, и комплексное проявление адаптивности.

Следовательно, адаптивность секций крепи необходимо рассматривать по нескольким её видам: технологической или функциональной, геометрической (по мощности пласта и длине забоя), силовой (динамической или статической), кинематической, контактной (рис. 2).

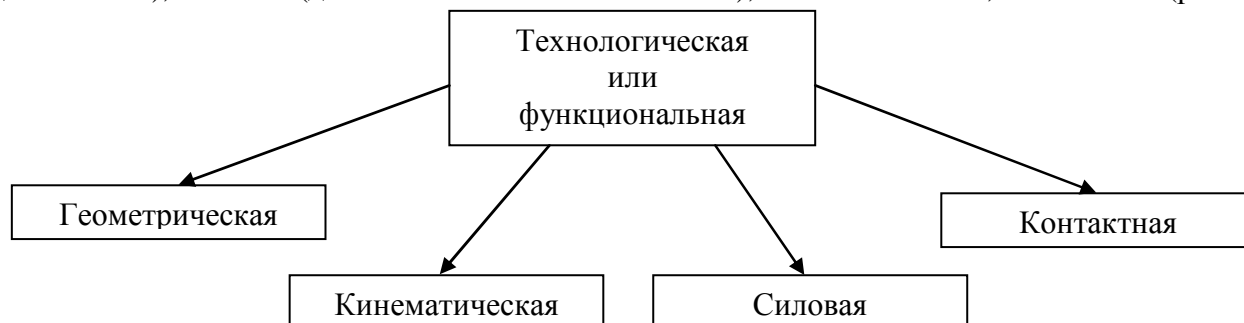


Рис. 2. Классификация адаптивностей

Целью адаптации секции механизированной крепи к переменным горно-геологическим условиям является гармонизация процесса их взаимодействия.

### Результаты и обсуждения

Практика эксплуатации механизированных крепей, исследования, посвящённые их кинематике и силовому анализу показывают, что крепи, имеющие одноподвижную кинематическую схему, т.е. движение задается от единственного гидродомкрата, обладают большей жёсткостью и отвечают условию определённости движения ведомых звеньев, при этом механизм крепи является рычажным.

Улучшить процесс взаимодействия перекрытия секции крепи с кровлей по мере отработки выемочного участка можно путем перехода от регулирования процесса срабатыванием предохранительного клапана к регулированию процесса изменением податливости крепи.

Одним из путей улучшения кинематических и прочностных свойств механизированных крепей может быть разработка новых кинематических схем крепей на основе рычажных механизмов, которые имеют в структуре кинематической цепи замкнутые изменяемые контуры [10].

Кинематические схемы большинства механизированных крепей кроме гидродомкрата имеют в своей структуре такие звенья как верхняк или, по-другому, перекрытие, а также консольный козырёк. При этом гидродомкрат своим штоком шарнирно соединяется с верхняком лишь в одном месте. Это приводит к тому, что козырёк приходится делать с большим консольным вылетом, который создаёт условие для возникновения в нём большого изгибающего момента от силы веса породы обрушающейся кровли.

Рассмотренные выше недостатки устранены в механизированной крепи, которая имеет кинематическую схему, показанную на рисунке 3 [11]. В состав представленной схемы входят следующие элементы: корпус распорного гидродомкрата 1 и его шток с поршнем 2, верхняк 3, шатун 4, завальное ограждение 5 и два балансира 6 и 7, которые шарнирно соединены с завальным ограждением 5.

Ведомые звенья предложенной кинематической схемы механизированной крепи воспринимают и передают усилия и движение от ведущего звена в следующем порядке. Под действием давления рабочей жидкости, подаваемой в гидродомкрат, поршень со штоком 2 через шарнирное соединение давит на верхняк 3. Верхняк 3 приводит в движение шатун 4, а он, в свою очередь, создаёт усилие, действующее на балансиры 6, связанный шарнирно со стойкой и завальным ограждением 5, которое подстраивается своим положением под

неравномерное давление породы обрушающейся кровли. При этом звено завального ограждения 5 находится под действием уравнивающих усилий, передающихся ему от балансиров 6 и 7 через шарнирные соединения.

Применение механизированной крепи с кинематической схемой, показанной на рисунке 4 [12], позволяет существенно увеличить её рабочее пространство. Рассматриваемая кинематическая схема содержит следующие элементы: корпус распорного гидродомкрата 1, шток совместно с поршнем 2, верхняк 3, шатун 4, завальное ограждение 5, балансир 6, имеющий три шарнирные связи, балансир 7, стойка 8.

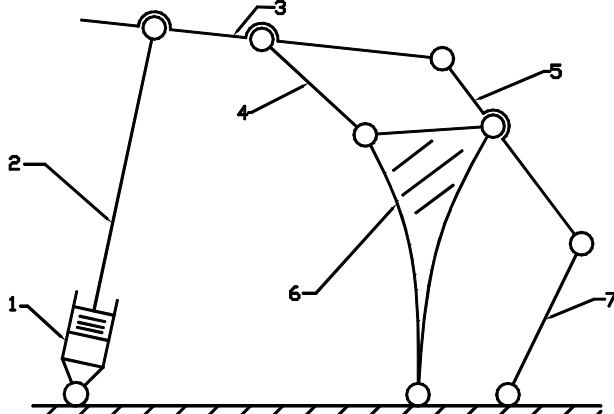


Рис. 3. Схема секции механизированной крепи [8]

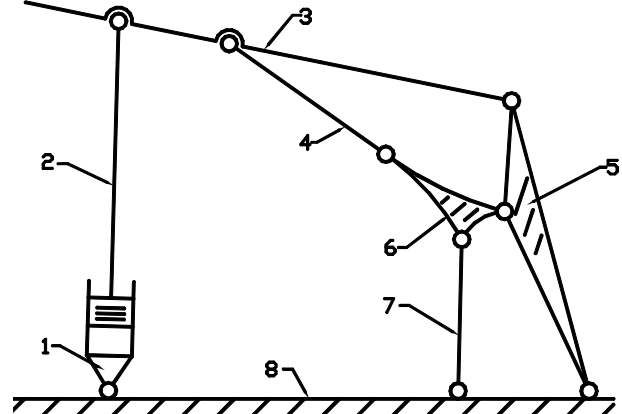


Рис. 4. Усовершенствованная схема секции механизированной крепи [9]

Усилия между звеньями кинематической цепи крепи передаются в следующей последовательности: шток 2 начинает движение под действием давления в гидродомкрате и через вращательную кинематическую пару приводит в движение верхняк 3, который передаёт дальше движение шатуну 4, а последний через шарнир взаимодействует с шатуном 6, связанным, в свою очередь, шарнирами с коромыслом 7 и завальным ограждением 5. При этом под действием неравномерного давления кровли происходит самоустановка звеньев, в том числе за счёт возможности обратного хода поршня 2.

Преимущество рассматриваемой механизированной крепи заключается в том, что при такой структуре её кинематической цепи увеличивается рабочее пространство в забое за счёт того, что звенья 2, 3, 4, 5, 6, 7 и стойка образуют собой шестиугольное сечение с большой площадью по длине и высоте забоя. Увеличение рабочего пространства существенно повышает эргономичность и уровень промышленной безопасности [13].

Подвижность представленных на рисунках 3 и 4 секций механизированных крепей, определится по формуле Чебышева П.Л. [2, стр. 518], имеющей вид:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1,$$

где  $W$  – подвижность цепи;  $n$  – число подвижных звеньев;  $p_5$  – число кинематических пар пятого класса.

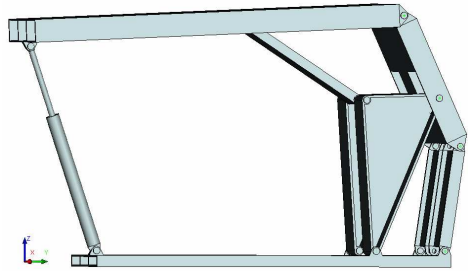
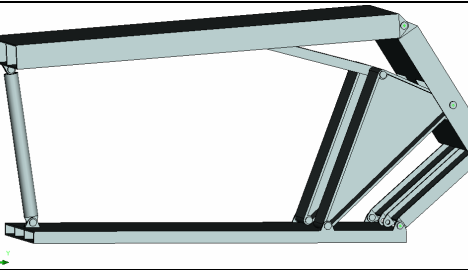
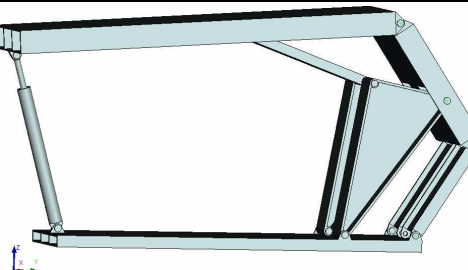
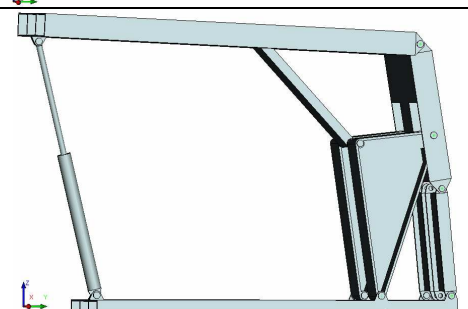
Более маневренной схемой является схема на рисунке 3, в связи с чем в автоматизированной среде была создана трёхмерная модель.

Для проверки собираемости и определения траектории движения секции в пространстве, создается 3D модель сборки механизированной крепи. Пространственные положения модели в разные моменты времени, показаны в таблице 1.

Приведенные выше структурные кинематические схемы механизированных крепей гарантируют высокую жесткость их конструкций и перераспределение напряжений в звеньях кинематической цепи, за счет наличия рычажных элементов, присутствующих в конструкции.

Исходя из созданной 3D модели, можно говорить о решении проблемы динамического исследования.

Табл. 1. Пространственные положения модели

<p>Модель секции механизированной крепи</p>	
<p>Крайнее нижнее положение</p>	
<p>Промежуточное положение</p>	
<p>Крайнее верхнее положение</p>	

### Заключение

На основании данных, изложенных выше, можно сделать следующие выводы.

1. Развитие адаптации и придание свойств адаптации секциям крепи способствует стабилизации рациональных их режимов работы при взаимодействии с породами кровли.
2. Развитие адаптивности актуализирует процесс разработки новых технических решений в развитии секции крепи.
3. По полученным результатам появляется возможность выбора наилучших траекторий движения всех звеньев механизма. В дальнейшем, полученные данные можно взять за основу силового исследования.

### Список литературы

1. Мешков А.А., Казанин О.И., Сидоренко А.А. Повышение эффективности технологии и организации монтажно-демонтажных работ при интенсивной разработке пологих угольных пластов на шахтах Кузбасса // Записки Горного института. – 2021. – Т. 249. – С. 342-350. – DOI: 10.31897/PMI.2021.3.3.
2. Коровкин Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев / Под. ред. Ю.Л. Худина. – М.: Недра, 1990. – 412 с.
3. Стебнев А.В., Буевич В.В. Совершенствование рабочей характеристики гидропривода стоек секций механизированных крепей очистных комплексов // Записки Горного института. – 2017. – Т. 227. – С. 576-581.
4. Панин С.И., Тарасов В.М. Руководство по эксплуатации МКЮ.2Ш-04 РЭ. – 2010. – 116 с.
5. Клишин В.И., Матвиец Ю.В. Повышение адаптации однорядной механизированной крепи к условиям нагружения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1993. – № 2. – С. 23-29.

6. Клишин В.И., Кислинг У., Ройтер М., Вессел А.О. Система автоматического управления крепью (САУК) как средство адаптации крепи к различным горно-геологическим условиям шахт Кузбасса // Вестник КузГТУ. – 2014. – № 1. – С. 34-39.
7. Клишин В.И. Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения. – Новосибирск: Наука, 2002. – 200 с.
8. Габов В.В., Задков Д.А., Бабырь Н.В., Стебнев А.В., Бувевич В.В. Адаптация секции механизированной крепи совершенствованием механической характеристики гидропривода ее гидростоек // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 3. – С. 28–34.
9. Яцких В.Г., Спектор Л.А., Кучерявый А.Г. Горные машины и комплексы. – М.: Недра, 1984. – 400 с.
10. Князев А.С. К вопросу о совершенствовании конструкций механизированных крепей // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 9(106). – С. 3-5.
11. Патент №2303699 РФ. Секция механизированной крепи / Л.Т. Дворников, А.С. Князев, С.П. Стариков. – Заявка №2005141748 от 30.12.2005; опубл. 27.07.2007, Бюл. №21.
12. Патент №2439329 РФ. Секция механизированной крепи / Л.Т. Дворников, А.С. Князев, Л.Н. Гудимова. – Заявка №2010126446 от 28.06.2010; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.
13. Николаев А.В. Обоснование и разработка геотехнологических требований к механизированной крепи для выемки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля: автореф. ... канд. техн. наук. – Тула: ТулГУ, 2021. – 17 с.

### References

1. Meshkov A.A., Kazanin O.I., Sidorenko A.A. Improving the efficiency of technology and organization of installation and dismantling works during intensive development of shallow coal seams in the mines of Kuzbass // Journal of Mining Institute. 2021, vol. 249, pp. 342-350. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.3.
2. Korovkin Yu.A. Mechanized supports of treatment faces / Edited by Yu.L. Khudin. – М.: Nedra, 1990. – 412 p.
3. Stebnev A.V., Buevich V.V. Improvement of the working characteristics of the hydraulic drive of the racks of sections of mechanized supports of treatment complexes // Journal of Mining Institute. 2017, vol. 227, pp. 576-581.
4. Panin S.I., Tarasov V.M. Operation manual MKY.2SH-04 RE. – 2010. – 116 p.
5. Klishin V.I., Matviets Yu.V. Increasing the adaptation of single-row mechanized supports to loading conditions // Physico-technical problems of mining. 1993, no. 2, pp. 23-29.
6. Klishin V.I., Kissling U., Reuter M., Wessel A.O. Automatic fastening control system (SAUK) as a means of adapting fasteners to various mining and geological conditions of Kuzbass mines // Bulletin of KuzSTU. 2014, no. 1, pp. 34-39.
7. Klishin V.I. Adaptation of mechanized supports to dynamic loading conditions. – Novosibirsk: Science, 2002. – 200 p.
8. Gabov V.V., Zadkov D.A., Babyr N.V., Stebnev A.V., Buevich V.V. Adaptation of the section of mechanized support by improving the mechanical characteristics of the hydraulic drive of its hydraulic racks // Mining equipment and electromechanics. 2016, no. 3, pp. 28-34.
9. Yatskikh V.G., Spector L.A., Kucheryaviy A.G. Mining machines and complexes. – М.: Science, 1984. – 400 p.
10. Knyazev A.S. On the issue of improving the structures of mechanized supports // Mining equipment and electromechanics. 2014, no. 9(106), pp. 3-5.
11. Patent No. 2303699 RU. Section of mechanized support / L.T. Dvornikov, A.S. Knyazev, S.P. Starikov. – Appl. No. 2005141748 from 30.12.2005; publ. 27.07.2007, Bul. No. 21.
12. Patent No. 2439329 RU. Section of mechanized support / L.T. Dvornikov, A.S. Knyazev, L.N. Gudimova. – Appl. No.2010126446 from 28.06.2010; publ. 10.01.2012, Bul. No. 1.
13. Nikolaev A.V. Substantiation and development of geotechnological requirements for mechanized supports for excavation of powerful shallow formations with controlled coal release: abstract ... cand. of tech. sc. – Tula: TulSU, 2021. – 17 p.

### Сведения об авторах:

### Information about authors:

<b>Князев Антон Сергеевич</b> – старший преподаватель кафедры механики и машиностроения	<b>Knyazev Anton Sergeevich</b> – senior lecturer at the Department of mechanics and mechanical engineering
<b>Теремецкая Василиса Александровна</b> – аспирант	<b>Teremetskaya Vasilisa Aleksandrovna</b> – postgraduate student
<b>Габов Виктор Васильевич</b> – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроения	<b>Gabov Viktor Vasilievich</b> – doctor of technical sciences, professor, professor of mechanical engineering Department
<b>Николаев Алексей Викторович</b> – кандидат технических наук, заместитель главного инженера	<b>Nikolaev Aleksey Viktorovich</b> – candidate of technical sciences, deputy chief engineer
knyazev_a.s@mail.ru	

Получена 09.12.2023