

**ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД, РУДНИЧНАЯ
АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА
GEOMECHANICS, DESTRUCTION OF ROCKS BY EXPLOSION, MINE
AEROGASDYNAMICS AND MINING THERMOPHYSICS**

Научная статья

УДК 622

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-74-80

**СПОСОБЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ**

**Копытов Александр Иванович,
Стародубцев Сергей Александрович**

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

*для корреспонденции: L01BDV@yandex.ru

Аннотация.

В статье приведены результаты изучения исследований и опыта приготовления и улучшения состава закладочной смеси с целью повышения эффективности и безопасности добычи железной руды системой с закладкой выработанного пространства из охранных целиков на шахте «Таштагольская» АО «Евраз-ЗСМК» для обеспечения стабильности поставки высококачественного железорудного концентрата металлургам Новокузнецка.

Анализ отечественного и зарубежного опытов разработки рудных месторождений показывает, что развитие горнорудного производства осуществляется в основном за счет освоения новых рудных залежей на глубине до 2 км при постоянном ежегодном понижении горных работ на 20-40 м.

С переходом на большие глубины резко ухудшаются условия ведения проходческих и очистных работ в связи с изменением физико-механических свойств горных пород, неуклонным ростом горного давления и вероятностью его проявления в динамической форме в призабойных зонах, ухудшаются условия и безопасность труда горнорабочих, создаются предпосылки возможного ущерба окружающей среде.

В результате изучения научно-исследовательских работ и практического опыта установлено, что одним из ключевых направлений улучшения геотехнологии подземных горных работ в данных условиях является внедрение систем разработки с закладкой выработанного пространства.

Геотехнологии с закладкой выработанного пространства обеспечивают минимальные деформации подработанного массива горных пород и сохранение земной поверхности, сравнительно безопасные условия труда, повышают эффективность использования недр за счет сокращения потерь и разубоживания, утилизацию отходов горного производства и увеличение полноты и качества извлечения руд. Однако их применение ограничивается стоимостью минерального сырья из-за высокой стоимости закладочных работ.

Одним из существенных недостатков, влияющих на увеличение затрат и стоимости производства геотехнологии с закладкой выработанного пространства, является длительное, до 28 суток, затвердевание закладочной смеси в выработанном пространстве, это способствует снижению эффективности и стабильности работы



Информация о статье

Поступила:

05 июля 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

29 сентября 2024 г.

Принята к публикации:

10 октября 2024 г.

Опубликована:

24 октября 2024 г.

Ключевые слова:

*Добыча железной руды,
закладка выработанного
пространства, технология
производства закладки,
пластифицированные
закладочные смеси*

горнодобывающего предприятия.

Опытно-промышленные испытания, проведенные на рудниках Талнаха ПАО «ГМК «Норильский никель» ООО «Технологии закладки» и ООО «Институт Гипроникель», показали, что улучшить физико-механические свойства и уменьшить срок набора прочности закладочной смеси возможно с введением специальных пластифицированных добавок.

Для цитирования: Копытов А.И., Стародубцев С.А. Способы приготовления и улучшения физико-механических свойств закладочных смесей // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 5 (165). С. 74-80. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-74-80, EDN: HKNWLE

Анализ практики применения и исследований технологии разработки месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства показывает, что для повышения эффективности ведения горных работ в данных условиях необходимо усовершенствовать состав закладочных смесей, рецептуры их приготовления, способы и средства доставки в выработанное пространство [1, 2, 3].

Прочность составов закладки и сроки затвердевания зависят от компонентов, технологии их измельчения и перемешивания [4, 5]. В качестве компонентов смеси, как правило, используются местные материалы.

Технологии производства с использованием лопастного смесителя и шаровой мельницы позволяют обеспечить гидратирование компонентов смесей и прохождение процессов кристаллизации [6, 7]. Однако при этом низкая интенсивность совместного перемешивания компонентов смеси не обеспечивает полную гомогенизацию компонентов смеси, что ведет к повышению расхода дорогостоящего вяжущего и снижению набираемой прочности составами закладки [8, 9].

Как известно, гомогенизация в горно-строительной геотехнологии – это технологический процесс, производимый при приготовлении закладочной смеси, над двух- или многофазной системой, в ходе которого уменьшается степень неоднородности

химических веществ и фаз по объему гетерофазной системы. Гетерофазная система – неоднородная система, состоящая из однородных частей (фаз), разделенных поверхностью раздела. Однородные части (фазы) могут отличаться друг от друга по составу и свойствам.

Для обеспечения гомогенности и активности компонентов составов смеси необходимо создать условия интенсивной обработки материалов, обеспечивающие эффективную гомогенизацию и активацию ее материалов, проявление вяжущих свойств мелкодисперсных фракций хвостов обогащения и повышение вскрытия зерен цемента в технологии их приготовления.

Активность вяжущего увеличивается с повышением степени дефектности поверхности частиц. Это происходит из-за проникновения воды в частицы через микротрещины, что способствует полной гидратации.

Внедрение в технологию приготовления смеси дополнительных устройств для гомогенизации и активации ее компонентов широко применяется на рудниках Финляндии, Канады, Польши, Австралии и Ирландии [10, 11].

По результатам исследования был выбран и обоснован способ воздействия, обеспечивающий обработку материалов смеси в поле гидроударно-кавитационных импульсов, было разработано смесительно-активирующее устройство для жидких сред, которое позволяет

Таблица 1. Результаты опытно-промышленных испытаний составов закладки

Table 1. Results of compositions backfill pastes tests

	Расход материалов, кг/м ³				Контрольная характеристика прочности, МПа, сутки		
	Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода, л	7	28	90
Шаровая мельница	400	853	170	500	0,8	1,3	2,0
	600	657	170	500	1,1	1,7	2,8
	400	718	320	500	1,6	2,7	4,5
	600	521	320	500	1,8	3,0	5,1
Гидроударно-кавитационный смеситель	400	853	170	500	1,7	2,3	3,5
	600	657	170	500	1,8	2,5	3,7
	400	718	320	500	2,1	3,2	5,5
	600	521	320	500	2,7	4,8	6,6

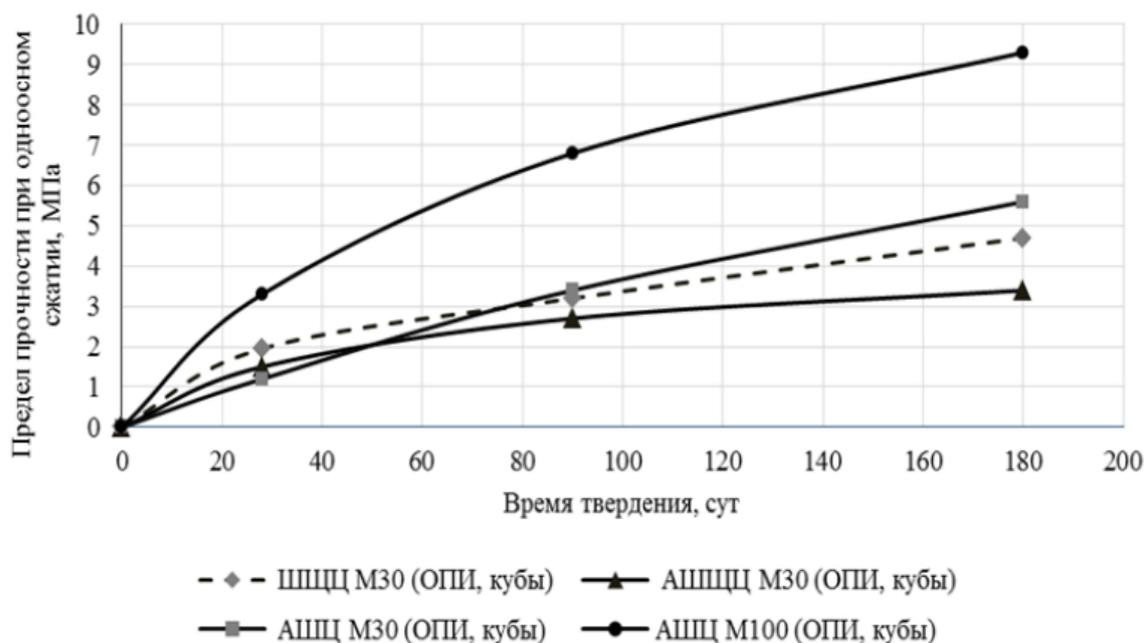


Рис. 1. Кинетика набора прочности пластифицированных закладочных смесей
Fig. 1. Strength gain kinetics of plasticized backfill pastes

Таблица 2. Рецепт и свойства пластифицированных закладочных смесей, рекомендованных в производство для рудников ПАО «ГМК «Норильский никель»
Table 2. Compositions and properties of plasticized backfill pastes recommended for production for «Normickel» mines

Номер состава	Тип и марка закладок	Состав закладочной смеси** кг/м ³						Свойства закладочной смеси*			Снижение содержания цемента в смеси по сравнению с РТПП*** %	Прочность при одноосном сжатии МПа через сутки		
		Цемент	Ангидрит	Шлак	Щебень	Вода	ЛСТ	РК см	γ т/м ³	W %		28	90	180
1	ШМЦ М30	135	–	765	665	490	1	30-33	2,05	≤ 24,0	25	2,0	3,2	4,0
2	АШЩЦ М30	70	445	450	640	490	1	30-33	2,05	≤ 23,5	10	1,5	2,7	4,0
3	АШЦ М30	45	760	830	–	490	1	30-33	2,05	≤ 23,5	10	1,2	3,2	5,4
4	АШЦ М100	130	740	740	–	490	1	30-33	2,05	≤ 24,0	13	4,5	6,0	9,0

*РК, γ, W – растекаемость на приборе Суттарда, плотность и влажность смесей соответственно.

** Исходя из нестабильности свойств и влажности исходных материалов, расход воды в процессе производства твердеющих смесей уточняется по растекаемости смесей на приборе Суттарда 30-33 см. При этом расход цемента и добавки ЛСТ выдерживаются строго по рецептуре.

*** РТПП – Регламент технологических производственных процессов при производстве закладочных работ.

гомоенизировать и активировать составы «жидкость-твердое» за счет следующих факторов:

- истирающие, ударные и срезающие нагрузки оказывают механическое воздействие на частицы обрабатываемой среды;
- гидродинамическое воздействие, выражающееся в больших сдвиговых

напряжениях в жидкости, пульсациях давления и скоростях потоков в жидкости;

- гидроакустическое воздействие на жидкость, осуществляющееся за счет мелкомасштабных пульсаций давления и интенсивной кавитации.

В результате опытно-промышленных испытаний, проведенных на руднике

«Комсомольский» ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель», было выявлено, что образцы закладочных смесей, приготовленные по технологии с применением гидроударно-кавитационного смесителя, демонстрируют показатели прочности в среднем на 30% выше образцов, приготовленных по мельничному способу (Таблица 1) [12, 13].

Способ приготовления твердеющей смеси с использованием гидроударно-кавитационного смесителя обеспечивает повышение скорости твердения и увеличение прочности закладочного массива за счет гомогенизации и активации компонентов закладочных смесей [14].

Улучшение физико-механических свойств и уменьшение срока набора прочности закладочной смеси также возможно введением специальных добавок.

Для рудников Талнаха ПАО «ГМК «Норильский никель» ООО «Технологии закладки» совместно с ООО «Институт Гипроникель» разработали пластифицированные закладочные смеси с добавлением лигносульфонатов технических [15]. Лигносульфонаты технические (ЛСТ) – побочный продукт переработки древесины (Таблица 2).

Установлено, что наилучшие показатели по набору прочности достигаются при использовании смеси ШЩЦ М30 (Рис. 1). Использование пластифицированных составов с добавлением лигносульфонатов позволяет снизить расход цемента в закладочных смесях 1-4 соответственно на 25, 10, 10 и 13% (Таблица 2).

На основании результатов исследований и опытно-промышленных испытаний пластифицированных закладочных смесей на рудниках ПАО «ГМК «Норильский никель» разработана методика исследований для совершенствования технологии закладки выработанного пространства на шахте «Таштагольская» АО «ЕвразЗСМК» с целью повышения эффективности и безопасности добычи железной руды из охраняемых целиков под объектами г. Таштагол и рекой Кондома и обеспечения стабильности поставок высококачественного железорудного концентрата металлургам Новокузнецка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неверов А. А. Развитие основ подземных комбинированных технологий разработки мощных пологопадающих рудных залежей в сложных геомеханических условиях : Дисс. ... докт. техн. наук : 25.00.22 / Новосибирск, 2020, 359 с.

2. Копытов А. И., Стародубцев С. А. Опыт применения систем разработки с закладкой выработанного пространства на угольной шахте Дайчжуан (Китай) // Вестник Кузбасского государственного технического университета.

2023. № 2. С. 86–91.

3. Копытов А. И., Стародубцев С. А. Реконструкция закладочного комплекса Таштагольского рудника // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 1. С. 66–72.

4. Анушенков А. И. Совершенствование технологии приготовления многокомпонентных твердеющих смесей на закладочных комплексах рудников НЕМК // Управление развитием горных работ при подземной разработке рудных месторождений : материалы Всесоюз. семинара. Красноярск, 1987. С. 27–28.

5. Иманголиев А. И., Терентьев Н. А., Репп К. Ю. Технология получения твердеющей закладки в условиях Джекказгана. Горный журнал. 1972. № 11. С. 30–32.

6. Середа Б. К., Цыгалов М. Н. Технология приготовления твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. М. : ЦИИИцветмет, 1964.

7. Цыгалов М. Н., Слащилин И. Т., Замосковцева Г. Д. Влияние материалов на качество монолитной закладки. Горный журнал. 1981. № 5. С. 27–28.

8. Волков Е. П., Анушенков А. Н., Голованов А. И. Исследования по подбору и составу закладочных смесей марок ХЦ, АХЦ с применением хвостов обогащения ТОФ // Сборник научных статей V Международного Конгресса и Выставки «Цветные металлы-2013», Красноярск, 2013.

9. Волков Е. П., Анушенков А. Н. Разработка рецептур твердеющих смесей на основе породных хвостов обогащения для закладки подземных выработок Норильского горно-металлургического комбината // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук: Научн. журнал. Новосибирск : ИГД им. Н. А. Чинакала СО РАН, 2014 г. С. 207–211.

10. Хомяков В. И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. М. : Недра, 1984.

11. Егорочкин А. А. Новые технологические разработки на Тишинском руднике // Материалы конференции «Актуальные вопросы развития технологий добычи и переработки руд цветных и благородных металлов: ВНИИцветмет, Усть-Каменогорск, 2005. С. 38–45.

12. Анушенков А. Н., Волков Е. П., Стовманенко А. Ю. Пат. 2607329 Российская федерация, мпкЕ 21F15/00. Способ приготовления литых твердеющих закладочных смесей на основе мелкодисперсного заполнителя.

13. Волков Е. П., Анушенков А. Н., Гузанов П. С., Лытнева А. Э. Закладочные смеси на основе отходов обогащения руд в системах подземной разработки месторождений Норильского промышленного района // Горный журнал. М. 2015. № 6. С. 85–87.

14. Волков Е. П. Разработка технологии

закладки выработанного пространства твердеющими смесями с использованием хвостов обогащения : специальность 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Волков Евгений Павлович ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный

университет». Красноярск, 2020. 140 с. Библиогр.: с. 98. Текст : непосредственный.

15. Монтянова А. Н., Трофимов А. В., Румянцев А. Е., Вильчинский В. Б., Наговицин Ю. Н. Опыт и эффективность применения пластифицированных закладочных смесей. Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2019. С. 18–25.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Копытов Александр Иванович, докт. техн. наук, профессор кафедры ФПиСГ, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: L01BDV@yandex.ru

Стародубцев Сергей Александрович, аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: starodubts3vs@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Копытов Александр Иванович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, обзор соответствующей литературы, выводы, наименование текста.

Стародубцев Сергей Александрович – научный менеджмент, обзор, анализ тематической литературы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

METHODS OF PREPARATION AND IMPROVEMENT OF BACKFILL PASTES PHYSICO – MECHANICAL PROPERTIES

**Kopytov Alexander I.,
Starodubtsev Sergei A**

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

for correspondence: L01BDV@yandex.ru



Article info

Received:
05 July 2024

Accepted for publication:
29 September 2024

Accepted:
10 October 2024

Published:
24 October 2024

Keywords: Iron ore mining,

Abstract.

The article presents the results of the study of research and experience in the preparation and improvement of the composition of the backfill paste in order to increase the efficiency and safety of iron ore development system by backfill mine-out space from protective pillars at the Tashtagolskaya mine to ensure the stability of the supply of high-quality iron ore concentrate to the metallurgists of Novokuznetsk.

An analysis of national and foreign experience in the development of ore deposits shows that the development of mining production is carried out mainly due to the development of new ore deposits at a depth of up to 2 km with a constant annual decrease in mining operations by 20-40 m.

Transition to greater depths, the conditions for tunneling and cutter operations deteriorate sharply due to changes in the physical and mechanical properties of rocks, a steady increase in rock pressure and the probability of its manifestation in dynamic form in face zones, the conditions and safety of miners deteriorate, prerequisites for possible environmental damage are created.

As a result of the study of scientific research and practical experience, it was

backfill, production technology of backfill paste, plasticized backfill pastes.

found that one of the important directions for improving the geotechnology of underground mining in these conditions is the introduction of backfill mine-out space development systems.

Backfill mine-out space development systems ensure minimal deformation of the mined rock mass and preservation of the surface, a relatively safe working condition, increase the efficiency of subsurface use by reducing losses and dilution, recycling mining waste and increasing the completeness and quality of ore extraction. However, their use is limited by the value of mineral raw materials due to the high cost of mining operations.

One of the significant disadvantages affecting the increase expenses and the cost of production of backfill mine-out space geotechnology is the long-term solidification of the backfill paste for up to 28 days, this contributes to a decrease in the efficiency and stability of the mining enterprise. Tests conducted at the Talnakh mines showed that it is possible to improve the physical and mechanical properties and reduce the durability of backfill paste by introduction of special plasticized additives.

For citation: Kopytov A.I., Starodubtsev S.A. Methods of preparation and improvement of backfill pastes physico – mechanical properties. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 5(165):74-80. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-5-74-80, EDN: HKNWLE

REFERENCES

1. Neverov A.A. Razvitiye nauchnykh osnov podzemnykh kombinirovannykh tekhnologiy razrabotki moshchnykh pologopadayushchih rudnykh zalezhej v slozhnykh geomekhanicheskikh usloviyah. N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 2020. 359 p. (rus)
2. Kopytov A.I., Starodubtsev S.A. Opyt primeneniya sistem razrabotki s zakladkoj vyrabotannogo prostranstva na ugol'noj shahte dajchzhuan (kitaj). *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2023; 2:86–91. (rus)
3. Kopytov A.I., Starodubtsev S.A. Rekonstrukciya zakladochnogo kompleksa tashtagol'skogo rudnika. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024; 1:66–72. (rus)
4. Anushenkov A.I. Sovershenstvovanie tekhnologii prigotovleniya mnogokomponentnykh tverdeyushhih smesey na zakladochnykh kompleksakh rudnikov NEMK. Krasnoyarsk: Reports of the seminar «Management of mining development in the underground mining of ore deposits»; 1987. (rus)
5. Imangoliev A.I., Terentyev H.A., Repp K.Y. Tekhnologiya polucheniya tverdeyushhej zakladki v usloviyakh Dzhelzokazgana. *Gornyi Zhurnal*. 1972; 11:30–32. (rus)
6. Sereda B.K., Tsygalov M.N. Tekhnologiya prigotovleniya tverdeyushhej zakladki pri razrabotke rudnykh mestorozhdenij. M.: TIINsvetmet; 1964. 76 p. (rus)
7. Tsygalov M.N., Slashchilin I.T., Zamoskovtseva G.D. Vliyanie materialov na kachestvo monolitnoj zakladki. *Gornyi Zhurnal*. 1981; 5:27-28. (rus)
8. Volkov E.P., Anushenkov A.N., Golovanov A.I. Issledovaniya po podboru i sostavu zakladochnykh smesey marok KHTS, AKHTS s primeneniem khvostov obogashheniya TOF. Krasnoyarsk: Tsvetnye Metally; 2013. 692 p. (rus)
9. Volkov E.P., Anushenkov A.N. Razrabotka retseptur tverdeyushhih smesey na osnove porodnykh khvostov obogashheniya dlya zakladki podzemnykh vyrabotok Noril'skogo gorno-metallurgicheskogo kombinata. Novosibirsk: N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 2014. (rus)
10. Khomyakov V.I. Zarubezhnyj opyt zakladki na rudnikakh. M.: Nedra; 1984. 224 p. (rus)
11. Egorochkin A.A. Novye tekhnologicheskie razrabotki na Tishinskom rudnike Ust-Kamenogorsk: Reports of the conference «Topical issues of the development of technologies for the extraction and processing of ores of non-ferrous and precious metals». 2005. (rus)
12. The patent 2607329. Method for preparation of cast hardening backfill mixtures based on fine aggregate. Anushenkov A.N., Volkov E.P., Stovmanenko A.Y. (rus)
13. Volkov E.P. Zakladochnye smesi na osnove otkhodov obogashheniya rud v sistemakh podzemnoj razrabotki mestorozhdenij Noril'skogo promyshlennogo rajona. *Gornyi Zhurnal*. Moscow. 2015; 6:85–87. (rus)
14. Volkov E.P. Dissertation «Razrabotka tekhnologii zakladki vyrabotannogo prostranstva tverdeyushhimi smesyami s ispol'zovaniem khvostov obogashheniya». Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2020. 140 p. (rus)
15. Montianova A.N., Trofimov A.V., Rumyantsev A.E., Vilchinsky V.B., Nagovitsyn Y.N. Opyt i ehffektivnost' primeneniya plastifitsirovannykh zakladochnykh smesey. Nosov Magnitogorsk STU, 2019. (rus)

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Alexander I. Kopylov, Dr. Sc. in Engineering, Professor of the Department of FPIS, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: L01BDV@yandex.ru

Sergey A. Starodubtsev, Postgraduate, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: starodubts3vs@yandex.ru

Contribution of the authors:

Alexander I. Kopylov – formulation of a research task, conceptualization of the study, review of relevant literature, conclusions, title of the text.

Sergey A. Starodubtsev – scientific management, review, analysis of thematic literature, writing a text.

All authors have read and approved the final manuscript.

