

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА

В. Ф. Демин¹, С. Б. Алиев², Н. А. Милетенко², О. В. Старостина¹, В. Н. Долгонос¹✉

¹Карагандинский технический университет (КарТУ) имени А. Сагинува, 100027,

г. Караганда, Казахстан

²Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук,

111020, г. Москва, Российская Федерация

✉ vnd070765@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований по разработке технологии и средств крепления горных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния углепородного массива на основе цифрового моделирования. Разработана проектно-конструкторская документация анкеров. Проведены стендовые испытания партии опытно-промышленных образцов в лабораторных условиях, а также опытно-промышленные испытания канатных и составных анкеров в шахтных условиях. Разработаны рекомендации по эффективному применению технологии анкерного крепления подготовительных выработок при проведении в зонах тектонических нарушений, повышенного горного давления, влияния очистных работ на сопряжениях и в лавах добычных участков шахт.

Ключевые слова: угольный пласт, кровля, горная выработка, лава, структурная модель, опасные зоны, анкерное крепление, слой песчаника

Для цитирования: Демин ВФ, Алиев СБ, Милетенко НА и др. Разработка средств крепления горных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния массива. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(1):С. 71-75. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-71-75>.

DEVELOPMENT OF FASTENING MINING WORKINGS MEANS BASED ON THE STRESS-STRAIN STATE OF THE MASSIF

V. F. Demin¹, S. B. Aliev², N. A. Miletenko², O. V. Starostina¹, V. N. Dolgonosov¹✉

¹A. Saginov Karaganda Technical University (KarTU), 100027, Karaganda, Kazakhstan

²Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences,

111020, Moscow, Russian Federation

✉ vnd070765@mail.ru

Abstract. The article contains the results of research on the development of technology and means of fastening mine workings, taking into account the stress-strain state of the coal rock massif based on digital modeling. Design documentation of rockbolt support has been developed. Bench tests of a batch of pilot-industrial samples in laboratory conditions and pilot-industrial tests of rope and composite rockbolt in mine conditions. Recommendations have been developed on the effective use of the technology of rockbolt support of preparatory workings when conducting tectonic disturbances, increased rock pressure, the influence of cleaning operations, at the junctions and in the lavas of mining sections of mines.

Keywords: Coal seam, Roof, Mining working, Breakage face, Geomechanical model, Dangerous areas, Rockbolt support, Sandstone layer

For citation: Demin VF, Aliev SB, Miletenko NA. Development of fastening mining workings means based on the stress-strain state of the massif. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(1):71-75. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-71-75>.

Введение

Крепление и поддержание подземных горных выработок является одной из важнейших задач технологического процесса на горнодобывающих предприятиях [1]. Горные выработки можно образно сравнить с кровеносными сосудами, от их состояния напрямую зависит «здоровье» всего организма. Для принятия обоснованных технологических решений по определению параметров крепи для ее эффективной работы необходима прогнозная геомеханическая оценка состояния горного массива в окрестности выработок. Разработка и внедрение технологии и средств крепления с учетом напряженно-деформированного состояния (НДС) вмещающих пород позволит уменьшить материальные и трудовые затраты и повысить эффективность ведения горных работ [2–4].

Авторами разработана технология и средства крепления шахтных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния углепородного массива на основе цифрового моделирования процессов во вмещающих породах вокруг выработки при взаимодействии жесткой крепи и приконтурного горного массива с применением средств из металлических стержней с винтовой поверхностью и канатно-тросовых анкеров глубокого заложения, устанавливаемых в зоны напряженного состояния (опорного горного давления впереди лавы) и ослабленных пород, где проявляются неупругие деформации. Для упрочнения массива используется смола-нагнетание, создавая устойчивую раму по контуру выработок [5, 6].

Цель исследований: разработка технологических решений по анкерному креплению горных выработок на сложных участках, таких как пересечение геологического нарушения, зоны повышенного горного давления, зоны влияния очистных работ.

Объект исследований

Большинство подземных горных выработок на шахтах Карагандинского бассейна находятся в неустойчивом состоянии (смещения пород кровли, почвы и бортов) и поддерживаются со значительными трудовыми и материальными затратами. Объектом исследований и опытно-промышленных работ служат подготовительные выработки в зонах тектонических нарушений, на сопряжениях выработок на шахтах бассейна [7, 8].

Методы исследований

В рамках исследований выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) массива в окрестности горной выработки. Разработана проектно-конструкторская документация анкеров контурного и многоцелевого заложения для крепления горных выработок: сталеполимерного составного анкера с элементом равномерного перемешивания; металло-канатного анкера; сталеполимерного составного анкера; канатного анкера с прорезями и винтовыми отверстиями. Проведены стендовые испытания партии опытно-промышленных образцов в лабораторных условиях и опытно-промышленные испытания канатных и составных анкеров на конвейерном штреке шахты «Абайская». Произведена апробация разработанных изделий при проведении опытно-промышленных экспериментов по определению работоспособности и нагрузочных характеристик канатных анкеров [4].

Конструкторская документация на изготовление опытной

партии образцов составного (наращиваемого, стыкуемого) металлического сталеполимерного анкера была в последующем скорректирована по результатам стендовых и шахтных испытаний.

Моделирование напряженно-деформированного состояния массива

Моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) массива в окрестности горной выработки – конвейерного штрека на шахте имени Т. Кузембаева Карагандинского угольного бассейна было выполнено с применением метода конечных элементов с использованием программы Ansys. Исследовано влияние угла наклона контурного анкера на изменение НДС массива горных пород [4, 9].

При угле наклона анкеров 75° к горизонту получены минимальные нормальные напряжения, следовательно, данный параметр рекомендуется при установке канатных анкеров в зоне влияния очистных работ [4, 10].

Результаты и реализация работы

Стендовые испытания партии опытно-промышленных образцов систем многоцелевого заложения для крепления

Разработаны системы контурного крепления горных выработок: сталеполимерный составной анкер с элементом равномерного перемешивания; металло-канатный анкер для крепления горных выработок; сталеполимерный составной анкер; канатный анкер с прорезями и винтовыми отверстиями [11].

Стержень анкера был изготовлен из арматурной стали периодического профиля А 300 марки «Сталь 3пс» длиной 4,8 м с витым профилем при внешнем диаметре 21,8 мм с пределом прочности на разрыв 650–740 МПа [12].

Испытания опытных образцов анкеров были проведены в лаборатории управления ТОО «Углесервис» УД АО «АМТ».

Анкер с диаметром в месте накручивания соединительной муфты 17,5 мм – резьба М 1,5 мм, толщина стенки муфты 3,7 мм – разрывное усилие составило 15,1 тонны, разрыв произошел по муфте. Анкер с диаметром в месте соединения муфтой 16 мм – разрывное усилие составило 14,0 тонны при разрыве самого анкера (рис. 1).

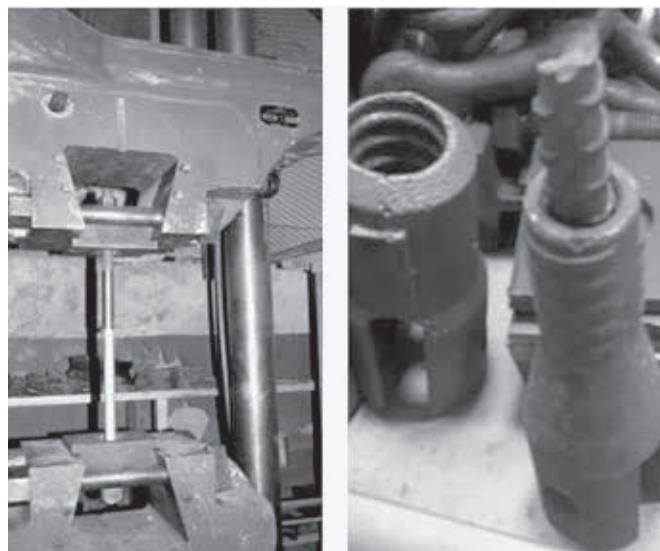


Рис. 1. Стендовые испытания анкеров на разрыв /
Fig. 1. Bench tensile tests of rockbolt

Опытно-промышленные испытания

Проведен промышленный эксперимент на шахте «Абайская» при креплении сопряжения конвейерного штрека 332K₁₂-Ю с вентиляционным уклоном K₁₀ на глубине 580 м от поверхности (рис. 2).

Высота сопряжения – 3 м, ширина – 6 м. Крепление было выполнено 15 кровельными анкерами АМВ шагом 0,8 м и 4 боковыми (2 металлических и 2 стеклопластиковых) шагом 1,0 м. Вдоль сопряжения был возведен арочный профиль, закрепленный к кровле анкерами через 5 м. В местах их соединения и по мере подвигания выработки под него устанавливались составные арочные стойки трения.

Породы непосредственной кровли были представлены серым алевролитом мощностью 4 м, прочностью на одноосное сжатие 25–30 МПа. Породы основной кровли – среднезернистые серые песчаники мощностью до 10 м прочностью 35–40 МПа [7, 13–15].

Были установлены составные анкера при креплении сопряжения. Составные анкера были изготовлены длиной 4,8 м диаметром 22 мм. Верхняя и нижняя части анкера длиной по 2,4 м. Соединение производилось составной муфтой длиной 200 мм, наружным и внутренним диаметром соответственно 25 и 17 мм, изготовленной из высокопрочной стали.

Шпуры длиной 4,7 м под составные анкера бурились установкой СБР с использованием буровых штанг длиной 1,2 и 3 м с буровой коронкой диаметром 28 мм. Были размещены в первом шпуре: быстротвердеющая ампула ДАК-1 (длиной 0,3 м, время твердения – 25–30 с) и две замедленные ампулы ДАК-1 (длиной 0,6 м, время твердения – 180 с), установлены составные анкера длиной 4,8 м. Достигнуто частичное заполнение шпура (осталось незаполненной полость длиной 0,4 м). Оставался отрезок концевика короткой части анкера длиной 0,2 м для испытания несущей способности анкера после его установки (для подвешивания гидродомкрата) [4, 16].

При испытании несущей способности анкероудерживателем RH302 составного анкера была достигнута нагрузка 22 тонны, что является достаточным для установки двухуровневого крепления. Смещения анкера отсутствовали.

Во втором шпуре были установлены три замедленные ампулы ДАК-1 длиной 0,6 м. Достигнуто полное заполнение шпура (осталось незаполненной лишь полость длиной 5 см). Перемещения анкера отсутствовали.

Анкера устанавливались с частотой (плотностью) через 1,5 м, обеспечивая подшивку сетчатой затяжки к контуру кровли. Рабочей буровой штангой производилось бурение на заданную глубину. После окончания бурения шпура химические ампулы с помощью досыльного устройства вводились в шпур. За последней ампулой устанавливался стопорный парашют. Анкерный стержень заводился в шпур, на гайку стержня надевался адаптер, установленный на анкероустановщик, включением подачи и вращением шпинделя анкер подавался в шпур. Время подачи вращающегося анкерного стержня составляло 20–30 с, после чего анкерный стержень удерживался под распором без вращения не менее 1 минуты. Повторным включением вращения шпинделя подтягивалась гайка анкера, при этом обязательно должен произойти срыв штифта гайки, опорная чашка плотно прижималась к кровле выработки. При длине шпура, равной 4,7 м, выход торца анкера (длиной 4,8 м) за пределы шпура не более 0,15 м [16, 17].

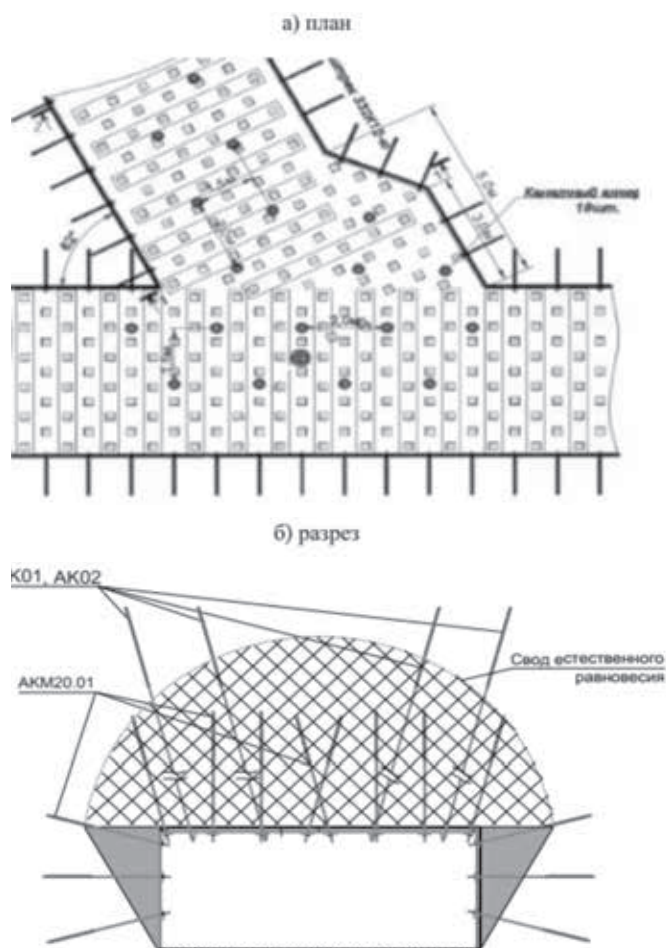


Рис. 2. Крепление сопряжения конвейерного штрека 332K₁₂-Ю с уклоном K₁₀ /

Fig. 2. Fastening of the conveyor drift 332K12-YO intersection with K10 slope

Испытания показали, что при установке составного анкера на ампулы с закрепляющим составом усилие выдергивания увеличивается в 1,5 раза [4, 18].

Выводы

1. В работе обоснованы рациональные параметры технологии крепления горных выработок анкерами глубокого заложения, приведены результаты стендовых и шахтных испытаний. Полученные результаты использованы для разработки технологических схем крепления подготовительных выработок и технологического регламента установки анкеров глубокого заложения. Технология крепления выработок анкерами была включена в проект развития шахты «Абайская» и внедрена на шахте.

2. Разработаны рекомендации по эффективному применению технологии анкерного крепления подготовительных выработок при проведении в зонах тектонических нарушений, повышенного горного давления, влияния очистных работ, на сопряжениях и в лавах добычных участков шахт.

3. Выполнены технологические и технические разработки по установлению параметров и реализации технологии крепления составными анкерами глубокого заложения для подготовительных выработок на сопряжениях, по креплению широких камер (монтажных и демонтажных), пересечений выработок, уширений площади поперечного сечения для расположения технологического оборудования (передвижного распределительного пункта лавы, насосных станций, ком-

прессорного хозяйства), имеющие существенное значение для повышения эффективности горно-подготовительных и очистных работ в угольной промышленности.

4. Проведенные авторами исследования направлены на повышение эффективности и безопасности ведения горных работ на шахтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. Москва, 1973: 512.
Safety rules in coal and shale mines. Moscow, 1973: 512. (In Russ.).
2. Булычев НС. Механика подземных сооружений. Москва, 1989: 270.
Bulychev NS. Mechanics of underground structures. Moscow, 1989: 270. (In Russ.).
3. Виноградов ВВ. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. Киев, 1989: 192.
Vynogradov VV. Geomechanika upravleniya sostoyaniem massiva vblizi gornyyh vyirabotok. Kyiv, 1989: 192. (In Russ.).
4. Демин ВФ, Алиев СБ, Щенников ВН и др. Разработка средств для анкерного крепления горных выработок в зоне опорного давления с применением численного моделирования НДС массива. *Вектор научной мысли*. 2024;12(17).
Demin VF, Aliev SB, Shennikov VN, et al. Development of tools for anchoring mining workings in the reference pressure zone using stress-strain state of the massif numerical modeling. *Scientific thought vector*. 2024;12(17). (In Russ.).
5. Алиев СБ, Демин ВФ, Кайназаров АС и др. Оценка состояния приконтурного горного массива на сопряжении лавы с примыкающей выработкой. *Уголь*. 2023;1:35-9.
Aliev SB, Demin VF, Kainazarov AS, et al. Condition assessment of the close to the wall rock mass at the interface of lava with an adjacent mining working. *Coal*. 2023;1:35-9. (In Russ.).
6. Демин ВФ, Портнов ВС, Демина ТВ и др. Исследование деформированного состояния приконтурного угленосного массива вокруг горной выработки с анкерным креплением. *Уголь*. 2019;7:72-7.
Demin VF, Portnov VS, Demina TV, et al. Investigation of the deformed state of a contiguous carboniferous massif around an anchored mining mine. *Coal*. 2019;7:72-7. (In Russ.).
7. Долгоносков ВН, Пак ГА, Дрижд НА и др. Геомеханические и газодинамические процессы в угольных шахтах. Караганда, 2012: 214.
Dolgonosov VN, Pak GA, Drijd NA, et al. Geomechanical and gas-dynamic processes in coal mines. Karaganda, 2012: 214. (In Russ.).
8. Gerrard C. Rock bolting in theory. *Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting*. Abisko, Sweden, 1983: 3-29.
9. Штумпф ГГ. Повышение надежности работы и эффективности применения анкерной крепи в подготовительных выработках. *Уголь*. 1998;2:21-3.
Shtumpf G. Improving the reliability and efficiency of the use of anchorage in preparatory workings. *Coal*. 1998;2:21-3. (In Russ.).
10. Новиков АО. О напряженно-деформированном состоянии породного массива с анкерными породоармирующими системами. *Вестник Донецкого технического университета*. 2010;1:117-23.
Novikov AO. Improving the reliability of operation and efficiency of the use of anchorage in preparatory workings on the stress-strain state of a rock mass with anchor rock reinforcement systems. *Donetsk Technical University Vestnik*. 2010;1:117-23. (In Russ.).
11. Широков АП, Лидер ВА, Дзауров МА. Анкерная крепь: справочник. Москва, 1990: 205.
Shirokov AP, Leader VA, Dzaurov MA. Anchorage: Reference book. Moscow, 1990: 205. (In Russ.).
12. Общетеchnический справочник. Под редакцией Е. А. Скороходова. Москва, 1982: 415.
General technical reference book. Moscow, 1982: 415. (In Russ.).
13. Борисов АА. Механика горных пород и массивов. Москва, 1980: 360.
Borisov AA. Rock mechanics. Moscow, 1980: 360. (In Russ.).
14. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Москва, 1977: 159.
Instructions for the safe conduct of mining operations in seams hazardous due to sudden outbursts of coal and gas. Moscow, 1977: 159. (In Russ.).
15. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Москва, 1995: 92.
Instructions for the safe conduct of mining operations in seams hazardous due to sudden outbursts of coal and gas. Moscow, 1995: 92. (In Russ.).
16. Мартыненко ИИ. Опыт применения анкерной крепи в камерах и на сопряжениях подготовительных выработок. *Научно-технические проблемы разработки угольных месторождений, шахтного и подземного строительства*. Новочеркасск, 2005: 169-76.
Martynenko II. Experience in the use of anchorage in chambers and at the junctions of preparatory workings. *Scientific and technical problems of coal mining, mine and underground construction*. Novocherkassk, 2005: 169-76. (In Russ.).
17. Жаров АИ. Эффективность внедрения безопасных технологий длинноанкерного крепления и поддержания сопряжений очистных механизированных забоев. *Уголь*. 2000;6:33-5.
Zharov AI. The effectiveness of the safe technologies introduction for long-range anchoring and maintenance of interfaces for mechanized sewage treatment plants. *Coal*. 2000;6:33-5. (In Russ.).
18. Кулинич КВ. Исследование параметров анкерно-инъекторных конструкций на физической модели. *Горный информационно аналитический бюллетень*. 2005;9:109-14.
Kulinich KV. Investigation of the parameters of anchor-injection structures on a physical model. *Mining information and analytical bulletin*. 2005;9:109-14. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир Федорович Демин –
д-р техн. наук, профессор кафедры РМПИ, Карагандинский
технический университет (КарТУ) имени А. Сагинова,
100027, г. Караганда, Казахстан, e-mail: vladfdemin@mail.
ru, <https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir F. Demin –
Doctor of Technical Sciences, Professor, Department Mineral
Deposits Mining of Abylkas Saginov Technical University,
100027, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: vladfdemin@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

Самат Бикитаевич Алиев –

д-р техн. наук, с.н.с., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, 111020, г. Москва, Российская Федерация. Академик НАН Республики Казахстан, e-mail: alsamat@gmail.com

Наталья Александровна Милетенко –

канд. техн. наук, с.н.с., Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, 111020, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: nmilet@mail.ru / orcid.org/0000-0002-5594-3036

Ольга Васильевна Старостина –

канд. техн. наук, доцент кафедры МДуГ, Карагандинский технический университет (КарТУ) имени А. Сагинова, 100027, г. Караганда, Казахстан, e-mail: olga.starostina2612@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4030-0748>

Виктор Николаевич Долгоносков –

д-р техн. наук, доцент кафедры МДуГ, Карагандинский технический университет (КарТУ) имени А. Сагинова, 100027, г. Караганда, Казахстан, e-mail: vnd070765@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8110-2284>

Samat B. Aliev –

Doctor of Technical Sciences, Senior research employee, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russian Federation, Academician of the National Sciences Academy Kazakhstan Republic, e-mail: alsamat@gmail.com

Natalya A. Miletenko –

Candidate of Technical Sciences, Senior research employee, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russian Federation, e-mail: nmilet@mail.ru / orcid.org/0000-0002-5594-3036

Olga V. Starostina –

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy Abylbas Saginov Technical University, Karaganda, 100027, Kazakhstan, e-mail: olga.starostina2612@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4030-0748>

Viktor N. Dolgonosov –

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy Abylbas Saginov Technical University, 100027, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: vnd070765@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8110-2284>

Критерии авторства / Contribution:

В. Ф. Демин – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи; **С. Б. Алиев** – генерация идеи исследования, проведение эксперимента, выполнение расчетов, выполнение работы по систематизации материала, подготовка данных, анализ данных, написание текста статьи; **Н. А. Милетенко** – постановка задачи исследования, получение исходных данных для анализа, проведение эксперимента/испытаний, выполнение работы по систематизации материала, анализ результатов исследования, написание текста статьи; **О. В. Старостина** – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, выполнение расчетов, выполнение работы по систематизации материала, анализ результатов исследования, написание текста статьи; **В. Н. Долгоносков** – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, выполнение расчетов, выполнение работы по систематизации материала, анализ результатов исследования, написание текста статьи / **V. F. Demin** – research idea generation, statement of the research problem, organizing material, writing the article text; **S. B. Aliev** – research idea generation, experimental work, calculations, organizing material, data preparation, analysis of results, writing the article text; **N. A. Miletenko** – statement of the research problem, data preparation, experimental work, organizing material, analysis of results, writing the article text; **O. V. Starostina** – research idea generation, statement of the research problem, calculations, organizing material, analysis of results, writing the article text; **V. N. Dolgonosov** – research idea generation, statement of the research problem, calculations, organizing material, analysis of results, writing the article text.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.11.2024.

Поступила после рецензирования: 18.01.2025.

Принята к публикации: 28.01.2025.

Article info

Received: 20.11.2024.

Revised: 18.01.2025.

Accepted: 28.01.2025.